

НАСЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ И ЭФФЕКТ ГЕТЕРОЗИСА У ГИБРИДОВ СОИ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ

А.П. Галиченко, научный сотрудник, аспирант

Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Россия

E-mail: gap@vniisoi.ru

Ключевые слова: соя, гибриды, родительские формы, хозяйственно полезные признаки, эколого-географическая зона, степень фенотипического доминирования, гетерозис.

Реферат. Представлены результаты селекционно-генетического анализа наследования основных хозяйственно полезных признаков гибридами сои первого поколения по степени фенотипического доминирования и гетерозиса. Проведена оценка 18 гибридных комбинаций сои по четырем количественным признакам, слагающим продуктивность: количество бобов, количество семян, масса семян с одного растения и масса 1000 семян. Исследования проводились в лаборатории селекции и первичного семеноводства ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои в 2021–2022 гг. Образцы сои для гибридизации были подобраны с использованием эколого-географического принципа. В качестве материнских форм использовались высокопродуктивные сорта сои селекции ФНЦ ВНИИ сои: Сентябринка, Куханна, в качестве отцовских – сорта и образцы из американской, европейской и азиатской эколого-географических зон. Искусственная внутривидовая гибридизация проводилась в 2021 г. по методике К.К. Малыш и Т.П. Рязанцевой. В результате проведенных исследований был определен характер наследования основных хозяйственно полезных признаков у внутривидовых гибридов сои F_1 . Степень проявления и величина гетерозиса сильно варьировали в зависимости от комбинации скрещивания и изучаемого признака – от сверхдоминирования до депрессии. Установлено, что эффект гетерозиса и сверхдоминирования по всем четырем показателям: количеству бобов, количеству семян, массе семян с одного растения и массе 1000 семян ($h_p = 1,14–23,96$; $\Gamma = 2,85–23,26$ %) – зафиксирован в двух перспективных комбинациях с отцовской формой из американской эколого-географической зоны: ♀ Сентябринка × ♂ Саска (Канада) и ♀ Куханна × ♂ Саска (Канада). Высокий показатель степени фенотипического доминирования ($h_p = 1,65–18,54$) и гетерозиса ($\Gamma = 5,04–44,53$ %) по количеству бобов, количеству семян и массе семян с одного растения отмечен в комбинациях с отцовскими формами из американской (♀ Сентябринка × ♂ Киото (Канада)), европейской (♀ Сентябринка × ♂ Кордоба (Австрия)) и азиатской (♀ Сентябринка × ♂ Хэйхэ 12 (КНР)) эколого-географических зон. Данные гибридные комбинации представляют большой интерес в селекционных исследованиях на высокую продуктивность в условиях Амурской области.

INHERITANCE OF QUANTITATIVE TRAITS AND THE EFFECT OF HETEROSIS IN FIRST-GENERATION SOYBEAN HYBRIDS

A.P. Galichenko, Research Fellow, Ph.D. student

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Russia

E-mail: gap@vniisoi.ru

Keywords: soybean, hybrids, parental forms, economically advantageous traits, ecological-geographical zone, degree of phenotypic dominance, heterosis.

Abstract. The results of a selection and genetic analysis of the inheritance of essential economically beneficial traits by first-generation soybean hybrids according to the degree of phenotypic dominance and heterosis are presented. The authors considered an assessment of 18 hybrid soybean combinations based on four quantitative characteristics that make up productivity: the number of beans, the number of seeds, the weight of seeds per plant, and the weight of 1000 seeds. The research was conducted in the selection and primary seed production laboratory of the Federal State Budgetary Institution Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of Soybeans in 2021–2022. Soybean samples for hybridization were selected using an ecological-geographical principle. The authors used the highly productive soybean varieties bred by the Federal Scientific Center All-Russian Research Institute of Soybeans as maternal forms: Sentyabrinka, Kukhanna; as paternal forms, varieties and samples from the American, European, and Asian ecological-geographical zones. The authors carried out the Artificial

