

УДК 633.111.1

## НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ СОРТОВ РАСТЕНИЙ

© 2014 г. В.Г. Потанин<sup>1</sup>, А.Ф. Алейников<sup>1</sup>, П.И. Стёпочкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственное научное учреждение  
Сибирский физико-технический институт аграрных проблем;  
Новосибирская область, Новосибирский район, пос. Краснообск, Россия,  
e-mail: wgp@ngs.ru;

<sup>2</sup> Государственное научное учреждение  
Сибирский институт растениеводства и селекции,  
пос. Краснообск, Новосибирская область, Россия

Поступила в редакцию 19 мая 2014 г. Принята к публикации 28 августа 2014 г.

В статье рассматриваются вопросы совершенствования оценки экологической пластичности сортов и линий. Показана рациональность перехода к использованию предложенного показателя стабильности сорта. Приведен окончательный вариант аналитического выражения показателя стабильности для его практического применения, а также его некоторые типичные значения для сибирских условий.

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

Увеличение потенциала урожайности всегда было и остается фундаментально важным в селекционных программах. Но современные сорта должны быть не только высокоурожайными, дающими продукцию высокого качества, но и устойчивыми к неблагоприятным факторам среды, т. е. высокоадаптированными, высокогомеостатичными (Щербаков, 1981). Только высокая адаптивность сорта (обусловленная гомеостатичностью его генотипа) может обеспечить стабильность урожая в различных экологических условиях (Хангильдин, 1979). Селекция на повышенный гомеостаз имеет особое значение для регионов с недостаточным увлажнением, каковыми являются южная лесостепь и степь Западной Сибири. Направленность селекции на устойчивость к неблагоприятным факторам среды, особенно к засухе, предполагает комплексную оценку селекционного материала с ранних этапов селекции (Зыкин и др., 2011).

Для оценки сорта с точки зрения его соответствия условиям выращивания и непосредственной реакции на эти условия было предложено использовать такие характеристики, как

пластичность и стабильности сорта (как меру онтогенетической адаптивности и гомеостатичности растений).

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для практического использования таких оценок были предложены различные количественные методы расчета экологической пластичности сортов культивируемых растений, среди которых следует отметить методы, предложенные Р.А. Удачным (Удачин, Головоченко, 1990), С. Эберхартом и В. Расселом (Eberhart, Russel, 1966), Г. Тайем (Tai, 1971), С.П. Мартыновым (1989) и др. Сравнительные характеристики данных методов приведены в табл. 1.

Методика, разработанная Р.А. Удачным (Удачин, Головоченко, 1990), позволяет проводить оценку экологической пластичности образцов на разных этапах селекционного процесса при испытании их минимум на двух агрофонах методом случайных повторений. Для этого используются показатели интенсивности и устойчивости индекса стабильности. Предлагаемая

Таблица 1

## Сравнение методов расчета экологической пластичности

Метод	Основные параметры	Достоинства	Недостатки
1. С. Эберхарта и В. Рассела	Коэффициент линейной регрессии $b_i$ отражает отклик генотипа на изменение условий выращивания. Дисперсия отклонения от линии регрессии $S^2d_i$ 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 результатов расчета с подобными результатами других исследователей. Невозможность оценить тенденцию формирования пластичности на стадии селекции сорта
2. Г. Тая	Эффект взаимодействия «генотип–среда» рассматривается как два компонента: линейный отклик на средовые эффекты, $\acute{a}$ и отклонение от линейного отклика, $\lambda$ . Показатели $\acute{a}$ и $\lambda$ имеют определенную связь с параметрами $b_i$ и $S^2d_i$ , рассчитываемыми по методу Эберхарта и Рассела	Взаимосвязь с параметрами метода Эберхарта и Рассела определяет аналогичность достоинств метода по Таю. Но возможность распределения исходных сортов на три группы расширяет перечень достоинств	Аналогичность недостатков, свойственных методу Эберхарта и Рассела
3. 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 с учетом границ доверительного интервала по трем группам. Для каждой группы определяется весовой коэффициент $W_j$ , который используется для оценки меры стабильности сорта $H_i$	Использование активного эксперимента. Возможность, хоть и с определенными ограничениями, оценивать тенденцию формирования пластичности у разрабатываемого сорта. Наличие большего количества градаций в выходном показателе – мера стабильности (3 градации)	Оценивается только стабильность сорта. Требование большого количества сортов и участков для экспериментального исследования. Использование для расчетных оценок индекса среды ведет к аналогичным недостаткам, как и в двух предыдущих методах
4. Р.А. Удачина	Реакция сортов и линий на благоприятный фон оценивается через показатель ее интенсивности. Для вычисления показателя стабильности как одной из сторон приспособительной реакции сорта используется изменчивость индекса стабильности (ИС), который введен Р.А. Хангильдиным	Позволяет проводить оценку экологической пластичности образцов на разных этапах селекционного процесса. Используется активный эксперимент. Состояние среды оценивается по известным физическим параметрам. Получаемые результаты можно сопоставлять с результатами других исследований. Относительно небольшие экономические и трудовые затраты	Большая степень свободы в выборе оптимального и лимитированного фонов. Наиболее слабым местом является переход от индекса стабильности, предложенного Хангильдиным, к показателю устойчивости индекса стабильности

