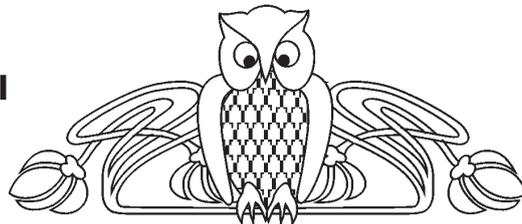




Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 177–183
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2024, vol. 24, iss. 2, pp. 177–183
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-177-183>, EDN: AYVOCP

Научная статья
УДК 633.15

Комбинационная способность новых дигаплоидных линий кукурузы в условиях Правобережья Саратовской области



О. В. Гуторова¹✉, С. А. Зайцев², Э. С. Шахгелдян¹

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83.

²Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго», Россия, 410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, д. 4

Гуторова Ольга Валентиновна, старший преподаватель кафедры генетики, olga.gutorova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6975-8675>

Зайцев Сергей Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, zea_mays@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6829-1970>

Шахгелдян Элада Самвеловна, магистрант кафедры генетики, shahgeldyanelada@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-4076-1258>

Аннотация. Дигаплоидные линии, или линии, полученные на основе удвоенных гаплоидов, являются ценным материалом для создания высокогетерозисных гибридов кукурузы. Наиболее эффективным методом оценки исходного материала при подборе родительских пар для получения гибридов является диаллельный анализ. Представлены результаты анализа показателей 6 линий кукурузы гаплоидного происхождения и 30 гибридов кукурузы диаллельной схемы. Изучена комбинационная способность линий по длине стебля, высоте заложения початка, длине метелки. Выявлены эффекты ОКС и дисперсии СКС, а также компоненты генетической дисперсии по вышеуказанным характеристикам. Выделены линии с высокими показателями ОКС и СКС. Варьирование показателей комбинационной способности в годы исследования указывает на то, что степень силы проявления эффектов ОКС и дисперсии СКС морфометрических параметров у определенных линий некоторым образом изменяется под воздействием условий выращивания. Анализ компонентов генетической дисперсии показал, что в зависимости от условий выращивания длины стебля оказывали влияние от 1 до 3, высоты заложения початка – от 1 до 3, длины метелки – от 1 до 2 генов или групп генов. Выявлена закономерность: в более благоприятных условиях 2021 и 2023 гг. по длине стебля и длине метелки увеличивается количество генов, контролирующих проявление признаков. Установлено существенное влияние компонентов доминирования (H_1 , H_2). Доминирование по длине стебля, высоте заложения початка и длине метелки направлено в сторону родительских форм с большей выраженностью признака.

Ключевые слова: кукуруза, линия, гибриды, изменчивость, ОКС, СКС, диаллельный анализ

Для цитирования: Гуторова О. В., Зайцев С. А., Шахгелдян Э. С. Комбинационная способность новых дигаплоидных линий кукурузы в условиях Правобережья Саратовской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2024. Т. 24, вып. 2. С. 177–183. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-177-183>, EDN: AYVOCP

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Combination ability of new dihaploid corn lines in the conditions of the Right Bank of the Saratov region

O. V. Gutorova¹✉, S. A. Zaitsev², E. S. Shahgeldyan¹

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Russian Research Institute for Sorghum and Maize «Rossorgo», 4 1st Institute Passage St., Saratov 410050, Russia

Olga V. Gutorova, olga.gutorova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6975-8675>

Sergey A. Zaitsev, zea_mays@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6829-1970>

Elada S. Shahgeldyan, shahgeldyanelada@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-4076-1258>