intraspecific hybridization in 2021 according to the method of K.K. Baby and T.P. Ryazantseva. As a result of the research, the nature of inheritance of the leading economically beneficial traits in intraspecific F1 soybean hybrids was determined. The degree of manifestation and magnitude of heterosis varied greatly depending on the combination of crossing and the trait being studied - from overdominance to depression. It has been established that the effect of heterosis and overdominance in all four indicators: the number of beans, the number of seeds, the weight of seeds per plant, and the weight of 1000 seeds ($hp = 1.14-23.96$; $G = 2.85-23.26\%$) – recorded in two promising combinations with the paternal form from the American ecological-geographical zone: ♀ Sentyabrinka x ♂ Saska (Canada) and ♀ Kuhanna x ♂ Saska (Canada). A high degree of phenotypic dominance ($hp = 1.65-18.54$) and heterosis ($G = 5.04-44.53\%$) in terms of the number of beans, the number of seeds, and the weight of seeds per plant were noted in combination with paternal forms from the American (♀ September x ♂ Kyoto (Canada)), European (♀ September x ♂ Cordoba (Austria)) and Asian (♀ September x ♂ Heihe 12 (PRC)) ecological-geographical zones. These hybrid combinations are of great interest in breeding research for high productivity in the Amur region.

Современная селекция обладает огромным диапазоном методов и способов получения нового исходного материала от фенотипической (с использованием гибридизации и искусственного мутагенеза) до геномной селекции [1–3]. Основным методом для выполнения селекционных программ по сое является искусственная гибридизация, которая обеспечивает комбинирование лучших хозяйственно полезных признаков в новых сортах [4–6]. Для получения наиболее разнообразного потомства с высоким гетерозисным эффектом и фенотипическим доминированием гибридов над родительскими формами используются различные принципы подбора исходного материала для скрещиваний [6, 7].

Наибольшую популярность среди селекционеров получил эколого-географический принцип подбора родительских пар для гибридизации, который впервые в селекции использовал И.В. Мичурин. Он пришел к выводу о пользе скрещивания родительских форм, развивавшихся в различных экологических условиях. Большой вклад в разработку и изучение этого метода внес Н.И. Вавилов. Согласно основным положениям его теории селекции, наибольший результат должны давать пары из генетически далеких родителей. Имеется в виду, что сорта и породы из разных регионов имеют разное генетическое происхождение, т.е. существует генетическая дивергенция генотипов, принимающих участие в гибридизации [8–10]. В качестве исходного материала для гибридизации в первую очередь следует использовать местные районированные сорта как наиболее приспособленные к условиям районов возделывания [11–13]. Эколого-географический прин-

цип подбора родительских пар состоит в том, что признаки и свойства, обособленные между географически и экологически отдаленными сортами и формами, интегрируются в одном новом сорте в необходимом их сочетании [14].

Большой вклад в разработку теоретических положений и практических указаний по подбору исходных родительских форм сои для гибридизации на Дальнем Востоке внесли А.П. Ващенко, П. П. Фисенко, Н.В. Мудрик (ПримНИИСХ), Т.П. Рязанцева, Л.К. Малыш (ВНИИ сои) и другие учёные [10, 15].

Цель исследований – с использованием показателей степени фенотипического доминирования и гетерозиса установить характер наследования основных хозяйственно полезных признаков у внутривидовых гибридов сои первого поколения и выделить высокопродуктивные гибридные комбинации для их дальнейшего использования в селекционном процессе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2022 г. на экспериментальном участке ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои (с. Садовое, Тамбовский район). В питомнике F_1 изучали 18 гибридных комбинаций, полученных в результате простых скрещиваний с использованием эколого-географического принципа подбора исходных родительских форм. В качестве родительских форм использовали высокопродуктивные сорта сои селекции ФНЦ ВНИИ сои (Сентябринка, Куханна) и сорта иностранного происхождения из Японии, КНР, США, Канады, Австрии, Украины и Сербии. Искусственную внутривидовую гибридизацию проводили в 2021 г. по методике К.К. Малыш

и Т.П. Рязанцевой [16]. В 2022 г. гибридные растения первого поколения 18 комбинаций скрещивания выращивали по блочной схеме «мать – гибрид – отец» для обеспечения достоверности сравнения результатов. Посев гибридов осуществляли вручную на двухметровых делянках, площадь питания одного растения 45 x 10 см.

