

ФУ ХАО¹, БОГУСЛАВСКИЙ Р.Л.^{2✉}, АТРАМЕНТОВА Л.А.¹

¹ Харьковський національний університет імені В. Н. Каразіна,

Україна, 61022, г. Харків, площа Свободи, 4, ORCID: 0000-0003-3791-7958, 0000-0002-7143-9411

² Інститут рослинництва імені В.Я. Юрєва НААН.

Україна, 61060, г. Харків, Московський проспект, 142, ORCID: 0000-0003-3145-4788

✉ boguslavr47@gmail.com, (067) 309-77-36

НАСЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ У ГИБРИДОВ F₁ ПШЕНИЦ ОДНОЗЕРНЯНОК

Цель. Определить тип наследования количественных признаков у гибридов F₁ пшениц однозернянок. **Методы.** Гибридологический и морфометрический анализы. **Результаты.** В комбинациях ♀*T. urartu* × ♂*T. sinskajae* гибридные F₁ зерновки не завязались, в реципрокной комбинации завязываемость составила 28 %. В комбинациях с участием *T. boeoticum*, *T. monosocum*, *T. sinskajae* завязываемость составляла от 37 % до 54 %. В разных комбинациях у гибридов наблюдались сверхдоминирование, гибридная депрессия, доминирование признаков родителя с большим и меньшим значением признака, редко промежуточное наследование. Представляют интерес комбинации, в которых участвует *T. sinskajae*, из-за гетерозиса по массе зерен с колоса, количеству колосков в колосе, количеству зерен в колосе и меньшей пленчатости. В то же время, степень доминирования по этому признаку коррелирует с показателями степени доминирования по длине, ширине и площади флагового листа (r : 0,62–0,71). **Выводы.** Гибриды однозернянки с участием голозерной пшеницы *T. sinskajae* перспективны по признакам «количество колосков в колосе», «количество зерен в колосе», «масса колоса», «масса зерен с колоса», «уменьшенная пленчатость».

Ключевые слова: пшеница однозернянка, гибрид, степень доминирования, продуктивность, пленчатость.

Пшеницу однозернянку человечество культивирует уже 12 тыс. лет [1]. Её зерна – ценный продукт для здорового, профилактического и диетического питания [2]. В настоящее время широкому применению этой культуры препятствует ряд ее недостатков, затрудняющих использование современных технологий: низкая урожайность, склонность к полеганию, ломкость колоса, трудный вымолот. Между тем, среди однозернянок встречаются формы с улучшенными хозяйственными показателями, что делает их ценным материалом для селекционной работы [3]. Прогнозировать эффективность гибридизации для улучшения пшеницы

однозернянки можно по проявлению признаков у гибридов первого поколения [4]. С учётом изложенного целью данного исследования стало выяснение типа наследования количественных и качественных признаков у гибридов, полученных с участием различных форм пшеницы однозернянки.

Материалы и методы

Материалом исследования служили 10 гибридных комбинаций с участием представителей четырех видов пшеницы однозернянки, из которых три реципрокных (табл. 1). Изученные признаки сгруппированы в соответствии с [5], среди которых признаки группы «Source» (длина флагового листа, ширина флагового листа, площадь флагового листа, длина подфлагового листа, ширина подфлагового листа, площадь подфлагового листа), группы «Translocation» (высота растения без колоса и длина верхнего междоузлия), группы «Sink» (длина колоса, количество колосков в колосе, количество зерен в колосе, масса 1000 зерен, масса колоса, масса зерен с колоса, пленчатость). Площадь листьев определяли по методике [6]. Степень доминирования (H_p) признаков у гибридов F₁ определяли по формуле Гриффинга [7]. Связь между признаками оценивали с помощью коэффициента корреляции Пирсона [8]. Расчеты выполнены с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2007 и IBM SPSS 25.

Результаты и обсуждение

Скрещиваемость в гибридных комбинациях однозернянок составляла от нуля до 58 %. При скрещивании дикой *T. urartu* (материнская форма) с культурной голозерной *T. sinskajae* (отцовская форма) зерновки не завязались. В реципрокной комбинации завязываемость составила 28 %. Низкой была завязываемость в скрещивании *T. sinskajae* / *T. boeoticum* UA0300400 – 7 %, причиной чего было различие в сроках цветения родительских форм. В остальных комбинациях завязываемость составляла от 37 % до 58 %.

