(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 202090661 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.09.30

(22) Дата подачи заявки
2011.08.02

(51) Int. Cl. ***C12N 15/82*** (2006.01)
C12N 9/02 (2006.01)
A01H 5/00 (2006.01)

(54) МУТАНТНЫЕ ГЕНЫ ПРОТОПОРФИРИНОГЕН IX ОКСИДАЗЫ (PPX)

(31) **61/370,436**
(32) **2010.08.03**
(33) **US**
(62) **201390034; 2011.08.02**

(71) Заявитель:
СИБАС ЮС ЛЛС (US); СИБАС ЮРОП Б.В. (NL)

(72) Изобретатель:
Гокал Грегори Ф.В., Битем Питер Р., Де Шопке Аура, Дамм Сара, Пирс Джеймс, Шопке Кристиан, Волкер Кейт А. (US)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Предложены композиции и способы, относящиеся к генным и/или белковым мутациям трансгенных или нетрансгенных растений. Согласно некоторым вариантам реализации настоящее изобретение относится к мутациям гена протопорфириногена IX (PPX). Согласно некоторым вариантам реализации настоящее изобретение относится к устойчивым к гербицидам растениям.

202090661 A1

202090661 A1

МУТАНТНЫЕ ГЕНЫ ПРОТОПОРФИРИНОГЕН IX ОКСИДАЗЫ (PPX)

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Настоящее изобретение относится по меньшей мере отчасти к мутациям генов и/или белков растений.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002] Следующее описание приведено исключительно для облегчения понимания настоящего изобретения и не предназначено для описания или представления известного уровня техники.

[0003] Известны примеры некоторых мутаций в генах PPX растений. Например, в патенте США №5767373 описаны «эукариотические последовательности ДНК, кодирующие нативную протопорфириноген оксидазу (протокс) или модифицированные формы указанного фермента, толерантные к гербицидам»; в патенте США №6282837 описаны «эукариотические последовательности ДНК, кодирующие нативную протопорфириноген оксидазу (протокс) или модифицированные формы указанного фермента, толерантные к гербицидам и способ контролирования сорных растений с применением растений с измененной активностью протокса, придающей толерантность к гербицидам»; в патенте США №6308458 описаны «способы контролирования роста нежелательной растительности, включающий применение эффективного количества протокс-ингибирующего гербицида к популяции трансгенных растений или семян растений, трансформированных последовательностью ДНК, кодирующей модифицированный протокс-фермент, толерантный к протокс-ингибирующему гербициду, или к локусу, где культивируется популяция указанных трансгенных растений или семян растений»; в патенте США №6905852 описана «протопорфириноген оксидаза, толерантная к фотообесцвечивающему гербициду и его производным, содержащая полипептид с аминокислотной последовательностью, представленной SEQ ID No. 2 [белок PPX] или мутантные пептиды, полученные из последней путем делеции, добавления, замены и т.д. одной или более аминокислоты вышеуказанной аминокислотной последовательности и обладающие активностью, по существу эквивалентной таковой протопорфириноген оксидазы»; в патенте США № описаны «способы придания устойчивости к

протопорфириноген ингибирующим гербицидам сельскохозяйственным растениям. Устойчивость придают посредством генной инженерии указанных растений для экспрессирования ими клонированной ДНК, кодирующей протопорфириноген оксидазу, устойчивую к порфировым гербицидам»; в опубликованной заявке на патент США №20020086395 описан «способ оценки способности соединения ингибировать активность протопорфириноген оксидазы, который включает этапы: (1) культивирования трансформанта, экспрессирующего ген протопорфириноген оксидазы, присутствующий во фрагменте ДНК, в среде, по существу не содержащей протогемных соединений в каждой сравнительной системе в присутствии и в отсутствие тестируемого соединения для оценки скорости роста указанного трансформанта при каждом условии; указанный трансформант происходит из хозяйской клетки с недостаточной способностью к росту на основе активности протопорфириноген оксидазы, трансформированной фрагментом ДНК, в котором промотор, способный функционировать в указанной хозяйской клетке, и ген протопорфириноген оксидазы функционально связаны, и (2) определения способности указанного соединения ингибировать активность протопорфириноген оксидазы путем сравнения скоростей роста; и т.п.»; у Patzoldt WL, et al., PNAS USA 103:12329-34 (2006) описано «делеция 3 п.о., соответствующих кодону G210» PPX; и у Li X, et al., Plant Physiology 133:736-47 (2003) описано «выделение растительных генов протопорфириноген оксидазы (PPO) и выделение устойчивых к гербицидам мутантов». Термины PPO и PPX используются в настоящей заявке взаимозаменяемо.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0004] Настоящее изобретение относится по меньшей мере отчасти к способам и композициям в области мутаций генов и белков растений. Согласно некоторым аспектам вариантам реализации настоящее изобретение также может относиться к композициям и способам получения устойчивых к гербицидам растений. Способы и композиции, раскрытые в настоящем описании, относятся по меньшей мере отчасти к мутациям гена протопорфириноген IX оксидазы (PPX).

[0005] Согласно одному аспекту предложено(а) растение или растительная клетка, содержащее(ая) мутантный ген PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанный мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX. Согласно некоторым вариантам реализации растение, содержащее растительную клетку, которая содержит

мутантный ген PPX, может быть устойчиво к гербицидам; например, устойчиво к Ингибирующему PPX гербициду. Согласно некоторым вариантам реализации указанное растение или указанная растительная клетка являются нетрансгенными. Согласно некоторым вариантам реализации указанное растение или указанная растительная клетка являются трансгенными. В настоящем изобретении также предложены рекомбинантные векторы, содержащие такие мутантные гены PPX, а также трансгенные растения, содержащие такие мутантные гены PPX.

[0006] В настоящей заявке термин «ген PPX» относится к последовательности ДНК, способной производить полипептид PPX, обладающий аминокислотной гомологией и/или идентичностью с последовательностью аминокислот SEQ ID NO: 1, и/или кодирует белок, проявляющий активность PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанный ген PPX на 70%; 75%; 80%; 85%; 90%; 95%; 96%; 97%; 98%; 99%; или на 100% идентичен конкретному гену PPX; например, митохондриальным генам PPX Рассет Бербанк, например, StmPPX1 или StmPPX2; или, например, пластидному гену PPX Рассет Бербанк, например, StcPPX1. Согласно некоторым вариантам реализации указанный ген PPX на 60%; 70%; 75%; 80%; 85%; 90%; 95%; 96%; 97%; 98%; 99%; или на 100% идентичен последовательности, выбранной из последовательностей на Фиг. 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 41 43 и 45. Согласно некоторым вариантам реализации ген PPX представляет собой митохондриальный ген PPX; например, StmPPX1 или StmPPX2. Согласно некоторым вариантам реализации ген PPX представляет собой пластидный ген PPX; например, StcPPX1. Согласно некоторым вариантам реализации ген PPX представляет собой аллель митохондриального гена PPX; например, StmPPX2.1 или StmPPX2.2. Согласно некоторым вариантам реализации ген PPX представляет собой аллель пластидного гена PPX; например, StcPPX1 или StcPPX1.1. У некоторых растений, таких как посконник коноплевый, белковый продукт одного гена PPX является и митохондриальным и пластидным согласно описанию у Patzoldt WL, *et al.*, PNAS USA 103:12329-34 (2006).

[0007] В настоящей заявке термин «мутация» относится к изменению по меньшей мере одного нуклеотида в последовательности нуклеиновой кислоты и/или изменению одиночной аминокислоты в полипептиде по сравнению с нормальной последовательностью, или последовательностью дикого типа, или эталонной

последовательностью, например, SEQ ID NO: 1 или SEQ ID NO: 2. Согласно некоторым вариантам реализации мутация относится к изменению по меньшей мере одного нуклеотида в последовательности нуклеиновой кислоты и/или изменению одной аминокислоты в полипептиде по сравнению с нуклеотидной или аминокислотной последовательностью белка PPX, не устойчивого к гербицидам. Согласно некоторым вариантам реализации мутация может включать замену, делецию, инверсию или вставку. Согласно некоторым вариантам реализации замена, делеция, вставка или инверсия может включать изменение по 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 или 24 нуклеотидам. Согласно некоторым вариантам реализации замена, делеция, вставка или инверсия может включать изменение по 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 или 8 положениям аминокислот. Термин «нуклеиновая кислота» или «последовательность нуклеиновой кислоты» относится к олигонуклеотиду, нуклеотиду или полинуклеотиду, и их фрагментам или частям, которые могут быть одноцепочечными либо двуцепочечными, и представлять смысловую или антисмысловую нить. Нуклеиновая кислота может включать ДНК или РНК, и может быть природного или синтетического происхождения. Например, нуклеиновая кислота может включать мРНК или кДНК. Нуклеиновая кислота может включать нуклеиновую кислоту, которая была амплифицирована (*например*, с применением полимеразной цепной реакции). Для указания мутации, приводящей к замене нуклеотида дикого типа NTwt в положении ### в нуклеиновой кислоте мутантным NTmut, используют выражение «NTwt###NTmut». Однобуквенный код для обозначения нуклеотидов соответствует описанному в «Руководстве по порядку патентной экспертизы патентного ведомства США» (U.S. Patent Office Manual of Patent Examining Procedure), раздел 2422, таблица 1. Соответственно, обозначение нуклеотида «R» означает пурин, такой как гуанин или аденин, «Y» означает пиримидин, такой как цитозин или тимин (урацил в случае РНК); «M» означает аденин или цитозин; «K» означает гуанин или тимин; и «W» означает аденин или тимин.

[0008] В настоящей заявке термин «мутантный ген PPX» относится к гену PPX, содержащему одну или более мутаций по положениям нуклеотидов относительно эталонной последовательности нуклеиновой кислоты PPX. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит одну или более мутацию по сравнению с соответствующей последовательностью PPX дикого типа. В настоящей

заявке термин «дикий тип» может применяться для обозначения стандартной аллели в локусе, либо аллели, встречающейся с наибольшей частотой в конкретной популяции. В некоторых случаях аллель дикого типа может быть представлена определенной аминокислотной или нуклеиновокислотной последовательностью. Например, пластидный белок PPX картофеля дикого типа может быть представлен SEQ ID NO: 7. Например, митохондриальный белок PPX картофеля дикого типа может быть представлен SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит одну или более мутацию по сравнению с эталонной последовательностью нуклеиновой кислоты PPX, например, SEQ ID NO: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 41 43 или 45; или в гомологичных положениях их паралогов. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX модифицирован посредством по меньшей мере одной мутации. Согласно другим вариантам реализации мутантный ген PPX модифицирован посредством по меньшей мере двух мутаций. Согласно другим вариантам реализации мутантный ген PPX модифицирован посредством по меньшей мере трех мутаций. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX включает две или более мутации последовательности нуклеиновой кислоты, выбранные из таблиц 2, 3a и 3b. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует один или более мутантный митохондриальный белок PPX. Согласно другим вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует один или более мутантный пластидный белок PPX. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX представляет собой мутантный митохондриальный ген PPX; например, мутантный StmPPX1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX представляет собой мутантный митохондриальный ген PPX; например, мутантный StmPPX2. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX представляет собой мутантный пластидный ген PPX; например, мутантный StcPPX1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX представляет собой аллель мутантного митохондриального гена PPX; например, мутантного StmPPX2.1 или мутантного StmPPX2.2. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX представляет собой аллель мутантного пластидного гена PPX; например, мутантного StcPPX1 или мутантного StcPPX1.1. Согласно некоторым вариантам реализации по меньшей мере одна

мутация присутствует в пластидном гене PPX и по меньшей мере одна мутация присутствует в митохондриальном гене PPX. Согласно некоторым вариантам реализации одна или более мутация в гене PPX приводит к гербицидоустойчивости; например, устойчивости к Ингибирующему PPX гербициду. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который повышает устойчивость к одному или более гербицидам по сравнению с эталонным белком PPX.

[0009] Согласно некоторым вариантам реализации указанные мутации в мутантном гене PPX кодируют белок, содержащий комбинацию двух или более мутаций. Согласно некоторым вариантам реализации по меньшей мере одна мутация присутствует в пластидном гене PPX и по меньшей мере одна мутация присутствует в митохондриальном гене PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанные комбинации выбраны из таблиц 4a и 4b. Согласно некоторым вариантам реализации указанные мутации в мутантный ген PPX кодируют белок, содержащий комбинацию трех или более мутаций; например, комбинации, выбранные из таблиц 4a и 4b. Согласно некоторым вариантам реализации указанная по меньшей мере одна мутация в пластидном гене PPX и указанная по меньшей мере одна мутация в митохондриальном гене PPX располагаются в одном и том же соответствующем положении. Согласно другим вариантам реализации указанная по меньшей мере одна мутация в пластидном гене PPX и указанная по меньшей мере одна мутация в митохондриальном гене PPX располагаются в разных соответствующих положениях.

[0010] В настоящей заявке термин «белок PPX» относится к белку, который гомологичен и/или идентичен аминокислотным последовательностям белка PPX, SEQ ID NO: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 40, 42 или 44; и/или проявляет активность PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанный белок PPX на 70%; 75%; 80%; 85%; 90%; 95%; 96%; 97%; 98%; 99%; или на 100% идентичен конкретному белку PPX, такому как, например, митохондриальный белок PPX Рассет Бербанк или пластидные белки PPX Рассет Бербанк. Согласно некоторым вариантам реализации белок PPX на 70%; 75%; 80%; 85%; 90%; 95%; 96%; 97%; 98%; 99%; или на 100% идентичен последовательности, выбранной из последовательностей на Фиг. 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 40, 42 или 44.

[0011] В настоящей заявке термин «мутантный белок PPX» относится к белку PPX, содержащему одну или более мутаций по положениям аминокислот относительно эталонной аминокислотной последовательности PPX, или по гомологичным положениям ее паралогов. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит одну или более мутацию по сравнению с эталонной аминокислотной последовательностью PPX, например, эталонной последовательностью аминокислот PPX, соответствующей последовательностям SEQ ID NO: 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 40, 42 или 44, либо их частям. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит одну или более мутацию по сравнению с соответствующим белком дикого типа. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит одну или более мутацию по сравнению с соответствующим белком, не являющимся устойчивым к гербицидам. Согласно некоторым вариантам реализации указанный белок PPX модифицирован посредством по меньшей мере одной мутации. Согласно другим вариантам реализации указанный белок PPX модифицирован посредством по меньшей мере двух мутаций. Согласно другим вариантам реализации указанный белок PPX модифицирован посредством по меньшей мере трех мутаций. Согласно некоторым вариантам реализации один или более митохондриальный белок PPX мутирован. Согласно другим вариантам реализации один или более пластидный белок PPX мутирован. Согласно еще одному варианту реализации один или более митохондриальный белок PPX и один или более пластидный белок PPX мутированы. Согласно некоторым вариантам реализации термин «мутантный белок PPX» относится к белку PPX, обладающему повышенной устойчивостью к одному или более гербицидам по сравнению с эталонным белком.

[0012] Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из 52, 85, 105, 111, 130, 139, 143, 144, 145, 147, 165, 167, 170, 180, 185, 192, 193, 199, 206, 212, 219, 220, 221, 226, 228, 229, 230, 237, 244, 256, 257, 270, 271, 272, 305, 311, 316, 318, 332, 343, 354, 357, 359, 360, 366, 393, 403, 424, 426, 430, 438, 440, 444, 455, 457, 470, 478, 483, 484, 485, 487, 490, 503, 508 и 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в одном или более положениях аминокислот,

соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из 58, 64, 74, 84, 93, 97, 98, 101, 119, 121, 124, 139, 150 151, 157, 164, 170, 177, 187, 188, 195, 214, 215, 229, 230, 271, 274, 278, 283, 292, 296, 307, 324, 330, 396, 404, 406, 410, 421, 423, 434, 447, 448, 449, 451, 454, 465, 470 и 500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации растение или растительная клетка может содержать мутантный ген протопорфириноген IX оксидазы (PPX), причем указанный ген кодирует белок, содержащий мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из G52, N85, N105, E111, G130, D139, P143, R144, F145, L147, F165, L167, I170, A180, P185, E192, S193, R199, V206, E212, Y219, A220, G221, L226, M228, K229, A230, K237, S244, R256, R257, K270, P271, Q272, S305, E311, T316, T318,S332, S343, A354, L357, K359, L360, A366, L393, L403, L424, Y426, S430, K438, E440, V444, L455, K457, V470, F478, F483, D484, I485, D487, K490, L503, V508 и I525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации растение или растительная клетка может содержать мутантный ген протопорфириноген IX оксидазы (PPX), отличающийся тем, что указанный ген кодирует белок, содержащий мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из D58, E64, G74, G84, L93, K97, K98, A101, S119, F121, T124, N139, E150, S151, Q157, V164, D170, C177, H187, L188, N195, P214, I215, K229, K230, C271, D274, F283, A292, S296, C307, N324, D330, S396, A404, R406, K410, L421, A423, C434, D447, S448, V449, D451, D454, Y465, K470 и T500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации белок PPX представляет собой паралог белка PPX *Arabidopsis thaliana* (например, указанный белок PPX может представлять собой пластидный белок PPX картофеля), и указанный белок PPX может содержать N в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO:1, причем указанный N заменен на аминокислоту, отличную от N; K в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO:1, причем указанный K заменен на аминокислоту, отличную от K; S в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO:1, причем указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S; и/или S в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO:1, причем указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX

включает две или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующее положению, выбранному из группы, состоящей из G52, N85, N105, E111, G130, D139, P143, R144, F145, L147, F165, L167, I170, A180, P185, E192, S193, R199, V206, E212, Y219, A220, G221, L226, M228, K229, A230, K237, S244, R256, R257, K270, P271, Q272, S305, E311, T316, T318,S332, S343, A354, L357, K359, L360, A366, L393, L403, L424, Y426, S430, K438, E440, V444, L455, K457, V470, F478, F483, D484, I485, D487, K490, L503, V508, и I525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает две или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из D58, E64, G74, G84, L93, K97, K98, A101, S119, F121, T124, N139, E150, S151, Q157, V164, D170, C177, H187, L188, N195, P214, I215, K229, K230, C271, D274, F283, A292, S296, C307, N324, D330, S396, A404, R406, K410, L421, A423, C434, D447, S448, V449, D451, D454, Y465, K470 и T500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации белок PPX представляет собой паралог белка PPX *Arabidopsis thaliana* (например, белок PPX может представлять собой пластидный белок PPX картофеля); указанный белок PPX содержит две или более мутации и одно или более из: (1) N в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный N заменен на аминокислоту, отличную от N; (2) K в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный K заменен на аминокислоту, отличную от K; (3) S в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S; и/или (4) S в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает три или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из G52, N85, N105, E111, G130, D139, P143, R144, F145, L147, F165, L167, I170, A180, P185, E192, S193, R199, V206, E212, Y219, A220, G221, L226, M228, K229, A230, K237, S244, R256, R257, K270, P271, Q272, S305, E311, T316, T318,S332, S343, A354, L357, K359, L360, A366, L393, L403, L424, Y426, S430, K438, E440, V444, L455, K457, V470, F478, F483, D484, I485, D487, K490, L503, V508 и

I525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает три или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из D58, E64, G74, G84, L93, K97, K98, A101, S119, F121, T124, N139, E150, S151, Q157, V164, D170, C177, H187, L188, N195, P214, I215, K229, K230, C271, D274, F283, A292, S296, C307, N324, D330, S396, A404, R406, K410, L421, A423, C434, D447, S448, V449, D451, D454, Y465, K470 и T500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации белок PPX представляет собой паралог белка PPX *Arabidopsis thaliana* (например, белок PPX может представлять собой белок PPX картофеля); указанный белок PPX содержит три или более мутации и одно или более из: (1) N в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный N заменен на аминокислоту, отличную от N; (2) K в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный K заменен на аминокислоту, отличную от K; (3) S в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S; и/или (4) S в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S.

[0013] В соответствии с описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, композициями и способами мутантный белок PPX содержит одну или более мутацию аминокислот, выбранную из таблиц 1, 2, 3a, 3b, 4a, 4b, 8a-f, 9a-d и 10. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает две или более мутации аминокислот, выбранные из таблиц 1, 2, 3a, 3b, 4a, 4b, 8a-f, 9a-d и 10. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает три или более мутации аминокислот, выбранные из таблиц 1, 2, 3a, 3b, 4a, 4b, 8a-f, 9a-d и 10. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит одну или более мутаций последовательности нуклеиновой кислоты, выбранных из таблиц 2, 3a и 3b. Согласно некоторым вариантам реализации указанная одна или более мутация мутантного белка PPX включает одну или более мутацию, две или более мутации или три или более мутации, выбранные из группы, состоящей из замены глицин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 1; замены

аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутаминовая кислота→валин в положении, соответствующем положению 111 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глицин→аспарагин в положении, соответствующем положению 130 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аспарагиновая кислота→гистидин в положении, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 143 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→валин в положении, соответствующем положению 147 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→аспарагин в положении, соответствующем положению 165 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→тирозин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутаминовая кислота→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 192 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутаминовая кислота→лизин в положении, соответствующем положению 192 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→треонин в положении, соответствующем положению 193 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 199 последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 206 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→серин в положении, соответствующем положению 219 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→цистеин в положении,

соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→изолейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→лейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→валин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1; замены метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 230 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 256 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→серин в положении, соответствующем положению 256 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 270 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 270 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 271 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутамин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→лейцин в положении, соответствующем положению 305 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутаминовая кислота→аргинин в положении, соответствующем положению 311 последовательности SEQ ID NO: 1; замены треонин→глицин в положении, соответствующем положению 316 последовательности SEQ ID NO: 1; замены треонин→глицин в положении, соответствующем положению 318 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→изолейцин в положении, соответствующем положению 357 последовательности SEQ ID NO: 1; замены

лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→треонин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 360 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→лизин в положении, соответствующем положению 360 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 366 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→цистеин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→изолейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→лейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→аргинин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→треонин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→валин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→лейцин в положении, соответствующем положению 430 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→серин в положении, соответствующем положению 438 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутаминовая кислота→лизин в положении, соответствующем положению 440 последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→изолейцин в положении, соответствующем положению 444 последовательности SEQ ID NO: 1; замены

лейцин→валин в положении, соответствующем положению 455 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→валин в положении, соответствующем положению 457 последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→серин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→тирозин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→серин в положении, соответствующем положению 478 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→глицин в положении, соответствующем положению 483 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аспарагиновая кислота→аланин в положении, соответствующем положению 484 последовательности SEQ ID NO: 1; замены изолейцин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 485 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 487 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→аспарагин в положении, соответствующем положению 490 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 503 последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→треонин в положении, соответствующем положению 508 последовательности SEQ ID NO: 1;, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации белок PPX представляет собой паралог белка PPX *Arabidopsis thaliana* (например, белок PPX может представлять собой белок PPX картофеля); указанный белок PPX может содержать N в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный N заменен на аминокислоту, отличную от N; K в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный K заменен на аминокислоту, отличную от K; S в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S; и/или S в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S. Согласно подобным вариантам реализации указанная одна или более мутация в мутантном белке PPX включает одну или более мутацию, две или более мутации, или три или более мутации, выбранные из группы, состоящей из замены аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аспарагин→аспарагиновая кислота в

положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→цистеин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→изолейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→лейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→валин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1; замены метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→лейцин в положении, соответствующем положению 305 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→изолейцин в положении, соответствующем положению 357 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→аргинин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→треонин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→метионин в положении,

соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→цистеин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→изолейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→лейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→аргинин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→треонин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→валин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→серин в положении, соответствующем положению 478 последовательности SEQ ID NO: 1; замены изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аспарагиновая кислота→аспарагин в положении, соответствующем положению 58 последовательности SEQ ID NO: 9; замены глутаминовая кислота→валин в положении, соответствующем положению 64 последовательности SEQ ID NO: 9; замены глицин→цистеин в положении, соответствующем положению 74 последовательности SEQ ID NO: 9; замены глицин→аспарагин в положении, соответствующем положению 84 последовательности SEQ ID NO: 9; замены лейцин→гистидин в положении, соответствующем положению 93 последовательности SEQ ID NO: 9; замены лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 97 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аргинин→цистеин в положении,

соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO:9; замены аланин→валин в положении, соответствующем положению 101 последовательности SEQ ID NO: 9; замены серин→аспарагин в положении, соответствующем положению 119 последовательности SEQ ID NO: 9; замены фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 121 последовательности SEQ ID NO: 9; замены треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагин→тирозин в положении, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагин→аргинин в положении, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагин→гистидин в положении, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 9; замены глутаминовая кислота→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 150 последовательности SEQ ID NO: 9; замены глутаминовая кислота→лизин в положении, соответствующем положению 150 последовательности SEQ ID NO: 9; замены серин→треонин в положении, соответствующем положению 151 последовательности SEQ ID NO: 9; замены глутамин→лейцин в положении, соответствующем положению 157 последовательности SEQ ID NO: 9; замены валин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 164 последовательности SEQ ID NO: 9; замены валин→аланин в положении, соответствующем положению 164 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагиновая→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 170 последовательности SEQ ID NO: 9; замены цистеин→серин в положении, соответствующем положению 177 последовательности SEQ ID NO: 9; замены гистидин→глутамин в положении, соответствующем положению 187 последовательности SEQ ID NO: 9; замены лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 195 последовательности SEQ ID NO: 9; замены пролин→серин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; замены пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; замены изолейцин→серин в положении, соответствующем положению 215 последовательности

SEQ ID NO: 9; замены изолейцин→гистидин в положении, соответствующем положению 215 последовательности SEQ ID NO: 9; замены лизин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9; замены лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9; замены лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 230 последовательности SEQ ID NO: 9; замены цистеин→ аргинин в положении, соответствующем положению 271 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 274 последовательности SEQ ID NO: 9; замены фенилаланин→глицин в положении, соответствующем положению 283 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аланин→глицин в положении, соответствующем положению 292 последовательности SEQ ID NO: 9; замены серин→лейцин в положении, соответствующем положению 296 последовательности SEQ ID NO: 9; замены цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 324 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 324 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагиновая→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 330 последовательности SEQ ID NO: 9; замены серин→лейцин в положении, соответствующем положению 396 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аланин→серин в положении, соответствующем положению 404 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аргинин→лизин в положении, соответствующем положению 406 последовательности SEQ ID NO: 9; замены лизин→изолейцин в положении, соответствующем положению 410 последовательности SEQ ID NO: 9; замены лейцин→валин в положении, соответствующем положению 421 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9; замены цистеин→серин в положении, соответствующем положению 434 последовательности SEQ ID NO: 9; замены цистеин→тирозин в положении, соответствующем положению 434 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 447 последовательности SEQ ID NO: 9; замены серин→аланин в положении,

соответствующем положению 448 последовательности SEQ ID NO: 9; замены валин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 449 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 451 последовательности SEQ ID NO: 9; замены аспарагиновая кислота→аспарагин в положении, соответствующем положению 454 последовательности SEQ ID NO: 9; замены тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 465 последовательности SEQ ID NO: 9; замены лизин→треонин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 9;, и замену треонин→серин в положении, соответствующем положению 500 последовательности SEQ ID NO: 9.

[0014] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX может содержать комбинацию мутаций; например, комбинацию мутаций, выбранных из таблиц 4a и 4b. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит комбинацию двух или более мутаций; например, комбинации, выбранные из таблиц 4a и 4b. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит комбинацию трех или более мутаций; например, комбинации, выбранные из таблиц 4a и 4b. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций в мутантном гене PPX кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем Y426 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: N85, R144, F145, A180, A220, L226, и S244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций в мутантном гене PPX кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем L393 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: R144, F145, A220, S224 и S244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем L403 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: F145, A220 и L226 последовательности

SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем R144 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: G52, N85, A220, S244, L226, M228, K272, S332, L393, L424, Y426 и I525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем N85 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: R144, F145, A180, A220, L226, M228, и Q272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем L424 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из: R144, F145, A220, L226 и L393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем I525 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению N85, F144, F145, A180, L226 и S244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем R144 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации белок PPX представляет собой паралог белка PPX *Arabidopsis thaliana* (например, белок PPX может представлять собой белок PPX картофеля); указанный белок PPX может содержать N в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный N заменен на аминокислоту, отличную от N; K в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный K заменен на аминокислоту, отличную от K; S в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S; и/или S в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S

заменен на аминокислоту, отличную от S. Согласно подобным вариантам реализации указанный мутантный белок PPX содержит комбинацию двух или более мутации; например, комбинации, выбранные из таблиц 4a и 4b. Согласно подобным вариантам реализации указанный мутантный белок PPX содержит комбинацию трех или более мутаций; например, комбинации, выбранные из таблиц 4a и 4b. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций в мутантном гене PPX кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем Y426 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: N85, R144, F145, A180, A220, L226, и S244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций в мутантном гене PPX кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем L393 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: R144, F145, A220, S244 и S224 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем L403 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: F145, A220 и L226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем R144 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: N52, N85, A220, S244, L226, M228, K272, S332, L393, L424, Y426 и S525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем N85 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из: R144, F145, A180, A220, L226, M228, и K272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем L424 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в положении аминокислоты,

соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из: R144, F145, A220, L226 и L393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем S525 последовательности SEQ ID NO: 1, и мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению N85, F144, F145, A180, L226 и S244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем 98 последовательности SEQ ID NO: 9, и мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из 74, 93, 97, 98, 119, 121, 124, 139, 150, 151, 164, 188, 214, 229, 230, 271, 274, 292, 307, 324, 396, 410, 423, 434, 447, 448, 451, 465, 470 и 500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем 98 последовательности SEQ ID NO: 9, и мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из 271, 274, 292, 307, 324, 330, 396, 404, 406, 410, 423, 434, 447, 448, 454, 465, 470 и 500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем 98 последовательности SEQ ID NO: 9, и мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из 307 и 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций кодирует белок, содержащий мутацию в положении, соответствующем 98 последовательности SEQ ID NO: 9, и мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из 124, 188, 214 и 229 последовательности SEQ ID NO: 9.

[0015] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями белок PPX может представлять собой паралог белка PPX *Arabidopsis thaliana* (например, белок PPX может представлять собой митохондриальный белок PPX картофеля); указанный белок PPX может содержать одну или более аминокислоту PPX, соответствующую SEQ ID NO: 9. В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, указанная одна или более мутация в мутантном гене PPX может

кодировать мутантный белок PPX, содержащий одну или более мутацию, две или более мутации, три или более мутации, выбранные из группы, состоящей из мутантного белка PPX, который может содержать одну или более мутацию в положении аминокислоты, соответствующем одному или более положению, выбранному из группы, состоящей из положений 58, 64, 74, 84, 93, 97, 98, 101, 119, 121, 124, 139, 150 151, 157, 164, 170, 177, 187, 188, 195, 214, 215, 229, 230, 271, 274, 278, 283, 292, 296, 307, 324, 330, 396, 404, 406, 410, 421, 423, 434, 447, 448, 449, 451, 454, 465, 470 и 500 последовательности SEQ ID NO: 9.

[0016] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, растительная клетка может содержать мутантный ген PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанный мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанная растительная клетка может представлять собой часть устойчивого к гербицидам растения. Указанный способ может включать введение в растительную клетку олигонуклеотида репарации генов (GRON); например, применение GRON с направленной мутацией в гене PPX. Согласно некоторым вариантам реализации полученная указанным способом растительная клетка может содержать ген PPX, способный экспрессировать мутантный белок PPX. Указанный способ также может включать идентификацию растительной клетки или растения, в том числе растительной клетки, которая (1) содержит мутантный ген PPX и/или (2) обладает нормальным ростом и/или каталитической активностью по сравнению с соответствующей растительной клеткой дикого типа. Устойчивое к гербицидам растение, содержащее растительную клетку согласно настоящей заявке, может быть определено в присутствии Ингибирующего PPX гербицида. Согласно некоторым вариантам реализации указанная растительная клетка является нетрансгенной. Согласно некоторым вариантам реализации указанная растительная клетка является трансгенной. Растение, которое содержит растительную клетку согласно описанию в настоящей заявке, может представлять собой нетрансгенное или трансгенное устойчивое к гербицидам растение; например, указанное(ые) растение и/или растительная клетка може(гу)т содержать мутантный ген PPX, что приводит к устойчивости по меньшей мере к одному гербициду. Согласно некоторым вариантам реализации растение, содержащее растительную клетку согласно описанию в настоящей заявке, может быть

получено путем бесполого размножения; например, из одной или более растительных клеток или из растительной ткани, состоящей из одной или более растительных клеток; например, из клубня. Согласно другим вариантам реализации растение, содержащее растительную клетку согласно описанию в настоящей заявке, может быть получено путем полового размножения.

[0017] Согласно другому аспекту предложен способ получения устойчивого к гербицидам растения. Указанный способ может включать введение в растительную клетку олигонуклеотида репарации генов (GRON); например, применение GRON, сконструированных с направленной мутацией в гене PPX. Указанный мутантный ген PPX может экспрессировать мутантный белок PPX. Указанный способ также может включать определение растения с нормальным(и) ростом и/или каталитической активностью по сравнению с соответствующей растительной клеткой дикого типа. Указанное растение может быть определено в присутствии Ингибирующего PPX гербицида. Согласно некоторым вариантам реализации указанное растение является нетрансгенным. Указанное растение может согласно некоторым вариантам реализации представлять собой нетрансгенное устойчивое к гербицидам растение; например, указанное растение может содержать мутантный ген PPX, что приводит к устойчивости или толерантности по меньшей мере к одному гербициду.

[0018] Согласно другому аспекту предложено семя, содержащее мутантный ген PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанное семя содержит мутантный ген PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанный мутантный PPX кодирует мутантный белок PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанный мутантный белок PPX может быть устойчив к гербициду; например, ингибирующему PPX гербициду. Согласно некоторым вариантам реализации растение, выращенное из указанного семени устойчиво по меньшей мере к одному гербициду; например, ингибирующему PPX гербициду.

[0019] Согласно другому аспекту предложен способ повышения устойчивости растения к гербицидам посредством: (a) скрещивания первого растения со вторым растением, где указанное первое растение содержит мутантный ген PPX, и при этом указанный ген кодирует мутантный белок PPX; (b) скрининг популяции, полученной в результате скрещивания, на повышенную устойчивость к гербицидам; например, повышенную

устойчивость к Ингибирующему PPX гербициду (c) отбор представителя, полученного в результате скрещивания, имеющего повышенную устойчивость к гербицидам; и/или (d) получение семян, образующихся в результате скрещивания. Согласно некоторым вариантам реализации гибридное семя получают любым способом, например, выбранным из описанных в настоящей заявке. Согласно некоторым вариантам реализации растения выращивают из семян, полученных любым способом, например, таким как способ, описанный в настоящей заявке. Согласно некоторым вариантам реализации указанные растения и/или семена являются нетрансгенными. Согласно некоторым вариантам реализации указанные растения и/или семена являются трансгенными.

[0020] Согласно другому аспекту предложен способ контроля сорняков на поле, содержащем растения, путем применения эффективного количества по меньшей мере одного гербицида на поле, содержащем сорняки и растения. Согласно некоторым вариантам реализации указанного способа указанный по меньшей мере один гербицид представляет собой Гербицид, ингибирующий PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанного способа одно или более указанное растение на поле содержит мутантный ген PPX; например, такой как описанный в настоящей заявке. Согласно некоторым вариантам реализации указанного способа одно или более из указанных растений на поле включает нетрансгенное или трансгенное растение, имеющее мутантный ген PPX, такой как описанные в настоящей заявке. Согласно некоторым вариантам реализации указанный мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX. Согласно некоторым вариантам реализации еще одно из указанных растений на поле является устойчивым к гербицидам; например, устойчивым к Ингибирующему PPX гербициду.

[0021] Согласно другому аспекту предложена выделенная нуклеиновая кислота, кодирующая белок PPX или его часть. Согласно некоторым вариантам реализации указанная выделенная нуклеиновая кислота содержит одну или более мутацию гена PPX, такую как описанные в настоящей заявке. Согласно некоторым вариантам реализации указанная выделенная нуклеиновая кислота кодирует мутантный белок PPX согласно описанию в настоящей заявке. Согласно некоторым вариантам реализации указанная выделенная нуклеиновая кислота кодирует белок PPX, который является устойчивым к гербицидам; например, устойчивым к ингибирующему PPX гербициду.

[0022] Согласно другому аспекту предложен экспрессионный вектор, содержащий выделенную нуклеиновую кислоту мутантного гена PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанный экспрессионный вектор содержит выделенную нуклеиновую кислоту, кодирующую белок PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанная выделенная нуклеиновая кислота кодирует белок, содержащий мутацию, выбранную из мутаций, приведенных в таблицах 1, 2, 3a, 3b, 4a, 4b, 8a-f, 9a-d и 10. Согласно некоторым вариантам реализации указанная выделенная нуклеиновая кислота кодирует белок, имеющий две или более мутации. Согласно некоторым вариантам реализации указанные две или более мутации выбраны из таблиц 1, 2, 3a, 3b, 4a, 4b, 8a-f, 9a-d и 10. Согласно некоторым вариантам реализации указанная выделенная нуклеиновая кислота кодирует белок PPX, который является устойчивым к гербицидам; например, устойчивым к ингибирующему PPX гербициду.

[0023] В настоящей заявке термин «гербицид» относится к любому химикату или веществу, способному уничтожить растение или способному остановить или снизить рост и/или жизнеспособность растения. Согласно некоторым вариантам реализации гербицидоустойчивость представляет собой генетически наследуемую способность растения выживать и воспроизводиться после обработки гербицидом в концентрации, которая в норме уничтожает или серьезно повреждает немодифицированное растение дикого типа. Согласно некоторым вариантам реализации в соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, указанный гербицид представляет собой Гербицид, ингибирующий PPX. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой гербицид из химического семейства, выбранные из группы химических семейств, перечисленных в таблице 5. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой гербицид из химического семейства, выбранного из группы химических семейств, состоящей из N-фенилфталимидов, триазолинонов и пиримидиндионов. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид выбран из группы гербицидов, перечисленных в таблице 5. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид выбран из группы гербицидов, состоящей из флумиоксазина, сульфентразона и сафлуфенацила. Согласно другим вариантам реализации указанный ингибирующий PPX гербицид представляет собой

гербицид флумиоксазин. Согласно другим вариантам реализации указанный ингибирующий PPX гербицид представляет собой гербицид сульфентразон. Согласно другим вариантам реализации указанный ингибирующий PPX гербицид представляет собой гербицид сафлуфенацил.

[0024] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, указанное(ая) растение или растительная клетка происходят из урожая растений, выбранных из группы, состоящей из картофеля, подсолнечника, сахарной свеклы, кукурузы, хлопка, сои, пшеницы, ржи, овса, риса, канолы, плодовых растений, овощей, табака, ячменя, сорго, томата, манго, персика, яблони, груши, клубники, банана, дыни, моркови, салата, лука, видов сои, сахарного тростника, гороха, кормовых бобов, тополя, винограда, цитрусовых, люцерны, ржи, овса, дернообразующих и кормовых трав, льна, масличного рапса, огурца, вьюнка, бальзамина, перца, баклажана, бархатцев, лотоса, капусты, астровых, гвоздики, петунии, тюльпана, ириса, лилии и дающих орехи растений, если они уже не указаны конкретно. Согласно некоторым вариантам реализации указанное(ая) растение или растительная клетка относится к видам, выбранным из таблицы 6. Согласно некоторым вариантам реализации указанное(ая) растение или растительная клетка относится к видам, выбранным из группы, состоящей из *Arabidopsis thaliana*, *Solanum tuberosum*, *Solanum phureja*, *Oryza sativa*, *Amaranthus tuberculatus*, *Zea mays*, *Brassica napus* и *Glycine max*. Согласно некоторым вариантам реализации указанное(ая) растение или растительная клетка представляет собой сорт картофеля Рассет Бербанк. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX Рассет Бербанк. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX *Arabidopsis thaliana*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX *Solanum tuberosum*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX *Solanum phureja*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX *Zea mays*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX *Oryza sativa*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX *Amaranthus tuberculatus*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX *Sorghum bicolor*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует

белок PPX *Ricinus communis*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX *Brassica napus*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует белок PPX *Glycine max*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX At4g01690 кодирует белок PPX *Arabidopsis thaliana*. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX At5g14220 кодирует белок PPX *Arabidopsis thaliana*.

[0025] В любом аспекте, варианте реализации, способы или композиции, описанные в настоящей заявке, могут включать один или более мутантных генов PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанные способы и композиции включают один или более мутантных генов PPX, кодирующий один или более митохондриальный белок PPX. Согласно другим вариантам реализации указанные способы и композиции включают один или более мутантных генов PPX, кодирующий один или более пластидный белок PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанные способы и композиции включают один или более мутантных генов PPX, кодирующий один или более пластидный белок PPX и митохондриальный белок PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанные способы и композиции включают мутантный митохондриальный ген PPX StmPPX1. Согласно некоторым вариантам реализации указанные способы и композиции включают мутантный митохондриальный ген PPX StmPPX2. Согласно некоторым вариантам реализации растение содержит мутантный пластидный ген PPX StcPPX1. Согласно некоторым вариантам реализации указанные способы и композиции включают аллель мутантного митохондриального гена PPX StcPPX2.1. Согласно некоторым вариантам реализации указанные способы и композиции включают аллель мутантного митохондриального гена PPX StcPPX2.2. Согласно некоторым вариантам реализации указанные способы и композиции включают аллель мутантного пластидного гена PPX StcPPX1. Согласно некоторым вариантам реализации указанные способы и композиции включают аллель мутантного пластидного гена PPX StcPPX1.1.

[0026] В настоящей заявке термин «ген» относится к последовательности ДНК, которая содержит контрольные и кодирующие последовательности, необходимые для синтеза РНК, которая может иметь не-кодирующую функцию (*например*, рибосомальной или транспортной РНК) или кодировать полипептид или предшественник полипептида. Указанная(ый) РНК или полипептид могут кодироваться полноразмерной кодирующей

последовательностью или любой частью указанной кодирующей последовательности, при условии, что сохраняется требуемая активность или функция.

[0027] В настоящей заявке термин «кодирующая последовательность» относится к последовательности нуклеиновой кислоты или ее комплемента, или ее(его) части, которая может быть транскрибирована и/или транслирована с получением мРНК для и/или указанного полипептида или его фрагмента. Кодирующие последовательности включают экзоны в геномной ДНК или незрелые первичные транскрипты РНК, которые объединяются за счет биохимических механизмов клетки с получением зрелой мРНК. Антисмысловая нить представляет собой комплемент такой нуклеиновой кислоты, и из нее может быть выведена кодирующая последовательность.

[0028] В настоящей заявке термин «некодирующая последовательность» относится к последовательности нуклеиновой кислоты или ее комплемента, или ее части, не транскрибируемой в аминокислоту *in vivo*, или характеризующейся тем, что тРНК не взаимодействует с аминокислотами для их размещения или не пытается их размещать. Некодирующие последовательности включают как интронные последовательности в геномной ДНК или незрелые первичные РНК-транскрипты, так и ассоциированные с генами последовательности, такие как промоторы, энхансеры, сайленсеры и т.д.

