

СЕЛЕКЦИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР

Известия ТСХА. выпуск 2. 2005 год

УДК 633.11 «321»:631:165.2

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ УРОЖАЙНОСТИ И ФОРМИРУЮЩИХ ЕЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОРТОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РЕГИОНА

Ю. Б. КОНОВАЛОВ, А. А. СУЛЕЙМАН, Н.Н. СКОРНЯКОВ

(Кафедра селекции и семеноводства полевых культур)

В статье сравниваются различные показатели стабильности урожайности сортов яровой пшеницы. Обоснованы продолжительность испытания и различия в урожайности, полученной в разные годы, обеспечивающие достаточно надежную оценку ее стабильности. Изучено соотношение стабильности урожайности и ее элементов, а также некоторых показателей, связанных с формированием продуктивности колоса.

Наряду с высокой урожайностью от сорта с.-х. культуры требуется, чтобы колебания уровня урожайности были как можно меньше. Это свойство называют стабильностью. Колебания урожайности полевых культур в Центральном регионе России связаны с погодными условиями, у яровых культур — с погодой вегетационного периода. Уровень агротехники также сильно влияет на урожайность, но он в отличие от погоды, поддается агрономическому контролю. Оценка стабильности урожайности заключается в сопоставлении данных, полученных в разные годы. Предложен ряд показателей для характеристики стабильности. Среди них достаточно простые: разность между максимальным и минимальным значениями, та же разность, но отнесенная к среднему значению, отношение максимального значения к минимальному [7] и более сложные, требующие расчета статистических показателей (вариационных коэффициентов, диспер-

сии [11], коэффициента регрессии урожайности изучаемого сорта на характеристики лет испытания, связанные с урожайностью других сортов, участвующих в испытании и т. д.) [10]. Это требует многолетних испытаний, что большей частью для селекции неприемлемо. Экологические испытания не могут считаться альтернативой многолетнему испытанию, если речь идет о стабильности сорта в условиях региона, где и для которого ведется селекция.

Цель работы состояла в сравнении различных показателей стабильности урожайности сортов яровой пшеницы в условиях Центрального региона, определении длительности испытания и различия в уровне урожайности, полученного в годы испытания, обеспечивающих достаточно надежную оценку стабильности.

Кроме того, изучали стабильность элементов структуры урожайности и показателей, связанных с формированием продуктивности коло-

са, с целью выявить, из чего складывается стабильность урожайности и как эти данные можно использовать для целей селекции.

Материал, методика и условия проведения опытов

В работе использовали данные об урожайности сортов мягкой яровой пшеницы Биора, Иволга, Лада, Энита, 2462Ь-Дг-10, 2521h-2а, 2544h-2а за 6 лет (1998-2003 гг.), данные о массе 1000 зерен у этих же сортов, а также у сортов 2488h-Ь, 2583h-2а за 5 лет (1999-2003 гг.), данные об урожайности, ее элементах и показателях, связанных с формированием продуктивности колоса у всех приведенных выше сортов и также сортов Норис и Родина за 3 года (2001-2003 гг.). Все сорта экологически приспособлены к условиям Центрального региона. Те из них, которые имеют названия, внесены в госреестр, кроме Биоры, остальные взяты из конкурсного сортоиспытания.

Для работы использовали данные конкурсного сортоиспытания (КСИ) и заложенного параллельно мелкоделяночного опыта. В КСИ площадь делянки 5 м² повторность 5-6-кратная. Посев проводили сеялкой СН-10 — с нормой высева 5,5 млн всхожих семян на 1 га. Расположение сортов внутри повторения рандомизированное. Делянки 7-рядковые, с междурядьями 15 см, длина ряда — 5 м, ширина дорожки между делянками — 50 см. Уборка — комбайном. Определяли урожайность и массу 1000 зерен спустя месяц после уборки, когда зерно приняло равновесную влажность.

