

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СЕЛЕКЦИИ СОИ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Г.А. КИПШАКБАЕВА, к.с.х.н., ассоциированный профессор,
ORCIDID 0000-0002-2830-7173

С.В. ГОНЧАРОВ*, д.с.х.н., профессор, ORCIDID 0000-0002-1084-9521

З.Т. ТЛЕУЛИНА, магистр сельскохозяйственных наук, докторант,
ORCIDID 0000-0003-0410-2031

НАО «КАЗАХСКИЙ АГРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ С. СЕЙФУЛЛИНА, КАЗАХСТАН, АСТАНА
*ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ПЕТРА I, ВОРОНЕЖ

*Острый дефицит растительного белка – одна из главных проблем современности, затрагивающая как здоровье людей, так и развитие животноводства. Эту проблему предстоит решить за счет расширения производства белковых культур, и в особенности, сои *Glycine max (L.) Merr.**

В условиях севера Казахстана допущено к использованию 16 сортов сои. Из них к ультраранней группе спелости относятся – 5 сортов, к раннеспелой группе – 6 сортов и среднераннеспелой – 2 сорта. В условиях Северного Казахстана пригодны сорта сои с коротким вегетационным периодом развития (сорта ранних групп). Допущенные к использованию сорта сои относятся к сортам инорайонной селекции. Отсутствие налаженного селекционного процесса и отечественных сортов сои объясняется высокими требованиями культуры при возделывании, это соответственно, условия температурного фона и увлажнения в основные фазы развития культуры, длинный световой день и т.д. Отсутствие сортов сои, адаптированных к условиям Северного Казахстана является основным препятствием для увеличения посевных площадей культуры. Поэтому приоритетом селекционных программ должно быть выведение сортов сои, сочетающих скороспелость, приемлемую урожайность и качество товарной продукции.

*В результате исследований проведена комплексная оценка сортов сои различного происхождения по хозяйственно-ценным признакам и урожайности. Установлены корреляционные связи урожайности с элементами структуры продуктивности и показателями качества семян. Выявлены корреляционные связи, влияющие на формирование высокой урожайности в конкретных условиях. Для включения в селекционный процесс в качестве исходного материала рекомендованы сорта *Heihe 33 (Китай)*, *Heihe 35 (Китай)*, *Heihe 44 (Китай)*, *Weidou 26 (Китай)*, *Ивушка (Казахстан)* и *Золотистая (Россия)*, характеризующиеся сравнительно высокой урожайностью, коротким вегетационным периодом развития и качеством зерна. Для оценки качества жира использован ^1H и ^{13}C ЯМР метод, по результатам скрининга выявлен сорт *Светлячек (Казахстан)* характеризующийся интенсивностью сигналов. Данный сорт так же рекомендуется для включения в селекционный процесс на улучшение качества продукции.*

Ключевые слова: соя; сорт; исходный материал; урожайность; вегетационный период.

Для цитирования: Кипшакбаева Г.А., Гончаров С.В., Тлеулина З.Т. Перспективные направления селекции сои в условиях Северного Казахстана. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2023; 2(46):46-58. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-2-46-58

PROMISING DIRECTIONS OF SOYBEAN BREEDING IN THE CONDITIONS OF NORTHERN KAZAKHSTAN

G.A. Kipshakbayeva, S.V. Goncharov*, Z.T. Tleulina

NAO «S.SEIFULLIN KAZAKH AGROTECHNICAL RESEARCH UNIVERSITY», ASTANA, KAZAKHSTAN

*FSBEI HE «EMPEROR PETER THE GREAT VORONEZH STATE AGRARIAN UNIVERSITY», VORONEZH

Abstract: *Acute deficiency of vegetable protein is one of the main problems of our time, affecting both human health and the development of animal husbandry. This problem has to be solved by expanding the production of protein crops, and especially soy Glycine max (L.) Merr.*

In the conditions of the north of Kazakhstan, 16 varieties of soybeans have been approved for use. Of these, 5 varieties belong to the ultra-early ripeness group, 6 varieties belong to the early-ripening group and 2 varieties belong to the medium-ripeness group. Soybean varieties with a short growing season of development (varieties of early groups) are suitable. Soybean varieties approved for use belong to varieties of non-district selection. The absence of an established breeding process and domestic soybean varieties is explained by the high requirements of culture during cultivation, this is appropriate for the conditions of the temperature background and enjoyment in the main phases of culture development, etc. The lack of soybean varieties adapted to the conditions of Northern Kazakhstan is the main obstacle to increasing the acreage of the crop. Therefore, the priority of breeding programs should be the breeding of soybean varieties that combine early maturity, acceptable yield and the quality of marketable products.

