

УДК 577.2:631:581.115:542.1

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗА МОРФОМЕТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ЗЕРНІВКИ ЛІНІЙ-АНАЛОГІВ М'ЯКОЇ ПШЕНИЦІ, ЩО РІЗНЯТЬСЯ АЛЕЛЯМИ ГЕНІВ КОРОТКОСТЕБЛОВОСТІ

Г. Чеботар *, С. Чеботар *, О. Хохлов **, І. Моцний **, Ю. Сиволап *

*Південний біотехнологічний центр в рослинництві УААН
Овідіопольська дор., 3, Одеса 65036, Україна
e-mail: sabina-chebotar@rambler.ru

**Селекційно-генетичний інститут – Національний центр
насіннезнавства та сортовивчення
Овідіопольська дор., 3, Одеса 65036, Україна

У роботі досліджували розрізнення за морфометричними параметрами зернівки серед ліній-аналогів, що різняться алелями генів короткостебловості. Встановлено, що лінії-аналоги мають достовірні відмінності за параметрами: довжина (l_3) та ширина (d_3) зернівки, площа (S_3) та периметр (P_3) проекції зернівки на площину, компактність зернівки (d_3/l_3). У більшості випадків введення генів короткостебловості призводить до зменшення розмірів зерна.

Ключові слова: м'яка пшениця, розмір зернівки, гени короткостебловості.

Зниження висоти рослин є одним із ефективних шляхів підвищення врожайності озимої м'якої пшениці. При цьому ріст продуктивності відбувається за рахунок збільшення кількості зерен, а не їхньої маси [1].

Генетичний контроль ознаки висоти рослини у м'якої пшениці має складний характер. Згідно з каталогом [9], розрізняють 20 генів короткостебловості, їх позначають *Rht* (reduced plant height), ці гени локалізовані в різних хромосомах і мають відмінні ефекти на агрономічні ознаки [7, 11, 6].

Мета роботи – дослідити, чи існує різниця за параметрами розміру зернівки між лініями-аналогами, що різняться алелями генів короткостебловості.

Матеріалом для дослідження слугували лінії-аналоги озимої м'якої пшениці, створені у 90-х роках ХХ ст. В. В. Хангільдіним у СГІ-НЦ НС. Лінії-аналоги достовірно різняться висотою рослин і алельним складом за генами короткостебловості *Rht8*, *Rht-B1*, *Rht-D1* [4] (табл. 1). Вимірювали по 100 зернівок із кожної лінії за допомогою комп'ютерної програми ImageJ 1.41 (National Institute of Health, USA). Зерна сканували на приладі HP 3570с, для цього їх викладали на сканер борозенкою донизу, орієнтуючи їхні головні вісі вздовж горизонталей зародком в один бік. Зображення знімали на темному фоні, з розділенням 200 dpi (пікселів/дюйм), як рекомендовано [3]. Програма використовує автоматичний пошук і морфометричний аналіз окремих об'єктів на цифровому знімку [3]. Виконавши попередню калібровку за стандартними об'єктами, можна отримувати результати безпосередньо у «натуральних» одиницях розміру. Визначали такі параметри зернівки, як: довжина (l_3) та ширина (d_3), площа (S_3) та периметр (P_3) проекції зернівки на площину. У роботі компактність зерен визначали як відношення ширини зернівки до довжини. Масу 1000 зерен (МТЗ) вимірювали за стандартною методикою (ДСТУ 4138-2002) [2]. Статистичний аналіз результатів проводили у програмах Excel та Statistica.