Abstract. Dihaploid lines, or lines obtained on the basis of doubled haploids, are a valuable material for the creation of high-heterosis corn hybrids. The most effective method of evaluating the starting material when selecting parental couples for obtaining hybrids is diallel analysis. The article presents the results of the analysis of indicators of 6 dihaploid corn lines and 30 simple corn hybrids of the diallel scheme. The combinative



ability of lines along the stem length, the cob attachment height, and the panicle length was studied. The effects of the GCA and SCA dispersion, as well as the components of genetic dispersion for the above characteristics were revealed. Lines with high GCA and SCA rates were identified. The variation of the indicators of combinative ability during the years of the study indicates that the degree of strength of the effects of GCA and the dispersion of SCA morphometric parameters in certain lines varies to some extent under the influence of growing conditions. The analysis of the components of genetic dispersion showed that, depending on the growing conditions, the formation of stem length was influenced by 1 to 3, cob height by 1 to 3, and panicle length by 1 to 2 genes or groups of genes. A pattern has been revealed: in more favorable conditions in 2021 and 2023, the number of genes that control the manifestation of the stem length and the panicle length traits increases. A significant impact of dominance components (H_1 , H_2) has been established. Dominance in stem length, ear height and panicle length is directed towards the parental forms with greater expression of the trait.

Key words: corn, line, hybrids, GCA, SCA, diallel analysis

For citation: Gutorova O. V., Zaitsev S. A., Shahgeldyan E. S. Combination ability of new dihaploid corn lines in the conditions of the Right Bank of the Saratov region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2024, vol. 24, iss. 2, pp. 177–183 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2024-24-2-177-183>, EDN: AYWOCР

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

В настоящее время работа селекционеров направлена на ускорение селекционного процесса и повышение урожайности гибридов. Использование в селекции кукурузы дигаплоидных (полученных на основе гаплоидных растений) линий в несколько раз сокращает процесс создания новых инбредных линий и на их основе высокогетерозисных гибридов [1, 2]. Введение в селекционный процесс гаплоиндукторов значительно ускоряет время создания инбредных линий со 100% гомозиготностью по всем локусам генов [3]. Однако, чтобы найти наиболее пригодный исходный материал для получения лучших гибридов, селекционерам необходимо испытать линии на комбинационную способность по необходимым селекционным параметрам [4]. Одним из способов является использование диаллельных скрещиваний, т.е. получение гибридов F_1 во всех возможных комбинациях между исследуемыми линиями. Затем по растениям F_1 оценивается комбинационная способность родительских форм. С помощью общей комбинационной способности (ОКС) выявляют линии, давшие наиболее урожайные гибриды [5]. Специфическая комбинационная способность (СКС) показывает, какие именно комбинации двух линий дают гибриды F_1 с наилучшими показателями [6]. Длина стебля, высота заложения початка и длина метелки являются важными морфологическими признаками, которые учитываются при выращивании кукурузы [7, 8]. При возделывании кукурузы на силос используются высокорослые формы, при возделывании на зерно – низкорослые; высота заложения початка определяет возможность уборки урожая с помощью техники; длина метелки является значимой при механизированном удалении метелок при получении гибридов [9].

Целью исследований было оценить комбинационную способность 6 новых дигаплоидных линий кукурузы по вышеуказанным морфологическим признакам на основе испытания их гибридов F_1 .

Материалы и методы

Работа по анализу комбинационной способности линий проводилась в 2021–2023 гг. на экспериментальном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в условиях Правобережья Саратовской области. Изучали 6 дигаплоидных линий и полученные от них по полной диаллельной схеме 30 гибридов F_1 (метод 1 по Гриффингу) [10, 11]. Повторность трехкратная. Площадь делянки составляла 7,7 м², густота стояния растений – 55 тыс. растений/га. Линии были созданы с применением технологии удвоенных гаплоидов. Технология включала в себя: получение с помощью линии-гаплоиндуктора ЗМС-П матроклинных гаплоидов, обработку их колхицином на стадии 3–5-х листьев для диплоидизации, и самоопыление растений, сформировавших фертильные женские и мужские соцветия [12]. Анализ компонентов генетической дисперсии проводили по Хейману [13].