© ФУ ХАО, БОГУСЛАВСКИЙ Р.Л., АТРАМЕНТОВА Л.А.

Таблица 1. Скрещиваемость образцов пшениц однозернянок. 2020 г.

Номер комбинации	Материнская форма ♀	Отцовская форма ♂	Скрещиваемость %
1	UA0300113*, <i>T. monococcum</i> var. <i>macedonicum</i> **, SYR***	UA0300253*, <i>T. urartu</i> var. <i>spontaneorubrum</i> **, ARM***	53,9
2	UA0300336*, <i>T. boeoticum</i> var. <i>bicolor</i> **, LBN***	UA0300253*, <i>T. urartu</i> var. <i>spontaneorubrum</i> **, ARM***	52,8
3	UA0300113*, <i>T. monococcum</i> var. <i>macedonicum</i> **, SYR***	UA0300336*, <i>T. boeoticum</i> var. <i>bicolor</i> **, LBN***	49,1
4	UA0300400*, <i>T. boeoticum</i> var. <i>thaoudar</i> **, ARM***	UA0300113*, <i>T. monococcum</i> var. <i>macedonicum</i> **, SYR***	57,7
5	UA0300224*, <i>T. sinskajae</i> var. <i>sinskajae</i> **, RUS***	UA0300400*, <i>T. boeoticum</i> var. <i>thaoudar</i> **, ARM***	6,5
6	UA0300400*, <i>T. boeoticum</i> var. <i>thaoudar</i> **, ARM***	UA0300224*, <i>T. sinskajae</i> var. <i>sinskajae</i> **, RUS***	50,1
7	UA0300400*, <i>T. boeoticum</i> var. <i>thaoudar</i> **, ARM***	UA0300401*, <i>T. boeoticum</i> var. <i>kurbagalense</i> **, HUN***	37,4
8	UA0300401*, <i>T. boeoticum</i> var. <i>kurbagalense</i> **, HUN***	UA0300400*, <i>T. boeoticum</i> var. <i>thaoudar</i> **, ARM***	39,8
9	UA0300224*, <i>T. sinskajae</i> var. <i>sinskajae</i> **, RUS***	UA0300253*, <i>T. urartu</i> var. <i>spontaneorubrum</i> **, ARM***	28,2
10	UA0300253*, <i>T. urartu</i> var. <i>spontaneorubrum</i> **, ARM***	UA0300224*, <i>T. sinskajae</i> var. <i>sinskajae</i> **, RUS***	0,0

Примечания: * – номер Национального каталога Украины, ** – вид и разновидность, *** – страна происхождения.

По группе признаков «Source» наблюдаются положительные значения Нр в комбинациях 1 и 6, причем в первой из них преобладает сверхдоминирование, во второй оно имело место в половине случаев. В комбинациях 2, 4, 7, 8 (последние две реципрокные) Нр имеет отрицательный знак (табл. 2).

В этих комбинациях в 16 случаях из 24 наблюдается гибридная депрессия (значение признака ниже, чем у родительской формы с меньшим его значением), в остальных восьми случаях – полное либо неполное доминирование. В трех комбинациях (3, 5, 9) Нр имеет разные значения – от гибридной депрессии до сверхдоминирования.

По группе признаков «Translocation» в комбинациях 2, 5 и 6 (реципрокных) и 9, в которых участвует *T. sinskajae*, наблюдается сверхдоминирование (табл. 2). В комбинации 2 это же имеет место по высоте соломины; по длине верхнего междоузлия полностью доминирует признак родительской формы с большим его значением. В комбинации 1 наследование обоих признаков промежуточное (Нр близко к нулю). В остальных случаях в F_1 имеет место значительное сверхдоминирование

При рассмотрении признаков группы «Sink» Нр для длины колоса в большинстве комбинаций соответствует разной степени положительного доминирования, в комбинации 4 – промежуточному наследованию, в комбинации 7 – слабому отрицательному доминированию, 8 – отрицательному сверхдоминированию. По количеству колосков в колосе в

