Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(5):537-544
DOI 10.18699/VJ17.271

Комбинационная способность сортов ячменя ярового в системе прямых диаллельных скрещиваний

Е.В. Компанец ✉, М.Р. Козаченко, Н.И. Васько, А.Г. Наумов, П.Н. Солонечный, С.И. Святченко

Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева Национальной академии аграрных наук Украины, Харьков, Украина

Для эффективной комбинационной селекции необходимо знать комбинационную способность исходного материала. Целью исследований было определение особенностей общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способности и соотношение варианс остистых и безостых сортов ячменя ярового. Исследование проведено в 2014–2015 гг. В скрещиваниях по прямой диаллельной схеме использованы сорта ячменя ярового и их родительские формы. В F_1 установлены особенности комбинационной способности остистых и безостых сортов ячменя ярового и их родительских форм. Выделены сорта с высокими эффектами ОКС по признакам: продуктивность растения – сорт Бадёрый; число зерен в колосе – Джерело, Бадёрый, Витраж и Малёвнычий; масса 1000 зерен – Джерело, Бадёрый, Этикет, Гранал, Модерн, Витраж и Tolar; длина колоса – Джерело, Гранал и Витраж; число колосков в колосе – Джерело и Малёвнычий; высота растения – Джерело, Бадёрый и Гранал; продуктивная кустистость – Звершення и Бадёрый; общая кустистость – Звершення и Бадёрый; масса соломы – Бадёрый. Данные сорта имели наибольшее число генов, которые положительно определяют указанные признаки. Уровень комбинационной способности родительских компонентов скрещивания может по-разному проявляться у сортов, созданных на основе их гибридизации. Установлено превышение значений варианс ОКС над значениями варианс СКС за 2014–2015 гг. в сорте Звершення по признаку масса 1000 зерен (4.20 и 4.03 по ОКС и 3.78 и 3.84 по СКС соответственно), что указывает на детерминацию этого признака в основном аддитивными эффектами генов. Определены высокие и низкие эффекты СКС по признакам продуктивность (масса зерна) растения и ее структурные элементы (продуктивная кустистость, число зерен в колосе, масса 1000 зерен). Больше всего высоких эффектов СКС отмечено по признаку масса 1000 зерен.

Ключевые слова: ячмень; сорт; диаллельные скрещивания; признак растения; F_1; общая и специфическая комбинационная способность; варианса ОКС и СКС; аддитивные и неаддитивные эффекты генов.

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:
Компанец Е.В., Козаченко М.Р., Васько Н.И., Наумов А.Г., Солонечный П.Н., Святченко С.И. Комбинационная способность сортов ячменя ярового в системе прямых диаллельных скрещиваний. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(5):537-544. DOI 10.18699/VJ17.271

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Kompanets E.V., Kozachenko M.R., Vasko N.I., Naumov A.G., Solonechniy P.N., Sviatchenko S.I. Combining ability of spring barley varieties in the direct diallel cross system. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektsii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(5): 537-544. DOI 10.18699/VJ17.271 (in Russian)

Combining ability of spring barley varieties in the direct diallel cross system

E.V. Kompanets ✉, M.R. Kozachenko, N.I. Vasko, A.G. Naumov, P.N. Solonechniy, S.I. Sviatchenko

Plant Production Institute nd. a. V.Ya. Yuriev of NAAS, Kharkiv, Ukraine

It is necessary to know the combining ability of starting material for effective breeding to create varieties. The research aim was to determine the peculiarities of the general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) and the ratio of their variances for awned and awnless varieties and their parental forms in F_1. The study was conducted in 2014–2015. Spring barley varieties and their parental forms were used in direct diallel crosses. In 2014–2015, peculiarities of the combining ability of awned and awnless spring barley varieties and their parental forms were determined in F_1. We highlighted varieties with strong GCA effects: 'Badioryy' for plant productivity; 'Dzherelo', 'Badioryy', 'Vitrazh' and 'Maliovnychyy' for grain number per spike; 'Dzherelo', 'Badioryy', 'Etiket', 'Granal', 'Modern', 'Vitrazh', and 'Tolar' for 1000-grain weight; 'Dzherelo', 'Granal', and 'Vitrazh' for spike length; 'Dzherelo' and 'Maliovnychyy' for spikelet number per spike; 'Dzherelo', 'Badioryy' and 'Granal' for plant height; 'Zvershennya' and 'Badioryy' for productive tillering; 'Zvershennya' and 'Badioryy' for total tillering; and 'Badioryy' for straw weight. These varieties had the largest numbers of genes that positively determine these traits. The level of combining ability of parental forms may be manifested differently in varieties created via hybridization of them. GCA variances exceeded SCA variances in 'Zvershennya' in 2014–2015 for the trait "1000-grain weight" (GCA – 4.20 and 4.03, respectively; SCA – 3.78 and 3.84, respectively), therefore, it is determined mainly by additive gene effects. Strong and weak SCA effects were observed for plant productivity (grain weight) and its structural components (productive tillering, grain number per spike, 1000-grain weight). Strong SCA effects were the most numerous for the trait "1000-grain weight."

Key words: barley; variety; diallel crosses; plant trait; F_1; general combining ability (GCA); specific combining ability (SCA); GCA and SCA variances; additive and non-additive gene effects.