Результаты и их обсуждение

Анализ данных 2021–2023 гг. по длине стебля, высоте заложения початка и длине метелки показал, что дигаплоидные линии имеют меньшие значения по данному показателю по сравнению с гибридами. Длина стебля у линий меньше, чем среднегрупповые значения гибридов (табл. 1). В 2021 г. среднее значение длины стебля у линий составило 163, в 2022 г. – 180,8, в 2023 г. – 149,4 см. В 2021 г. среднее значение длины стебля у гибридов составило 196,1, в 2022 г. – 188,5,



Таблица 1 / Table 1

Морфометрические параметры дигаплоидных линий кукурузы и среднегрупповые значения гибридов, 2021–2023 гг.

Morphometric parameters of dihaploid maize lines and average group values of hybrids, 2021–2023

Линия / Line	2021		2022		2023	
	P	F	P	F	P	F
Длина стебля, см / Sstem length, sm						
ОГ 1 / OG 1	126,6	176,9	137,4	147,0	127,0	165,3
ОГ 2 / OG 2	165,6	204,0	183,7	172,7	143,2	190,7
ОГ 3 / OG 3	186,0	198,5	203,1	212,0	154,3	182,9
ОГ 4 / OG 4	158,0	202,6	206,6	192,9	158,7	196,5
ОГ 5 / OG 5	167,0	203,4	168,6	221,8	162,1	192,7
ОГ 6 / OG 6	178,2	191,1	185,3	184,2	151,3	186,4
Среднее значение / Average	163,6	196,1	180,8	188,5	149,4	185,8
Высота заложения початка, см / Cob height, sm						
ОГ 1 / OG 1	34,0	67,5	31,0	50,3	27,0	55,6
ОГ 2 / OG 2	74,0	88,2	51,8	60,5	41,7	76,8
ОГ 3 / OG 3	76,4	86,1	74,1	88,5	55,7	67,2
ОГ 4 / OG 4	84,0	88,3	87,9	81,1	59,9	80,8
ОГ 5 / OG 5	59,2	80,6	54,3	84,7	61,3	73,2
ОГ 6 / OG 6	62,8	71,4	63,3	65,6	56,5	72,1
Среднее значение / Average	65,1	80,3	60,4	71,8	50,4	70,9
Длина метелки, см / Panicle length, sm						
ОГ 1 / OG 1	45,9	51,8	40,5	44,6	43,0	45,6
ОГ 2 / OG 2	48,4	53,4	45,4	47,9	41,7	47,3
ОГ 3 / OG 3	42,5	46,3	42,4	47,4	37,7	45,9
ОГ 4 / OG 4	31,7	48,5	27,8	45,4	23,4	45,8
ОГ 5 / OG 5	38,0	49,3	38,8	49,7	35,6	43,6
ОГ 6 / OG 6	52,0	56,1	36,5	49,6	43,6	47,8
Среднее значение / Average	43,1	50,9	38,6	47,5	37,5	45,9

Примечание. P – среднее значение линии, F – среднегрупповое значение гибридов.

Note. P – is the average value of the line, F – is the average group value of hybrids.

в 2023 г. – 185,8 см. Наименьшее значение длины стебля отмечено у линии ОГ 1 (126,6–137,4 см), наибольшее у линий ОГ 4 (158,7–206,6 см) и ОГ 3 (154,3–203,1 см).

В 2021 г. среднее значение высоты заложения початка у линий составило 65,1, в 2022 г. – 60,4, в 2023 г. – 50,4 см. У гибридов среднее значение высоты заложения початка в 2021 г. составило 80,3, в 2022 г. – 71,8, в 2023 г. – 70,9 см. Наименьшая высота заложения початка отмечена у линии ОГ 1 (27,0–34,0 см), наибольшая – у линии ОГ 4 (59,9–87,9 см).

