

Оценка в селекционном процессе перспективных линий ячменя с использованием эколого-генетических параметров урожайности*

М.П. Мордвинцев, д.с.-х.н., Е.А. Солдаткина, ст.н.с., ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ

Ячмень как универсальная зерновая культура имеет большое кормовое, продовольственное, техническое и агротехническое значение. В Оренбургской области яровой ячмень занимает второе место по распространённости и одно из первых по урожайности среди зерновых куль-

тур. Его урожайность близка, а в большинстве районов возделывания выше, чем урожайность яровой пшеницы [1].

Оренбургская область отличается крайне неустойчивыми условиями выращивания зерновых культур (в том числе и ячменя): часто повторяющиеся засухи, неравномерное распределение осадков в течение вегетационного периода и по территории области, поражение растений

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства Российской Федерации по теме НИР Оренбургского ГАУ на 2019 год «Исследование и разработка новых направлений и методов в селекционно-семеноводческой работе и подготовке специалистов, владеющих навыками данной работы с применением современных информационных технологий».

ржавчиной, корневыми гнилями, головневыми заболеваниями и др. Всё это обуславливает высокую вариабельность урожаев зерна во времени и пространстве [2].

В таких условиях дальнейшее повышение урожайности возделываемых культур тесно связано с проблемой её стабильности. Поэтому особую актуальность приобретает задача создания высокоадаптивных, экологически пластичных сортов, позволяющих формировать достаточно стабильные урожаи качественной продукции в различных условиях произрастания. Эта задача решается в рамках современной концепции эколого-адаптивной селекции растений [3, 4].

Ранее была обоснована необходимость эколого-адаптивной селекции (селекции на гомеоадаптивность сортов) применительно к культуре сои в Поволжье. Кроме того, была реализована эколого-адаптивная стратегия её селекции при создании сортов, обладающих высокой экологической адаптивностью (пластичностью) к условиям региона и представляющих собой, по сути дела, не существовавший ранее поволжский агроэкотип этой культуры [5].

Особенности селекции на гомеоадаптивность состоят в необходимости использовать в селекционном процессе естественное или искусственно созданное разнообразие условий выращивания селекционируемых генотипов и контролировать не только их продуктивность, но и основные параметры адаптивности: изменчивость, отзывчивость на изменение условий и стабильность (т.е. оценивать их эколого-генетические параметры). Отсутствие такого контроля может повлечь за собой потерю адаптивных форм, тогда как анализ экологической устойчивости сортов предоставляет селекционеру информацию об их возможностях в различных агроэкологических условиях выращивания [5].

Элементы селекции на гомеоадаптивность (некоторые её принципы и методы) используются авторами в селекционной работе с ячменём, которая успешно выполняется в Оренбургском государственном аграрном университете (ОГАУ) [6]. В частности, сортоиспытание ячменя проводится при двух нормах посева, благодаря чему за сравнительно короткое время удаётся получить для изучаемых селекционных линий агроэкологический градиент из достаточно большого числа сред, обеспечивающих различные уровни урожайности зерна. Это в свою очередь даёт возможность статистически определить эколого-генетические параметры изучаемых генотипов, характеризующих их адаптивность, экологическую пластичность и стабильность по урожайности зерна и позволяющих дифференцировать их экологические реакции [7].

Ранее нами были проанализированы результаты изучения в конкурсном испытании учебно-

опытного поля ОГАУ эколого-генетических параметров находящегося в государственном испытании сорта Оренбургский совместный и трёх перспективных на то время селекционных линий ячменя [7]. Сорт Оренбургский совместный характеризуется средней урожайностью зерна, средней адаптивностью к условиям выращивания, имеет стрессоустойчивость к воздействию неблагоприятных факторов внешней среды более высокую, чем стандартный сорт. Однако в конкурсном сортоиспытании ячменя имеются перспективные линии с ещё более высокой стрессоустойчивостью и генетической гибкостью, чем новый сорт Оренбургский совместный.

В ходе дальнейшего стационарного испытания селекционного материала ячменя две из изученных линий были выбракованы, но одна линия продолжала оставаться в числе перспективных, в качестве перспективных выделились и другие линии.

