

Экологическая селекция растений: ТИПЫ И ПРАКТИКА

В.В. СЮКОВ¹, В.Г. Захаров²✉, А.И. Менибаев¹

¹ Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М. Тулайкова, Самарская область, пос. Безенчук, Россия

² Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Ульяновская область, Ульяновский район, пос. Тимирязевский, Россия

В статье изложены основы экологической селекции. Представлены критический анализ определения этого термина и теоретические основы экологической селекции как метода отбора генотип-средовых наследственных факторов. Выделены два основных типа организации экологической селекции: челночная селекция, реализованная в CIMMYT и Всероссийском научно-исследовательском институте селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИССОК), и сопряженная селекция, разработанная как программы «Экада», «Клевер», «Люцерна» и «Аридные культуры». Подробно изложены методические подходы, применяемые при сопряженной селекции. Показано, что экологическая селекция может быть представлена тремя модулями: формирование искусственного экологического градиента (экологического вектора), собственно отбор генотипов с широкой нормой реакции (отбор на гомеoadаптивность) и организация движения селекционного материала вдоль экологического вектора. На примере программы «Экада» показана практическая реализация экологической селекции по типу «сопряженной селекции». Экологический вектор программы представлен шестью точками, расположенными в исторически сложившихся селекционных центрах Поволжско-Уральского региона, характеризующимися различной степенью выраженности лимитирующих рост и развитие растений факторов среды. Схема организации селекции заключается в параллельном испытании совместного селекционного материала во всех точках экологического вектора и выделении наиболее пластичных линий. При этом, в отличие от «челночной селекции», вдоль экологического градиента перемещаются не генотипы, а информация. Результатом работы творческого коллектива «Экада» стало создание серии сортов яровой мягкой пшеницы (Экада 6, Экада 70, Экада 66, Экада 109, Экада 113), рекомендованных для использования в сельскохозяйственном производстве.

Ключевые слова: экологическая селекция; генотип-средовые взаимодействия; яровая пшеница; челночная селекция; сопряженная селекция.

Ecological plant breeding: types and practice

V.V. Syukov¹, V.G. Zakharov²✉, A.I. Menibaev¹

¹ Samara Research Scientific Institute of Agriculture named after N.M. Tulaykov, Samara region, Bezenchuk, Russia

² Ulyanovsk Research Scientific Institute of Agriculture, Ulyanovsk region, Timiryazevskiy, Russia

The article describes the theoretical basis of ecological breeding. A critical analysis of the definition of this term and the theoretical foundations of ecological breeding, as a method of selection of genotype-environmental hereditary factors are presented. Two main types of the organization of ecological breeding are in focus: shuttle breeding actualized in CIMMYT and the All-Russian Research Institute of Vegetable Breeding and Seed Production (VNISSOK), and conjugate breeding developed under such programs as "Ekada", "Clover", "Lucerne" and "Arid cultures". The methodological approaches used in conjugate breeding are described in details. It is illustrated that ecological breeding can be represented by three modules: the formation of an artificial ecological gradient (ecological vector), the actual selection of genotypes with a wide norm of reaction (selection for homeoadaptability) and the organization of movement of the breeding material along the ecological vector. The practical implementation of ecological selection of the "conjugate selection" type was shown with the "Ekada" program as an example. The ecological vector of the program consists of six points arranged in historical breeding centers of the Volga-Ural region characterized by varying strength of factors that limit the growth and development of plants. The organizational scheme of selection lies in parallel testing pooled breeding material at all points of the ecological vector and isolating the most compliant lines. In this case, information, not genotypes, is what is transferred along the ecological gradient, in contrast to "shuttle selection". The result of the work of the creative team "Ekada" was the development of series of spring wheat strains (e.g. Ekada 6, Ekada 70, Ekada 66, Ekada 109, Ekada 113), which were recommended for use in agricultural production.

Key words: ecological selection; genotype-environmental interactions; spring wheat; shuttle breeding; conjugate breeding.

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Сюков В.В., Захаров В.Г., Менибаев А.И. Экологическая селекция растений: типы и практика. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(5):534-536. DOI 10.18699/VJ17.270

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Syukov V.V., Zakharov V.G., Menibaev A.I. Ecological plant breeding: types and practice. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(5):534-536. DOI 10.18699/VJ17.270 (in Russian)

Термин «экологическая селекция», или «адаптивная селекция», у многих авторов формулируется по-разному (Шевелуха, 1993; Пивоваров и др., 1994; Кильчевский, Хотылева, 1997; Жученко, 2001; Корзун, Бруйло, 2011). Под этим понятием часто объединяются несколько различных селекционных направлений, общим элементом которых является экологизация (биологизация) сельского хозяйства (Кильчевский, Хотылева, 1997) или повышение адаптивного потенциала растений к конкретным факторам среды (Жученко, 2001).

