

9. Triputin V.M., Kovtunen A.N., Kashuba Yu.N. Izmenchivost kolichestvennykh priznakov ozimoy pshenitsy v usloviyakh Omskoy oblasti // Innovatsionnye tekhnologii v polevom i dekorativnom rastenievodstve: Sborn. statey po materialam III Vseross. nauch.-prakt. konf. /

Kurganskaya GSKhA. – Kurgan, 2019. – S. 262-265.

*Отдельные разделы работы выполнены в рамках государственного задания по проекту № 0797-2019-0008.*



УДК 633.111.1

С.Б. Лепехов  
S.B. Lepkhov

## СРАВНЕНИЕ ПРЯМОЙ И КОСВЕННОЙ ОЦЕНКИ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ

### THE COMPARISON OF DIRECT AND INDIRECT EVALUATION OF SPRING SOFT WHEAT YIELDS UNDER DIFFERENT CONDITIONS

**Ключевые слова:** яровая мягкая пшеница, корреляционный анализ, селекция, критерии отбора, косвенный отбор, урожайность.

В настоящее время среди российских селекционеров распространена точка зрения о том, что элементы структуры урожая могут служить косвенными критериями при отборе на высокую урожайность. Мы полагаем, что наличие высокого коэффициента корреляции между признаком продуктивности и урожайностью не является достаточным условием для отбора по этому признаку. В статье проверяется гипотеза о том, что косвенная оценка урожайности по некоторым элементам структуры урожая может быть лучшим индикатором высокой урожайности сортов в других средах, чем прямая оценка по урожайности. Для проверки данной гипотезы использованы данные 2 экспериментов: 1-й проведён в 2010-2012 гг. на 42 генотипах, 2-й – в 2014-2016 гг. на 24 генотипах. Сорта были изучены по урожайности, коэффициенту продуктивной кустистости, массе одного растения, высоте растения, общему количеству колосков в колосе, количеству продуктивных и стерильных колосков в колосе, озернённости главного колоса, массе 1000 зёрен, массе зерна главного колоса, массе зерна растения, уборочному индексу. Эффективность прямой оценки сортов пшеницы по урожайности устанавливалась при помощи коэффициента корреляции между урожайностью сортов в разные годы. О косвенной оценке урожайности сортов судили на основании расчёта коэффициента корреляции между величиной признака сортов в один год и урожайностью этих же сортов в другой год. Полученные коэффициенты корреляции для прямой и косвенной оценки урожайности сравнивались при помощи t-критерия Стьюдента. В первом эксперименте ни один из коэффициентов корреляции между рассматриваемыми признаками, определёнными в один год, и урожайностью, опреде-

лённой в другой год, не был значимо выше, чем коэффициент корреляции между урожайностями в эти же годы. Аналогичный результат получен во втором эксперименте. Не обнаружено ни одного косвенного признака, измеренного в один год, на основании отбора по которому можно было бы выделить высокоурожайные генотипы в другие годы.

**Keywords:** spring soft wheat, correlation analysis, plant breeding, selection criteria, indirect selection, yielding capacity.

Currently, Russian plant breeders suggest that the elements of crop yield formula may be regarded as indirect criteria for the selection of high-yielding crops. We believe that a high correlation between the element of yield formula and the crop yield cannot be considered a sufficient condition for the selection based on this criterion. This paper tests the hypothesis that the indirect crop yield evaluation based on some elements of the crop yield formula may be the best indicator of the high crop yielding capacity of the varieties in other environments than direct evaluation based on the crop yield. The data obtained by two experiments were used to test this hypothesis. The first experiment was conducted from 2010 through 2012 and involved 42 genotypes. The second experiment was conducted from 2014 through 2016 involving 24 genotypes. The wheat varieties were examined in terms of crop yield, tillering capacity, single plant weight and height, total number of spikelets per spike, number of productive and sterile spikelets per spike, grain content, thousand kernel weight, grain weight per main spike, grain weight per plant, and harvest index. The direct evaluation effectiveness of the wheat varieties regarding crop yield was based on the correlation coefficient of the yielding capacity of wheat varieties on different years. The indirect crop yield evaluation was ex-

amined based on the calculations of the correlation coefficient of the variety character value for one year and the crop yield of the same varieties on a different year. The calculated correlation coefficients for direct and indirect evaluation of the crop yield were compared using the Student's t-test. The first experiment did not demonstrate a high correlation coefficient of the analyzed characters de-

termined on one year and the crop yield on a different year as compared to the correlation coefficient of the crop yields on the same years. The second experiment showed similar results. It may be concluded that no indirect criterion measured on one year could be considered as reliable criterion for the selection of high yielding genotypes for the other years.