В 2021 г. среднее значение длины метелки у линий составило 43,1, в 2022 г. – 38,6, в 2023 г. – 37,5 см. У гибридов среднее значение длины

метелки составило в 2021 г. 50,9, в 2022 г. – 47,5, в 2023 г. – 45,9 см. Наименьшая длина метелки отмечена у линии ОГ 4 (23,4–31,7 см), наибольшая – у линии ОГ 6 (36,5–52 см).

Общая комбинационная способность выражает среднюю ценность линии в гибридных комбинациях с ее использованием и измеряется средним значением отклонения признака у всех ее гибридов F₁ от общего среднего по всем формам диаллельной схемы [14].

Анализ эффекта ОКС по длине стебля, высоте заложения початка и длине метелки линий кукурузы по годам показал следующие результаты, представленные в табл. 2. Высокий эффект ОКС по длине стебля в 2021 г. наблюдался у линий



Таблица 2 / Table 2

Эффекты ОКС по морфометрическим показателям дигиплоидных линий кукурузы
Effects of GCA by morphometric parameters of dihaploid maize lines

Линия / Line	Длина стебля / Stem length			Высота заложения початка / Cob height			Длина метелки / Panicle length		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
ОГ 1 / OG 1	-16,3	-27,7	-20,1	-14,0	-16,7	-16,7	2,4	-0,2	0,5
ОГ 2 / OG 2	3,7	-7,6	2,8	6,8	-6,9	3,5	2,4	1,7	1,7
ОГ 3 / OG 3	6,9	15,1	-1,81	5,6	10,7	-2,3	-3,2	-0,5	-0,1
ОГ 4 / OG 4	4,1	6,8	10,2	9,5	10,9	9,8	-3,8	-3,9	-3,3
ОГ 5 / OG 5	7,3	14,6	8,4	-0,6	5,2	3,7	-2,6	1,2	-1,3
ОГ 6 / OG 6	-5,7	-1,3	0,5	-7,3	-3,2	2,0	4,7	1,7	2,4
F	140,9	55,5	122,9	396,9	102,1	191,1	44,5	38,8	14,5
НСР _{0,05} / LSD _{0,05}	3,10	8,67	3,9	1,82	4,31	2,6	2,16	1,4	2,2

Примечание. F – среднерупповое значение гибридов.

Note. F – the average group value of hybrids.

ОГ 2, ОГ 3, ОГ 4 и ОГ 5. В 2022 г. высокий эффект ОКС по данной характеристике отмечен у линий ОГ 3, ОГ 4 и ОГ 5. В 2023 г. высокие показатели были у линий ОГ 2, ОГ 4, ОГ 5. Таким образом, наиболее стабильными по данному показателю оказались линии ОГ 4 и ОГ 5.

По высоте заложения початка высокий эффект ОКС наблюдался в 2021 г. у линий ОГ 2, ОГ 3, ОГ 4; в 2022 г. – у линий ОГ 3, ОГ 4 и ОГ 5; в 2023 г. – ОГ 2, ОГ 4, ОГ 5. Наиболее стабильным оказался эффект ОКС у линии ОГ 4, относительно стабильным – у линий ОГ 2, ОГ 3 и ОГ 5.

По длине метелки высокий эффект ОКС наблюдался в 2021 г. у линий ОГ 1, ОГ 2, ОГ 6; в 2022 г. – у линий ОГ 2, ОГ 5, ОГ 6; в 2023 г. – у

линий ОГ 1, ОГ 2, ОГ 6. Таким образом, наиболее стабильной по данному показателю оказалась линия ОГ 2 и ОГ 6, относительно стабильной – линия ОГ 1.