[0029] Нуклеиновое основание/нуклеооснование представляет собой основание, которое в определенных предпочтительных вариантах реализации представляет собой пурин, пиримидин, или их производное или аналог. Нуклеозиды представляют собой нуклеиновые основания, содержащие пентозофуранозильные фрагменты, например, необязательно замещенный рибозид или 2'-дезоксирибозид. Указанный фрагмент может представлять собой любую группу, увеличивающую ДНК-связывание и/или уменьшающую разложение нуклеазы по сравнению с нуклеозидом, не содержащим указанного фрагмента. Нуклеозиды могут быть связаны одним из нескольких линкерных фрагментов, которые могут содержать или не содержать фосфор. Нуклеозиды, связанные незамещенными фосфодиэфирными связями, называются нуклеотидами. В настоящей заявке термин «нуклеооснование» включает пептидные нуклеиновые основания, субъединицы пептидных нуклеиновых кислот, морфолиновые нуклеиновые основания, а также нуклеозиды и нуклеотиды.

[0030] Олигонуклеотид представляет собой полимер, содержащий нуклеиновые основания; предпочтительно по меньшей мере часть которого способна гибридизоваться посредством спаривания оснований по Уотсону-Крику с ДНК, имеющей комплементарную последовательность. Цепь олигонуклеотида может содержать один 5' и 3' конец, которые представляют собой конечные нуклеиновые основания указанного полимера. Конкретная цепь олигонуклеотида может содержать нуклеиновые основания всех типов. Олигонуклеотид представляет собой соединение, содержащее одну или более цепей олигонуклеотидов, которой могут быть комплементарным и гибридизоваться по механизму спаривания оснований по Уотсону-Крику. Нуклеиновые основания рибо-типа включают пентозофуранозил-содержащие нуклеиновые основания, где 2' углерод представляет собой метилен, замещенный гидроксилом, алкилокси или галогеном. Дезоксинуклеооснования рибо-типа представляют собой нуклеиновые основания, отличающиеся от нуклеооснований рибо-типа, и включают все нуклеиновые основания, не содержащие пентозофуранозильных фрагментов.

[0031] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, нить олигонуклеотида может включать как цепи олигонуклеотида, так и сегменты или области цепей олигонуклеотида. Нить олигонуклеотида может иметь 5'-конец и 3'-конец, и, если длина нити олигонуклеотида равна длине цепи, 5'- и 3'-концы указанной нити являются также 5' и 3' концами указанной цепи.

[0032] В настоящей заявке термин «олигонуклеотид для репарации генов» или «GRON» относится к олигонуклеотидам, включая смешанные дуплексные олигонуклеотиды, молекулы, содержащие фрагменты, отличные от нуклеотидов, одноцепочечные олигодезоксинуклеотиды и другие молекулы для репарации генов.

[0033] В настоящей заявке термин «трансгенный» относится к организму или клетке, который(ая) содержит ДНК, полученную из другого организма, встроенную в его(ее) геном. Например, согласно некоторым вариантам реализации трансгенный(ая) организм или клетка включает встроенную ДНК, которая содержит чужеродный промотор и/или кодирующую область.

[0034] В настоящей заявке термин «нетрансгенные» относится к организму или клетке, который(е) не содержат ДНК, полученной из другого организма, встроенной в его(ее)

геном, хотя нетрансгенное растение или клетка могут содержать одну или более введенных искусственным образом направленный мутаций.

[0035] В настоящей заявке термин «выделенный» в отношении нуклеиновой кислоты (например, олигонуклеотида, такого как РНК, ДНК или смешанного полимера) относится к нуклеиновой кислоте, отделенной от существенной части генома, в котором она присутствует в природе и/или по существу отделенной от других компонентов клетки, которые сопровождают такую нуклеиновую кислоту в природе. Например, любая нуклеиновая кислота, полученная синтетическим путем (например, посредством серийной конденсации оснований) считается выделенной. Сходным образом, нуклеиновые кислоты, рекомбинантным образом экспрессируемые, клонированные, полученные с помощью реакции удлинения праймера (например, ПЦР), или иным образом вырезанные из генома, также считаются выделенными.

[0036] В настоящей заявке термин «аминокислотная последовательность» относится к полипептидной или белковой последовательности. Выражение «AAwt###AAmut» используют для обозначения мутации, приводящей к земене аминокислоты дикого типа AAwt в положении ### в полипептиде мутантной AAmut.

[0037] В настоящей заявке термин «комплемент» относится к комплементарной последовательности нуклеиновой кислоты в соответствии со стандартными правилами спаривания по Уотсону-Крику. Комплементарная последовательность может также представлять собой последовательность РНК, комплементарную последовательности ДНК или комплементарной ей последовательности, а также может представлять собой кДНК.

[0038] В настоящей заявке термин «по существу комплементарный» относится к двум последовательностям, которые гибридизуются в условиях гибридизации, близких к строгим. Специалисту в данной области техники будет понятно, что по существу комплементарные последовательности не обязательно должны гибридизоваться на протяжении всей длины.

[0039] В настоящей заявке термин «кодон» относится к последовательности трех смежных нуклеотидов (РНК или ДНК), составляющей генетический код, определяющий вставку конкретной аминокислоты в полипептидную цепь в процессе синтеза белка, или сигнал к остановке синтеза белка. Термин «кодон» также относится к соответствующим (и

комплементарным) последовательностям трех нуклеотидов в матричной РНК, в которую транскрибируется исходная ДНК.

[0040] В настоящей заявке термин «гомология» относится к сходству последовательностей белков и ДНК. Термин «гомология» или «гомологичный» относится к степени идентичности. Гомология может быть частичной или полной. Частично гомологичная последовательность представляет собой такую последовательность, которая менее на 100% идентична другой последовательности.

[0041] В настоящей заявке термин «приблизительно» в количественном выражении означает плюс или минус 10%. Например, «приблизительно 3%» охватывает диапазон 2,7–3,3%, а «приблизительно 10%» охватывает 9–11%. Далее, в тех случаях, когда термин «приблизительно» используется в настоящей заявке в отношении количественной характеристики, понятно, что помимо значений, соответствующих плюс или минус 10%, он также охватывает и описывает точное значение количественной характеристики. Например, термин «приблизительно 3%» однозначно охватывает, описывает и включает «точно 3%».

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0042] На Фиг. 1 представлена последовательность аминокислот хлоропластного (пластидного) белка PPX *Arabidopsis thaliana* (SEQ ID NO: 1).

[0043] На Фиг. 2 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК *Arabidopsis thaliana* хлоропластного (пластидного) PPX (SEQ ID NO: 2).

[0044] На Фиг. 3 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Arabidopsis thaliana* (SEQ ID NO: 3).

[0045] На Фиг. 4 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК *Arabidopsis thaliana* митохондриального PPX (SEQ ID NO: 4).

[0046] На Фиг. 5 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Amaranthus tuberculatus* (SEQ ID NO: 5).

[0047] На Фиг. 6 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК митохондриального PPX *Amaranthus tuberculatus* (SEQ ID NO: 6).

[0048] На Фиг. 7 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Solanum tuberosum* StcPPX (SEQ ID NO: 7).

[0049] На Фиг. 8 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК пластидного PPX *Solanum tuberosum* (SEQ ID NO: 8).

[0050] На Фиг. 9 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Solanum tuberosum* (SEQ ID NO: 9).

[0051] На Фиг. 10 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК митохондриального PPX *Solanum tuberosum* (SEQ ID NO: 10).

[0052] На Фиг. 11 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Zea mays* (SEQ ID NO: 11).

[0053] На Фиг. 12 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК пластидного PPX *Zea mays* (SEQ ID NO: 12).

[0054] На Фиг. 13 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Zea mays* (SEQ ID NO: 13).

[0055] На Фиг. 14 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК митохондриального PPX *Zea mays* (SEQ ID NO: 14).

[0056] На Фиг. 15 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Oryza sativa* (SEQ ID NO: 15).

[0057] На Фиг. 16 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК пластидного PPX *Oryza sativa* (SEQ ID NO: 16).

[0058] На Фиг. 17 представлена последовательность аминокислот кДНК митохондриального белка PPX *Oryza sativa* (SEQ ID NO: 17).

[0059] На Фиг. 18 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК митохондриального PPX *Oryza sativa* (SEQ ID NO: 18).

[0060] На Фиг. 19 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Sorghum bicolor* (SEQ ID NO: 19).

[0061] На Фиг. 20 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК пластидного PPX *Sorghum bicolor* (SEQ ID NO: 20).

[0062] На Фиг. 21 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Sorghum bicolor* (SEQ ID NO: 21).

[0063] На Фиг. 22 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК митохондриального PPX *Sorghum bicolor* (SEQ ID NO: 22).

[0064] На Фиг. 23 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Ricinus communis* (SEQ ID NO: 23).

[0065] На Фиг. 24 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК пластидного PPX *Ricinus communis* (SEQ ID NO: 24).

[0066] На Фиг. 25 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Ricinus communis* (SEQ ID NO: 25).

[0067] На Фиг. 26 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК митохондриального PPX *Ricinus communis* (SEQ ID NO: 26).

[0068] На Фиг. 27 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Solanum tuberosum* StmPPX1 (SEQ ID NO: 27).

[0069] На Фиг. 28 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК митохондриального PPX *Solanum tuberosum* StmPPX1 (SEQ ID NO: 28).

[0070] На Фиг. 29 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Solanum tuberosum* StmPPX2.1 (SEQ ID NO: 29).

[0071] На Фиг. 30 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК митохондриального PPX *Solanum tuberosum* StmPPX2.1 (SEQ ID NO: 30).

[0072] На Фиг. 31 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Solanum tuberosum* StmPPX2.2 (SEQ ID NO: 31).

[0073] На Фиг. 32 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК митохондриального PPX *Solanum tuberosum* StmPPX2.2 (SEQ ID NO: 32).

[0074] На Фиг. 33 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Brassica napus* BncPPX1 (SEQ ID NO: 33).

[0075] На Фиг. 34 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК PPX *Brassica napus* BncPPX1 (SEQ ID NO: 34).

[0076] На Фиг. 35 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Brassica napus* BncPPX2 (SEQ ID NO: 35).

[0077] На Фиг. 36 представлена последовательность нуклеиновой кислоты кДНК PPX *Brassica napus* BncPPX2 (SEQ ID NO: 36).

[0078] На Фиг. 37 представлена часть последовательности аминокислот пластидного белка PPX *Brassica napus* BncPPX3 (SEQ ID NO: 37).

[0079] На Фиг. 38 представлена часть последовательности нуклеиновой кислоты кДНК PPX *Brassica napus* BncPPX3 (SEQ ID NO: 38).

[0080] На Фиг. 39 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Glycine max* GmcPPX1-1 (SEQ ID NO: 39).

[0081] На Фиг. 40 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Glycine max* GmcPPX1-2 (SEQ ID NO: 40).

[0082] На Фиг. 41 представлена последовательность нуклеиновой кислоты пластидного белка PPX *Glycine max* GmcPPX1 (SEQ ID NO: 41).

0083] На Фиг. 42 представлена последовательность аминокислот пластидного белка PPX *Glycine max* GmcPPX2 (SEQ ID NO: 42).

[0084] На Фиг. 43 представлена последовательность нуклеиновой кислоты пластидного белка PPX *Glycine max* GmcPPX2 (SEQ ID NO: 43).

0085] На Фиг. 44 представлена последовательность аминокислот митохондриального белка PPX *Glycine max* GmcPPX (SEQ ID NO: 44).

[0086] На Фиг. 45 представлена последовательность нуклеиновой кислоты митохондриального белка PPX *Glycine max* GmcPPX (SEQ ID NO: 45).

[0087] На Фиг. 46 приведено выравнивание белков PPX различных видов растений.

[0088] На Фиг. 47 представлена таблица гомологичных положений аминокислот аминокислотных последовательностей PPX растений различных видов.

[0089] На Фиг. 48 представлена таблица гомологичных положений аминокислот аминокислотных последовательностей PPX растений различных видов.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Система быстрого проявления признака (*RTDS*™)

[0090] Согласно любому из различных аспектов и вариантов реализации композиций и способов, описанных в настоящей заявке, мутации в генах и белках могут быть осуществлены с применением, например, «системы быстрого проявления признака» (***RTDS***™), технологии, разработанной Cibus. В комбинации или по отдельности, растения, содержащие любую из мутации, описанных в настоящей заявке, могут формировать основу для новых устойчивых к гербицидам продуктов. Также предложены семена, полученные из мутантных растений, в которых гены PPX либо гомозиготны, либо гетерозиготны по указанным мутациям. Мутации, описанные в настоящей заявке, могут

быть скомбинированы с любой другой известной мутацией или с мутациями, которые будут открыты в будущем.

[0091] В настоящей заявке термин «гетерозиготный» относится к присутствию разных аллелей в одном или более генном локусе в гомологичных хромосомных сегментах. В настоящей заявке термин «гетерозиготный» может также относиться к образцу, клетке, популяции клеток или организму, в котором(ой) могут обнаруживаться разные аллели в одном или более генном локусе. Гетерозиготные образцы могут также быть определены с помощью известных в данной области техники способов, таких как, например, секвенирование нуклеиновых кислот. Так, если электрофореграмма при секвенировании показывает два пика в одном локусе, и оба пика имеют примерно одинаковый размер, данный образец может быть охарактеризован как гетерозиготный. Либо, если один пик меньше другого, но его размер составляет по меньшей мере приблизительно 25% от размера большего пика, данный образец может быть охарактеризован как гетерозиготный. Согласно некоторым вариантам реализации размер меньшего пика составляет по меньшей мере приблизительно 15% от большего пика. Согласно другим вариантам реализации размер меньшего пика составляет по меньшей мере приблизительно 10% от большего пика. Согласно другим вариантам реализации размер меньшего пика составляет по меньшей мере приблизительно 5% от большего пика. Согласно другим вариантам реализации обнаруживается минимальный размер меньшего пика.

[0092] В настоящей заявке термин «гомозиготный» относится к присутствию идентичных аллелей в одном или более генном локусе в гомологичных хромосомных сегментах. «Гомозиготный» может также относиться к образцу, клетке, популяции клеток или организму, в котором могут обнаруживаться одни и те же аллели в одном или более генном локусе. Гомозиготные образцы могут быть определены посредством известных в данной области техники способов, таких как, например, секвенирование нуклеиновых кислот. Так, если электрофореграмма при секвенировании показывает одиночный пик в конкретном локусе, данный образец может быть назван «гомозиготным» по этому локусу.

[0093] Термин «гемизиготный» относится к гену или сегменту гена, присутствующему в генотипе клетки или организма в единственном числе ввиду того, что вторая аллель делетирована. В настоящей заявке термин «гемизиготный» может также относиться к

образцу, клетке, популяции клеток или организму, в котором аллель в одном или более генном локусе обнаруживается в генотипе в единственном числе.

[0094] Согласно некоторым вариантам реализации *RTDS* основана на изменении гена-мишени за счет применения собственной клеточной системы репарации генов для специфичной модификации генной последовательности in situ, без встраивания чужеродной ДНК и/или контролирующих экспрессию генов последовательностей. Эта процедура позволяет вносить высокоточные изменения в генетическую последовательность, в то время как остальная часть генома остается неизменной. В отличие от общепринятых трансгенных ГМО, отсутствует встраивание чужеродного генетического материала, и никакой чужеродный генетический материал не остается в растении. Согласно многим вариантам реализации изменения в генетической последовательности, введенные с помощью *RTDS*, встраиваются неслучайным образом. За счет того, что подвергающиеся воздействию гены сохраняют природную локализацию, отсутствует случайное, неконтролируемое или неблагоприятное действие экспрессионного вектора.

[0095] *RTDS*, обеспечивающая указанное изменение, представляет собой химически синтезированный олигонуклеотид (например, с применением олигонуклеотида репарации генов (GRON)), который может состоять как из ДНК-, так и из модифицированных РНК-оснований, а также других химических фрагментов, и сконструирован так, чтобы гибридизоваться с целевой локализацией в гене с образованием ошибочно спаренных(ой) пар(ы) оснований. Такая ошибочно спаренная пара оснований действует как сигнал для привлечения клеточной собственной природной системы репарации генов к этому участку и коррекции (замены, вставки или делеции) указанного(ых) нуклеотида(ов) в составе гена. По завершении процесса коррекции молекула *RTDS* распадается и новомодифицированный или репарированный ген экспрессируется под контролем нормальных для гена эндогенных контрольных механизмов.

Олигонуклеотиды генной репарации («GRON»)

[0096] Способы и композиции, описанные в настоящей заявке, могут быть применены или реализованы с использованием «олигонуклеотидов для генной репарации», например, имеющих конформации и химические свойства согласно приведенному ниже подробному описанию. «Олигонуклеотида для генной репарации» в контексте настоящей заявки также

были описаны в опубликованных научных и патентных источниках с применением других названий, включая «рекомбинагенные олигонуклеотида»; «РНК/ДНК гибридные олигонуклеотиды»; «гибридные олигонуклеотиды»; «смешанные дуплексные олигонуклеотиды» (MDON); «РНК ДНК олигонуклеотиды (RDO)»; «олигонуклеотиды для направленного воздействия на гены (таргетинга)»; «генопласты»; «одноцепочечные модифицированные олигонуклеотиды»; «одноцепочечные олигодезоксинуклеотидные мутационные векторы» (SSOMV); «дуплексные мутационные векторы» и «гетеродуплексные мутационные векторы».

[0097] Олигонуклеотиды, обладающие конформациями и химическими свойствами согласно описанию Kmiec в патентах США №5565350 (Kmiec I) и №5731181 (Kmiec II), включенных в настоящую заявку посредством ссылок, подходят для применения в качестве «олигонуклеотидов для генной репарации» согласно настоящему изобретению. Олигонуклеотида репарации генов по Kmiec I и/или Kmiec II содержат две комплементарных нити, одна из которых содержит по меньшей мере один сегмент нуклеотидов РНК-типа («РНК-сегмент»), спаренных с нуклеотидами ДНК-типа другой нити.

[0098] Согласно описанию в Kmiec II не-нуклеотиды, содержащие пуриновые и пиримидиновые основания, могут быть заменены нуклеотидами. Дополнительные молекулы для репарации генов, которые могут применяться в целях настоящего изобретения, включают, но не ограничиваясь перечисленными, описанные в патентах США №5756325; 5871984; 5760012; 5888983; 5795972; 5780296; 5945339; 6004804 и 6010907; в международном патенте №PCT/US00/23457; и в международных патентных публикациях WO 98/49350; WO 99/07865; WO 99/58723; WO 99/58702 и WO 99/40789, включенных в настоящую заявку по всей полноте.

[0099] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями олигонуклеотида репарации генов могут представлять собой смешанные дуплексные олигонуклеотиды (MDON), в которых нуклеотидам РНК-типа смешанного дуплексного олигонуклеотида придана устойчивость к РНКазе за счет замещения 2'-гидроксила фтор-, хлор- или бром-содержащей функциональной группой или введения заместителя по 2'-О. Подходящие заместители включают заместители, описанные в Kmiec II. Альтернативные заместители могут

включать, не ограничиваясь перечисленными, заместители, описанные в патенте США №5334711 (Sproat), и заместители, описанные в патентных публикациях EP 629 387 и EP 679 657 (обобщенно – «заявки Martin» (Martin Applications)), которые включены в настоящую заявку посредством ссылок. В контексте настоящей заявки 2'-фтор, хлор- или бром- производное рибонуклеотида, либо рибонуклеотида с 2'-OH, замещенным заместителем, описанным в заявках Martin или Sproat, называется «2'-замещенным рибонуклеотидом». В контексте настоящей заявки термин «нуклеотид РНК-типа» означает 2'-гидроксил или 2'-замещенный нуклеотид, который связан с другими нуклеотидами смешанного дуплексного олигонуклеотида незамещенной фосфодиэфирной связью или любой не-натуральной связью из описанных в Kmiec I или Kmiec II. В контексте настоящей заявки термин «нуклеотид дезоксирибо-типа» означает нуклеотид, содержащий 2'-H, который может быть связан с другими нуклеотидами олигонуклеотида репарации генов незамещенной фосфодиэфирной связью или любой не-натуральной связью согласно Kmiec I или Kmiec II.

[0100] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, олигонуклеотид для репарации генов может представлять собой смешанный дуплексный олигонуклеотид (MDON), связанный исключительно незамещенными фосфодиэфирными связями. Согласно альтернативным вариантам реализации связь осуществляется за счет замещенных фосфодиэфиров, производных фосфодиэфиров и связей не на основе фосфора согласно описанию в Kmiec II. Согласно еще одному варианту реализации каждый нуклеотид РНК-типа в смешанном дуплексном олигонуклеотиде представляет собой 2'-замещенный нуклеотид. В частности, предпочтительные варианты реализации 2'-замещенных рибонуклеотидов включают, не ограничиваясь перечисленными, 2'-фтор, 2'-метокси, 2'-пропилокси, 2'-аллиокси, 2'-гидроксилэтилокси, 2'-метоксиэтилокси, 2'-фторпропилокси и 2'-трифторпропилокси-замещенные рибонуклеотиды. Более предпочтительные варианты реализации 2'-замещенных рибонуклеотидов представлены 2'-фтор, 2'-метокси, 2'-метоксиэтилокси и 2'-аллиокси-замещенными нуклеотидами. Согласно другому варианту реализации смешанный дуплексный олигонуклеотид связан посредством незамещенных фосфодиэфирных связей.

[0101] Несмотря на то, что смешанные дуплексные олигонуклеотиды (MDON), содержащие только один тип 2'-замещенных нуклеотидов РНК-типа, удобнее для синтеза, способы согласно настоящему изобретению могут также включать применение смешанных дуплексных олигонуклеотидов, содержащих два или более типа нуклеотидов РНК-типа. На функцию РНК-сегмента может и не влиять разрыв, вызванный введением дезоксинуклеотида между двумя тринуклеотидами РНК-типа, соответственно, термин «РНК-сегмент» охватывает такие термины, как «прерванный РНК-сегмент». Непрерывный РНК-сегмент называется сплошным РНК-сегментом. Согласно альтернативному варианту реализации РНК-сегмент может содержать чередующиеся устойчивые к РНКазе и незамещенные 2'-ОН нуклеотиды. Указанные смешанные дуплексные олигонуклеотиды предпочтительно содержат менее 100 нуклеотидов, более предпочтительно, менее 85 нуклеотидов, но более 50 нуклеотидов. Первая и вторая нити спарены по Уотсону-Крику. Согласно одному из вариантов реализации нити смешанного дуплексного олигонуклеотида ковалентно связаны линкером, таким как одноцепочечный гекса-, пента- или тетрануклеотид, таким образом, что первая и вторая нити представляют собой сегменты одной олигонуклеотидной цепи, имеющей один 3' и один 5'-конец. Указанные 3'- и 5'-концы могут быть защищены добавлением «шпилькообразного кэпа», отличающегося тем, что 3'- и 5'-концевые нуклеотиды спарены по Уотсону-Крику со смежными нуклеотидами. Второй шпилькообразный кэп может дополнительно присутствовать в месте соединения первой и второй нитей, удаленном от 3'- и 5'-концов, стабилизируя спаривание по Уотсону-Крику между первой и второй нитями.

[0102] Указанные первая и вторая нити содержат две области, гомологичные двум фрагментам целевого гена, т.е. имеющие ту же последовательность, что и целевой ген. Гомологичная область содержит нуклеотиды РНК-сегмента и может содержать один или более нуклеотид ДНК-типа соединяющего ДНК-сегмента, а также может содержать нуклеотиды ДНК-типа, не входящие в состав вставочного ДНК-сегмента. Указанные две области гомологии разделены областью, содержащей последовательность, отличающуюся от последовательности целевого гена и называемую «гетерологичной областью»; и каждая из них примыкает к ней. Указанная гетерологичная область может содержать один, два или три ошибочно спаренных нуклеотида. Указанные ошибочно спаренные нуклеотиды могут быть сплошными или, В одном из вариантов могут быть разделены одним или

двумя нуклеотидами, гомологичными целевому цену. В одном из вариантов указанная гетерологичная область может также содержать вставку из одного, двух, трех, или из пяти или менее нуклеотидов. В одном из вариантов последовательность смешанного дуплексного олигонуклеотида может отличаться от последовательности целевого гена только делецией одного, двух, трех, или пяти или менее нуклеотидов из смешанного дуплексного олигонуклеотида. Длина и расположение гетерологичной области в этом случае соответствуют длине делеции, даже если в составе указанной гетерологичной области отсутствуют нуклеотиды смешанного дуплексного олигонуклеотида. Расстояние между фрагментами целевого гена, комплементарными двум гомологичным областям, идентично длине гетерологичной области, где планируется замена или замены. Если гетерологичная область содержит вставку, указанные гомологичные области за счет этого разнесены в смешанном дуплексном олигонуклеотиде на большее расстояние по сравнению с комплементарными им гомологичными фрагментами в гене; если гетерологичная область кодирует делецию, справедливо обратное.

[0103] Каждый из РНК-сегментов смешанных дуплексных олигонуклеотидов представляет собой часть гомологичной области, т.е. области, идентичной по последовательности фрагменту целевого гена; указанные сегменты в совокупности предпочтительно содержат по меньшей мере 13 нуклеотидов РНК-типа и предпочтительно от 16 до 25 нуклеотидов РНК-типа, или, еще более предпочтительно, 18-22 нуклеотидов РНК-типа, или, наиболее предпочтительно, 20 нуклеотидов. Согласно одному из вариантов реализации РНК-сегменты гомологичных областей разделены промежуточным ДНК-сегментом и смежны с ним, т.е. «соединены» им. Согласно одному из вариантов реализации каждый нуклеотид гетерологичной области представляет собой нуклеотид промежуточного ДНК-сегмента. Промежуточный ДНК-сегмент, который содержит гетерологичную область смешанного дуплексного олигонуклеотида, называется «мутаторным сегментом».

[0104] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, олигонуклеотид для репарации генов (GRON) может представлять собой одноцепочечный олигодезоксинуклеотидный мутационный вектор (SSOMV), например, такой как описанный в международной заявке на патент PCT/US00/23457, патентах США №6271360, №6479292 и №7060500,

включенных в настоящую заявку по всей полноте посредством ссылок.

Последовательность SSOMV основана на тех же принципах, что и мутационные векторы, описанные, например, в патентах США №№5756325, 5871984, 5760012, 5888983, 5795972, 5780296, 5945339, 6004804 и 6010907 и в международных публикациях №№WO 98/49350, WO 99/07865, WO 99/58723, WO 99/58702 и WO 99/40789. Последовательность SSOMV содержит две области, гомологичные целевой последовательности, разделенные областью, называемой мутаторной областью, которая содержит требуемое генетическое изменение. Указанная мутаторная область может иметь последовательность той же длины, что и последовательность, разделяющая гомологичные области в целевой последовательности, но отличающуюся. Такая мутаторная область может вызывать замену. В одном из вариантов гомологичные области в SSOMV могут быть последовательными относительно друг друга, в то время как области в целевом гене, имеющие ту же последовательность, разделены одним, двумя или более нуклеотидами. Такой SSOMV приводит к удалению из целевого гена нуклеотидов, отсутствующих в указанном SSOMV. Наконец, последовательность целевого гена, идентичная гомологичным областям, может быть смежной в целевом гене, но разделенной одним, двумя или более нуклеотидами в последовательности SSOMV. Такой SSOMV приводит к вставке в последовательности целевого гена.

[0105] Нуклеотиды SSOMV представляют собой дезоксирибонуклеотиды, связанные немодифицированными фосфодиэфирными связями за исключением того, что 3'-конечная и/или 5'-конечная межнуклеотидная связь или, В одном из вариантов две 3'-конечные и/или 5'-конечные межнуклеотидные связи могут быть фосфотиоатными или фосфоамидатными. В контексте настоящей заявки межнуклеотидная связь представляет собой связь между нуклеотидами SSOMV и не включает связь между 3'-концевым нуклеотидом или 5'-концевым нуклеотидом и блокирующим заместителем. Согласно конкретному варианту реализации длина SSOMV составляет от 21 до 55 дезоксинуклеотидов, а длины гомологичных областей равны, соответственно, общей длине по меньшей мере 20 дезоксинуклеотидов, и по меньшей мере две гомологичные области каждая должны иметь длину, составляющую по меньшей мере 8 дезоксинуклеотидов.

[0106] SSOMV может быть сконструирован так, чтобы быть комплементарным либо кодирующей, либо некодирующей нити целевого гена. Если требуемая мутация представляет собой замену одного основания, предпочтительно, чтобы и мутаторный нуклеотид, и нуклеотид-мишень представляли собой пиримидин. В том случае, если это согласуется с достижением требуемого функционального результата, предпочтительно, чтобы и мутаторный нуклеотид, и нуклеотид-мишень в комплементарной нити представляли собой пиримидины. В частности, предпочтительными являются такие SSOMV, которые кодируют трансверсионные мутации, т.е. C или T мутаторный нуклеотид ошибочно спаривается, соответственно, с нуклеотидом C или T в комплементарной нити.

[0107] Помимо олигодезоксинуклеотида, SSOMV может содержать 5'-блокирующий заместитель, присоединенный к 5'-конечным углеродам через линкер. Химия линкера не критична, в отличие от его длины, которая предпочтительно составляет по меньшей мере 6 атомов, а также того, что линкер должен быть гибким. Могут применяться различные нетоксичные заместители, такие как биотин, холестерин или другие стероиды, либо неинтеркалирующий катионный флуоресцентный краситель. В частности, предпочтительными реагентами для получения SSOMV являются реагенты, продаваемые как Cy3™ и Cy5™ компанией Glen Research, Стерлинг, Виргиния (в настоящее время – GE Healthcare), которые представляют собой блокированные фосфороамидиты, при введении в олигонуклеотид дающие 3,3,3',3'-тетраметил N,N'-изопропил-замещенные индомонокарбоцианиновые и индодикарбоцианиновые красители, соответственно. Cy3 особенно предпочтителен. Если индокарбоцианин является N-оксиалкил-замещенным, он может быть удобно присоединен к 5'-концу олигодезоксинуклеотида в виде фосфодиэфира с 5'-концевым фосфатом. Химия линкера красителя между красителем и олигодезоксинуклеотидом не критичная, и его выбирают исходя из удобства синтеза. При применении по назначению коммерчески доступного фосфороамидита Cy3 результирующая 5'-модификация состоит из блокирующего заместителя и линкера, которые вместе составляют N-гидроксипропил-, N'-фосфатидилпропил-3,3,3',3'-тетраметилиндомонокарбоцианин.

[0108] Согласно предпочтительному варианту реализации индокарбоцианиновый краситель является тетра-замещенным по положениям 3 и 3' индольных колец. Без

определенного теоретического обоснования можно считать, что указанные замещения не позволяют красителю быть интеркалирующим красителем. Природа заместителей в этих положениях не критична. SSOMV может дополнительно содержать 3'-блокирующий заместитель. В этом случае также химия указанного 3'-блокирующего заместителя не критична.

[0109] Описанные в настоящей заявке мутации могут также быть осуществлены путем мутагенеза (случайного, соматического или направленного) и любых других техник «редактирования» ДНК или рекомбинации, включая, но не ограничиваясь перечисленными, направленное воздействие на гены с применением сайт-специфической гомологичной рекомбинации при помощи нуклеаз «цинковые пальцы».

Доставка олигонуклеотидов репарации генов в растительные клетки

[0110] Любой общеизвестный способ, подходящий для трансформации растительной клетки, может применяться для доставки олигонуклеотидов репарации генов. Примеры способов описаны ниже.

Микроносители и микроволокна

[0111] Применение металлических микроносителей (микросфер) для введения больших фрагментов ДНК в растительные клетки с целлюлозными клеточными стенками путем проникновения бомбардирующих частиц общеизвестно специалистам в соответствующей области техники (здесь и далее – биолистической доставки). В патентах США №4945050; 5100792 и 5204253 описаны общие методы выбора микроносителей и устройств для бомбардировки ими.

[0112] Конкретные условия применения микроносителей в способах согласно настоящей заявке описаны в международной публикации WO 99/07865. Согласно иллюстративной методике охлажденные до температуры льда микроносители (60 мг/мл), смешанный дуплексный олигонуклеотид (60 мг/мл) 2,5 М $CaCl_2$ и 0,1 М спермидина добавляют в указанном порядке; смесь осторожно перемешивают, например, на вортексе, в течение 10 минут, и затем оставляют при комнатной температуре на 10 минут, после чего микроносители разводят в 5 объемах этанола, центрифугируют и ресуспендируют в 100% этаноле. Хорошие результаты могут быть получены при концентрации в адгезивном растворе 8-10 мкг/мкл микроносителей, 14-17 мкг/мл смешанного дуплексного олигонуклеотида, 1,1-1,4 М $CaCl_2$ и 18-22 мМ спермидина. Оптимальные результаты

наблюдались в условиях с 8 мкг/мкл микроносителей, 16,5 мкг/мл смешанного дуплексного олигонуклеотида, 1,3 М $CaCl_2$ и 21 мМ спермидина.

[0113] Олигонуклеотиды репарации генов могут также быть введены в растительные клетки для применения согласно настоящему описанию с использованием микроволокон для прохождения через клеточную стенку и клеточную мембрану. В патенте США №5302523 (Coffee *et al.*) описано применение 30×0,5 мкм и 10×0,3 мкм волокон карбида кремния для облегчения трансформации суспензионных культур кукурузы Black Mexican Sweet. Любые физические методы, подходящие для введения ДНК для трансформации растительной клетки с применением микроволокон, могут применяться для доставки олигонуклеотидов для репарации генов для трансмутации.

[0114] Пример методики доставки олигонуклеотидов репарации генов с помощью микроволокон выглядит следующим образом: Стерильные микроволокна (2 мкг) суспендируют в 150 мкл культуральной среды для растений, содержащей приблизительно 10 мкг смешанного дуплексного олигонуклеотида. Суспензионной культуре дают осесть; равные объемы клеточного осадка и стерильной суспензии волокна/нуклеотид перемешивают на вортексе в течение 10 минут, и высевают. Селективные среды применяют сразу или с задержкой до приблизительно 120 ч в зависимости от требований для конкретного признака.

Электропорация протопластов

[0115] Согласно альтернативному варианту реализации олигонуклеотиды репарации генов могут быть доставлены в растительную клетку посредством электропорации протопласта, полученного из частей растений. Указанные протопласты получают при помощи обработки частей растений ферментами, в частности, листа, в соответствии с методиками, общеизвестными специалистам в данной области техники. См., например, Gallois *et al.*, 1996, в MethOПs in Molecular Biology 55:89-107, Humana Press, Totowa, N.J.; Kipp *et al.*, 1999, в MethOПs in Molecular Biology 133:213-221, Humana Press, Totowa, N.J. Указанные протопласты не нуждаются в культивировании на ростовых средах перед электропорацией. Иллюстративные условия для электропорации – 3×10^5 протопластов в общем объеме 0,3 мл с концентрацией олигонуклеотида репарации генов от 0,6 до 4 мкг/мл.

ПЭГ-опосредованный захват ДНК протопластами

[0116] Согласно альтернативному варианту реализации нуклеиновые кислоты захватываются растительными протопластами в присутствии мембраномодифицирующего агента полиэтиленгликоля, в соответствии с методиками, общеизвестными специалистам в данной области техники (см., например, Gharti-Chhetri *et al.*, 1992; Datta *et al.*, 1992).

Микроинъецирование

[0117] Согласно альтернативному варианту реализации олигонуклеотида репарации генов могут быть доставлены инъецированием через микрокапилляр в растительные клетки или в протопласты (см., например, Miki *et al.*, 1989; Schnorf *et al.*, 1991).

Трансгеника

[0118] Согласно любому из различных аспектов и вариантов реализации композиций и способов, описанных в настоящей заявке, мутации в генах и белках могут быть получены с применением, например, трансгенной технологии. Согласно некоторым вариантам реализации указанные композиции и способы включают растение или растительную клетку, содержащее(ую) трансформированную конструкцию нуклеиновой кислоты, включающую промотор, функционально связанный с описанным в настоящей заявке нуклеотидом PPX. Способы согласно настоящему изобретению могут включать введение описанной в настоящей заявке конструкции нуклеиновой кислоты PPX по меньшей мере в одну растительную клетку и регенерирование из нее трансформированного растения. Указанная конструкция нуклеиновой кислоты содержит по меньшей мере один нуклеотид, который кодирует устойчивый к гербицидам белок PPX согласно описанию в настоящей заявке, в частности, нуклеотидные последовательности из приведенных на Фигурах 2, 4, 6, 8, 10 и 12, и их фрагменты и варианты. Указанные способы также включают применение промотора, способного управлять генной экспрессией в растительной клетке. Согласно одному из вариантов реализации такой промотор представляет собой конститутивный промотор или тканеселективный промотор. Растение, полученное с помощью указанных способов, может обладать повышенной активностью PPX, и/или, в частности, активностью устойчивого к гербицидам PPX, по сравнению с нетрансформированным растением. Соответственно, указанные способы находят применение для усиления или увеличения устойчивости растений по меньшей мере к одному гербициду, что увеличивает активность фермента PPX, в частности, в присутствии Ингибирующего PPX гербицида.

[0119] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями способы получения устойчивого к гербицидам растения могут включать трансформирование растительной клетки конструкцией нуклеиновой кислоты, содержащей нуклеотидную последовательность, функционально связанную с промотором, управляющим экспрессией в растительной клетке, и регенерирование трансформированного растения из указанной трансформированной растительной клетки. Указанная нуклеотидная последовательность выбрана из таких нуклеотидных последовательностей, которые кодируют устойчивые к гербицидам PPX, описанные в настоящей заявке, в частности, из нуклеотидных последовательностей, приведенных на фиг. 2, 4, 6, 8, 10 и 12, и их фрагментов и вариантов. Устойчивое к гербицидам растение, полученное указанным способом, обладает повышенной устойчивостью, по сравнению с нетрансформированным растением, по меньшей мере к одному гербициду, в частности, гербициду, влияющему на активность фермента PPX, такому как, например, Гербицид, ингибирующий PPX.

[0120] Описанные молекулы нуклеиновых кислот могут применяться в конструкциях нуклеиновой кислоты для трансформации растений, например, сельскохозяйственных растений, таких как *Solanum tuberosum*. Согласно одному из вариантов реализации такие конструкции нуклеиновой кислоты, содержащие молекулы нуклеиновых кислот согласно настоящему описанию, могут применяться для получения трансгенных растений, обладающих устойчивостью к гербицидам, например, известным подавляющим активность PPX гербицидам, таким как PPX-ингибирующие гербициды. Указанные конструкции нуклеиновой кислоты могут применяться в экспрессионных кассетах, экспрессионных векторах, трансформирующих векторах, плазмидах и т.п. Трансгенные растения, полученные после трансформации такими конструкциями, демонстрируют повышенную устойчивость к PPX-ингибирующим гербицидам, таким как, например, гербициды флумиоксазин и сульфентразон.

Конструкции

[0121] Молекулы нуклеиновых кислот, описанные в настоящей заявке (например, мутантные гены PPX) могут применяться при получении рекомбинантных конструкций нуклеиновой кислоты. Согласно одному из вариантов реализации молекулы нуклеиновых кислот согласно настоящему описанию могут применяться при получении конструкций

нуклеиновой кислоты, например, экспрессионных кассет для экспрессия в представляющем интерес растении.

[0122] Экспрессионные кассеты может включать регуляторные последовательности, функционально связанные с последовательностями нуклеиновых кислот PPX, описанными в настоящей заявке. Указанная кассета может дополнительно содержать по меньшей мере один дополнительный ген, которым котрансформируют организм. В одном из вариантов указанный(ые) дополнительный(ые) ген(ы) могут быть заключены в нескольких экспрессионных кассетах.

[0123] Указанные конструкции нуклеиновой кислоты могут содержать множество сайтов рестрикции для вставки последовательностей нуклеиновой кислоты PPX, с регуляцией их транскрипции регуляторными областями. Указанные конструкции нуклеиновой кислоты могут дополнительно содержать молекулы нуклеиновых кислот, кодирующие гены маркеров селекции.

[0124] При получении указанных конструкций нуклеиновой кислоты может применяться любой промотор. Указанный промотор может быть нативным или аналогичным, чужеродным или гетерологичным для растения-хозяина и/или последовательностям нуклеиновых кислот PPX, описанным в настоящей заявке. Кроме того, указанный промотор может представлять собой природную последовательность или В одном из вариантов синтетическую последовательность. В том случае, если промотор является «чужеродным» или «гетерологичным» для растения-хозяина, предполагается, что указанный промотор не обнаруживается в природном растении, в которое вводят указанный промотор. В том случае, если указанный промотор является «чужеродным» или «гетерологичным» последовательностям нуклеиновых кислот PPX, описанным в настоящей заявке, предполагается, что указанный промотор не является нативным или встречающимся в природе промотором для функционально связанных последовательностей нуклеиновых кислот PPX, описанных в настоящей заявке. В контексте настоящей заявки гибридный ген содержит кодирующую последовательность, функционально связанную с областью инициации транскрипции, гетерологичной указанной кодирующей последовательности.

[0125] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, последовательности нуклеиновых кислот

PPX, описанные в настоящей заявке, могут быть экспрессированы с применением гетерологичных промоторов; при получении указанных конструкций могут применяться последовательности нативного промотора. Такие конструкции изменяют уровни экспрессии белка PPX в растении или растительной клетке. Соответственно, изменяется фенотип указанного(ой) растения или растительной клетки.

[0126] При получении конструкций для контроля экспрессии кодирующей последовательности PPX могут применяться любые промоторы, такие как промоторы для конститутивной, тканеселективной, индуцируемой экспрессии, или другие промоторы для экспрессии в растениях. Конститутивные промоторы включают, например, коровый промотор промотора Rsyn7 и другие конститутивные промоторы, описанные в WO 99/43 838 и патенте США №6072050; коровый промотор CaMV 35S (OPell et al. (1985) Nature 313:810-812); актина риса (McElroy et al. (1990) Plant Cell 2:163-171); убиквитина (Christensen et al. (1989) Plant Mol. Biol. 12:619-632 и Christensen et al. (1992) Plant Mol. Biol. 18:675-689); pEMU (Last et al. (1991) Theor. Appl. Genet. 81:581-588); MAS (Velten et al. (1984) EMBO J. 3:2723-2730); промотор ALS (патент США №5659026), и т.п. Другие конститутивные промоторы включены, например, в патенты США №5608149; 5608144; 5604121; 5569597; 5466785; 5399680; 5268463; 5608142; и 6177611.