В мелкоделяночном опыте площадь делянки 2,5 м², повторность 4-кратная. Посев кассетной сеялкой СКС-6-10 с нормой высева 6 млн всхожих семян на 1 га. Положение

сортов внутри повторения рандомизированное, делянки 6-рядковые с междурядьями 18 см, длина ряда — 2,5 м и ширина дорожки между делянками — 50 см. Отмечали основные фазы вегетации. Элементы структуры урожайности определяли по одному из 6 рядков делянки (второй с краю слева по ходу сеялки), учитывали число всходов, количество растений, колосьев, продуктивную кустистость, массу 1000 зерен, продуктивность растения, продуктивность колоса и число зерен в колосе. В фазу цветения проводили пинцировку (удаление колосков с одной стороны колоса) на 25 типичных колосьях на 4-м и 5-м рядах (по ходу сеялки). В фазу полного формирования зерна (ПФЗ), когда прекращается рост зерна в длину, а масса побега достигает максимума [2], отбирали в пробу 25 типичных побегов для определения коэффициента обеспеченности потенциальной продуктивности колоса вегетативной массой и коэффициента ее использования. Предварительно отмечали этикетками типичные колосья. На половине из них была сделана пинцировка. Другая половина служила контролем. В фазу ПФЗ проводили оценку устойчивости к болезням. Оценка устойчивости к полеганию — только в 2003 г., поскольку в другие годы оно отсутствовало. Уборку проводили комбайном в фазу полной спелости.

Полученные экспериментальные данные обработали методами дисперсионного и корреляционного анализов по [1]. Символика статистических характеристик — обычная. В работе для некоторых показателей вынуждено использовали необычно низкие уровни значимости, имея в виду, что в практической селекции часто довольству-

ются невысокой вероятностью правильности того или иного суждения [3].

Стабильность урожайности и ее элементов была определена следующими методами: расчетом отношения максимального значения к минимальному в разные годы — \max/\min , разности между максимальным и минимальным значением — $\max-\min$, в т. ч. нормированной по среднему $(\max-\min) 100\%/x$ [7]; расчетом дисперсии (s^2) генотипов в средах (в разные годы) и коэффициента вариации ($v\%$) [11]; через коэффициент регрессии (b) показателя сорта на индекс среды и средний квадрат отклонений от регрессии (sd^2) [10]. Индекс среды вычисляли как разность средней по среде и средней во всех средах. Чем меньше любой из показателей стабильности, тем больше стабильность (удобнее было бы называть их показателями нестабильности).

Работа выполнена на кафедре селекции и семеноводства полевых культур МСХА им. К. А. Тимирязева. Опыты проводили на полях лаборатории селекции и семеноводства полевых культур (Селекционно-генетическая станция им. П. И. Лисицына). Агротехника типичная для зоны, под предпосевную культивацию ежегодно вносили полное минеральное удобрение (60N90P75K на 1 га).

Результаты и их обсуждение

Стабильность урожайности. В работе рассматривали различные показатели стабильности. В литературе наиболее часто используют показатели, предложенные [10]: коэффициент регрессии урожайности испытываемого сорта на индекс среды, в основе которого лежит средняя урожайность всех испыты-

ваемых сортов (b), и сумма квадратов отклонений урожайности изучаемого сорта в различные годы от линии регрессии (sd^2). Первый показатель (b) характеризует общую тенденцию изменения урожайности изучаемого сорта от самого низкого до самого высокого значения относительно совокупной характеристики всех сортов (куда входит и изучаемый), выраженной через индекс среды. Второй (sd^2) — указывает на отклонения от этой тенденции, связанные с какими-то особенностями сорта (например, сильным поражением какой-либо болезнью в годы эпифитотий или неустойчивостью к полеганию в годы его сильного проявления). Оценка по Эберхардту — Расселу представляется надежной, но требует длительности испытания, часто неприемлемой для селекции.

В табл. 1 представлены показатели стабильности урожайности 7 сортов по данным конкурсного сортоиспытания за 6 лет. В 2003 г. в КСИ учет урожайности не удалось произвести из-за потрав и экстремальных условий погоды, препятствовавших комбайновой уборке (за этот год использованы данные мелкоделяночного опыта). Различия в стабильности урожайности достаточно велики. В то же время оценки сортов по стабильности различными показателями совпадают. Исключение составляет сумма квадратов отклонений, так как этот показатель фиксирует отклонения, вызванные специфическими характеристиками сорта. Несовпадение суммы квадратов отклонений как показателя стабильности с другими показателями в нашей работе можно объяснить поражением в 2001 г. посевов пшеницы твердой головней и полеганием в 2003 г. некоторых сортов.