В 2021 г. относительно низкие показатели дисперсии СКС по длине стебля отмечались у линий ОГ 5 и ОГ 6, а высокие показатели – у линий ОГ 1, ОГ 2, ОГ 4 (табл. 3). В 2022 г. относительно низкие показатели выявлены у линии ОГ 1 и ОГ 4, высокие – у линий ОГ 5, ОГ 6, ОГ 3. В 2023 г. низкие показатели дисперсии СКС по длине стебля выявлены у линий ОГ 3 и ОГ 6, высокие – у линий ОГ 2, ОГ 4 и ОГ 5. Наиболее стабильными по данному показателю оказались линии ОГ 2, ОГ 4 и ОГ 5.

Таблица 3 / Table 3

Дисперсия СКС по морфометрическим показателям дигиплоидных линий кукурузы
Dispersion of SCA by morphometric parameters of dihaploid maize lines

Линия / Line	Длина стебля / Stem length			Высота заложения початка / Cob height			Длина метелки / Panicle length		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
ОГ 1 / OG 1	156,4	110,2	100,6	14,0	20,7	114,9	5,5	5,9	12,2
ОГ 2 / OG 2	155,2	163,2	201,8	46,6	31,5	175,5	22,5	7,5	6,7
ОГ 3 / OG 3	110,2	184,3	41,7	59,7	46,9	19,1	12,7	13,8	9,0
ОГ 4 / OG 4	244,0	129,9	195,7	24,1	32,8	134,8	6,8	16,8	15,3
ОГ 5 / OG 5	96,0	240,8	151,4	13,3	39,3	94,6	10,0	6,5	10,8
ОГ 6 / OG 6	103,3	227,3	54,6	23,4	16,4	24,8	17,7	7,2	7,1
F	89,8	10,1	57,9	55,2	10,1	66,9	13,0	27,6	12,9

Примечание. См. табл. 2.

Note. See Table 2.



Показатели дисперсии СКС по высоте заложения початка по годам были следующими (см. табл. 3). В 2021 г. относительно низкие показатели были у линий ОГ 1 и ОГ 5, высокие – у линий ОГ 2 и ОГ 3. В 2022 г. относительно низкой дисперсией характеризовалась линия ОГ 6, высокой – ОГ 3, ОГ 5. В 2023 г. низкая дисперсия была у линий ОГ 3 и ОГ 6, высокая – у линий ОГ 1, ОГ 2, ОГ 4. Наиболее стабильными по данному показателю по годам оказались линии ОГ 2, ОГ 3 и ОГ 4.

Показатели дисперсии СКС по длине метелки также отличались по годам (см. табл. 3). В 2021 г. относительно низкие показатели были у линий ОГ 1 и ОГ 4, высокие – у линий ОГ 2, ОГ 3 и ОГ 6. В 2022 г. относительно низкой дисперсией характеризовалась линия ОГ 1, относительно высокой – ОГ 3, ОГ 4. В 2023 г. низкая дисперсия была у линий ОГ 2 и ОГ 6, относительно высокая – у линий ОГ 1, ОГ 4, ОГ 5. Наиболее стабильными по данному показателю по годам оказались линии ОГ 3 и ОГ 4.

Варьирование показателей комбинационной способности в годы исследования указывает на то, что степень силы проявления эффектов ОКС и дисперсии СКС морфометрических параметров у определенных линий несколько изменяется под воздействием условий выращивания.

Метод диаллельных скрещиваний также позволяет установить характер наследования количественных признаков, получить информацию о других генетических свойствах анализируемых форм (табл. 4). В опыте отмечается отрицательная корреляция (r) между значением изучаемых признаков и доминированием у родительских линий: $-0,28 \dots -0,84$ (длина стебля), $-0,04 \dots -0,90$ (высота заложения початка), $-0,32 \dots -0,96$ (длина метелки). Эти показатели, а также тот факт, что разности между общей средней признака у всего потомства (m_{11}) и средней родительских форм (m_{10}) имеют положительные значения, указывают на то, что доминирование в исследуемой выборке было направлено в сторону родительских форм с большей выраженностью признака.