[0127] Тканеселективные промоторы могут применяться для направленной экспрессии PPX в определенной ткани растения. Такие тканеселективные промоторы включают, не ограничиваясь перечисленными, специфичные для листьев промоторы, специфичные для корней промоторы, специфичные для семян промоторы, и специфичные для стеблей промоторы. Тканеселективные промоторы включают Yamamoto et al. (1997) Plant J. 12(2):255-265; Kawamata et al. (1997) Plant Cell Physiol. 38(7):792-803; Hansen et al. (1997) Mol. Gen Genet. 254(3):337-343; Russell et al. (1997) Transgenic Res. 6(2):157-168; Rinehart et al. (1996) Plant Physiol. 1 12(3):1331-1341; Van Camp et al. (1996) Plant Physiol. 1 12(2):525-535; Canevascini et al. (1996) Plant Physiol. 112(2): 513-524; Yamamoto et al. (1994) Plant Cell Physiol. 35(5):773-778; Lam (1994) Results Probl. Cell Differ. 20:181-196; Orozco et al. (1993) Plant Mol Biol. 23(6):1129-1138; Matsuoka et al. (1993) Proc Natl. Acad. Sci. USA 90(20):9586- 9590; и Guevara-Garcia et al. (1993) Plant J. 4(3):495-505.

[0128] Указанные конструкции нуклеиновой кислоты также могут включать области терминации транскрипции. При применении областей терминации транскрипции любая

область терминации может применяться при получении указанных конструкций нуклеиновой кислоты. Например, указанная область терминации может быть нативной для указанной области инициации транскрипции, может быть нативной для функционально связанной представляющей интерес последовательности PPX, может быть нативной для растения-хозяина, или может быть получена из другого источника (т.е. чужеродного или гетерологичного промотору, представляющей интерес молекуле нуклеиновой кислоты PPX, растению-хозяину или любой их комбинации). Примеры областей терминации, доступных для применения в конструкциях согласно настоящему описанию, включают таковые из Ti-плазмиды *A. tumefaciens*, такие как области терминации октопинсинтазы и нопалинсинтазы. См. также Guerineau et al. (1991) Mol. Gen. Genet. 262:141-144; Proudfoot (1991) Cell 64:671-674; Sanfacon et al. (1991) Genes Dev. 5:141-149; Mogen et al. (1990) Plant Cell 2:1261-1272; Munroe et al. (1990) Gene 91:151-158; Ballas et al. (1989) Nucleic Acids Res. 17:7891-7903; и Joshi et al. (1987) Nucleic Acid Res. 15:9627-9639.

[0129] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями нуклеиновые кислоты могут быть оптимизированы для повышения экспрессии в трансформированном растении, то есть нуклеиновые кислоты, кодирующие мутантные белки PPX, могут быть синтезированы с применением кодон-оптимизации для повышения экспрессии в растениях. См., например, описание применения хозяйской кодон-оптимизации у Campbell and Gowri (1990) Plant Physiol. 92:1-11. В данной области техники существуют способы синтеза генов, оптимизированных для растений. См., например, патенты США №5380831 и №5436391, и Murray et al. (1989) Nucleic Acids Res. 17:477-498.

[0130] Кроме того, описанные в настоящей заявке последовательности нуклеиновых кислот могут быть модифицированы иным образом. Например, известно, что дополнительные модификации последовательностей повышают экспрессию в клетках-хозяевах. Такие модификации включают элиминацию последовательностей, кодирующих ложные сигналы полиаденилирования, сигналы сайтов сплайсинга экзонов/интронов, транспозоноподобные повторы и другие такие хорошо изученные последовательности, которые могут оказывать отрицательное действие на генную экспрессию. Содержание G-C в указанной последовательности также может быть скорректировано до уровней,

примерно соответствующих целевым клеткам-хозяевам, согласно подсчетам, основанным на сравнении с известными генами, экспрессируемыми в клетке-хозяине. Кроме того, указанная последовательность может быть модифицирована, чтобы избежать формирования предсказанных вторичных шпилечных структур мРНК.

[0131] Другие последовательности нуклеиновых кислот могут также применяться при получении конструкций согласно настоящему изобретению, например, для повышения экспрессии кодирующей последовательности PPX. Такие последовательности нуклеиновых кислот включают интроны AdhI кукурузы, ген intronl (Callis et al. (1987) Genes and Development 1:1183-1200) и лидерные последовательности (W-последовательность) вируса табачной мозаики (TMV), вируса хлоротичной пятнистости кукурузы и вируса мозаики люцерны (Gallie et al.(1987) Nucleic Acid Res. 15:8693-8711 и Skuzeski et al. (1990) Plant Mol. Biol. 15:65-79, 1990). Было показано, что первый интрон локуса shrunken-1 кукурузы увеличивают экспрессию генов в гибридных генных конструкциях. В патентах США №5424412 и №5593874 описано применение конкретных интронов в конструкциях для генной экспрессии; Gallie et al. ((1994) Plant Physiol. 106:929-939) также показали, что интроны подходят для регуляции генной экспрессии тканеспецифическим образом. Для большего усиления или оптимизации экспрессии гена PPX растительные экспрессионные векторы, описанные в настоящей заявке, могут также содержать последовательности ДНК, содержащие участки прикрепления к матриксу (MAR). Растительные клетки, трансформированные такими модифицированными экспрессионными системами, соответственно, могут демонстрировать сверхэкспрессию или конститутивную экспрессию нуклеотидной последовательности согласно настоящему описанию.

[0132] Экспрессионные конструкции, описанные в настоящей заявке, могут также включать последовательности нуклеиновых кислот, способные направлять экспрессию последовательности PPX в хлоропласты. Такие последовательности нуклеиновых кислот включают нацеленные на хлоропласты последовательности, которые кодируют транзитный пептид хлоропласта для направления представляющего интерес генного продукта в хлоропласты растительной клетки. Такие транзитные пептиды известны в данной области техники. В отношении нацеленных на хлоропласты последовательностей «функционально связанный» означает, что последовательность нуклеиновой кислоты,

кодирующая транзитный пептид (т.е. нацеленная на хлоропласты последовательность) связана с молекулами нуклеиновых кислот PPX, описанными в настоящей заявке, таким образом, что указанные две последовательности являются последовательными и находятся в пределах одной и той же рамки считывания. См., например, Von Heijne et al. (1991) Plant Mol. Biol. Rep. 9:104-126; Clark et al. (1989) J. Biol. Chem. 264:17544-17550; Della-Cioppa et al. (1987) Plant Physiol. 84:965-968; Romer et al. (1993) Biochem. Biophys. Res. Commun. 196:1414-1421; и Shah et al. (1986) Science 233:478-481. В то время как белки PPX, описанные в настоящей заявке, могут включать нативный транзитный пептид хлоропласта, любой известный в данной области техники транзитный пептид хлоропласта может быть гибридизован с последовательностью аминокислот зрелого белка PPX путем функционального связывания нацеленной на хлоропласты последовательности с 5'-концом нуклеотидной последовательности, кодирующей зрелый белок PPX.

[0133] Нацеленные на хлоропласты последовательности известны в данной области техники и включают хлоропластную малую субъединицу рибулозо-1,5-бифосфаткарбоксилазы (Rubisco) (de Castro Silva Filho et al. (1996) Plant Mol. Biol. 30:769-780; Schnell et al. (1991) J. Biol. Chem. 266(5):3335-3342); 5-(еноилпирувил)шикимат-3-фосфатсинтазу (EPSPS) (Archer et al. (1990) J. Bioenerg. Biomemb. 22(6):789-810); триптофансинтазу (Zhao et al. (1995) J. Biol. Chem. 270(1 1):6081- 6087); пластоцианин (Lawrence et al. (1997) J. Biol. Chem. 272(33):20357-20363); хоризматсинтазу (Schmidt et al. (1993) J. Biol. Chem. 268(36):27447-27457); и светособирающий хлорофилл A/B-связывающий белок (LHBP) (Lamppa et al. (1988) J. Biol. Chem. 263:14996-14999). См. также Von Heijne et al. (1991) Plant Mol. Biol. Rep. 9:104-126; Clark et al. (1989) J. Biol. Chem. 264:17544-17550; Della-Cioppa et al. (1987) Plant Physiol. 84:965-968; Romer et al. (1993) Biochem. Biophys. Res. Commun. 196:1414-1421; и Shah et al. (1986) Science 233 :478-481.

[0134] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями могут быть получены конструкции нуклеиновой кислоты для направления экспрессии мутантной кодирующей последовательности PPX из хлоропласта растительной клетки. Способы трансформации хлоропластов известны в данной области техники. См., например, Svab et al. (1990) Proc. Natl. Acad. Sci. USA 87:8526-8530; Svab and Maliga (1993) Proc. Natl. Acad. Sci. USA

90:913-917; Svab and Maliga (1993) EMBO J. 12:601-606. Указанный способ основан на доставке с помощью генной пушки ДНК, содержащей меркер селекции, и направленном перемещении указанной ДНК в пластидный геном посредством гомологичной рекомбинации. Дополнительно, трансформация пластид может производиться путем трансактивации молчащего трансгена пластидного происхождения посредством тканеселективной экспрессии кодируемой в ядре и направляемой в пластиды РНК-полимеразы. Такая система описана у McBride et al. (1994) Proc. Natl. Acad. Sci. USA 91:7301-7305.

[0135] Представляющие интерес нуклеиновые кислоты для направленного перемещения в хлоропласт могут быть оптимизированы для экспрессии в указанном хлоропласте с учетом разницы во встречаемости кодонов между ядром растительной клетки и указанной органеллой. Таким образом представляющие интерес нуклеиновые кислоты могут быть синтезированы с применением хлоропласт-оптимизированных кодонов. См., например, патент США №5380831, включенный в настоящую заявку посредством ссылки.

[0136] Указанные конструкции нуклеиновой кислоты могут применяться для трансформирования растительных клеток и регенерирования трансгенных растений, содержащих кодирующие последовательности мутантного PPX. Существуют разнообразные растительные трансформирующие векторы и способы трансформации растений. См., например, патент США №6753458, An, G. et al. (1986) Plant Physiol., 81:301-305; Fry, J. et al. (1987) Plant Cell Rep. 6:321-325; Block, M. (1988) Theor. Appl Genet.76:767-774; Hinchee et al. (1990) Stadler. Genet. Symp.203212.203-212; Cousins et al. (1991) Aust. J. Plant Physiol. 18:481-494; Chee, P. P. and Slightom, J. L. (1992) Gene.118:255-260; Christou et al. (1992) Trends. Biotechnol. 10:239-246; D'Halluin et al. (1992) Bio/Technol. 10:309-3 14; Dhir et al. (1992) Plant Physiol. 99:81-88; Casas et al. (1993) Proc. Nat. Acad Sci. USA 90:11212-11216; Christou, P. (1993) In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant; 29P:1 19-124; Davies, et al. (1993) Plant Cell Rep. 12:180-183; Dong, J. A. and Mc Hughen, A. (1993) Plant Sci. 91:139-148; Franklin, C. I. and Trieu, T. N. (1993) Plant. Physiol. 102:167; Golovkin et al. (1993) Plant Sci. 90:41-52; Guo Chin Sci. Bull. 38:2072-2078; Asano, et al. (1994) Plant Cell Rep. 13; Ayeres N. M. and Park, W. D. (1994) Crit. Rev. Plant. Sci. 13:219-239; Barcelo et al. (1994) Plant. J. 5:583-592; Becker, et al. (1994) Plant. J. 5:299-307; Borkowska et al. (1994) Acta. Physiol Plant. 16:225- 230; Christou, P. (1994) Agro. Food. Ind. Hi Tech. 5: 17-27; Eapen et al.

(1994) Plant Cell Rep. 13:582-586; Hartman et al. (1994) Bio-Technology 12: 919923; Ritala et al. (1994) Plant. Mol. Biol. 24:317-325; and Wan, Y. C. and Lemaux, P. G. (1994) Plant Physiol. 104:3748. Указанные конструкции могут быть трансформированы в растительных клетках с применением гомологичной рекомбинации.

[0137] Данные конструкции, содержащие описанные в настоящей заявке последовательности нуклеиновых кислот PPX, могут применяться в различных способах получения трансгенных клеток-хозяев, таких как бактерии и дрожжи, и для трансформирования растительных клеток и, в некоторых случаях, регенерирования трансгенных растений. Например, способы получения трансгенного сельскохозяйственного растения, содержащего мутантные белки PPX, описанные в настоящей заявке, отличающегося тем, что экспрессия нуклеиновой(ых) кислот(ы) в указанном растении приводит к толерантности к гербицидам по сравнению с растениями дикого типа или с известными растениями с мутантным PPX, включающий: (a) введение в растительную клетку экспрессионного вектора, содержащего нуклеиновую кислоту, кодирующую мутантный белок PPX, и (b) получение из указанной растительной клетки трансгенного растения, которое является гербицидотолерантным.

Мутации PPX

[0138] Указанные композиции и способы могут относиться по меньшей мере отчасти к мутациями в гене PPX, например, мутациям, которые придают растению устойчивость или толерантность к гербициду из семейства Ингибирующих PPX гербицидов. Также указанные композиции и способы согласно некоторым вариантам реализации относятся к применению олигонуклеотида репарации генов для получения требуемой мутации в хромосомных или эписомных генных последовательностях растений, кодирующего белок PPX. Мутантный белок, который может согласно некоторым вариантам реализации в существенной мере поддерживать каталитическую активность белка дикого типа, обеспечивает повышенную устойчивость или толерантность растения к гербициду PPX-ингибирующего семейства, и, таким образом, согласно некоторым вариантам реализации обеспечивает в существенной мере нормальный рост или развитие указанного растения, его органов, тканей или клеток по сравнению с растением дикого типа независимо от присутствия или отсутствия указанного гербицида. Указанные композиции и способы также относятся к нетрансгенной или трансгенной растительной клетке, ген PPX которой

подвергся мутации, регенерированному из нее нетрансгенному или трансгенному растению, а также растению, полученному в результате скрещивания с применением регенерированного нетрансгенного или трансгенного растения с растением, содержащим мутацию, например, в другом гене PPX. Применение указанных мутаций может также быть нацелено на толерантность к данным ингибиторам в растениях, включая сельскохозяйственные растения, водоросли, бактерии, грибы и системы на основе млекопитающих.

[0139] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, по меньшей мере одна мутация мутантного белка PPX может присутствовать в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из положений 52, 85, 105, 111, 130, 139, 143, 144, 145, 147, 165, 167, 170, 180, 185, 192, 193, 199, 206, 212, 219, 220, 221, 226, 228, 229, 230, 237, 244, 256, 257, 270, 271, 272, 305, 311, 316, 318, 332, 343, 354, 357, 359, 360, 366, 393, 403, 424, 426, 430, 438, 440, 444, 455, 457, 470, 478, 483, 484, 485, 487, 490, 503, 508 и 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в одном или более положениях аминокислот, соответствующих положению, выбранному из группы, состоящей из положений 58, 64, 74, 84, 93, 97, 98, 101, 119, 121, 124, 139, 150 151, 157, 164, 170, 177, 187, 188, 195, 214, 215, 229, 230, 271, 274, 278, 283, 292, 296, 307, 324, 330, 396, 404, 406, 410, 421, 423, 434, 447, 448, 449, 451, 454, 465, 470 и 50 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 111 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 130 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 143 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 147 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 165 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 192 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 193 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 199 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 206 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 219 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам

реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 230 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 256 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 270 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 271 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 305 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 311 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 316 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 318 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 357 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации

мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 360 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 366 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 438 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 440 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 444 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 455 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 457 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 478 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит

мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению замены фенилаланин→глицин в положении, соответствующем положению 483 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 484 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 485 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 487 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 490 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 503 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 508 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 58 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 64 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 74 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 84 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 93 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 97 последовательности SEQ ID NO: 9.

Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 101 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 119 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 121 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 150 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 151 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 157 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 164 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 170 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 177 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 187 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 195 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 215 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 230 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 271 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 274 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 278 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 283 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 292 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 296 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 324 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 330 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам

реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 396 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 404 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 406 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 410 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 421 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 434 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 447 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 448 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 449 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 451 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 454 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 465 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации

мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению 500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает две или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из 52, 85, 105, 111, 130, 139, 143, 144, 145, 147, 165, 167, 170, 180, 185, 192, 193, 199, 206, 212, 219, 220, 221, 226, 228, 229, 230, 237, 244, 256, 257, 270, 271, 272, 305, 311, 316, 318, 332, 343, 354, 357, 359, 360, 366, 393, 403, 424, 426, 430, 438, 440, 444, 455, 457, 470, 478, 483, 484, 485, 487, 490, 503, 508 и 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает две или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из 58, 64, 74, 84, 93, 97, 98, 101, 119, 121, 124, 139, 150 151, 157, 164, 170, 177, 187, 188, 195, 214, 215, 229, 230, 271, 274, 278, 283, 292, 296, 307, 324, 330, 396, 404, 406, 410, 421, 423, 434, 447, 448, 449, 451, 454, 465, 470 и 500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает три или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из 52, 85, 105, 111, 130, 139, 143, 144, 145, 147, 165, 167, 170, 180, 185, 192, 193, 199, 206, 212, 219, 220, 221, 226, 228, 229, 230, 237, 244, 256, 257, 270, 271, 272, 305, 311, 316, 318, 332, 343, 354, 357, 359, 360, 366, 393, 403, 424, 426, 430, 438, 440, 444, 455, 457, 470, 478, 483, 484, 485, 487, 490, 503, 508 и 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает три или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из 58, 64, 74, 84, 93, 97, 98, 101, 119, 121, 124, 139, 150 151, 157, 164, 170, 177, 187, 188, 195, 214, 215, 229, 230, 271, 274, 278, 283, 292, 296, 307, 324, 330, 396, 404, 406, 410, 421, 423, 434, 447, 448, 449, 451, 454, 465, 470 и 500 последовательности SEQ ID NO: 9.

[0140] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, по меньшей мере одна мутация мутантного белка PPX может присутствовать в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из G52, N85, N105, E111, G130, D139,

P143, R144, F145, L147, F165, L167, I170, A180, P185, E192, S193, R199, V206, E212, Y219, A220, G221, L226, M228, K229, A230, K237, S244, R256, R257, K270, P271, Q272, S305, E311, T316, T318,S332, S343, A354, L357, K359, L360, A366, L393, L403, L424, Y426, S430, K438, E440, V444, L455, K457, V470, F478, F483, D484, I485, D487, K490, L503, V508 и I525 последовательности SEQ ID NO: 1. В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, по меньшей мере одна мутация мутантного белка PPX может присутствовать в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из D58, E64, G74, G84, L93, K97, K98, A101, S119, F121, T124, N139, E150, S151, Q157, V164, D170, C177, H187, L188, N195, P214, I215, K229, K230, C271, D274, F283, A292, S296, C307, N324, D330, S396, A404, R406, K410, L421, A423, C434, D447, S448, V449, D451, D454, Y465, K470and T500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению G52 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению N85 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению E111 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению G130 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D139 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению P143 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению R144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению F145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем

положению L147 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению F165 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L167 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению I170 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A180 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению P185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению E192 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S193 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению R199 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению V206 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению E212 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению Y219 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению G221 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L226

последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению M228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K229 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A230 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K237 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению R256 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению R257 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K270 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению P271 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению Q272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S305 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению E311 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению T316 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению T318 последовательности SEQ

ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S332 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S343 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A354 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L357 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K359 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L360 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A366 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению Y426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S430 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K438 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению E440 последовательности SEQ ID NO: 1.

Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению V444 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L455 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K457 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению V470 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению F478 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению F483 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D484 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению I485 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D487 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K490 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L503 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению V508 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению I525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D58 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению E64 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению G74 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению G84 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L93 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K97 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K98 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A101 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S119 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению F121 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению T124 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению N139 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению E150 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S151 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению Q157 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам

реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению V164 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D170 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению C177 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению H187 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L188 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению N195 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению P214 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению I215 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K229 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K230 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению C271 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D274 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению F283 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A292 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации

мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S296 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению C307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению N324 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D330 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S396 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A404 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению R406 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K410 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L421 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению C434 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D447 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S448 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению V449 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит

мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D451 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению D454 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению Y465 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K470 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению T500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации белок PPX представляет собой паралог белка PPX *Arabidopsis thaliana* (например, белок PPX может представлять собой пластидный белок PPX картофеля); указанный белок PPX может содержать N в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный N заменен на аминокислоту, отличную от N; K в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный K заменен на аминокислоту, отличную от K; S в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S; и/или S в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S. Согласно подобным вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению N52 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению N85 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению R144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению F145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A180 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению P185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению A220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению M228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению K272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S305 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S332 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L357 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S359 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению L424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению Y426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам

реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению F478 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит мутацию в положении аминокислоты, соответствующем положению S525 последовательности SEQ ID NO: 1.

[0141] Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает две или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из G52, N85, R144, F145, A180, P185, A220, L226, M228, S244, Q272, S305, S332, L357, K359, L393, L403, L424, Y426, F478 и I525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации белок PPX представляет собой паралог белка PPX *Arabidopsis thaliana* (например, белок PPX может представлять собой белок PPX картофеля); указанный белок PPX содержит две или более мутации и одно или более из: (1) N в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный N заменен на аминокислоту, отличную от N; (2) K в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный K заменен на аминокислоту, отличную от K; (3) S в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S; и/или (4) S в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S. Согласно подобным вариантам реализации мутантный белок PPX содержит две или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из N52, N85, R144, F145, A180, P185, A220, L226, M228, S244, K272, S305, S332, L357, S359, L393, L403, L424, Y426, F478 и S525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит три или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из G52, N85, R144, F145, A180, P185, A220, L226, M228, S244, Q272, S305, S332, L357, K359, L393, L403, L424, Y426, F478 и I525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации белок PPX представляет собой паралог белка PPX *Arabidopsis thaliana* (например, белок PPX может представлять собой белок PPX картофеля); указанный белок PPX содержит три или

более мутации и одно или более из: (1) N в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный N заменен на аминокислоту, отличную от N; (2) K в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный K заменен на аминокислоту, отличную от K; (3) S в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S; и/или (4) S в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO:1, где указанный S заменен на аминокислоту, отличную от S. Согласно подобным вариантам реализации мутантный белок PPX содержит три или более мутации, по меньшей мере одна из которых находится в положении аминокислоты, соответствующем положению, выбранному из группы, состоящей из N52, N85, R144, F145, A180, P185, A220, L226, M228, S244, K272, S305, S332, L357, S359, L393, L403, L424, Y426, F478 и S525 последовательности SEQ ID NO: 1.

[0142] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями мутантный белок PPX может содержать одну или более мутаций, выбранных из мутаций, приведенных в таблице 1.

[0143] Таблица 1: Мутации аминокислот в белке PPX *Arabidopsis thaliana*.

G52K	F145Y	A220I	M228L	S332C	L393S	Y426C	Y426R
N85D	A180T	A220L	S244G	L357I	L393V	Y426F	Y426T
R144C	P185H	A220T	S244T	K359R	L403R	Y426H	Y426V
R144H	P185R	A220V	Q272F	K359T	L403S	Y426I	F478S
F145L	A220C	L226M	S305L	L393M	L424S	Y426L	I525T
E111V	L147V	S193T	A230F	P271R	L360K	L455V	I485E
G130N	F165N	R199L	R256H	E311R	A366E	K457V	K490N
D139H	P185Y	V206F	R256S	T318G	K438S	V470S	L503F
P143R	E192D	Y219S	K270E	S332L	E440K	V470Y	V508T
R144L	E192K	K229Q	K270Q	L360D	V444I	D484A	

[0144] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, указанная одна или более мутация в мутантном гене PPX может кодировать мутантный белок PPX, содержащий одну или более мутацию, две или более мутации, или три или более мутации, выбранные из группы, состоящей из замены глицин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1; замены

глутаминовая кислота→валин в положении, соответствующем положению 111 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глицин→аспарагин в положении, соответствующем положению 130 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аспарагиновая кислота→гистидин в положении, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 143 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, замены фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→валин в положении, соответствующем положению 147 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→аспарагин в положении, соответствующем положению 165 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→тирозин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутаминовая кислота→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 192 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутаминовая кислота→лизин в положении, соответствующем положению 192 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→треонин в положении, соответствующем положению 193 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 199 последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 206 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→серин в положении, соответствующем положению 219 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→цистеин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены

аланин→изолейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→лейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→валин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1; замены метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 230 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 256 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→серин в положении, соответствующем положению 256 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 270; замены лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 270; замены пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 271 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутамин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→лейцин в положении, соответствующем положению 305 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутаминовая кислота→аргинин в положении, соответствующем положению 311 последовательности SEQ ID NO: 1; замены треонин→глицин в положении, соответствующем положению 316 последовательности SEQ ID NO: 1; замены треонин→глицин в положении, соответствующем положению 318 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→лейцин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→изолейцин в положении, соответствующем положению 357 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 359

последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→треонин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→лизин в положении, соответствующем положению 360 последовательности SEQ ID NO 1; замены лейцин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 360 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 366 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→цистеин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→изолейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→лейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→аргинин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→треонин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→валин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→серин в положении, соответствующем положению 438 последовательности SEQ ID NO: 1; замены глутаминовая кислота→лизин в положении, соответствующем положению 440 последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→изолейцин в положении, соответствующем положению 444 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→валин в положении, соответствующем положению 455 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→валин в положении, соответствующем положению 457

последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→серин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→тирозин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→серин в положении, соответствующем положению 478 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→глицин в положении, соответствующем положению 483 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аспарагиновая кислота→аланин в положении, соответствующем положению 484 последовательности SEQ ID NO: 1; замены изолейцин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 485 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→аспарагин в положении, соответствующем положению 490 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 503 последовательности SEQ ID NO: 1; замены валин→треонин в положении, соответствующем положению 508 последовательности SEQ ID NO: 1;, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1.

[0145] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, мутантный ген PPX может кодировать мутантный белок PPX, который содержит замену глицин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→валин в положении, соответствующем положению 111 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глицин→аспарагин в положении, соответствующем положению 130 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→гистидин в положении, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный

белок PPX, который содержит замену пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 143 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 147 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→аспарагин в положении, соответствующем положению 165 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→тирозин в положении, соответствующем положению

185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 192 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→лизин в положении, соответствующем положению 192 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 193 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 199 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену валин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 206 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→серин в положении, соответствующем положению 219 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→цистеин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→изолейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→лейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 230 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 256 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→серин в положении, соответствующем положению 256 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 270. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 270. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 271 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутамин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272

последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→лейцин в положении, соответствующем положению 305 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→аргинин в положении, соответствующем положению 311 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену треонин→глицин в положении, соответствующем положению 316 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену треонин→глицин в положении, соответствующем положению 318 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→лейцин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→изолейцин в положении, соответствующем положению 357 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→треонин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→лизин в положении, соответствующем положению 360 последовательности SEQ ID NO 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует

мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 360 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 366 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→цистеин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→изолейцин в положении,

соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→лейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→аргинин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→треонин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→валин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→серин в положении, соответствующем положению 438 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→лизин в положении, соответствующем положению 440 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену валин→изолейцин в положении, соответствующем положению 444 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 455 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→валин в положении, соответствующем положению 457 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену валин→серин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену валин→тирозин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации

мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→серин в положении, соответствующем положению 478 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→глицин в положении, соответствующем положению 483 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→аланин в положении, соответствующем положению 484 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену изолейцин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 485 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→аспарагин в положении, соответствующем положению 490 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 503 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену валин→треонин в положении, соответствующем положению 508 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1.

[0146] Таблица 2: Обзор нуклеотидных/кодонных мутаций в пластидном гене PPX Arabidopsis, приводящих к заменам аминокислот, которые придают толерантность к ингибиторам PPX. Номера положений основаны на нумерации в пластидном гене PPX Arabidopsis № At4g01690 (SEQ ID NO: 1).

АК мтц	НК мтц
G52K	**GGG → AAA**
N85D	**A**AT → **G**AT
R144C	**AGG → TGC**

АК мтц	НК мтц
A220I	**GC**T → **AT**T
A220L	**GC**T → **CT**T
A220T	**G**CT → **A**CT

АК мтц	НК мтц
S332C	**T**CT → **T**GT
L357I	**C**TC → **A**TC
K359R	**A**AA → **A**GA

АК мтц	НК мтц
Y426C	**TA**C → **TGC**
Y426F	**TA**C → **TTC**
Y426H	**TA**C → **C**AC

	AGG → TGT
R144H	**AGG → CAC** **AGG → CAT**
F145L	TTT → **C**TT
F145Y	T**T**T → T**A**T
A180T	**G**CA → **A**CA
P185H	C**C**G → C**A**C C**C**G → C**A**T
P185R	CCG → C**G**G
A220C	**GC**T → **TG**T

A220V	**GC**T → **GT**T
L226M	**G**TG → **A**TG
M228L	**A**TG → **C**TG
S244G	**A**GC → **G**GC
S244T	AGC → ACC
Q272F	**CAG → TTC** **CAG → TTT**
S305L	**TC**A → **TT**A

K359T	AAA → AC**T**
L393M	**TTG → ATG**
L393S	**TTG** → T**C**G
L393V	**TTG → GTG**
L403R	**TTA → CGA**
L403S	**TTA → TCA**
L424S	TTG → T**C**G

Y426I	**TAC → ATC**
Y426L	**TAC → TTA** **TAC → CTC**
Y426R	**TAC →** **CGC**
Y426T	**TAC → ACC**
Y426V	**TAC → GTC**
F478S	TTT → T**C**T
S525T	ATT → AC**T**

* «АК мтц» относится к мутации аминокислоты; «НК мтц» относится к мутации нуклеиновой кислоты

[0147] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями мутантный ген PPX может содержать замену GGG→AAA**,** которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глицин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAT → GAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGG → TGC или TGT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGG → CAC или CAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTT → CTT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTT → TAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145

последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCA → ACA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CCG → CAC или CAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CCG → CGT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CCG → CGG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCT → TGT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→цистеин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCT → ATT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→изолейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCT → CTT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→лейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCT → ACT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCT → GTT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 220

последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GTG → ATG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты ATG → CTG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGC → GGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGC → ACC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CAG → TTC или TTT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутамин→аспарагин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TCA → TTA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→лейцин в положении, соответствующем положению 305 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TCT → TGT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CTC → ATC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→изолейцин в положении, соответствующем положению 357 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAA → AGA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 359

последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAA → ACT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→треонин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTG → ATG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTG → TCG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTG → GTG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTA → CGA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTA → TCA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTG → TCG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → TGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→цистеин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → TTC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам

реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → CAC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → ATC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→изолейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → TTA или CTC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→лейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → CGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→аргинин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → ACC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→треонин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → GTC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→валин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTT → TCT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→серин в положении, соответствующем положению 478 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты ATT → ACT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1.

[0148] Таблица 3A: Обзор нуклеотидных/кодонных мутаций в пластидном гене PPX картофеля, приводящих к заменам аминокислот, которые придают толерантность к

ингибиторам PPX. Номера положений основаны на нумерации пластидного гена PPX Arabidopsis № At4g01690 (SEQ ID NO: 1).

АК мтц	НК мтц
N52K	**AAT** → AAA
N85D	A**A**T → **G**AT
R144C	**C**GC → **T**GC
R144H	C**G**C → C**A**C
F145L	**TTT** → **C**TT
F145Y	T**T**T → T**A**T
A180T	**G**CC → **A**CC
P185H	C**C**T → C**A**T
P185R	C**C**T → C**G**T
A220C	G**C**C → **TG**C

АК мтц	НК мтц
A220I	**GC**C → **AT**C
A220L	**GC**C → **CT**C
A220T	**G**CC → **A**CC
A220V	**GC**C → **GT**C
L226M	**T**TG → **A**TG
M228L	**A**TG → **C**TG
S244G	**A**GC → **G**GC
S244T	A**G**C → A**C**C
K272F	AA**A** → **TTT** AA**A** → **TTC**
S305L	**TC**T → **CT**T

АК мтц	НК мтц
S332C	**A**GT → **T**GT
L357I	**C**TT → **A**TT
S359R	AGT → AG**A**
S359T	A**G**T → A**C**T
L393M	**T**TG → **A**TG
L393S	T**T**G → T**C**G
L393V	**T**TG → **G**TG
L403R	C**T**A → C**G**A
L403S	**CT**A → **TC**A
L424S	T**T**G → T**C**G

АК мтц	НК мтц
Y426C	TAC → TGC
Y426F	TAC → **TT**C
Y426H	TAC → **C**AC
Y426I	**TA**C → **AT**C
Y426L	**TA**C → **TTA** **TA**C → **CTC**
Y426R	**TA**C → **CG**C
Y426T	**TA**C → **AC**C
Y426V	**TA**C → **GT**C
F478S	T**T**T → T**C**T
S525T	**TC**T → **AC**T

* «АК мтц» относится к мутации аминокислоты; «НК мтц» относится к мутации нуклеиновой кислоты

[0149] Согласно некоторым вариантам реализации в соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, указанная одна или более мутация в мутантном гене PPX может кодировать мутантный белок PPX, содержащий одну или более мутацию, две или более мутации, или три или более мутации, выбранные из группы, состоящей из замены аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, замены фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности

SEQ ID NO: 1; замены пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→цистеин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→изолейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→лейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены аланин→валин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1; замены метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лизин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→лейцин в положении, соответствующем положению 305 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→изолейцин в положении, соответствующем положению 357 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→аргинин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1; замены серин→треонин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1; замены лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1; замены

тирозин→цистеин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→изолейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→лейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→аргинин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→треонин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены тирозин→валин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1; замены фенилаланин→серин в положении, соответствующем положению 478 последовательности SEQ ID NO: 1; и замены изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1.

[0150] Согласно некоторым вариантам реализации в соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, мутантный ген PPX может кодировать мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем

положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→цистеин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→изолейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→лейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует

мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→лейцин в положении, соответствующем положению 305 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→изолейцин в положении, соответствующем положению 357 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→аргинин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→аргинин в положении,

соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→цистеин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→изолейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→лейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→аргинин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→треонин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→валин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→серин в положении, соответствующем положению 478 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам

реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1.

[0151] Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAT → AAA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAT → GAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CGC → TGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CGC → CAC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTT → CTT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTT → TAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCC → ACC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CCT → CAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→аргинин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 7.

Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CCT → CGT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 185 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCC → TGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→цистеин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCC → ATC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→изолейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCC → CTC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→лейцин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCC → ACC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCC → GTC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTG → ATG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты ATG → CTG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGC → GGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGC → ACC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAA → AAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TCT → CTT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→лейцин в положении, соответствующем положению 305 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGT → TGT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CTT → ATT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→изолейцин в положении, соответствующем положению 357 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGT → AGA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→аргинин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGT → ACT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 359 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTG → ATG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTG → TCG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации

мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTG → GTG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CTA → CGA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CTA → TCA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTG → TCG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → TGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→цистеин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → AAC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → CAC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → ATC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→изолейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → TTC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→лейцин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию

нуклеиновой кислоты TAC → CGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→аргинин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → ACC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→треонин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAC → GTC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→валин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TTT → TCT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→серин в положении, соответствующем положению 478 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TCT → ACT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 7.

[0152] Таблица 3B: Обзор нуклеотидных/кодонных мутаций в митохондриальном гене PPX картофеля, приводящих к заменам аминокислот, которые придают толерантность к ингибиторам PPX. Номера положений основаны на нумерации митохондриального гена PPX Solanum tuberosum № AJ225108 (SEQ ID NO: 9).

АК мтц	НК мтц	АК мтц	НК мтц	АК мтц	НК мтц	АК мтц	НК мтц
D58N	**G**AT → **A**AT	S151T	A**G**T → A**C**T	K229Q	**A**AG → **C**AG	R406K	A**G**G → A**A**G
E64V	G**A**A → G**T**A	Q157L	C**A**G → C**T**G	K230R	AAG → A**G**G	K410I	A**A**A → A**T**A
G74C	**G**GT → **T**GT	V164F	**G**TT → **T**TT	F283G	G**A**C → G**G**C	A423V	G**C**T → G**T**T
G84N	G**GA** → G**AT**	D170E	GA**T** → GA**A**	A292G	G**C**A → G**G**A	C434S	**T**GC → **A**GC
R98C	C**G**C → C**A**C	H187Q	**A**AG → **C**AG	S296L	T**C**A → T**T**A	C434Y	T**G**C → T**A**C
R98H	**C**GC → **T**GC	L188F	**C**TT → **T**TT	C307S	**T**GT → **A**GT	S448A	**T**CA → **G**CA
R98L	C**G**C → C**T**C	N195K	AA**T** → AA**A**	N324D	**A**AT → **G**AT	D451G	GA**T** → G**G**T

N139Y	**C**CT → **T**AT	P214H	C**C**T → C**A**T	N324K	AA**T** → AA**A**	D454N	**G**AC → **A**AC
E150D	GA**A** → GA**T**	P214S	**C**CT → **T**CT	D330E	GA**T** → GA**A**	Y465F	T**A**T → T**T**T
E150K	**G**AA → **A**AA	K229E	**A**AG → **G**AG	A404S	**G**CC → **T**CC	K470T	A**A**G → A**C**G
T500S	A**C**C → A**G**C						

* «АК мтц» относится к мутации аминокислоты; «НК мтц» относится к мутации нуклеиновой кислоты

[0153] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, мутантный ген PPX может кодировать мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→аспарагин в положении, соответствующем положению 58 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→валин в положении, соответствующем положению 64 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глицин→цистеин в положении, соответствующем положению 74 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глицин→аспарагин в положении, соответствующем положению 84 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→ гистидин в положении, соответствующем положению 93 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 97 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98

последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 101 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→аспарагин в положении, соответствующем положению 119 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 121 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→тирозин в положении, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 150 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→лизин в положении, соответствующем положению 150 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 151 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутамин→лейцин в положении, соответствующем положению 157 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену валин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 164 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену валин→аланин в положении, соответствующем положению 164 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации

мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 170 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 177 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену гистидин→глутамин в положении, соответствующем положению 187 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→ фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 195 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→серин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену изолейцин→гистидин в положении, соответствующем положению 215 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену изолейцин→серин в положении, соответствующем положению 215 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует

мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 230 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену цистеин→аргинин в положении, соответствующем положению 271 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 274 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 278 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену фенилаланин→глицин в положении, соответствующем положению 283 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→глицин в положении, соответствующем положению 292 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→лейцин в положении, соответствующем положению 296 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 324 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 324 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 330 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный

белок PPX, который содержит замену серин→лейцин в положении, соответствующем положению 396 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→серин в положении, соответствующем положению 404 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→лизин в положении, соответствующем положению 406 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→изолейцин в положении, соответствующем положению 410 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→ валин в положении, соответствующем положению 421 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 434 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену цистеин→тирозин в положении, соответствующем положению 434 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 447 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→аланин в положении, соответствующем положению 448 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену валин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 449 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→глицин в положении,

соответствующем положению 451 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→аспарагин в положении, соответствующем положению 454 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 465 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→треонин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену треонин→серин в положении, соответствующем положению 500 последовательности SEQ ID NO: 9.

[0154] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GAT → AAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→аспарагин в положении, соответствующем положению 58 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GAA → GTA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→валин в положении, соответствующем положению 64 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GGT → TGT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глицин→цистеин в положении, соответствующем положению 74 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GGA → GAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глицин→аспарагин в положении, соответствующем положению 84 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CGC → TGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности

SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CGC → CAC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CGC → CTC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAT → TAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→тирозин в положении, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GAA → GAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 150 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GAA → AAA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутаминовая кислота→лизин в положении, соответствующем положению 150 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGT → ACT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 151 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CAG → CTG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глутамин→лейцин в положении, соответствующем положению 157 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GTT → TTT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену валин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 164 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GAT → GAA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 170

последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CAC → CAG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену гистидин→глутамин в положении, соответствующем положению 187 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CTT → TTT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лейцин→ фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAT → AAA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 195 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CCT → CAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты CCT → TCT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену пролин→серин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAG → GAG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAG → CAG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAG → AGG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 230 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GAC → GGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая

кислота→глицин в положении, соответствующем положению 283 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TCA → TTA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→лейцин в положении, соответствующем положению 296 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TGT → AGT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAT → GAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 324 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAT → AAA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 324 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GAT → GAA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 330 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GCC → TCC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аланин→серин в положении, соответствующем положению 404 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AGG → AAG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аргинин→лизин в положении, соответствующем положению 406 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAA → ATA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→изолейцин в положении, соответствующем положению 410 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты XXX GCT → GTT, которая кодирует мутантный белок PPX,

который содержит замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TGC → AGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 434 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TGC → TAC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену цистеин→тирозин в положении, соответствующем положению 434 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TCA → GCA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену серин→аланин в положении, соответствующем положению 448 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GAT → GGT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 451 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты GAC → AAC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагиновая кислота→аспарагин в положении, соответствующем положению 454 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты TAT → TTT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 465 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAG → ACG, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену лизин→треонин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты ACC → AGC, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену треонин→серин в положении, соответствующем положению 500 последовательности SEQ ID NO: 9.

[0155] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, мутантный ген PPX может содержать замену GGG→AAA, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену глицин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный ген PPX содержит мутацию нуклеиновой кислоты AAT → GAT, которая кодирует мутантный белок PPX, который содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1.

[0156] Согласно некоторым вариантам реализации в соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями мутантный ген PPX может включать комбинацию мутаций, например, двух или более, трех или более, четырех или более, пяти или более или шести или более мутаций в гене PPX. Согласно некоторым вариантам реализации указанная комбинация мутаций выбрана из комбинаций мутаций, приведенных в таблицах 4a и 4b.

[0157] Таблица 4A: Комбинации мутаций аминокислот (каждая строка каждой группы из трех столбцов представляет комбинацию мутаций). Номера положений основаны на нумерации пластидного гена Arabidopsis PPX № At4g01690 (SEQ ID NO: 1)

R144C	A220T	
R144H	S332C	
R144C	Q272F	
R144C	K272F	
G52K	R144H	S244T
N52K	R144H	S244T
N85D	A220T	
R144H	S244T	
R144C	L226M	
N85D	L226M	
N85D	F145Y	
R144C	M228L	
N85D	A180T	
N85D	R144C	
N85D	Q272F	
N85D	K272F	
N85D	M228L	
A180T	Y426F	
F145L	Y426H	
S244G	Y426F	
F145L	L403R	
F145Y	L424S	
R144C	L424S	
L226M	Y426H	

L226M	L424S
L226M	Y426F
A220T	Y426F
A220T	Y426H
R144C	Y426F
N85D	Y426H
R144C	Y426H
S244T	Y426H
S244G	Y426H
A180T	Y426H
L226M	Y426H
F145L	Y426H
A220T	Y426H
N85D	Y426H
F145L	L393V
L226M	L424S
L226M	Y426F
A220T	L393V
A220T	Y426F
R144C	Y426F
N85D	I525T
L226M	I525T
F145Y	I525T
F145L	I525T

F145L	L424S
A220T	Y426H
F145Y	L393V
S244T	Y426F
F145Y	L424S
A220T	L403R
L226M	Y426F
N85D	Y426H
L226M	L424S
F145Y	L403R
S244G	L393V
A180T	Y426H
R144C	Y426H
N85D	S525T
L226M	S525T
F145Y	S525T
F145L	S525T
S244G	S525T
A180T	S525T
R144C	S525T

A220T	L424S	
F145Y	Y426F	
R144C	L393V	
S244G	I525T	
A180T	I525T	
S244G	L393V	
L226M	L403R	

R144C	I525T
R144C	Y426H
A180T	Y426H
A220T	Y426H
L226M	Y426H
S244T	L393V
F145Y	Y426H

[0158] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1. В то же время, согласно другим вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену глутамин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену глицин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO:1, замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности

SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену глутамин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем

положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85

последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену

аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и

замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1.

Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1.

[0159] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации

мутантный белок PPX содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену серин→цистеин в положении, соответствующем положению 332 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 7, и замену лизин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→лизин в положении, соответствующем положению 52 последовательности SEQ ID NO: 7, замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 7, и замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лизин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 272 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену метионин→лейцин в положении, соответствующем положению 228 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену

фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности

SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1.

Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении,

соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении,

соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 7, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно

некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→серин в положении, соответствующем положению 424 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→аргинин в положении, соответствующем положению 403 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену лейцин→валин в положении, соответствующем положению 393 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену тирозин→гистидин в положении, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 1. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→глицин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ

ID NO: 7, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аланин→треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 7, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 7, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 7, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 85 последовательности SEQ ID NO: 7, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 7. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 7, и замену изолейцин→треонин в положении, соответствующем положению 525 последовательности SEQ ID NO: 7.

[0160] Таблица 4B: Комбинации мутаций аминокислот (каждая строка каждой группы из двух столбцов представляет комбинацию мутаций). Номера положений основаны на нумерации митохондриального гена PPX Solanum tuberosum № AJ225108 (SEQ ID NO: 9).

G74C	R98C			
L93H	V164A			
R98L	P214H			
R98L	T124I	L188F	K229Q	
R98L	T124I	P214H	K229Q	
R98L	T124I	K229Q		
S119N	N139Y			
F121L	E150D			
S151T	K229E	K230R		
Q157L	H187Q			
C271R	D274G			
C307S	A423V			
S396L	K410I			

R98C	P214H			
R98C	T124I	L188F	K229Q	
R98C	T124I	P214H	K229Q	
R98C	T124I	K229Q		
R98C	P214H	A423V		
R98C	T124I	L188F	K229Q	A423V
R98C	T124I	P214H	K229Q	A423V
R98C	T124I	K229Q	A423V	
R98C	P214H	C307S		
R98C	T124I	L188F	K229Q	C307S
R98C	T124I	P214H	K229Q	C307S
R98C	T124I	K229Q	C307S	
R98H	P214H			

C434S	T500S			
D447G	A292G			
S448A	N324D			
Y465F	K470T			
R98L	P214H	A243V		
R98L	T124I	L188F	K229Q	A243V
R98L	T124I	P214H	K229Q	A243V
R98L	T124I	K229Q	A423V	
R98L	P214H	C307S		
R98L	T124I	L188F	K229Q	C307S
R98L	T124I	P214H	K229Q	C307S
R98L	T124I	K229Q	C307S	

R98H	T124I	L188F	K229Q	
R98H	T124I	P214H	K229Q	
R98H	T124I	K229Q		
R98H	P214H	A423V		
R98H	T124I	L188F	K229Q	A423V
R98H	T124I	P214H	K229Q	A423V
R98H	T124I	K229Q	A423V	
R98H	P214H	C307S		
R98H	T124I	L188F	K229Q	C307S
R98H	T124I	P214H	K229Q	C307S
R98H	T124I	K229Q	C307S	

[0161] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, мутантный белок PPX содержит замену глицин→цистеин в положении, соответствующем положению 74 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену лейцин→гистидин в положении, соответствующем положению 93 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену валин→аланин в положении, соответствующем положению 164 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9, замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9, замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 и замены

лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9 и замены лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→аспарагин в положении, соответствующем положению 119 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену аспарагин→тирозин в положении, соответствующем положению 139 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену фенилаланин→лейцин в положении, соответствующем положению 121 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену глутаминовая кислота→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 150 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→треонин в положении, соответствующем положению 151 последовательности SEQ ID NO: 9, замену лизин→глутаминовая кислота в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену лизин→аргинин в положении, соответствующем положению 230 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену глутамин→лейцин в положении, соответствующем положению 157 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену гистидин→глутамин в положении, соответствующем положению 187 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену цистеин→ аргинин в положении, соответствующем положению 271 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 274 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→лейцин

в положении, соответствующем положению 396 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену лизин→изолейцин в положении, соответствующем положению 410 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 434 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену треонин→серин в положении, соответствующем положению 500 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аспарагиновая кислота→глицин в положении, соответствующем положению 447 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену аланин→глицин в положении, соответствующем положению 292 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену серин→аланин в положении, соответствующем положению 448 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену аспарагин→аспарагиновая кислота в положении, соответствующем положению 324 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену тирозин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 465 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену лизин→треонин в положении, соответствующем положению 470 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9 и замены аланин→валин в положении, соответствующем положению 243 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9, замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9, замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 243 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит

замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9, замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9, замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 243 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9, замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 243 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9, замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9, замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9, замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности

SEQ ID NO: 9, замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→лейцин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9, замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; и замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении,

соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98

последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX содержит замену аргинин→цистеин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности

SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9, и замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; и замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении,

соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену аланин→валин в положении, соответствующем положению 423 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лейцин→фенилаланин в положении, соответствующем положению 188 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену пролин→гистидин в положении, соответствующем положению 214 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9. Согласно некоторым вариантам реализации мутантный белок PPX включает замену аргинин→гистидин в положении, соответствующем положению 98 последовательности SEQ ID NO: 9; замену треонин→изолейцин в положении, соответствующем положению 124 последовательности SEQ ID NO: 9; замену лизин→глутамин в положении, соответствующем положению 229 SEQ ID NO: 9; и замену цистеин→серин в положении, соответствующем положению 307 последовательности SEQ ID NO: 9.

Паралоги

[0162] Рассматриваемые мутации в гене PPX, как правило, описаны в настоящей заявке с применением пластидных генов и белков PPX *Solanum tuberosum* (см., например, Фиг. 8 и 7, соответственно) с привязкой положений аминокислот к положениям в *Arabidopsis thaliana* (SEQ ID NO: 1). Указанные композиции и способы также охватывают мутантные гены и белки PPX других видов (паралоги). Однако из-за изменчивости генов PPX разных видов номер заменяемого аминокислотного остатка для одного вида может отличаться для других видов. Тем не менее, аналогичное положение легко может быть идентифицировано специалистом в данной области техники благодаря гомологии последовательностей. Так, в Таблице 6 приведен обзор гомологичных положений аминокислот в различных растительных паралогах кодирующей последовательности PPX, а на Фиг. 33 представлено выравнивание последовательностей аминокислот PPX для паралогов из различных растений. Соответственно, аналогичные положения в указанных и других паралогах могут быть идентифицированы и мутированы.

Гербициды

[0163] Предложенные в настоящем изобретении композиции и способы включают гены PPX и белки PPX, которые придают устойчивость к PPX-ингибирующим гербицидам. Согласно некоторым вариантам реализации PPX-ингибирующие гербициды включают химические семейства дифенилэфиров, фенилпиразол N-фенилфталимидов, тиадиазолов, оксадиазолов, триазолинонов, оксазолидиндионов, пиримидиндионов. Обзор типовых активных ингредиентов Ингибирующих PPX гербицидов и соответствующих им химических семейств приведены в Таблице 5.

[0164] Таблица 5: Типовые PPX-ингибирующие гербициды.

Химическое семейство	**Активный ингредиент гербицида**
Дифенилэфиры	ацифлуорфен-содиум
	Бифенокс
	Хлометоксифен
	флуорогликофен-этил
	Фомесафен
	Галосафен
	Лактофен
	Оксифлуорфен
Фенилпиразолы	Флуазолат
	пирафлуфен-этил

N-фенилфталимиды	цинидон-этил
	Флумиоксазин
	флумиклорак-пентил
Тиадиазолы	флутиацет-метил
	Тидиазимин
Оксадиазолы	Оксадиазон
	Оксадиаргил
Триазолиноны	Азафенидин
	карфентразон-этил
	Сульфентразон
Оксазолидиндионы	Пентоксазон
Пиримидиндионы	Бензфендизон
	Бутафенацил
	Сафлуфенацил
Другие	Пиразогил
	Профлуазол

[0165] Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой ацифлуорфен-содиум. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой бифенокс. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой хлометоксифен. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой флуорогликофен-этил. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой фомесафен. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой галосафен. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой лактофен. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой оксифлуорфен. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой флуазолат. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой пирафлуфен-этил. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой цинидон-этил. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой флумиоксазин. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой флумиклорак-пентил. Согласно некоторым вариантам

реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой флутиацет-метил. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой тидиазимин. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой оксадиазон. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой оксадиаргил. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой азафенидин. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой карфентразон-этил. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой сульфентразон. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой пентоксазон. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой бензфендизон. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой бутафенацил. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой сафлуфенацил. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой пиразогил. Согласно некоторым вариантам реализации ингибирующий PPX гербицид представляет собой профлуазол.

[0166] Также предложено(а) трансгенное или нетрансгенное растение или растительная клетка, содержащий(ая) одну или более мутацию в гене PPX, например, такие как описанные в настоящей заявке. Согласно некоторым вариантам реализации указанное(ая) растение или растительная клетка, содержащий(ая) одну или более мутацию в гене PPX, обладает повышенной устойчивостью или толерантностью к представителю Ингибирующих PPX гербицидов. Согласно некоторым вариантам реализации указанное(ая) растение или растительная клетка, содержащий(ая) одну или более мутацию в гене PPX, может демонстрировать по существу нормальный рост или развитие указанного растения, его органов, тканей или клеток относительно соответствующего(ей) растения или клетки дикого типа. Согласно частным аспектам и вариантам реализации предложены трансгенные или нетрансгенные растения, содержащие мутацию в гене PPX, например, такую как описанные в настоящей заявке, которые согласно некоторым вариантам реализации обладают повышенной устойчивостью или толерантностью к одному или более члену химических семейств Ингибирующих PPX гербицидов и могут

демонстрировать по существу нормальный рост или развитие указанного растения, его органов, тканей или клеток относительно соответствующего(ей) растения или клетки дикого типа, т.е. в присутствии одного или более гербицида, такого как, например, флумиоксазин, сульфентразон или сафлуфенацил, мутантный белок PPX обладает по существу такой же каталитической активностью, что и белок PPX дикого типа.

[0167] Также предложены способы получения растения, содержащего мутантный ген PPX, например, содержащий одну или более мутацию согласно описанию в настоящей заявке; предпочтительно, указанное растение по существу сохраняет каталитическую активность белка дикого типа, независимо от присутствия или отсутствия соответствующего гербицида. Согласно некоторым вариантам реализации указанные способы включают введение в растительную клетку олигонуклеотида репарации генов с одной или более направленной мутацией в гене PPX (например, такой как описанные в настоящей заявке) и идентификацию клетки, семени или растения, содержащей(его) мутантный ген PPX.

Виды растений

[0168] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, растения согласно описанию в настоящей заявке могут представлять собой любые виды двудольных, однодольных или голосеменных растений, включая любые виды древесных растений, произрастающих в форме деревьев или кустарников; любые травянистые виды; или любые виды, дающие съедобные плоды, семена или овощи; или любые виды, дающие декоративные или ароматические цветы. Например, указанное(ая) растение или растительная клетка может быть выбрано(а) из видов растений группы, состоящей из картофеля, подсолнечника, сахарной свеклы, кукурузы, хлопка, сои, пшеницы, ржи, овса, риса, канолы, плодовых растений, овощей, табака, ячменя, сорго, томата, манго, персика, яблони, груши, клубники, банана, дыни, моркови, салата, лука, видов сои, сахарного тростника, гороха, кормовых бобов, тополя, винограда, цитрусовых, люцерны, ржи, овса, дернообразующих и кормовых трав, льна, масличного рапса, огурца, вьюнка, бальзамина, перца, баклажана, бархатцев, лотоса, капусты, астровых, гвоздики, петунии, тюльпана, ириса, лилии и дающих орехи растений, если они уже конкретно не указаны. Указанное(ая) растение или растительная клетка также могут представлять собой вид, выбранный из таблицы 6. Указанное(ая) растение или растительная клетка также могут представлять собой вид,

выбранный из группы, состоящей из *Arabidopsis thaliana*, *Solanum tuberosum*, *Solanum phureja*, *Oryza sativa*, *Amaranthus tuberculatus*, *Sorghum bicolor, Ricinus communis* и *Zea mays*.

[0169] Таблица 6. Обзор гомологичных положений аминокислот в аминокислотных последовательностях PPX растений различных видов. См. также обзоры дополнительных гомологичных положений аминокислот на Фиг. 47 и 48.

Вид	**№ доступа в базе Genbank**	**Локализация**	**G 52**	**N 85**	**R 144**	**F 145**	**A 180**	**P 185**	**A 220**	**L 226**	**M 228**	**S 244**	**Q 272**	**S 305**	**S 332**	**L 357**	**K 359**	**L 393**	**L 403**	**L 424**	**Y 426**	**F 478**	**I 525**
***Arabidopsis thaliana* - At4g01690**	AX084732	P	52	85	144	145	180	185	220	226	228	244	272	305	332	357	359	393	403	424	426	478	525
***Arabidopsis thaliana* - At5g14220**	NM_121426	M	Н.о.	41	101	Y 102	P 137	K 142	182	188	190	206	G 235	L 269	H 298	F 323	L 325	358	371	T 392	F 394	Y 444	D 489
Amaranthus tuberculatus	DQ386117	B	Н.о.	Н.о.	128	Y 129	P 164	K 169	G 210	216	218	234	R 261	L 295	324	F 349	L 351	384	397	T 418	F 420	Y 470	E 515
Solanum tuberosum	AJ225107	P	N 76	105	164	165	200	205	240	246	248	264	K 292	325	352	377	S 379	413	423	444	446	498	S 545
Solanum tuberosum	Н.о., см. Фиг. 27.	M	Н.о.	Н.о.	98	Y 99	P 134	N 139	G 178	184	186	202	R 231	L 265	296	F 321	L 323	356	369	T 390	F 392	Y 442	D 487
Zea mays	AF218052	P	Н.о.	Н.о.	142	143	178	P183	218	224	226	242	K 270	T 303	330	355	R 357	391	401	422	424	476	S 523
Zea mays	AF273767	M	Н.о.	70	130	Y 131	P 166	K 171	215	221	I 223	239	N 268	302	T 336	V 361	L 363	396	410	T 431	F 433	Y 483	D 528
***Oryza sativa* – Os01g0286600**	NM_001049312	P	G 51	Н.о.	143	144	179	P 184	219	225	227	243	K 271	T 304	T 331	L 356	I 358	392	402	423	425	477	S 524
***Oryza sativa* – Os04g0490000**	Н.о. , см. Фиг. 17.	M	D 50	Q 79	139	Y 140	P 175	K 180	G 224	230	I 232	248	N 277	L 311	345	F 370	L 372	405	419	T 440	F 442	Y 492	D 537
***Sorghum bicolor* - Sb03g011670**	XM_002455439	P	Н.о.	Н.о.	143	144	179	P 184	219	225	227	243	K 271	T 304	331	L 356	R 358	392	402	423	425	477	A 524
***Sorghum bicolor* - Sb06g020950**	XM_002446665	M	Н.о.	70	130	Y 131	P 166	K 171	215	221	I 223	239	N 268	L 302	T 336	F 361	L 363	396	410	T 431	F 433	Y 483	D 528
***Ricinus communis* - Rc1343150**	XM_002515127	P	N 51	84	143	144	179	184	219	225	227	243	K 271	304	331	356	358	392	402	423	425	477	A 524
***Ricinus communis* - Rc1678480**	XM_002509502	M	Н.о.	Н.о.	99	Y 100	P 135	K 140	181	187	V 189	205	234	F 268	299	F 324	L 326	359	372	T 393	F 395	Y 445	D 490

† G210 делеция в DQ386118 приводит к толерантности к ингибитору PPX

P – «пластидный»; M – «митохондриальный»; B – «и там, и там»

[0170] Олигонуклеотид для репарации генов может быть введен в растительную клетку с применением любого способа, широко применяемого в данной области техники, включая, но не ограничиваясь перечисленными, микроносители (биолистическая доставка), микроволокна, полиэтиленгликоль(ПЭГ)-опосредованный захват, электропорацию и микроинъекции.

[0171] Также предложены способы и композиции, относящиеся к области культур клеток, мутированных в соответствии с описанными в настоящей заявке способами для получения растения, дающего семена, здесь и далее – «фертильного растения», и получение семян и дополнительных растений из такого фертильного растения.

[0172] Также предложены способы селективного контроля семян в поле, отличающиеся тем, что указанное поле содержит растения с описанными изменениями в гене PPX и семенами, и указанный способ включает применение в поле гербицида, устойчивость к которому была придана указанным растениям.

[0173] Также предложены мутации в гене PPX, придающие растению устойчивость или толерантность к представителю соответствующих гербицидов, или отличающиеся тем, что мутантный ген PPX обладает по существу такой же ферментативной активностью, что и PPX дикого типа.

Отбор устойчивых к гербицидам растений и применение гербицида

[0174] Растения и растительные клетки могут быть протестированы на устойчивость или толерантность к гербициду с применением общеизвестных в данной области техники способов, например, выращиванием указанного(ой) растения или растительной клетки в присутствии гербицида и измерением скорости роста по сравнению со скоростью роста в отсутствие указанного гербицида.

[0175] Используемое в настоящей заявке выражение «по существу нормальный рост» растения, органа растения, ткани растения или растительной клетки определяется как скорость роста или скорость деления клеток указанного растения, органа растения, ткани растения или растительной клетки, составляющая по меньшей мере 35%, по меньшей мере 50%, по меньшей мере 60% или по меньшей мере 75% от скорости роста или скорости деления клеток соответствующего растения, органа растения, ткани растения или растительной клетки, экспрессирующих белок PPX дикого типа.

[0176] Используемое в настоящей заявке выражение «по существу нормальное развитие» растения, органа растения, ткани растения или растительной клетки определяется как наступление одного или более относящегося к развитию события в указанном растении, органе растения, ткани растения или растительной клетке, по существу тождественного происходящему в соответствующем растении, органе растения, ткани растения или растительной клетке, экспрессирующей(ей) белок PPX дикого типа.

[0177] В соответствии с любыми описанными в настоящей заявке аспектами, вариантами реализации, способами и/или композициями, предложенные в настоящем изобретении органы растения могут включать, но не ограничиваясь перечисленными, листья, стебли, корни, вегетативные почки, цветочные бутоны, меристемы, зародыши, семядоли, эндосперм, чашелистики, лепестки, пестики, плодолистики, тычинки, пыльники, микроспоры, пыльцу, пыльцевые трубки, семязачатки, завязи и плоды или полученные из них фрагменты, срезы или пластинки. Ткани растений включают, но не ограничиваясь перечисленными, каллусные ткани, покровные ткани, сосудистые ткани, запасающие ткани, меристемные ткани, ткани листа, ткани побега, ткани корня, ткани галлов, ткани растительных опухолей и репродуктивные ткани. Растительные клетки включают, но не ограничиваясь перечисленными, выделенные клетки с клеточными стенками, их совокупности различного размера и протопласты.

[0178] Растения по существу «толерантны» к соответствующему гербициду, если при контакте с ним кривая зависимости «доза-эффект» для них сдвинута вправо по сравнению с такой кривой для не-толерантного растения при сходном контакте. При построении таких кривых зависимости «доза-эффект» «дозу» отмечают на оси *X* и «процент гибели», «гербицидный эффект» и т.д. отмечают на оси *y*. Для определенного гербицидного действия на толерантные растения требуется больше гербицида, чем для вероятно нетолерантных растений. У растений, по существу «устойчивых» к указанному гербициду, не наблюдаются либо наблюдаются немногочисленные некротические, литические, хлоротические или другие повреждения при контакте с гербицидом в концентрациях и количествах, обычно применяемых в агрохимии для уничтожения сорняков на полях. Растения, устойчивые к гербициду, также толерантны к указанному гербициду.

[0179] Согласно некоторым вариантам реализации «повышенная устойчивость к гербициду» или «повышенная толерантность к гербициду» относится к уровню устойчивости или толерантности, которой обладает растение, семя или часть растения, содержащее(ая) мутантный ген PPX или белок согласно описанию в настоящей заявке, по отношению к растительным гербицидам в концентрации выше определенного эталонного уровня. Указанный определенный эталонный уровень устойчивости к гербициду представляет собой уровень устойчивости, проявляемый растением того же вида без соответствующей(их) мутации(ий). Согласно некоторым вариантам реализации устойчивость по существу повышена относительно определенного эталонного уровня, например, более чем или ровно на 20% выше, 50% выше, 75% выше; или на100% выше определенного эталонного уровня.

ПРИМЕРЫ

[0180] Ниже приведены примеры, которые иллюстрируют процедуры реализации изобретения. Эти примеры не должны рассматриваться как ограничивающие. Все указанные процентные доли представляют собой проценты по массе, все пропорции для смесей растворителей являются объемными, если не указано иное.

Пример 1: Клонирование и исследование пластидного и митохондриального гена PPX

[0181] Пластидный и митохондриальные гены PPX амплифицировали как из кДНК, так и геномной ДНК сорта Рассет Бербанк. Клоны пластидного PPX делятся на два класса, обозначенные как StcPPX1 и StcPPX1.1, по-видимому, представляющие аллели единственного гена PPX картофеля. По кодирующей последовательности аминокислот эти клоны отличаются 10 полиморфизмами, 3 из которых приводят к аминокислотным отличиям; только два из которых обнаруживаются в зрелом белке. Одно аминокислотное отличие находится в транзитном пептиде хлоропласта. В одном из клонов StcPPX1.1 интрон 3 был несплайсирован.

[0182] Был получен полноразмерный не содержащий ошибок геномный клон пластидного PPX. Анализ приблизительно 5 т.п.н. геномной последовательности 5 независимых клонов и секвенирование кДНК StcPPX показали, что рассматриваемая разновидность Рассет

Бербанк гетерозиготна, с очень немногочисленными полиморфизмами между двумя аллелями.

[0183] Во-первых, пять полноразмерных клонов StmPPX геномной ДНК клонировали и секвенировали. Указанные пять клонов представляли обе аллели, содержащие однонуклеотидные полиморфизмы, идентичные обнаруживаемым в кДНК. Фрагменты геномной ДНК более короткого ампликона клонировали и секвенировали для проверки на дополнительные аллели. Клонирование этого внутреннего ампликона митохондриального PPX показало присутствие трех аллелей; 6 из 22 клонов содержали делецию в одном из интронов, а в других 16 клонах были равномерно распределены два аллеля, обнаруживаемые в клонах кДНК. Затем секвенировали другие 12 полноразмерных клонов StmPPX геномной ДНК.

[0184] Полное секвенирование митохондриальных генов PPX картофеля Рассет Бербанк показало наличие двух генов, которые авторы обозначили StmPPX1 и StmPPX2. Имеется две аллели StmPPX2, различающиеся 8 обнаруженными SNP (однонуклеотидными полиморфизмами). StmPPX1 и StmPPX2.1 отличаются 1 вставкой, 4 делециями и 30 однонуклеотидными полиморфизмами, при этом StmPPX1 и StmPPX2.2 отличаются 1 вставкой, 4 делециями и 29 однонуклеотидными полиморфизмами. Дополнительные подробности представлены в таблице 7.

[0185] Генные последовательности пластидных и митохондриальных генов PPX картофеля Рассет Бербанк (*Solanum tuberosum*) сравнивали с применением инструмента Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) с подгруженной авторами локальной базой данных, основанной на структуре недавно выпущенного первого полного генома картофеля (*Solanum phureja*). Обнаружены только одиночный пластидный и одиночный митохондриальный ген PPX.

[0186] **Таблица 7**. Аллельные различия между митохондриальными формами PPX картофеля Рассет Бербанк.

StmPPX положение НТ	НТ ген 1	АК ген 1	НТ ген 2, Аллель 1	АК ген 2, Аллель 1	НТ ген 2, Аллель 2	АК ген 2, Аллель 2	StmPPX положение АК	AtcPPX положение АК
296	A (TAC)	Y	A (TAC)	Y	T (TTC)	F	99	145
360	C (AAC)	N	T (AAT)	N	T (AAT)	N	120	166
402	T (CCT)	P	A (CCA)	P	A (CCA)	P	134	180
528	G (ACG)	T	A (ACA)	T	A (ACA)	T	176	218

680	T (GTA)	V	T (GTA)	V	A (GAA)	**E**	227	269|270
692	A (CAC)	**H**	G (CGC)	R	G (CGC)	R	231	272

Пример 2: Комплементация PPX

[0187] StcPPX1, за исключением транзитного пептида хлоропласта, клонировали из кДНК в коммерческий вектор для функционального скрининга от Cibus. Этот вектор может применяться как для функционального скрининга, так и для контроля качества GRON. Гены PPX картофеля применяли для комплементации мутантного штамма *E. coli* HemG с отсутствующим функциональным геном HemG, бактериальным гомологом PPX. В отсутствие комплементирующего гена среда должна быть дополнена гематином для роста *E. coli*. Клоны пластидного гена PPX (pACYStcPPX Col6) и митохондриального гена PPX (pACYStmPPX Col 6, 12 и 21) трансформировали; показано, что все гены /аллели комплементируют мутантный штамм *E. coli* HemG, позволяя последнему расти в отсутствие гематина.

[0188] Для оценки мутаций, которые придают толерантность к ингибиторам PPX, таким как Chateau (флумиоксазин -Valent/Sumitomo), Naja (дифенилэфир – MAI) или Kixor (Киксор) (сафлуфенацил - BASF) в таблице 5 приведены PPX-ингибирующие гербициды. Были получены чистые активные ингредиенты ингибирующих PPX гербицидов Chateau (флумиоксазин -Valent/Sumitomo), Spartan (сульфентразон – FMC) и Kixor/Sharpen (сафлуфенацил – BASF). Клон пластидного PPX картофеля дикого типа (pACYStcPPX Col6) трансформировали для комплементирования мутантного по hemG штамма *E. coli*, и провели отбор с применением серийных разведений активного ингредиента ингибирующего PPX гербицида Spartan (сульфентразон – FMC) для определения концентрации, при которой комплементированный лишенный HemG штамм не растет. Конструкт дикого типа не рос при 2,5 мМ сульфентразона, таким образом, отбор толерантных мутантов проводили при этой концентрации. В дальнейшем было произведено уточнение, и для отбора на толерантность использовали также концентрацию сульфентразона 0,75 мМ. Конструкт дикого типа демонстрировал ограниченный рост при 10 мМ флумиоксазина при отборе на жидких средах и не рос при 0,3 мМ сафлуфенацила при отборе на чашках; указанные концентрации применяли для испытания мутантов на устойчивость. Все митохондриальные гены и аллели PPX картофеля тестировали на

природную толерантность к сульфентразону и флумиоксазину, но ни один не был толерантным.

Пример 3: ПЦР-мутагенез PPX и отбор мутировавших клонов

[0189] Эксперименты с мутагенезом изначально проводили на двух перекрывающихся фрагментах (5' и 3') пластидного гена PPX картофеля для идентификации мутаций в пластидной кодирующей последовательности PPX картофеля, придающих толерантность к гербицидам.

Стандартизация отбора на жидких средах

[0190] Условия отбора в жидких культурах разрабатывали как для сульфентразона, так и для флумиоксазина. Культуры объемом 1 мл тестировали с концентрациями сульфентразона и флумиоксазина в диапазоне от 0 до 10 мМ. Образцы с 0 мМ содержали 25 мкл ДМСО (2,5%) для имитации концентрации ДМСО в образцах, содержащих 10 мМ гербицида. Каждую пробирку инокулировали 10 мкл ночной культуры клеток HemG с добавлением плазмиды с PPX дикого типа для обеспечения однородности. Спектрофотометрические показания (ОП600) снимали для каждого образца (разведение 1:4); образец каждого высевали на чашки со средой LB-хлор-IPTG, чтобы определить, коррелирует ли ОП600 с числом жизнеспособных колоний. 10% разведение ночной культуры высевали в качестве обработанных сульфентразоном клеток; также высевали 1% разведение клеток, обработанных флумиоксазином. (см. результаты в таблицах 8a-f и 9a-d).

[0191] И сульфентразон, и флумиоксазин выпадали в осадок в жидкой среде, что приводило к ее непрозрачности еще до инокуляции бактериями. Как показывает ОП для сульфентразона, этот гербицид в конечном счете растворяется, тогда как флумиоксазин – нет. Недостаточная растворимость флумиоксазина искажает показатели ОПво всех случаях флумиоксазин демонстрировал неизменно снижающееся количество колоний относительно гена дикого типа, что указывает на способность клетки всасывать флумиоксазин из среды.

5'-концевой мутагенез

[0192] 5'-конец гена PPX мутировали с применением набора для случайного мутагенеза GeneMorph II Random Mutagenesis Kit от Stratagene и клонировали в XL-1 Blue для проверки степени мутирования. Результаты показали, что 14 из 16 секвенированных

колоний были мутантами. Чашки с 90% XL-1 Blue (примерно 4000 колоний) соскабливали, готовили плазмиду, трансформировали в HemG и высевали на 2,5 мМ сульфентразон. На чашках с сульфентразоном выросло примерно по 200 колоний; на чашках с 10% LB-хлор-IPTG вырос газон колоний. В таблицах 9a-d представлены нуклеотидные и аминокислотные замены, обнаруженные в толерантных клонах.

Отбор мутагенизированных клонов

[0193] Случайным образом мутированные плазмиды (5' и 3'-концы) трансформировали в клетки XL1-Blue *E. coli*. Полученные колонии объединяли, плазмидную ДНК выделяли и трансформировали в клетки HemG (мутантная по PPX *E. coli*). Для отбора с флумиоксазином клетки восстанавливали в течение 1 ч в жидкой минимальной среды, после чего добавляли гербицид и оставляли клетки для восстановления на ночь. На следующий день указанные клетки высевали в подходящем разведении на чашки с LB, содержащие антибиотик, для отбора комплементирующей плазмиды. Колонии из каждой чашки были секвенированы. После отбора на жидкой среде при 10 мМ флумиоксазина примерно 30 колоний появилось на чашках с PPX дикого типа (WT), по сравнению с примерно 200-1200 колониями с мутагенизированными плазмидами. При отборе с сульфентразоном культуры культивировали на минимальной среде в течение ночи, разводили и высевали на чашки с концентрацией сульфентразона 0 и 0,75 мМ. Для указанных двух концентраций сравнивали количество колоний и определяли толерантность мутаций на основании процентного количества колоний на чашках с 0,75 мМ сульфентразона относительно чашек с 0 мМ. Число колоний, обнаруживаемых на чашках, использовали для ранжирования мутаций.

3'-концевой мутагенез

[0194] Проводили мутагенез на 3'-конце гена PPX. Клоны трансформировали в HemG и культивировали в течение ночи в 2,5; 5 и 10 мМ флумиоксазине для отбора. Отбор при 5мМ флумиоксазине давал значительно больше колоний, чем на 10мМ селективных чашках. Отбор мутировавших клонов с применением 10мМ флумиоксазина давал четыре клона. Отбор мутировавших клонов с применением 5мМ флумиоксазина давал 200 колоний. Проводили скрининг в 10мМ флумиоксазине верхней трети 200 колоний, полученных 3'-концевым мутагенезом. Все толерантные колонии (примерно 130)

секвенировали и наиболее флумиоксазин-устойчивые мутанты, по оценке числа колоний на флумиоксазине, 3'-конец оценивали на толерантность к сульфентразону.

Пример 4: Анализ замен аминокислот, придающих толерантность

[0195] Толерантность проверяли для всех возможных замен аминокислот по каждому положению, проявляющих толерантность к сульфентразону или флумиоксазину. Далее, одиночные замены аминокислот комбинировали во всех перестановках и сочетаниях для оценки комплементации и толерантности к гербицидам. Результаты комбинаций одиночных и множественных мутаций к флумиоксазину приведены в таблицах 8a, 8b и 8c, где в последнем столбце показано число колоний, замеченных при каждой мутации на 10мМ флумиоксазине. Результаты комбинаций одиночных и множественных мутаций на сульфентразоне приведены в таблицах 9a и 9b, где в последнем столбце показано число колоний, замеченных при каждой мутации на 0,75мМ сульфентразоне**.** Результаты комбинаций одиночных и множественных мутаций на сафлуфенациле показаны в таблице 10, где в четвертом столбце показано число колоний, замеченных при каждой мутации на 0,3 мМ сафлуфенациле.

[0196] Таблица 8a. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в пластидной кодирующей последовательности PPX картофеля к флумиоксазину.

Мутация		**Плазмида**	**Средн. кол-во устойчивых к флумиоксазину клонов**
---	L393V	F1125	0
---	L403R	F1155	2
A180T	Y426F	SD5083	2
---	L424S	F1154	2
F145L	Y426H	SD5055	3
S244G	Y426F	SD5087	10
F145L	L403R	SD5115	10
---	Y426F	F1165	11
F145Y	L424S	SD5106	13
R144C	L424S	SD5102	41
L226M	Y426H	SD5059	55
A220T	L403R	SD5114	69
---	Y426H	F1180	71
A220T	L424S	SD5104	72
F145Y	Y426F	SD5086	75
R144C	L393V	SD5092	81
A220T	L393V	**SD5094**	107
S244G	L393V	***SD5097***	114
L226M	L403R	***SD5119***	123
A180T	Y426H	***SD5053***	129

L226M	L424S	***SD5109***	137
L226M	Y426F	***SD5089***	143
A220T	Y426F	**SD5084**	147
A220T	Y426H	**SD5054**	151
R144C	Y426F	***SD5082***	155
---	---	wt	0

[0197] Таблица 8b. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в пластидной кодирующей последовательности PPX картофеля к флумиоксазину.

Мутация			**Плазмида**	**Средн. кол-во устойчивых к флумиоксазину клонов**
R144C	A220T		SD5011 Col 1	701
A220T			F113	667
R144H	S332C		F76	517
R144C	K272F		SD5014 Col 1	300
N52K	R144H	S244T	F72	202
N85D	A220T		SD5007 Col 1	196
R144H	S244T		F96	174
R144C			S7	139
R144C	L226M		SD5012 Col 1	117
M228L			S37	107
L226M			F114	102
N85D	L226M		SD5008 Col 2	50
F145Y			S32	38
N85D	F145Y		SD5004 Col 3	37
S244G			S120	31
R144C	M228L		SD5013 Col 2	31
P185R			SD5016 Col 1	27
N52K			SD5001 Col 3	23
N85D	A180T		SD5005 Col 1	23
A180T			F17	22
N85D	R144C		SD5002 Col 1	21
S332C			SD5019 Col 1	20
F145L			S118	19
N85D			F80	16
K272F			F7	15
S244T			SD5018 Col 3	10
N85D	K272F		SD5010 Col 4	7
N85D	M228L		SD5009 Col 3	6
			WT	43

[0198] Таблица 8c. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в пластидной кодирующей последовательности PPX картофеля к флумиоксазину.

Мутация		Плазмида	Средн. кол-во устойчивых к флумиоксазину клонов
N85D	Y426H	SD5051	30
R144C	Y426H	SD5052	48
F145Y	Y426H	SD5056	52
S244T	Y426H	SD5058	73
S244G	Y426H	SD5057	80
A180T	Y426H	SD5053	128
L226M	Y426H	SD5059	228
F145L	Y426H	SD5055	305
A220T	Y426H	SD5054	391
---	Y426H	F1180	210
---	---	wt	32

[0199] Таблица 8d. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в митохондриальной кодирующей последовательности PPX картофеля к 5 мМ флумиоксазину.

A404S	
C271R	D274G
C307S	A423V
C434S	T500S
C434Y	
D330E	
D447G	A292G
D454N	
N324K	
R406K	
S396L	K410I
S448A	*N324D*
Y465F	K470T

[0200] Таблица 8e. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в митохондриальной кодирующей последовательности PPX картофеля к 5 мМ флумиоксазину.

A101V			
C177S			
D170E			
D58N			
E150K			
E64V			
F121L	E150D		
G74C	R98C		
G84N			
K97R			
L93H	V164A		

N195K			
P214S			
Q157L	H187Q		
R98C			
R98H			
R98L			
R98L	P214H		
R98L	T124I	L188F	K229Q
S119N	N139Y		
S151T	K229E	K230R	
V164F			

[0201] Таблица 8f. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в митохондриальной кодирующей последовательности PPX картофеля к 10 мМ флумиоксазину.

Мутант	Число колоний с 10 мМ флумиоксазином
wt	42
R98L	83
P214H	51
R98L/P214H	88
R98L/P214H/T124I	110
R98L/P214H/T124I/K229Q	109

5

[0202] Таблица 9a. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в пластидной кодирующей последовательности PPX картофеля к сульфентразону.

Мутация		**Плазмида**	**В средн. 0,75 мМ Сульф.**	**В средн. 0 мМ**	**0,75мМ/0мМ**
---	Y426F	F1165	8	91	0,8%
---	L393V	F1125	6	57	1,0%
L226M	Y426H	SD5059	14	79	1,8%
S244T	L393V	SD5098	11	53	2,1%
F145Y	Y426H	SD5056	16	72	2,2%
---	L403R	F1155	16	72	2,2%
R144C	S525T	SD5072	19	76	2,6%
A220T	L393V	SD5094	20	55	3,6%
---	L424S	F1154	21	56	3,7%
F145L	L424S	SD5105	18	48	3,8%
---	Y426H	F1180	29	68	4,2%
A220T	Y426H	SD5054	19	39	5,0%
F145Y	L393V	SD5096	55	86	6,3%
S244T	Y426F	SD5088	58	88	6,5%
F145Y	L424S	SD5106	49	69	7,1%
A220T	L403R	SD5114	50	63	7,9%
L226M	Y426F	SD5089	117	67	17,4%

N85D	Y426H	SD5051	200	92	21,8%
L226M	L424S	SD5109	91	40	22,6%
F145Y	L403R	SD5116	315	110	28,5%
F145L	L393V	SD5095	381	121	31,6%
L226M	L403R	SD5119	252	75	33,8%
R144C	Y426F	SD5082	400	117	34,3%
S244G	L393V	SD5097	433	125	34,7%
---	S525T	F1061	278	79	35,3%
A180T	Y426H	SD5053	331	80	41,4%
R144C	Y426H	SD5052	709	125	56,6%
---	---	wt	0	85	0,0%

[0203] Таблица 9b. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в пластидной кодирующей последовательности PPX картофеля к сульфентразону.

Мутация(и)			Плазмида	Средн. кол-во сульфентразон-устойчивых клонов
R144C	M228L		SD5013 Col 2	267
R144C	A220T		SD5011 Col 1	260
F145Y			S32	233
R144C	L226M		SD5012 Col 1	186
A220T			F113	149
P185R			SD5016 Col 1	133
R144C	K272F		SD5014 Col 1	118
N52K			SD5001 Col 3	90
M228L			S37	78
N85D	A180T		SD5005 Col 1	75
S244G			S120	68
R144H	S332C		F76	64
N85D	F145Y		SD5004 Col 3	62
K272F			F7	61
L226M			F114	57
R144C			S7	55
S244T			SD5018 Col 3	32
R144H	S244T		F96	31
F145L			S118	29
S332C			SD5019 Col 1	28
N85D	R144C		SD5002 Col 1	25
N85D	A220T		SD5007 Col 1	19
N85D	L226M		SD5008 Col 2	18
A180T			F17	18
N52K	R144H	S244T	F72	18
N85D	M228L		SD5009 Col 3	12
N85D			F80	6
N85D	K272F		SD5010 Col 4	6
			WT	23

[0204] Таблица 9c. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в митохондриальной кодирующей последовательности PPX картофеля к сульфентразону.

Конц. сульф.	Мутант(ы)	Колонии	%
0 мМ	R98L/P214H	1341	
0,5 мМ	R98L/P214H	349	26,0%
0,9 мМ	R98L/P214H	127	9,5%
1,0 мМ	R98L/P214H	77	5,7%
1,1 мМ	R98L/P214H	67	5,0%
1,2 мМ	R98L/P214H	48	3,6%
0 мМ	R98L	1541	
0,5 мМ	R98L	339	22,0%
0,9 мМ	R98L	145	9,4%
1,0 мМ	R98L	110	7,1%
1,1 мМ	R98L	76	4,9%
1,2 мМ	R98L	54	3,5%
0 мМ	R98L/T124I/K229Q	1220	
0,5 мМ	R98L/T124I/K229Q	312	25,6%
0,9 мМ	R98L/T124I/K229Q	88	7,2%
1,0 мМ	R98L/T124I/K229Q	66	5,4%
1,1 мМ	R98L/T124I/K229Q	40	3,3%

[0205] Таблица 9d. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в митохондриальной кодирующей последовательности PPX картофеля к сульфентразону.

Конц. сульф.	Мутант(ы)	Колонии	%
0 мМ	R98L/P214H	1088	
0,4 мМ	R98L/P214H	251	23,1%
0,5 мМ	R98L/P214H	150	13,8%
0,6 мМ	R98L/P214H	105	9,7%
0,7 мМ	R98L/P214H	108	9,9%
0,8 мМ	R98L/P214H	51	4,7%
0 мМ	R98L	1171	
0,4 мМ	R98L	174	14,9%
0,5 мМ	R98L	104	8,9%
0,6 мМ	R98L	98	8,4%
0,7 мМ	R98L	92	7,9%
0,8 мМ	R98L	51	4,4%
0 мМ	R98L/T124I/P214H/K229Q	1134	
0,4 мМ	R98L/T124I/P214H/K229Q	724	63,8%
0,5 мМ	R98L/T124I/P214H/K229Q	654	57,7%
0,6 мМ	R98L/T124I/P214H/K229Q	402	35,4%
0,7 мМ	R98L/T124I/P214H/K229Q	302	26,6%
0,8 мМ	R98L/T124I/P214H/K229Q	280	24,7%
0 мМ	P214H	1184	
0,4 мМ	P214H	0	0,0%

0,5 мМ	P214H	0	0,0%
0,6 мМ	P214H	0	0,0%
0,7 мМ	P214H	0	0,0%
0,8 мМ	P214H	0	0,0%

[0206] Таблица 10. Толерантность комбинаций одиночных и множественных мутаций в пластидной кодирующей последовательности PPX картофеля к сафлуфенацилу, измеренная по числу отмеченных колоний.