Т а б л и ц а 1

Показатели стабильности урожайности сортов яровой пшеницы

Сорт	Разность max-min, т/га	Разность max-min, % к среднему	Отно- шение max/min	Кэф- фици- ент ва- риа- ции, v %	Диспер- сия, s ² , т/га ²	Кэф- фици- ент регрес- сии, b	Сумма квадратов отклонений от линии регрессии, sd ² , т/га ²
		$\frac{\max - \min}{\bar{x}} \cdot 100$					
Биора	3,04	89	2,59	33,4	112	1,04	66
Иволга	3,15	96	2,85	36,1	144	1,22	44
Лада	2,29	70	2,08	27,0	73	0,89	4
Энита	2,32	73	2,14	28,5	77	0,90	15
2462h-Дг-10	3,09	80	2,34	33,3	128	1,15	34
2521h-2a	2,74	76	2,23	30,2	103	1,04	30
2544h-2a	2,03	65	1,97	25,8	61	0,76	42

Чтобы выяснить, насколько со-ответствуют характеристики ста-бильности урожайности, выражен-ные разными показателями, нашли коэффициенты корреляции между ними (табл. 2). Вывод о соответ-ствии характеристик стабильности полностью подтвердился. Особенно интересно сравнение связей разных показателей стабильности с коэф-фициентом регрессии, который наи-более предпочтителен для характе-ристики стабильности. Коэффициен-ты корреляции не опускаются ниже 0,85, отличие их от 0 доказано на

высоком уровне значимости. Связь квадратов отклонений с другими по-казателями значительно менее тес-ная, а если доказана, то на низком уровне значимости.

Такие же результаты по 5-лет-ним данным получены для массы 1000 зерен. Коэффициенты корреле-ляции не опускались ниже 0,91**. Исключение, опять-таки, составля-ют связи с суммой квадратов откло-нений. Наконец, коэффициенты корреляции между различными по-казателями стабильности элементов структуры урожайности по данным

Т а б л и ц а 2

Коэффициенты корреляции показателей стабильности урожайности сортов яровой пшеницы

Показа- тели	max-min	$\frac{\max - \min}{\bar{x}} \cdot 100$	max/min	v %	s ²	b	sd ²
max-min	1,00						
$\frac{\max - \min}{\bar{x}} \cdot 100$	0,90**	1,00					
max/min	0,87**	0,99***	1,00				
v %	0,96***	0,96***	0,95***	1,00			
s ²	0,97***	0,91**	0,89**	0,97***	1,00		
b	0,95***	0,	0,85*	0,95***	0,98***	1,00	
sd ²	0,53*)	0,58**)	0,58**)	0,55*)	0,46	0,33	1,00

Здесь и в последующих таблицах коэффициенты корреляции незначимо отличаются от 0: на уровне 25 — *); 15 — **); 10 — ***); 05 — *); 01 — **); 001 — ***).

мелкоделяночного опыта также указывают на тесные связи, исключая коэффициент регрессии и сумму квадратов отклонений, которые из-за слишком коротких рядов (3 года) нельзя использовать. Для числа растений с единицы площади, числа зерен с колоса и массы 1000 зерен коэффициенты корреляции между различными показателями стабильности не меньше 0,91***. Для продуктивной кустистости и продуктивности колоса — не меньше, чем 0,86***. И только для продуктивности растений отмечены такие коэффициенты корреляции, как 0,69*, 0,70*. Это связи отношения мах/мт с дисперсией и коэффициентом вариации.

Поскольку все показатели стабильности, за исключением суммы квадратов отклонений, тесно коррелируют, для дальнейших сопоставлений можно было взять любой из них. Выбрана разность крайних значений, отнесенная к среднему из этих значений (в %) как наиболее просто определяемая, наглядная и независимая от уровня урожайности сорта. Далее будет использоваться именно этот показатель. В коротких рядах, полученных в мелкоделяночном опыте, нельзя использовать ни коэффициент регрессии, ни сумму квадратов отклонений от линии регрессии. К тому же у последнего показателя в нашем наборе сортов нет тесной связи с остальными. Этот показатель отражает отклонения, связанные с индивидуальными особенностями сорта, в то время как другие представленные характеристики отражают общую тенденцию изменения урожайности сорта при изменении условий его выращивания. Для селекционной практики особенно важны провалы в урожайности, связанные с неустойчивостью сорта к ка-

ким-либо неблагоприятным факторам (поражение болезнями и вредителями, условия, вызывающие полегание). Но они могут быть зафиксированы и без применения статистических показателей. В нашем случае было отмечено поражение в 2001 г. твердой головней и полегание некоторых сортов в 2003 г.