шести комбинациях из девяти наблюдается положительное сверхдоминирование, в двух комбинациях (3 и 7) соответственно средняя и слабая степени положительного доминирования, в комбинации 4 – отрицательное сверхдоминирование. По количеству зерен в колосе положительным сверхдоминированием характеризовались комбинации 5, 6, 9; отрицательным сверхдоминированием – комбинации 2, 4 и 8; слабым положительным доминированием – 3 и промежуточным наследованием – 7. По массе 1000 зерен в основном имело место отрицательное доминирование, лишь в комбинации 1 – слабое положительное доминирование, 5 – промежуточное наследование. Характер Нр оказался сходным в большинстве комбинаций для массы колоса и массы зерен с колоса: в комбинациях 1, 5, 6, 9, а для массы колоса и 3 это положительное сверхдоминирование; 7 – слабое отрицательное доминирование; 8, а по массе зерен с колоса также 2 и 4 – отрицательное сверхдоминирование. По пленчатости наблюдалось в большинстве комбинаций положительное доминирование либо сверхдоминирование, в комбинациях 5, 6 и 9 – сильное отрицательное доминирование. Следовательно, для этой пары родительских форм для групп признаков «Translocation» и «Sink» эффект цитоплазмы отсутствует. Комбинация 4 характеризуется отрицательным сверхдоминированием по подавляющему большинству признаков, промежуточным наследованием по длине колоса и положительным доминированием по пленчатости.

В целом из общего количества 135 данных (15 признаков × 9 комбинаций) реже всего наблюдается промежуточное наследование – всего в четырех случаях. Чаще всего имело ме-

сто сверхдоминирование положительное (38 случаев) и отрицательное (36 случаев). Несколько реже наблюдается доминирование положительное (26) и отрицательное (31).

Таблица 2. Характер наследования в F1 по группам признаков

№	Родительские формы	Меньшее значение признака		Промежуточное наследование	Большее значение признака	
		гибридная депрессия	доминирование		доминирование	сверхдоминирование
Количество признаков группы Source по типам наследования						
1	UA0300113, <i>T. mon.</i> / <i>T. urartu</i>	–	–	–	3	3
2	UA0300336, <i>T. boeot.</i> / <i>T. urartu</i>	1	5	–	–	–
3	UA0300113, <i>T. mon.</i> / UA0300336, <i>T. boeot.</i>	–	2	–	2	2
4	UA0300400, <i>T. boeot.</i> / UA0300113, <i>T. mon.</i>	6	–	–	–	–
5	<i>T. sinskajae</i> / UA0300400, <i>T. boeot.</i>	–	3	–	1	2
6	UA0300400, <i>T. boeot.</i> / <i>T. sinskajae</i>	–	–	–	2	4
7	UA0300400, <i>T. boeot.</i> / UA0300401, <i>T. boeot.</i>	4	2	–	–	–
8	UA0300401, <i>T. boeot.</i> / UA0300400, <i>T. boeot.</i>	6	–	–	–	–
9	<i>T. sinskajae</i> / <i>T. urartu</i>	1	3	–	2	–
Всего по группе признаков Source		18	15	–	10	11
Количество признаков группы Translocation по типам наследования						
1	UA0300113, <i>T. mon.</i> / <i>T. urartu</i>	–	1	–	1	–
2	UA0300336, <i>T. boeot.</i> / <i>T. urartu</i>	–	–	–	1	1
3	UA0300113, <i>T. mon.</i> / UA0300336, <i>T. boeot.</i>	2	–	–	–	–
4	UA0300400, <i>T. boeot.</i> / UA0300113, <i>T. mon.</i>	2	–	–	–	–
5	<i>T. sinskajae</i> / UA0300400, <i>T. boeot.</i>	–	–	–	–	2
6	UA0300400, <i>T. boeot.</i> / <i>T. sinskajae</i>	–	–	–	–	2
7	UA0300400, <i>T. boeot.</i> / UA0300401, <i>T. boeot.</i>	2	–	–	–	–
8	UA0300401, <i>T. boeot.</i> / UA0300400, <i>T. boeot.</i>	2	–	–	–	–
9	<i>T. sinskajae</i> / <i>T. urartu</i>	–	–	–	–	2
Всего по группе признаков Translocation		8	1	–	2	7
Количество признаков группы Sink по типам наследования						
1	UA0300113, <i>T. mon.</i> / <i>T. urartu</i>	–	1	1	2	3
2	UA0300336, <i>T. boeot.</i> / <i>T. urartu</i>	2	2	–	2	1
3	UA0300113, <i>T. mon.</i> / UA0300336, <i>T. boeot.</i>	–	1	–	4	2
4	UA0300400, <i>T. boeot.</i> / UA0300113, <i>T. mon.</i>	4	1	1	1	–
5	<i>T. sinskajae</i> / UA0300400, <i>T. boeot.</i>	–	1	1	1	4
6	UA0300400, <i>T. boeot.</i> / <i>T. sinskajae</i>	–	2	–	1	4
7	UA0300400, <i>T. boeot.</i> / UA0300401, <i>T. boeot.</i>	–	4	1	2	–
8	UA0300401, <i>T. boeot.</i> / UA0300400, <i>T. boeot.</i>	4	1	–	–	2
9	<i>T. sinskajae</i> / <i>T. urartu</i>	–	2	–	1	4
Всего по группе признаков Sink		10	15	4	14	20
ВСЕГО		36	31	4	26	38