Received 02.10.2016
Accepted for publication 27.02.2017
© AUTHORS, 2017

✉ e-mail: kompanets.k@mail.ru

Основным методом в селекции ячменя ярового как строгого самоопылителя является метод комбинационной селекции с последующим индивидуальным отбором константных линий и выделением лучших в конкурсном сортоиспытании. В последнее время за рубежом созданы гетерозисные гибриды ячменя (Polok et al., 1997; Gupta, Singh, 1999; Shahnejat-Bushehri, 2005; Soylu, 2006), технология получения которых очень трудоемка. Поэтому направление гетерозисной селекции ячменя заслуживает дальнейшего исследования. В настоящее время стоит задача повышения эффективности общепринятого метода комбинационной селекции ячменя.

Увеличение объемов производства ячменя в первую очередь зависит от создания и быстрого внедрения в производство сортов с желаемыми ценными хозяйственными признаками и высокой урожайностью. Успех селекции в значительной мере зависит от наличия исходного материала с необходимыми признаками.

Подбор родительских пар для скрещиваний дает возможность в результате комбинационной селекции получить ценные формы по продуктивности и другим количественным признакам. Наиболее эффективным методом оценки комбинационной способности генотипов является система диаллельных скрещиваний (Турбин и др., 1974).

В работе М.Д. Варлахова с коллегами (1977) отмечено, что при использовании линий и сортов с высокой комбинационной способностью можно получить более урожайные сорта, чем в случае линий и сортов с низкой комбинационной способностью. Следовательно, комбинационная способность дает возможность селекционеру предсказать результаты будущих скрещиваний и сконцентрировать внимание на перспективном материале (Савченко, 1984).

Результаты неодинакового уровня ОКС и СКС сортов ячменя ярового, в основном по морфо-биологическим особенностям и комплексу биологических признаков, приведены в исследовании (Sprague, Tatum, 1942). Зависимость эффектов общей и специфической комбинационной способности сортов ячменя по продуктивности, высоте, массе зерна с колоса, продуктивной кустистости, числу зерен в колосе, массе 1000 зерен от генотипа показана в ряде работ (Турбин и др., 1974; Савченко, 1984; Ващенко, 2009; Донцов, 2011; Гудзенко, 2012; Звягінцева, Петренкова, 2012; Васильківський, Гудзенко, 2013; Potla et al., 2013; Ващенко, Шевченко, 2014; Milomirka et al., 2014).

S. Singh с коллегами (2007) установили различную комбинационную способность по продуктивности и ее компонентам у ячменя и показали, что эти признаки определяются неаддитивными эффектами генов.

Высокие показатели варианс ОКС и СКС сортов ячменя установили K.K. Pawar и A.K. Singh (2013), в результате чего выделены ценные сорта для гибридизации, а также определены комбинации с высокими эффектами СКС по большинству признаков, что свидетельствует о преобладании у этих сортов неаддитивных эффектов генов и возможности использования в селекции более поздних поколений гибридов.

X. Zhang с коллегами (2015) определили различные уровни ОКС и СКС сортов ячменя и выделили сорта с высокими эффектами ОКС и комбинации с высоким гетерозисом по большинству признаков.

Разные уровни варианс ОКС и СКС по отдельным признакам ячменя показали B. Singh с коллегами (2013), они определили превышение неаддитивных эффектов генов по урожайности зерна и аддитивные эффекты генов по компонентам продуктивности.

S. Pesaraklu с коллегами (2016) установили высокие эффекты ОКС по признакам: число зерен в колосе, масса зерна с колоса, а высокие эффекты СКС – еще и по массе 1000 зерен сортов ячменя.

Целью настоящих исследований была оценка общей и специфической комбинационной способности, соотношение варианс ОКС и СКС остистых и безостых сортов и их родительских форм в F_1 гибридов; установление зависимости комбинационной способности сортов от ее уровня у исходных компонентов скрещивания, на основе которых они созданы, а также определение эффективности отборов в комбинационной селекции ячменя.

Материалы и методы

Исследования проведены в 2014–2015 гг. В скрещиваниях по прямой диаллельной схеме использованы сорта ячменя ярового и их родительские формы: безостый сорт Модерн и его отцовская (безостый сорт Гранал) и материнская (остистый сорт Звершення) формы; безостый сорт Витраж и его материнская (остистый сорт Звершення) и отцовская (безостый сорт Гранал) формы; остистый сорт Этикет и его остистая материнская (линия 81-97-7, подобная сорту Джерело) и отцовская остистая (сорт Звершення) формы; остистый сорт Взирец и его остистая материнская (линия 90-6-108, подобная сорту Бадёрый) и остистая отцовская (сорт Звершення) формы; остистый сорт Малёвнычий и его остистая материнская (сорт Pasadena) и остистая отцовская (сорт Tolar) формы.

Скрещивания проводили в 2013 и 2014 гг. Семена высевали кассетной сеялкой СКС-6-10 однометровыми рядками с междурядьями 15 см в двух повторениях. Растения F_1 вместе с корнями собирали вручную. Анализировали 50 растений по отдельным количественным признакам: продуктивность (масса зерна) растения, ее структурные элементы (продуктивная кустистость, число зерен в колосе, масса 1000 зерен), а также длина колоса, число колосков в колосе, масса зерна с колоса, общая кустистость, масса соломы, высота растения и отношение массы зерна к массе соломы. Достоверность влияния факторов на изменчивость показателей признаков растений определяли с помощью дисперсионного анализа с использованием F-критерия Фишера (Доспехов, 1985). Общую комбинационную способность и специфическую комбинационную способность и соотношение их варианс определяли по Griffing, согласно статистическим методам генетического анализа (Федин и др., 1980).

Результаты

По результатам исследований в 2014–2015 гг. в F_1 гибридов в системе прямых диаллельных скрещиваний выявлены особенности уровней ОКС и СКС и соотношение их варианс пяти сортов ячменя ярового и четырех их родительских форм по конкретным количественным признакам растений.