Данные за 3 года, использованные в работе, отражают особенности селекционной технологии. Если сорт показывает хорошие результаты, его урожайность определяют в конкурсном сортоиспытании в течение 3 лет. В сомнительных случаях он может быть оставлен в КСИ еще на год или на более длительное время. Наконец, для суждения о стабильности урожайности сорта можно привлечь данные о нем в более ранних звеньях селекционного процесса, но там они гораздо менее точны. И еще одно обстоятельство, мешающее использованию метода Эберхардта — Рассела: непрерывные изменения состава сортов в КСИ и других звеньях: какие-то выбраковываются, какие-то поступают вновь.

Таким образом, селекционер располагает очень ограниченными данными, на основании которых он должен дать характеристику стабильности сорта. Естественно, что при этом возможны ошибки. Чтобы оценить степень риска получения искаженного представления о стабильности сорта на основании 3-летнего его изучения, рассчитали показатель стабильности урожайности для участвовавших в опыте 7 сортов по данным за 3 года, взяв эти годы во всех возможных сочетаниях из 6 лет. Число таких сочетаний — 20. Коэффициенты корреляции между показателями стабильности за 6 лет (наиболее надежные) и за 3 года только в половине случаев (11 из 20) ока-

зались значимо отличны от 0. Причем ввиду малого числа пар, учли и случаи с очень невысоким уровнем значимости 0.1; 0.15 и даже 0.25. Более надежные результаты получают, если сорта испытывают в течение 4 лет. Применяв ту же процедуру, что и при сочетании 3 года из 6 (4 года из 6) получили более надежные результаты (табл. 3). Коэффициенты корреляции значимы в 12 случаях из 15. Видно также, что более тесную связь давали четверки лет, в которые попадали наиболее контрастные по урожайности годы.

Конечно, нужно иметь в виду, что различные временные периоды будут иметь разное соотношение высоко-, средне- и низкоурожайных лет и выводы, сделанные на основе всех возможных комбинаций лет определенного периода времени, могут вызывать сомнение. Желательно проверить их при «естественном» чередовании лет. Мы располагали данными о сортах-стандартах, высевавшихся в КСИ, много лет подряд. Стандарты менялись, но можно выделить 3 цикла: 1947—1962 г., сорт Московка; 1977-1991 г., сорт Ленинградка; 1983-2003 г., сорт Энита. Оценивали соотношение лет по урожайности в группах из 3, 4 и 5 лет, каждый раз смещая границы группы на 1 год и определяя, содержит ли данная группа достаточно контрастные данные. Число таких «контрастных» групп выразили в процентах к общему числу групп и нашли среднее из всех трех циклов. Если считать контрастными те годы, в которых урожайность различалась в 2 раза и более, то для групп из 3, 4 и 5 соседних лет число групп с «контрастными» годами составило 47; 63; 83%. Если различие в урожайности в 1,75 и более раз считать надежным,

что, по-видимому, обеспечивает достаточный контраст, то имеем 68; 84; 97%. Таким образом, наилучшие результаты дает испытание в течение 5 лет, но и 4 года — срок более типичный для селекционной работы — обеспечит неплохую оценку.

Стабильность элементов урожайности. Урожайность пшеницы складывается из числа растений на единицу площади и продуктивности одного растения, которая, в свою очередь, состоит из продуктивной кустистости и продуктивности одного колоса. Последняя складывается из числа зерен в колосе и массы 1000 зерен. Соотношение величин всех этих элементов в каждый конкретный год различно. Элементы, показывающие высокую стабильность в данном регионе экологически надежные, и не нуждаются в селекционном вмешательстве. Усилия селекционера должны быть направлены на совершенствование стабильности менее надежных элементов. В этом, собственно, и состоит селекция на устойчивость к неблагоприятным абиотическим факторам среды. Селекцию на устойчивость к болезням или вредителям в широком аспекте, применительно к доминирующим в регионе болезням или вредителям, можно рассматривать в том же ключе.