Таблиця 1

Алелі ліній-аналогів за генами короткостебловості

Лінія-аналог	Висота рослин у 2008 р., см $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	Алелі генів		
		<i>Rht8</i>	<i>Rht-B1</i>	<i>Rht-D1</i>
Кооператорка	147,0±4,5	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Кооператорка К-90	116,6±3,9	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Кооператорка К-70	76,3±3,2	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>a</i>
Одеська 3	135,9±2,7	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Одеська 3 К-75	102,5±2,5	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Одеська 51	112,1±1,66	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Одеська 51 К-73	86,2±8,1	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Степняк	121,5±0,7	<i>x*</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Степняк-2К	94,6±2,7	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Одеська напівкарликова	74,6±2,8	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>a</i>
Карлик 1	81,7±1,2	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>a</i>

Примітка. *x** – алель 214 п.н. за локусом *Xgwm261-2DS*, що є діагностичним маркером до *Rht8* гена.

Із загальної кількості даних, доступних для визначення морфометричних параметрів, аналізували довжину (l_3) та ширину (d_3) зернівки, площу (S_3) та периметр (P_3) проекції зернівки на площину, компактність зерна (d_3/l_3). При виборці у 100 зерен точність визначення середніх розмірів та форм становлять близько 1% від величини, що вимірювалась [3]. За допомогою комп'ютерної програми ImageJ 1.41 лінійні розміри зерен були отримані з точністю до сотих долей мм, а площа – до десятих долей мм² (табл. 2).

Різниця за морфометричними параметрами зернівки та МТЗ між лініями-аналогами показана в табл. 3.

За ознакою S_3 усі лінії-аналоги поступаються рекурентним формам (табл. 2), окрім ліній, створених на основі генотипу Кооператорка. Лінія Кооператорка К-90 достовірно перевищувала за цією ознакою Кооператорку та Кооператорку К-70, які між

Таблиця 2

Характеристика ліній-аналогів за параметрами розміру зерна та масою 1000 зерен, 2008 р.

Лінії-аналоги	$S_3 \pm S_{\bar{x}}$, мм ²	$P_3 \pm S_{\bar{x}}$, мм	$l_3 \pm S_{\bar{x}}$, мм	$d_3 \pm S_{\bar{x}}$, мм	$d_3/l_3 \pm S_{\bar{x}}$	МТЗ $\pm S_{\bar{x}}$, г
Кооператорка	16,08±0,21	17,49±0,19	6,58±0,04	3,13±0,04	0,473±0,003	32,81±0,56
Кооператорка К-90	17,93±0,24	18,35±0,13	7,09±0,05	3,21±0,03	0,454±0,004	39,70±0,47
Кооператорка К-70	15,52±0,27	17,05±0,13	6,62±0,05	2,97±0,04	0,449±0,005	30,87±1,71
Одеська 3	14,74±0,20	17,13±0,13	7,48±0,27	2,77±0,02	0,411±0,003	33,24±1,52
Одеська 3 К-75	13,69±0,29	16,21±0,16	6,38±0,06	2,71±0,04	0,427±0,007	29,92±2,81
Одеська 51	18,01±0,19	18,61±0,11	6,98±0,04	3,28±0,02	0,471±0,003	43,17±0,84
Одеська 51 К-73	15,88±0,31	17,91±0,16	7,27±0,12	2,96±0,16	0,393±0,005	34,05±3,14
Степняк	15,89±0,29	17,63±0,17	6,76±0,06	2,98±0,04	0,442±0,005	23,44±2,67
Степняк 2-К	14,99±0,22	17,20±0,13	6,83±0,06	2,79±0,03	0,411±0,006	24,52±1,16

Примітка. S_3 – площа проекції зерна на площину; P_3 – периметр проекції зерна на площину; l_3 – довжина зерна; d_3 – ширина зерна; d_3/l_3 – компактність зерна; МТЗ – маса 1000 зерен; $S_{\bar{x}}$ – стандартна похибка.

собою достовірно не відрізнялись. Слід звернути увагу, що за рештою показників P_3 , l_3 , d_3 лінія-аналог Кооператорка К-90 мала також достовірно вищі значення, ніж Кооператорка К-70 та Кооператорка, окрім показника d_3 , за яким вона не відрізнялась від Кооператорки. Найбільше лінія Кооператорка К-90 перевищувала рекурентну батьківську форму Кооператорка за довжиною зернівки (+7,75%). У лінії-аналога Кооператорка К-70 ширина зернівки, порівняно з лінією Кооператорка, менша на 5,11%.