Цель исследования, выполняемого нами в ходе селекционного процесса предварительного и конкурсному сортоиспытания ячменя на учебно-опытном поле ОГАУ, заключалась не только в оценке урожайности зерна перспективных селекционных линий, но и в оценке их генотип-средового взаимодействия, их гомеоадаптивности и стабильности по величине урожая.

Задача данного исследования – определить по полученным результатам стационарного сортоиспытания селекционно-генетические параметры урожайности перспективных селекционных линий ячменя с целью выделить лучшую из них для передачи на государственное сортоиспытание.

Материал и методы исследования. Объектом исследования служили допущенные к производственному использованию в Оренбургской области сорта ячменя Натали (стандарт в государственном испытании) и Оренбургский совместный, а также созданные в Оренбургском ГАУ перспективные селекционные линии 3/15, 4/15 и 5/15, которые испытывались в 2014–2018 гг. на учебно-опытном поле ОГАУ на двух агротехнических фонах предварительного, а затем конкурсному сортоиспытания. Эти селекционные линии в течение последних лет конкурсному сортоиспытания являлись одними из лучших по урожайности зерна.

Сорта и перспективные линии стационарного сортоиспытания были изучены в достаточно разнообразных погодных условиях – от очень благоприятных для ячменя (2017 г.) до неблагоприятных условий того или иного вида засухи (2014 и 2018 гг.). Предшественником ячменя в годы испытания были горох (2014 и 2015 гг.) и чистый пар (последующие годы). Агротехника возделывания ячменя соответствовала зональным рекомендациям.

Конкурсное сортоиспытание выполнено в соответствии с методикой государственного сортоиспытания с.-х. культур [8]. Учётная площадь делянок составляла 25 м², повторность опыта 4-кратная, размещение делянок систематическое, в четыре яруса, со смещением. Для создания разнообразия условий выращивания генотипов использовали две нормы высева семян: несколько пониженную (3,0 млн всхожих семян на 1 га, в первых двух повторениях опыта) и высокую (4,5 млн всхожих семян на 1 га, в остальных двух повторениях опыта).

Посев выполнялся селекционной сеялкой с порционным высевающим аппаратом, уборка – малогабаритным комбайном «Сампо-130».

Полученные поделаночные данные урожайности зерна ячменя обработаны методом дисперсионного анализа [9]. Эколого-генетические параметры урожайности рассчитаны в соответствии с предложенными разными исследователями методиками и методами, проанализированными и описанными нами ранее [5–7, 10]. Все статистические расчёты выполнены с помощью компьютерной программы Microsoft Excel из офисного пакета программ Microsoft Office.

Результаты исследования. Для корректного проведения расчётов эколого-генетических параметров сначала с помощью дисперсионного анализа устанавливается наличие взаимодействия генотип – среда. Выполненный анализ показал существенность влияния на изменчивость урожайности генотипов ячменя не только факторов генотип и среда, но и фактора взаимодействия. Преобладающий вклад в общую изменчивость урожайности был внесён, конечно, разнообразием погодных условий периода вегетации растений в ряду лет изучения генотипов.

Агроэкологические условия, в которых проходило испытание сортов и линий ячменя в естественно сложившемся и искусственно созданном нами агроэкологическом градиенте сред учебно-опытного поля ОГАУ, оказались контрастными: судя по величине индекса среды (I_j), они были наиболее благоприятными в 2017 г. ($I_j = 19,2$ и $21,9$, в зависимости от нормы высева) и наименее благоприятными ($I_j = -11,6$ и $-11,1$ соответственно) в 2018 г. (табл. 1).

По своей сути индексы среды представляют собой отклонение среднего урожая изученных генотипов в каждой среде от их общего среднего урожая во всем комплексе сред. Очевидно, что индексы среды показывают, насколько лучше или хуже складывались условия возделывания ячменя в конкретной среде в сравнении с усреднёнными результатами всего сортоиспытания [7]. Как свидетельствуют полученные данные, разница по урожайности ячменя в худшей и лучшей агроэкологической среде испытания составляла в среднем 33,5 ц/га, что было значительно больше средней урожайности культуры во всём комплексе агроэкологических сред (табл. 1).