Мутация		Плазмида	Средн. кол-во сафлуфенацил-устойчивых клонов	Средн. 0 мМ	0,3мМ/0мМ
---	S525T	F1061	0	69	0,0%
N85D	Y426H	SD5051	0	64	0,0%
F145L	L393V	SD5095	0	114	0,0%
S244G	L393V	SD5097	0	111	0,0%
F145Y	L403R	SD5116	0	104	0,0%
L226M	L424S	SD5109	6	50	1,3%
L226M	Y426F	SD5089	15	96	1,5%
A220T	L393V	SD5094	116	99	11,7%
A220T	Y426F	SD5084	190	87	22,0%
L226M	L403R	SD5119	225	69	32,5%
R144C	Y426F	SD5082	319	61	52,6%
R144C	Y426H	SD5052	415	75	55,4%
A180T	Y426H	SD5053	394	60	65,7%
A220T	Y426H	SD5054	356	46	77,5%
---	---	wt	0	96	0,0%

Пример 5: Культивирование растительных клеток – кривые уничтожения для гербицидов

Кривые уничтожения для флумиоксазина

[0207] Для определения концентрации гербицида, необходимой для уничтожения полученных из протопластов микрокаллусов за определенный период воздействия, проводили эксперименты по отбору с гербицидами. С учетом результата для первичной кривой уничтожения, где концентрация 125 мкМ была достаточной для уничтожения всех клеток в течение недели, конструировали новую кривую уничтожения с применением более низких концентраций флумиоксазина с целью определения концентрации, при которой погибают 99% клеток (см. таблицу 11). Указанный гербицид суспендировали в ДМСО до конечной концентрации ДМСО при обработке гербицидом, составляющей 1%. Развитие клеток оценивали под микроскопом еженедельно. Исключая контрольную

обработку, деление при всех воздействиях флумиоксазином предотвращалось через одну неделю; через месяц микрокаллусов при любой из протестированных концентраций не развивалось. Концентрация флумиоксазина 0,032 мМ достаточна для предотвращения развития микрокаллусов из протопластов картофеля.

[0208] Таблица 11. Обзор результатов экспериментов с кривой уничтожения для флумиоксазина с суспензией клеток и полученными из верхушек побегов протопластами. Протопласты подвергались действию флумиоксазина на протяжении одного месяца.

Необработанный протопласт + ПЭГ	Число каллусов в 3 шариках		Стоп-GFP + Корректирующий GRON	Число каллусов в 3 шариках	
Конц. флумиоксазина, мкМ	Число	%	Конц. флумиоксазина, мкМ	Число	%
Контроль #1*	185		Контроль	230	
Контроль #2**	150		Контроль	190	
Ср. Контр. 1 + Контр. 2	157,5	100	Ср. Контр. 1 + Контр. 2	210	100
0,0156	40	25	0,0156	83	39
0,0312	8	5	0,0312	11	4
0,0468	0,0	0,0	0,0468	0,0	0,0
0,0624	0	0	0,0624	0	0

* Культуральная среда, без гербицида
** Культуральная среда с 1% ДМСО, без гербицида

Кривые уничтожения для сульфентразона

[0209] Кривые уничтожения для сульфентразона на полученных из верхушек побегов протопластах и суспензии клеток показывают, что концентрации 7,8 мкМ сульфентразона достаточны для уничтожения всех полученных из протопластов клеток (см. таблицу 12). Таким образом, новые кривые уничтожения начинались с более низких концентраций: 0; 0,5; 0,6; 0,7 и 0,8 мкМ сульфентразона, как показано в таблице 13. Эти результаты показывают, что обработанные GRON протопласты можно отбирать при концентрациях указанного гербицида от 0,6 мкМ до 0,7 мкМ.

[0210] Таблица 12. Обзор результатов экспериментов с кривой уничтожения для сульфентразона с суспензией клеток и полученными из верхушек побегов протопластами. Протопласты подвергались действию сульфентразона на протяжении одного месяца.

Обработка сульфентразоном [мкМ]	**Образование микрокаллуса**
Контроль: 1*	Да; обильное
Контроль: 2**	Да; обильное
62,5	Нет
31,25	Нет
15,6	Нет

7,8	Нет

* Культуральная среда, без гербицида
** Культуральная среда с 1% ДМСО, без гербицида

[0211] Таблица 13. Обзор результатов экспериментов с кривой уничтожения для сульфентразона с суспензией клеток и полученными из верхушек побегов протопластами. Протопласты подвергались воздействию указанного гербицида на протяжении одного месяца.

Необработанный протопласт + ПЭГ	Число каллусов в 3 шариках		Стоп-GFP + Корректирующий GRON	Число каллусов в шариках	
Конц-я сульфентразона, мкМ	Число	%	Конц-я сульфентразона, мкМ	Число	%
0,0	115	100	0,0	125	100%
0,5	45	30	0,5	38	30,2
0,6	8	6,9	0,6	12	9,6
0,7	2	1,7	0,7	7	5,6
0,8	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0

* Культуральная среда, без гербицида
** Культуральная среда с 1% ДМСО, без гербицида

Пример 6: Кривые уничтожения листовых дисков

[0212] С целью установления концентрации сульфентразона, подавляющей образование каллуса в эксплантатах листовых дисков, из выращенных in vitro растений картофеля возрастом 5 недель вырезали стерильным дыроколом листовые диски. Указанные листовые диски культивировали в чашках Петри с твердой культуральной средой Haberlach, содержащей различные концентрации сульфентразона в конечной концентрации ДМСО 1%. Шесть листовых дисков культивировали при каждой из концентраций гербицида. Чашки запечатывали микрокопористой лентой и инкубировали при комнатной температуре (примерно 23°C). В стартовом эксперименте концентрация сульфентразона 7,8 мкМ– самая низкая из протестированных в этом эксперименте, была достаточной для прекращения образования каллуса и обесцвечивания всех листовых дисков в течение 20 дней. Результаты для кривой уничтожения при более низких концентрациях сульфентразона показали, что концентрация сульфентразона 3,0 мкМ была достаточной для подавления образования каллуса практически во всех листовых дисках через 20 дней, при этом через 13 дней каллус появлялся на жилках некоторых листовых дисков, растущих на 2,0 мкМ сульфентразоне. Аналогичные эксперименты с кривой уничтожения листовых дисков проводили с применением сафлуфенацила, при этом

концентрация указанного гербицида 0,5 мкМ была достаточной для подавления образования каллуса практически во всех листовых дисках через 20 дней.

Пример 7: Материалы и способы культивирования клеток и введения GRON

[0213] Таблица 14. Последовательности GRON

GRON	**Последовательность**
StcPPX1144/C/47/5'Cy3/3'idC	VGTTGGGAGATCCTGATGCGCCT**T**GCTTTGTCTTG TGGAAGGATAAACH (SEQ ID NO: 33)
StcPPX1144/NC/47/5'Cy3/3'idC	VGTTTATCCTTCCACAAGACAAAGC**A**AGGCGCATC AGGATCTCCCAACH (SEQ ID NO: 34)
StcPPX1220/C/47/5'Cy3/3'idC	VCATCATTTTACAGGTGTTTAC**A**CCGGTGACCCCT CAAAATTGH (SEQ ID NO: 35)
StcPPX1220/NC/47/5'Cy3/3'idC	VCAATTTTGAGGGGTCACCGG**T**GTAAACACCTGTA AAATGATGH (SEQ ID NO: 36)

Конвертирующее основание выделено жирным шрифтом. V=CY3; H=3'DMT dC CPG

[0214] Описание процесса культивирования клеток. Побеги, например, полученные из семян, клубней, пазушных почек, листьев, стеблей, корней, каллуса или из происходящих из микроспор зародышей проращивают в стерильных условиях *in vitro*. Эксплантаты пересевают, например, каждые 3-4 недели и культивируют в сосудах для культивирования Magenta GA7 (Phytotechnology Laboratories, Шони Мишн, Канзас, США) с вентилируемыми крышками в составляющем приблизительно 100 мл объеме культуральной среды, например, среды MS по Murashige и Skoog (Модифицированная среда для быстрого роста и биоанализа культур табака). Physiol. Plant 15 (1962) 473-49) или ее модификации. Указанные сосуды могут быть запечатаны микропористой лентой (Micropore tape) (3M Company). Для выделения протопластов могут быть использованы молодые листья, верхушки побегов, корни, микроклубни или длинные сегменты стеблей с листовыми и пазушными почками, а также каллус, полученный из указанных тканей. Протопласты могут также быть выделены из клеток суспензионной культуры, полученных из молодых листьев, верхушек побегов, корней, микроклубней или длинных сегментов стеблей с листовыми и пазушными почками, а также каллуса, полученного из указанных тканей.

Выделение протопластов из верхушек побегов

[0215] Приблизительно 200 верхушек 2–8-недельных *in vitro* побегов, которые культивировали в обычном режиме день/ночь, либо, предпочтительно, выдерживали в течение двух дней до выделения протопластов в темноте, побеги могут быть разрезаны с помощью скальпеля на маленькие кусочки в чашке Петри со стерильной водой. После разрезания всех верхушек воду заменяют культуральной средой для протопластов, предпочтительно BN (среда с солями и витаминами B5 Salts and Vitamins (Phytotechnology Laboratories), 20 г/л глюкозы, 70 г/л маннита, 5 мг/л α-нафталинуксусной кислоты, дополнительно $CaCl_2$ x $2H_2O$ 600 мг/л, 250 мг/л казеинового гидролизата, 10 мг/л цистеин-HCL, 5 г/л поливинилпирролидона (ММ 10 000). Приблизительно через 1–2 часа указанную культуральную среду для протопластов заменяют ферментным раствором, например, состоящим из среды BN, в котором растворено 0,5% (масса/объем) целлюлазы Cellulase YC и 0,75% (масса/объем) мацерозима Macerozyme R10 (оба от Karlan Research PrOPucts, Коттонвуд, Аризона), 1 г/л альбумина бычьей сыворотки и 1 г/л 2-морфолиноэтансульфоновой кислоты. Отношение числа верхушек побегов к объему ферментного раствора может составлять от 10 до 16, предпочтительно, 13. Чашку с кусочками верхушек побегов в ферментном растворе инкубируют при 25°C–30°C, предпочтительно 28°C, в темноте, на шейкере, установленном приблизительно на 50 об/мин. После инкубирования в течение ночи суспензию протопластов очищают с применением градиента плотности йодиксанол (по адаптированной инструкции Optiprep Application Sheet C18; Purification of Intact Plant Protoplasts («Очищение интактных растительных протопластов»); Axis-Shield США, Коммерс Уэй (Commerce Way), 10, Нортон, Массачусетс 02776). После центрифугирования в градиенте плотности полосу с очищенными протопластами извлекают вместе с приблизительно 5 мл среды W5 (Frigerio *et al.*, 1998). Плотность и выход протопластов определяют с помощью гемоцитометра. Плотность протопластов доводят до 1×10^6/мл в среде BN, содержащей 2 мг/л 2,6-дихлорбензонитрила (ингибитора целлюлозосинтазы), и протопласты культивируют в темноте при 30°C в течение приблизительно 16 ч.

Выделение протопластов из суспензий клеток

[0216] Выделение протопластов из суспензий клеток проводят согласно тому же протоколу, что и описанный для выделения протопластов из верхушек побегов, со следующими исключениями:

1. Применяют суспензии быстро растущих клеток, предпочтительно через три дня после последнего пересева. Объем осевших клеток 1,5 мл переносят приблизительно в 15 мл среды BN, которую через 2 часа замещают ферментным раствором. 2. После очищения протопластов немедленно проводят обработку GRON/ПЭГ.

Введение олигонуклеотидов для генной репарации (GRON)

[0217] Суспензию протопластов смешивают с равным объемом среды W5, переносят в центрифужную пробирку объемом 50 мл и центрифугируют в течение 10 мин при минимальном для клинического центрифугирования значении (приблизительно 50 x g). Супернатант удаляют и замещают средой TM (Klaus, S. Markerfreie transplastome Tabakpflanzen (Трансластомные растения табака без маркеров). PhD Dissertation, 2002, Ludwig-Maximilians-Universität München, 109 pp), доводят плотность протопластов до 5×10^6/мл. Аликвоты по 100 мкл, содержащие 5×10^5 протопластов каждая, распределяли по круглодонным центрифужным пробиркам объемом 12 мл. Затем в протопласты с применением обработки ПЭГ вводили GRON (такие как приведенные в таблице 14), нацеленные на одну или более мутацию в одном или обоих митохондриальном и пластидном генах PPX. Для введения указанных GRON в протопласты добавляют 12,5 мкг GRON, растворенных в 25 мкл очищенной воды, и 125 мкл раствора полиэтиленгликоля (5 г ПЭГ с ММ 1500, 638 мг маннита, 207 мг $CaNO_3$ x $4H_2O$ и 8,75 мл очищенной воды; pH доводили приблизительно до 9,0). Через 10-30 мин инкубации на льду суспензию протопластов и ПЭГ промывают средой W5 и ресуспендируют в среде BN. Указанную суспензию выдерживают в течение ночи в темноте при комнатной температуре.

[0218] GRON могут быть введены в протопласты с применением электропорации, катионных липидов, наночастиц, поликатионов, таких как гексаметрина бромид (полибрен) или спермидин, или с применением GRON, связанных в комплексы с разнообразными проникающими в клетки пептидами (CPP/ПКП), включая, но не ограничиваясь перечисленными, TAT, pVEC, транспортан, нона-аргинин, BAX-ингибирующий пептид (VPMLK), или такие как перечисленные у Patel *et al.* Cell Penetrating Peptides: Intracellular Pathways and Pharmaceutical Perspectives («Проникающие в клетки пептиды: внутриклеточные пути и перспективы фармацевтического применения»). Pharmaceutical Research, 24 (2007) 1977-1992, или у Veldhoen *et al.* Recent developments in peptide-based nucleic acid delivery («Последние достижения в области

доставки нуклеиновых кислот на основе пептидов»). International Journal of Molecular Science (2008) 1276-1320. Согласно другому варианту реализации GRON вводят в протопласты с помощью отрицательно заряженных полимеров, включая дендримеры, такие как полиамидоамин (PAMAM), но не ограничиваясь ими.

[0219] GRON также могут быть доставлены в целые ткани либо клетки с применением способов, которые могут включать микроинъекции, биолистику покрытыми GRON носителями, такими как золото, или непосредственно в форме капель суспензии GRON, покрытых GRON вискеров, либо с применением GRON в комплексах с разнообразными проникающими в клетки пептидами (CPP), отрицательно заряженными полимерами, упомянутыми в предыдущем параграфе. Другие варианты реализации предполагают применение ультразвука, пропитывание в GRON-содержащих растворах, или пермеабилизация клеточных стенок, например, с помощью таких агентов, как толуол или сапонин.

Внедрение протопластов в альгинат кальция

[0220] Через день после введения GRON протопласты внедряют в альгинат кальция. Было показано, что внедрение протопластов в гелевые субстраты (например, агарозу, альгинат) повышает выживаемость протопластов и увеличивает частоту деления полученных из протопластов клеток. Применяемый способ основан на описанном у Dovzhenko *et al.* (Thin-alginate-layer technique for protoplast culture of tobacco leaf protoplasts: shoot formation in less than two weeks («Методика культивирования культуры протопластов табачного листа на тонком слое альгината: формирование побегов менее за две недели»). Protoplasma 204 (1998) 114-118).

Культивирование протопластов и отбор устойчивых к гербицидам каллусов

[0221] Отбор устойчивых к гербицидам каллусов проводят с применением последовательного субкультивирования альгинатов в жидкой среде по Pelletier *et al.* (1983). Отбор можно начинать через неделю после обработки ПЭГ/GRON при подходящей концентрации Ингибирующего PPX гербицида; например, 32 мкМ флумиоксазина, или 0,25 мкМ, 0,5 мкМ, 1 мкМ; 2 мкМ; 3 мкМ; 4 мкМ; 5 мкМ; 6 мкМ; 7 мкМ; 7,8 мкМ; 15,6 мкМ; 31,2 мкМ или 62,5 мкМ сульфентразона.

[0222] До окончания фазы отбора в жидкой среде клетки и колонии извлекают из альгината обработкой в течение 30-45 мин культуральной средой, содержащей 50 мМ

цитрата натрия. К моменту переноса извлеченных колоний из жидкой среды на твердую среду Cul (Haberlach *et al*. Isolation, culture and regeneration of protoplasts from potato and several related Solanum species. Plant Science, 39 (1985) 67-74), большинство колоний либо могут погибнуть, либо состоят из зеленоватого центра, покрытого внешними слоями мертвых клеток. На отвержденной селективной среде (Cul + гербицид) большинство микрокаллусов, которые все еще содержат живые клетки, могут прекратить рост и побуреть. Ограниченный рост отдельных каллусов иногда продолжается, но все неустойчивые каллусы в конечном итоге буреют и погибают. Спустя две-три недели после переноса на отвержденную селективную среду (иногда ранее) активно растущие каллусы могут появляться на фоне побуревших клеток и микрокаллусов.

[0223] Проводят регенерацию растений из полученные из протопластов гербицидотолерантных каллусов с подтвержденной мутацией в гене PPX. Толерантные к Ингибирующему PPX гербициду каллусы, развивающиеся на отвержденной селективной среде, анализ ДНК которых показывает наличие мутаций, переносили в не содержащую гербицидов среду Cul для ускорения развития. Скорости роста и морфология индивидуальных каллусных линий варьируют. В целом развитие в направлении регенерации побегов проходит следующие этапы:
Недифференцированный зеленый каллус → каллус с темно-зелеными участками → развитие зачатков побегов → развитие растения.

[0224] Развитие индивидуальных каллусных линий изменчиво, но многие в итоге дают побеги при непрерывном субкультивировании и размножении на среде Cul или за счет изменения состава среды на дифференцирующую среду, включая дифференцирующую среду Haberlach, но не ограничиваясь ей, на протяжении подходящего периода времени (1–6 месяцев) с последующим переносом указанных каллусных линий на среду для регенерации, включая среду для регенерации Bokelmann (Bokelmann G.S. and Roest S., Z. Pflanzenphysiol. vol. 109, p. 259-265 (1983)), но не ограничиваясь ей.

[0225] После того как на среде для регенерации сформировались побеги с тремя-четырьмя листьями, их переносят на среду для размножения, включая среду MS, но не ограничиваясь ей. На указанной среде со временем развиваются морфологически «нормальные» побеги и листья. После того как полученные *in vitro* ростки дают корни, применяют стандартные протоколы адаптации к условиям теплицы.

Молекулярный скрининг

[0226] Для мониторинга частоты мутаций PPX после обработки RTDS могут применяться стандартные молекулярные техники и более чувствительные основанные на ПЦР технологии. Указанные молекулярные техники включают, но не ограничены перечисленными, аллель-специфичную ПЦР, секвенирование ДНК и другие технологии идентификации SNP с применением не задействующих ПЦР техник. Указанные техники позволяют проводить мониторинг частоты направленных мутаций PPX на раннем этапе процедуры. Согласно некоторым вариантам реализации указанные мутации могут оцениваться в популяциях одиночных клеток. Указанные техники затем могут применяться на протяжении всего процесса культивирования для подтверждения и отслеживания наличия мутаций в отобранных каллусах и регенерированных растениях.

Пример 8: Опрыскивание гербицидами

[0227] Растения картофеля *Solanum tuberosum* или сорта Рассет Бербанк по достижении ими 2–6 дюймов в высоту (как правило, на этапе 5–6 листов) опрыскивают различными PPX-ингибирующими гербицидами. Гербициды распыляют в присутствии 0,25% поверхностно-активного агента AU391. Указанные гербициды распыляют, например, в следующих количествах:

Флумиоксазин	2 унций активного ингредиента на акр (а.и./акр)
Сульфентразон	4,5 унций а.и./акр
Сафлуфенацил	1-13 унций а.и./акр

[0228] Гербициды применяют, опрыскивая листья; контрольные растения не опрыскивают. Эксперименты с PPX-ингибирующим гербицидом оценивают спустя 14 дней после опрыскивания с применением шкалы поврежденности от 1 до 10, где 1 соответствует гибели, а 10 соответствует неповрежденным неопрыскиваемым контролям. Линии индивидуальных растений сравнивают для каждой интенсивности опрыскивания с результатами для контроля при данной конкретной интенсивности. PPX-ингибирующие гербициды потенциально имеют широкий диапазон применения и могут использоваться для «пре-» или «пост-» обработки урожаев, в том числе, картофеля. Исследования с гербицидами проводят как в теплицах, так и в поле для мониторинга ущерба, наносимого растениям (сельскохозяйственным культурам), и/или контроля сорняков. Продукты с использованием RTDS могут позволить фермерам при посеве сельскохозяйственных

культур, таких как картофель, применять PPX-ингибирующие гербициды для устранения или контролирования сорняков на полях, не нанося при этом ущерба культурам.

[0229] Если не указано иное, все используемые в настоящей заявке технические и научные термины имеют те же значения, в общем случае подразумеваемые средним специалистом в той области техники, к которой принадлежит настоящее изобретение.

[0230] Изобретения, иллюстративно описанные в настоящей заявке, могут быть подходящим образом осуществлены в отсутствие какого-либо элемента или элементов, ограничения или ограничений, конкретно не описанных в настоящей заявке. Соответственно, например, термины «содержащий», «включающий», «имеющий в составе» и т.д. должны пониматься в широком смысле и без ограничения. Кроме того, термины и выражения, использованные в настоящей заявке, применены в качестве описательных, но не ограничительных терминов, без намерения применения таких терминов и выражений для исключения любых эквивалентов представленных и описанных в настоящей заявке признаков или их элементов. Следует понимать, что в объем заявленного изобретения могут входить различные модификации.

[0231] Таким образом, необходимо понимать, что, хотя настоящее изобретение описано конкретным образом с использованием предпочтительных вариантов и возможных признаков, специалисты в данной области техники могут прибегать к модификациям, улучшению и вариациям описанных изобретений, и предполагается, что такие модификации, улучшения и вариации входят в объем настоящего изобретения. Приведенные в настоящей заявке материалы, способы и примеры представляют предпочтительные варианты реализации, являются иллюстративными и не предназначены для ограничения объема настоящего изобретения.

[0232] В настоящей заявке изобретение было описано в широком и общем смысле. Каждый(ое) из более ограниченных видов и подклассовых групп, входящих в общее раскрытие, также является частью настоящего изобретения. Это касается и общего описания настоящего изобретения с оговоркой или отрицательным ограничением, удаляющим(ей) любой объект указанного класса, независимо от того, упоминается или нет конкретный исключенный материал в данной заявке.

[0233] Кроме того, в тех случаях, когда свойства или аспекты настоящего изобретения описаны в терминах групп Маркуша, специалистам в данной области техники будет ясно,

что настоящее изобретение таким образом также описывается в терминах любого индивидуального представителя или подгруппы представителей группы Маркуша.

[0234] Все публикации, патентные заявки, патенты и другие упоминаемые в настоящей заявке источники явным образом во всей полноте включены в нее посредством ссылок, в том же объеме, как если бы каждый их них был включен посредством индивидуальной ссылки. В случае конфликта настоящее описание, включая определения, будет иметь преимущество.

[0235] Другие варианты реализации приведены в нижеследующей формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Растение, устойчивое к одному или более гербицидам, ингибирующим PPX, содержащее:

мутантный ген протопорфириноген IX оксидазы (PPX), кодирующий белок PPX, содержащий замену в положении аминокислоты, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1, причем указанная замена в положении аминокислоты, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1 представляет собой замену тирозина на фенилаланин, причем указанное растение экспрессирует белок PPX.

2. Растение по п. 1, характеризующееся тем, что указанный белок PPX дополнительно содержит одну или более замен, выбранных из: аргинина на цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, фенилаланина на тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, аланина на треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, аланина на треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, лейцина не метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и серина на треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1.

3. Растение по п. 1 или 2, характеризующееся тем, что указанное растение выбрано из группы, состоящей из картофеля, подсолнечника, сахарной свеклы, кукурузы, хлопка, соевых бобов, пшеницы, ржи, овса, риса, канолы, плодовых растений, овощей, табака, ячменя, сорго, томата, манго, персика, яблони, груши, клубники, банана, дыни, моркови, салата, лука, видов сои, сахарного тростника, гороха, кормовых бобов, тополя, винограда, цитрусовых, люцерны, дернообразующих и кормовых трав, льна, масличного рапса, огурца, вьюнка, бальзамина, перца, баклажана, бархатцев, лотоса, капусты, астровых, гвоздики, петунии, тюльпана, ириса, лилии и дающих орехи растений, в частности, где указанное растение относится к виду, выбранному из группы, состоящей из *Solanum tuberosum*, *Oryza sativa и Zea mays*, или где указанное растение относится к сорту картофеля Рассет Бербанк.

4. Растение по любому из предшествующих пунктов, характеризующееся тем, что указанное растение устойчиво к одному или более гербицидам, ингибирующим PPX, выбранным из ацифлуорфена-Na, Бифенокса, Хлометоксифена, флуорогликофен-этила, Фомесафена, Галосафена, Лактофена, Оксифлуорфена, Флуазолата, пирафлуфен-этила, цинидон-этила, Флумиоксазина, флумиклорак-пентила, флутиацет-метила, Тидиазимина, Оксадиазона, Оксадиаргила, Азафенидина, карфентразон-этила, Сульфентразона, Пентоксазона, Бензфендизона, Бутафенацила, Сафлуфенацила, Пиразогила, Профлуазола, в частности, где указанное растение устойчиво к одному или более гербицидам, выбранным из группы, состоящей из флумиоксазина, сульфентразона и сафлуфенацила.

5. Растение по любому из предшествующих пунктов, характеризующееся тем, что ген PPX представляет собой эндогенный ген PPX растения.

6. Растительная клетка, содержащая:

мутантный ген протопорфириноген IX оксидазы (PPX), кодирующий белок PPX, содержащий замену в положении аминокислоты, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1, причем указанная замена в положении аминокислоты, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1 представляет собой замену тиразина на фенилаланин, причем указанная растительная клетка экспрессирует белок PPX.

7. Растительная клетка по п. 6, характеризующаяся тем, что указанный белок дополнительно содержит одну или более замен, выбранных из: аргинина на цистеин в положении, соответствующем положению 144 последовательности SEQ ID NO: 1, фенилаланина на тирозин в положении, соответствующем положению 145 последовательности SEQ ID NO: 1, аланина на треонин в положении, соответствующем положению 180 последовательности SEQ ID NO: 1, аланина на треонин в положении, соответствующем положению 220 последовательности SEQ ID NO: 1, лейцина не метионин в положении, соответствующем положению 226 последовательности SEQ ID NO: 1, и серина на треонин в положении, соответствующем положению 244 последовательности SEQ ID NO: 1.

8. Растительная клетка по п. 6 или п. 7, характеризующаяся тем, что указанный ген PPX представляет собой эндогенный ген PPX растительной клетки.

9. Способ получения нетрансгенного растения, экспрессирующего мутантный белок PPX, включающий:

введение в растительную клетку олигонуклеотида репарации генов (GRON), кодирующего направленную мутацию в гене PPX, эндогенном для указанной растительной клетки, с получением растительной клетки, экспрессирующей белок PPX, который содержит замену в положении аминокислоты, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1, причем указанная замена в положении аминокислоты, соответствующем положению 426 последовательности SEQ ID NO: 1, представляет собой замену тирозина на фенилаланин; и

регенерацию растения из указанной растительной клетки.

10. Способ по п. 9, дополнительно включающий

отбор растительной клетки, содержащей указанную направленную мутацию и имеющей скорость роста или скорость клеточного деления в присутствии гербицида, ингибирующего PPX, составляющую по меньшей мере 35% скорости роста или скорости клеточного деления в соответствующей растительной клетке, экспрессирующей белок дикого типа PPX в отсутствие гербицида; и

регенерацию растения из указанной растительной клетки.

11. Способ по п. 9 или 10, характеризующийся тем, что указанная растительная клетка представляет собой клетку растения, выбранного из группы, состоящей из картофеля, подсолнечника, сахарной свеклы, кукурузы, хлопка, соевых бобов, пшеницы, ржи, овса, риса, канолы, плодовых растений, овощей, табака, ячменя, сорго, томата, манго, персика, яблони, груши, клубники, банана, дыни, моркови, салата, лука, видов сои, сахарного тростника, гороха, кормовых бобов, тополя, винограда, цитрусовых, люцерны, дернообразующих и кормовых трав, льна, масличного рапса, огурца, вьюнка, бальзамина, перца, баклажана, бархатцев, лотоса, капусты, астровых, гвоздики, петунии, тюльпана,

ириса, лилии и дающих орехи растений, в частности, где указанная растительная клетка относится к виду, выбранному из группы, состоящей из *Solanum tuberosum*, *Oryza sativa*, *Sorghum bicolor*, *Ricinus communis*, *Brassica napus*, *Glycine max* и *Zea mays*, или где указанная растительная клетка относится к сорту картофеля Рассет Бербанк.

12. Способ по любому из пп. 9-11, характеризующийся тем, что указанное растение устойчиво к одному или более гербицидам, ингибирующим PPX, -выбранным из ацифлуорфен-Na, Бифенокса, Хлометоксифена, флуорогликофен-этила, Фомесафена, Галосафена, Лактофена, Оксифлуорфена, Флуазолата, пирафлуфен-этила, цинидон-этила, Флумиоксазина, флумиклорак-пентила, флутиацет-метила, Тидиазимин, Оксадиазона, Оксадиаргил, Азафенидин, карфентразон-этила, Сульфентразона, Пентоксазона, Бензфендизона, Бутафенацила, Сафлуфенацила, Пиразогила, Профлуазола,

13. Способ по п. 12, характеризующийся тем, что указанная растительная клетка устойчива к одному или более гербицидам, выбранным из группы, состоящей из флумиоксазина, сульфентразона и сафлуфенацила.

Фиг. 1: Последовательность аминокислот хлоропластной протопорфириногеноксидазы Arabidopsis thaliana (PPOX - At4g01690) (№ доступа AX084732) (SEQ ID NO: 1)

```
  1 MELSLLRPTTQSLLPSFSKPNLRLNVYKPLRLRCSVAGGPTVGSSKIEGG
 51 GGTTITTDCVIVGGGISGLCIAQALATKHPDAAPNLIVTEAKDRVGGNII
101 TREENGFLWEEGPNSFQPSDPMLTMVVDSGLKDDLVLGDPTAPRFVLWNG
151 KLRPVPSKLTDLPFFDLMSIGGKIRAGFGALGIRPSPPGREESVEEFVRR
201 NLGDEVFERLIEPFCSGVYAGDPSKLSMKAAFGKVWKLEQNGGSIIGGTF
251 KAIQERKNAPKAERDPRLPKPQGQTVGSFRKGLRMLPEAISARLGSKVKL
301 SWKLSGITKLESGGYNLTYETPDGLVSVQSKSVVMTVPSHVASGLLRPLS
351 ESAANALSKLYYPPVAAVSISYPKEAIRTECLIDGELKGFGQLHPRTQGV
401 ETLGTIYSSSLFPNRAPPGRILLLNYIGGSTNTGILSKSEGELVEAVDRD
451 LRKMLIKPNSTDPLKLGVRVWPQAIPQFLVGHFDILDTAKSSLTSSGYEG
501 LFLGGNYVAGVALGRCVEGAYETAIEVNNFMSRYAYK
```

Фиг. 2: Нуклеотидная последовательность хлоропластной протопорфириногеноксидазы Arabidopsis thaliana (PPOX - At4g01690) (№ доступа AX084732) (SEQ ID NO: 2)

```
   1  TGACAAAATT CCGAATTCTC TGCGATTTCC ATGGAGTTAT CTCTTCTCCG TCCGACGACT
  61  CAATCGCTTC TTCCGTCGTT TTCGAAGCCC AATCTCCGAT TAAATGTTTA TAAGCCTCTT
 121  AGACTCCGTT GTTCAGTGGC CGGTGGACCA ACCGTCGGAT CTTCAAAAAT CGAAGGCGGA
 181  GGAGGCACCA CCATCACGAC GGATTGTGTG ATTGTCGGCG GAGGTATTAG TGGTCTTTGC
 241  ATCGCTCAGG CGCTTGCTAC TAAGCATCCT GATGCTGCTC CGAATTTAAT TGTGACCGAG
 301  GCTAAGGATC GTGTTGGAGG CAACATTATC ACTCGTGAAG AGAATGGTTT TCTCTGGGAA
 361  GAAGGTCCCA ATAGTTTTCA ACCGTCTGAT CCTATGCTCA CTATGGTGGT AGATAGTGGT
 421  TTGAAGGATG ATTTGGTGTT GGGAGATCCT ACTGCGCCAA GGTTTGTGTT GTGGAATGGG
 481  AAATTGAGGC CGGTTCCATC GAAGCTAACA GACTTACCGT TCTTTGATTT GATGAGTATT
 541  GGTGGGAAGA TTAGAGCTGG TTTTGGTGCA CTTGGCATTC GACCGTCACC TCCAGGTCGT
 601  GAAGAATCTG TGGAGGAGTT TGTACGGCGT AACCTCGGTG ATGAGGTTTT TGAGCGCCTG
 661  ATTGAACCGT TTTGTTCAGG TGTTTATGCT GGTGATCCTT CAAAACTGAG CATGAAAGCA
 721  GCGTTTGGGA AGGTTTGGAA ACTAGAGCAA AATGGTGGAA GCATAATAGG TGGTACTTTT
 781  AAGGCAATTC AGGAGAGGAA AAACGCTCCC AAGGCAGAAC GAGACCCGCG CCTGCCAAAA
 841  CCACAGGGCC AAACAGTTGG TTCTTTCAGG AAGGGACTTC GAATGTTGCC AGAAGCAATA
 901  TCTGCAAGAT TAGGTAGCAA AGTTAAGTTG TCTTGGAAGC TCTCAGGTAT CACTAAGCTG
 961  GAGAGCGGAG GATACAACTT AACATATGAG ACTCCAGATG GTTTAGTTTC CGTGCAGAGC
1021  AAAAGTGTTG TAATGACGGT GCCATCTCAT GTTGCAAGTG GTCTCTTGCG CCCTCTTTCT
1081  GAATCTGCTG CAAATGCACT CTCAAAACTA TATTACCCAC CAGTTGCAGC AGTATCTATC
1141  TCGTACCCGA AAGAAGCAAT CCGAACAGAA TGTTTGATAG ATGGTGAACT AAAGGGTTTT
1201  GGGCAATTGC ATCCACGCAC GCAAGGAGTT GAAACATTAG GAACTATCTA CAGCTCCTCA
1261  CTCTTTCCAA ATCGCGCACC GCCCGGAAGA ATTTTGCTGT TGAACTACAT TGGCGGGTCT
1321  ACAAACACCG GAATTCTGTC CAAGTCTGAA GGTGAGTTAG TGGAAGCAGT TGACAGAGAT
1381  TTGAGGAAAA TGCTAATTAA GCCTAATTCG ACCGATCCAC TTAAATTAGG AGTTAGGGTA
1441  TGGCCTCAAG CCATTCCTCA GTTTCTAGTT GGTCACTTTG ATATCCTTGA CACGGCTAAA
1501  TCATCTCTAA CGTCTTCGGG CTACGAAGGG CTATTTTTGG GTGGCAATTA CGTCGCTGGT
1561  GTAGCCTTAG GCCGGTGTGT AGAAGGCGCA TATGAAACCG CGATTGAGGT CAACAACTTC
1621  ATGTCACGGT ACGCTTACAA GTAAATGTAA AACATTAAAT CTCCCAGCTT GCGTGAGTTT
1681  TATTAAATAT TTTGAGATAT CCAAAAAAAA AAAAAAAAA
```

Фиг. 3: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген оксидазы Arabidopsis thaliana (At5g14220 - № доступа NM_121426) (SEQ ID NO: 3

```
  1 MASGAVADHQIEAVSGKRVAVVGAGVSGLAAAYKLKSRGLNVTVFEADGR
 51 VGGKLRSVMQNGLIWDEGANTMTEAEPEVGSLLDDLGLREKQQFPISQKK
101 RYIVRNGVPVMLPTNPIELVTSSVLSTQSKFQILLEPFLWKKKSSKVSDA
101 SAEESVSEFFQRHFGQEVVDYLIDPFVGGTSAADPDSLSMKHSFPDLWNV
101 EKSFGSIIVGAIRTKFAAKGGKSRDTKSSPGTKKGSRGSFSFKGGMQILP
151 DTLCKSLSHDEINLDSKVLSLSYNSGSRQENWSLSCVSHNETQRQNPHYD
201 AVIMTAPLCNVKEMKVMKGGQPFQLNFLPEINYMPLSVLITTFTKEKVKR
251 PLEGFGVLIPSKEQKHGFKTLGTLFSSMMFPDRSPSDVHLYTTFIGGSRN
301 QELAKASTDELKQVVTSDLQRLLGVEGEPVSVNHYYWRKAFPLYDSSYDS
351 VMEAIDKMENDLPGFFYAGNHRGGLSVGKSIASGCKAADLVISYLESCSN
401 DKKPNDSL
```

Фиг. 4: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириноген оксидазы *Arabidopsis thaliana* (At5g14220 - № доступа NM_121426) (SEQ ID NO: 4)

```
   1 TTTCCGTCAC TGCTTTCGAC TGGTCAGAGA TTTTGACTCT GAATTGTTGC AGATAGCAAT
  61 GGCGTCTGGA GCAGTAGCAG ATCATCAAAT TGAAGCGGTT TCAGGAAAAA GAGTCGCAGT
 121 CGTAGGTGCA GGTGTAAGTG GACTTGCGGC GGCTTACAAG TTGAAATCGA GGGGTTTGAA
 181 TGTGACTGTG TTTGAAGCTG ATGGAAGAGT AGGTGGGAAG TTGAGAAGTG TTATGCAAAA
 241 TGGTTTGATT TGGGATGAAG GAGCAAACAC CATGACTGAG GCTGAGCCAG AAGTTGGGAG
 301 TTTACTTGAT GATCTTGGGC TTCGTGAGAA ACAACAATTT CCAATTTCAC AGAAAAAGCG
 361 GTATATTGTG CGGAATGGTG TACCTGTGAT GCTACCTACC AATCCCATAG AGCTGGTCAC
 421 AAGTAGTGTG CTCTCTACCC AATCTAAGTT TCAAATCTTG TTGGAACCAT TTTTATGGAA
 481 GAAAAAGTCC TCAAAAGTCT CAGATGCATC TGCTGAAGAA AGTGTAAGCG AGTTCTTTCA
 541 ACGCCATTTT GGACAAGAGG TTGTTGACTA TCTCATCGAC CCTTTTGTTG GTGGAACAAG
 601 TGCTGCGGAC CCTGATTCCC TTTCAATGAA GCATTCTTTC CCAGATCTCT GGAATGTAGA
 661 GAAAAGTTTT GGCTCTATTA TAGTCGGTGC AATCAGAACA AAGTTTGCTG CTAAAGGTGG
 721 TAAAAGTAGA GACACAAAGA GTTCTCCTGG CACAAAAAAG GGTTCGCGTG GGTCATTCTC
 781 TTTTAAGGGG GGAATGCAGA TTCTTCCTGA TACGTTGTGC AAAAGTCTCT CACATGATGA
 841 GATCAATTTA GACTCCAAGG TACTCTCTTT GTCTTACAAT TCTGGATCAA GACAGGAGAA
 901 CTGGTCATTA TCTTGTGTTT CGCATAATGA AACGCAGAGA CAAAACCCCC ATTATGATGC
 961 TGTAATTATG ACGGCTCCTC TGTGCAATGT GAAGGAGATG AAGGTTATGA AAGGAGGACA
1021 ACCCTTTCAG CTAAACTTTC TCCCCGAGAT TAATTACATG CCCCTCTCGG TTTTAATCAC
1081 CACATTCACA AAGGAGAAAG TAAAGAGACC TCTTGAAGGC TTTGGGGTAC TCATTCCATC
1141 TAAGGAGCAA AAGCATGGTT TCAAAACTCT AGGTACACTT TTTTCATCAA TGATGTTTCC
1201 AGATCGTTCC CCTAGTGACG TTCATCTATA TACAACTTTT ATTGGTGGGA GTAGGAACCA
1261 GGAACTAGCC AAAGCTTCCA CTGACGAATT AAAACAAGTT GTGACTTCTG ACCTTCAGCG
1321 ACTGTTGGGG GTTGAAGGTG AACCCGTGTC TGTCAACCAT TACTATTGGA GGAAAGCATT
1381 CCCGTTGTAT GACAGCAGCT ATGACTCAGT CATGGAAGCA ATTGACAAGA TGGAGAATGA
1441 TCTACCTGGG TTCTTCTATG CAGGTAATCA TCGAGGGGGG CTCTCTGTTG GGAAATCAAT
1501 AGCATCAGGT TGCAAAGCAG CTGACCTTGT GATCTCATAC CTGGAGTCTT GCTCAAATGA
1561 CAAGAAACCA AATGACAGCT TATAACATTG TCAAGGTTCG TCCCTTTTTA TCACTTACTT
1621 TGTAAACTTG TAAAATGCAA CAAGCCGCCG TGCGATTAGC CAACAACTCA GCAAAACCCA
1681 GATTCTCATA AGGCTCACTA ATTCCAGAAT AAACTATTTA TGTATTGTTT GGTCTGTTTT
1741 CTTGTTGCAT CACTGGTATG GTCTGTCTAG GTAGAAGAAT ATGATAGGGT GAGGGATTTT
1801 AGGATTGAAG AATCTTTAAA AC
```

Фиг. 5: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген оксидазы *Amaranthus tuberculatus* (№ доступа DQ386117) (SEQ ID NO: 5)

```
   1 MVIQSITHLSPNLALPSPLSVSTKNYPVAVMGNISEREEPTSAKRVAVVG
  51 AGVSGLAAAYKLKSHGLSVTLFEADSRAGGKLKTVKKDGFIWDEGANTMT
 101 ESEAEVSSLIDDLGLREKQQLPISQNKRYIARAGLPVLLPSNPAALLTSN
 151 ILSAKSKLQIMLEPFLWRKHNATELSDEHVQESVGEFFERHFGKEFVDYV
 201 IDPFVAGTCGGDPQSLSMHHTFPEVWNIEKRFGSVFAGLIQSTLLSKKEK
 251 GGENASIKKPRVRGSFSFQGGMQTLVDTMCKQLGEDELKLQCEVLSLSYN
 301 QKGIPSLGNWSVSSMSNNTSEDQSYDAVVVTAPIRNVKEMKIMKFGNPFS
 351 LDFIPEVTYVPLSVMITAFKKDKVKRPLEGFGVLIPSKEQHNGLKTLGTL
 401 FSSMMFPDRAPSDMCLFTTFVGGSRNRKLANASTDELKQIVSSDLQQLLG
 451 TEDEPSFVNHLFWSNAFPLYGHNYDSVLRAIDKMEKDLPGFFYAGNHKGG
 501 LSVGKAMASGCKAAELVISYLDSHIYVKMDEKTA
```