Table 1. Effects of the general combination ability for quantitative traits in F_1 hybrids of spring barley varieties

Variety	Year	Grain weight per plant	Productive tilling capacity	Grains per ear	1000 grain weight	Total tilling capacity	Ear length	Spikelets per ear	Grain weight per ear	Straw weight	Plant height
Vzirets	2014	–0.40*	–0.06	–0.63*	0.29*	0.08	–0.23*	–0.89*	–0.12*	–0.04	–3.20*
	2015	0.20	0.34*	–0.81*	–0.32*	0.29*	–0.37*	–0.32	–0.06	0.06	–1.05
Gerelo	2014	–0.08	0.03	0.83*	0.47*	0.14*	0.60*	0.97*	0.00	–0.40*	4.15*
	2015	0.78*	0.21*	1.13*	0.19*	–0.17	0.88*	1.33*	0.15*	0.57*	2.87*
Zvershennya	2014	0.65*	0.46*	–0.76*	–2.05*	0.39*	0.13*	–0.10	–0.19*	0.76*	–2.24*
	2015	–0.09	0.21*	–1.39*	–2.01*	0.31*	–0.88*	–1.18*	–0.13*	–0.27	–5.36*
Baderyy	2014	0.21*	0.47*	0.48*	0.45*	0.33*	–0.26*	0.08	–0.16*	0.40*	3.11*
	2015	1.18*	0.55*	0.58*	0.50*	0.41*	0.41*	0.65*	0.10*	0.98*	4.99*
Etiket	2014	0.32*	0.11	0.06	0.76*	–0.06	0.21*	0.32*	0.00	0.27*	2.38*
	2015	0.11	–0.18	–0.68*	0.79*	–0.31*	–0.51*	–0.48	0.00	–0.32*	–0.20
Granal	2014	–0.63*	–0.56*	–0.32*	0.55*	–0.40*	0.15*	–0.37*	0.07*	–0.37*	6.11*
	2015	–0.01	0.06	1.02*	0.60*	–0.11	0.70*	0.67*	–0.03	0.02	4.41*
Modern	2014	–0.47*	–0.25*	–0.16	0.33*	–0.36*	0.29*	–0.39*	0.05*	–0.45*	1.07*
	2015	–0.68*	–0.38*	0.58*	0.46*	–0.17	0.20	–0.31	0.03	–0.58*	–0.63
Vitrazh	2014	0.17*	0.18*	0.78*	0.39*	0.02	0.52*	0.66*	0.14*	–0.24*	–0.55
	2015	–0.44*	–0.17	0.56*	0.43*	0.09	0.41*	0.01	–0.02	0.11	1.72*
Malevnychiy	2014	0.61*	0.13*	0.86*	–0.32*	0.15*	–0.43*	0.88*	0.10*	0.38*	–2.51*
	2015	–0.28*	–0.30*	0.61*	–0.40*	–0.23	–0.10	1.00*	0.01	–0.07	–0.55
Pasadena	2014	–0.31*	–0.20*	–0.83*	–0.49*	–0.20*	–0.60*	–0.97*	0.03*	–0.45*	–4.58*
	2015	–0.45*	–0.03	–1.32*	–0.51*	0.34*	–0.50*	–1.14*	–0.08*	–0.12	–4.32*
Tolar	2014	–0.07	–0.31*	–0.30*	0.21*	–0.09	–0.38*	–0.17	0.07*	0.14	–3.74*
	2015	–0.34*	–0.32*	–0.27	0.26*	–0.44*	–0.25*	–0.24	0.03	–0.38*	–1.90*

* Different from the Vzirets reference at LSD_{05}

Уровень эффектов общей комбинационной способности сортов и их родительских форм ячменя ярового по количественным признакам F_1. У компонентов скрещивания уровень ОКС был неодинаковый (табл. 1). В 2014–2015 гг. сорта ячменя ярового и их родительские формы по соответствующим количественным признакам характеризовались следующими уровнями эффектов ОКС: у сорта Взирец за два года низкие (достоверно отрицательные) эффекты ОКС отмечены по признакам: число зерен с колоса (–0.63 и –0.83 соответственно по годам) и длина колоса (–0.23 и –0.37); средние (недостоверные) – по признаку масса соломы (–0.04 и 0.06); высокие (достоверно положительные) и средние – по признакам: продуктивная кустистость (–0.06 и 0.34) и общая кустистость (0.08 и 0.29).

Сорт Джерело имел высокие (достоверно положительные) эффекты ОКС за два года по признакам: число зерен с колоса (0.83 и 1.13); масса 1000 зерен (0.47 и 0.19); длина колоса (0.60 и 0.88); число колосков в колосе (0.97 и 1.33); отношение массы зерна к массе соломы (0.07 и 0.04) и высота растений (4.15 и 2.87); высокие и средние – по признакам: масса зерна с растения (–0.08 и –0.78); продуктивная кустистость (0.03 и 0.21) и общая кустистость (0.14 и –0.17) и масса зерна с колоса (0.00 и 0.15).

Высокие эффекты ОКС у сорта Звершення установлены по признакам продуктивная (0.46 и –0.21) и общая (0.39 и 0.31) кустистость; низкие – по признакам: число зерен с колоса (–0.76 и –1.39); масса 1000 зерен (–0.25 и –2.01); масса зерна с колоса (–0.19 и –0.13) и высота растений (–2.24 и –5.36); низкие и средние – по признаку число колосков в колосе (–0.10 и –1.18); высокие и средние – по признакам: масса зерна с растения (0.65 и –0.09) и масса соломы (0.76 и –0.27).