As a result of the research, a comprehensive assessment of soybean varieties of various origins was carried out according to economically valuable characteristics and yield. Correlations of productivity with elements of the productivity structure and seed quality indicators have been established. Correlations affecting the formation of high yields in specific conditions have been identified. The varieties Heihe 33, Heihe 35, Heihe 44, Beidou 26, Ivushka and Zolotistaia, characterized by a relatively high yield, a short growing period of development and grain quality, are recommended for inclusion in the breeding process as a starting material in the breeding process. To assess the quality of fat, the ^1H and ^{13}C NMR method was used, according to the results of screening, a Svetlyachek variety was identified characterized by the intensity of the studied signals. This variety is also recommended for inclusion in the breeding process to improve the quality of products.

Keywords: soybean; variety; source material; yield; growing season.

Введение

К 2050 году человечество будет нуждаться в более, чем 260 млн.т белка в год. Население развитых стран потребность в протеине на 70% удовлетворяет белками животного происхождения и лишь на 30% – растительными. Но это соотношение быстро меняется в пользу растительного сырья. По экспертной оценке спрос на растительный белок может увеличиться до 97 млн. т стоимостью 290 млрд. долларов к 2035 г. [1].

Соя – главная белковая культура (при том, что относится к группе масличных) с широким диапазоном использования в пищевой, кормовой, технической и медицинской индустрии [2, 3]. В семенах сои местной селекции содержится 39-40% белка и 19-23% жира (Абугалиева А.И., 2016). По многочисленным исследованиям (Сингх Г., 2014), Иваненко А.С., 2018), темпы выращивания белковых культур высоки, так как ни один сбалансированный корм невозможен без использования жмыхов и шротов, которые обогащают его протеином.

Спрос на товарную сою увеличивается, и сельхозпроизводители в этой связи проявляют большой интерес к диверсификации севооборотов, в которых в настоящее время преобладают зерновые (HufnagelJ. et al., 2020) [4].

В последние десятилетия в Казахстане в связи с необходимостью диверсификации сельскохозяйственного производства увеличивается доля посевных площадей зернобобовых и масличных культур. Несмотря на относительно благоприятные почвенно-климатические условия Северного Казахстана, растут площади подсолнечника, который занимает до 30% площадей в структуре севооборота. Отсутствие отечественных адаптивных сортов – сдерживающий фактор для использования сои (Сидорик И.В., 2010).

Казахстан относится к слабо увлажнённой умеренно теплой зоне, с суммой активных температур 2000-2200°C и коэффициентом увлажнения 0,8-1,0 с широтным распределением температуры воздуха. Для выращивания сельскохозяйственных культур высокие риски несут поздние весенние и ранние осенние заморозки [5]. При создании сортов сои для условий Северного Казахстана необходимо учитывать недостаточную сумму эффективных температур за период роста и развития и длинный световой день, поскольку соя является короткодневным растением. Сорты сои с нейтральной фотопериодической реакцией могут относительно рано зацвести и образовывать семена в условиях длинного светового дня [6].

По мнению М.Д. Варлахова (2001), практическая селекция имеет дело с комплексом хозяйственно полезных признаков и должна решать парадоксальные задачи сочетания взаимоисключающих признаков: скороспелость с высокой продуктивностью, устойчивость к абиотическим факторам с максимальной способностью реализовать потенциал урожайности в разнообразных почвенно-климатических условиях.

Первым этапом селекционной работы является изучение исходного материала (Ващенко Т.Г., 2000). Решающую роль играет продолжительность вегетационного периода. Позднеспелость – недостаток, неприемлемый для сельхозпроизводителей. Сорты поздних групп спелости в условиях длинного светового дня реагируют увеличением продолжительности вегетационного периода, как правило, не успевают созреть до наступления стабильно низких температур [7].

Скороспелость – один из основных и наиболее важных признаков, определяющих возможность его возделывания в сложных агроклиматических условиях зоны рискованного земледелия Сибирского региона (Лихенко И.Е., 2012), Манакова Т.А., 2009). При этом интродукция сои для массового производства в континентальные регионы России затруднена из-за отсутствия адаптированных сортов и отсутствия технологий возделывания для конкретных природно-климатических условий региона.