Таблица 4 / Table 4

Компоненты генетической дисперсии по морфометрическим параметрам дигаплоидных линий кукурузы, 2021–2023 гг.
Components of genetic dispersion by morphometric parameters of dihaploid maize lines, 2021–2023

Компонент / Component	Длина стебля / Stem length			Высота заложения початка / Cob height			Длина метелки / Panicle length		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
D	73,5	379,0	187,3*	365,1*	362,9*	-2,5	49,8*	72,2*	53,2*
F	177,1	162,0	-172,0	85,0	281,6	-35,7	17,1	53,6*	64,1*
H ₁	2008,4*	2752,7*	1462,6*	307,3*	535,9*	748,8*	110,1*	115,0*	164,6*
H ₂	1612,1*	2117,9*	1354,8*	253,6*	457,6*	627,0*	96,6*	104,3*	133,9*
h	1949,5*	866,8	2772,8*	561,7*	229,7	574,7*	165,2*	77,2*	200,7*
E	19,3*	245,3	32,3	7,4*	111,5*	18,9	9,1*	4,0	6,3
m ₁₁ -m ₁₀	22,2	16,0	26,4	11,9	8,5	12,1	6,5	4,5	7,1
$\sqrt{H_1}/D$	5,2	2,7	2,8	0,9	1,2	17,4	1,5	1,2	1,8
$H_2/4H_1$	0,20	0,19	0,23	0,21	0,21	0,21	0,22	0,23	0,20
h/H_2	1,2	0,4	2,1	2,2	0,5	0,9	1,7	0,7	1,5
r	-0,84	-0,28	-0,45	-0,90	-0,04	-0,36	-0,32	-0,70	-0,96

Примечание. * – значимый параметр.

Note. * – significant parameter.

По длине стебля, высоте заложения початка, длине метелки выявлены существенно значимые показатели компонентов доминирования (H₁, H₂) во все годы исследования. По абсолютной величине компоненты доминирования превысили значения компонента D, характеризующего аддитивное действие генов по длине стебля в 2021–2023 гг., высоте заложения

початка в 2022 г., длине метелки в 2021–2023 гг. Отношение $\sqrt{H_1}/D$, превышающее единицу, свидетельствует о положительном влиянии сверхдоминирования по длине стебля в 2021–2023 гг. (2,7–5,2), длине метелки в 2021–2023 гг. (1,2–1,8) и высоте заложения початка в 2022 г. (1,2). Значение $\sqrt{H_1}/D$ равно 0,9 указывает на неполное доминирование в 2021 г. по высоте заложения



початка, а несущественные значения компонента D в 2023 г. не позволяют достоверно оценить параметр в 2023 г.

Значения отношения $H_2/4H_1$ в 2021–2023 гг. меньше теоретического значения (0,25), что указывает на неравномерное распределение аллелей с положительными и отрицательными эффектами в исследуемой выборке по морфометрическим параметрам. Анализ компонентов указывает на то, что в зависимости от условий выращивания на формирование длины стебля оказывали влияние от 1 до 3, высоты заложения початка – от 1 до 3, длины метелки – от 1 до 2 генов или групп генов. Варьирование компонентов генетической дисперсии и количества генов соответствует модели эколого-генетического контроля количественных признаков, когда при смене лимитирующего рост растений фактора внешней среды меняются спектр и число генов, детерминирующих один и тот же количественный признак [15]. Проявляется определенная закономерность: в более благоприятных условиях 2021 и 2023 гг. по длине стебля и длине метелки увеличивается количество генов, контролирующих проявление признаков.