Сорт Бадёрый имел высокие эффекты ОКС по признакам: масса зерна с растения (0.21 и 1.18); продуктивная кустистость (0.47 и 0.55); число зерен с колоса (0.48 и 0.58); масса 1000 зерен (0.45 и 0.50); общая кустистость (0.33 и 0.41); масса соломы (0.40 и 0.98) и высота растения (3.11 и 4.99); высокие и средние – по признаку число колосков в колосе (0.08 и 0.65).

У сорта Этикет высокие эффекты ОКС за 2014 и 2015 гг. были по признаку масса 1000 зерен (0.76 и 0.79); средние – по признакам: масса зерна с колоса (0.00 и 0.00) и продуктивная кустистость (0.11 и –0.18); высокие и сред-

ние – по признакам: масса зерна с растения (0.32 и 0.11); число колосков в колосе (0.32 и –0.48); отношение массы зерна к массе соломы (–0.01 и 0.08) и высота растений (2.38 и 0.20); низкие и средние – по признакам: число зерен в колосе (0.06 и –0.68) и общая кустистость (–0.06 и –0.31).

Высокие эффекты ОКС у сорта Гранал отмечены по признакам: масса 1000 зерен (0.55 и 0.60); длина колоса (0.15 и 0.70) и высота растений (6.11 и 4.41); высокие и средние – по признаку масса зерна с колоса (0.07 и 0.03); низкие и средние – по признакам: масса зерна с растения (–0.63 и –0.01); продуктивная кустистость (0.56 и 0.06); число зерен в колосе (–0.32 и 1.02); общая кустистость (–0.40 и –0.11); число колосков в колосе (–0.37 и 0.67) и масса соломы (0.37 и 0.02); средние – по отношению массы зерна к массе соломы (–0.03 и 0.02).

Сорт Модерн высокие эффекты ОКС имел по массе 1000 зерен (0.33 и 0.46); низкие – по признакам: масса зерна с растения (–0.47 и –0.68); продуктивная кустистость (–0.25 и –0.38) и масса соломы (–0.45 и –0.58); высокие и средние – по признакам: число зерен в колосе (–0.16 и 0.58); длина колоса (0.29 и 0.20); масса зерна с колоса (0.05 и 0.03) и высота растений (1.07 и –0.63); низкие и средние – по общей кустистости (–0.36 и –0.17); числу колосков в колосе (–0.39 и –0.31) и отношению массы зерна к массе соломы (0.02 и 0.04).

У сорта Витраж высокие эффекты ОКС отмечены по признакам: число зерен в колосе (0.78 и 0.56); масса 1000 зерен (0.39 и 0.43) и длина колоса (0.52 и 0.41); высокие и средние – по признакам: продуктивная кустистость (0.18 и –0.17); число колосков в колосе (0.66 и 0.01); масса зерна с колоса (0.14 и 0.02) и высота растения (–0.55 и 1.72); средние – по общей кустистости (0.02 и 0.09); низкие и средние – по признаку масса соломы (–0.24 и 0.11).

Высокие эффекты ОКС у сорта Малёвнычий наблюдали по признакам: число зерен с колоса (0.86 и 0.61) и число колосков в колосе (0.88 и 1.00); низкие – по признакам: масса 1000 зерен (–0.32 и –0.40) и высота растения (–2.51 и –0.55); высокие и средние – по признакам: общая кустистость (0.15 и –0.23); масса зерна с колоса (0.10 и 0.01) и масса соломы (0.38 и –0.07); низкие и средние – по признакам: длина колоса (–0.43 и –0.10) и отношение массы зерна к массе соломы (0.02 и 0.06).

Сорт Pasadena низкие эффекты ОКС имел по признакам: масса зерна с растения (–0.31 и –0.45); число зерен с колоса (–0.83 и –1.32); масса 1000 зерен (–0.49 и –0.51); длина колоса (–0.60 и –0.50); число колосков в колосе (–0.97 и –1.14) и высота растений (–4.58 и –4.32); низкие и средние – по признакам: продуктивная кустистость (–0.20 и –0.03); общая кустистость (–0.20 и 0.34); масса соломы (–0.45 и –0.12) и отношение массы зерна к массе соломы (0.01 и –0.04).

У сорта Tolar высокие эффекты ОКС установлены по признаку масса 1000 зерен (0.21 и 0.26); низкие – по признакам: продуктивная кустистость (–0.31 и –0.32); длина колоса (–0.38 и –0.25) и высота растения (–3.74 и –1.90); низкие и средние – по признакам: масса зерна с растения (–0. 07 и –0.34); число зерен с колоса (–0.30 и –0.27); общая кустистость (–0.09 и –0.44) и масса соломы (0.14 и –0.38); высокие и средние – по признаку масса зерна с колоса (0.07 и 0.03); средние – по признакам: число колосков в колосе (–0.17 и –0.24) и отношение массы зерна к массе соломы (–0.03 и 0.01).

Таким образом, за два года (2014 и 2015) высокие эффекты ОКС у сортов отмечены по признакам: продуктивность растения – Бадёрый; число зерен с колоса – Джерело, Бадёрый, Витраж и Малёвнычий; масса 1000 зерен – Джерело, Бадёрый, Этикет, Гранал, Модерн, Витраж и Tolar; длина колоса – Джерело, Гранал и Витраж; число колосков в колосе – Джерело и Малёвнычий; высота растения – Джерело, Бадёрый и Гранал; продуктивная кустистость – Звершення и Бадёрый; общая кустистость – Звершення и Бадёрый; масса соломы – Бадёрый. Эти сорта могут иметь больше генов, которые положительно определяют уровень показателей указанных признаков гибридов (Федин и др., 1980). Лучшими сортами с высокой ОКС по комплексу (большинству) признаков являются сорта Бадёрый (7 признаков) и Джерело (5), в меньшей степени это касается сортов Витраж (3), Гранал (3), Малёвнычий (2), Звершення (2), а также Этикет, Модерн и Tolar (по одному признаку).