работа имеет теоретическую направленность и посвящена совершенствованию методики, предложенной Р.А. Удачинным.

Согласно методике Р.А. Удачина, 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.

Свойство стабильности как одной из сторон приспособительной реакции сорта предлагается оценивать изменчивостью индекса стабильности на контрастных фонах. Чем меньше он варьирует, тем более стабилен сорт по урожайности. Поэтому 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 (в последующих выражениях под данными символами обозначаются те же переменные, что и в формуле (3)).

Этот индекс Р.А. Удачин считает важной характеристикой сорта, а Э.Д. Неттевич подчеркивает, что сорта с большим индексом могут быть представлены как более стабильные, т. е. более приспособленные к данным условиям.

В качестве обоснования необходимости введения нового показателя для оценки стабильности сорта Р.А. Удачин отмечает следующее. Индекс стабильности объединяет информацию о генетических свойствах сорта и погрешность опыта. При уменьшении погрешности опыта

индекс стремится к большой величине (теоретически к  $\infty$ ). Это, с одной стороны, создает неудобство его использования, а с другой – отражает значительную вариабельность индекса без определенной связи с урожайностью.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим более подробно рациональность перехода от индекса стабильности, предложенного Хангильдиным (формула 3), к показателю устойчивости индекса стабильности (выражение 2). Приведем для сравнения ранжированные значения обоих индексов стабильности (табл. 2), используя для этого данные из статьи Р.А. Удачина «Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы» (Удачин, Головаченко, 1990).

Столь значительное расхождение показателей стабильности приводит к выводу, что какой-то из показателей не соответствует действительности. Если признать, что таковым является показатель, введенный Хангильдиным («ИС»), то и показатель, введенный Удачинным («У»), также плохо отражает действительность, так как в основе его построения лежит показатель Хангильдина.

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  $ИС_{\text{опт}} = ИС_{\text{лим}} + \Delta ИС$ .

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

или  $ИС_{\text{ср}} = ИС_{\text{лим}} + \frac{\Delta ИС}{2}$ . (4)

Таблица 2

Ранжированные значения показателей стабильности

Сорт	Ранг по «ИС <sub>ср</sub> » (по Хангильдину)	Ранг по «У» (по Удачину)
Эритроспермум	5	3
Саратовская 29	2	1
Кутулукская	1	5
Nadadores	3	4
Лютесценс 62	4	2

Средний индекс стабильности представлен двумя слагаемыми (выражение (4)), из которых первое слагаемое можно рассматривать как базовую, а второе слагаемое – как динамическую составляющие. Кроме того, второе слагаемое является важным информационным элементом показателя устойчивости («ДИС» с коэффициентом 0,5). То есть средний индекс стабильности уже содержит информацию показателя устойчивости. Причем в подавляющем большинстве случаев второе слагаемое по своей величине значительно уступает первому. Таким образом, средний индекс стабильности является более информативным, а значит и более предпочтительным для оценки стабильности сорта.

Исходя из изложенного, 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 величинам рассчитывается его относительная величина. В качестве максимального значения «ИС» предлагается использовать такое его значение, при котором коэффициент вариации (в относительном представлении) составляет, например, 2 %. А входящая в состав формулы урожайность ( $\bar{X}$ ) приравнивается к потенциальной урожайности для территории России.

Величина среднеквадратического отклонения 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, составляет от 90 до 110 ц/га. Исходя из этого, предлагается выбрать ее среднее значение (для расчетов по стабильности сорта) – 100 ц/га.

Тогда  $ИС_{max}$  будет равняться:

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

где  $\bar{X}_p$  – потенциальная урожайность для России.