Выводы

Использование диаллельного анализа позволяет определить компоненты генетической дисперсии и провести оценку новых гомозиготных линий кукурузы. Результаты анализа ОКС дигаплоидных линий указывают на высокие показатели по длине стебля у линий ОГ 4 и ОГ 5, по высоте заложения початка у линий – у линий ОГ 2, ОГ 3 и ОГ 5, по длине метелки – у линий ОГ 1, ОГ 2 и ОГ 6, что позволяет использовать данные линии в селекции на повышение признаков. Относительно стабильными высокими показателями дисперсии СКС по длине стебля обладают линии ОГ 2, ОГ 4 и ОГ 5; по высоте заложения початка – линии ОГ 2, ОГ 3 и ОГ 4; по длине метелки – линии ОГ 3 и ОГ 4. Установлены существенное влияние компонентов доминирования (H_1 , H_2), а также направленность доминирования в сторону родительских форм с большей выраженностью признака.

Список литературы

1. *Werkissa Yali*. Haploids and doubled haploid technology application in modern plant breeding // Journal of Plant Sciences. 2022. Vol. 10, № 2. P. 71–75. <https://doi.org/10.11648/jps.20221002.14>
2. *Ульянов А. В., Карлов А. В., Хатевфов Э. Б.* Использование гаплоиндукторов кукурузы как инструмента в биотехнологии сельскохозяйственных растений // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022. Т. 26, № 7. С. 704–713. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-85>
3. *Асадова Г. М., Ульянов А. В., Карлов М. В., Хатевфов Э. Б.* Перспективы использования гаплоиндукторов в селекции кукурузы // Биотехнология и селекция растений. 2020. Т. 3, № 2. С. 16–29. <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-2-03>
4. *Zaitsev S. A., Volkov D. P., Guseva S. A., Babushkin D. D.* Genetic control of the number of grains on corn cob // E3S Web of Conferences. Ser. International Scientific and Practical Conference “Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations”, “FARBA 2021”. 2021. Vol. 254. P. 01031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125401031>
5. *Турбин Н. В., Хотылева Л. В., Тарутина Л. А.* Диаллельный анализ в селекции растений. Минск : Наука и техника, 1974. 184 с.
6. *Орлянская Н. А., Орлянский Н. А., Чеботарёв Д. С.* Оценка комбинационной способности самоопыленных семей кукурузы (S5) смешанной генетической плазмы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (66). С. 28–35. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-28-35>
7. *Зезин Н. Н., Панфилов А. Э., Казакова Н. И., Намятов М. А., Цымбаленко И. Н., Гридин В. Ф., Иванова Е. С., Салтанова Р. Д.* Кукуруза на Урале. Екатеринбург : Уральский НИИСХ, Уральское изд-во, 2017. 204 с.
8. *Гужов Ю. Л., Фукс А., Валичек П.* Селекция и семеноводство культивируемых растений : учебник / под ред. Ю. Л. Гужова. М. : Изд-во РУДН, 1999. 536 с.
9. *Богдан П. М., Красковская Н. А., Даниленко И. Н.* Оценка коллекции инбредных линий кукурузы Приморской селекции // Аграрная наука. 2023. № 9. С. 133–138. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-133-138>
10. *Griffing V.* Concept of general and combining ability in relation to diallel crossing systems // J. Biol. Sci. 1956. № 9. P. 463–493.
11. *Федин М. А., Силис Д. Я., Смиряев А. В.* Статистические методы генетического анализа. М. : Колос, 1980. 208 с.
12. *Гуторова О. В., Юдакова О. И., Зайцев С. А.* Оценка эффективности гаплоиндуктора кукурузы ЗМС-П // Аграрный научный журнал. 2019. № 7. С. 14–18. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i7pp14-18>
13. *Hayman V. I.* The theory and analysis of diallel crosses // Genetics. 1954. Vol. 10. P. 235–244.
14. *Смиряев А. В., Кильчевский А. В.* Генетика популяций и количественных признаков. М. : Колос, 2007. 272 с.
15. *Драгавцев В. А., Литун П. П., Шкель Н. М., Нечипоренко Н. Н.* Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений // Доклады АН СССР. 1984. Т. 274, № 3. С. 720–723.