Результаты расчётов параметров адаптивности и стабильности сортов и селекционных линий ячменя по урожайности зерна, выполненных на основе данных их испытания в агроэкологическом градиенте сред, сведены в таблицу 2.

Как показали полученные результаты (табл. 2), наибольшей за всё время испытания средней урожайностью во всём комплексе агроэкологических сред характеризовался стандартный сорт (20,1 ц/га), что свидетельствует о его высоком уровне адаптивности к сложившимся условиям выращивания [11]. Следующей по величине средней урожайности (а значит, и по уровню адаптивности к условиям испытания) была линия

1. Урожайность сортов и линий ячменя в агроэкологическом градиенте сред учебно-опытного поля ОГАУ и индексы сред, ц/га (2014–2018 гг.)

Сорт, линия	Год										Средняя
	2014		2015		2016		2017		2018		
	1*	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Натали ст.	8,9	9,9	28,0	25,9	12,5	14,2	43,7	43,1	8,3	7,0	20,14
OpC**	9,0	11,0	26,3	25,1	11,6	12,5	40,8	42,2	6,1	5,5	19,01
3/15	8,1	16,8	23,9	23,6	12,3	14,4	36,1	42,2	9,0	10,8	19,70
4/15	10,8	13,7	23,5	22,1	9,2	10,6	35,8	40,2	8,0	10,1	18,40
5/15	10,2	12,4	25,3	21,0	16,0	18,7	36,3	38,3	7,1	7,6	19,30
Средняя	9,4	12,8	25,4	23,6	12,3	14,1	38,5	41,2	7,7	8,2	19,31
Индекс среды	-9,9	-6,6	6,1	4,2	-7,0	-5,2	19,2	21,9	-11,6	-11,1	0,0

Примечание: * 1 – пониженная норма высева, 2 – повышенная норма высева;

** сорт Оренбургский совместный;

НСР₀₅: 2014 г.: частные различия – 5,5; нормы – 2,4; сорта – 3,9 ц/га;

2015 г.: частные различия – 3,4; нормы – 1,5; сорта – 2,4 ц/га;

2016 г.: частные различия – 2,6; нормы – 1,1; сорта – 1,8 ц/га;

2017 г.: частные различия – 7,9; нормы – 3,5; сорта – 5,6 ц/га;

2018 г.: частные различия – 1,7; нормы – 0,8; сорта – 1,2 ц/га;

НСР₀₅ во всём комплексе: для частных различий – 3,6; для сортов – 1,2; для индексов среды – 1,6 ц/га

3/15 (19,7 ц/га), которая несущественно уступала стандартному сорту.

О том же свидетельствует и предложенная Кильчевским и Хотылёвой [3] мера общей адаптивной способности генотипа (ОАС). У стандартного сорта величина ОАС была наибольшей среди изученных нами генотипов, но следующая по величине ОАС оказалась у линии 3/15 (табл. 2).

Агроэкологические условия испытания ячменя обеспечили значительный размах изменчивости его урожайности зерна (31,2–36,7 ц/га), более чем в 1,5 раза превышающий среднюю величину. В то же время размах средней урожайности в агроэкологическом градиенте сред у линии 3/15 (равный 34,1 ц/га) меньше, чем у районированных сортов (табл. 2), что говорит об относительной устойчивости (стабильности) урожайности этой линии и соответственно о её более высокой стрессоустойчивости и более широком диапазоне её приспособительных возможностей (т.е. о её более высокой гомеостатичности).

Об этом же свидетельствует и величина коэффициента вариации урожайности (CV, %), которая у линии 3/15 является одной из самых низких в изученном генотипическом разнообразии ячменя.

Очевидно, что линия 3/15 сочетает высокую урожайность с её стабильностью во всём сложившемся комплексе условий выращивания, и это обстоятельство делает данную линию перспективной для передачи на государственное испытание в качестве нового сорта ячменя.

Средняя урожайность генотипа в контрастных условиях, рассчитанная как полусумма минимальной и максимальной урожайности

($\frac{1}{2} \times (Y_{\min} + Y_{\max})$), характеризует его генетическую гибкость (компенсаторную способность): высокие значения этого показателя указывают на большую степень соответствия между генотипом сорта и факторами среды.