3-летних данных недостаточно для применения метода Эберхардта-Рассела, а также для анализа комбинаций различных лет. В табл. 4 приведены показатели стабильности для урожайности и всех элементов ее структуры. Наименьшая вариабельность была по продуктивной кустистости, наибольшая — по продуктивности растения и колоса. Элементы продуктивности колоса: число зерен в колосе, масса 1000 зе-

**Коэффициенты корреляции показателей стабильности урожайности
за 6 лет и за 4 года в различных сочетаниях из 6 лет**

Сочетания лет

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	2	2
2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3
3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

1,00*** 1,00*** 1,00*** 0,57* 0,57* 1,00*** 1,00*** 1,00*** 1,00*** 1,00*** 0,21 0,57* 0,64** 0,57* 0,42 0,39

П р и м е ч а н и е. Нумерация лет: 1998 — 1; 1999 — 2; 2000 — 3; 2001 — 4; 2002 — 5; 2003 — 6; характеристика лет по урожайности: высокий урожай в среднем по всем сортам (4,7 т/га); средний урожай (3,3–3,4 т/га); низкий урожай (2,0–2,3 т/га).

Разность урожайности и ее элементов между 2003 и 2001 гг. и показатели стабильности

Год	Урожайность, г	Число растений на 1 м ² , шт.	Продуктивная кустистость, шт.	Продуктивность растения, г	Продуктивность колоса, г	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
2001	626	568	1,26	0,90	0,72	29,7	24
2003	790	460	1,19	1,62	1,35	39,0	34
Разность	164	-108	-0,07	0,72	0,63	9,3	10
НСР ₀₅	79	72	0,14	0,12	0,17	1,4	2
<i>Абсолютные значения</i>							
2001–2003	34	27	12	58	61	38	27
НСР ₀₅				14			
<i>Показатели стабильности, %</i>							

рен, число растений в рядке по вариабельности занимают промежуточное положение, близка к ним и вариабельность урожайности. Таким образом, с одной стороны, наиболее стабильны простые элементы: число растений на единицу площади, продуктивная кустистость, число зерен в колосе, масса 1000 зерен, а более интегральные — продуктивность растения и колоса — подвержены большей изменчивости. С другой стороны, наиболее стабильный из интегральных показателей — урожайность. Стабильность интегральных показателей зависит от направления изменения их составляющих. Так, продуктивность колоса складывается из числа зерен в нем и из массы 1000 зерен. Если оба эти компонента изменяются в одну сторону, например, уменьшаются или увеличиваются, то это ведет к более значительному изменению интегрального показателя. Поэтому продуктивность колоса колеблется сильнее, чем ее компоненты. То же самое можно сказать о продуктивности растения. Возможна и другая ситуация: компоненты интегрального показателя конкурируют и находятся в отрицательной связи. Известно, например, что крупность и число зерен — конкурирующие признаки [9]. Тогда с уменьшением одного компонента увеличивается другой, и интегральный показатель колеблется меньше его составляющих. Очевидно, может иметь место и та, и другая тенденция. Все зависит от того, какая перевесит. Например, отрицательная корреляция между элементами урожайности выражена сильнее, чем таковая между элементами продуктивности колоса [4].

В табл. 4 представлены данные о разности урожайности и ее элементов между самым урожайным

2003-м годом и наименее урожайным 2001-м в среднем из всех сортов. Составляющие продуктивности колоса изменяются в одну сторону и это увеличивает вариабельность интегрального показателя. Основные составляющие урожайности — число растений на единицу площади и продуктивность растения, а также связанная с ней продуктивность колоса — в нашем случае изменялись в противоположные стороны, что снизило варьирование урожайности.

Коэффициенты корреляции между показателями стабильности урожайности и элементов ее структуры в большинстве случаев незначимы, но есть и исключения. Стабильность урожайности связана отрицательной корреляцией со стабильностью числа растений на единицу площади ($r = -0,67^*$). Видимо, колебания числа растений в данном случае компенсировались отклонениями с противоположным знаком продуктивности растения, что стабилизирует урожайность. Как отмечено выше, с увеличением густоты стеблестоя продуктивность растений падает и наоборот. Что касается тесных корреляций стабильности продуктивности растения, колоса и числа зерен в колосе, то она определяется сопряженным изменением этих элементов. Коэффициенты корреляции между ними высоки и значимы на высоком уровне ($r = \text{от } 0,88^{***} \text{ до } 0,98^{***}$).