За даними попарного порівняння ліній-аналогів Одеська 51 та Одеська 51 К-73 виявлено достовірне збільшення довжини зернівки і зменшення її ширини у лінії Одеська 51 К-73, через що спостерігалися зміни у пропорціях зерен (компактність зерна змінилась на 16,7%), відзначено також зміни площі та периметру проекції зернівки на площину.

При порівнянні ліній Одеська 3 та Одеська 3 К-75 було зафіксовано зменшення довжини зернівки на 14,71%, що призвело до зміни компактності зерна на 3,9%. За показником ширини зерен ці лінії-аналоги не відрізнялись, а периметр проекції зернівки на площину був більший у Одеської 3.

У лінії Степняк 2-К при порівнянні з рекурентним генотипом Степняк довжина зернівки достовірно не змінилась, а ширина зменшилася на 6,38%, що призвело до змін у компактності зерна на 7,0%. За показником периметр проекції зернівки на площину лінія Степняк перевищувала свій аналог.

За компактністю зерна достовірно ($P=0,05$ та $P=0,01$) розрізнялися всі лінії, окрім ліній-аналогів Кооператорка К-90 та Кооператорка К-70, у яких пропорції зерен зберігались. Загалом у короткостеблових ліній-аналогів зернівки були менш компактними, ніж у батьківських форм, за винятком ліній Одеська 3 та Одеська 3 К-75; в цьому випадку зерна були більш компактними у рекурентної форми.

У 2008 р. зафіксовано достовірні відмінності за МТЗ між лініями Кооператорка – Кооператорка К-90 ($P=0,01$), Кооператорка К-90 – Кооператорка К-70 ($P=0,01$), Одеська 51 – Одеська 51 К-73 ($P=0,05$) (табл. 3). Слід звернути увагу, що лінія-аналог Кооператорка К-90 значно перевищувала за МТЗ свого рекурентного батька на 17,33% та лінію-аналог Кооператорка К-70 на 22,24%, також визначено достовірну різницю між Одеською 51 та Одеською 51 К-73 на 21,10%.

Пшениця є однією з найважливіших злакових культур у світі, тому багато дослідників вивчають генетичний контроль врожаю її зерна та пов'язані з цим компоненти [8,

Таблиця 3
Різниця за морфометричними параметрами зерна та масою 1000 зерен (МТЗ)
між лініями-аналогами, 2008 р.

Лінії-аналоги, що порівнювались	Різниця між лініями-аналогами					
	S_3 , мм	P_3 , мм	l_3 , мм	d_3 , мм	d_3/l_3	МТЗ, г
Кооператорка – Кооператорка К-90	-1,85**	-0,86**	-0,51**	-0,08	0,019**	-6,88**
Кооператорка – Кооператорка К-70	0,56	0,44	-0,04	0,16**	0,024**	1,94
Кооператорка К-90 – Кооператорка К-70	2,41**	1,3**	0,47**	0,24**	0,005	8,83**
Одеська 3 – Одеська 3 К-75	1,05**	0,92**	1,1**	0,06	-0,016*	3,32
Одеська 51 – Одеська 51 К-73	2,13**	0,7**	-0,29*	0,32*	0,078**	9,11*
Степняк – Степняк 2-К	0,9*	0,43*	0,07	0,19**	0,031**	-1,10

Примітка. Достовірність різниці оцінювали за критерієм t Стьюдента: * – $P=0,05$; ** – $P=0,01$.

10, 13]. Для вирощування в умовах короткої весни на високих широтах велике значення мають дві найбільш важливі генетичні системи, що впливають на адаптацію рослин: *Rht* та *Ppd* гени. Висота рослин і чутливість до довжини світлового дня відіграють значну роль в адаптації рослин і впливають на агрономічні якості [10].

Деякі автори [5, 13] вважають, що існує компенсаторний ефект між кількістю зерен та їхнім розміром. Цей негативний зв'язок між кількістю та розміром зерен значною мірою залежить від надходження асимілянтів до зерна [13].