Фиг. 6: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириногеноксидазы *Amaranthus tuberculatus* (№ доступа DQ386117) (SEQ ID NO: 6)

```
   1  ATGGTAATTC AATCCATTAC CCACCTTTCA CCAAACCTTG CATTGCCATC GCCATTGTCA
  61  GTTTCAACCA AGAACTACCC AGTAGCTGTA ATGGGCAACA TTTCTGAGCG GGAAGAACCC
 121  ACTTCTGCTA AAAGGGTTGC TGTTGTTGGT GCTGGAGTTA GTGGACTTGC TGCTGCATAT
 181  AAGCTAAAAT CCCATGGTTT GAGTGTGACA TTGTTTGAAG CTGATTCTAG AGCTGGAGGC
 241  AAACTTAAAA CTGTTAAAAA AGATGGTTTT ATTTGGGATG AGGGGGCAAA TACTATGACA
 301  GAAAGTGAGG CAGAGGTCTC GAGTTTGATC GATGATCTTG GGCTTCGTGA GAAGCAACAG
 361  TTGCCAATTT CACAAAATAA AAGATACATA GCTAGAGCCG GTCTTCCTGT GCTACTACCT
 421  TCAAATCCCG CTGCACTACT CACGAGCAAT ATCCTTTCAG CAAAATCAAA GCTGCAAATT
 481  ATGTTGGAAC CATTTCTCTG GAGAAAACAC AATGCTACTG AACTTTCTGA TGAGCATGTT
 541  CAGGAAAGCG TTGGTGAATT TTTTGAGCGA CATTTTGGGA AAGAGTTTGT TGATTATGTT
 601  ATTGACCCTT TTGTTGCGGG TACATGTGGT GGAGATCCTC AATCGCTTTC CATGCACCAT
 661  ACATTTCCAG AAGTATGGAA TATTGAAAAA AGGTTTGGCT CTGTGTTTGC CGGACTAATT
 721  CAATCAACAT TGTTATCTAA GAAGGAAAAG GGTGGAGAAA ATGCTTCTAT TAAGAAGCCT
 781  CGTGTACGTG GTTCATTTTC ATTTCAAGGT GGAATGCAGA CACTTGTTGA CACAATGTGC
 841  AAACAGCTTG GTGAAGATGA ACTCAAACTC CAGTGTGAGG TGCTGTCCTT GTCATATAAC
 901  CAGAAGGGGA TCCCCTCACT AGGGAATTGG TCAGTCTCTT CTATGTCAAA TAATACCAGT
 961  GAAGATCAAT CTTATGATGC TGTGGTTGTC ACTGCTCCAA TTCGCAATGT CAAAGAAATG
1021  AAGATTATGA AATTTGGAAA TCCATTTTCA CTTGACTTTA TTCCAGAGGT GACGTACGTA
1081  CCCCTTTCCG TTATGATTAC TGCATTCAAA AAGGATAAAG TGAAGAGACC TCTTGAGGGC
1141  TTCGGAGTTC TTATCCCCTC TAAAGAGCAA CATAATGGAC TGAAGACTCT TGGTACTTTA
1201  TTTTCCTCCA TGATGTTTCC TGATCGTGCT CCATCTGACA TGTGTCTCTT TACTACATTT
1261  GTCGGAGGAA GCAGAAATAG AAAACTTGCA AACGCTTCAA CGGATGAATT GAAGCAAATA
1321  GTTTCTTCTG ACCTTCAGCA GCTGTTGGGC ACTGAGGACG AACCTTCATT TGTCAATCAT
1381  CTCTTTTGGA GCAACGCATT CCCATTGTAT GGACACAATT ACGATTCTGT TTTGAGAGCC
1441  ATAGACAAGA TGGAAAAGGA TCTTCCTGGA TTTTTTTATG CAGGTAACCA TAAGGGTGGA
1501  CTTTCAGTGG GAAAAGCGAT GGCCTCCGGA TGCAAGGCTG CGGAACTTGT AATATCCTAT
1561  CTGGACTCTC ATATATACGT GAAGATGGAT GAGAAGACCG CGTAA
```

Фиг. 7: Последовательность аминокислот пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Solanum tuberosum* (№ доступа AJ225107) (SEQ ID NO: 7)

```
  1 MTTTAVANHPSIFTHRSPLPSPSSSSSSPSFLFLNRTNFIPYFSTSKRNS
 51 VNCNGWRTRCSVAKDYTVPPSEVDGNQFPELDCVVVGAGISGLCIAKVIS
101 ANYPNLMVTEARDRAGGNITTVERDGYLWEEGPNSFQPSDPMLTMAVDCG
151 LKDDLVLGDPDAPRFVLWKDKLRPVPGKLTDLPFFDLMSIPGKLRAGFGA
201 IGLRPSPPGYEESVEQFVRRNLGAEVFERLIEPFCSGVYAGDPSKLIMKA
251 AFGKVWKLEQTGGSIIGGTFKAIKERSSNPKPPRDPRLPTPKGQTVGSFR
301 KGLRMLPDAICERLGSKVKLSWKLSSITKSEKGGYLLTYETPEGVVSLRS
351 RSIVMTVPSYVASNILRPLSVAAADALSSFYYPPVAAVTISYPQEAIRDE
401 RLVDGELKGFGQLHPRSQGVETLGTIYSSSLFPNRAPNGRVLLLNYIGGA
451 TNTEIVSKTESQLVEAVDRDLRKMLIKPKAQDPFVTGVRVWPQAIPQFLV
501 GHLDTLGTAKTALSDNGLDGLFLGGNYVSGVALGRCVEGAYEIASEVTGF
551 LSQYAYK
```

Фиг. 8: Нуклеотидная последовательность пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Solanum tuberosum* (№ доступа AJ225107) (SEQ ID NO: 8)

```
ATGACAACAACGGCCGTCGCCAACCATCCTAGCATTTTCACTCACCGGTCGCCGCTGCCGTCGCCGTCGTCCTCCTCCTCATCGCCGTCATT
TTTATTTTTAAACCGTACGAATTTCATTCCTTACTTTTCCACCTCCAAGCGCAATAGTGTCAATTGCAATGGCTGGAGAACACGATGTTCCG
TTGCCAAGGATTATACAGTTCCTCCCTCGGAAGTCGACGGTAATCAGTTCCCGGAGCTGGATTGTGTGGTAGTTGGAGCAGGAATTAGTGGA
CTCTGCATTGCTAAGGTGATTTCGGCTAATTATCCCAATTTGATGGTGACGGAGGCGAGGGATCGTGCCGGTGGAAACATAACGACGGTGGA
AAGAGATGGATACTTATGGGAAGAAGGTCCTAACAGTTTCCAGCCTTCGGATCCTATGTTGACAATGGCTGTAGATTGTGGATTGAAGGATG
ATTTGGTGTTGGGAGATCCTGATGCGCCTCGCTTTGTCTTGTGGAAGGATAAACTAAGGCCTGTTCCCGGCAAGCTCACTGATCTTCCCTTC
TTTGATTTGATGAGTATCCCTGGCAAGCTCAGAGCTGGTTTTGGTGCCATTGGCCTTCGCCCTTCACCTCCAGGTTATGAGGAATCAGTTGA
GCAGTTCGTGCGTCGTAATCTTGGTGCAGAAGTCTTTGAACGTTTGATTGAACCATTTTGTTCTGGTGTTTACGCCGGTGACCCCTCAAAAT
TGATTATGAAAGCAGCATTTGGGAAAGTGTGGAAGCTAGAACAAACTGGTGGTAGCATTATTGGGGGAACCTTTAAAGCAATTAAGGAGAGA
TCCAGTAACCCTAAACCGCCTCGTGATCCGCGTTTACCAACACCAAAAGGACAAACTGTTGGATCATTTAGGAAGGGTCTGAGAATGCTGCC
GGATGCAATTTGTGAAAGACTGGGAAGCAAAGTAAAACTATCATGGAAGCTTTCTAGCATTACAAAGTCAGAAAAAGGAGGATATCTCTTGA
CATACGAGACACCAGAAGGAGTAGTTTCTCTGCGAAGTCGAAGCATTGTCATGACTGTTCCATCCTATGTAGCAAGCAACATATTACGCCCT
CTTTCGGTCGCTGCAGCAGATGCACTTTCAAGTTTCTACTATCCCCCAGTAGCAGCAGTGACAATTTCATATCCTCAAGAGGCTATTCGTGA
TGAGCGTCTGGTTGATGGTGAACTAAAGGGATTTGGGCAGTTGCATCCACGTTCACAGGGAGTGGAAACACTAGGAACAATATATAGTTCAT
CACTCTTTCCTAACCGTGCTCCAAATGGCCGGGTGCTACTCTTGAACTACATTGGAGGAGCAACAAATACTGAAATTGTGTCTAAGACGGAG
AGCCAACTTGTGGAAGCAGTTGACCGTGACCTCAGAAAAATGCTTATAAAACCCAAAGCACAAGATCCCTTTGTTACGGGTGTGCGAGTATG
GCCACAAGCTATCCCACAGTTTTTGGTCGGACATCTGGATACACTAGGTACTGCAAAAACTGCTCTAAGTGATAATGGGCTTGACGGGCTAT
TCCTTGGGGGTAATTATGTGTCTGGTGTAGCATTGGGAAGGTGTGTTGAAGGTGCTTATGAAATAGCATCTGAGGTAACTGGATTTCTGTCT
CAGTATGCATACAAATGA
```

Фиг. 9: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Solanum tuberosum* StmPPX1 (SEQ ID NO: 9)

```
  1    MAPSAGEDKQ NCPKRVAVIG AGVSGLAAAY KLKIHGLDVT VFEAEGRAGG
 51    KLRSLSQDGL IWDEGANTMT ESEGDVTFLL DSLGLREKQQ FPLSQNKRYI
101    ARNGTPTLIP SNPIDLIKSN FLSTGSKLQM LFEPLLWKNK KLTKVSDEHE
151    SVSGFFQRHF GKEVVDYLID PFVAGTCGGD PDSLSMHLSF PELWNLEKRF
201    GSVIVGAIRS KLSPIKEKKQ GPPKTSVNKK HQRGSFSFLG GMQTLTDAIC
251    NDLKEDELRL NSRVLELSCS CSGDSATDSW SIFSASPHKR QAEEDSFDAV
301    IMTAPLCDVK GMKIAKRGNP FLLNFIPEVD YVPLSVVITT FKKESVKHPL
351    EGFGVLVPSE EQKHGLKTLG TLFSSMMFPD RAPNNVYLYT TFVGGSRNRE
401    LAKASRTELK EIVTSDLKQL LGAEGEPTYV NHVCWSKAFP LYGHNYDSVL
451    DAIDKMEKNL PGLFYAGNHK GGLSVGKALS SGCNAADLVI SYLEAVSTDT
501    KNHR
```

Фиг. 10: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы Solanum tuberosum StmPPX1 (SEQ ID NO: 10).

```
   1   ATGGCTCCAT CTGCCGGAGA AGATAAACAA AATTGTCCCA AGAGAGTTGC AGTCATTGGT
  61   GCTGGCGTCA GTGGACTTGC TGCAGCATAC AAGTTGAAAA TTCATGGCTT GGATGTCACA
 121   GTATTCGAAG CAGAAGGGAG AGCTGGAGGG AAGTTACGAA GCCTGAGTCA AGATGGCCTA
 181   ATATGGGATG AAGGCGCAAA TACTATGACT GAAAGTGAAG GTGATGTCAC ATTTTTGCTT
 241   GATTCGCTTG GACTCCGAGA AAAACAACAA TTTCCACTTT CACAGAACAA GCGCTACATT
 301   GCCAGAAATG GTACTCCTAC TCTGATACCT TCAAATCCAA TTGACCTGAT CAAAAGCAAC
 361   TTTCTTTCCA CTGGATCAAA GCTTCAGATG CTTTTCGAGC CTCTTTTGTG GAAGAATAAA
 421   AAGCTTACAA AGGTGTCTGA CGAACACGAA AGTGTCAGTG GATTCTTCCA GCGTCATTTT
 481   GGAAAGGAGG TTGTTGACTA TCTAATTGAT CCTTTTGTTG CTGGAACGTG TGGTGGTGAT
 541   CCTGACTCGC TTTCAATGCA CCTTTCGTTT CCAGAGTTGT GGAATTTAGA GAAAAGGTTT
 601   GGCTCAGTCA TAGTTGGGGC AATTCGATCC AAGTTATCAC CTATAAAGGA AAAGAAACAA
 661   GGACCACCCA AAACTTCAGT AAATAAGAAG CACCAGCGGG GGTCCTTTTC ATTTTTGGGC
 721   GGAATGCAAA CACTTACTGA CGCAATATGC AATGATCTCA AAGAAGATGA ACTTAGGCTA
 781   AACTCTAGAG TTCTGGAATT ATCTTGTAGC TGTAGTGGGG ACTCTGCGAC AGATAGCTGG
 841   TCAATTTTTT CTGCCTCACC ACACAAGCGG CAAGCAGAAG AAGATTCATT TGATGCTGTA
 901   ATTATGACGG CCCCTCTCTG TGACGTTAAG GGTATGAAGA TTGCTAAGAG AGGAAATCCA
 961   TTTCTGCTCA ACTTTATTCC TGAGGTTGAT TATGTACCAC TATCTGTTGT TATAACCACA
1021   TTTAAGAAGG AGAGTGTAAA GCATCCTCTT GAGGGTTTTG GAGTGCTTGT ACCTTCCGAG
1081   GAGCAAAAAC ATGGTCTGAA GACATTAGGC ACCCTCTTCT CTTCTATGAT GTTTCCAGAT
1141   CGTGCACCCA ACAATGTCTA TCTCTATACT ACATTTGTTG GTGGAAGCCG AAATAGAGAA
1201   CTCGCGAAAG CCTCGAGGAC TGAGCTGAAA GAGATAGTAA CTTCTGACCT TAAGCAGTTG
1261   TTGGGTGCTG AGGGAGAGCC AACATATGTG AATCATGTAT GCTGGAGTAA AGCATTTCCG
1321   TTGTACGGGC ATAACTATGA TTCAGTCCTC GATGCAATTG ACAAAATGGA GAAAAATCTT
1381   CCTGGATTAT TCTATGCAGG TAACCACAAG GGAGGATTGT CAGTTGGCAA AGCACTATCT
1441   TCTGGATGTA ATGCAGCAGA TCTTGTTATA TCATATCTTG AAGCCGTTTC AACGGACACC
1501   AAAAACCATA GGTGAAATCT ATTCTCTCAT GCAGCTTGCC GTTCTTTGTT CCACAAAATC
1561   GTTTAACTTC ATGACGAGGA GCAACTTTAA CGTGCAGCCA GTGACGCA
```

Фиг. 11: Последовательность аминокислот протопорфириноген IX оксидазы *Zea mays* (№ доступа AF218052) (SEQ ID NO: 11)

```
  1 MVAATATAMATAASPLLNGTRIPARLRHRGLSVRCAAVAGGAAEAPASTG
 51 ARLSADCVVVGGGISGLCTAQALATRHGVGDVLVTEARARPGGNITTVER
101 PEEGYLWEEGPNSFQPSDPVLTMAVDSGLKDDLVFGDPNAPRFVLWEGKL
151 RPVPSKPADLPFFDLMSIPGKLRAGLGALGIRPPPPGREESVEEFVRRNL
201 GAEVFERLIEPFCSGVYAGDPSKLSMKAAFGKVWRLEETGGSIIGGTIKT
251 IQERSKNPKPPRDARLPKPKGQTVASFRKGLAMLPNAITSSLGSKVKLSW
301 KLTSITKSDDKGYVLEYETPEGVVSVQAKSVIMTIPSYVASNILRPLSSD
351 AADALSRFYYPPVAAVTVSYPKEAIRKECLIDGELQGFGQLHPRSQGVET
401 LGTIYSSSLFPNRAPDGRVLLLNYIGGATNTGIVSKTESELVEAVDRDLR
451 KMLINSTAVDPLVLGVRVWPQAIPQFLVGHLDLLEAAKAALDRGGYDGLF
501 LGGNYVAGVALGRCVEGAYESASQISDFLTKYAYK
```

Фиг. 12: Нуклеотидная последовательность протопорфириноген IX оксидазы *Zea mays* (№ доступа AF218052) (SEQ ID NO: 12)

```
   1  ATGGTCGCCG CCACAGCCAC CGCCATGGCC ACCGCTGCAT CGCCGCTACT CAACGGGACC
  61  CGAATACCTG CGCGGCTCCG CCATCGAGGA CTCAGCGTGC GCTGCGCTGC TGTGGCGGGC
 121  GGCGCGGCCG AGGCACCGGC ATCCACCGGC GCGCGGCTGT CCGCGGACTG CGTCGTGGTG
 181  GGCGGAGGCA TCAGTGGCCT CTGCACCGCG CAGGCGCTGG CCACGCGGCA CGGCGTCGGG
 241  GACGTGCTTG TCACGGAGGC CCGCGCCCGC CCCGGCGGCA ACATTACCAC CGTCGAGCGC
 301  CCCGAGGAAG GGTACCTCTG GGAGGAGGGT CCCAACAGCT TCCAGCCCTC CGACCCCGTT
 361  CTCACCATGG CCGTGGACAG CGGACTGAAG GATGACTTGG TTTTTGGGGA CCCAAACGCG
 421  CCGCGTTTCG TGCTGTGGGA GGGGAAGCTG AGGCCCGTGC CATCCAAGCC CGCCGACCTC
 481  CCGTTCTTCG ATCTCATGAG CATCCCAGGG AAGCTCAGGG CCGGTCTAGG CGCGCTTGGC
 541  ATCCGCCCGC CTCCTCCAGG CCGCGAAGAG TCAGTGGAGG AGTTCGTGCG CCGCAACCTC
 601  GGTGCTGAGG TCTTTGAGCG CCTCATTGAG CCTTTCTGCT CAGGTGTCTA TGCTGGTGAT
 661  CCTTCTAAGC TCAGCATGAA GGCTGCATTT GGGAAGGTTT GGCGGTTGGA AGAAACTGGA
 721  GGTAGTATTA TTGGTGGAAC CATCAAGACA ATTCAGGAGA GGAGCAAGAA TCCAAAACCA
 781  CCGAGGGATG CCCGCCTTCC GAAGCCAAAA GGGCAGACAG TTGCATCTTT CAGGAAGGGT
 841  CTTGCCATGC TTCCAAATGC CATTACATCC AGCTTGGGTA GTAAAGTCAA ACTATCATGG
 901  AAACTCACGA GCATTACAAA ATCAGATGAC AAGGGATATG TTTTGGAGTA TGAAACGCCA
 961  GAAGGGGTTG TTTCGGTGCA GGCTAAAAGT GTTATCATGA CTATTCCATC ATATGTTGCT
1021  AGCAACATTT TGCGTCCACT TTCAAGCGAT GCTGCAGATG CTCTATCAAG ATTCTATTAT
1081  CCACCGGTTG CTGCTGTAAC TGTTTCGTAT CCAAAGGAAG CAATTAGAAA AGAATGCTTA
1141  ATTGATGGGG AACTCCAGGG CTTTGGCCAG TTGCATCCAC GTAGTCAAGG AGTTGAGACA
1201  TTAGGAACAA TATACAGTTC CTCACTCTTT CCAAATCGTG CTCCTGACGG TAGGGTGTTA
1261  CTTCTAAACT ACATAGGAGG TGCTACAAAC ACAGGAATTG TTTCCAAGAC TGAAAGTGAG
1321  CTGGTCGAAG CAGTTGACCG TGACCTCCGA AAAATGCTTA TAAATTCTAC AGCAGTGGAC
1381  CCTTTAGTCC TTGGTGTTCG AGTTTGGCCA CAAGCCATAC CTCAGTTCCT GGTAGGACAT
1441  CTTGATCTTC TGGAAGCCGC AAAAGCTGCC CTGGACCGAG GTGGCTACGA TGGGCTGTTC
1501  CTAGGAGGGA ACTATGTTGC AGGAGTTGCC CTGGGCAGAT GCGTTGAGGG CGCGTATGAA
1561  AGTGCCTCGC AAATATCTGA CTTCTTGACC AAGTATGCCT ACAAGTGA
```

Фиг. 13: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Zea mays* (№ доступа AF273767) (SEQ ID NO: 13)

```
  1 MLALTASASSASSHPYRHASAHTRRPRLRAVLAMAGSDDPRAAPARSVAV
 51 VGAGVSGLAAAYRLRQSGVNVTVFEAADRAGGKIRTNSEGGFVWDEGANT
101 MTEGEWEASRLIDDLGLQDKQQYPNSQHKRYIVKDGAPALIPSDPISLMK
151 SSVLSTKSKIALFFEPFLYKKANTRNSGKVSEEHLSESVGSFCERHFGRE
201 VVDYFVDPFVAGTSAGDPESLSIRHAFPALWNLERKYGSVIVGAILSKLA
251 AKGDPVKTRHDSSGKRRNRRVSFSFHGGMQSLINALHNEVGDDNVKLGTE
301 VLSLACTFDGVPALGRWSISVDSKDSGDKDLASNQTFDAVIMTAPLSNVR
351 RMKFTKGGAPVVLDFLPKMDYLPLSLMVTAFKKDDVKKPLEGFGVLIPYK
401 EQQKHGLKTLGTLFSSMMFPDRAPDDQYLYTTFVGGSHNRDLAGAPTSIL
451 KQLVTSDLKKLLGVEGQPTFVKHVYWGNAFPLYGHDYSSVLEAIEKMEKN
501 LPGFFYAGNSKDGLAVGSVIASGSKAADLAISYLESHTKHNNSH
```

Фиг. 14: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Zea mays* (№ доступа AF273767) (SEQ ID NO: 14)

```
   1  CTCTCCTACC TCCACCTCCA CGACAACAAG CAAATCCCCA TCCAGTTCCA AACCCTAACT
  61  CAAATGCTCG CTTTGACTGC CTCAGCCTCA TCCGCTTCGT CCCATCCTTA TCGCCACGCC
 121  TCCGCGCACA CTCGTCGCCC CCGCCTACGT GCGGTCCTCG CGATGGCGGG CTCCGACGAC
 181  CCCCGTGCAG CGCCCGCCAG ATCGGTCGCC GTCGTCGGCG CCGGGGTCAG CGGGCTCGCG
 241  GCGGCGTACA GGCTCAGACA GAGCGGCGTG AACGTAACGG TGTTCGAAGC GGCCGACAGG
 301  GCGGGAGGAA AGATACGGAC CAATTCCGAG GGCGGGTTTG TCTGGGATGA AGGAGCTAAC
 361  ACCATGACAG AAGGTGAATG GGAGGCCAGT AGACTGATTG ATGATCTTGG TCTACAAGAC
 421  AAACAGCAGT ATCCTAACTC CCAACACAAG CGTTACATTG TCAAAGATGG AGCACCAGCA
 481  CTGATTCCTT CGGATCCCAT TTCGCTAATG AAAAGCAGTG TTCTTTCGAC AAAATCAAAG
 541  ATTGCGTTAT TTTTTGAACC ATTTCTCTAC AAGAAAGCTA ACACAAGAAA CTCTGGAAAA
 601  GTGTCTGAGG AGCACTTGAG TGAGAGTGTT GGGAGCTTCT GTGAACGCCA CTTTGGAAGA
 661  GAAGTTGTTG ACTATTTTGT TGATCCATTT GTAGCTGGAA CAAGTGCAGG AGATCCAGAG
 721  TCACTATCTA TTCGTCATGC ATTCCCAGCA TTGTGGAATT TGGAAAGAAA GTATGGTTCA
 781  GTTATTGTTG GTGCCATCTT GTCTAAGCTA GCAGCTAAAG GTGATCCAGT AAAGACAAGA
 841  CATGATTCAT CAGGGAAAAG AAGGAATAGA CGAGTGTCGT TTTCATTTCA TGGTGGAATG
 901  CAGTCACTAA TAAATGCACT TCACAATGAA GTTGGAGATG ATAATGTGAA GCTTGGTACA
 961  GAAGTGTTGT CATTGGCATG TACATTTGAT GGAGTTCCTG CACTAGGCAG GTGGTCAATT
1021  TCTGTTGATT CGAAGGATAG CGGTGACAAG GACCTTGCTA GTAACCAAAC CTTTGATGCT
1081  GTTATAATGA CAGCTCCATT GTCAAATGTC CGGAGGATGA AGTTCACCAA AGGTGGAGCT
1141  CCGGTTGTTC TTGACTTTCT TCCTAAGATG GATTATCTAC CACTATCTCT CATGGTGACT
1201  GCTTTTAAGA AGGATGATGT CAAGAAACCT CTGGAAGGAT TTGGGGTCTT AATACCTTAC
1261  AAGGAACAGC AAAAACATGG TCTGAAAACC CTTGGGACTC TCTTTTCCTC AATGATGTTC
1321  CCAGATCGAG CTCCTGATGA CCAATATTTA TATACAACAT TTGTTGGGGG TAGCCACAAT
1381  AGAGATCTTG CTGGAGCTCC AACGTCTATT CTGAAACAAC TTGTGACCTC TGACCTTAAA
1441  AAACTCTTGG GCGTAGAGGG GCAACCAACT TTTGTCAAGC ATGTATACTG GGGAAATGCT
1501  TTTCCTTTGT ATGGCCATGA TTATAGTTCT GTATTGGAAG CTATAGAAAA GATGGAGAAA
1561  AACCTTCCAG GGTTCTTCTA CGCAGGAAAT AGCAAGGATG GGCTTGCTGT TGGAAGTGTT
1621  ATAGCTTCAG GAAGCAAGGC TGCTGACCTT GCAATCTCAT ATCTTGAATC TCACACCAAG
1681  CATAATAATT CACATTGAAA GTGTCTGACC TATCCTCTAG CAGTTGTCGA CAAATTTCTC
1741  CAGTTCATGT ACAGTAGAAA CCGATGCGTT GCAGTTTCAG AACATCTTCA CTTCTTCAGA
1801  TATTAACCCT TCGTTGAACA TCCACCAGAA AGGTAGTCAC ATGTGTAAGT GGGAAAATGA
1861  GGTTAAAAAC TATTATGGCG GCCGAAATGT TCCTTTTTGT TTTCCTCACA AGTGGCCTAC
1921  GACACTTGAT GTTGGAAATA CATTTAAATT TGTTGAATTG TTTGAGAACA CATGCGTGAC
1981  GTGTAATATT TGCCTATTGT GATTTTAGCA GTAGTCTTGG CCAGATTATG CTTTACGCCT
2041  TT
```

Фиг. 15: Последовательность аминокислот предсказанной пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Oryza sativa* (Os01g0286600 - № доступа NM_001049312) (SEQ ID NO: 15)

```
   1 MAAAAAAMATATSATAAPPLRIRDAARRTRRRGHVRCAVASGAAEAPAAP
  51 GARVSADCVVVGGGISGLCTAQALATKHGVGDVLVTEARARPGGNITTAE
 101 RAGEGYLWEEGPNSFQPSDPVLTMAVDSGLKDDLVFGDPNAPRFVLWEGK
 151 LRPVPSKPGDLPFFDLMSIPGKLRAGLGALGVRAPPPGREESVEDFVRRN
 201 LGAEVFERLIEPFCSGVYAGDPSKLSMKAAFGKVWRLEDTGGSIIGGTIK
 251 TIQERGKNPKPPRDPRLPTPKGQTVASFRKGLTMLPDAITSRLGSKVKLS
 301 WKLTSITKSDNKGYALVYETPEGVVSVQAKTVVMTIPSYVASDILRPLSS
 351 DAADALSIFYYPPVAAVTVSYPKEAIRKECLIDGELQGFGQLHPRSQGVE
 401 TLGTIYSSSLFPNRAPAGRVLLLNYIGGSTNTGIVSKTESELVEAVDRDL
 451 RKMLINPKAVDPLVLGVRVWPQAIPQFLIGHLDHLEAAKSALGKGGYDGL
 501 FLGGNYVAGVALGRCVEGAYESASQISDYLTKYAYK
```

Фиг. 16: Нуклеотидная последовательность предсказанной пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Oryza sativa* (Os01g0286600 - № доступа NM_001049312) (SEQ ID NO: 16)

```
   1  ATCCACTCCT CTCCAGTCTC CCCGCCGCTC CGCATCCCGC AGCCGCTCGT CAGCGACGGA
  61  CATGGCCGCC GCCGCCGCAG CCATGGCCAC CGCCACCTCC GCCACGGCAG CGCCGCCGCT
 121  CCGCATTCGC GACGCCGCGA GGAGGACCCG CCGACGCGGC CACGTTCGCT GCGCCGTCGC
 181  CAGCGGCGCG GCCGAGGCGC CCGCGGCGCC CGGGGCGCGG GTGTCGGCGG ACTGCGTCGT
 241  GGTGGGCGGC GGCATCAGCG GGCTCTGCAC CGCGCAGGCG CTGGCCACAA AGCACGGCGT
 301  CGGCGACGTG CTCGTCACGG AGGCCCGCGC CCGCCCCGGC GGCAACATCA CCACCGCCGA
 361  GCGCGCCGGC GAGGGCTACC TCTGGGAGGA GGGGCCCAAC AGCTTCCAGC CTTCCGACCC
 421  CGTCCTCACC ATGGCCGTGG ACAGCGGGCT CAAGGACGAT CTCGTGTTCG GGGACCCCAA
 481  CGCGCCGCGG TTCGTGCTGT GGGAGGGGAA GCTAAGGCCG GTGCCGTCCA AGCCCGGCGA
 541  CCTGCCGTTC TTCGACCTCA TGAGCATCCC CGGCAAGCTC AGGGCCGGCC TTGGCGCGCT
 601  CGGCGTTCGA GCGCCACCTC CAGGGCGTGA GGAGTCGGTG GAGGACTTCG TGCGGCGCAA
 661  CCTCGGCGCG GAGGTCTTTG AGCGCCTCAT TGAGCCTTTC TGCTCAGGTG TGTATGCTGG
 721  TGATCCTTCA AAGCTCAGTA TGAAGGCTGC ATTTGGGAAG GTGTGGAGGC TGGAGGATAC
 781  TGGAGGTAGC ATTATTGGTG GAACCATCAA AACAATCCAG GAGAGGGGGA AAAACCCCAA
 841  ACCGCCGAGG GATCCCCGCC TTCCAACGCC AAAGGGGCAG ACAGTTGCAT CTTTCAGGAA
 901  GGGTCTGACT ATGCTCCCGG ATGCTATTAC ATCTAGGTTG GGTAGCAAAG TCAAACTTTC
 961  ATGGAAGTTG ACAAGCATTA CAAAGTCAGA CAACAAAGGA TATGCATTAG TGTATGAAAC
1021  ACCAGAAGGG GTGGTCTCGG TGCAAGCTAA AACTGTTGTC ATGACCATCC CATCATATGT
1081  TGCTAGTGAT ATCTTGCGGC CACTTTCAAG TGATGCAGCA GATGCTCTGT CAATATTCTA
1141  TTATCCACCA GTTGCTGCTG TAACTGTTTC ATATCCAAAA GAAGCAATTA GAAAAGAATG
1201  CTTAATTGAC GGAGAGCTCC AGGGTTTCGG CCAGCTGCAT CCGCGTAGTC AGGGAGTTGA
1261  GACTTTAGGA ACAATATATA GCTCATCACT CTTTCCAAAT CGTGCTCCAG CTGGAAGGGT
1321  GTTACTTCTG AACTACATAG GAGGTTCTAC AAATACAGGG ATTGTTTCCA AGACTGAAAG
1381  TGAGCTGGTA GAAGCAGTTG ACCGTGACCT CAGGAAGATG CTGATAAATC CTAAAGCAGT
1441  GGACCCTTTG GTCCTTGGCG TCCGGGTATG GCCACAAGCC ATACCACAGT TCCTCATTGG
1501  CCATCTTGAT CATCTTGAGG CTGCAAAATC TGCCCTGGGC AAAGGTGGTT ATGATGGATT
1561  GTTCCTCGGA GGGAACTATG TTGCAGGAGT TGCCCTGGGC CGATGCGTTG AAGGTGCATA
1621  TGAGAGTGCC TCACAAATAT CTGACTACTT GACCAAGTAC GCCTACAAGT GATCAAAGTT
1681  GGCCTGCTCC TTTTGGCACA TAGATGTGAG GCTTCTAGCA GCAAAAATTT CATGGGCATC
1741  TTTTTATCCT GATTCTAATT AGTTAGAATT TAGAATTGTA GAGGAATGTT CCATTTGCAG
1801  TTCATAATAG TTGTTCAGAT TTCAGCCATT CAATTTGTGC AGCCATTTAC TATATGTAGT
1861  ATGATCTTGT AAGTACTACT AAGAACAAAT CAATTATATT TTCCTGC
```

Фиг. 17: Последовательность аминокислот предсказанной митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Oryza sativa* (предсказанной Os04g0490000) (SEQ ID NO: 17)

```
  1 MLSPATTFSSSSSSSSPSRAHARAPTRFAVAASARAARFRPARAMAASDD
 51 PRGGRSVAVVGAGVSGLAAAYRLRKRGVQVTVFEAADRAGGKIRTNSEGG
101 FIWDEGANTMTESELEASRLIDDLGLQGKQQYPNSQHKRYIVKDGAPTLI
151 PSDPIALMKSTVLSTKSKLKLFLEPFLYEKSSRRTSGKVSDEHLSESVAS
201 FFERHFGKEVVDYLIDPFVAGTSGGDPESLSIRHAFPALWNLENKYGSVI
251 AGAILSKLSTKGDSVKTGGASPGKGRNKRVSFSFHGGMQSLIDALHNEVG
301 DGNVKLGTEVLSLACCCDGVSSSGGWSISVDSKDAKGKDLRKNQSFDAVI
351 MTAPLSNVQRMKFTKGGVPFVLDFLPKVDYLPLSLMVTAFKKEDVKKPLE
401 GFGALIPYKEQQKHGLKTLGTLFSSMMFPDRAPNDQYLYTSFIGGSHNRD
451 LAGAPTAILKQLVTSDLRKLLGVEGQPTFVKHVHWRNAFPLYGQNYDLVL
501 EAIAKMENNLPGFFYAGNNKDGLAVGNVIASGSKAADLVISYLESCTDQD
551 N
```

Фиг. 18: Нуклеотидная последовательность предсказанной митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Oryza sativa* (предсказанной Os04g0490000) (SEQ ID NO: 18)

```
   1  CGATCCGAAG GACGAACCCC GCACAAGACA ACAAGTAAAT CCCCATCCAT AGCTATCCAA
  61  GAGCCCCAAA TCAGATGCTC TCTCCTGCCA CCACCTTCTC CTCCTCCTCC TCCTCCTCGT
 121  CGCCGTCGCG CGCCCACGCT CGCGCTCCCA CCCGCTTCGC GGTCGCAGCA TCCGCGCGCG
 181  CCGCACGGTT CCGCCCCGCG CGCGCCATGG CCGCCTCCGA CGACCCCCGC GGCGGGAGGT
 241  CCGTCGCCGT CGTCGGCGCC GGCGTCAGTG GGCTCGCGGC GGCGTACAGG CTGAGGAAGC
 301  GCGGCGTGCA GGTGACGGTG TTCGAGGCGG CCGACAGGGC GGGTGGGAAG ATACGGACCA
 361  ACTCCGAGGG CGGGTTCATC TGGGACGAAG GGGCCAACAC CATGACAGAG AGTGAATTGG
 421  AGGCAAGCAG GCTTATTGAC GATCTTGGCC TACAAGGCAA ACAGCAGTAT CCTAACTCAC
 481  AACACAAGCG TTACATTGTC AAAGATGGAG CACCAACACT GATTCCCTCA GATCCCATTG
 541  CGCTCATGAA AAGCACTGTT CTTTCTACAA AATCAAAGCT CAAGCTATTT CTGGAACCAT
 601  TTCTCTATGA GAAATCTAGC AGAAGGACCT CGGGAAAAGT GTCTGATGAA CATTTAAGTG
 661  AGAGTGTTGC AAGTTTCTTT GAACGCCACT TTGGAAAAGA GGTTGTTGAT TATCTTATTG
 721  ATCCATTTGT GGCTGGAACA AGCGGAGGAG ATCCTGAGTC ATTATCAATT CGTCATGCAT
 781  TTCCAGCATT ATGGAATTTG GAGAATAAGT ATGGCTCTGT CATTGCTGGT GCCATCTTGT
 841  CCAAACTATC CACTAAGGGT GATTCAGTGA AGACAGGAGG TGCTTCGCCA GGGAAAGGAA
 901  GGAATAAACG TGTGTCATTT TCATTTCATG GTGGAATGCA GTCACTAATA GATGCACTTC
 961  ACAATGAAGT TGGAGATGGT AACGTGAAGC TTGGTACAGA AGTGTTGTCA TTGGCATGTT
1021  GCTGTGATGG AGTCTCTTCT TCTGGTGGTT GGTCAATTTC TGTTGATTCA AAAGATGCTA
1081  AAGGGAAAGA TCTCAGAAAG AACCAATCTT TCGATGCTGT TATAATGACT GCTCCATTGT
1141  CTAATGTCCA GAGGATGAAG TTTACAAAAG GTGGAGTTCC CTTTGTGCTA GACTTTCTTC
1201  CTAAGGTCGA TTATCTACCA CTATCTCTCA TGGTAACAGC TTTTAAGAAG GAAGATGTCA
1261  AAAAACCATT GGAAGGATTT GGTGCCTTGA TACCCTATAA GGAACAGCAA AAGCATGGTC
1321  TCAAAACCCT TGGGACCCTC TTCTCCTCGA TGATGTTTCC AGATCGAGCT CCTAATGATC
1381  AATATCTATA TACATCTTTC ATTGGGGGGA GCCATAATAG AGACCTCGCT GGGGCTCCAA
1441  CGGCTATTCT GAAACAACTT GTGACCTCTG ACCTAAGAAA GCTCTTGGGT GTTGAGGGAC
1501  AACCTACTTT TGTGAAGCAT GTACATTGGA GAAATGCTTT TCCTTTATAT GGCCAGAATT
1561  ATGATCTGGT ACTGGAAGCT ATAGCAAAAA TGGAGAACAA TCTTCCAGGG TTCTTTTACG
1621  CAGGAAATAA CAAGGATGGG TTGGCTGTTG GAAATGTTAT AGCTTCAGGA AGCAAGGCTG
1681  CTGACCTTGT GATCTCTTAT CTTGAATCTT GCACAGATCA GGACAATTAG CATTTAAGGT
1741  ATCTGACCTT AAGCAATTTC AGACAAATTT GCTCACTTTA TGTAAATTGA AAAGGTTCAC
1801  ATGATTTCCA GTTTCATATT TTTCTCTTGC TATAGTATAT CCACTCATGT AAAGATGGGA
1861  ACATAGTCCT AAAAGACATT ATGGTCGCTT GAGATGCTCA TGTTTTTTTG AACAGTGATT
1921  CTTGACTTGT ACTATTTTTT GACAACCAAA TAAATTTCTC AATGTTTCCG AG
```

Фиг. 19: Последовательность аминокислот пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Sorghum bicolor* (Sb03g011670 - № доступа XM_002455439) (SEQ ID NO: 19)

```
  1 MLSPATTFSSSSSSSSPSRAHARAPTRFAVAASARAARFRPARAMAASDD
 51 PRGGRSVAVVGAGVSGLAAAYRLRKRGVQVTVFEAADRAGGKIRTNSEGG
101 FIWDEGANTMTESELEASRLIDDLGLQGKQQYPNSQHKRYIVKDGAPTLI
151 PSDPIALMKSTVLSTKSKLKLFLEPFLYEKSSRRTSGKVSDEHLSESVAS
201 FFERHFGKEVVDYLIDPFVAGTSGGDPESLSIRHAFPALWNLENKYGSVI
251 AGAILSKLSTKGDSVKTGGASPGKGRNKRVSFSFHGGMQSLIDALHNEVG
301 DGNVKLGTEVLSLACCCDGVSSSGGWSISVDSKDAKGKDLRKNQSFDAVI
351 MTAPLSNVQRMKFTKGGVPFVLDFLPKVDYLPLSLMVTAFKKEDVKKPLE
401 GFGALIPYKEQQKHGLKTLGTLFSSMMFPDRAPNDQYLYTSFIGGSHNRD
451 LAGAPTAILKQLVTSDLRKLLGVEGQPTFVKHVHWRNAFPLYGQNYDLVL
501 EAIAKMENNLPGFFYAGNNKDGLAVGNVIASGSKAADLVISYLESCTDQD
551 N
```

Фиг. 20: Нуклеотидная последовательность пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Sorghum bicolor* (Sb03g011670 - № доступа XM_002455439) (SEQ ID NO: 20)

```
   1  ATGGTCGCCG CCGCCGCCAT GGCCACCGCT GCATCGGCGG CCGCGCCGCT ACTCAACGGG
  61  ACCCGAAGGC CTGCGAGGCT CCGCCGTCGC GGACTCCGCG TGCGCTGCGC CGCTGTGGCG
 121  GGCGGCGCGG CCGAGGCACC GGCCTCCACC GGCGCGCGGC TGTCCGCGGA CTGCGTCGTG
 181  GTGGGCGGCG GGATCAGTGG CCTCTGCACC GCGCAGGCGC TGGCCACGCG GCACGGCGTC
 241  GGGGAGGTGC TTGTCACGGA GGCCCGCGCC CGACCCGGCG GCAACATCAC CACCGTCGAG
 301  CGCCCCGAGG AAGGGTACCT CTGGGAGGAG GGTCCCAACA GCTTCCAGCC ATCCGACCCC
 361  GTTCTCTCCA TGGCCGTGGA CAGCGGGCTG AAGGATGACC TGGTTTTTGG GGATCCCAAC
 421  GCGCCGCGGT TCGTGCTGTG GGAGGGGAAG CTGAGGCCCG TGCCATCCAA GCCCGCCGAC
 481  CTCCCGTTCT TCGATCTCAT GAGCATCCCT GGCAAGCTCA GGGCCGGTCT CGGCGCGCTT
 541  GGCATCCGCC CGCCTCCTCC AGGCCGCGAG GAGTCAGTGG AGGAGTTTGT GCGCCGCAAC
 601  CTCGGTGCTG AGGTCTTTGA GCGCCTAATT GAGCCTTTCT GCTCAGGTGT CTATGCTGGT
 661  GATCCTTCCA AGCTCAGTAT GAAGGCTGCA TTTGGGAAGG TGTGGCGGTT AGAAGAAGCT
 721  GGAGGTAGTA TTATTGGTGG AACCATCAAG ACGATTCAGG AGAGAGGCAA GAATCCAAAA
 781  CCACCGAGGG ATCCCCGCCT TCCGAAGCCA AAAGGGCAGA CAGTTGCATC TTTCAGGAAG
 841  GGTCTTGCCA TGCTTCCAAA TGCCATCACA TCCAGCTTGG GTAGTAAAGT CAAACTATCA
 901  TGGAAACTCA CGAGCATTAC AAAATCAGAT GGCAAGGGGT ATGTTTTGGA GTATGAAACA
 961  CCAGAAGGGG TTGTTTTGGT GCAGGCTAAA AGTGTTATCA TGACCATTCC ATCATATGTT
1021  GCTAGCGACA TTTTGCGTCC ACTTTCAGGT GATGCTGCAG ATGCTCTATC AAGATTCTAT
1081  TATCCACCAG TTGCTGCTGT AACGGTTTCG TATCCAAAGG AAGCAATTAG AAAAGAATGC
1141  TTAATTGATG GGGAACTCCA GGGTTTTGGC CAGTTGCATC CACGTAGTCA AGGAGTTGAG
1201  ACATTAGGAA CAATATACAG CTCATCACTC TTTCCAAATC GTGCTCCTGC TGGTAGGGTG
1261  TTACTTCTAA ACTACATAGG AGGTGCTACA AACACAGGAA TTGTTTCCAA GACTGAAAGT
1321  GAGCTGGTAG AAGCAGTTGA CCGTGACCTC CGAAAAATGC TTATAAATTC TACAGCAGTG
1381  GACCCTTTAG TCCTTGGTGT CCGAGTTTGG CCACAAGCCA TACCTCAGTT CCTGGTAGGA
1441  CATCTTGATC TTCTGGAGGT CGCAAAATCT GCCCTGGACC AAGGTGGCTA TGATGGGCTG
1501  TTCCTAGGAG GGAACTATGT TGCAGGAGTT GCCCTGGGCA GATGCATTGA GGGCGCATAT
1561  GAGAGTGCCG CACAAATATA TGACTTCTTG ACCAAGTATG CCTACAAGTG ATGGAAGAAG
1621  TGGAGCGCTG CTTGTTAATT GTTATGTTGC ATAGATGAGG TGAGACCAGG AGTAGTAAAA
1681  GGCATTACGA GTATTTTTCA TTCTTATTTT GTAAATTGCA CTTCTGTTTT TTTTTCCTGT
1741  CAGTAATTAG TTAGATTTTA GTTCTGTAGG AGATTGTTGT GTTCACTGCC CTGCAAAAGA
1801  ATTTTTATTT TGCATTCGTT TATGAGAGCT GTGCAGACTT ATGTAACGTT TTACTGTAAG
1861  TATCAACAAA ATCAGATACT ATTCTGCAAG AGCTAACAGA ATGTGCAACT GAGATTGCCT
1921  TG
```