В период вегетации сои проводили фенологические наблюдения, анализ по морфологическим признакам и идентификацию гибридов. Все растения убирали вручную, в лабораторных условиях выполняли биометрический анализ и индивидуальный обмолот каждого растения. Родительские формы и гибриды первого поколения изучали по основным базовым элементам продуктивности (количество бобов, количество семян, масса семян с одного растения и масса 1000 семян). На основании результатов гибридологического и структурного анализов по каждой комбинации F_1 определяли степень фенотипического доминирования и уровень гетерозиса [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В питомнике гибридов первого поколения изучалось 18 гибридных комбинаций, которые были получены в результате простых скрещиваний с использованием эколого-географического принципа подбора исходных родительских форм. Вовлечённые в скрещивания сорта отличались рядом хозяйственно полезных признаков: высокой продуктивностью, высокостебельностью, высоким прикреплением нижнего боба, высоким содержанием белка в семенах и другими полезными признаками.

Анализ гибридов F_1 позволил установить характер наследования четырех количественных признаков. Величина гетерозиса сильно варьировала в зависимости от комбинации скрещивания и исследуемого признака – от сверхдоминирования до депрессии. Наибольший эффект гетерозиса зафиксирован по основным

хозяйственно полезным признакам, слагающим продуктивность: количеству бобов, количеству семян, массе семян с одного растения и массе 1000 семян.

В гибридных комбинациях с отцовскими формами из американской эколого-географической зоны наследование количества бобов, количества семян, массы семян с одного растения и массы 1000 семян осуществлялось по типу положительного сверхдоминирования с $h_p > 1$ (1,14–23,96) в двух комбинациях: ♀ Сентябрьринка x ♂ Саска (Канада), ♀ Куханна x ♂ Саска (Канада), уровень гетерозиса находился в пределах 2,85–23,26 % (таблица). В комбинации ♀ Куханна x ♂ Jim (США) положительное сверхдоминирование ($h_p = 1,14$ –16,08) и эффект гетерозиса ($\Gamma = 2,32$ –19,35 %) отмечены по количеству семян, массе семян с одного растения и массе 1000 семян, по количеству бобов зафиксирован промежуточный тип наследования. Эффект сверхдоминирования ($h_p = 3,32$ –6,53) и гетерозиса ($\Gamma = 16,82$ –22,11 %) по показателям количества бобов, количества семян и массе семян с одного растения отмечен в комбинации ♀ Сентябрьринка x ♂ Киото (Канада), по массе 1000 семян гибридные формы не превосходили лучшего из родителей, отмечено промежуточное наследование по данному признаку. В комбинации ♀ Куханна x ♂ Киото (Канада) сверхдоминирование и эффект гетерозиса проявились по массе 1000 семян ($h_p = 2,29$; $\Gamma = 7,00$ %), тогда как по остальным трем показателям наблюдался промежуточный тип наследования ($h_p = -0,48$...0,44) и отрицательный гетерозис ($\Gamma = -2,41$...-13,44 %). В комбинации ♀ Сентябрьринка x ♂ Jim (США) положительное сверхдоминирование проявилось по показателю масса 1000 семян ($h_p = 2,61$), по количеству бобов с одного растения гибридные растения не превосходили родительские формы, по количеству семян отмечено доминирование низкого показателя ($-1 < h_p < -0,5$), по массе семян с растения наблюдалась гибридная депрессия признака ($h_p = -1,40$).

Гетерозис и степень фенотипического доминирования у гибридов сои F₁
Heterosis and degree of phenotypic dominance in F₁ soybean hybrids

