Список литературы

1. Афонников Д.А. и др. Методы высокопроизводительного фенотипирования растений для массовых селекционно-генетических экспериментов // Генетика. – 2016. – Т. 52. – №. 7. – С. 788–803.
2. Brisson N. et al. An overview of the crop model STICS. // Eur. J. Agron. 2003. – V. 18 – № 3–4 – P. 309–332.
3. Shrestha R. et al. Bridging the phenotypic and genetic data useful for integrated breeding through a data annotation using the Crop Ontology developed by the crop communities of practice //Frontiers in physiology. – 2012. – Т. 3. – С. 326.

DOI 10.18699/GPB2020-52

Межсортовая хромосомная изменчивость рапса

Муравенко О.В.^{1*}, д.б.н., г.н.с.; Земцова Л.В.¹, ст. лаб.; Зошчук С.А.¹, к.б.н, н.с.; Воловик В.Т.², к.с.-х.н., зав.отд.; Юркевич О.Ю.¹, к.б.н, н.с.; Саматадзе Т.Е.¹, к.б.н, н.с.; Амосова А.В.¹, к.б.н, с.н.с.

¹ФГБУН Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, Москва, Российская Федерация;

²ФГБНУ Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса, Московская область, г. Лобня, Российская Федерация.

*e-mail: olgmur1@yandex.ru

Впервые исследована хромосомная изменчивость у сортов рапса, произрастающих в районах рискованного земледелия. Анализ структуры кариотипов и хромосомного распределения 45S и 5S рДНК выявил наличие полиморфных вариантов хромосом по локализации и числу этих маркеров в А- и С-субгеномах рапса. Наиболее часто такие полиморфные варианты наблюдались на 1, 3 и 4 парах гомологичных хромосом А-субгенома. В кариотипах растений некоторых сортов выявлен гетероморфизм гомологов, который также чаще обнаруживался на хромосомах А-субгенома. Наши результаты указывают на повышенный уровень хромосомного полиморфизма в озимых сортах рапса, по сравнению с яровыми.

Ключевые слова: *Brassica napus ssp. oleifera* (DC.) Metzг., кариотип, FISH, хромосомный полиморфизм.

Chromosomal variability in rapeseed varieties

Muravenko O.V.¹, Zemtsova L.V.¹, Zoshchuk S.A.¹, Yurkevich O.Yu.¹, Volovik V.T.², Samatadze T.E.¹, Amosova A.V.¹

¹Engelhardt Institute of Molecular Biology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation E-mail olgmur1@yandex.ru

²Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Lobnya, Moscow region, Russian Federation.

For the first time, chromosomal variability in rapeseed varieties cultivated in risk farming areas was investigated. Analysis of the karyotype structure and also chromosomal distribution of 45S and 5S rDNA revealed variability in number and localization of these chromosomal markers in rapeseed A and C subgenomes. Polymorphic variants were more often detected in 1, 3 and 4 chromosome pairs of the A subgenome. In plant karyotypes of several varieties, chromosome heteromorphism (more often in the A subgenome) was observed. Our findings indicated the increased level of chromosomal polymorphism in winter rapeseed varieties compared to spring ones.

Key words: Brassica napus ssp oleifera (DC.) Metzg., karyotype, FISH, chromosomal polymorphism.

Геном естественного амфидиплоида рапса масличного (*Brassica napus* ssp. *oleifera* (DC.) Metzg.) содержит в своем составе два субгенома А и С [1]. Известно, что для представителей семейства капустных (*Brassicaceae*) характерна внутривидовая изменчивость числа сайтов рибосомных генов в кариотипах. Виды, которые содержат А-геном в своем хромосомном наборе, такие как *B. rapa*, *B. juncea* и *B. napus*, демонстрируют высокий уровень полиморфизма по количеству и хромосомной локализации сайтов рДНК. Причем локусы, несущие предположительно неактивные гены рибосомной РНК, особенно склонны к полиморфизму [2, 3]. Показано, что вариация числа копий и экспрессии рибосомных генов связана с функциональным проявлением множества различных генов, ассоциированных с разными признаками, в том числе с холодоустойчивостью [4, 5].

Рапс является источником пищевого масла, полноценного корма для скота и сырья для биотоплива. Это достаточно теплолюбивая культура и для успешного ее выращивания в районах рискованного земледелия важно наличие сортов устойчивых к низким температурам [6]. Различают яровую и озимую формы рапса. Для озимых сортов устойчивость и адаптивная способность к низким температурам особенно важна. Одним из показателей, отражающих устойчивость к абиотическому стрессу, считается полиморфизм по числу кластеров рибосомных генов [7, 8]. FISH-анализ выявил на хромосомах рапса значительное количество полиморфных сайтов рибосомных генов [2, 3, 9]. Вместе с тем, внутри- и межсортовой полиморфизм рапса по локализации кластеров рибосомных генов до сих пор изучен мало и, из-за сложности идентификации хромосом, не всегда корректно [3, 9]. Нами проведено исследование внутри- и межсортового полиморфизма по локализации кластеров 45S рДНК и 5S рДНК у сортов рапса, выведенных для выращивания в средней полосе, которая относится к регионам рискованного земледелия.