Соотношение варианс ОКС и СКС по количественным признакам растений сортов и их родительских форм в F_1 гибридов. Важное значение в оценке комбинационной способности сортов имеет не только уровень общей и специфической комбинационной способности, но и соотношение их варианс. В 2014–2015 гг. в системе прямых диаллельных скрещиваний определено соотношение варианс ОКС и СКС сортов и их родительских форм по количественным признакам растений в F_1 гибридов. Выявлено неодинаковое соотношение значений варианс ОКС и СКС сортов и их родительских форм в F_1 гибридов.

Превышение значений варианс ОКС над значениями варианс СКС отмечено у сорта Звершення по признаку масса 1000 зерен (4.20 и 4.03 – ОКС и 3.78 и 3.84 – СКС в 2014 и 2015 гг. соответственно). По признаку масса 1000 зерен у сорта Звершення преобладают аддитивные эффекты генов, поэтому отбор по фенотипу будет эффективным. По остальным признакам у сорта Звершення и по всем признакам у всех других сортов было превышение значений варианс СКС над вариансами ОКС, что свидетельствует о преобладании неаддитивных эффектов генов, поэтому отбор будет эффективным по генотипу и его необходимо проводить в поздних поколениях гибридов.

Эффекты СКС сортов по признакам: продуктивность растения, продуктивная кустистость, число зерен с колоса и масса 1000 зерен в F_1 гибридов в системе прямых диаллельных скрещиваний. Определены достоверно высокие эффекты СКС безостых и остистых сортов, в частности по продуктивности (масса зерна) растения в 2014 и 2015 гг. в F_1 гибридных комбинациях (табл. 2) Джерело × Взирец (0.63 и 1.97 соответственно по годам), Звершення × Взирец (1.35 и 1.80), Звершення × Малёвнычий (4.14 и 1.02), Бадёрый × Витраж (1.27 и 1.01), Витраж × Tolar (1.15 и 1.49) и Pasadena × Tolar (0.93 и 1.35); низкие – в гибридных комбинациях Взирец × Витраж (–1.02 и –1.85) и Гранал × Tolar (–1.00 и –1.14).

По признаку продуктивная кустистость высокие эффекты СКС были в F_1 Звершення × Взирец (0.93 и 1.03), Звершення × Малёвнычий (1.49 и 0.82), Бадёрый × Гранал (0.56 и 1.87), Бадёрый × Малёвнычий (0.43 и 0.72), Мо-

Table 2. Effects of the general combination ability for plant performance in the F_1 progeny of direct diallel crosses

Variety	Year	Parental form no.									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Gerelo	2014	–2.07*	0.71*	–0.33	0.63*	–0.94*	1.65*	0.41*	–0.61*	0.70*	0.72*
	2015	0.31	–1.19*	–0.21	1.97*	0.68	–0.80	–0.84	1.07*	–1.83*	0.25
2. Zvershennya	2014		0.73*	–1.20*	1.35*	1.38*	0.03	0.23	–1.24*	–1.58*	4.14*
	2015		0.19	3.41*	1.80*	–2.05*	–1.08*	–1.81*	–0.70	0.84	1.02*
3. Etiket	2014			0.72*	–1.72*	1.41*	–1.10*	–0.44*	0.69*	–0.55*	–0.18
	2015			0.46	–0.40	0.30	0.42*	0.24	–0.35	2.39*	–1.73*
4. Baderyy	2014				0.24	0.22	0.96*	1.27*	–0.35	0.76*	–0.37
	2015				1.42*	3.08*	–2.65*	1.01*	0.42	–0.93*	0.40
5. Vzirets	2014					0.53*	–0.18	–1.02*	0.21	2.17*	0.29
	2015					–1.33*	0.09	–1.85*	–0.84	–1.35*	2.49*
6. Granal	2014						0.10	0.36	0.34	–1.00*	–1.53*
	2015						0.54	0.20	–0.68	–1.14*	3.04*
7. Modern	2014							–0.80*	–0.42*	–0.21	0.66*
	2015							0.72	0.59	0.83	–0.99*
8. Vitrazh	2014								0.19	1.15*	0.86*
	2015								–0.15	1.49*	0.32
9. Pasadena	2014									0.93*	1.10*
	2015									1.35*	0.09
10. Tolar	2014										–0.94
	2015										–1.52*
11. Malevnychiy	2014										
	2015										

* Significant at $P < 0.05$.

дерн × Малёвнычий (1.35 и 0.80); низкие – в гибридной комбинации Джерело × Бадёрый (–0.47 и –0.73).

Высокие эффекты СКС по признаку число зерен с колоса были в гибридных комбинациях Джерело × Модерн (3.63 и 2.23), Джерело × Tolar (1.57 и 5.08), Взирец × Pasadena (2.67 и 1.54), Модерн × Pasadena (2.04 и 2.88), низкие – Взирец × Tolar (–1.98 и –2.13) и Pasadena × Малёвнычий (–2.93 и –2.30).