Примечания: *T. mon.* = *T. monosocum*, *T. boeot.* = *T. boeoticum*.

С точки зрения практической значимости представляют интерес комбинации 5, 6 и 9, в которых участвует *T. sinskajae*. Эти комбинации характеризуются гетерозисом по массе зерен с колоса (Нр соответственно 27,9; 26,5; 15,6) и ее составным частям – количеству колосков в колосе (Нр соответственно 3,5; 3,2; 2,1), количеству зерен в колосе (Нр соответственно 1,4; 1,4; 1,3) и сильным отрицательным доминированием меньшей пленчатости, что определяет легкую вымолачиваемость (Нр соответственно –0,7; –0,8; –0,7).

Для определения связи между признаками у гибридов F_1 рассчитывали коэффициенты корреляции между величинами степени доминирования. Обнаружена сильная обратная связь между степенью доминирования по количеству колосков в колосе с одной стороны и высотой соломины, длиной верхнего междоузлия, длиной колоса с другой (r : –0,86; –0,83; –0,81). Сильна связь также между количеством зерен в колосе и теми же тремя признаками и количеством колосков в колосе (r : 0,94; 0,92; 0,87; –0,92). Довольно сильная связь между длиной и площадью флагового листа и площадью подфлагового листа (r : 0,73; 0,66; 0,74), массой зерен с колоса и длиной и площадью флагового листа, длиной подфлагового листа с другой (r : 0,66; 0,62; 0,80).

Ни в одной комбинации не наблюдался гетерозис по массе 1000 зерен. В то же время степень доминирования по этому признаку коррелирует с показателями степени доминирования по длине, ширине и площади флагового листа (r : 0,67; 0,62; 0,71). Таким образом, у гибридных форм пшеницы однозернянки наследование признаков продуктивности находится в сильной связи с наследованием параметров листового аппарата.

Выводы

В комбинациях ♀*T. urartu* × ♂*T. sinskajae* гибридные F_1 зерновки не завязались, в реципрокной комбинации завязываемость составила 28 %. В комбинациях с участием *T. boeoticum*, *T. monococtum* *T. sinskajae* завязываемость составляла от 37 % до 54 %.

В разных комбинациях у гибридов наблюдались сверхдоминирование, гибридная депрессия, доминирование признаков родителя с большим и меньшим значением признака, редко промежуточное наследование.

Гибриды однозернянки с участием голозерной пшеницы *T. sinskajae* перспективны по признакам «количество колосков в колосе», «количество зерен в колосе», «масса колоса», «масса зерен с колоса», «уменьшенная пленчатость».

References

1. Yen C., Yang J., Yuan Z., Ning S., Liu D. Geographic and Historical Origin of Wheat. In: Biosystematics of Triticeae. Springer, Singapore, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9931-2_10.
2. Di Stasio L., Picascia S., Auricchio R., Vitale S., Gazza L., et al. Comparative analysis of in vitro digestibility and immunogenicity of gliadin proteins from durum and einkorn wheat. *Front Nutr.* 2020. 7: 56. doi: 10.3389/fnut.2020.00056.
3. Volante A., Yilmaz V.A., Hidalgo A. et al. Morpho-physiological and qualitative variation of domesticated einkorn (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*). *Genet Resour Crop Evol.* 2020. 67. P. 1493–1502. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-00923-6>.
4. Kostylev P.I., Nekrasova O.A. Study of inheritance types of bread winter wheat several traits and its combining ability. *Grain Economy of Russia.* 2015. 6. P. 16–28. [in Russian]
5. Yao Yanjie, Gao Xiang, Li Xiaoyan, Wu Dan, Chen Qijiao, Dong Jian, Zhao Wanchun, Chen Liangguo, Shi Yinggang Preliminary study on the effect of Source-sink-translocation on yield and quality of Wheat. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica.* 2014. 23 (4). P. 1–8. doi: 10.7606/j.issn.1004-1389.2014.04.001. [in Chinese with English abstract]
6. Anikeev V.V., Kutuzov F.F. A new method for determining the leaf surface of cereals. *Plant Physiology.* 1961. 8 (3). P. 375–378. [in Russian]
7. Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian journal of biological sciences.* 1956. Vol. 9, № 4. P. 463–493. <https://doi.org/10.1071/BI9560463>.
8. Baran E., Warry F. Simple data analysis for biologists. WorldFish Center and the Fisheries Administration. Phnom Penh, Cambodia, 2008. 67 p. Retrieved from: http://www.worldfishcenter.org/resource_centre/WF_1817.pdf.