Эколого-географическая зона	Комбинация скрещивания	Количество бобов, шт.	Количество семян, шт.	Масса семян с 1 растения, г	Масса 1000 семян, г
Американская	♀ Сентябрьринка х ♂ Jim (США)	$\frac{-10,87}{-0,06}$	$\frac{-19,08}{-0,94}$	$\frac{-12,92}{-1,40}$	$\frac{1,45}{2,61}$
	♀ Куханна х ♂ Jim (США)	$\frac{-21,74}{-0,18}$	$\frac{5,50}{1,37}$	$\frac{2,32}{1,14}$	$\frac{19,35}{16,08}$
	♀ Сентябрьринка х ♂ Саска (Канада)	$\frac{20,85}{3,65}$	$\frac{17,22}{4,19}$	$\frac{9,85}{1,81}$	$\frac{2,85}{1,49}$
	♀ Куханна х ♂ Саска (Канада)	$\frac{13,06}{2,17}$	$\frac{19,22}{2,94}$	$\frac{23,26}{2,90}$	$\frac{10,10}{23,96}$
	♀ Сентябрьринка х ♂ Киото (Канада)	$\frac{16,82}{3,32}$	$\frac{17,97}{3,50}$	$\frac{22,11}{6,53}$	$\frac{-4,38}{0,19}$
	♀ Куханна х ♂ Киото (Канада)	$\frac{-8,14}{-0,08}$	$\frac{-13,44}{-0,48}$	$\frac{-2,41}{0,44}$	$\frac{7,00}{2,29}$
Европейская	♀ Сентябрьринка х ♂ Кордоба (Австрия)	$\frac{9,87}{6,00}$	$\frac{10,72}{4,50}$	$\frac{5,04}{1,65}$	$\frac{-4,14}{0,47}$
	♀ Куханна х ♂ Кордоба (Австрия)	$\frac{33,80}{6,05}$	$\frac{-3,70}{0,61}$	$\frac{18,96}{2,23}$	$\frac{-1,91}{0,71}$
	♀ Сентябрьринка х ♂ Терек (Украина)	$\frac{-25,50}{-1,87}$	$\frac{-15,67}{-5,72}$	$\frac{-25,05}{-1,92}$	$\frac{1,24}{1,22}$
	♀ Куханна х ♂ Терек (Украина)	$\frac{-3,98}{-6,00}$	$\frac{-15,24}{-0,68}$	$\frac{-4,85}{-1,62}$	$\frac{10,76}{4,39}$
	♀ Сентябрьринка х ♂ Н.С. Катя (Сербия)	$\frac{-13,03}{0,38}$	$\frac{-9,76}{0,33}$	$\frac{-11,12}{0,46}$	$\frac{1,21}{1,13}$
	♀ Куханна х ♂ Н.С. Катя (Сербия)	$\frac{-5,30}{0,41}$	$\frac{-7,85}{0,31}$	$\frac{1,41}{1,13}$	$\frac{13,21}{10,07}$
Азиатская	♀ Сентябрьринка х ♂ Hidaka (Япония)	$\frac{12,18}{2,32}$	$\frac{5,15}{2,48}$	$\frac{-11,96}{0,35}$	$\frac{-12,79}{0,28}$
	♀ Куханна х ♂ Hidaka (Япония)	$\frac{-7,36}{0,61}$	$\frac{-19,09}{-0,16}$	$\frac{-16,89}{0,12}$	$\frac{-8,88}{0,11}$
	♀ Сентябрьринка х ♂ Хэйхэ 12 (КНР)	$\frac{33,34}{18,54}$	$\frac{44,53}{5,21}$	$\frac{27,42}{4,96}$	$\frac{-6,53}{0,37}$
	♀ Куханна х ♂ Хэйхэ 12 (КНР)	$\frac{-5,77}{0,62}$	$\frac{15,12}{6,20}$	$\frac{-20,29}{-0,02}$	$\frac{-15,11}{-0,44}$
	♀ Сентябрьринка х ♂ Хэйхэ 43 (КНР)	$\frac{-0,38}{0,93}$	$\frac{-6,80}{0,09}$	$\frac{-15,26}{-0,45}$	$\frac{-6,90}{-0,26}$
	♀ Куханна х ♂ Хэйхэ 43 (КНР)	$\frac{-22,85}{-1,05}$	$\frac{-17,51}{-0,78}$	$\frac{-15,37}{-0,96}$	$\frac{7,30}{19,51}$

Примечание. В числителе – величина гетерозиса (Г, %), В знаменателе – степень фенотипического доминирования (h_p).

