

3. Черненко А. Ю., Грачева Л. М., Евстюхина Т. А., Ковальцова С. В., Пешехонов В. Т., Федорова И. В., Королев В. Г. Взаимодействие гена *HSM3* с генами эпистатической группы *RAD6* у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Генетика. 2012. Т. 48. № 2. С. 160–167.

4. Черненко А. Ю., Иванова С. В., Ковальцова С. В., Грачева Л. М., Пешехонов В. Т., Федорова И. В., Королев В. Г. Генетический анализ доменной структуры белка Hsm3 дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Генетика. 2010. Т. 46. № 6. С. 742–749.

5. Черненко А. Ю., Федоров Д. В., Грачева Л. М., Евстюхина Т. А., Ковальцова С. В., Пешехонов В. Т., Федорова И. В., Королев В. Г. Взаимодействие гена *HSM3* с генами, инициирующими гомологичную рекомбинационную репарацию у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Генетика. 2012. Т. 48. № 3. С. 333–339.

6. Черненко А. Ю., Федоров Д. В., Косарева А. А., Кожина Т. Н., Королев В. Г. Изменение частот спонтанного мутагенеза при комбинациях мутаций *hsm3* и *hsm6* с мутацией *rad52* в клетках дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* // Генетика. 2014. Т. 50. № 2. С. 243–245.

7. Chernenkov A., Fedorov D., Kosareva A., Kozhina T., Evstiukhina T., Peshekhonov V., Korolev V. The role of *Saccharomyces cerevisiae* *HSM3* and *HSM6* genes in DNA repair, mutagenesis and chromatin modifications // FEBS Journal. 2013. Vol. 280 (Suppl. 1). P. 65.

THE ROLE OF *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* HSM-FAMILY GENES IN CHROMATIN REMODELING AND MODIFYING

A. YU. CHERNENKOV, D. V. FEDOROV, T. A. EVSTYUKHINA,
T. N. KOZHINA, V. G. KOROLEV

Petersburg Nuclear Physics Institute, Saint-Petersburg, Gatchina

Summary. Members of the *HSM*-family (*HSM2*, *HSM3*, *HSM6* and *HIM1* genes) take part as in DNA repair and mutagenesis, so in chromatin structure maintenance, modifying and remodeling. The protein products of mentioned genes have versatile roles in case of their multidomain structures. These proteins can affect genome stability because of their influence on dNTP pool in yeast cells and great mutability under the effects of DNA damaging agents.

ПОИСК ИСТОЧНИКОВ УСТОЙЧИВОСТИ КАРТОФЕЛЯ К ГЛОБОДЕРОЗУ ПРИ ПОМОЩИ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

О. А. КУЗЬМИНОВА, С. Г. ВОЛОГИН, З. СТАШЕВСКИ, Е. А. ГИМАЕВА

Татарский НИИ сельского хозяйства, Казань

E-mail: KuzminovaOA.OK@gmail.com

Нематодные болезни картофеля широко распространены и значительно снижают не только урожайность культуры, но и товарные качества клубней, резко увеличивают отходы картофеля при хранении. К наиболее распространенным и вредоносным фитогельминтозам картофеля относится глободероз, вызываемый золотистой нематодой (*Globodera rostochiensis* Woll и *Globodera pallida*). Ущерб, причиняемый картофельной нематодой, при сильном заражении может достигать 85–90 %. В Европе и в России цистообразующие нематоды, поражающие картофель, имеют статус карантинных патогенов [9]. На территории России распространена только золотистая картофельная нематода патотипа Ro1. По данным карантинной службы, *G. rostochiensis* зарегистрирована в 56 регионах РФ на площади более 53 тыс. га [1].

Химические средства защиты против цистообразующих нематод малоэффективны. Кроме того, эти почвообитающие патогены даже в отсутствие растения-хозяина не утрачивают инфекционности несколько десятилетий. Наиболее перспективный и экономически оправданный метод защиты картофеля от глободероза – создание нематодоустойчивых сортов [4].

Методы ДНК-генотипирования и использование молекулярных маркеров позволяют ускорить перенос хозяйственно ценных генов в процессе селекции и обеспечить создание новых сортов с целым комплексом заданных свойств [6].

Целью работы являлось изучение селекционного материала картофеля на наличие молекулярных маркеров, связанных с устойчивостью к *G. rostochiensis* Woll.

Материалы и методы. Объектом исследований служили растения картофеля 66 сортообразцов и 278 селекционных номеров четырех комбинаций скрещивания.