При этом относительный индекс стабильности (в процентах):

$$ИС_{отн} = \frac{\bar{X}^2 \times 100}{S \times 500}. \quad (7)$$

Рассмотрим для примера некоторые расчетные значения. При распространенных величинах урожайности в 30 ц/га и среднеквадратического отклонения урожайности в размере 1,8 ц/га индекс стабильности  $ИС_{отн}$  составит 10 %. А для урожайности в 40 ц/га и такой же величины среднеквадратического отклонения этот индекс  $ИС_{отн}$  вырастет до 17,8 %. Относительный индекс стабильности имеет явно выраженную нелинейность возрастающего характера (так же, как и его безотносительный показатель ИС). Подобное свойство достаточно логично, так как достижение более высоких уровней стабильности связано с возрастающими по уровню затратами, т. е. увеличение данного индекса достигается все с большим трудом.

Для оценки стабильности сорта предлагается применять средний относительный индекс стабильности ( $ИС_{отн\_cp}$ ):

$$ИС_{отн\_cp} = \frac{ИС_{отн\_опт} - ИС_{отн\_лим}}{2}. \quad (8)$$

При этом устойчивость («У») также может дополнительно использоваться как показатель, характеризующий определенные свойства стабильности сорта. Например, зависимость стабильности урожайности сорта от неоднородности почв. То есть при высоком значении показателя  $ИС_{отн\_cp}$  и при невысокой величине показателя «У» следует придерживаться некоторого ограничения при использовании данного сорта в регионах со значительным различием в плодородии почв. В зависимости от конкретного соотношения этих показателей (при большом их различии) рационально применять сорт на части региона с меньшим варьированием почвенного состава.

Работа по совершенствованию методики оценки экологической пластичности выполнялась в рамках проводимого в СибФТИ исследования, направленного на разработку вариантов системы информационно-аналитического обеспечения селекционного процесса культуры тритикале (Grebennikova *et al.*, 2011). Для повышения эффективности селекционного процесса при создании сортов, обладающих требуемым сочетанием хозяйственно важных признаков и высокой экологической адаптивностью, необходим поиск более совершенных, а иногда и нетрадиционных подходов к обработке ин-

формации селекционного процесса. В рамках выполняемого исследования (при создании гибридов тритикале по полной диаллельной схеме) осуществлялись совершенствование и отработка выше отмеченных методических приемов по экологической пластичности (Алейников и др., 2011, 2013). В дальнейшем планируется расширить информационные возможности показателя интенсивности, введенного Р.А. Удачинным.

### ЛИТЕРАТУРА

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.  
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.  
Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Кираев Р.С., Чаны-

шев И.О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений. Уфа, 2011. 97 с.  
Мартынов С.П. Оценка экологической пластичности сортов сельскохозяйственных культур // С.-х. биология. 1989. № 3. С. 124–128.  
Удачин Р.А., Головоченко А.П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы // Селекция и семеноводство. 1990. № 5. С. 2–6.  
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.  
Щербаков В.К. Эволюционно-генетическая теория биологических систем: гомеостаз, значение для развития теории селекции // Вестн. с.-х. науки. 1981. № 3. С. 56–67.  
Eberhart S.A., Russel W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Sci. 1966. V. 6. No. 1. P. 36–40.  
Tai G.C.C. Genotypic stability analysis and application to Potato Regional Trials // Crop Sci. 1971. V. 11. No. 2. P. 184–190.  
Grebennikova I.G., Aleynikov A.F., Stepochkin P.I. Diallel analysis of the number of spikelets per spike in spring Triticale // Bulgarian J. Agric. Sci. 2011. V. 17. No. 6. P. 755–759.

## A NEW APPROACH TO ESTIMATION OF THE ECOLOGICAL PLASTICITY OF PLANT VARIETIES

W.G. Potanin<sup>1</sup>, A.F. Aleinikov<sup>1</sup>, P.I. Stepochkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Siberian Physical-Technical Institute of Agrarian Problems, Krasnoobsk, Novosibirsk oblast, Russia;

<sup>2</sup> Siberian Research Institute of Plant Industry and Breeding, Krasnoobsk, Novosibirsk oblast, Russia

### Summary

Problems of the improvement of estimation of the environmental plasticity of varieties and lines are considered. It is recommended to apply the proposed variety stability index. A final version of the analytical expression of the index for practical application is presented, as well as its typical values for Siberia.

**Key words:** grain crops, system analysis, breeding, plasticity, factors, environment.