Сортовая вариабельность урожайности обусловлена вариабельностью числа колосьев на единицу площади и продуктивности колоса. Первый элемент не имеет слагающих его компонентов, второй — складывается из числа зерен на колосе и массы 1000 зерен. Поэтому для детального рассмотрения стабильности продуктивности колоса

кроме составляющих ее элементов необходимы другие показатели, связанные с формированием зерновой продукции. Продуктивность колоса конечного урожая составляет только часть от потенциальной продуктивности. Предложен способ — пинцировка колоса в момент цветения [6], который позволяет определить потенциальную продуктивность, сформированную к моменту цветения и сопоставить ее с конечной продуктивностью. Удаляются колоски с одной из сторон колоса, что обеспечивает сравнимость различных сортов вне зависимости от того, как изменяется продуктивность колосков вдоль оси колоса у разных сортов. Способ обеспечивает также наименьшее повреждение проводящих путей колоса, проводящие пучки каждой из сторон колоса практически независимы [8]. В результате пинцировки количество «потребителей» пластического материала уменьшается вдвое, а возможности снабжения ими колоса практически не меняются. Естественно, оставшиеся колоски не могут реализовать все эти возможности, поскольку их потребности ограничены предыдущим периодом развития (формированием проводящих путей и т. д.), но их потенциальная продуктивность, сложившаяся ко времени цветения, выявляется. Чтобы рассчитать потенциальную продуктивность колоса, нужно умножить массу зерна пинцированного колоса на 2 (поскольку удалялась половина колосков). Увеличение массы зерна в оставшихся колосках идет как за счет укрупнения зерна, так и за счет увеличения числа зерен. В колосьях, не подвергшихся пинцировке, часть вполне фертильных цветков (это верхние цветки колосков) не завязывают зерна из-за нехватки пластических веществ, в пинциро-

ванных колосьях зерно развивается. Таким образом, можно говорить и о потенциальном числе зерен, определенном ко времени цветения, и о потенциальной массе 1000 зерен. Первое получается умножением числа зерен пинцированного колоса на 2, второе, естественно, умножения не требует.

Таким образом, можно составить представление о потерях, связанных с неблагоприятными условиями, сложившимися во время развития зерна (имеются в виду и внешние и внутренние условия, например, недостаточно мощная вегетативная часть растения, не позволяющая реализовать все потенциальные возможности колоса).

В табл. 5 приведены показатели реальной и потенциальной продуктивности колоса и ее элементов, а также их стабильности. Видно, что потенциальная величина признака всегда больше, чем его реальная величина. Можно отметить сортовые различия и различия между годами. В 2001 г. разрыв между реальной и потенциальной продуктивностью наибольший. Это связано с тем, что первая половина вегетации была благоприятна и способствовала созданию высокой потенциальной продуктивности, а вторая — отличалась засухой и высокой температурой воздуха (потенциальная продуктивность реализовалась плохо). Стабильность потенциальной продуктивности колоса больше, чем реальной. Это кажется естественным: стабильность потенциальной продуктивности отражает варьирование условий вегетации пшеницы только в период до цветения, а реальной — в течение всей вегетации. Разности для продуктивности колоса и массы 1000 зерен значимы. Разность для числа зерен в колосе несущественна. По-видимому, возможны различные варианты соот-

Реальная и потенциальная продуктивность колоса и ее элементов
и показатели их стабильности

Год	Продуктивность колоса, г		Число зерен в колосе, шт.		Масса 1000 зерен, г	
	реальная	потенциальная	реальная	потенциальная	реальная	потенциальная
<i>Абсолютные значения</i>						
2001	1,19	1,74	37	46	32	38
2002	1,39	1,68	38	42	37	40
2003	1,85	2,43	44	52	42	48
НСР ₀₅	0,08	0,10	2	1	1	1
<i>Показатели стабильности, %</i>						
2001–2003	44	38	20	22	27	22
НСР ₀₅	4		3		4	