**Лепехов Сергей Борисович**, к.с.-х.н., вед. научный сотрудник, Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, г. Барнаул. E-mail: sergei.lepehov@yandex.ru.

**Lepekhov Sergey Borisovich**, Cand. Agr. Sci., Leading Staff Scientist, Federal Altai Research Center of Agro-Biotechnologies, Barnaul. E-mail: sergei.lepehov@yandex.ru.

### Введение

Критерии косвенной оценки урожайности по различным признакам всегда привлекали селекционеров. При этом на первый план выходили внешние, легко различимые черты сортов. Их поиск важен для тех случаев, когда урожайность селекционного материала не может быть объективно и точно определена.

В последние годы в российской селекции растений распространяется мнение, согласно которому из факта сопряжённости элементов структуры урожая с урожайностью следует необходимость отбора по данным признакам [1-3]. Значительное внимание также уделяется косвенным критериям оценки засухоустойчивости сортов [4, 5].

Ни в одном из вышеперечисленных исследований не показано преимущество отбора по тому или другому признаку для выделения высокоурожайных генотипов на конечных этапах селекции. Косвенные критерии оценки генотипов поздних поколений, основанные на признаках продуктивности, имеют малую информативность, поскольку на момент их измерения уже известна величина урожайности. Однако не исключено, что некоторые элементы структуры урожая, в отличие от урожайности, определённые в нетипичный год, могут быть индикаторами высокой урожайности для других сред.

**Целью** работы являлась оценка эффективности выделения высокоурожайных генотипов яровой мягкой пшеницы на основе элементов продуктивности.

### Объекты и методы

Материалом исследования являлись 2 набора среднеспелых сортов яровой мягкой пшени-

цы степного экологического типа различного географического происхождения, испытанных на протяжении 3 лет каждый. Первый набор сортов включал 42 генотипа. Посев проводился в 2010-2012 гг. по паровому предшественнику на делянках 2 м<sup>2</sup> в трёхкратной повторности. Второй набор сортов включал 24 генотипа. Посев проводился в 2014-2016 гг. по зерновому предшественнику на делянках 10 м<sup>2</sup> в двукратной повторности. Норма высева 500 зёрен/м<sup>2</sup>. На основании анализа 10-20 растений каждой повторности рассчитывали средние значения для следующих признаков: коэффициент продуктивной кустистости, масса одного растения, высота растения, общее количество колосков в колосе, количество продуктивных и стерильных колосков в колосе, озернённость главного колоса, масса 1000 зёрен, масса зерна главного колоса, масса зерна растения, уборочный индекс.

Погодные условия испытания первого набора сортов (2010-2012 гг.) были относительно схожими. В 2010 и 2012 гг. наблюдалась раннелетняя засуха при достаточном количестве осадков во второй половине вегетации. 2011 г. характеризовался небольшим дефицитом осадков с мая по август. Погодные условия испытания второго набора сортов (2014-2016 гг.) значительно различались. В 2014 и 2015 гг. наблюдалась раннелетняя засуха, а 2016 г. характеризовался достаточным и избыточным увлажнением.

Эффективность прямой оценки сортов пшеницы по урожайности устанавливали при помощи коэффициента корреляции между урожайностью сортов в разные годы. О косвенной оценке урожайности сортов судили на основании расчёта коэффициента корреляции между величиной

признака сортов в один год и урожайностью этих же сортов в другой год. Полученные коэффициенты корреляции для прямой и косвенной оценки урожайности сравнивались. О значимости различий коэффициентов корреляции судили по t-критерию Стьюдента.

### Результаты и их обсуждение

Абсолютное большинство коэффициентов корреляции между рассматриваемыми признаками и урожайностью либо статистически незначимо, либо находится на уровне средней взаимосвязи (табл. 1, 2). Количество значимых коэффициентов корреляции между рассматриваемыми признаками и урожайностью, определёнными в один и тот же год, как в первом наборе сортов, так и во втором, составило 13 из 33 (39%). Количество значимых коэффициентов корреляции между признаками и урожайностью, определёнными в разные годы, в первом наборе сортов достигло 14 из 66 (21%), а во втором – 16 из 66 (24%). На основании этих данных можно заключить, что урожайность сортов теснее коррелирует с признаками, определёнными в тот

же год. То есть прогностическая ценность косвенных критериев урожайности, определённых в одних условиях, снижается при испытании сортов в других условиях.