Фиг. 21: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Sorghum bicolor* (Sb06g020950 - № доступа XM_002446665) (SEQ ID NO: 21)

```
  1 MLARTATVSSTSSHSHPYRPTSARSLRLRPVLAMAGSDDSRAAPARSVAV
 51 VGAGVSGLVAAYRLRKSGVNVTVFEAADRAGGKIRTNSEGGFLWDEGANT
101 MTEGELEASRLIDDLGLQDKQQYPNSQHKRYIVKDGAPALIPSDPISLMK
151 SSVLSTKSKIALFFEPFLYKKANTRNPGKVSDEHLSESVGSFFERHFGRE
201 VVDYLIDPFVAGTSAGDPESLSICHAFPALWNLERKYGSVVVGAILSKLT
251 AKGDPVKTRRDSSAKRRNRRVSFSFHGGMQSLINALHNEVGDDNVKLGTE
301 VLSLACTLDGAPAPGGWSISDDSKDASGKDLAKNQTFDAVIMTAPLSNVQ
351 RMKFTKGGAPFVLDFLPKVDYLPLSLMVTAFKKEDVKKPLEGFGVLIPYK
401 EQQKHGLKTLGTLFSSMMFPDRAPDDQYLYTTFVGGSHNRDLAGAPTSIL
451 KQLVTSDLKKLLGVQGQPTFVKHIYWGNAFPLYGHDYNSVLEAIEKMEKN
501 LPGFFYAGNNKDGLAVGSVIASGSKAADLAISYLESHTKHNNLH
```

Фиг. 22: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Sorghum bicolor* (Sb06g020950 - № доступа XM_002446665) (SEQ ID NO: 22)

```
   1  ATGCTCGCTC GGACTGCCAC GGTCTCCTCC ACTTCGTCCC ACTCCCATCC TTATCGCCCC
  61  ACCTCCGCTC GCAGTCTCCG CCTACGTCCG GTCCTCGCGA TGGCGGGCTC CGACGACTCC
 121  CGCGCAGCTC CCGCCAGGTC GGTCGCCGTC GTCGGCGCCG GGGTCAGCGG GCTCGTGGCG
 181  GCGTACAGGC TCAGGAAGAG CGGCGTGAAT GTGACGGTGT TCGAGGCGGC CGACAGGGCG
 241  GGAGGAAAGA TACGGACCAA TTCCGAGGGC GGGTTTCTCT GGGATGAAGG AGCGAACACC
 301  ATGACAGAAG GTGAATTGGA GGCCAGTAGA CTGATAGATG ATCTCGGTCT ACAAGACAAA
 361  CAGCAGTATC CTAACTCCCA ACACAAGCGT TACATTGTCA AAGATGGAGC ACCAGCACTG
 421  ATTCCTTCGG ATCCCATTTC GCTGATGAAA AGCAGTGTTC TTTCTACAAA ATCAAAGATT
 481  GCGTTATTTT TTGAACCATT TCTCTACAAG AAAGCTAACA CAAGAAACCC TGGAAAAGTA
 541  TCTGATGAGC ATTTGAGTGA GAGTGTTGGG AGCTTCTTTG AACGCCACTT CGGAAGAGAA
 601  GTTGTTGACT ATCTTATTGA TCCATTTGTA GCTGGAACAA GTGCAGGAGA TCCAGAGTCA
 661  CTATCTATTT GTCATGCATT CCCAGCACTG TGGAATTTGG AAAGAAAATA TGGTTCAGTT
 721  GTTGTTGGTG CCATCTTGTC TAAGCTAACA GCTAAAGGTG ATCCAGTAAA GACAAGACGT
 781  GATTCATCAG CGAAAAGAAG GAATAGACGC GTGTCGTTTT CATTTCATGG TGGAATGCAG
 841  TCACTAATAA ATGCACTTCA CAATGAAGTT GGAGATGATA ATGTGAAGCT TGGTACAGAA
 901  GTGTTGTCAT TGGCGTGTAC ATTAGATGGA GCCCCTGCAC CAGGCGGGTG GTCAATTTCT
 961  GATGATTCGA AGGATGCTAG TGGCAAGGAC CTTGCTAAAA ACCAAACCTT TGATGCTGTT
1021  ATAATGACAG CTCCATTGTC AAATGTCCAG AGGATGAAGT TCACAAAAGG TGGAGCTCCT
1081  TTTGTTCTAG ACTTTCTTCC TAAGGTGGAT TATCTACCAC TATCTCTCAT GGTGACTGCT
1141  TTTAAGAAGG AAGATGTCAA GAAACCTCTG GAAGGATTTG GCGTCTTAAT ACCCTACAAG
1201  GAACAGCAAA AACATGGTCT AAAAACCCTT GGGACTCTCT TCTCCTCAAT GATGTTCCCA
1261  GATCGAGCTC CTGACGACCA ATATTTATAT ACAACATTTG TTGGGGGTAG CCACAATAGA
1321  GATCTTGCTG GAGCTCCAAC GTCTATTCTG AAACAACTTG TGACCTCTGA CCTTAAAAAA
1381  CTCTTAGGCG TACAGGGGCA ACCAACTTTT GTCAAGCATA TATACTGGGG AAATGCTTTT
1441  CCTTTGTATG GTCATGATTA CAATTCTGTA TTGGAAGCTA TAGAAAAGAT GGAGAAAAAT
1501  CTTCCAGGGT TCTTCTACGC AGGAAATAAC AAGGATGGGC TTGCTGTTGG GAGTGTTATA
1561  GCTTCAGGAA GCAAGGCTGC TGACCTTGCA ATCTCGTATC TTGAATCTCA CACCAAGCAT
1621  AATAATTTAC ATTGA
```

Фиг. 23: Последовательность аминокислот пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Ricinus communis* (Rc1343150 - № доступа XM_002515127) (SEQ ID NO: 23)

```
  1 MANLADFSLFLRSTPSLVPSYPKTTINRTLKLQLRCSITEQSTTTISPGG
 51 NSQSPADCVIVGGGISGLCIAQALSTKHRDIATNVIVTEARDRVGGNITT
101 IERDGYLWEEGPNSFQPSDPMLTMVVDSGLKDDLVLGDPNAPRFVLWNGK
151 LRPVPSKPTDLPFFDLMSFGGKIRAGFGALGLRPPPPGHEESVEEFVRRN
201 LGDEVFERLIEPFCSGVYAGDPSKLSMKAAFGKVWKLEQIGGSVIGGTFK
251 TIQERNKIPKPPRDPRLPTPKGQTVGSFRKGLIMLPDAIAKRLGSNVKLS
301 WKLSSITKLENGGYSLTFETPDGSVSLQTKSVVMTVPSHIASSFLHPLSA
351 AAADALSKFYYPPVAAVSVSYPKDAIRAECLIDGELKGFGQLHPRSQGVE
401 TLGTIYSSSLFPNRAPAGRILLLNYIGGATNPGILSKTETELVEAVDRDL
451 RKMLIKPNAKDPFVLGVRVWPQAIPQFLVGHLDILDSAKGALGDAGLEGL
501 FLGGNYVSGVALGRCVEGAYEVAAEVTNFLSQNAYK
```

Фиг. 24: Нуклеотидная последовательность пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Ricinus communis* (Rc1343150 - № доступа XM_002515127) (SEQ ID NO: 24)

```
   1  CACCACCTGA GTTACAGAAG AGTCATCCGG TGTGATTGCC TCTCGAATTC GAATTCTGCC
  61  ATGGCCAATC TCGCAGACTT CTCTCTTTTT CTCCGGTCAA CACCCTCCCT TGTCCCCTCC
 121  TATCCGAAAA CCACAATCAA CAGAACGTTA AAACTCCAAC TCCGGTGCTC AATCACAGAG
 181  CAATCGACTA CTACAATTTC CCCTGGCGGA AATTCCCAAT CACCAGCGGA TTGCGTGATT
 241  GTAGGAGGCG GAATTAGCGG CCTATGCATC GCCCAAGCTC TCTCTACCAA GCACCGTGAT
 301  ATAGCTACCA ATGTGATTGT CACTGAGGCC AGAGACCGCG TTGGTGGCAA CATCACAACC
 361  ATCGAAAGAG ACGGTTATCT TTGGGAAGAG GGCCCCAATA GTTTCCAGCC CTCCGATCCT
 421  ATGCTAACCA TGGTGGTGGA TAGTGGGTTA AAAGATGATT TAGTTTTGGG AGATCCTAAT
 481  GCGCCTCGTT TTGTGCTCTG GAATGGGAAA TTGAGACCAG TTCCGTCAAA GCCTACTGAC
 541  TTGCCCTTTT TTGACTTGAT GAGCTTTGGT GGGAAAATTA GAGCTGGATT TGGTGCTCTT
 601  GGACTTCGAC CTCCACCACC AGGACATGAG GAGTCAGTTG AAGAGTTTGT CCGGCGTAAT
 661  CTTGGTGATG AAGTTTTTGA GCGTCTAATC GAGCCCTTTT GTTCAGGTGT TTATGCAGGT
 721  GATCCTTCAA AACTAAGCAT GAAAGCAGCA TTTGGAAAAG TTTGGAAGCT GGAGCAAATT
 781  GGTGGCAGTG TCATTGGCGG CACTTTCAAA ACAATTCAGG AGAGAAATAA GATACCCAAG
 841  CCTCCTCGAG ACCCGCGCTT ACCAACACCG AAGGGTCAAA CAGTAGGATC TTTTAGAAAG
 901  GGACTTATCA TGTTGCCTGA TGCGATTGCC AAAAGGTTGG GTAGCAATGT TAAATTGTCT
 961  TGGAAGCTTT CAAGTATTAC TAAATTGGAA AATGGAGGGT ATAGTCTAAC ATTTGAAACA
1021  CCTGATGGGT CAGTTTCGCT GCAAACGAAA AGTGTTGTAA TGACAGTTCC ATCCCACATT
1081  GCAAGCAGCT TCTTACATCC TCTTTCTGCT GCTGCTGCTG ACGCCCTATC AAAATTTTAT
1141  TACCCGCCAG TTGCAGCAGT GTCAGTTTCA TACCCAAAAG ATGCAATTCG GGCAGAATGC
1201  TTAATAGATG GTGAGCTTAA GGGGTTCGGC CAGTTGCATC CACGGAGCCA AGGGGTAGAA
1261  ACATTAGGAA CTATATACAG CTCCTCACTT TTTCCCAATC GTGCACCAGC AGGAAGGATT
1321  TTGCTCTTGA ACTACATTGG AGGGGCGACC AATCCTGGGA TTTTGTCCAA GACGGAAACT
1381  GAACTTGTAG AGGCAGTTGA CCGTGATTTG AGGAAGATGC TCATAAAACC CAATGCGAAG
1441  GATCCATTTG TTCTAGGTGT GCGAGTGTGG CCCCAAGCCA TTCCACAATT CTTGGTTGGT
1501  CATTTAGATA TCCTAGATAG TGCAAAAGGT GCTCTGGGAG ATGCAGGCTT GGAAGGGCTG
1561  TTTCTTGGGG GCAACTATGT ATCAGGCGTT GCTTTGGGCC GATGTGTGGA AGGAGCATAT
1621  GAAGTTGCAG CAGAGGTGAC CAATTTCCTC TCGCAGAATG CTTATAAATG A
```

Фиг. 25: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы Ricinus communis (Rc1678480 - № доступа XM_002509502) (SEQ ID NO: 25)

```
   1 MSSVIKEDRNPSHVKRVAVVGAGVSGLAAAYKLKSHGLKVTVFEAEERAG
  51 GKLRSVNHDGLIWDEGANTMTESEMEVKSLIGNLGIREKQQFPISQNKRY
 101 IVRNGKPILIPTNPIALITSNILSAQSKFQIILEPFLWKKRESSETHNAY
 151 TEESVGEFFQRHFGKEVVDYLIDPFVAGTSAGDPESLSVCHSFPELWNLE
 201 KRFGSIIAGVVQAKLSTKRGKSQETKGSSVKKKQQRGSFSFFGGMQTLTD
 251 TLCKALAKDELRLESKVFSLSYNPDSKSAVENWSLSYAFKGAKHLQNSSY
 301 DAIVMTAPLCNVKEMKITKNRNIFSLNFLPEVSYMPLSVVITTFKKDNVK
 351 SPLEGFGVLVPSKEQQNGLKTLGTLFSSMMFPDRAPNDLYLYTTFVGGSR
 401 NKELAKASTDDLKQIVTSDLRQLLGAEGEPTFVNHFYWSKAFPLYGRNYD
 451 AVLEAIDTMEKDLPGFFYAGNHKGGLSVGKAIASGCKAADLVISYLESSS
 501 DDKMLKEGPSN
```

Фиг. 26: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы Ricinus communis (Rc1678480 - № доступа XM_002509502) (SEQ ID NO: 26)

```
   1  ATGTCTTCAG TTATCAAAGA AGACAGAAAC CCAAGTCATG TTAAAAGAGT AGCTGTTGTA
  61  GGTGCTGGGG TTAGTGGGCT TGCTGCAGCT TACAAACTGA AATCACATGG CTTGAAAGTT
 121  ACAGTATTTG AAGCTGAAGA AAGAGCTGGA GGGAAGCTGA GAAGCGTTAA CCATGATGGT
 181  TTAATTTGGG ATGAAGGTGC AAATACCATG ACTGAGAGTG AAATGGAGGT CAAAAGTTTA
 241  ATTGGCAATC TTGGGATTCG TGAAAAGCAA CAATTTCCGA TTTCACAGAA CAAAAGGTAT
 301  ATTGTAAGAA ATGGGAAGCC AATATTAATA CCCACAAATC CCATCGCACT GATCACCAGC
 361  AACATTCTCT CTGCACAGTC AAAGTTTCAA ATCATTCTGG AGCCATTTTT GTGGAAGAAA
 421  CGTGAATCTT CAGAAACGCA CAATGCTTAT ACTGAGGAAA GTGTTGGTGA GTTTTTCCAA
 481  CGTCATTTTG GTAAAGAGGT TGTTGATTAT CTTATTGACC CTTTTGTTGC GGGCACTAGT
 541  GCTGGAGATC CTGAATCTCT TTCTGTATGC CATTCTTTTC CAGAGCTATG GAATCTGGAG
 601  AAACGATTTG GATCTATTAT AGCTGGGGTA GTTCAGGCAA AATTATCTAC CAAAAGAGGG
 661  AAGAGCCAAG AAACCAAAGG ATCATCGGTA AAGAAGAAGC AGCAGCGTGG TTCATTCTCT
 721  TTTTTTGGTG GAATGCAGAC GCTAACTGAT ACATTGTGCA AAGCACTTGC GAAGGATGAG
 781  CTTAGATTAG AATCAAAGGT CTTCTCTTTG TCTTACAATC CTGATTCTAA GTCAGCAGTA
 841  GAGAATTGGT CACTTTCTTA TGCTTTTAAG GGCGCCAAGC ATTTGCAAAA CTCATCTTAT
 901  GATGCTATTG TCATGACGGC ACCATTGTGC AATGTTAAAG AAATGAAGAT CACAAAAAAC
 961  AGAAATATCT TTTCACTGAA TTTTCTTCCT GAGGTGAGTT ATATGCCGCT ATCAGTTGTT
1021  ATTACCACTT TTAAGAAGGA TAATGTCAAG AGCCCCCTTG AAGGCTTTGG AGTTCTTGTT
1081  CCTTCTAAGG AGCAACAGAA TGGTCTAAAA ACCCTTGGTA CACTCTTTTC CTCTATGATG
1141  TTTCCAGATC GTGCACCCAA TGATCTGTAT CTCTATACAA CCTTTGTTGG AGGGAGTCGA
1201  AACAAGGAAC TGGCAAAAGC TTCAACGGAT GATCTGAAGC AGATTGTTAC CTCCGACCTT
1261  AGGCAATTGC TAGGAGCAGA AGGCGAGCCC ACATTTGTTA ATCATTTCTA CTGGAGTAAA
1321  GCATTTCCAT TATATGGGAG GAACTATGAT GCAGTACTTG AAGCCATTGA TACGATGGAA
1381  AAAGATCTTC CTGGATTCTT CTATGCAGGT AACCACAAAG GTGGACTATC GGTTGGCAAA
1441  GCAATAGCCT CTGGATGCAA AGCAGCTGAT CTTGTAATAT CCTATTTGGA ATCTTCTTCA
1501  GATGACAAGA TGCTGAAGGA AGGGCCATCA AATTAG
```

Фиг. 27: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Solanum tuberosum* (SEQ ID NO: 27)

```
MAPSAGEDKQNCPKRVAVIGAGVSGLAAAYKLKIHGLXVTVFEAEGRAGGKLRSLSQDGXIWDEGANTMTESEGDVTFLLDSLGLREKQQFPLSQNK
RYIARNGTPTLIPSNPIDLIKSNFLSTGSKLQMLFEPLLWKNXKLTKVSDEHESVSGFFQRHFGKEVVDYLIDPFVAGTCGGDPDSLSMHLSFPELW
NLEKRFGSVIVGAIRSKLSPIKEKKQGPPKTSVNKKRQRGSFSFLGGMQTLTDAICKDLKEDELRLNSRVLELSCSCSGDSAIDSWSIFSASPHKRQ
AEEESFDAVIMTAPLCDVKSMKIAKRGNPFLLNFIPEVDYVPLSVVITTFKKESVKHPLEGFGVLVPSXEQKHGLKTLGTLFSSMMFPDRAPNNVYL
YTTFVGGSRNRELAKASRTELKEIVTSDLKQLLGAEGEPTYVNHVCWSKAFPLYGHNYDSVLDAIDKMEKNLPGLFYAGNHKGGLSVGKALSSGCNA
ADLVISYLEAVSTDXKNHS
```

Фиг. 28: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Solanum tuberosum* (№ доступа AJ225108) (SEQ ID NO: 28)

```
ATGGCTCCATCTGCCGGAGAAGATAAACAAAATTGTCCMAAGAGAGTTGCAGTCATTGGTGCTGGCGTCAGTGGACTTGCTGCAGCATACAAG
TTGAAAATYCATGGSTTGRATGTCACAGTATTYGAAGCAGAAGGGAGAGCTGGAGGGAAGTTACGAAGCCTGAGTCAAGATGGSMTAATATGG
GATGAAGGCGCAAATACTATGACTGAAAGTGAAGGTGATGTCACATTTTTGCTTGATTCGCTTGGACTCCGAGAAAARCAACAATTTCCACTT
TCACAGAACAARCGCTACATTGCCAGAAATGGYACTCCTACTCTGATACCTTCAAATCCAATTGACCTGATCAAAAGCAATTTTCTTTCCACT
GGATCAAAGCTTCAGATGCTTTTCGAGCCACTTTTGTGGAAGAATAAWAAGCTTACAAAGGTGTCTGACGAACACGAAAGTGTCAGTGGATTC
TTCCAGCGTCATTTTGGRAAGGAGGTTGTTGACTATCTAATTGAYCCTTTTGTTGCTGGAACATGTGGTGGTGATCCTGACTCGCTTTCAATG
CACCTTTCGTTTCCAGAGTTGTGGAATTTAGAGAAAAGGTTTGGCTCAGTCATAGTTGGGGCAATTCGATCCAAGTTATCACCTATAAAGGAA
AAGAAACAAGGGCCACCCAAAACTTCAGTAAATAAGAAGCGCCAGCGGGGGTCCTTTTCATTTTTGGGCGGAATGCAAACACTTACTGACGCA
ATATGCAAAGATCTCAAAGAAGATGAACTTAGGCTAAACTCTAGAGTTCTGGAATTATCTTGTAGCTGTAGTGGGGACTCTGCGATAGATAGC
TGGTCAATTTTTTCTGCCTCACCACACAAGCGGCAAGCAGAAGAAGAATCATTTGATGCTGTAATTATGACGGCCCCTCTCTGTGACGTTAAG
AGTATGAAGATTGCTAAGAGAGGAAATCCATTTCTGCTCAACTTTATTCCTGAGGTYGATTATGTACCACTATCTGTTGTTATAACCACATTT
AAGAAGGAGAGTGTAAAGCATCCYCTTGAGGGTTTTGGAGTGCTTGTACCYTCCSAGGAGCAAAAACATGGTCTGAAGACAYTAGGCACCCTC
TTCTCTTCTATGATGTTTCCAGATCGTGCACCCAACAATGTCTATCTCTATACTACATTTGTTGGTGGAAGCCGAAATAGAGAACTYGCGAAA
GCCTCGAGGACTGAGCTGAAAGAGATAGTAACTTCTGACCTTAAGCAGTTGTTGGGTGCTGAGGGAGAGCCAACATATGTGAATCATGTATGC
TGGAGTAAAGCATTTCCGTTGTACGGGCATAACTATGATTCAGTMCTCGATGCAATTGACAAAATGGAGAAAAATCTTCCTGGATTATTCTAT
GCAGGTAACCACAAGGGAGGATTGTCAGTTGGCAAAGCACTATCTTCTGGATGTAATGCAGCAGATCTTGTTATATCATATCTTGAAGCCGTT
TCAACGGACWCCAAAAACCATAGCTGA
```

Фиг. 29: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Solanum tuberosum* StmPPX2.1 (SEQ ID NO: 29)

```
  1    MAPSAGEDKQ NCPKRVAVIG AGVSGLAAAY KLKIHGLDVT VFEAEGRAGG
 51    KLRSLSQDGL IWDEGANTMT ESEGDVTFLL DSLGLREKQQ FPLSQNKRYI
101    ARNGTPTLIP SNPIDLIKSN FLSTGSKLQM LFEPLLWKNK KLTKVSDEHE
151    SVSGFFQRHF GKEVVDYLID PFVAGTCGGD PDSLSMHLSF PELWNLEKRF
201    GSVIVGAIRS KLSPIKEKKQ GPPKTSVNKK RQRGSFSFLG GMQTLTDAIC
251    NDLKEDELRL NSRVLELSCS CSGDSATDSW SIFSASPHKR QAEEDSFDAV
301    IMTAPLCDVK GMKIAKRGNP FLLNFIPEVD YVPLSVVITT FKKESVKHPL
351    EGFGVLVPSE EQKHGLKTLG TLFSSMMFPD RAPNNVYLYT TFVGGSRNRE
401    LAKASRTELK EIVTSDLKQL LGAEGEPTYV NHVCWSKAFP LYGHNYDSVL
451    DAIDKMEKNL PGLFYAGNHK GGLSVGKALS SGCNAADLVI SYLEAVSTDT
501    KNHR
```

Фиг. 30: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Solanum tuberosum* StmPPX2.1. (SEQ ID NO: 30)

```
   1    ATGGCTCCAT CTGCCGGAGA AGATAAACAA AATTGTCCCA AGAGAGTTGC AGTCATTGGT
  61    GCTGGCGTCA GTGGACTTGC TGCAGCATAC AAGTTGAAAA TTCATGGCTT GGATGTCACA
 121    GTATTCGAAG CAGAAGGGAG AGCTGGAGGG AAGTTACGAA GCCTGAGTCA AGATGGCCTA
 181    ATATGGGATG AAGGCGCAAA TACTATGACT GAAAGTGAAG GTGATGTCAC ATTTTTGCTT
 241    GATTCGCTTG GACTCCGAGA AAAACAACAA TTTCCACTTT CACAGAACAA GCGCTACATT
 301    GCCAGAAATG GTACTCCTAC TCTGATACCT TCAAATCCAA TTGACCTGAT CAAAAGCAAT
 361    TTTCTTTCCA CTGGATCAAA GCTTCAGATG CTTTTCGAGC CACTTTTGTG GAAGAATAAA
 421    AAGCTTACAA AGGTGTCTGA CGAACACGAA AGTGTCAGTG GATTCTTCCA GCGTCATTTT
 481    GGAAAGGAGG TTGTTGACTA TCTAATTGAT CCTTTTGTTG CTGGAACATG TGGTGGTGAT
 541    CCTGACTCGC TTTCAATGCA CCTTTCGTTT CCAGAGTTGT GGAATTTAGA GAAAAGGTTT
 601    GGCTCAGTCA TAGTTGGGGC AATTCGATCC AAGTTATCAC CTATAAAGGA AAAGAAACAA
 661    GGACCACCCA AAACTTCAGT AAATAAGAAG CGCCAGCGGG GGTCCTTTTC ATTTTTGGGC
 721    GGAATGCAAA CACTTACTGA CGCAATATGC AATGATCTCA AAGAAGATGA ACTTAGGCTA
 781    AACTCTAGAG TTCTGGAATT ATCTTGTAGC TGTAGTGGGG ACTCTGCGAC AGATAGCTGG
 841    TCAATTTTTT CTGCCTCACC ACACAAGCGG CAAGCAGAAG AAGATTCATT TGATGCTGTA
 901    ATTATGACGG CCCCTCTCTG TGACGTTAAG GGTATGAAGA TTGCTAAGAG AGGAAATCCA
 961    TTTCTGCTCA ACTTTATTCC TGAGGTTGAT TATGTACCAC TATCTGTTGT TATAACCACA
1021    TTTAAGAAGG AGAGTGTAAA GCATCCTCTT GAGGGTTTTG GAGTGCTTGT ACCTTCCGAG
1081    GAGCAAAAAC ATGGTCTGAA GACATTAGGC ACCCTCTTCT CTTCTATGAT GTTTCCAGAT
1141    CGTGCACCCA ACAATGTCTA TCTCTATACT ACATTTGTTG GTGGAAGCCG AAATAGAGAA
1201    CTCGCGAAAG CCTCGAGGAC TGAGCTGAAA GAGATAGTAA CTTCTGACCT TAAGCAGTTG
1261    TTGGGTGCTG AGGGAGAGCC AACATATGTG AATCATGTAT GCTGGAGTAA AGCATTTCCG
1321    TTGTACGGGC ATAACTATGA TTCAGTCCTC GATGCAATTG ACAAAATGGA GAAAAATCTT
1381    CCTGGATTAT TCTATGCAGG TAACCACAAG GGAGGATTGT CAGTTGGCAA AGCACTATCT
1441    TCTGGATGTA ATGCAGCAGA TCTTGTTATA TCATATCTTG AAGCCGTTTC AACGGACACC
1501    AAAAACCATA GGTGAAATCT ATTCTCTCAT GCAGCTTGCC GTTCTTTGTT CCACAAAATC
1561    GTTTAACTTC ATGACGAGGA GCAACTTTAA CGTGCAGCCA GTGACGCA
```

Фиг. 31: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Solanum tuberosum* StmPPX2.2 (SEQ ID NO: 31)

```
  1    MAPSAGEDKQ NCPKRVAVIG AGVSGLAAAY KLKIHGLDVT VFEAEGRAGG
 51    KLRSLSQDGL IWDEGANTMT ESEGDVTFLL DSLGLREKQQ FPLSQNKRFI
101    ARNGTPTLIP SNPIDLIKSN FLSTGSKLQM LFEPLLWKNK KLTKVSDEHE
151    SVSGFFQRHF GKEVVDYLID PFVAGTCGGD PDSLSMHLSF PELWNLEKRF
201    GSVIVGAIRS KLSPIKEKKQ GPPKTSENKK RQRGSFSFLG GMQTLTDAIC
251    NDLKEDELRL NSRVLELSCS CSGDSATDSW SIFSASPHKR QAEEDSFDAV
301    IMTAPLCDVK GMKIAKRGNP FLLNFIPEVD YVPLSVVITT FKKESVKHPL
351    EGFGVLVPSE EQKHGLKTLG TLFSSMMFPD RAPNNVYLYT TFVGGSRNRE
401    LAKASRTELK EIVTSDLKQL LGAEGEPTYV NHVCWSKAFP LYGHNYDSVL
451    DAIDKMEKNL PGLFYAGNHK GGLSVGKALS SGCNAADLVI SYLEAVSTDT
501    KNHR
```

Фиг. 32: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Solanum tuberosum* StmPPX2.2 (SEQ ID NO: 32).

```
   1  ATGGCTCCAT CTGCCGGAGA AGATAAACAA AATTGTCCCA AGAGAGTTGC AGTCATTGGT
  61  GCTGGCGTCA GTGGACTTGC TGCAGCATAC AAGTTGAAAA TTCATGGCTT GGATGTCACA
 121  GTATTCGAAG CAGAAGGGAG AGCTGGAGGG AAGTTACGAA GCCTGAGTCA AGATGGCCTA
 181  ATATGGGATG AAGGCGCAAA TACTATGACT GAAAGTGAAG GTGATGTCAC ATTTTTGCTT
 241  GATTCGCTTG GACTCCGAGA AAAACAACAA TTTCCACTTT CACAGAACAA GCGCTTCATT
 301  GCCAGAAATG GTACTCCTAC TCTGATACCT TCAAATCCAA TTGACCTGAT CAAAAGCAAT
 361  TTTCTTTCCA CTGGATCAAA GCTTCAGATG CTTTTCGAGC CACTTTTGTG GAAGAATAAA
 421  AAGCTTACAA AGGTGTCTGA CGAACACGAA AGTGTCAGTG GATTCTTCCA GCGTCATTTT
 481  GGAAAGGAGG TTGTTGACTA TCTAATTGAT CCTTTTGTTG CTGGAACATG TGGTGGTGAT
 541  CCTGACTCGC TTTCAATGCA CCTTTCGTTT CCAGAGTTGT GGAATTTAGA GAAAAGGTTT
 601  GGCTCAGTCA TAGTTGGGGC AATTCGATCC AAGTTATCAC CTATAAAGGA AAAGAAACAA
 661  GGACCACCCA AAACTTCAGA AAATAAGAAG CGCCAGCGGG GGTCCTTTTC ATTTTTGGGC
 721  GGAATGCAAA CACTTACTGA CGCAATATGC AATGATCTCA AAGAAGATGA ACTTAGGCTA
 781  AACTCTAGAG TTCTGGAATT ATCTTGTAGC TGTAGTGGGG ACTCTGCGAC AGATAGCTGG
 841  TCAATTTTTT CTGCCTCACC ACACAAGCGG CAAGCAGAAG AAGATTCATT TGATGCTGTA
 901  ATTATGACGG CCCCTCTCTG TGACGTTAAG GGTATGAAGA TTGCTAAGAG AGGAAATCCA
 961  TTTCTGCTCA ACTTTATTCC TGAGGTTGAT TATGTACCAC TATCTGTTGT TATAACCACA
1021  TTTAAGAAGG AGAGTGTAAA GCATCCTCTT GAGGGTTTTG GAGTGCTTGT ACCTTCCGAG
1081  GAGCAAAAAC ATGGTCTGAA GACATTAGGC ACCCTCTTCT CTTCTATGAT GTTTCCAGAT
1141  CGTGCACCCA ACAATGTCTA TCTCTATACT ACATTTGTTG GTGGAAGCCG AAATAGAGAA
1201  CTCGCGAAAG CCTCGAGGAC TGAGCTGAAA GAGATAGTAA CTTCTGACCT TAAGCAGTTG
1261  TTGGGTGCTG AGGGAGAGCC AACATATGTG AATCATGTAT GCTGGAGTAA AGCATTTCCG
1321  TTGTACGGGC ATAACTATGA TTCAGTCCTC GATGCAATTG ACAAAATGGA GAAAAATCTT
1381  CCTGGATTAT TCTATGCAGG TAACCACAAG GGAGGATTGT CAGTTGGCAA AGCACTATCT
1441  TCTGGATGTA ATGCAGCAGA TCTTGTTATA TCATATCTTG AAGCCGTTTC AACGGACACC
1501  AAAAACCATA GGTGAAATCT ATTCTCTCAT GCAGCTTGCC GTTCTTTGTT CCACAAAATC
1561  GTTTAACTTC ATGACGAGGA GCAACTTTAA CGTGCAGCCA GTGACGCA
```

Фиг. 33: Последовательность аминокислот контига пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Brassica napus* BncPPX1 (SEQ ID NO: 33).

```
  1 MDLSLLRPQP FLSPFSNPFP RSRPYKPLNL RCSVSGGSVV SSTIEGGGGG KTVTADCVIV
 61 GGGISGLCIA QALVTKHPDA AKNVMVTEAK DRVGGNIITR EEQGFLWEEG PNSFQPSDPM
121 LTMVVDSGLK DDLVLGDPTA PRFVLWNGKL RPVPSKLTDL PFFDLMSIGG KIRAGFGAIG
181 IRPSPPGREE SVEEFVRRNL GDEVFERLIE PFCSGVYAGD PAKLSMKAAF GKVWKLEENG
241 GSIIGGAFKA IQAKNKAPKT TRDPRLPKPK GQTVGSFRKG LTMLPDAISA RLGDKVKVSW
301 KLSSISKLPS GGYSLTYETP EGIVTVQSKS VVMTVPSHVA SSLLRPLSDS AAEALSKLYY
361 PPVAAVSISY PKEAIRSECL IDGELKGFGQ LHPRTQKVET LGTIYSSSLF PNRAPPGRVL
421 LLNYIGGATN TGILSKSEGE LVEAVDRDLR KMLIKPSSTD PLVLGVKVWP QAIPQFLIGH
481 IDLVDAAKAS LSSSGHEGLF LGGNYVAGVA LGRCVEGAYE TATQVNDFMS RYAYK
```

Фиг. 34: Нуклеотидная последовательность контига пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Brassica napus* BncPPX1 (SEQ ID NO: 34).

```
   1 TTGAACAAAG AGGCTGGACC GGTCCGGAAT TCCCGGGATA TCGTCGACCC ACGCGTCCGG
  61 TCGACGCTGA TCGGAGATAA GAGTCGACAA AATTGAGGAT TCTCCTTCTC GCGGGCGATC
 121 GCCATGGATT TATCTCTTCT CCGTCCGCAG CCATTCCTAT CGCCATTCTC AAATCCATTT
 181 CCTCGGTCGC GTCCCTACAA GCCTCTCAAC CTCCGTTGCT CCGTATCCGG TGGATCCGTC
 241 GTCTCTTCTA CAATCGAAGG CGGAGGAGGA GGTAAAACCG TCACGGCGGA CTGCGTGATC
 301 GTCGGCGGAG GAATCAGCGG CCTGTGCATT GCGCAAGCGC TCGTGACGAA GCACCCAGAC
 361 GCTGCAAAGA ATGTGATGGT GACGGAGGCG AAGGACCGTG TGGGAGGGAA TATCATCACG
 421 CGAGAGGAGC AAGGGTTTCT ATGGGAAGAA GGTCCCAATA GCTTTCAGCC GTCTGATCCT
 481 ATGCTCACTA TGGTGGTAGA TAGTGGTTTG AAAGATGATC TAGTCTTGGG AGATCCTACT
 541 GCTCCGAGGT TTGTGTTGTG GAATGGGAAG CTGAGGCCGG TTCCGTCGAA GCTAACTGAC
 601 TTGCCTTTCT TTGACTTGAT GAGTATTGGA GGGAAGATTA GAGCTGGGTT TGGTGCCATT
 661 GGTATTCGAC CTTCACCTCC GGGTCGTGAG GAATCAGTGG AAGAGTTTGT AAGGCGTAAT
 721 CTTGGTGATG AGGTTTTTGA GCGCTTGATT GAACCCTTTT GCTCAGGTGT TTATGCGGGA
 781 GATCCTGCGA AACTGAGTAT GAAAGCAGCT TTTGGGAAGG TTTGGAAGCT AGAGGAGAAT
 841 GGTGGGAGCA TCATTGGTGG TGCTTTTAAG GCAATTCAAG CGAAAAATAA AGCTCCCAAG
 901 ACAACCCGAG ACCCGCGTCT GCCAAAGCCA AAGGGCCAAA CAGTTGGTTC TTTCAGGAAA
 961 GGACTCACAA TGCTGCCAGA CGCAATCTCT GCAAGGTTGG GTGACAAGGT GAAAGTTTCT
1021 TGGAAGCTCT CAAGTATCAG TAAGCTGCCC AGCGGAGGAT ATAGCTTAAC TTACGAAACT
1081 CCGGAGGGGA TAGTCACTGT ACAGAGCAAA AGTGTTGTGA TGACTGTGCC ATCTCATGTT
1141 GCTAGTAGTC TCTTGCGCCC TCTCTCTGAC TCTGCAGCTG AAGCGCTCTC AAAACTCTAC
1201 TATCCACCAG TTGCAGCAGT ATCTATCTCA TACCCGAAAG AAGCAATCCG AAGCGAATGT
1261 TTAATAGATG GTGAACTAAA AGGGTTCGGC CAGTTGCATC CACGCACGCA GAAAGTGGAA
1321 ACTCTTGGAA CAATATACAG TTCATCGCTC TTTCCTAACC GAGCACCACC TGGAAGAGTG
1381 TTGCTACTGA ACTACATCGG TGGAGCTACC AACACTGGGA TCTTATCAAA GTCAGAAGGT
1441 GAGTTAGTGG AAGCAGTGGA TAGAGACTTG AGGAAGATGC TGATAAAGCC AAGCTCGACC
1501 GATCCACTTG TACTTGGAGT AAAAGTTTGG CCTCAAGCCA TTCCTCAGTT TCTGATAGGT
1561 CACATTGATT TGGTAGACGC AGCGAAAGCA TCTCTCTCGT CATCTGGCCA TGAGGGCTTA
1621 TTCTTGGGTG GAAATTACGT TGCCGGTGTA GCATTGGGTC GGTGTGTGGA AGGTGCTTAT
1681 GAAACTGCAA CCCAAGTGAA CGATTTCATG TCGAGGTACG CTTACAAGTA ATGTAACGCA
1741 GCAACGGTTT GATACTAAGT TGTAGATTGC AGTTTTGACT CTGTTTGTGA AAAATTCAAG
1801 TCTATGATTG AGTAAATTTA TATGTATTAA
```

Фиг. 35: Последовательность аминокислот контига пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Brassica napus* BncPPX2 (SEQ ID NO: 35).

```
   1 MDLSLLRPQP FLSPFSNPFP RSRPYKPLNL RCSVSGGSVV VGSSTIEGGG GGKTVAADCV
  61 IVGGGISGLC IAQALVTKHP DAAKSVMVTE AKDRVGGNII TREEQGFLWE EGPNSFQPSD
 121 PMLTMVVDSG LKDDLVLGDP TAPRFVLWNG KLRPVPSKLT DLPFFDLMSI GGKIRAGFGA
 181 IGIRPSPPGR EESVEEFVRR NLGDEVFERL IEPFCSGVYA GDPAKLSMKA ALGKVWKLKE
 241 NGGSIIGGAF KAIQAKNKAP KTTRDPRLPK PKGQTVGSFR KGLTMLPDAI SARLGDKVKV
 301 SWKLSSISKL PSGGYSLTYE TPEGIVTVQS KSVVMTVPSH VASSLLRPLS DSAAEALSKL
 361 YYPPVAAVSI SYPKEAIRSE CLIDGELKGF GQLHPRTQKV ETLGTIYSSS LFPNRAPPGR
 421 VLLLNYIGGA TNTGILSKSE GELVEAVDRD LRKMLIKPSS TDPLVLGVKV WPQAIPQFLI
 481 GHIDLVDAAK ASLSSSGHEG LFLGGNYVAG VALGRCVEGA YETATOVNDF MSRYAYK
```