ношений реальной и потенциальной продуктивности. Чем больше различие между потенциальной и реальной продуктивностью в менее благоприятный год и чем меньше это различие в год благоприятный, тем менее стабильной оказывается реальная продуктивность по сравнению с потенциальной. Какой вариант реализуется в данном регионе — зависит от того, какая ситуация для него типична. На соотношения реальной и потенциальной продуктивности может влиять такой фактор, как перемещение минимума и максимума для данного элемента структуры продуктивности колоса с одного года на другой. При этом эти перемещения не синхронны для различных элементов в силу формирования их в разные периоды вегетации. Так, число зерен в колосе формируется до цветения. Дальше оно может только уменьшаться. Масса 1000 зерен формируется до цветения и после.

Представленное выше может рассматриваться как методический подход к определению соотношения стабильности описываемых показателей в разные периоды вегетации в различных метеорологических услови-

ях. В качестве примера можно взять продуктивность колоса. Сопоставляя показатели стабильности реальной и потенциальной продуктивности колоса (44% и 38% разность 6%), пришли к выводу, что вариабельность этого показателя в первом периоде вегетации в нашем случае примерно в 6 раз выше, чем во втором.

В работе использованы некоторые показатели, связанные с формированием продуктивности колоса. Коэффициент использования массы побега представляет собой отношение массы зерна спелого колоса к массе побега в полное формирование зерна (ПФЗ), когда она достигает максимального значения. Этот коэффициент показывает, какую массу зерна создает единица массы побега, т. е. эффективность «работы» растения во время налива зерна [2]. Коэффициент обеспеченности потенциальной продуктивности колоса биомассой побега — это масса побега в ПФЗ, отнесенная к потенциальной продуктивности колоса, а степень реализации потенциальной продуктивности — отношение реальной продуктивности к потенциальной (удобно выражать в процентах) [6].

Стабильность продуктивности колоса и характеристик, определяющих ее формирование, зависит от особенностей показателей. Те из них, которые представляют собой отношение показателей (коэффициент использования массы побега, коэффициент обеспеченности потенциальной продуктивности массой побега, степень реализации потенциальной продуктивности) более стабильны (13—24%), чем стабильность самих этих показателей (продуктивность колоса, масса побега в ПФЗ) — 38-45%. Последние колеблются в унисон, поэтому соотношение их остается более или менее стабильным.

Коэффициенты корреляции между названными выше показателями стабильности незначимы или значимы на невысоком уровне. Исключение — связь показателей стабильности коэффициента использования массы побега и степени реализации потенциальной продуктивности.

В заключение рассмотрим, какова зависимость между интегральными показателями и их составляющими в связи с их стабильностью. Сортовая вариабельность урожайности зависела в 2001 г. в основном от продуктивности колоса ($r = 0,73^*$), в 2003 — от числа колосьев с единицы площади ($r = 0,76^*$) и в 2002 г. — от обоих элементов ($r = 0,58^*$ и $0,56^*$), связи для показателей стабильности не обнаружены.

Сортовая специфика продуктивности колоса больше зависит от числа зерен в нем, нежели от их

крупности, а сами эти компоненты, как отмечено выше, находятся в отрицательной связи (табл. 6). Последняя объясняется конкуренцией числа зерен и их крупности за пластический материал: если у сорта завязывается большое число зерен, то они мельче и наоборот. Соответствие связей названных показателей и связей показателей их стабильности неполное: для числа зерен — массы 1000 зерен его нет. Последнее хорошо иллюстрирует положение, что связь между изучаемыми показателями еще не указывает на связь между их стабильностью. В самом деле, если вариабельность продуктивности по сортам обязана главным образом вариабельности числа зерен, то различия между годами по продуктивности колоса не обязательно должны быть связаны с различиями по числу зерен в колосе. Число зерен может колебаться больше или меньше, поскольку в колебаниях продуктивности участвует еще и масса 1000 зерен, а она отрицательно связана с числом зерен генотипически. Связь может быть и модификационной, но тогда она положительна и разрушает отрицательную корреляцию между стабильностью крупности зерна и числа зерен.