По признаку масса 1 000 зерен с высокими эффектами ОКС (табл. 3) выделены гибридные комбинации Джерело × Звершення (3.59 и 3.09), Джерело × Взирец (2.03 и 1.30), Звершення × Этикет (1.30 и 1. 44), Звершення × Гранал (0.71 и 0.98), Звершення × Tolar (1.00 и 1.27), Звершення × Малёвнычий (0.68 и 0.63), Этикет × Гранал (0.76 и 0.93), Этикет × Витраж (1.41 и 0.95), Этикет × Pasadena (1.94 и 1.98), Этикет × Малёвнычий (2.02 и 1.68), Бадёрый × Взирец (1.15 и 0.89), Бадёрый × Витраж (1.97 и 1.98), Бадёрый × Pasadena (2.05 и 2.12), Бадёрый × Tolar (2.65 и 2.66), Взирец × Гранал (2.86 и 3.04), Взирец × Модерн (0.37 и 0.18), Взирец × Tolar (2.34 и 2.43), Взирец × Малёвнычий (0.67 и 0.79), Гранал × Витраж (1.13 и 1.58), Гранал × Pasadena (0.21 и 0.37), Модерн × Витраж (0.54 и 0.87), Модерн × Pasadena (1.42 и 1.61), Модерн × Tolar (0.82 и 0.80), Модерн × Малёвнычий (2.00 и 1.90), Витраж × Pasadena (0.82 и 0.54), Витраж × Tolar (0.67 и 0.13), Витраж × Малёвнычий (0.89 и 0.58), Pasadena × Малёвнычий (0.57 и 0.57); низкие – Джерело × Этикет (–0.37 и –0.41), Джерело × Гранал (–1.35 и –1.77), Джерело × Pasadena (–1.16 и –1.51), Звершення × Взирец (–0.40 и –0.25), Звершення × Модерн (–3.97 и –4.24), Звершення × Витраж (–1.33 и –1.35), Звершення × Pasadena (–0.85 и –2.02), Этикет × Взирец (–3.26 и –3.15), Этикет × Tolar (–0.71 и –0.43), Взирец × Витраж (–3.79 и 4.04), Взирец × Pasadena (–2.36 и –1.70), Гранал × Tolar (–0.94 и –1.29), Pasadena × Tolar (–0.15 и –0.43), Tolar × Малёвнычий (–0.63 и –0.34).

Обсуждение

Безостые сорта Модерн (линия 04-476, отбор в 2004 г.) и Витраж (линия 06-2168, отбор в 2006 г.) созданы в результате скрещиваний в разные годы одних и тех же сортов (остистого Звершення и безостого Гранал).

В наших исследованиях в скрещиваниях по прямой диаллельной схеме использованы не только безостые сорта Модерн и Витраж, но также их исходные сорта. Поэтому интересно сравнить их комбинационную способность по ОКС в F_1 (см. табл. 1).

Table 3. Effects of the general combination ability for 1000 grain weight in the F_1 progeny of direct diallel crosses

Variety	Year	Parental form no.									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Gerelo	2014	3.59*	–0.37*	0.29*	2.03*	–1.35*	0.04	–1.29*	–1.16*	–0.46*	0.11
	2015	3.09*	–0.41*	0.13	1.30*	–1.77*	–0.03	–1.15*	–1.51*	–0.02	0.38*
2. Zvershennya	2014		1.30*	–0.44*	–0.40*	0.71*	–3.97*	–1.33*	–0.85*	1.00*	0.68*
	2015		1.44*	–0.02	–0.25*	0.98*	–4.24*	–1.35*	–2.02*	1.27*	0.63*
3. Etiket	2014			–0.05	–3.26*	0.76*	–0.03	1.41*	1.94*	–0.71*	2.02*
	2015			–0.12	–3.15*	0.93*	–0.24*	0.95*	1.98*	–0.43*	1.68*
4. Baderyy	2014				1.15*	–0.79*	–1.47*	1.97*	2.05*	2.65*	–3.67*
	2015				0.89*	–0.24*	–1.85*	1.98*	2.12*	2.66*	–3.79*
5. Vzirets	2014					2.86*	0.37*	–3.79*	–2.36*	2.34*	0.67*
	2015					3.04*	0.18*	–4.04*	–1.70*	2.43*	0.79*
6. Granal	2014						–0.06	1.13*	0.21*	–0.94*	0.14*
	2015						–0.60*	1.58*	0.37*	–1.29*	–0.04
7. Modern	2014							0.54*	1.42*	0.82*	2.00*
	2015							0.87*	1.61*	0.80*	1.90*
8. Vitrazh	2014								0.82*	0.67*	0.89*
	2015								0.54*	0.13	0.58*
9. Pasadena	2014									–0.15*	0.57*
	2015									–0.43*	0.57*
10. Tolar	2014										–0.63*
	2015										–0.34*
11. Malevnychiy	2014										
	2015										

* Significant at $P < 0.05$.

По признаку масса зерна с растения по двум годам эффекты ОКС безостого сорта Модерн были низкие (Звершення – высокие и средние соответственно по годам), Гранал – низкие и средние, а Витраж – достоверно неоднозначные).

Высокие и средние эффекты ОКС по продуктивной кустистости наблюдали у сорта Витраж (Звершення – высокие, Гранал – низкие и средние, у сорта Модерн – низкие).

По общей кустистости средние эффекты ОКС отмечены у сорта Витраж (Звершення – высокие, Гранал – низкие и средние, Модерн – низкие и средние).

Высокие эффекты ОКС по числу зерен в колосе были у сорта Витраж (Звершення – низкие, Гранал – низкие и средние, у сорта Модерн – высокие и средние), т. е. у сортов Витраж и Модерн выше, чем у компонентов скрещивания.

По массе 1000 зерен высокие эффекты ОКС имели Модерн и Витраж, как и их отцовский сорт Гранал (Звершення – низкие).