Австралійські вчені [11] демонструють кореляцію між зниженням висоти рослин за участю гіберелін-чутливих генів короткостебловості (*Rht8* та *Rht9*) та збільшенням урожаю. Так, за даними аналізу цих дослідників, зменшення висоти рослин зі стандартної до напівкарликової асоційовано з достовірним збільшенням кількості зерен та індексу врожайності, а також зі зменшенням маси зерен, що збігається з даними, раніше отриманими Слафером і співавторами [12]. У тому числі Ребетцке і Річардс [11] відзначають малу та мінімально достовірну негативну кореляцію між висотою рослин і розміром зерен.

Зниження висоти рослин також відбувається за присутності у генотипі генів *Rht-B1b* та *Rht-D1b*. Однак ці гени можуть призводити до зменшення врожаю в умовах не оптимальних для рослини, наприклад, при нестачі водних ресурсів, при слабкому «заякорюванню» рослин у ґрунті (через коротший колеоптиль) та при гальмуванні раннього росту [11].

У наших дослідженнях короткостеблових аналогів переважно розміри зерен достовірно зменшуються при порівнянні їх із вихідними рекурентними формами, про що свідчить зменшення таких параметрів зерна, як S_z , P_z , d_z , окрім зерен лінії-аналога Кооператорка К-90. Щодо l_z , то цей параметр достовірно зменшується у більш короткостеблового аналога Кооператорка К-70 порівняно з Кооператоркою К-90 та у Одеської 3 К-75 порівняно з Одеською 3, але для Одеської 51 К-73 l_z навпаки більше, ніж у вихідної форми Одеська 51, також не виявлено достовірної різниці для аналогів Степняк і Степняк 2-К. Відношення d_z/l_z , що характеризує компактність зерна, мало загальну тенденцію до зменшення у короткостеблових аналогів порівняно з високорослими вихідними формами, окрім пари Одеська 3 та Одеська 3 К-75.

Встановлено, що лінії-аналоги, які різняться за висотою рослин і мають різні алелі генів короткостебловості, характеризуються достовірними відмінностями за морфометричними параметрами зерна. У більшості випадків введення генів короткостебловості призводить до зменшення розмірів зернівки. Це дає змогу припустити, що більша врожайність короткостеблових форм забезпечується іншими елементами продуктивності, дія яких полягає у збільшенні кількості зерен на одиницю площі.

1. Абакуменко А. В. Коррелятивные связи элементов структуры урожая у низкорослых озимых пшениц // Научно-техн. бюлл. ВСГИ. 1987. Вып. 1 (63). С. 6–9.
2. ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості. К.: Держспоживстандарт України, 2003. С. 17–18.
3. Цевма В. М., Хохлов О. М. Інструментальне визначення сортоспецифічних характеристик кольору зерна пшениці // Зб. наук. праць СГІ. 2007. Вип. 10 (50). С. 116–135.
4. Чеботарь Г. А., Лобанова Е. И., Чеботарь С. В. и др. Исследование сортов-аналогов мягкой пшеницы, различающихся по высоте растений, с помощью молекулярных маркеров к генам короткостебельности // Геном рослин. 2008. С. 142–144.