В первом наборе сортов масса 1000 зёрен и продуктивность главного колоса были стабильно связаны с урожайностью в тот же год исследования. Следует также обратить внимание на преобладающую однонаправленность коэффициентов корреляции для одних и тех же признаков.

Опираясь на данные таблицы 1, можно заключить, что в первом наборе сортов ни один из коэффициентов корреляции между рассматриваемыми признаками и урожайностью, определённой в другой год, не был значимо выше, чем коэффициент корреляции между урожаями в эти же годы. То есть косвенные селекционные критерии не характеризуют урожайность сортов в какой-либо другой год лучше, чем прямая оценка по урожайности.

Таблица 1

### Коэффициенты корреляции между рассматриваемыми признаками яровой мягкой пшеницы и урожайностью в тот же или другой год (2010-2012 гг.)

Изучаемый признак	Признак в 2010 г.			Признак в 2011 г.			Признак в 2012 г.		
	урож. в 2010 г.	урож. в 2011 г.	урож. в 2012 г.	урож. в 2010 г.	урож. в 2011 г.	урож. в 2012 г.	урож. в 2010 г.	урож. в 2011 г.	урож. в 2012 г.
Ккуст.	0,01	0,12	0,19	0,01*	0,26	0,16*	0,07	0,10*	0,03
Масса раст.	0,15	0,13	0,29	0,14	0,43	0,25*	0,37	-0,09*	0,08
Выс. раст.	-0,08	-0,08*	-0,11*	0,04	0,27	0,14*	0,09	-0,11*	0,01
Кол. общ.	0,24	0,11	0,07	0,33	0,24	0,06*	0,20	-0,13*	-0,12
Кол. ферт.	0,05	0,09	0,07	0,23	0,40	0,14*	0,30	-0,12*	0,04
Кол. стер.	0,38	0,06	0,03	0,16	-0,25	-0,12*	-0,14	0,01*	-0,19
ОЗГК	0,13	0,06	0,11	0,17	0,32	0,11*	0,39	-0,12*	0,07
М 1000	0,32	0,21	0,34	0,00*	0,30	0,34*	0,34	0,45	0,55
МЗГК	0,41	0,24	0,41	0,13	0,38	0,21*	0,52	0,12*	0,34
МЗР	0,29	0,20	0,38	0,09	0,42	0,25*	0,50	0,15*	0,35
Кхоз	0,24	0,14	0,22	-0,07*	0,25	0,19*	0,38	0,44	0,54
Урож.		0,43	0,41	0,43		0,75	0,41	0,75	

Примечание.  $r_{\text{табл.}}=0,30$  ( $p=0,05$ ); \* – коэффициент корреляции для прямой оценки урожайности значимо выше, чем для косвенной ( $p=0,05$ ); Ккуст. – коэффициент продуктивной кустистости; масса раст. – масса одного растения, г; выс. раст. – высота растения, см, кол. общ. – общее количество колосков в колосе, шт.; кол. ферт. – количество продуктивных колосков в колосе, шт.; кол. стер. – количество стерильных колосков в колосе, шт.; ОЗГК – озернённость главного колоса, шт.; М 1000 – масса 1000 зёрен, г; МЗГК – масса зерна главного колоса, г; МЗР – масса зерна растения, г; Кхоз – уборочный индекс, %; урожай. – урожайность, г/м<sup>2</sup>.

**Коэффициенты корреляции между рассматриваемыми признаками яровой мягкой пшеницы и урожайностью в тот же или другой год (2014-2016 гг.)**

Изучаемый признак	Признак в 2014 г.			Признак в 2015 г.			Признак в 2016 г.		
	урож. в 2014 г.	урож. в 2015 г.	урож. в 2016 г.	урож. в 2014 г.	урож. в 2015 г.	урож. в 2016 г.	урож. в 2014 г.	урож. в 2015 г.	урож. в 2016 г.
Ккуст.	-0,12	0,02	0,34*	-0,14*	-0,25	0,29*	-0,23	-0,50	0,50
Масса раст.	0,68	0,41	-0,57	0,04	0,19	-0,38	-0,16	-0,48	0,39
Выс. раст.	0,58	0,48	-0,59	0,31	0,62	-0,52	0,12	-0,01	0,13
Кол. общ.	0,35	0,32	-0,38	0,36	0,46	-0,45	0,17*	0,29*	-0,24
Кол. ферт.	0,54	0,18	-0,44	0,38	0,39	-0,47	0,24*	0,05	-0,21
Кол. стер.	-0,19	0,16	0,04	0,10	0,30	-0,16	-0,03	0,30*	-0,08
ОЗГК	0,57	0,02	-0,27	0,28	0,13	-0,42	-0,06	-0,36	0,28
М 1000	0,10	0,46	-0,21	-0,31*	0,03	0,33*	-0,08	-0,15	0,41
МЗГК	0,74	0,38	-0,48	0,05	0,14	-0,15	-0,09	-0,44	0,50
МЗР	0,70	0,38	-0,42	0,02	0,10	-0,11	-0,14	-0,53	0,55
Кхоз	0,03	-0,07*	0,28*	-0,02	-0,08	0,33*	0,05	-0,21	0,51
Урож.		0,53	-0,42	0,53		-0,39	-0,42	-0,39	

Примечание.  $r_{\text{табл.}}=0,40$  ( $p=0,05$ ).