При анализе родительских форм и гибридов сои в комбинациях с отцовскими формами из европейской эколого-географической зоны сверхдоминирование ($h_p = 1,45-6,00$) и эффект гетерозиса ($\Gamma = 5,04-10,72$ %) по признакам количества бобов, количества семян и массы семян с растения зафиксированы в комбинации

♀ Сентябрьринка х ♂ Кордоба (Австрия), по массе 1000 семян наблюдался промежуточный тип наследования. Эффект сверхдоминирования ($h_p = 2,23-6,05$) и гетерозиса ($\Gamma = 18,96-33,80$ %) по количеству бобов и массе семян отмечен в комбинации ♀ Куханна х ♂ Кордоба (Австрия), по количеству семян с одного растения и массе

1000 семян зафиксировано неполное доминирование высокого показателя ($0,5 < h_p < 1$). В комбинации ♀ Куханна х ♂ Н.С. Катя (Сербия) положительное сверхдоминирование зафиксировано по массе семян с растения ($h_p = 1,13$) и массе 1000 семян ($h_p = 10,07$), по количеству бобов и количеству семян гибридные растения не превосходили родителей ($h_p = 0,31-0,41$). Сверхдоминирование по массе 1000 семян ($h_p = 1,22$) отмечено в комбинации ♀ Сентябрьринка х ♂ Терек (Украина), по количеству бобов, количеству семян и массе семян с одного растения наблюдалась депрессия данных признаков. В комбинации ♀ Куханна х ♂ Терек (Украина) также отмечен сверхдоминантный эффект по массе 1000 семян ($h_p = 4,39$), по количеству семян с растения зафиксировано доминирование низкого показателя (отрицательное доминирование), по количеству бобов и массе семян проявилась депрессия признака ($h_p = -6,00; -1,62$). По массе 1000 семян сверхдоминирование ($h_p = 1,13$) проявилось в комбинации ♀ Сентябрьринка х ♂ Н.С. Катя (Сербия), по количеству бобов, количеству семян и массе семян с растения наблюдался промежуточный тип наследования.

В гибридных комбинациях с отцовскими формами из азиатской эколого-географической зоны наследование количества бобов, количества семян и массы семян с одного растения осуществлялось по типу положительного сверхдоминирования ($h_p = 4,96-18,54$) с эффектом гетерозиса ($\Gamma = 27,42-44,53$ %) в комбинации ♀ Сентябрьринка х ♂ Хэйхэ 12 (КНР), по массе 1000 семян гибридные растения не превосходили родительские формы. По количеству бобов и количеству семян с одного растения сверхдоминирование ($h_p = 2,32; 2,48$) наблюдалось в комбинации ♀ Сентябрьринка х ♂ Hidaka (Япония), отмечен промежуточный тип наследования по признакам массы семян с растения и массы 1000 семян ($h_p = 0,35; 0,28$). В комбинации ♀ Куханна х ♂ Хэйхэ 12 (КНР) сверхдоминирование и эффект гетерозиса проявились по количеству семян с одного растения ($h_p = 6,20; \Gamma = 15,12$ %), промежуточное наследование признаков зафиксировано по массе семян и массе 1000 семян ($h_p = -0,02; -0,44$), по количеству бобов

у гибридных растений наблюдалось неполное доминирование высокого показателя ($h_p = 0,62$). В комбинации ♀ Куханна х ♂ Хэйхэ 43 (КНР) сверхдоминирование и гетерозис отмечены по массе 1000 семян ($h_p = 19,51; \Gamma = 7,30$ %), по количеству семян и массе семян с одного растения зафиксировано доминирование низкого показателя ($h_p = -0,78; -0,96$), по количеству бобов наблюдалась депрессия признака. Промежуточный тип наследования по количеству семян, массе семян и массе 1000 семян отмечен в комбинации ♀ Куханна х ♂ Hidaka (Япония), по количеству бобов зафиксировано неполное доминирование высокого показателя ($h_p = 0,61$).

ВЫВОДЫ

1. Эффекты гетерозиса и сверхдоминирования по всем четырем показателям: количеству бобов, количеству семян, массе семян с одного растения и массе 1000 семян ($h_p = 1,14-23,96; \Gamma = 2,85-23,26$ %) – зафиксированы в двух наиболее перспективных комбинациях с отцовской формой, относящейся к американской эколого-географической зоне: ♀ Сентябрьринка х ♂ Саска (Канада) и ♀ Куханна х ♂ Саска (Канада).