Если все-таки под экологической селекцией понимать отдельный раздел селекционной науки, то следует определить, что брать за основной объект исследования в нем и какой основной метод выделяет экологическую селекцию из других направлений.

Прежде всего, следует признать, что селекционеры, ведущие селекционный процесс в конкретной природно-климатической зоне, ограничиваются в основном информацией о доле генотипической изменчивости в фенотипической. Если коэффициент наследуемости ($H^2 = \sigma_g^2 / \sigma_{ph}^2$) достаточно высок, отбор в ранних поколениях по анализируемому признаку считается эффективным. Однако подобный упрощенный подход не всегда приводит к ожидаемому результату, поскольку структура фенотипической вариабельности сложнее и кроме паратипической и генотипической изменчивости включает в себя генотип-средовые взаимодействия, которые носят в основном эпигенетический характер (Сюков и др., 2010).

В последнее время в научной литературе представлено много результатов исследований, в том числе и на молекулярно-генетическом уровне, подтверждающих эту концепцию. А.Н. Paterson с коллегами (1991) выявили на томатах, что для одного и того же признака в разных экологических условиях проявляются разные QTL. Аналогичные результаты получены на кукурузе (Stuber et al., 1992), арабидопсисе (Ungerer et al., 2003), сое (Jiang et al., 2011), а также на пшенице (Börner et al., 2002; Чесноков и др., 2008, 2012; Сюков и др., 2012). В предыдущих наших исследованиях показано, что генотипическая изменчивость вносит в 1.61–4.89 раза меньший вклад, чем наследуемые генотип-средовые взаимодействия, хотя основной вклад в формирование фенотипа по всем количественным признакам у яровой мягкой пшеницы дает изменчивость, вызванная различиями по годам и экологическим точкам. Общая доля паратипической изменчивости составляла от 38.2 (плотность продуктивного стеблестоя) до 58.9 % (урожайность) (Захаров и др., 2012).

Создание сортов с широкой нормой реакции невозможно без учета эпигенетической (генотип-средовой) составляющей, а значит, и без создания искусственного экологического градиента. Именно использование такого искусственного экологического градиента, который назван нами «экологический вектор», мы считаем основным методом экологической селекции.

Техника применения данного метода может быть различной, но все методики в конечном счете можно свести к двум типам. Первый тип – так называемая челночная селекция (shuttle breeding), разработанная Норманом Борлаугом в СИММУТ. Она заключается в движении селекционного материала между двумя контрастными экологи-

ческими точками в Мексике – Сьюдад-Обрегон и Толука (Rajaram et al., 1984, 2002; Rajaram, van Ginkel, 2001).

Процесс перемещения селекционного материала дает двойной эффект. Во-первых, изначально, как и полагал Н. Борлауг, челночная селекция должна была вдвое ускорить селекционный процесс, поскольку позволяла получать два урожая в год. Во-вторых, селекционные образцы, перемещавшиеся между двумя точками на 10 градусов широты и от близкого уровня моря в Долине Яки в Сонора до более чем 8 тыс. футов над уровнем моря в Толуке, были подвержены различным заболеваниям, почвенным и климатическим условиям и неодинаковой продолжительности светового дня: сокращение с момента посадки в зимний период в Соноре и удлинение летом в г. Толука. Результат был намного больше, чем просто превышение скорости процесса размножения. Растения, которые выжили и показали хорошие результаты в обоих местах, оказались более приспособленными к широкому диапазону условий (Rajaram et al., 1984).

Н. Borlaug писал (1968), что с помощью этой техники они создали высокоурожайные, нечувствительные к длине дня сорта с широким спектром экологической адаптации и устойчивости к болезням. Это новая комбинация однозначно ценных признаков в сортах пшеницы.

Такая же логика формирования челночной селекции некоторых овощных культур (в первую очередь, перца сладкого) наблюдалась во Всероссийском научно-исследовательском институте селекции и семеноводства овощных культур (ВНИИСОК) (Пивоваров и др., 1994). Однако эксперименты показали ограниченность большинства регионов центральной России по информативности лимитирующих факторов среды в выбранных экологических точках. В связи с этим и для ускорения селекционного процесса были использованы экологические точки в Азербайджане (Ленкорань), Узбекистане (Термез) и на Кубе. Методы экологической селекции апробированы при создании сортов: огурца – Водолей, Единство и др.; томата – ТМК-22 и др.; петрушки – Бриз; шпината – Стоик; мангольда – Белавинка; редиса – Софит, Моховский; горошка душистого – Термезий, Люммер и др.; артишока – Красавец; Melissa – Дозя; майорана – ТерМос, Малахит; фасоли овощной – Настёна, Магура, Миробелла и др. (Пивоваров и др., 1994).

