



УДК 633.111.1

В.Г. ПОТАНИН, главный специалист,
А.Ф. АЛЕЙНИКОВ, доктор технических наук, заместитель директора,
П.И. СТЕПОЧКИН*, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом

*Сибирский физико-технический институт аграрных проблем,
*Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции
e-mail: wgp@ngs.ru*

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ СОРТОВ ПШЕНИЦЫ

Проведен анализ наиболее распространенных методов оценки экологической пластичности сортов и линий пшеницы, предложенных Р.А. Удачным, С. Эберхартом и В. Расселом, Г. Тайем, С.П. Мартыновым. Определено, что для использования методик Г. Тая, С. Эберхарта и В. Рассела требуется большой набор сортов и продолжительный цикл оценки экологической пластичности. Данные методы не могут установить тенденцию формирования пластичности на стадии селекции сорта. Выявлено, что методика оценки, предложенная С.П. Мартыновым, позволяет оценивать тенденцию формирования пластичности у разрабатываемого сорта, но лишь по показателю «стабильность сорта». Установлено, что наиболее рациональной в практике является методика оценки Р.А. Удачина. Она позволяет проводить оценку экологической пластичности образцов на разных этапах селекционного процесса при испытании их, как минимум, на двух агрофонах методом случайных повторений и использует для этого показатели интенсивности и устойчивости индекса стабильности. Предложен новый вариант аналитического выражения показателя стабильности для его практического применения. Показана целесообразность перехода к использованию предложенного показателя стабильности сорта и приведены его некоторые типичные значения для условий Западной Сибири. Обоснован подход, позволяющий расширить информационные возможности оценки интенсивности реакции сорта на улучшение условий среды.

Ключевые слова: экологическая пластичность, зерновые культуры, системный анализ, селекция.

Современные сорта должны быть не только высокоурожайными, но и устойчивыми к неблагоприятным факторам среды, т.е. высокоадаптированными, высокогомеостатичными [1]. Высокая адаптивность сорта может обеспечить стабильность урожая в различных экологических условиях [2, 3]. Для оценки сорта с учетом его соответствия условиям выращивания и непосредственной реакции на эти условия предложено использовать такие характеристики, как пластичность и стабильность сорта.

Для практического использования данных оценок проанализированы наиболее распространенные методы, предложенные Р.А. Удачным [4], С. Эберхартом и В. Расселом [5], Г. Тайем [6], С.П. Мартыновым [7] и др. Сравнительные характеристики данных методов приведены в табл. 1.

Цель исследования – на основе анализа методов расчета предложить наиболее рациональный метод, пригодный для эффективной оценки экологической пластичности большинства сортов злаковых культур.

Таблица 1

Сравнение методов расчета экологической пластичности сортов и линий зерновых культур

Метод	Основные параметры	Достоинства	Недостатки
С. Эберхарта и В. Рассела	Коэффициент линейной регрессии b отражает отклик генотипа на изменение условий выращивания; дисперсия отклонения от линии регрессии S^2_{di} характеризует стабильность сорта в различных условиях среды	Широкая распространенность метода и использование интегральной оценки среды, осуществляемой по урожайности; универсальность используемого подхода	Необходимость большого набора сортов и длительности обследования; трудности сопоставления с подобными результатами; невозможность оценить тенденцию формирования пластичности на стадии селекции сорта
Г Тая	Эффект взаимодействия «генотип – среда» рассматривается как два компонента: линейный отклик на средовые эффекты, измеряющийся статистической α , и отклонение от линейного отклика λ ; показатели α и λ имеют определенную связь с параметрами b и S^2 , рассчитываемыми по методу Эберхарта и Рассела	Взаимосвязь с параметрами метода Эберхарта и Рассела определяет аналогичность достоинств метода по Таю; возможность распределения исходных сортов на три группы расширяет перечень достоинств	Аналогичность недостатков, свойственных методу Эберхарта и Рассела
С.П. Мартынова	Имеет сходство с методом Эберхарта и Рассела, но в отличие от него индекс среды рассчитывается на основе урожайности различных участков и группируется по трем группам	Использование активного эксперимента; возможность оценивать тенденцию формирования пластичности у разрабатываемого сорта	Оценивается только стабильность сорта; использование для расчетных оценок индекса среды ведет к аналогичным недостаткам, как и в двух предыдущих методах
Р.А. Удачина	Реакция сортов и линий на благоприятный фон оценивается через показатель ее интенсивности; для вычисления показателя стабильности используется индекс стабильности (ИС), введенный Р.А. Хангильдиным; определяется изменчивость индекса стабильности на контрастных фонах	Позволяет проводить оценку экологической пластичности образцов на разных этапах селекционного процесса; используется активный эксперимент; сопоставимость с результатами других исследований; небольшие экономические затраты	Большая степень свободы в выборе оптимального и лимитированного фонов; слабым местом является переход от индекса стабильности, к предположенному Хангильдиным, к показателю устойчивости индекса стабильности