2. В комбинациях с отцовскими формами из американской (♀ Сентябрьринка х ♂ Киото (Канада)), европейской (♀ Сентябрьринка х ♂ Кордоба (Австрия)) и азиатской (♀ Сентябрьринка х ♂ Хэйхэ 12 (КНР)) эколого-географических зон эффекты гетерозиса и сверхдоминирования проявились по трем показателям: количеству бобов, количеству семян и массе семян с одного растения ($h_p = 1,65-18,54; \Gamma = 5,04-44,53$ %).

3. В 10 комбинациях (55,5 %) гибридов сои первого поколения гетерозис и фенотипическое сверхдоминирование признака выявлены по массе 1000 семян, в 8 комбинациях (44,4 %) – по количеству семян и массе семян с одного растения, в 7 комбинациях (38,9 %) – по количеству бобов на одном растении.

4. Селекционно-генетическое изучение полученных внутривидовых гибридов сои следует продолжить в последующих поколениях с целью отбора наилучших и выявления природы гетерозиса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокина Е.М., Титов С.А., Губенко О.А. Наследование хозяйственно ценных признаков и гетерозис у гибридов сои F₁ // Дальневосточный аграрный вестник. – 2020. – № 3 (55). – С. 76–82. – DOI: 10.24411/1999-6837-2020-13036.
2. Синеговская В.Т. Вклад фундаментальных исследований в совершенствование селекционного процесса при создании сортов сои на Амуре // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 6. – С. 5–11. – DOI: 10.53859/02352451_2023_37_6_5.
3. Фокина Е.М., Беляева Г.Н., Разанцев Д.Р. Использование зародышевой плазмы нетипичных форм сои в селекции // Достижения науки и техники АПК. – 2020. – Т. 34, № 8. – С. 8–15. – DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10801.
4. Минькач Т.В., Оборская Ю.В. Наследование продуктивности одного растения у межвидовых гибридов сои // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – № 2 (62). – С. 24–29. – DOI: 10.22450/19996837_2022_2_24.
5. Rani A., Kumar V. Soybean Breeding // Fundamentals of Field Crop Breeding. – Springer, Singapore, 2022. – DOI: 10.1007/978-981-16-9257-4_17.
6. Alsanie S. Soybean Genome // Oil Crop Genomics. – Springer, Cham, 2021. – DOI: 10.1007/978-3-030-70420-9_1.
7. Genetic studies on seed coat permeability and viability in RILs derived from an inter-specific cross of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] / A. Kumar, S. Chandra, A. Talukdar [et al.] // Indian J Genet. – 2019. – N 79 (1). – P. 48–55. – DOI: 10.31742/IJGPB.79.1.7.
8. Селекционно-генетический анализ гибридов сои первого – третьего поколения / Е.С. Бутовец, Е.А. Васина, Г.О. Кукуруза [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. – 2021. – № 4 (60). – С. 15–22. – DOI: 10.24412/1999-6837-2021-4-15-22.
9. Калицкая Н.Г., Синеговская В.Т., Кобозева Т.П. Оценка межвидовых и внутривидовых гибридов сои первого поколения // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2021. – № 6. – С. 4–7. – DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/4-7.
10. Соя на Дальнем Востоке / А.П. Ващенко, Н.В. Мудрик, П.П. Фисенко [и др.]. – Владивосток: Дальнаука, 2014. – 435 с.
11. Characterization of the Common Genetic Basis Underlying Seed Hilum Size, Yield, and Quality Traits in Soybean / Q. Zhao, X. Shi, L. Yan [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2021. – N 12. – P. 183. – DOI: 10.3389/fpls.2021.610214.
12. Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture / M. Thudi, R. Palakurthi, J.C. Schnable [et al.] // Journal of Plant Physiology. – 2020. – No. 257. – P. 1–67. – DOI: 10.1016/j.jplph.2020.153351.
13. Кошкарлова Т.С., Толоконников В.В., Вронская Л.В. Селекционное улучшение сортов сои на короткостебельность // Известия НВАУК. – 2022. – № 2 (66). – С. 118–126. – DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-14.
14. Лепехов С.Б. Методы подбора пар для скрещивания в селекции на урожайность у самоопыляющихся культур // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2017. – Т. 178, № 4. – С. 76–89. – DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-76-89.
15. Рязанцева Т.П., Малыш Л.К. Некоторые вопросы создания исходного материала для селекции сои в Приамурье // Некоторые вопросы селекции и биологии сои. – Благовещенск, 1975. – С. 30–34.
16. Малыш К.К., Рязанцева Т.П. Некоторые вопросы биологии сои, связанные с методикой гибридизации // Труды Амурской сельскохозяйственной опытной станции. – Хабаровск, 1968. – Т. 2, вып. 1. – С. 38–48.
17. Федин М.А., Силис Д.Я., Смирязев А.В. Статистические методы генетического анализа. – М.: Колос, 1980. – 207 с.