Под эгидой СИММУТ на тех же принципах челночной селекции организована программа Казахстанско-Сибирской сети улучшения яровой пшеницы (КАСИБ) (Шаманин и др., 2012).

Второй тип организации экологической селекции можно назвать сопряженной селекцией. Он создан под названием программа «Экада» и включает три основных модуля: 1) формирование экологического вектора – совокупности естественных сред, которая способствует эффективному отбору по генотип-средовой компоненте вдоль создаваемого ею градиента; 2) выбор статистических параметров, адекватно оценивающих различия по гомеоадаптивности; 3) создание схемы движения селекционного материала по точкам экологического вектора.

Экологический вектор «Экада» представлен шестью географическими точками в исторически сложившихся селекционных центрах: Самарском НИИСХ (Безенчук –

далее Б), Ульяновском НИИСХ (Тимирязевский – У), Пензенском НИИСХ (Лунино – П), Башкирском НИИСХ (Чишмы – Ч), Татарском НИИСХ (Казань – К), НПФ «Фитон» (Карабалык, Кустанайская область, Республика Казахстан – Ф).

Анализ параметров среды показывает, что крайняя левая точка в сформированном экологическом векторе, в которой в наибольшей степени сконцентрированы лимитирующие рост и развитие растений факторы среды (почвенная и атмосферная засуха, эпифитотии листовых болезней), – Безенчук. Здесь созревает наименьший урожай зерна, и лишь в один год из трех лет среда характеризуется высокой дифференцирующей способностью и типичностью для вектора в целом. Крайне правыми точками являются Казань и Ульяновск, где в наибольшей степени реализуется потенциал продуктивности. Стабильно в центре вектора расположен пос. Карабалык с высокими параметрами дифференцирующей способности среды, но нетипичными для вектора в целом. Точки Пенза и Чишмы меняют свое положение, приближаясь то к левой, то к правой точке. Таким образом, сформирован экологический вектор Б→(П)→Ф→(Ч)→У→К с различным спектром давления лимитирующих факторов среды в онтогенезе вдоль экологических точек (Сюков и др., 2013).

Схема организации «сопряженной селекции» заключается в параллельном (сопряженном) испытании совместного селекционного материала во всех точках экологического вектора. Следовательно, в отличие от челночной селекции вдоль экологического градиента перемещаются не генотипы, а информативы.

Практическим результатом работы временного творческого коллектива «Экада» стало создание серии сортов яровой мягкой пшеницы: Экада 6 (Крестьянка/Самсар), Экада 70 (Волжанка/Нја 21677//Тулайковская юбилейная), Экада 66 (Волжанка/Нја 21677//Тулайковская юбилейная), Экада 109 (Отечественная/Лютесценс 62//Саратовская 29/3/Безостая 1/Саратовская 29/4/Кутулукская/5/Л-503/6/Харьковская 12) и Экада 113 (Скала БР-2098/Юлия), которые включены в Государственный реестр селекционных достижений РФ.

Сорта, выведенные в ходе выполнения программы, отличаются полевой устойчивостью к листовым болезням; Экада 66 и Экада 70 практически не поражаются пыльной и твердой головней, а Экада 113, кроме того, проявляет слабую восприимчивость к стеблевой и желтой ржавчине.

По принципу сопряженной селекции на экологических точках России и Беларуси во Всероссийском научно-исследовательском институте кормов организованы программы «Клевер», «Аридные культуры» и «Люцерна» (Шамсутдинов, 2014).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Borlaug N.E. Wheat breeding and its impact on world food supply. Proc. 3rd Int. Wheat Genetic Symp. Canberra, Australia. 1968;1-36.
Börner A., Schumann E., Fürste A., Costel H., Leithold B., Roder M.S., Weber W.E. Mapping of quantitative trait loci determining agronomic important characters in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). Theor. Appl. Genet. 2002;105:921-936.