5. *Calderini D. F., Dreccer M. F., Slafer G. A.* Genetic improvement in wheat yield and associated trait. A re-examination of previous results and late trends // *Plant Breeding*. 1995. Vol. 14. P. 108–112.
6. *Drouyer G. J-P., Bonnett D. G., Ellis M. H.* et al. Unravelling the effects of GA-responsive dwarfing gene *RHT13* on yield and grain size // 11th International Wheat Genetics Symposium (24 – 29 August 2008). Brisbane. <http://www.sup.usyd.edu.au>.
7. *Flintham J. E., Borner A., Worland A. J.* et al. Optimizing wheat grain yield: effects of *Rht* (gibberellin-insensitive) dwarfing genes // *J. Agric. Sci. Camb.* 1997. Vol. 128. P. 11–25.
8. *Houshmand S., Vanda M.* Estimate of genetic parameters of grain yield and some agronomic traits in durum wheat using diallel crosses // 11th International Wheat Genetics Symposium (24 – 29 August 2008). Brisbane. <http://www.sup.usyd.edu.au>.
9. *McIntosh R. A., Yamasaki Y., Devos K. M.* et al. Catalogue of gene symbols of wheat. 2008. <http://www.grs.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/>.
10. *Morgunov A. I., Abdullayev K., Abugaliyeva A. I.* et al. Breeding strategies to improve grain yield and quality of shortseason spring wheat for steppe of Kazakhstan and Siberia // 11th International Wheat Genetics Symposium (24–29 August 2008). Brisbane. <http://www.sup.usyd.edu.au>.
11. *Rebetzke G. J., Richards R. A.* Gibberellic acid-sensitive dwarfing genes reduce plant height to increase kernel number and grain yield of wheat // *Australian Journal of Agricultural Research*. 2000. Vol. 51. N 2. P. 235–245.
12. *Slafer G. A., Satorre E. H., Andrade F. H.* Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes // *Genetic Improvement of Field Crops*. 1994. P. 1–68.
13. *Tyagi B. S., Jag S., Gyanendra S.* et al. Grain yield improvement through increased assimilates and efficient partitioning of photosynthesis in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // 11th International Wheat Genetics Symposium (24–29 August 2008). Brisbane. <http://www.sup.usyd.edu.au>.

**CHARACTERISTIC BY MORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE GRAIN
ANALOGUE-LINES OF WINTER BREAD WHEAT, DIFFERING BY ALLELES
OF THE DWARFING GENES**

G. Chebotar*, S. Chebotar*, A. Khokhlov, I. Motsnyy**, Yu. Sivolap***

*South Plant Biotechnology Centre UAAS

3, Ovidiopolska doroha, Odessa 65036, Ukraine

e-mail: sabina-chebotar@rambler.ru

**Plant Breeding and Genetic Institute – National Center of Seed and Cultivar
Investigation UAAS

3, Ovidiopolska doroha, Odessa 65036, Ukraine

The work was done to investigate differences in morphometric parameters of the grains of analogue-lines, that differ by the alleles of the dwarfing genes. Analogue-lines have significant differences by the parameters of the grains: length (l_3) and width (d_3) of the grain, area (S_3) and perimeter (P_3) of projection of the grain on the square, compactness of the grain (d_3/l_3). In the most cases introduction of dwarfing genes decrease grain size.

Key words: bread wheat, grain size, dwarfing genes.

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПО МОРФОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ЗЕРНА
ЛИНИЙ-АНАЛОГОВ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ, РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ
АЛЛЕЛЯМИ ГЕНОВ КОРОТКОСТЕБЕЛЬНОСТИ**

Г. Чеботарь*, **С. Чеботарь***, **А. Хохлов****, **И. Мощный****, **Ю. Сиволап***

**Южный биотехнологический центр в растениеводстве УААН
Овидиопольская дор., 3, Одесса 65036, Украина
e-mail: sabina-chebotar@rambler.ru*

*** Селекционно-генетический институт - Национальный центр сортоизу-
чения и семеноводства УААН
Овидиопольская дор., 3, Одесса 65036, Украина*

В работе исследовали различия по морфометрическим параметрам зерна среди линий-аналогов, различающихся генами короткостебельности. Установлено, что линии-аналоги имеют достоверные отличия по параметрам зерна: длина (l_3) и ширина (d_3) зерновки, площадь (S_3) и периметр (P_3) проекции зерна на плоскость, компактность зерна (d_3/l_3). В большинстве случаев введение генов короткостебельности приводит к уменьшению размеров зерна.

Ключевые слова: мягкая пшеница, размер зерна, гены короткостебельности.

Стаття надійшла до редколегії 18.06.09

Прийнята до друку 27.06.09