Материалы и методы. Материалом для исследования послужили семена 17 сортов рапса, полученные из ФГБНУ ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса (г. Москва, Россия) и РУП НПЦ по земледелию НАН Беларуси (г. Жодино, Беларусь). Среди них 9 озимых и 8 яровых

сортов. Приготовление хромосомных препаратов, процедуру FISH с зондами 45S и 5S рДНК а также анализ хромосом проводили по разработанным нами ранее методикам [3, 10, 11].

Результаты и обсуждение. Кариотип рапса состоит из 9 пар хромосом С-субгенома и 10 пар хромосом А-субгенома, которые характеризуются небольшими размерами, бедным рисунком С-бэндинга [12]. После процедуры FISH хромосомы рапса дифференциально окрашиваются DAPI, и получаемый рисунок похож на рисунок С-окраски, что позволяет использовать его для идентификации хромосом [11, 13]. Используя ранее разработанную цитологическую номенклатуру хромосом рапса [11], основанную на размерах хромосом, центромерном индексе, рисунке DAPI-дифференциального окрашивания и локализации кластеров рибосомных генов, были изучены кариотипы 17 сортов рапса, районированных в регионе с умеренным и умеренно-континентальным климатом. Как правило, в кариотипах образцов рапса кластеры 45S рДНК наблюдаются на 7 парах хромосом (7C и 8C, 1A - 5A) а кластеры 5S рДНК на 6 парах хромосом (4C, 1A, 3A, 4A, 5A и 10A). Из них, на 4 парах хромосом А-субгенома (1A, 3A, 4A и 5A) 45S и 5S рДНК обычно расположены совместно. Это согласуется с результатами других авторов о высоком полиморфизме хромосом А-генома по локализации кластеров рибосомных генов [2, 3, 11]. В некоторых сортах наблюдается отсутствие сигналов гибридизации обеих последовательностей 45S или 5S рДНК на 4A хромосоме. У этой пары хромосом наиболее часто наблюдается гетероморфизм гомологов. В целом, число хромосом с кластерами 45S рДНК в кариотипах разных сортов рапса варьирует и составляет 12, 13 или 14, а число хромосом с кластерами 5S рДНК менялось от 10 до 12.

При этом, больше полиморфных вариантов гомологичных хромосом и их гетероморфных сочетаний характерно для озимых сортов по сравнению с яровыми, хотя количество кластеров 45S и 5S рДНК может быть одинаковым. Например, у озимого сорта Ветразь выявлен дополнительный вариант хромосомы 3C с локализацией 5S рДНК в длинном плече и два варианта хромосомы 4A, которые могут сочетаться как в одинаковых вариантах, так и в разных. У озимого сорта Северянин обнаружен гетероморфизм хромосомы 4A по наличию кластеров 45S и 5S рДНК, а у ярового сорта Викрос обнаружен гетероморфизм гомологов хромосомы 4A по наличию кластера 5S рДНК. Таким образом, результаты проведенного исследования указывают на возможную адаптивную значимость хромосомного полиморфизма по количеству и распределению сайтов рибосомных генов, что ранее отмечалось у рапса и других видов растений [2, 3, 6, 7, 14, 15].

Закключение. В результате проведенного сравнительного молекулярно-цитогенетического исследования выявлен полиморфизм по числу и распределению сайтов рибосомных генов на хромосомах сортов рапса, имеющих разные селекционные истории, с учетом ярового или озимого типа развития.

Выявленный полиморфизм важен для характеристики сорта и может использоваться для идентификации отдельных хромосом. На основе предложенного цитогенетического анализа в дальнейшем возможен отбор перспективных селекционных образцов для выведения новых сортов рапса с улучшенными характеристиками устойчивости к неблагоприятным условиям в регионах рискованного земледелия.

Благодарности: Работа поддержана РФФИ (проект № 18-54-0027), а также в рамках Программы фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы (тема № 0120136 3824).