Chesnokov Y.V., Pochepnaya N.V., Berner A., Lovasser U., Goncharova E.A., Dragavcev V.A. Ecogenetic organization of quantitative traits of plants and mapping of loci determining agronomically important traits of soft wheat. Doklady RAN = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. 2008;418(5):693-696. (in Russian)
Chesnokov Y.V., Pochepnaya N.V., Kozlenko L.V., Sitnikov M.N., Mitrofanova O.P., Syukov V.V., Kochetkov D.V., Lovasser U., Berner A. Mapping of QTLs determining the expression of agronomically and economically valuable features in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in environmentally different Russia regions. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2012;16(4/2):970-986. (in Russian)
Jiang Z., Zhang B., Teng W., Han Y., Zhao X., Sun D., Zhang Z., Li W. Impact of epistasis and QTL×environmental interaction on the oil filling rate of soybean seed at different developmental stages. Euphytica. 2011;177(3):431-442.
Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. Ekologicheskaya selektsiya rasteniy [Ecological Plant Breeding]. Minsk: Tekhnologiya Publ., 1997. (in Belarus)
Korzun O.S., Bruylo A.S. Adaptivnye osobennosti selekcii i semenovodstva sel'skokhozyaystvennykh rasteniy [Adaptive Features of Crop Breeding and Seed Production]. Grodno: GGAU Publ., 2011. (in Belarus)
Paterson A.H., Damon S., Hewitt J.D. Mendelian factors underlying quantitative traits in tomato: Comparison across species, generations, and environments. Genetics. 1991;127:181-197.
Pivovarov V.F., Dobrutskaia E.G., Balashova N.N. Ekologicheskaya selektsiya rasteniy (na primere ovoshchnykh kultur) [Ecological Plant Breeding by the Example of Vegetable Crops]. Moscow, 1994. (in Russian)
Rajaram S., Borlaug N.E., van Ginkel M. CIMMYT International wheat breeding. Bread Wheat – Improvement and Production. Plant Production and Protection Series. FAO Rome. 2002;30:103-117.
Rajaram S., Skovmand B., Curtus B.C. Philosophy and methodology of an international wheat breeding program. Gene manipulation in plant breeding. N. Y.; London, 1984;33-60.
Rajaram S., van Ginkel M. Mexico, 50 years of international wheat breeding. The World Wheat Book. A History of Wheat Breeding. Paris: Lavoisier Publishing, 2001;579-608.
Shamanin V.P., Morgunov A.I., Manes J., Zelenskiy Y.I., Chursin A.S., Levshunov M.A., Pototskaya I.V., Likhnenko I.E., Manko T.A., Karakoz I.I., Tabachenko A.V., Petukhovskiy S.L. Breeding and genetic estimation of spring bread wheat populations of the Siberian shuttle breeding nursery of SIMMYT. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selekcii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2012;16(1):21-32. (in Russian)
Shamsutdinov Z.S. Forage crop breeding: achievements and tasks. Selskokhozyaystvennaya Biologiya = Agricultural Biology. 2014;6:36-45. (in Russian)
Shevelukha V.S. Evolution of agrotechnologies and strategy of adaptive plant breeding. Vestnik RASKhN = Herald of the Russian Academy of Agricultural Sciences. 1993;4:16-21. (in Russian)
Stuber C.W., Lincoln S.E., Wolff D.W. Identification of genetic factors contributing to heterosis in a hybrid from two elite maize inbred lines using molecular markers. Genetics. 1992;132:823-839.
Syukov V.V., Kochetkov D.V., Kocherina N.V., Chesnokov Y.V., Berner A., Lovasser U. Detection of loci determining quantitative traits of summer wheat in the Middle Volga region. Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova = Herald of Saratov State Vavilov Agrarian University. 2012;12:91-94. (in Russian)
Syukov V.V., Madyakin E.V., Kochetkov D.V. The contribution of genotype-environmental effects to the formation of quantitative traits in inbred and outbred plants. Informatsionny Vestnik VOGiS = The Herald of Vavilov Society for Geneticists and Breeders. 2010;14(1):141-147. (in Russian)
Syukov V.V., Zakharov V.G., Vasilova N.Z., Krivobocheck V.G., Nikonov V.I., Ganeev V.A. Metodika vyyavleniya epigeneticheskoy ekspressii poligenov vdol ekologicheskogo vektora na primere yarovoy myagkoy pshenitsy [Methods of Identification of Epigenetic Expression of Polygenes along the Ecological Vector by the Example of Spring Soft Wheat]. Samara: SamNTc RAN Publ., 2013. (in Russian)
Ungerer M.C., Halldorsdottir S.S., Purugganon M.D., Mackay T.F. Genotype-environmental interactions at quantitative trait loci affecting inflorescence development in *Arabidopsis thaliana*. Genetics. 2003;165:353-365.
Zakharov V.G., Syukov V.V., Krivobocheck V.G., Kochetkov D.V., Nikonov V.I., Vasilova N.Z., Ganeev V.A. Laws of the formation of a summer soft wheat phenotype for quantitative traits. Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova = Herald of Saratov State Vavilov Agrarian University. 2012;10:41-42. (in Russian)
Zhuchenko A.A. Adaptivnaya sistema selekcii rasteniy (ekologo-geneticheskoe osnovy) [The Adaptive System of Plant Breeding: Ecogenetic Basics]. Moscow: RUDN Publ., 2001. (in Russian)