Высокие эффекты ОКС по длине колоса были у сорта Витраж, так же как у его отцовского сорта Гранал (Звершення – неоднозначные, Модерн – высокие и средние).

По числу колосков в колосе высокие и средние эффекты ОКС были у сорта Витраж, т. е. выше, чем у компонентов скрещивания (Звершення – низкие и средние, Гранал – низкие и средние), а у сорта Модерн – низкие и средние, как и у компонентов скрещивания.

Высокие и средние эффекты ОКС по массе зерна с колоса имели и Модерн, и Витраж, как и их отцовский сорт Гранал (Звершення – низкие, Гранал – высокие и средние).

По массе соломы низкие эффекты ОКС имел сорт Модерн (Звершення – высокие и средние, Гранал – низкие и средние, а Витраж – низкие и средние, как и Гранал).

Низкие и средние эффекты ОКС по отношению массы зерна к массе соломы имел сорт Модерн (Звершення – неоднозначные, Гранал – средние, Витраж – неоднозначные).

По высоте растений высокие и средние эффекты ОКС имели и Модерн, и Витраж (Звершення – низкие, Гранал – высокие).

Таким образом, уровни эффектов ОКС безостого сорта Модерн, полученного от гибридной комбинации Звершення × Гранал, по признакам: масса зерна с растения, общая кустистость, масса 1000 зерен, длина колоса, масса зерна с колоса, масса соломы, высота растений были как у от-

цовского безостого сорта Гранал, а по признаку число колосков в колосе – как у Гранала и Звершення.

У безостого сорта Витраж, полученного от той же гибридной комбинации, уровни эффектов ОКС в F_1 были почти такими же, как у сорта Гранал, по четырем признакам (масса 1 000 зерен, длина колоса, масса зерна с колоса и масса соломы) и почти такими, как у сорта Звершення, по признаку продуктивная кустистость.

Таким образом, безостый сорт Модерн, полученный от гибридной комбинации Звершення (остистый) × Гранал (безостый), имел, за некоторым исключением, эффекты общей комбинационной способности, почти как безостый отцовский сорт Гранал, но при этом сорт Модерн – по восьми, а сорт Витраж – по четырем признакам.

По признаку число зерен в колосе уровни эффектов ОКС сортов Модерн и Витраж были выше, чем у их исходных сортов Звершення и Гранал. У сорта Витраж они выше, чем у последних, по признаку число колосков в колосе, а у сорта Модерн – подобные. Это может быть результатом повышения уровня признаков при благоприятном сочетании наследственных факторов (Федин и др., 1980; Potla et al., 2013).

Сорт Малёвнычий получен в результате гибридной комбинации Pasadena × Tolar. В 2014 и 2015 гг. у сорта Малёвнычий отмечены более высокие эффекты ОКС, чем у исходных сортов, по признакам: число зерен с колоса (Pasadena – низкие, Tolar – низкие и средние) и число колосков в колосе (Pasadena – низкие, Tolar – средние).

Высокие и средние эффекты ОКС сорта Малёвнычий были по двум годам выше, чем у исходных сортов, по признакам: общая кустистость (Pasadena – низкие и средние, Tolar – низкие и средние), масса зерна с колоса (Pasadena – неоднозначные, Tolar – средние) и масса соломы (Pasadena – низкие и средние, Tolar – низкие и средние).

Низкие и средние эффекты ОКС сорта Малёвнычий и почти такие, как у исходных сортов, получены по признакам: длина колоса (Pasadena – низкие, Tolar – низкие); отношение массы зерна к массе соломы (Pasadena – низкие и средние, Tolar – средние).

Низкие эффекты ОКС у сорта Малёвнычий были по признаку масса 1 000 зерен, как и у исходных сортов (Pasadena – низкие, Tolar – высокие), и по признаку высота растений (Pasadena – низкие, Tolar – низкие).

Неоднозначные по годам эффекты ОКС сорта Малёвнычий отмечены по признакам: масса зерна с растения (Pasadena – низкие, Tolar – низкие и средние) и продуктивная кустистость (Pasadena – низкие и средние, Tolar – низкие).

Таким образом, по признакам: длина колоса, отношение массы зерна к массе соломы, высота растений уровни эффектов ОКС сорта Малёвнычий были почти такими же, как у исходных сортов, а по признаку масса 1 000 зерен – как у исходного сорта Pasadena. По признакам: число зерен в колосе, число колосков в колосе, общая кустистость, масса зерна с колоса и масса соломы уровни эффектов ОКС сорта Малёвнычий превышали показатели родительских сортов.

Результаты исследования ОКС при сочетании геномов в результате гибридизации показывают, что как созданные сорта, так и их исходные формы имеют высокую или низкую комбинационную способность по конкретным признакам, которая зависит от генетических особенностей сортов. Об этом сообщено в ряде исследований (Sprague, Tatum, 1942; Турбин и др., 1974; Singh et al., 2007; Pawar, Singh, 2013; Potla et al., 2013; Singh et al., 2013; Milomirka et al., 2014; Pesaraklu et al., 2016).

Нами также установлено, что уровень комбинационной способности компонентов скрещивания может по-разному проявиться у сортов, созданных на их основе, возможно, в результате сочетания различных наследственных факторов.

Отмечено превышение варианс ОКС над вариансами СКС по признаку масса 1 000 зерен, что указывает на преобладание аддитивных эффектов генов в определении уровня признака, следовательно, отбор по фенотипу будет эффективным в ранних поколениях гибридных популяций. О преобладании аддитивных эффектов генов по компонентам продуктивности и неаддитивных эффектов генов по урожайности говорится также в работе (Singh et al., 2007).