Методика, разработанная Р.А. Удачным [4], позволяет проводить оценку экологической пластичности образцов на разных этапах селекционного процесса при испытании их, как минимум, на двух агрофонах методом случайных повторений и использует для этого показатели интенсивности и устойчивости индекса стабильности. Согласно данной методике, реакция сортов и линий на благоприятный фон оценивается через показатель интенсивности:

$$И = (\bar{X}_{\text{опт}} - \bar{X}_{\text{лим}}) / X_{\text{ср}} \times 100(\%), \quad (1)$$

где $X_{\text{ср}}$ – среднее значение урожайности у набора сортов на всех фонах испытания, или обобщенный индекс среды; $\bar{X}_{\text{опт}}$, $\bar{X}_{\text{лим}}$ – средние значения урожайности изучаемого сорта на оптимальном и лимитированном фонах.

Для каждого сорта рассчитывается показатель устойчивости индекса стабильности:

$$У = \left(1 - \frac{ИС_{\text{опт}} - ИС_{\text{лим}}}{ИС_{\text{ср}}} \right) \times 100 (\%), \quad (2)$$

где $У$ – показатель устойчивости индекса стабильности; $ИС_{\text{ср}}$ – среднее значение индекса стабильности у набора сортов на всех фонах испытания; $ИС_{\text{опт}}$, $ИС_{\text{лим}}$ – индексы стабильности сортов на оптимальном и лимитированном фонах.

Входящий в состав формулы (2) индекс стабильности «ИС» ($ИС_{\text{опт}}$, $ИС_{\text{лим}}$) введен Р.А. Хангильдиным и характеризуется следующим выражением:

$$ИС = \bar{X}^2 / S, \quad (3)$$

где $\bar{X}$ – средняя величина урожайности сорта в определенных условиях, S – среднее квадратическое отклонение урожайности сорта в опыте.

Индекс стабильности объединяет информацию о генетических свойствах сорта и погрешность опыта.

В табл. 2 приведены значения этих двух показателей стабильности.

Значительное расхождение показателей стабильности позволяет сделать вывод, что какой-либо из показателей не соответствует действительности.

Обозначим важнейший информационный элемент показателя устойчивости ($ИС_{\text{опт}} - ИС_{\text{лим}}$) через $\Delta ИС$. Далее рассмотрим $ИС_{\text{ср}}$ с использованием $\Delta ИС$ и соответствующего равенства $ИС_{\text{опт}} = ИС_{\text{лим}} + \Delta ИС$:

$$ИС_{\text{ср}} = \frac{ИС_{\text{лим}} + ИС_{\text{опт}}}{2} = \frac{ИС_{\text{лим}} + ИС_{\text{лим}} + \Delta ИС}{2}, \quad (4)$$

или

$$ИС_{\text{ср}} = ИС_{\text{лим}} + \frac{\Delta ИС}{2}.$$

Кроме того, второе слагаемое является важным информационным элементом показателя устойчивости ($\Delta ИС$ с коэффициентом 0,5), т.е. средний индекс стабильности уже содержит информацию показателя устойчивости.

Таблица 2

Ранжированные значения показателей стабильности		
Сорт	Ранг по «ИС _{ср} » (по Хангильдину)	Ранг по «У» (по Удачину)
Эритроспермум	5	3
Саратовская 29	2	1
Кутулукская	1	5
Nadadores	3	4
Лютесценс 62	4	2

Исходя из изложенного выше, решено усовершенствовать методику в отношении показателя стабильности. Для этого предлагается за основу взять непосредственно индекс стабильности (ИС). Для исключения недостатка, отмеченного Р.А. Удачным, в виде стремления ИС к бесконечности или очень большим значениям [4], рассчитывается его относительное значение. В качестве максимального значения ИС предлагается использовать такое его значение, при котором коэффициент вариации (в относительном представлении) составляет, например, 2 %. Входящая в состав формулы урожайность ($\bar{X}$) приравнивается к потенциальной урожайности для территории России.