Как свидетельствуют приведённые в таблице 2 данные, районированные сорта ячменя имеют наибольшую величину этого показателя (18,3 ц/га), являются генетически наиболее гибкими и обладают наилучшим соотношением между потребностями генотипа и сложившейся выраженностью факторов среды произрастания. Но следующей по величине этого показателя является линия 3/15, которая характеризуется большей генетической гибкостью, чем другие изученные селекционные линии.

Результаты расчёта по данным таблицы 1 эколого-генетических параметров генотипов ячменя с помощью известного [3] метода Эберхарта и Рассела, а также уравнений линейной регрессии урожайности на индексы среды, приведены в таблице 3.

Как следует из приведённых в таблице 3 значений коэффициента экологической регрессии b_i , селекционная линия 3/15 характеризуется в изученном разнообразии генотипов ячменя средней экологической пластичностью. Она слабее отзывается на изменение условий выращивания (т.е. на изменение индексов среды), чем районированные сорта: её линия регрессии урожайности зерна на индексы среды менее крутая, чем соответствующие линии регрессии этих сортов.

Как справедливо отметили Бесалиев и Крючков [12], в условиях наблюдающейся в современной России экстенсификации растениеводства

2. Параметры адаптивности и стабильности сортов и линий ячменя в агроэкологическом градиенте сред учебно-опытного поля ОГАУ (2014–2018 гг.)

Сорт, линия	Урожайность, ц/га				ОАС, ц/га	CV, %
	средняя	min–max	размах	$\frac{1}{2}(\min + \max)$		
Натали ст.	20,14	6,97–43,66	36,70	18,34	0,83	70,5
OpC	19,01	5,51–42,18	36,67	18,34	–0,30	72,6
3/15	19,70	8,08–42,19	34,11	17,06	0,39	59,3
4/15	18,40	7,99–40,17	32,17	16,09	–0,91	63,2
5/15	19,30	7,12–38,32	31,20	15,60	–0,01	57,8

Примечание: min–max – минимальное и максимальное значение урожайности (пределы варьирования), ОАС – общая адаптивная способность, CV – коэффициент вариации

3. Параметры экологической пластичности и стабильности сортов и линий ячменя в агроэкологическом градиенте сред учебно-опытного поля ОГАУ (2014–2018 гг.)

Сорт и линия	Параметры		Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации R^2
	b_i	S^2_d		
Натали ст.	1,14	2,27	$Y = 1,14 \times I + 20,14$	0,99
OpC	1,11	0,90	$Y = 1,11 \times I + 19,01$	0,99
3/15	0,93	3,51	$Y = 0,93 \times I + 19,70$	0,98
4/15	0,93	3,47	$Y = 0,93 \times I + 18,40$	0,98
5/15	0,88	4,80	$Y = 0,88 \times I + 19,30$	0,96

Примечание: b_i – коэффициент экологической пластичности, S^2_d – коэффициент экологической стабильности

должны быть пересмотрены оценки создаваемых сортов по их отзывчивости на условия выращивания (т.е. на индексы среды). В частности, повышенный коэффициент регрессии на индексы среды следует рассматривать не только как отзывчивость на улучшение условий выращивания, но и как неприспособленность к их ухудшению, а уменьшение этого коэффициента свидетельствует о сортовой устойчивости к неблагоприятным внешним воздействиям.

В этой связи линия 3/15 представляется более приспособленной к неблагоприятным условиям выращивания. И действительно, в самых непродуктивных агроэкологических средах нашего сортоиспытания (т.е. при минимальных индексах среды) она обычно оказывалась наиболее урожайной. Это в современных условиях является хозяйственно ценным свойством и делает данную линию перспективной для передачи на государственное испытание в качестве нового сорта ячменя.

В то же время селекционная линия 3/15 обладает, как видно из данных таблицы 3, одним из самых высоких значений параметра стабильности генотипов s^2_{db} , который по своей сути является дисперсией фактических значений урожайности каждого генотипа вокруг теоретической линии линейной регрессии его урожайности на индексы среды. Этот факт свидетельствует об определённом несоответствии реакции линии 3/15 на изменение индексов среды модели линейной регрессии, принятой в методе Эберхарта и Рассела: реакция линии 3/15 не вполне адекватна изменению этих индексов, т.е. отличается от реакции большинства изученных генотипов.