Во втором наборе сортов не удалось обнаружить ни одного признака, стабильно, на протяжении 3 лет, связанного с урожайностью. Как и ожидалось, коэффициенты корреляции между рассматриваемыми признаками в 2014 или в 2015 г. и урожайностью в 2016 г. изменили свой знак на отрицательный вслед за сменой знака коэффициента корреляции между значениями урожайности в эти годы.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что не обнаружено значимо более тесной взаимосвязи между рассматриваемыми признаками в один год и урожайностью, определённой в другой год, чем взаимосвязь между урожайностью в эти же годы. Хотя в некоторых случаях коэффициенты корреляции между признаками сортов в 2016 г. и урожайностью в 2014 или 2015 гг. значимо отличались от коэффициентов корреляции между урожайностью в 2014 и 2016 гг., а также урожайностью в 2015 и 2016 г., они были статистически незначимы. То есть в нетипичных условиях также не обнаружено ни одного надёжного селек-

ционного критерия оценки урожайности для другого года.

Селекционерам пшеницы известно о тесной взаимосвязи величины урожайности с продуктивностью главного колоса [6]. В наших исследованиях аналогичная взаимосвязь также существовала, но она в основном находилась на уровне средней. Мы предполагаем, что относительно невысокие коэффициенты корреляции между изучаемыми признаками и урожайностью получены по причине рассмотрения сортообразцов с одинаковой длительностью вегетационного периода. О важности использования корректирующего признака – числа дней от всходов до спелости упоминает А.Б. Дьяков [7], который установил, что при непосредственном использовании уборочного индекса в качестве критерия отбора из популяций подсолнечника выделяются самые скороспелые особи.

Меньшую эффективность косвенной оценки урожайности, по сравнению с прямой её оценкой, в первую очередь, связываем с варьированием количественных признаков, которые все-

гда определяются на основе выборки с небольшой площади агроценоза. Наличие более тесного коэффициента корреляции между урожайностью в разные годы, чем коэффициент корреляции между рассматриваемыми признаками в один год и урожайностью в другой год, на наш взгляд, также свидетельствует о наличии компенсации одних элементов структуры урожая другими.

Чрезмерная увлечённость селекционеров косвенными оценками урожайности на основе элементов структуры урожая должна быть смещена либо от наблюдения к прямому селекционному эксперименту, либо к поиску других косвенных критериев урожайности.

Тем не менее корреляционный анализ играет существенную роль в поиске критериев оценки линий на поздних этапах селекции. Такими критериями, как правило, выступают признаки растений, не являющиеся непосредственными элементами продуктивности: степень снижения температуры растительным пологом [8], соотношения массы колоса к массе стебля в цветении [9], способность к длительному сохранению зелёной окраски листьев при засухе и жаре [10]. Приводимые примеры признаков способны сыграть важную роль в селекции, поскольку они определяются до момента уборки поля, в отличие от элементов структуры урожая.

Практика показала, что использование косвенных селекционных критериев, основанных на единичном признаке или на селекционном индексе, ограничено только немногими средами и генетически близким селекционным материалом [11].

### Заключение

Косвенные критерии оценки зерновой продуктивности, основанные на элементах структуры урожая, не более эффективны для выделения высокоурожайных генотипов яровой мягкой пшеницы в какой-либо другой год, чем прямая оценка урожайности.