Среднеквадратическое отклонение урожайности при ситуации, когда коэффициент вариации равен 2 %, составляет

$$S = 0,02\bar{X}. \quad (5)$$

Потенциальная урожайность для территории РФ по разным литературным источникам представлена от 90 до 110 ц/га. Исходя из этого предлагается выбрать ее значение (для расчетов по стабильности сорта) в районе середины данного интервала – 100 ц/га.

Тогда ИС_{max} будет равняться

$$ИС_{\max} = \frac{X_p^2}{S} + \frac{X_p^2}{0,02X_p} + \frac{X_p}{0,02} = 5000(\text{ц / га}), \quad (6)$$

где X_p – потенциальная урожайность для России.

При этом относительный индекс стабильности (в процентах) составит

$$ИС_{\text{отн}} = \frac{100X^2}{5000S}. \quad (7)$$

Рассмотрим для примера некоторые расчетные значения ИС_{отн}. При распространенной урожайности 30 ц/га и среднеквадратического отклонения урожайности 1,8 ц/га ИС_{отн} равен 10 %. Для урожайности 40 ц/га и такого же среднеквадратического отклонения ИС_{отн} составит 17,8 % (более высокий уровень материальных затрат).

Для оценки стабильности сорта предлагается применять средний относительный индекс стабильности (ИС_{отн.ср}):

$$ИС_{\text{отн.ср}} = \frac{ИС_{\text{отн.опт}} - ИС_{\text{отн.лим}}}{2}. \quad (8)$$

Устойчивость (У) также может дополнительно использоваться как показатель, характеризующий определенные свойства стабильности сорта. При выделении оптимального и лимитированного вариантов следует использовать три фактора: первый – участок с различными типами почв (например, черноземно-луговые и серые оподзоленные), второй – степень увлажнения (за счет полива или защиты от атмосферных осадков), третий – уровень интенсификации (экстенсивный и полуинтенсивный). Желательно, чтобы разность между нижним и верхним значением второго фактора, который для упрощения изложения будем называть «полив», была равна 30 % от нижнего уровня. Выполняется экспериментальное исследование при использовании в данном случае в качестве матрицы плана эксперимента дробной реплики типа 2^{3-1} . Дробная реплика в данном случае рациональна, так как последующие расчеты и выводы (в том числе и НСР) ориентированы на линейную модель и линейные эффекты. По выбранным вариантам опыта (нижние значения факторов «полив» и уровень интенсификации – лимитированный фон, а при верхних значениях этих факторов – оптимальный) рассчитывается показатель интенсивности (И).

Полученные результаты в экспериментальном исследовании позволяют построить модель типа

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \varepsilon,$$

где x_i – факторы, отмеченные ранее, b_i – соответствующие коэффициенты регрессии, ε – ошибка опыта. Если коэффициенты регрессии значимы, то можно вычислить отношение коэффициента регрессии при факторе полива к сумме всех коэффициентов регрессии. Данное соотношение следует считать оценкой климатической доли показателя интенсивности, позволяющей определить оценку климатической составляющей показателя интенсивности I_{κ} . Остальная часть показателя интенсивности (И) характеризует его изменение за счет варьирования условий питания и является составляющей условий питания $I_{y.п}$. Приведенные выше расчеты можно выполнять и в случае незначимости коэффициента регрессии при факторе «участок».