ФУ ХАО¹, БОГУСЛАВСЬКИЙ Р.Л.², АТРАМЕНТОВА Л.О.¹

¹ Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна, 61022, м. Харків, майдан Свободи 4, e-mail: lubov.atramentova@gmail.com

² Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН, Україна, 61060, м. Харків, Московський проспект, 142

УСПАДКУВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ОЗНАК У ГІБРИДІВ F_1 ПШЕНИЦЬ ОДНОЗЕРНЯНОК

Мета. Визначити тип успадкування кількісних ознак у гібридів F_1 пшениць однозернянок. **Методи.** Гібридологічний та морфометричний аналізи. **Результати.** У комбінаціях ♀*T. urartu* × ♂*T. sinskajae* гібридні зернівки не зав'язалися, у реципрокній комбінації зав'язуваність складала 28 %. У комбінаціях за участі *T. boeoticum*,

T. monococcum, *T. sinskajae* зав'язуваність становила від 37 % до 54 %. У різних комбінаціях у гібридів спостерігалися наддомінування, гібридна депресія, домінування батьківських ознак з більшим і меншим значенням ознаки, рідко проміжне успадкування. Викликають інтерес комбінації, у яких бере участь *T. sinskajae*, через гетерозис за масою зерен з колоса, кількістю колосків у колосі, кількістю зерен у колосі та меншу плівчастість. Водночас ступінь домінування за цією ознакою корелює з показниками ступеня домінування за довжиною, шириною та площею прапорцевого листа ($r: 0,62-0,71$). **Висновки.** Гібриди однозернянки за участю голозерної пшениці *T. sinskajae* перспективні за ознаками «кількість колосків у колосі», «кількість зерен у колосі», «маса колоса», «маса зерен з колоса», «зменшена плівчастість».

Ключові слова: пшениця однозернянка, гібрид, ступінь домінування, продуктивність, плівчастість.

FU HAO¹, BOHUSLAVSKYI R.L.^{2✉}, ATRAMENTOVA L.O.¹

¹ V.N. Karazin Kharkiv Nacional University,
Ukraine, 61022, Kharkiv, Svobody sq., 4

² Plant Production Instytute named after V.Ya. Yuryev of Natl. Acad. Agr. Sci. of Ukraine,
Ukraine, 61060, Kharkiv, Moskovskiyi avenue, 142

INHERITANCE OF QUANTITATIVE TRAITS IN F_1 HYBRIDS OF EINKORN WHEAT

Aim. Determine the type of quantitative traits inheritance in einkorn wheat F_1 hybrids. **Methods.** Hybridological and morphometric analyses. **Results.** In the combination ♀*T. urartu* × ♂*T. sinskajae*, the hybrid caryopses did not set; in the reciprocal combination, the set rate was 28 %. In combinations involving *T. boeoticum*, *T. monococcum*, *T. sinskajae* the setting ranged from 37 % to 54 %. In different combinations, hybrids showed overdominance, hybrid depression, dominance of parental traits with a higher and lower trait value, rarely intermediate inheritance. The combinations in which *T. sinskajae* is involved are of interest due to heterosis in grain weight of per ear, spikelet number in ear, grain number in ear and less hullness. At the same time, the dominance degree for this trait correlates with the indicators of the dominance degree in length, width and area of flag leaf ($r: 0.62-0.71$). **Conclusions.** Einkorn hybrids with the participation of naked wheat *T. sinskajae* are promising in terms of spikelet number per ear, grain number per ear, ear weight, grain weight per ear, reduced hullness.

Keywords: einkorn wheat, hybrid, dominance degree, productivity, hullness.