Листовые пробы растений были отобраны во время вегетации в полевых условиях. Тотальную геномную ДНК выделяли при помощи набора «ДНК-сорб-С» (ЦНИИЭ, Россия) согласно инструкции производителя. Полимеразную цепную реакцию (ПЦР) проводили на амплификаторе Mastercycler Gradient (Eppendorf, Германия). Для оценки исследуемого материала на наличие генов устойчивости картофеля использовали молекулярный маркер TG689, сцепленный с геном H1, и Gro1-4, сцепленный с геном Gro1(1-4). Режимы проведения ПЦР соответствовали работам [7, 8]. Анализ на устойчивость растений картофеля к золотистой цистообразующей нематодой проводился в ГНУ ВНИИКС им. А. Г. Лорха. Литературные данные по устойчивости сортов картофеля к нематоды взяты из [2, 3, 10]

Результаты. Молекулярно-генетический анализ коллекционного материала картофеля на наличие гена H1, связанного с устойчивостью к *G. rostochiensis*, показал наличие связанного с ним маркера TG689 у 55% изученных образцов (25 сортов и 11 сложных межвидовых гибридов). Маркер Gro1-4 встречался гораздо реже – он был обнаружен только у 17% образцов (10 сортов и 1 гибрид). Особый интерес представляли сорта, обладающие комбинацией данных фрагментов ДНК: Елизавета, Живица, Оксания, Роко, Уладар, Франзи, а также образцы, несущие маркер гена Go1(1-4) (Ароза, Ред стар, Фреско, Хилта). Сорта Живица, Уладар, Сантэ, Журавинка, Ветразь и Одиссей были ранее описаны в работе [5].

Сравнение результатов молекулярного скрининга с литературными данными по устойчивости к нематоды показало, что из 25 сортов, содержащих маркер гена H1, 20 имели резистентность к нематоды и два из них были слабовосприимчивы к данному патогену, что может объясняться неполным проявлением признака устойчивости. Из 10 сортов, несущих маркерный фрагмент Gro1-4, все были устойчивы. Также было выявлено четыре сорта, которые не обладали ни одним из исследуемых маркеров, но при этом имели устойчивость. Можно предположить, что резистентность данных образцов не связана с генами H1 и Gro1(1-4).

В дальнейшем был проведен генетический анализ наследования молекулярных маркеров в потомстве от анализирующего скрещивания со сложным межвидовым гибридом 50-03, не имеющим молекулярных маркеров TG689 и Gro1-4 и не устойчивым к *G. rostochiensis*. Скрининг гибридных популяций на наличие маркера гена H1 показал, что в комбинациях Живица × 50-03, Виктория × 50-03,

Блакит × 50-03 и Дубрава × 50-03 относительное количество образцов, несущих данный маркерный фрагмент, составило 48, 48, 51 и 62 % соответственно. Распределение генотипических классов статистически не отличалось от соотношения 1:1 ($p > 0,05$). Это свидетельствовало о том, что генотипы сортов Живица, Виктория, Блакит и Дубрава характеризуются наличием одного доминантного аллеля гена H1.

Также был осуществлен анализ наследования ДНК-маркера Gro1-4 в комбинации Живица × 50-03. Количество образцов, несущих данный фрагмент ДНК, составило 46 %. Расщепление на генотипы, обладающие маркером Gro1-4 и не имеющие его, также соответствовало соотношению 1:1 ($p > 0,05$), что говорит о наличии в генотипе сорта Живица одного доминантного аллеля гена Gro1(1-4). Комбинацией обоих маркерных фрагментов обладали 18 % образцов данной гибридной популяции.

Для определения информативной ценности маркеров TG689 и Gro1-4 гибриды комбинации Живица × 50-03 были оценены на устойчивость к золотистой картофельной нематоды.

При изучении 28 образцов было обнаружено 23 устойчивых и 5 восприимчивых гибридов. Из 23 устойчивых образцов 13 содержали ген H1, 10 – Gro1(1-4). Также было выявлено 5 поражаемых нематодой образцов, несущих маркерный фрагмент TG689, что может говорить о более низкой информативности данного маркера по сравнению с Gro1(1-4).

Закключение. Выявлено 11 образцов, несущих ген Gro1(1-4), а также 36 образцов, обладающих геном H1. Генетический анализ показал, что молекулярные маркеры TG689 и Gro1-4 наследуются стабильно, что подтверждается образованием теоретически ожидаемого расщепления. Выявлено 9 гибридов, содержащих комплекс генов Gro1(1-4) и H1. Показана более высокая информативность маркера Gro1-4 по сравнению с ДНК-маркером TG689.