Список литературы

1. U N. Genome-analysis in *Brassica* with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization // Japanese Journal of Botany. 1935. Vol. 7. P. 389–453
2. Hasterok R, Wolny E, Hosiawa M, et al. Comparative analysis of rDNA distribution in chromosomes of various species of Brassicaceae // Annals of Botany. 2006. V. 97. P. 205–216.
3. Amosova A. V., Zemtsova L. V., Grushetskaya Z. E. et al. Intraspecific chromosomal and genetic polymorphism in *Brassica napus* L. detected by cytogenetic and molecular markers // Journal of Genetics. 2014. V. 93. P. 133–143.
4. Hasi Yu, Xiangfeng Kong, Huan Huang et al. STCH4/REIL2 Confers Cold Stress Tolerance in Arabidopsis by Promoting rRNA Processing and CBF Protein Translation // Cell Reports. 2020. V. 30. P. 229–242.
5. Bo Li, Karl A.G. Kremling, Penghao Wu et al. Coregulation of ribosomal RNA with hundreds of genes contributes to phenotypic variation // Genome Res. 2018. V. 28. P. 1555–1565.
6. Воловик В. Т. Качество семян рапса перспективных сортов селекции ГНУ ВИК Россельхозакадемии // Материалы Всероссийской научно-практической конференции по кормопроизводству. Казань. - 2011. - С. 71–75.
7. Bogunić F., Siljak-Yakovlev S., Muratović E., Ballian D. Different karyotype patterns among allopatric *Pinus nigra* (Pinaceae) populations revealed by molecular cytogenetics // Plant Biol. 2011. V. 13. P. 194–200.
8. Scaldaferrero MA, da Cruz MV, Cecchini NM, Moscone EA. FISH and AgNor mapping of the 45S and 5S rRNA genes in wild and cultivated species of Capsicum (Solanaceae) // Genome. 2016. V. 59. P. 95–113.
9. Snowdon R. J., Friedrich T., Friedt W., Kohler W. Identifying the chromosomes of the A- and C-genome diploid *Brassica* species *B. rapa* (syn. *campestris*) and *B. oleracea* in their amphidiploid *B. napus* // Theor. Appl. Genet. 2002. Vol. 104. P. 533–538.
10. Muravenko O. V., Yurkevich O. Yu., Bolsheva N. L. et al. Comparison of genomes of eight species of sections *Linum* and *Adenolinum* from the genus *Linum* based on chromosome banding, molecular markers and RAPD analysis // Genetika. 2009. V. 135. № 2. P.245–255.
11. Amosova, A. V., Zemtsova, L. V., Yurkevich et al. Genomic changes in generations of synthetic rapeseed-like allopolyploid grown under selection // Euphytica. 2017. V. 213. P. 217–229.
12. Olin-Fatih M. and Heneen W. K. C-banded karyotypes of *Brassica campestris*, *B. oleracea* and *B. napus*. // Genome. 1992. Vol. 35. P. 583–589.

13. Xiong Z. and Pires J. C. Karyotype and identification of all homoeologous chromosomes of allopolyploid *Brassica napus* and its diploid progenitors // *Genetics*. 2011. Vol. 187. P. 37–49.
14. Pedrosa-Harand A., de Almeida C.C., Mosiolek M. et al. Extensive ribosomal DNA amplification during Andean common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) evolution // *Theor. Appl. Genet.* 2006. V.112. P. 924–933.
15. Long Q., Rabanal F.A., Meng D. et al. 2013. Massive genomic variation and strong selection in *Arabidopsis thaliana* lines from Sweden. *Nat Genet* 45: 884–890.

DOI 10.18699/GPB2020-53

Оценка полиморфизма ампелографической коллекции по реакции сортов на изменение агроклиматических показателей

Новикова Л.Ю.^{1*}, д.с.-х.н., в.н.с., и.о. зав. отд. автоматизированных информационных систем генетических ресурсов растений; Наумова Л.Г.², к.с.-х.н., в.н.с. лаборатории ампелографии.

¹ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия;

²ВНИИ виноградарства и виноделия имени Я.И. Потапенко – филиал ФГБНУ ФРАНЦ, г. Новочеркасск, Россия.

*e-mail: l.novikova@vir.nw.ru

В условиях изменения климата важное значение приобретает анализ скоростей реакции сортов винограда на изменения агроклиматических характеристик. На основе спецификаций ранее построенных регрессионных уравнений «среднего сорта» винограда рассчитаны коэффициенты регрессии для 292 сортов Донской ампелографической коллекции. Полученные скорости реакции на изменения агроклиматических факторов сравнили у групп сортов различного направления использования, таксономического происхождения, срока созревания с помощью критерия Краскела-Уоллиса. Показано, что наибольшими скоростями характеризовались межвидовые гибриды с *V. labrusca* L. и *V. amurensis* Rupr., что связано с их чувствительностью к зимним и весенним температурам, и более поздние сорта.

Ключевые слова: ампелографическая коллекция, изменения климата, регрессионная модель, скорость реакции.

Assessment of the ampelographic collection polymorphism based on the varieties reaction to changes in agroclimatic parameters

Novikova Liubov, Dr. Sci. in Agricul., leading researcher of the Department of automated information systems, Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Center the N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources» (VIR), St.-Petersburg, Russia; Naumova Lyudmila, Cand. Agr.Sci.,