REFERENCES

1. Fokina Ye.M., Titov S.A., Gubenko O.A., *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*, 2020, No. 3 (55), pp. 76–82, DOI: 10.24411/1999-6837-2020-13036. (In Russ.)
2. Sinegovskaya V.T., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2023, Vol. 37, No. 6, pp. 5–11, DOI: 10.53859/02352451_2023_37_6_5. (In Russ.)

3. Fokina Ye.M., Belyayeva G.N., Razantsvey D.R., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, Vol. 34, No. 8. pp. 8–15, DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10801. (In Russ.)
4. Min'kach T.V., Oborskaya YU.V., *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*, 2022, No. 2 (62), pp. 24–29, DOI: 10.22450/19996837_2022_2_24. (In Russ.)
5. Rani A., Kumar V., Soybean Breeding, *Fundamentals of Field Crop Breeding*, Springer, Singapore, 2022, DOI: 10.1007/978-981-16-9257-4_17.
6. Alsanie S., Soybean Genome, *Oil Crop Genomics*, Springer, Cham, 2021, DOI: 10.1007/978-3-030-70420-9_1.
7. Kumar A., Chandra S., Talukdar A. [et al.], Genetic studies on seed coat permeability and viability in RILs derived from an inter-specific cross of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill], *Indian J Genet.*, 2019, No. 79 (1), pp. 48–55, DOI: 10.31742/IJGPB.79.1.7.
8. Butovets Ye.S., Vasina Ye.A., Kukuruza G.O., Strashnenko T.N., Luk'yanchuk L.M., *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*, 2021, No. 4 (60). pp. 15–22, DOI: 10.24412/1999-6837-2021-4-15-22. (In Russ.)
9. Kalitskaya N.G., Sinegovskaya V.T., Kobozeva T.P., *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*, 2021, No. 6, pp. 4–7, DOI: 10.30850/vrsn/2021/6/4-7. (In Russ.)
10. Vashchenko A.P., Mudrik N.V., Fisenko P.P., Dega L.A., Chayka N.V., Kapustin YU.S., *Soya na Dal'nem Vostoke* (Soya in the Far East), Vladivostok: Dal'nauka, 2014, 435 p.
11. Zhao Q., Shi X., Yan L. [et al.], Characterization of the Common Genetic Basis Underlying Seed Hilum Size, Yield, and Quality Traits in Soybean, *Frontiers in Plant Science*, 2021, No. 12, pp. 183, DOI: 10.3389/fpls.2021.610214.
12. Thudi M., Palakurthi R., Schnable J.C. [et al.], Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture, *Journal of Plant Physiology*, 2020, No. 257, pp. 1–67, DOI: 10.1016/j.jplph.2020.153351.
13. Koshkarova T.S., Tolokonnikov V.V., Vronskaya L.V., *Izvestiya NVAUK*, 2022, No. 2 (66), pp. 118–126, DOI: 10.32786/2071-9485-2022-02-14. (In Russ.)
14. Lepekhov S.B., *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii*, 2017, T. 178, No. 4, pp. 76–89, DOI: 10.30901/2227-8834-2017-4-76-89. (In Russ.)
15. Ryazantseva T.P., Malyshev L.K., *Nekotoryye voprosy seleksii i biologii soi*, Blagoveshchensk, 1975, pp. 30–34. (In Russ.)
16. Malyshev K.K., Ryazantseva T.P., *Trudy Amurskoy sel'skokhozyaystvennoy opyt'noy stantsii*, Khabarovsk, 1968, T. 2, Vyp. 1, pp. 38–48. (In Russ.)
17. Fedin M.A., Silis D.YA., Smiryayev A.V., *Statisticheskiye metody geneticheskogo analiza* (Statistical methods of genetic analysis), Moscow: Kolos, 1980, 207 p.