Выводы

1. Различные показатели стабильности урожайности яровой пшеницы тесно коррелируют друг с другом, так же как и показатели стабильности ее эле-

Т а б л и ц а 6

Коэффициенты корреляции продуктивности колоса и ее элементов

Коррелируемый показатель	Абсолютные значения			Показатель стабильности, %
	2001 г.	2002 г.	2003 г.	
Продуктивность колоса — число зерен в колосе	0,66*	0,67*	0,65*	0,66*
Продуктивность колоса — масса 1000 зерен	0,13	0,41*	0,09	0,41*
Число зерен в колосе — масса 1000 зерен	-0,65*	-0,38*	-0,69*	-0,25

ментов. Это позволяет использовать для целей селекции наиболее простые показатели, например, разность урожайности в наиболее и наименее урожайные годы, отнесенную к среднему.

2. Такой показатель стабильности, как сумма квадратов отклонений от линии регрессии (по Эберхардту-Расселу) коррелирует с другими показателями стабильности гораздо менее тесно, поскольку отражает индивидуальные особенности сортов. Он может быть отчасти заменен на оценку реакции сорта на те или иные неблагоприятные условия вегетации.

3. Уровень контрастности лет по урожайности, позволяющий надежно оценить стабильность сортов по этому показателю, можно определить как близкий к двукратному превосходству одного года над другим.

4. Оценка стабильности урожайности в Центральном регионе по 4-летним данным для селекционных целей в большинстве случаев надежна. Еще более надежно использовать 5-летние данные, но это удлиняет срок испытания.

5. Стабильность урожайности, а также продуктивности колоса (интегральных показателей) может быть меньше, чем стабильность слагающих их элементов, если колебания показателей по годам происходят в одном направлении и больше — если эти колебания разнонаправлены.

6. Изучение стабильности элементов структуры урожайности позволяет выделить экологически нестабильные, нуждающиеся в селекционном улучшении, что повышает стабильность урожайности.

7. Стабильность потенциальной продуктивности колоса и ее элементов на момент цветения (определенной с помощью пинцировки) может, по-видимому, быть выше или ниже стабильности реальных показателей, что зависит от со-

отношения факторов, влияющих на формирование продуктивности до и после цветения.

8. Связь урожайности и элементов ее структуры может повторять связь показателей их стабильности, а может и не отражать их.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. — 2. *Коновалов Ю. Б.* Налив зерна у различных сортов яровой пшеницы // Изв. ТСХАД958. Вып. 6. С. 17-20. — 3. *Коновалов Ю. Б.* О проблемах полевого опыта в селекции с.-х. культур. // Селекция и семеноводство, 1991. Вып. 2. С. 2-6. — 4. *Коновалов Ю. Б.* Отбор из модельных популяций мягкой яровой пшеницы, выращиваемых с разной площадью питания растений. Докл. ВАСХНИЛ, 1981. Вып. 7. С. 3-5. — 5. *Коновалов Ю. Б.* Прогноз результатов отбора из густых и разреженных посевов яровой пшеницы на основании изучения модельных популяций // Изв. ТСХА, 1981. Вып. 3. С. 43-52. — 6. *Коновалов Ю. Б.* Потенциальные и реальные показатели продуктивности колоса у яровой пшеницы различных лет селекции. // Изв. ТСХА, 1989. Вып. 2. С. 42-49. — 7. *Моргунов А. И.* Селекция зерновых культур на стабилизацию урожайности. Обз. инфор. М.: Всесоюзный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований агропромышленного комплекса, 1987. — 8. *Тетерятченко К. Г.* О значении сосуловолокнустых пучков в формировании продуктивности сортов у озимой пшеницы. Тр. Харьковского СХИ, 1967. Т. 65(102). С. 149-157. — 9. *Adams M. W.* // Crop Sci, 1967. Vol. 7. P. 505. — 10. *Eberhart S. A.* — Crop Sci. 1966. Vol. 6. P. 36-40. — 11. *Francis T. R.* — Plant Sci, 1978. Vol. 58. P. 1029-1034.

*Статья поступила
3 июня 2004 г.*

SUMMARY

Various crop capacity stability indices are compared in the article. Test duration and crop capacity difference obtained in many years are based providing its reliable estimation of stability. The crop capacity stability and its elements ratio was studied and some indices related to productivity formation of ear of wheat as well.