Литература

1. Анисимов Б. В. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. М.: Картофелевод, 2009. 272 с.
2. Анисимов Б. В. Сорта картофеля, возделываемые в России. М.: Агроспас, 2013. С. 26–127.
3. Бобрин А. О. Бульба белорусская: энциклопедия. Минск, 2008. 382 с.
4. Ермакова Л. В. Эффективность применения нематоустойчивых сортов и препарата перкальцит для снижения инвазии золотистой картофельной нематоды в почве // Сб. науч. тр. Всерос. науч.-исслед. ин-та им. А. Г. Лорха. М., 2006. С. 263–267.
5. Павлючук Н. В. Поиск источников устойчивости картофеля к цистообразующей нематоды *Globodera rostochiensis* Woll. с помощью молекулярных маркеров // Картофелеводство: сб. науч. тр. 2010. Т. 18. С. 166–175.
6. Сиволап Ю. М. Исследование молекулярно-генетического полиморфизма сортов *Triticum aestivum* L. с помощью RAPD- и SSRP-анализа // Генетика. 1999. Т. 35. № 7. С. 1665–1673.
7. Galek R. Application of DNA markers linked to the potato H1 gene conferring resistance to pathotype Ro1 of *Globodera rostochiensis* // Appl. Genet. 2011. Vol. 52. № 4. P. 407–411.
8. Skupinova S. Segregation of DNA Markers of Potato (*Solanum tuberosum* spp. *tuberosum* L.). Resistance against Ro1 Pathotype *Globodera rostochiensis* in Selected F1 Progeny // Rost. Vyroba. 2002. Vol. 48. № 11. P. 480–485.

9. Stone A. R. *Heterodera pallida* n. sp. (Nematoda: Heteroderidae), a second species of potato cyst nematode // *Nematologica*. 1973. Vol. 18. № 4. P. 591–606.

10. The European cultivated potato database [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.europotato.org> (дата обращения: 10.07.2014).

POTATO RESISTANCE SOURCES TO ROOT CYST NEMATODE GLOBODERA ROSTOCHIENSIS WOLL SEARCHING WITH MOLECULAR MARKERS

O. A. KUZMINOVA, S. G. VOLOGIN, Z. STASHEVSKI, E. A. GIMAEVA

Tatar Research Institute of Agriculture, Kazan

Summary. Results of potato resistance sources to root cyst nematode *Globodera rostochiensis* Woll searching with molecular markers linked to resistance genes are presented. Genetic analysis of molecular markers TG689 and Gro1-4 inheritance was determined, as well as their informative value was conducted.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ТЮЛЬПАНА ПОНИКАЮЩЕГО *TULIPA PATENS* (LILIACEAE) НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

П. О. МАМАЕВА

Уральский федеральный университет, Екатеринбург

E-mail: polina-2maeva@mail.ru

Тюльпан поникающий *Tulipa patens* C.Agardh ex Schult. et Schult – редкий исчезающий вид, занесенный во многие Красные книги, произрастает в виде небольших изолированных популяций. В связи с этим изучение генетического разнообразия этого вида является чрезвычайно актуальным.

Методом изоферментного анализа были изучены 7 природных популяций тюльпана поникающего, произрастающих на Южном Урале, в краевой части ареала: две популяции из Оренбургской области (Халилово и Суундук), три популяции из Республики Башкортостан (Абзаново, Аркаим Сибай и старый Сибай), одна – из Челябинской области (Кизильское). Для сравнения исследовали популяцию из основной части ареала близ города Караганда (Казахстан). Для обработки использована программа PopGen32.

По шести ферментным системам было обнаружено 32 аллельных варианта, находящихся под контролем семи локусов. Все локусы оказались полиморфными, количество аллелей на локус варьировало от 2 до 7. Были рассчитаны частоты аллелей и 12 из них оказались редкими.

Процент полиморфных локусов в популяциях *T. patens* варьировал от 57,14 до 85,71 %, для вида в целом составил 100 %. В среднем показатели наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности для всех популяций составили $H_0 = 0,21$ и $H_e = 0,41$, т. е. наблюдали дефицит гетерозигот. Это подтвердили и значения коэффициентов инбридинга Райта: коэффициент инбридинга особи относительно выборки (F_{is}) был равен 0,216, а коэффициент инбридинга особи относительно всего вида в целом (F_{it}) составил 0,537. Коэффициент инбридинга популяции относительно всего вида (F_{st}) в среднем составил 0,409, т. е. 41 % приходится на межпопуляционную изменчивость. Эффективное число аллелей (N_e) в среднем было равно 1,907.

Возможно причиной низкой гетерозиготности *T. patens* является то, что Южный Урал является краевой частью ареала данного вида, в которой популяции могли пройти через бутылочное горлышко, или влияние оказал эффект основателя.