### Библиографический список

1. Костылев, П. И. Изучение взаимосвязи морфобиологических признаков мягкой озимой пшеницы с зерновой продуктивностью / П. И. Костылев, Д. М. Марченко. – Текст: непосредственный // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – № 1. – С. 76-79.
2. Крохмаль, А. В. Основные маркеры при селекции зерновых тритикале в условиях меняющегося климата / А. В. Крохмаль, А. И. Грабовец. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 5 (49). – С. 14-16.
3. Торбина, И. В. Корреляция признаков урожайности озимой пшеницы в Среднем Предуралье / И. В. Торбина. – Текст: непосредственный // Владимирский земледелец. – 2016. – № 4 (78). – С. 33-35.
4. Розова, М. А. Корреляционные связи урожайности яровой твердой пшеницы с элементами её структуры в зависимости от уровня продуктивности генотипов и погодных условий в Приобской лесостепи Алтайского края / М. А. Розова, А. И. Зиборов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 2 (136). – С. 44-49.
5. Коваленко, С. А. Корреляционные взаимосвязи между урожаем и элементами его структуры у сортов яровой твёрдой пшеницы Донской селекции / С. А. Коваленко, А. И. Грабовец, В. П. Кадушкина. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 5 (67). – С. 31-33.
6. Фоменко, М. А. Взаимосвязи урожайности озимой пшеницы с элементами её структуры на современном этапе в степной зоне Ростовской области / М. А. Фоменко, А. И. Грабовец. – Текст: непосредственный // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3 (65). – С. 22-24.

7. Дьяков, А. Б. Тенденции в развитии научных основ селекции растений / А. Б. Дьяков. – Текст: непосредственный // Масличные культуры: научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2011. – № 2. (148-149). – С. 4-23.

8. Reynolds, M., Singh, R., Ibrahim, A., et al. (1998). Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. *Euphytica*. 100: 85-94. <https://doi.org/10.1023/A:1018355906553>.

9. Siddique, K., Whan, B. (1993). Ear:stem ratios in breeding populations of wheat: significance for yield improvement. *Euphytica*. 73: 241-254. <https://doi.org/10.1007/BF00036703>.

10. Nawaz, A., Farooq, M., Alam, S., Yasmeen, A., Wahid, A. (2013). Stay Green Character at Grain Filling Ensures Resistance against Terminal Drought in Wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*. 15: 1272-1276.

11. Stelling, D., Ebmeyer, E. (1990). Selection in Early Generations of Dried Peas, *Pisum sativum* L. *Plant Breeding*. 105. 10.1111/j.1439-0523.1990.tb01194.x.

### References

1. Kostylev P.I., Marchenko D.M. Изучение взаимосвязи морфобиологических признаков мягкой озимой пшеницы с зерновой продуктивностью // Вестник аграрной науки Дона. – 2010. – No. 1. – С. 76-79.

2. Krokmal A.V., Grabovets A.I. Osnovnyye markery pri selektsii zernovykh tritikale v usloviyakh menyayushchegosya klimata // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – No. 5 (49). – С. 14-16.

3. Torbina I.V. Korrelyatsiya priznakov urozhaynosti ozimoy pshenitsy v Srednem Pre-durale // Vladimirskiy zemledelets. – 2016. – No. 4 (78). – С. 33-35.

4. Rozova M.A., Ziborov A.I. Korrelyatsionnye svyazi urozhaynosti yarovoy tverdoy pshenitsy s elementami ee struktury v zavisimosti ot urovnya produktivnosti genotipov i pogodnykh usloviy v Pri-obskoy lesostepi Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 2 (136). – С. 44-49.

5. Kovalenko S.A., Grabovets A.I., Kadushkina V.P. Korrelyatsionnye vzaimosvyazi mezhd urozhaem i elementami ego struktury u sortov yarovoy tverdoy pshenitsy Donskoy selektsii // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 5 (67). – С. 31-33.

6. Fomenko M.A., Grabovets A.I. Vzaimosvyazi urozhaynosti ozimoy pshenitsy s elementami ee struktury na sovremennom etape v stepnoy zone Rostovskoy oblasti // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 3 (65). – С. 22-24.

7. Dyakov A.B. Tendentsii v razvitii nauchnykh osnov selektsii rasteniy // Maslichnye kultury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kultur. – 2011. – No. 2. (148-149). – С. 4-23.

8. Reynolds, M., Singh, R., Ibrahim, A., et al. (1998). Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. *Euphytica*. 100: 85-94. <https://doi.org/10.1023/A:1018355906553>.

9. Siddique, K., Whan, B. (1993). Ear:stem ratios in breeding populations of wheat: significance for yield improvement. *Euphytica*. 73: 241-254. <https://doi.org/10.1007/BF00036703>.

10. Nawaz, A., Farooq, M., Alam, S., Yasmeen, A., Wahid, A. (2013). Stay Green Character at Grain Filling Ensures Resistance against Terminal Drought in Wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*. 15: 1272-1276.

11. Stelling, D., Ebmeyer, E. (1990). Selection in Early Generations of Dried Peas, *Pisum sativum* L. *Plant Breeding*. 105. 10.1111/j.1439-0523.1990.tb01194.x.