Фиг. 36: Нуклеотидная последовательность контига пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Brassica napus* BncPPX2 (SEQ ID NO: 36).

```
   1 GATCGGAGAT AAGGTTGACG AAATTGAGAA TCCTCCTCCT CGCGGGCCAT CGCCATGGAT
  61 TTATCTCTTC TCCGTCCGCA GCCATTCCTA TCGCCATTCT CAAATCCATT TCCTCGGTCG
 121 CGTCCCTACA AGCCTCTCAA CCTCCGTTGC TCCGTATCCG GTGGATCCGT CGTCGTCGGC
 181 TCGTCCACAA TCGAAGGCGG AGGAGGAGGT AAAACCGTCG CGGCGGATTG CGTGATCGTC
 241 GGCGGAGGAA TCAGCGGCCT GTGCATTGCG CAAGCGCTCG TGACGAAGCA CCCGGACGCT
 301 GCGAAGAGTG TGATGGTGAC GGAGGCGAAG GACCGCGTGG GAGGGAATAT CATCACGCGA
 361 GAGGAGCAAG GGTTTCTATG GGAAGAAGGT CCCAACAGCT TTCAGCCGTC TGATCCTATG
 421 CTCACTATGG TGGTAGATAG TGGTTTGAAG GATGATCTAG TCTTGGGAGA TCCTACTGCG
 481 CCGAGGTTCG TGTTGTGGAA TGGGAAGCTG AGGCCGGTTC CGTCGAAGCT AACTGACTTG
 541 CCTTTCTTTG ACTTGATGAG CATTGGAGGG AAGATTAGAG CTGGGTTTGG TGCCATTGGC
 601 ATTCGACCGT CACCTCCAGG TCGTGAGGAA TCTGTGGAAG AGTTTGTAAG GCGTAACCTT
 661 GGTGATGAGG TTTTTGAGCG TTTGATTGAA CCCTTTTGTT CAGGTGTTTA TGCGGGAGAT
 721 CCTGCGAAAC TGAGTATGAA AGCAGCTTTG GGGAAGGTTT GGAAACTAAA GGAGAATGGT
 781 GGAAGCATCA TAGGTGGTGC TTTTAAGGCA ATTCAAGCGA AAAATAAAGC TCCCAAGACA
 841 ACCCGAGACC CGCGTCTGCC AAAGCCAAAG GGCCAAACAG TTGGTTCTTT CAGGAAAGGA
 901 CTCACAATGC TGCCAGACGC AATCTCTGCA AGGTTGGGTG ACAAGGTGAA AGTTTCTTGG
 961 AAGCTCTCAA GTATCAGTAA GCTGCCCAGC GGAGGATATA GCTTAACTTA CGAAACTCCG
1021 GAGGGGATAG TCACTGTACA GAGCAAAAGT GTTGTGATGA CTGTGCCATC TCATGTTGCT
1081 AGTAGTCTCT TGCGCCCTCT CTCTGACTCT GCAGCTGAAG CGCTCTCAAA ACTCTACTAT
1141 CCACCAGTTG CAGCAGTATC TATCTCATAC CCGAAAGAAG CAATCCGAAG CGAATGTTTA
1201 ATAGATGGTG AACTAAAAGG GTTCGGCCAG TTGCATCCAC GCACGCAGAA AGTGGAAACT
1261 CTTGGAACAA TATACAGTTC ATCGCTCTTT CCTAACCGAG CACCACCTGG AAGAGTGTTG
1321 CTACTGAACT ACATCGGTGG AGCTACCAAC ACTGGGATCT TATCAAAGTC AGAAGGTGAG
1381 TTAGTGGAAG CAGTGGATAG AGACTTGAGG AAGATGCTGA TAAAGCCAAG CTCGACCGAT
1441 CCACTTGTAC TTGGAGTAAA AGTTTGGCCT CAAGCCATTC CTCAGTTTCT GATAGGTCAC
1501 ATTGATTTGG TAGACGCAGC GAAAGCATCT CTCTCGTCAT CTGGCCATGA GGGCTTATTC
1561 TTGGGTGGAA ATTACGTTGC CGGTGTAGCA TTGGGTCGGT GTGTGGAAGG TGCTTATGAA
1621 ACTGCAACCC AAGTGAACGA TTTCATGTCG AGGTACGCTT ACAAGTAA
```

Фиг. 37: Часть нуклеотидной последовательности контига пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Brassica napus* BncPPX3 (SEQ ID NO: 37).

```
  1 VTVQSKSVVM TVPSHVASSL LRPLSDSAAE ALSKLYYPPV AAVSISYAKE AIRSECLIDG
 61 ELKGFGQLHP RTQKVETLGT IYSSSLFPNR APPGRVLLLN YIGGATNTGI LSKSEGELVE
121 AVDRDLRKML IKPSSTDPLV LGVKLWPQAI PQFLIGHIDL VDAAKASLSS SGHEGLFLGG
181 NYVAGVALGR CVEGAYETAT QVNDFMSRYA YK
```

Фиг. 38: Часть нуклеотидной последовательности контига пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Brassica napus* BncPPX3 (SEQ ID NO: 38).

```
   1 TAGTCACTGT ACAGAGCAAA AGTGTAGTGA TGACTGTGCC ATCTCATGTA GCTAGTAGTC
  61 TCTTGCGCCC TCTCTCTGAT TCTGCAGCTG AAGCGCTCTC AAAACTCTAC TATCCGCCAG
 121 TTGCAGCCGT ATCCATCTCA TACGCGAAAG AAGCAATCCG AAGCGAATGC TTAATAGATG
 181 GTGAACTAAA AGGGTTCGGC CAGTTGCATC CACGCACGCA AAAAGTGGAA ACTCTTGGAA
 241 CAATATACAG TTCATCGCTC TTTCCCAACC GAGCACCGCC TGGAAGAGTA TTGCTATTGA
 301 ACTACATCGG TGGAGCTACC AACACTGGGA TCTTATCAAA GTCGGAAGGT GAGTTAGTGG
 361 AAGCAGTAGA TAGAGACTTG AGGAAGATGC TGATAAAGCC AAGCTCGACC GATCCACTTG
 421 TACTTGGAGT AAAATTATGG CCTCAAGCCA TTCCTCAGTT TCTGATAGGT CACATTGATT
 481 TGGTAGACGC AGCGAAAGCA TCGCTCTCGT CATCTGGTCA TGAGGGCTTA TTCTTGGGTG
 541 GAAATTACGT TGCCGGTGTA GCATTGGGTC GGTGTGTGGA AGGTGCTTAT GAAACTGCAA
 601 CCCAAGTGAA TGATTTCATG TCAAGGTATG CTTACAAGTA ATGTAACGCA GCAACGATTT
 661 GATACTAAGT AGTAGATTTC GCAGTTCTGA CTTTAAGAAC ACTCTGTTTG TGAAAAATTC
 721 AAGTCTGTGA TTGAGTAAAT TTATGTATTA TTACTAA
```

Фиг. 39: Последовательность аминокислот пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Glycine max* GmcPPX1 - 1 Gm02G01000 (SEQ ID NO: 39).

```
  1 MVAAAAMATA ASAAAPLLNG TRRPARLRRR GLRVRCAAVA GGAAEAPAST GARLSADCVV
 61 VGGGISGLCT AQALATRHGV GEVLVTEARA RPGGNITTVE RPEEGYLWEE GPNSFQPSDP
121 VLSMAVDSGL KDDLVFGDPN APRFVLWEGK LRPVPSKPAD LPFFDLMSIP GKLRAGLGAL
181 GIRPPPPGRE ESVEEFVRRN LGAEVFERLI EPFCSGVYAG DPSKLSMKAA FGKVWRLEEA
241 GGSIIGGTIK TIQERGKNPK PPRDPRLPKP KGQTVASFRK GLAMLPNAIT SSLGSKVKLS
301 WKLTSITKSD GKGYVLEYET PEGVVLVQAK SVIMTIPSYV ASDILRPLSG DAADALSRFY
361 YPPVAAVTVS YPKEAIRKEC LIDGELQGFG QLHPRSQGVE TLGTIYSSSL FPNRAPAGRV
421 LLLNYIGGAT NTGIVSKTES ELVEAVDRDL RKMLINSTAV DPLVLGVRVW PQAIPQFLVG
481 HLDLLEVAKS ALDQGGYDGL FLGGNYVAGV ALGRCIEGAY ESAAQIYDFL TKYAYK
```

Фиг. 40: Последовательность аминокислот пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Glycine max* GmcPPX1 2 Gm02G01000 (SEQ ID NO: 40).

```
  1 MVSVFNDILF PPNQTLSPTS FFTSPTRKFP RSRPNPILRC SIAEESTESR PKTGDSPPPP
 61 LMEALAVWHR PGPRHQARQC QHCWGDSRAR DRVGGGNITT MESGGYLWEE GPNSFQPSDP
121 MLTMVVDSGL KDQLVLGDPD APRFVLWNGK LRPVPGKPTD LPFFDLMSIG GKIRAGFGVL
181 GIRPPPPVEE FVRRNLGDDV FERLIEPFCS GGNTCIFKFV GALLILWGLC RRSFKIKYES
241 SIWESLEAGK NGGSIIGGTF KAIQERNGAS KPPRDPRLPK PKGQTVGSFR KGLIMLPDAI
301 SARLGNKVKL SWKLSSISKL DSGEYSLTYE TPEGVVSLQC KTVVLTIPSY VASTLLRPLS
361 AAAADTLSKF YYPPVVAVSI SYPKEAIRSE CLIDGELKGF GAIYSSSLFS NRAPPGRVLL
421 LNYIGGATNT GIYQSFSGKL QGWFKELIIF TSGLFGCFKQ LRPNGLVSNT DSELVATVDR
481 DLRKILINPN AQDPFVVGVR LWPQAIPQFL IGHLDLLDVA KASLRNTGFE GLFLGGNYVS
541 GVALGRWVEG A
```

Фиг. 41: Нуклеотидная последовательность пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Glycine max* GmcPPX1 – 2 Gm02G01000 (SEQ ID NO: 41).

```
   1 ATGGTTTCCG TCTTCAACGA CATCCTATTC CCGCCTAACC AAACCCTTTC CCCAACGTCC
  61 TTCTTCACCT CTCCCACTCG AAAATTCCCT CGCTCTCGCC CTAACCCTAT TCTCCGCTGC
 121 TCCATCGCCG AGGAGTCCAC CGAGTCTCGG CCCAAAACCG GAGACTCCCC CCCCCCGCCG
 181 TTGATGGAGG CGTTAGCGGT CTGGCATCGC CCAGGCCCTC GCCACCAAGC ACGCCAATGC
 241 CAACACTGTT GGGGAGATTC GAGGGCCCGA GACCGTGTCG GCGGCGGCAA CATCACCACG
 301 ATGGAGAGTG GCGGATACCT CTGGGAAGAA GGCCCCAACA GCTTTCAGCC CTCTGATCCA
 361 ATGCTCACCA TGGTGGTGGA CAGTGGCTTA AAGGATCAGC TTGTTTTGGG GGATCCTGAT
 421 GCACCTCGGT TTGTGTTGTG GAATGGGAAG TTGAGGCCAG TGCCTGGGAA GCCGACTGAT
 481 TTGCCTTTCT TTGACTTGAT GAGCATCGGT GGCAAAATCA GGGCTGGCTT TGGTGTGCTT
 541 GGTATTCGGC CTCCTCCTCC AGTTGAAGAG TTTGTTCGTC GGAACCTTGG TGATGATGTT
 601 TTTGAACGAT TGATAGAGCC TTTTTGTTCA GGGGGCAATA CTTGTATATT TAAATTTGTG
 661 GGAGCATTAC TCATATTGTG GGGTCTATGC AGGCGATCCT TCAAAATTAA GTATGAAAGC
 721 AGCATTTGGG AAAGTTTGGA GGCTGGAAAA AATGGTGGTA GCATAATTGG TGGAACTTTC
 781 AAAGCAATAC AAGAGAGAAA TGGAGCTTCA AAACCACCTC GAGATCCACG TCTGCCAAAA
 841 CCAAAGGGTC AGACTGTTGG ATCTTTTCGG AAGGGACTTA TCATGTTGCC TGATGCAATT
 901 TCTGCAAGAT TAGGCAACAA AGTAAAGTTA TCTTGGAAGC TTTCAAGTAT TAGTAAACTG
 961 GATAGTGGAG AGTACAGTTT GACATATGAA ACACCCGAAG GAGTGGTTTC TTTGCAGTGC
1021 AAAACCGTTG TCCTGACCAT TCCTTCCTAT GTTGCTAGTA CATTGCTGCG TCCTCTGTCT
1081 GCTGCTGCTG CAGATACGCT TTCAAAGTTT TATTACCCTC CAGTTGTTGC AGTTTCCATA
1141 TCCTATCCAA AAGAAGCTAT TAGATCAGAA TGCTTGATAG ATGGTGAGTT GAAGGGGTTT
1201 GGAGCTATAT ACAGCTCATC ACTATTCTCC AATCGAGCAC CACCTGGAAG GGTTCTACTC
1261 TTGAATTACA TTGGAGGAGC TACTAATACT GGAATTTATC AAAGTTTTTC TGGGAAACTT
1321 CAAGGATGGT TTAAAGAACT AATCATTTTC ACCAGCGGGT TATTTGGGTG TTTTAAACAA
1381 CTCAGGCCTA ATGGTCTTGT TTCGAATACG GACAGTGAAC TTGTCGCAAC AGTTGATCGA
1441 GATTTGAGAA AAATCCTTAT AAACCCAAAT GCCCAGGATC CATTTGTAGT GGGGGTGAGA
1501 CTGTGGCCTC AAGCTATTCC ACAGTTCTTA ATTGGCCATC TTGATCTTCT AGATGTTGCT
1561 AAAGCTTCTC TCAGAAATAC TGGGTTTGAA GGGCTGTTCC TTGGGGGTAA CTATGTGTCT
1621 GGTGTTGCCT TGGGACGATG GGTTGAGGGA GCCTGA
```

Фиг. 42: Последовательность аминокислот пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Glycine max* GmcPPX2 - Gm10G27890 (SEQ ID NO: 42).

```
    1 MVSVFNEILF PPNQTLLRPS LHSPTSFFTS PTRKFPRSRP NPILRCSIAE ESTASPPKTR
 61 DSAPVDCVVV GGGVSGLCIA QALATKHANA NVVVTEARDR VGGNITTMER DGYLWEEGPN
121 SFQPSDPMLT MVVDSGLKDE LVLGDPDAPR FVLWNRKLRP VPGKLTDLPF FDLMSIGGKI
181 RAGFGALGIR PPPPGHEESV EEFVRRNLGD EVFERLIEPF CSGVYAGDPS KLSMKAAFGK
241 VWKLEKNGGS IIGGTFKAIQ ERNGASKPPR DPRLPKPKGQ TVGSFRKGLT MLPDAISARL
301 GNKVKLSWKL SSISKLDSGE YSLTYETPEG VVSLQCKTVV LTIPSYVAST LLRPLSAAAA
361 DALSKFYYPP VAAVSISYPK EAIRSECLID GELKGFGQLH PRSQGVETLG TIYSSSLFPN
421 RAPPGRVLLL NYIGGATNTG ILSKTDSELV ETVDRDLRKI LINPNAQDPF VVGVRLWPQA
481 IPQFLVGHLD LLDVAKASIR NTGFEGLFLG GNYVSGVALG RCVEGAYEVA AEVNDFLTNR
541 VYK
```

Фиг. 43: Нуклеотидная последовательность пластидной протопорфириноген IX оксидазы *Glycine max* GmcPPX2 - Gm10G27890 (SEQ ID NO: 43).

```
   1 ATGGTTTCCG TCTTCAACGA GATCCTATTC CCGCCGAACC AAACCCTTCT TCGCCCCTCC
  61 CTCCATTCCC CAACCTCTTT CTTCACCTCT CCCACTCGAA AATTCCCTCG CTCTCGCCCT
 121 AACCCTATTC TACGCTGCTC CATTGCGGAG GAATCCACCG CGTCTCCGCC CAAAACCAGA
 181 GACTCCGCCC CCGTGGACTG CGTCGTCGTC GGCGGAGGCG TCAGCGGCCT CTGCATCGCC
 241 CAGGCCCTCG CCACCAAACA CGCCAATGCC AACGTCGTCG TCACGGAGGC CCGAGACCGC
 301 GTCGGCGGCA ACATCACCAC GATGGAGAGG GACGGATACC TCTGGGAAGA AGGCCCCAAC
 361 AGCTTCCAGC CTTCTGATCC AATGCTCACC ATGGTGGTGG ACAGTGGTTT AAAGGATGAG
 421 CTTGTTTTGG GGGATCCTGA TGCACCTCGG TTTGTGTTGT GGAACAGGAA GTTGAGGCCG
 481 GTGCCCGGGA AGCTGACTGA TTTGCCTTTC TTTGACTTGA TGAGCATTGG TGGCAAAATC
 541 AGGGCTGGCT TTGGTGCGCT TGGAATTCGG CCTCCTCCTC CAGGTCATGA GGAATCGGTT
 601 GAAGAGTTTG TTCGTCGGAA CCTTGGTGAT GAGGTTTTTG AACGGTTGAT AGAGCCTTTT
 661 TGTTCAGGGG TCTATGCAGG CGATCCTTCA AAATTAAGTA TGAAAGCAGC ATTCGGGAAA
 721 GTTTGGAAGC TGGAAAAAAA TGGTGGTAGC ATTATTGGTG GAACTTTCAA AGCAATACAA
 781 GAGAGAAATG GAGCTTCAAA ACCACCTCGA GATCCGCGTC TGCCAAAACC AAAAGGTCAG
 841 ACTGTTGGAT CTTTCCGGAA GGGACTTACC ATGTTGCCTG ATGCAATTTC TGCCAGACTA
 901 GGCAACAAAG TAAAGTTATC TTGGAAGCTT TCAAGTATTA GTAAACTGGA TAGTGGAGAG
 961 TACAGTTTGA CATATGAAAC ACCAGAAGGA GTGGTTTCTT TGCAGTGCAA AACTGTTGTC
1021 CTGACCATTC CTTCCTATGT TGCTAGTACA TTGCTGCGTC CTCTGTCTGC TGCTGCTGCA
1081 GATGCACTTT CAAAGTTTTA TTACCCTCCA GTTGCTGCAG TTTCCATATC CTATCCAAAA
1141 GAAGCTATTA GATCAGAATG CTTGATAGAT GGTGAGTTGA AGGGGTTTGG TCAATTGCAT
1201 CCACGTAGCC AAGGAGTGGA AACATTAGGA ACTATATACA GCTCATCACT ATTCCCCAAC
1261 CGAGCACCAC CTGGAAGGGT TCTACTCTTG AATTACATTG GAGGAGCAAC TAATACTGGA
1321 ATTTTATCGA AGACGGACAG TGAACTTGTG GAAACAGTTG ATCGAGATTT GAGGAAAATC
1381 CTTATAAACC CAAATGCCCA GGATCCATTT GTAGTGGGGG TGAGACTGTG GCCTCAAGCT
1441 ATTCCACAGT TCTTAGTTGG CCATCTTGAT CTTCTAGATG TTGCTAAAGC TTCTATCAGA
1501 AATACTGGGT TTGAAGGGCT CTTCCTTGGG GGTAATTATG TGTCTGGTGT TGCCTTGGGA
1561 CGATGCGTTG AGGGAGCCTA TGAGGTAGCA GCTGAAGTAA ACGATTTTCT CACAAATAGA
1621 GTGTACAAAT AG
```

Фиг. 44: Последовательность аминокислот митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Glycine max* GmmPPX - Gm19g25100 (SEQ ID NO: 44).

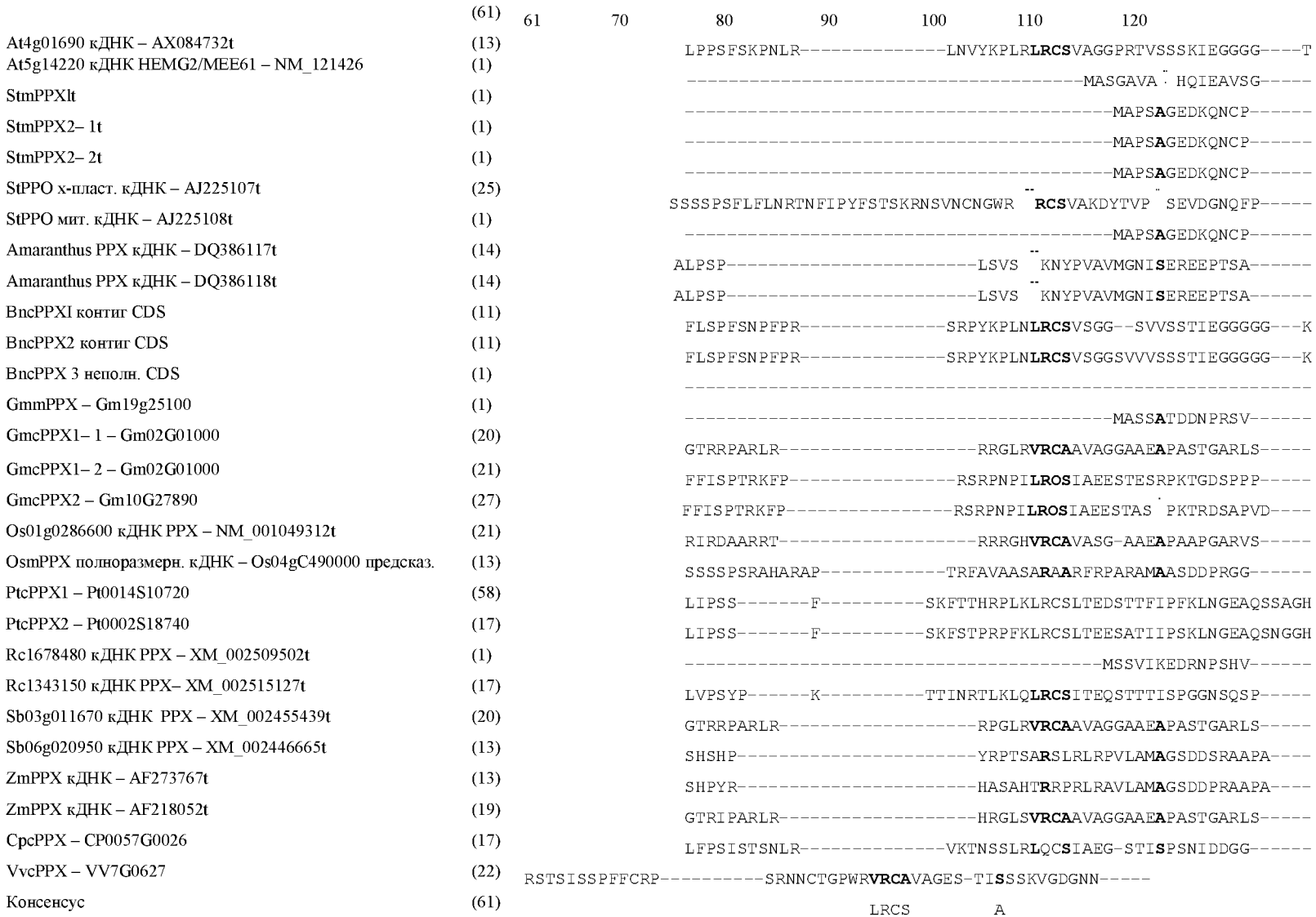
```
  1 MASSATDDNP RSVKRVAVVG AGVSGLAAAY KLKSHGLDVT VFEAEGRAGG RLRSVSQDGL
 61 IWDEGANTMT ESEIEVKGLI DALGLQEKQQ FPISQHKRYI VKNGAPLLVP TNPAALLKSK
121 LLSAQSKIHL IFEPFMWKRS DPSNVCDENS VESVGRFFER HFGKEVVDYL IDPFVGGTSA
181 ADPESLSMRH SFPELWNLEK RFGSIIAGAL QSKLFAKREK TGENRTALRK NKHKRGSFSF
241 QGGMQTLTDT LCKELGKDDL KLNEKVLTLA YGHDGSSSSQ NWSITSASNQ STQDVDAVIM
301 TNLHYLKHSL HNGQAPLYNV KDIKITKRGT PFPLNFLPEV SYVPISVMIT TFKKENVKRP
361 LEGFGVLVPS KEQKNGLKTL GTLFSSMMFP DRAPSDLYLY TTFIGGTQNR ELAQASTDEL
421 RKIVTSDLRK LLGAEGEPTF VNHFYWSKGF PLYGRNYGSV LQAIDKIEKD LPGFFFAGNY
481 KGGLSVGKAI ASGCKAADLV ISYLNSASDN TVPDK
```

Фиг. 45: Нуклеотидная последовательность митохондриальной протопорфириноген IX оксидазы *Glycine max* GmmPPX - Gm19g25100 (SEQ ID NO: 45).

```
   1 ATGGCTTCCT CTGCAACAGA CGATAACCCA AGATCTGTAA AAAGAGTAGC TGTTGTTGGT
  61 GCTGGGGTAA GTGGGCTTGC TGCGGCTTAC AAATTGAAAT CACATGGTCT GGATGTCACT
 121 GTATTTGAAG CTGAGGGAAG AGCTGGAGGG AGGTTGAGAA GTGTTTCTCA GGATGGTCTA
 181 ATTTGGGATG AGGGAGCTAA TACAATGACT GAAAGTGAAA TTGAGGTTAA AGGTTTGATT
 241 GATGCTCTTG GACTTCAAGA AAAGCAGCAG TTTCCAATAT CACAGCATAA GCGCTATATT
 301 GTGAAAAATG GGGCACCACT TCTGGTACCC ACAAATCCTG CTGCACTACT GAAGAGTAAA
 361 CTGCTTTCTG CACAATCAAA GATCCATCTC ATTTTTGAAC CATTTATGTG GAAAAGAAGT
 421 GACCCCTCTA ATGTGTGTGA TGAAAATTCT GTGGAAAGTG TAGGCAGGTT CTTTGAACGT
 481 CATTTTGGAA AAGAGGTTGT GGACTATCTG ATTGATCCTT TTGTTGGGGG CACTAGTGCA
 541 GCAGATCCTG AATCTCTCTC TATGCGCCAT TCTTTCCCAG AGCTATGGAA TTTGGAGAAA
 601 AGGTTTGGCT CCATTATAGC CGGGGCATTG CAATCTAAGT TATTCGCCAA AAGGGAAAAA
 661 ACTGGAGAAA ATAGGACTGC ACTAAGAAAA AACAAACACA AGCGTGGTTC GTTTTCTTTC
 721 CAGGGTGGGA TGCAGACACT GACAGATACA TTGTGCAAAG AGCTTGGCAA AGACGACCTT
 781 AAATTAAATG AAAAGGTTTT GACATTAGCT TATGGTCATG ATGGAAGTTC CTCTTCACAA
 841 AACTGGTCTA TTACTAGTGC TTCTAACCAA AGTACACAAG ATGTTGATGC AGTAATCATG
 901 ACGAATCTGC ATTATTTAAA GCATTCGTTG CATAATGGTC AAGCTCCTCT ATATAATGTC
 961 AAGGACATCA AGATCACAAA AAGGGGAACT CCCTTTCCAC TTAATTTTCT TCCCGAGGTA
1021 AGCTACGTGC CAATCTCAGT CATGATTACT ACCTTCAAAA AGGAGAATGT AAAGAGACCT
1081 TTGGAGGGAT TTGGAGTTCT TGTTCCTTCT AAAGAGCAAA AAAATGGTTT AAAAACCCTT
1141 GGTACACTTT TTTCCTCTAT GATGTTCCCA GATCGTGCAC CTAGTGATTT ATATCTCTAT
1201 ACCACCTTCA TTGGCGGAAC TCAAAACAGG GAACTTGCTC AAGCTTCAAC TGACGAGCTT
1261 AGGAAAATTG TTACTTCTGA CCTGAGAAAG TTGTTGGGAG CAGAGGGGGA ACCAACATTT
1321 GTTAACCATT TCTATTGGAG TAAAGGCTTT CCTTTGTATG GACGTAACTA TGGGTCAGTT
1381 CTTCAAGCAA TTGATAAGAT AGAAAAAGAT CTTCCCGGAT TTTTCTTTGC AGGTAACTAC
1441 AAAGGTGGAC TCTCAGTTGG CAAAGCAATA GCCTCAGGCT GCAAAGCAGC TGATCTTGTG
1501 ATATCCTACC TCAACTCTGC TTCAGACAAC ACAGTGCCTG ATAAATGA
```

Фиг. 46
Стр. 1 из 2

		1 10 20 30 40 50 60
At4g01690 кДНК – AX084732t	(1)	----------MELSLLRPT---TQS
At5g14220 кДНК HEMG2/MEE61 – NM_121426	(1)	----------
StmPPXlt	(1)	----------
StmPPX2-1t	(1)	----------
StmPPX2-2t	(1)	----------
StPPO х-пласт. кДНК – AJ225107t	(1)	----------MTTTAVANHPSIFTHRSPLPSPSS
StPPO мит. кДНК – AJ225108t	(1)	----------
Amaranthus PPX кДНК – DQ386117t	(1)	----------MVIQSITHLSPNL
Amaranthus PPX кДНК – DQ386118t	(1)	----------MVIQSITHLSPNL
BncPPXI контиг CDS	(1)	----------MDLSLLRP-----QP
BncPPX2 контиг CDS	(1)	----------MDLSLLRP-----QP
BncPPX3 неполн. CDS	(1)	----------
GmmPPX – Gml9g25100	(1)	----------
GmcPPX1–1–Gm02G01000	(1)	----------MVAAAAMATAASAAAPLLN
GmcPPX1–2–Gm02G01000	(1)	----------MVSVFNDILFPPNQTLS------PTS
GmcPPX2–Gm10G27890	(1)	----------MVSVFNEILFPPNQTLLRPSLHSPTS
Os01g0286600 кДНК PPX – NM_001049312t	(1)	----------MAAAAAAMATATSATAAPPL
OsmPPXFLкДНК – Os04gC490000 предсказ.	(1)	----------MLSPATTFSSSS
PtcPPX1 – Pt0014S10720	(1)	MTVKQSSVARIKGLINPSSSQITSLQGSGSFACQTESEPAMTSTFTDLSLLRPT---IPS
PtcPPX2 – Pt0002S18740	(1)	----------MTTFIDFSLLRPT---TPS
Rc1678480 кДНК PPX – XM_002509502t	(1)	----------
Rc1343150 кДНК PPX – XM_002515127t	(1)	----------MANLADFSLFLRS---TPS
Sb03g011670 кДНК PPX – XM_002455439t	(1)	----------MVAAAAMATAASAAAPLLN
Sb06g020950 кДНК PPX – XM_002446665t	(1)	----------MLARTATVSSTS
ZmPPX кДНК – AF273767t	(1)	----------MLARTASASSAS
ZmPPX кДНК – AF218052t	(1)	----------MVAATATAMATAASPLLN
CpcPPX – CP0057G0026	(1)	----------MAALMELSVLRPT---GHS
VvcPPX – VV7G0627	(1)	----------MPTLTLADPPTLRLLSPV---NLR
Консенсус	(1)	L


(61)
61 70 80 90 100 110 120
At4g01690 кДНК – AX084732t (13)
At5g14220 кДНК HEMG2/MEE61 – NM_121426 (1)
StmPPXlt (1)
StmPPX2– 1t (1)
StmPPX2– 2t (1)
StPPO х-пласт. кДНК – AJ225107t (25)
StPPO мит. кДНК – AJ225108t (1)
Amaranthus PPX кДНК – DQ386117t (14)
Amaranthus PPX кДНК – DQ386118t (14)
BncPPXI контиг CDS (11)
BncPPX2 контиг CDS (11)
BncPPX 3 неполн. CDS (1)
GmmPPX – Gm19g25100 (1)
GmcPPX1– 1 – Gm02G01000 (20)
GmcPPX1– 2 – Gm02G01000 (21)
GmcPPX2 – Gm10G27890 (27)
Os01g0286600 кДНК PPX – NM_001049312t (21)
OsmPPX полноразмерн. кДНК – Os04gC490000 предсказ. (13)
PtcPPX1 – Pt0014S10720 (58)
PtcPPX2 – Pt0002S18740 (17)
Rc1678480 кДНК PPX – XM_002509502t (1)
Rc1343150 кДНК PPX– XM_002515127t (17)
Sb03g011670 кДНК PPX – XM_002455439t (20)
Sb06g020950 кДНК PPX – XM_002446665t (13)
ZmPPX кДНК – AF273767t (13)
ZmPPX кДНК – AF218052t (19)
CpcPPX – CP0057G0026 (17)
VvcPPX – VV7G0627 (22)
Консенсус (61)
LRCS A

Фиг. 47

Предпочтительная аминокислота			N	V	C	N	H	R	C,L,H	V	N	L	I	Y	D,K	T	L	F	E	S	Q	F	K	H,S	E,Q	R	R	G	G	I	S	D,K	E	S	K	I	V	V	S,Y	A	E	N	F	T	S
Вид	№ доступа Genbank	Лок.	105	111	н.о.	130	139	143	144	147	165	167	170	185	192	193	199	206	212	219	229	230	237	256	270	271	311	318		н.о.	332	343	360	366	438	440	444	455	457	470	484	485	490	503	508	
Arabidopsis thaliana — *At4g01690*	AX084732	P	105	111		130	130	143	144	147	165	167	170	185	192	193	199	206	212	219	229	230	237	256	270	271	311	318			332	343	360	366	438	440	444	455	457	470	484	485	490	503	508	н.о.
Arabidopsis thaliana — *At5g14220*	NM_121426	M	61	67	77	87	96	100	101	104	122	124	127	142	154	155	161	168	174	181	191	192	199	218	233	234		280	294	298	309	326	332	406	408	412	423	425	436	450	451	456	467	472	502	
Amaranthus tuberculatus	DQ386117	B	88	94	104	114	123	127	128	131	149	151	154	169	182	183	189	196	202	209	219	220	227	246	259	260	301	308			324	335	352	358	432	434	438	449	451	462	476	477	482	493	498	528
Solanum tuberosum	AJ225107	P	125	131		150	159	163	164	167	185	187	190	205	212	213	219	226	232	239	249	250	257	276	290	291	333	338			352	363	380	386	458	460	464	475	477	490	504	505	510	523	528	
Solanum tuberosum	Н.о., см. Фиг. 9	M	58	64	74	84	93	97	98	101	119	121	124	139	150	151	157	164	170	177	187	188	195	214	229	230	271	278	292	296	307	324	330	404	406	410	421	423	434	448	449	454	465	470	500
Zea mays	AF218052	P	103	109		128	137	141	142	145	163	165	158	183	190	191	197	204	210	217	227	228	235	254	268	269	309	316			330	341	358	364	436	438	442	453	455	468	482	483	488	501	506	
Zea mays	AF273767	M	90	96	106	116	125	129	130	133	151	153	156	171	187	188	194	201	207	214	224	225	232	251	266	267	308	315	332	336	347	364	370	445	447	451	462	464	475	489	490	495	506	511	541
Oryza sativa — Os01g0286600	NM_001049312	P	104	110		129	138	142	143	146	164	165	169	184	191	192	198	205	211	218	228	229	236	255	269	270	310	317			331	342	359	365	437	439	443	454	456	459	483	484	489	502	507	
Oryza sativa *Os04g0490000*	Н.о., см. Фиг. 17	M	99	105	115	125	134	138	139	133	169	162	165	180	196	197	203	210	216	223	233	234	241	260	275	276	317	324	341	345	356	373	379	454	456	460	471	473	484	498	499	504	515	520	550
Sorghum bicolor — Sb03g011670	XM_002455439	P	104	110		129	138	142	143	146	164	165	169	184	191	192	198	205	211	218	228	229	236	255	269	270	310	317			331	342	359	365	437	439	443	454	456	469	483	484	489	502	507	
Sorghum bicolor — Sb06g020950	XM_002446665	M	90	96	106	116	125	120	130	133	151	153	156	171	187	188	194	201	207	214	224	225	232	251	266	267	308	315	332	336	347	364	370	445	447	451	462	464	475	489	490	495	506	511	541
Ricinus communis — Rc1343150	XM_002515127	P	104	110		129	138	142	143	146	164	166	169	184	191	192	198	205	211	218	228	229	236	255	269	270	310	317			331	342	359	355	437	439	443	454	456	469	483	484	489	502	507	
Ricinus communis — Rc1678480	XM_002509502	M	59	65	75	85	94	98	99	102	120	122	125	140	153	154	160	167	173	180	190	191	198	217	232	233	274	281	295	299	310	327	333	407	409	413	424	426	437	451	452	457	468	473	503
Brassica napus — BncPPX1	Н.о., см. Фиг. 33	P	103	109		128	137	141	142	143	153	165	168	183	189	191	197	204	211	217	227	228	235	254	268	269	309	316			330	341	358	364	436	438	442	453	455	468	482	483	488	501	506	
Brassica napus — BncPPX2	Н.о., см. Фиг. 35	P	105	111		130		143	144	145	165	167	170	185	191	193	199	206	213	219	229	230	237	256	270	271	311	318			332	343	360	366	438	440	444	456	457	470	484	485	490	503	508	
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																	
Brassica napus — BncPPX3	Н.о., см. Фиг. 37	P																												7	18	35	41	113	115	119	130	132	145	159	160	165	178	183	
Glycine max GmcPPX1-1 *Gm02G01000*	Н.о., см. Фиг. 39	P	104	110		129	138	142	143	144	164	166	169	184	190	192	198	205	212	218	228	229	236	255	269	270	310	317			331	342	359	365	437	439	443	454	456	469	480	484	489	502	507	
Glycine max GmcPPX1-2 *Gm02G01000*	Н.о., см. Фиг. 40	P	104	110		129	138	142	143	146	164	166	169	184			193	200	206	226	239	240	247	266	280	281	321	328			342	353	370	370	469	471	475	486	488	501	515	516	521	534	539	
Glycine max — GmcPPX2 *Gm10G27890*	Н.о., см. Фиг. 42	P	111	117		136		149	150	151		173	176	191	197	199	205	212	219	225	235	236	243	262	276	277	317	324			338	349	366	372	444	446	450	461	463	476	490	491	496	509	514	
Glycine max — GmcPPX *Gm19g25100*	Н.о., см. Фиг. 44	M	58	64	74	84	93	97	98	99	119	121	124	139	151	153	159	166	173	179	189	190	197	216	231	232	273	280	303	307	318	335	341	415	417	421	432	434	445	459	460	465	476	481	511

Фиг. 48

Вид	№ доступа Genbank	Лок.	G 52	N 85	K 144	A 145	A 180	P 185	A 220	G 221	L 226	M 228	S 244	Q 272	S 305	S 332	A 354	L 357	K 359	L 393	L 403	L 424	Y 426	F 478	I 525
Arabidopsis thaliana — At4g01690	AX084732	P	52	85	144	145	180	189	220	221	226	228	244	272	305	332	354	357	359	393	403	424	426	478	525
Arabidopsis thaliana — At5g14220	NM_121426	M	н.о.	41	101	Y 102	P 137	K 142	182	A 183	188	190	206	Q 235	L 269	H 258	G 320	F 323	L 325	358	371	T 393	F 394	V 444	D 489
Amaranthus tuberculatus	DQ386117	B	н.о.	н.о.	128	Y 129	P 164	K 169	G 210	211	216	218	234	R 261	L 295	324	G 346	F 349	L 351	384	392	T 418	F 420	Y 470	E 515
Solanum tuberosum	AJ225107	P	N 76	105	164	165	200	205	240	241	246	248	264	K 292	325	352	374	377	S 379	413	423	444	446	498	S 545
Solanum tuberosum	Н.о., см. Фиг. 9	M	н.о.	н.о.	98	Y 99	P 134	N 139	G 178	179	184	186	202	R 231	265	296	G 318	F 321	L 323	356	369	T 390	F 393	Y 442	D 487
Zea mays	AF218052	P	н.о.	н.о.	141	143	178	183	218	219	224	226	242	K 270	T 302	330	352	355	R 357	391	401	422	424	436	S 522
Zea mays	AF273767	M	н.о.	70	130	Y 131	P 166	K 171	219	216	221	I 223	239	N 268	302	T 336	G 358	V 361	L 363	396	410	T 431	F 433	Y 483	D 528
Oryza sativa — Os01g0286600	NM_001049312	P	51	н.о.	143	144	179	184	219	220	225	227	243	K 271	T 304	T 331	353	L 356	I 358	392	402	423	425	477	S 514
Oryza sativa — Os04g0490000	Н.о., см. Фиг. 17	M	D 50	Q 79	139	Y 140	P 175	K 180	G 224	225	230	I 232	248	N 277	L 311	345	G 367	F 370	L 372	405	419	T 440	F 442	Y 492	D 537
Sorghum bicolor — Sb03g011670	XM_002455439	P	н.о.	н.о.	143	144	179	164	219	220	225	227	243	K 271	T 304	331	353	L 356	R 358	392	402	423	425	477	A 524
Sorghum bicolor — Sb06g020950	XM_002446665	M	н.о.	70	130	Y 131	P 166	K 171	215	216	221	I 223	239	N 268	L 302	T 336	G 358	F 361	L 363	396	410	T 431	F 433	Y 483	D 528
Ricinus communis — Rc1343150	XM_002515127	P	N 51	84	143	144	179	184	219	220	225	227	243	K 271	304	331	353	356	358	392	402	423	425	477	A 524
Ricinus communis — Rc1678480	XM_002509502	M	н.о.	н.о.	99	Y 100	P 135	K 140	181	182	187	V 189	205	234	F 268	299	R 321	F 324	L 326	359	372	T 393	F 395	Y 445	D 490
Brassica napus — BncPPX1	Н.о., см. Фиг. 33	P	50	43	142	143	178	183	218	219	224	226	242	K 270	303	330	352	355	357	391	401	422	424	476	T 523
Brassica napus — BncPPX2	Н.о., см. Фиг. 35	P	50	S 85	144	145	180	185	220	21	226	228	244	K 272	305	332	354	357	359	393	403	424	426	478	T 525
Brassica napus — BncPPX3	Н.о., см. Фиг. 37	M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	29	32	34	68	78	99	101	153	T 200
Glycine max GmcPPX1-1 *Gm02G01000*	Н.о., см. Фиг. 39	P	S 55	E 82	143	144	179	184	219	220	225	227	243	K 271	T 304	331	353	356	R 358	392	402	423	425	477	A 524
Glycine max GmcPPX1-2 *Gm02G01000*	Н.о., см. Фиг. 40	P	F 59	C 83	143	144	V 179	184	W 227	228	I 236	Y 238	254	K 282	315	T 342	364	367	368	н.о.	н.о.	421	423	509	н.о.
Glycine max — GmcPPX2 *Gm10G27890*	Н.о., см. Фиг. 42	M	Y 69	91	150	151	186	191	225	227	232	234	250	K 276	311	T 338	360	363	365	399	409	430	432	484	A 531
Glycine max — GmcPPX *Gm19g25100*	Н.о., см. Фиг. 44	M	н.о.	н.о.	98	Y 99	P 134	R 139	180	A 181	186	188	204	H 233	L 267	K 307	G 329	F 332	L 334	367	380	401	F 403	Y 453	D 498

- = Неизвестно из-за неполной последовательности

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ

(статья 15(3) ЕАПК и правило 42 Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

202090661

А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:

C12N 15/82 *(2006.01)*
C12N 9/02 *(2006.01)*
A01H 5/00 *(2006.01)*

Согласно Международной патентной классификации (МПК)

Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:

Просмотренная документация (система классификации и индексы МПК)
C12N 15/82, C12N 9/02, A01H5/00

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)
EAPATIS, Espacenet, USPTO, Google, RUPTO, NCBI BLAST
Протопорфириноген IX оксидаза, PPX, протокс, олигонуклеотид репарации генов, GRON

В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
Y	WO 0168826 A2 (SYNGENTA PARTICIPATIONS AG ET AL), 20.09.2001, реферат, пример 10, формула.	1-13
Y	US2001016956 A1, (WARD ERIC R ET AL) 23.08.2001, реферат, пример 10, формула.	1-13
Y	WO2009046334 A1, (BEETHAM PETER ET AL) 09.04.2009, реферат, абзацы [0013], [0055]-[0076].	9-13

☐ последующие документы указаны в продолжении

* Особые категории ссылочных документов:
«A» - документ, определяющий общий уровень техники
«D» - документ, приведенный в евразийской заявке
«E» - более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее
«O» - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.
"P" - документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета"

«T» - более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения
«X» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности
«Y» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории
«&» - документ, являющийся патентом-аналогом
«L» - документ, приведенный в других целях

Дата проведения патентного поиска: **06/08/2020**

Уполномоченное лицо:
Заместитель начальника Управления экспертизы
Начальник отдела химии и медицины

А.В. Чебан