Определение высоких эффектов СКС по продуктивности растений и ее структурным элементам позволяет выделить комбинации скрещивания с различным уровнем признаков, что предусматривает возможность эффективных отборов в потомствах гибридов (Pesaraklu et al., 2016).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Dontsov D.P. Analysis of the inheritance of the *plant height* trait in hybrids of the first and second generations of spring barley upon the creation of dwarf varieties for malting industry. Elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU = Scientific Journal of KubSAU. 2011; 70(06):1-11. (in Russian)

Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov isledovaniy) [Methods of Field Experiments (with the Fundamentals of Statistical Processing of Study Results)]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1985. (in Russian)

Fedin M.A., Silis D.Ya., Smiryaev A.V. Statisticheskie metody geneticheskogo analiza [Statistical Methods of Genetic Analysis]. Moscow: Kolos Publ., 1980.

Gudzenko V.M. Combining ability in terms of quantitative characteristics of new spring barley accessions differing by eco-geographical origin in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Naukovi dopovidi NUBiP = Scientific Reports of NULES of Ukraine. 2012; 8(30). (in Ukrainian)

Gupta S.K., Singh D. Hybrid performance for yield and malt quality in barley using cytoplasmic male sterile lines. Cereal Res. Commun. 1999;27(4):389-394.

Milomirka R.M., Dragan S.D., Desimir S.K., Aleksandar S.P., Snezana T.T. Combining abilities for spike traits in a diallel cross of barley. J. Central Eur. Agric. 2014;15(1):108-116. DOI 10.5513/JCEA01/15.1.1419.

Pawar K.K., Singh A.K. Combining ability analysis for grain yield and its attributing traits in barley. Int. J. Agric. Sc. Vet. Med. 2013;1(2): 83-87.

Pesaraklu S., Soltanloo H., Ramezanpour S.S., Kalate Arabi M., Nasrollah Nejad Ghomi A.A. An estimation of the combining ability of barley genotypes and heterosis for some quantitative traits. Iran Agric. Res. 2016;35(1):73-80.

Polok K., Szarejko I., Maluszynski M. Barley mutant heterosis and fixation of 'F_1–performance' in doubled haploid lines. Plant Breed. 1997;116:133-140.

Potla K.R., Bornare S.S., Prasad L.C., Prasad R., Madakemohekar A.H. Study of heterosis and combining ability for yield and yield contrib-

uting traits in barley (*Hordeum vulgare* L.). Int. Quarterly J. Life Sci. 2013;8(4):1231-1235.

Savchenko V.K. Geneticheskiy analiz v setevykh probnykh skreshchivaniyakh [Genetic Analysis in Network Test Crosses]. Minsk: Nauka i Tekhnika Publ., 1984. (in Russian)

Shahnejat-Bushehri A.A., Torabi S., Omidi M., Ghannadha M.R. Comparison of genetic and morphological distance with heterosis with RAPD markers in hybrids of barley. Int. J. Agric. Biol. 2005;7(4): 592-595.

Singh B., Sharma A., Joshi N., Mittal P., Singh S. Combining ability analysis for grain yield and its components in malt barley (*Hordeum vulgare* L.). Ind. J. Agric. Sci. 2013;83(1):96-98.

Singh S., Dhindsa G.S., Sharma A., Singh P. Combining ability for grain yield and its components in barley (*Hordeum vulgare* L.). Crop Improv. 2007;34:128-132.

Soylu S. A study on hybrid vigor of some quantitative traits in barley crosses. Agr. Med. 2006;136:30-36.

Sprague G.F., Tatum L.A. Specific combining in single crosses of corn. J. Am. Soc. Agron. 1942;34:923-932.

Turbin N.V., Khotyleva L.V., Tarutina L.A. Diallelnyi analiz v selektsii rasteniy [Diallel Analysis in Plant Breeding]. Minsk: Nauka i Tekhnika Publ., 1974. (in Russian)

Varlakhov M.D., Makogonov E.I., Vasyakin N.I. Proyavlenie kombinatsionnoy sposobnosti sortov gorokha v ekologicheskikh ispytaniyakh [Manifestation of the combining ability in pea varieties in environmental trials]. Selektsiya zernobobovykh kultur, grechikhi i prosa na vysokuyu produktivnost i kachestvo [Breeding of Legumes, Buckwheat and Millet for High Performance and Quality]. Orel: VNIIZBK Publ., 1977. (in Russian)

Vashchenko V.V. Genetic control of grain number per spike in spring barley varieties. Selektsiya i semenovodstvo = Breeding and Seed Industry. 2009;97:189-195. (in Russian)

Vashchenko V.V., Shevchenko O.O. Estimation of the combining ability for quantitative traits in spring barley varieties in the Northern Steppe of Ukraine. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi agrarnoi akademii = News of Poltava State Agrarian Academy. 2014;2:23-25. (in Ukrainian)

Vasyl'kivc'kyi S.P., Gydzenko V.M. Combination ability, inheritance, and transgressive variability in spring barley hybrids with regard to grain weight per plant. Agrobiologija: zbirnyk naukovyh robit [Agrobiology: Collection of scientific papers]. Bila Tserkva, 2013; 10(100):191. (in Ukrainian)

Zhang X., Lv L., Lv Ch., Guo B., Xu R. Combining ability of different agronomic traits and yield components in hybrid barley. PloS ONE. 2015;10(6):1-9. e0126828. DOI 10.1371/journal.pone.0126828.

Zvyagintseva A.N., Petrenkova V.P. Combining ability of starting spring barley accessions in terms of a complex of biological features in a diallel cross system. Selektsiya i nasinnitstvo = Breeding and Seed Industry. 2012;102:30-35. (in Ukrainian)