Таким образом, по комплексу эколого-генетических параметров линия 3/15 представляется перспективной для передачи на государственное сортоиспытание: она обладает достаточно высокой адаптивностью к разнообразным условиям произрастания, высокой стрессоустойчивостью и компенсаторной способностью, средней экологической пластичностью, что свидетельствует о её лучшей приспособленности к неблагоприятным условиям выращивания, чем другие изученные линии.

Конкурсное испытание также показало, что при близкой стандартному сорту среднесезонной урожайности линия 3/15 имеет менее продолжительный период вегетации (выколашивается на 3–4 дня и созревает на 2–3 дня ранее стандарта), повышенную в сравнении со стандартом урожайность зерна в засушливые годы (на 5–20 %).

Под названием Ремонтник эта селекционная линия передана на государственное сортоиспытание по 9 (Уральскому) региону сортового

районирования РФ, начиная с 2019 г. В конкурсное же сортоиспытание учебно-опытного поля ОГАУ поступили в ходе продолжающегося селекционного процесса новые перспективные селекционные линии ячменя, работа с которыми будет продолжена с использованием рассмотренных в статье элементов селекции на гомеоадаптивность.

Выводы. Результаты выполненного исследования показали, что использование в селекции ярового ячменя на этапе конкурсного сортоиспытания градиента естественно сложившихся и искусственно созданных агроэкологических сред позволяет рассчитать эколого-генетические параметры изучаемого селекционного материала, характеризующие его адаптивность, экологическую пластичность и стабильность по урожайности зерна. Расчёт этих параметров поможет дифференцировать изучаемые перспективные линии по их экологическим реакциям.

Результаты исследования позволяют сделать вывод, что оценка в ходе конкурсного сортоиспытания перспективных селекционных линий ячменя по их эколого-генетическим параметрам даёт возможность объективно оценить особенности сочетания величины и стабильности урожайности зерна этих линий с их адаптивностью и экологической пластичностью и принять обоснованное решение для передачи лучшей линии на государственное сортоиспытание.

Литература

1. Сортовые ресурсы Оренбуржья / РАСХН, под общ. ред. А.Г. Крючкова. Оренбург, 2011.
2. Крючков А.Г., Сандакова Г.Н. Проблемы объективности оценки возможностей сорта для использования его в сельскохозяйственном производстве [Электронный ресурс] // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал). 2014. № 2. URL: <http://www.elmag.uran.ru>.
3. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Экологическая селекция растений. Минск: Издательство «Тэхналогія», 1997. 372 с.
4. Долженко Д.О. Совершенствование селекционного процесса ярового ячменя на продуктивность в Среднем Поволжье: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пенза, 2004. 24 с.
5. Мордвинцев М.П. Селекция сои для условий Поволжья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Пенза, 2008. 46 с.
6. Ярцев Г.Ф., Мордвинцев М.П., Солдаткина Е.А. Новый перспективный сорт ячменя для выращивания в Оренбуржье // Доклады ТСХА: матер. междунар. науч. конф. 2018. С. 111–113.
7. Мордвинцев М.П., Солдаткина Е.А. Адаптивность, экологическая пластичность и стабильность нового сорта ячменя Оренбургский совместный по урожаю зерна // Вестник мясного скотоводства. 2016. № 3 (95). С. 128–137.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / М.А. Федин, Ю.А. Роговский [и др.]. М.: Колос, 1985. 280 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
10. Мордвинцев М.П. Ускоренная оценка эколого-генетических свойств селекционного материала сои // Вестник мясного скотоводства. 2003. Вып. 56. С. 410–417.
11. Гончаренко А.А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 6. С. 49–53.
12. Бесалиев И.Н., Крючков А.Г. К оценке экологической пластичности сортов яровой твёрдой пшеницы в связи с приёмами основной обработки почвы [Электронный ресурс] // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН (электронный журнал). 2014. № 4. URL: <http://www.elmag.uran.ru>.