References

1. Werkissa Yali. Haploids and doubled haploid technology application in modern plant breeding. *Journal of Plant Sciences*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 71–75. <https://doi.org/10.11648/j.jps.20221002.14>
2. Ulyanov A. V., Karlov A. V., Xatefov E. B. The use of maize haploidy inducers as a tool in agricultural plant biotechnology. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2022, vol. 26, no. 7, pp. 704–713 (in Russian). <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-85>
3. Asadova G. M., Ulyanov A. V., Karlov M. V., Xatefov E. B. Prospects for the use of haploinductors in corn breeding. *Plant Biotechnology and Breeding*, 2020, vol. 3, no. 2, pp. 16–29 (in Russian). <https://doi.org/10.30901/2658-6266-2020-2-03>
4. Zaitsev S. A., Volkov D. P., Guseva S. A., Babushkin D. D. Genetic control of the number of grains on corn cob. *E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference "Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations"*, "FARBA 2021", 2021, vol. 254, pp. 01031. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125401031>
5. Turbin N. V., Xotyleva L. V., Tarutina L. A. *Diallel'nyj analiz v selektsii rastenij* [Diallel analysis in plant breeding]. Minsk, Nauka i tekhnika, 1974. 184 p. (in Russian).
6. Orlyanskaya N. A., Orlyanskij N. A., Chebotaryov D. S. Evaluation of combining ability of corn inbreds (S5) developed from genetically diverse germplasm. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*, 2022, vol. 17, no. 2 (66), pp. 28–35 (in Russian). <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2022-28-35>
7. Zezin N. N., Panfilov A. E., Kazakova N. I., Namyatov M. A., Tsymbalenko I. N., Gridin V. F., Ivanova E. S., Saltanova R. D. *Kukuruz na Urale* [Corn in the Urals]. Ekaterinburg, Ural Research Institute of Agriculture Publ., 2017. 204 p. (in Russian).
8. Guzhov Yu. L., Fuks A., Valichek P. *Selektsiya i semenovodstvo kul'tiviruemykh rasteniy: uchebnik. Pod red. Yu. L. Guzhova* [Guzhov Yu. L., ed. Breeding and seed production of cultivated plants. Textbook]. Moscow, RUDN Publ., 1999. 536 p. (in Russian).
9. Bogdan P. M., Kraskovskaya N. A., Danilenko I. N. Evaluating the collection of maize inbred lines originating from Primorsky Krai. *Agrarian Science*, 2023, no. 9, pp. 133–138 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-133-138>
10. Griffing B. Concept of general and combining ability in relation to diallel crossing systems. *J. Biol. Sci.*, 1956, no. 9, pp. 463–493.
11. Fedin M. A., Silis D. Ya., Smiryayev A. V. *Statisticheskie metody geneticheskogo analiza* [Statistical methods of genetic analysis]. Moscow, Kolos, 1980. 208 p. (in Russian).
12. Gutorova O. V., Yudakova O. I., Zajcev S. A. The effectiveness evaluation of the haploid inducer of maize line ZMS-P. *The Agrarian Scientific Journal*, 2019, no. 7, pp. 14–18 (in Russian). <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i7pp14-18>
13. Hayman B. I. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, 1954, vol. 10, pp. 235–244.
14. Smiryayev A. V., Kilchevskij A. V. *Genetika populyatsiy i kolichestvennykh priznakov* [Genetics of populations and quantitative traits]. Moscow, Kolos, 2007. 272 p. (in Russian).
15. Dragavcev V. A., Litun P. P., Shkel' N. M., Nechiporenko N. N. Model of ecological-genetic control of quantitative traits of plants. *Doklady AN SSSR*, 1984, vol. 274, no. 3, pp. 720–723 (in Russian).

Поступила в редакцию: 20.12.2023; одобрена после рецензирования 18.01.2024; принята к публикации 18.01.2024
The article was submitted 20.12.2023; approved after reviewing 18.01.2024; accepted for publication 18.01.2024