Работа по совершенствованию методики оценки экологической пластичности выполнена в рамках проводимого в Сибирском физико-техническом институте аграрных проблем (СибФТИ) исследования, направленного на разработку вариантов системы информационно-аналитического обеспечения селекционного процесса культуры тритикале [8–15]. В рамках данного исследования осуществлялось изучение сортов и линий яровых тритикале по множеству хозяйственных признаков в условиях биополгона СибФТИ и земельных участков Сибирского научно-исследовательского института растениеводства и селекции. По результатам проведенных полевых опытов получены фенологическая информация, выявлены отличительные особенности сортов и гибридов, произведен их отбор, направленный на обеспечение высокой урожайности, устойчивости к полеганию, ликвидацию или существенное снижение поражения болезнями и вредителями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ наиболее распространенных методов оценки экологической пластичности зерновых культур позволяет выбрать наиболее подходящий вариант для конкретных условий. Предложен вариант аналитического выражения показателя стабильности сорта для его практического применения. Показана целесообразность перехода к использованию предложенного показателя стабильности сорта и приведены его некоторые типичные значения для сибирских условий. Предложен подход, позволяющий расширить информационные возможности оценки интенсивности реакции сорта на улучшение условий среды. Представление показателя интенсивности (И) в виде двух составляющих (I_k и $I_{y,n}$) позволяют выполнять комплексную оценку селекционного материала и более полно представить его реакцию на условия выращивания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков В.К. Эволюционно-генетическая теория биологических систем гомеостаз, значение для развития теории селекции // Вестн. с.-х. науки. – 1981. – № 3. – С. 56–67.
2. Хангильдин В.В. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы // Генетический анализ количественных признаков растений. – Уфа: БФ АН СССР, 1979. – С. 5–39.
3. Зыкин В.А. и др. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений. – Уфа, 2011. – 97 с.
4. Удачин Р.А. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы // Селекция и семеноводство. – 1990. – № 5. – С. 2–6.
5. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Sci. – 1966. – Vol. 6, N 1. – P. 36–40.
6. Tai G.C.C. Genotypic stability analysis and application to Potato Regional Trials // Crop Sci. – 1971. – Vol. 11, N 2. – P. 184–190.
7. Мартынов С.П. Оценка экологической пластичности сортов сельскохозяйственных культур // С.-х. биология. – 1989. – № 3. – С. 124–128.
8. Grebennikova I. G., Aleynikov A. F., Stepochkin P. I. Diallel Analysis of the Number of Spikelets per Spike in Spring Triticale // Bulgarian J. of Agricultural Science. – 2011. – Vol. 17, N 6. – P. 755–759.
9. Гребенникова И.Г., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И. Диаллельный анализ длины колоса у яровой тритикале // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2010. – № 11. – С. 103–109.
10. Гребенникова И.Г., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И. Диаллельный анализ числа колосков в колосе яровой тритикале // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2011. – № 7–8. – С. 77–85.
11. Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И., Гребенникова И.Г. Диаллельный анализ селекции сельскохозяйственных культур: Свидетельство № 2011613440 о регистрации программы для ЭВМ. – М.: ФИПС, 2011. – 1 с.
12. Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И., Гребенникова И.Г., Чешкова А.Ф. Компьютерная программа «Анализ экологической пластичности сельскохозяйственных культур»: Свидетельство № 2013611494 об официальной регистрации программы для ЭВМ. – М.: ФИПС, 2013. – 1 с.
13. Чешкова А.Ф., Гребенникова И.Г., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И. Компьютерная программа «Анализ экологической пластичности сельскохозяйственных культур» // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 8. – С. 74–76.
14. Чешкова А.Ф., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И., Гребенникова И.Г. Компьютерная программа «Интегральная селекционная оценка сельскохозяйственных культур» // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 12. – С. 69–71.
15. Гребенникова И.Г., Алейников А.Ф., Стёпочкин П.И. Анализ экологической пластичности тритикале // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2013. – № 3. – С. 101–106.

Поступила в редакцию 15.09.2014

**V.G. POTANIN, Chief Specialist,
A.F. ALEYNIKOV, Doctor of Science in Engineering, Deputy Director,
P.I. STEPOCHKIN*, Doctor of Science in Agriculture, Department Head**

*Siberian Physical-Technical Institute of Agrarian Problems,
* Siberian Research Institute of Plant Production and Breeding
e-mail: wgp@ngs.ru*

ASSESSMENT OF ECOLOGICAL PLASTICITY IN WHEAT VARIETIES

There was conducted an analysis of the most common methods for assessing ecological plasticity in wheat varieties and lines proposed by R.A. Udachin, S. Eberhart and B. Russell, G.Tai, S.P. Martynov. It has been found that the use of methods proposed by Eberhart and Russell as well as by Tai requires a great set of varieties and long cycle of assessing ecological plasticity. These methods can not establish a tendency towards forming plasticity in the step breeding. The Martynov's assessment method allows evaluating a tendency towards plasticity formation in a variety developed but only as to such an index as "variety stability". It has been established that the Udachin's methods are most efficient in practice. This technique allows evaluating ecological plasticity in samples at different stages of the breeding process by testing them against two agricultural backgrounds, as a minimum, with the use of the random repetition method, and uses indices of intensity and stability. A new variant of analytical expression for stability index has been suggested. The use of the index suggested was shown to be efficient for assessing a variety; certain values of the index typical for West Siberian conditions are given. An approach allowing us to expand information facilities for assessing variety responses to improvement of the environment has been ground.

Keywords: ecological plasticity, grain crops, systems analysis, breeding.