Продолжительность вегетационного периода сортов сои зависит от длительности межфазных периодов. В период всходы – цветение происходит рост и развитие в основном вегетативных органов, способствующих накоплению общей массы растений [8]. Продолжительная вегетативная фаза означает более позднее цветение и высокий потенциал урожайности с риском не успеть созреть. Следовательно, балансирование вегетативного и репродуктивного периодов роста позволит достичь экономически оправданной урожайности при оптимальной продолжительности вегетационного периода. Переход от вегетативной к репродуктивной фазе регулируется сложной генетической системой и реагируют на уровне сигналов [9-12].

В селекции сои как масличной культуры, обращают внимание на содержание жира в семенах. Содержание жира изменяется в широком диапазоне в зависимости от условий выращивания. По данным Г.С. Посыпанова (2006), у сортов южного экотипа, выращиваемых в условиях высокой инсоляции, содержание жиров в семенах сои было всегда выше – 24,0-27,0%, чем у сортов умеренных широт – 18,0-22,0%, и тем более у сортов сои северного экотипа – 15,5-17,0%, созданных и выращиваемых при меньшей напряженности инсоляции. Однако масло, получаемое при переработке сои, например, в России, практически не используется для внутреннего потребления, а экспортируется как сырьё для переработки в биодизель [13].

Связи высокого содержания белка с другими признаками сложные, максимально проявляются во влажные годы, благоприятные для роста и развития сои и индивидуальны для каждого генотипа. В опыте Озяковой Е.Н., Поползухиной Н.А. (2014), подтверждена зависимость содержания белка в зерне от гидротермических условий.

Селекция сои на качество не менее сложна, чем селекция на урожайность. По данным Дидоренко С.В. (2019) по содержанию белка скороспелые образцы стабильнее, чем среднеспелые, тогда как большей стабильностью признака масличности, наоборот, отличались образцы среднеспелой группы спелости. Ультраскороспелые образцы в среднем содержали больше протеина, чем позднеспелые.

По данным российских исследователей вегетационный период, отличающийся повышенной температурой воздуха и достаточным увлажнением, был более благоприятным для формирования белка в зерне сои до 40,8% в среднем по сортам [14].

Цель исследований – комплексная оценка сортимента сои в условиях степной зоны Северного Казахстана и выделение адаптивных форм для дальнейшего использования в практической селекции.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в условиях Северного Казахстана в период с 2018 по 2021 годы (71°38' в.д., 50°56' с.ш.). Суммарное количество осадков в период вегетации сои в 2018 году составило 170,2 мм, а в 2019 году – 94 мм, в 2020 году – 160,8 мм и в 2021 году – 100,1 мм; по сравнению с среднегодовыми показателями в 2018 году выпало на 5,2 мм больше, в 2019, 2020 и 2021 годы соответственно на 71, 4,2 и 64,9 мм меньше. Показатели среднемесячной температуры воздуха в период вегетации в 2018, 2019 годы ниже показателей среднегодовых данных, в 2020, 2021 годы наоборот превышают показатели среднегодовых.

Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по методике Г.Т.Селянинова (Глухих М.А., 2022), для которого использовали данные среднесуточных температур воздуха и суточных сумм осадков из климатических наблюдений на метеорологической станции METUS.

Полевые исследования проводились согласно рекомендациям «Методы изучения коллекции зернобобовых культур» (Вишнякова М.А., 2010).

Качественные показатели определяли согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). Сорттовую чистоту определяли по сноповому образцу, из которого анализировали 25 растений. Высоту прикрепления нижних бобов определяли путем измерения расстояния от места прикрепления нижнего боба до корневой шейки, вызреваемость семян, потери семян при срезе на высоте 10 см.

Содержание жира определяли согласно государственному стандарту (ГОСТ 10857-64, 2010). Метод основан на экстракции жира из исследуемого пищевого концентрата этиловым или петролейным эфиром в экстракционном аппарате Сокслета.

Для определения жирно кислотного состава растительных масел использовали УФ-и ИК-спектроскопию, флуоресцентный метод и ЯМР спектроскопию (Прудников С.М. (2001)).

Результаты экологического испытания были проанализированы с помощью программы GGEbiplot (YanW., 2000).

В коллекционном питомнике проходили изучение более 120 сортообразцов сои различного происхождения: отечественной селекции – 75 шт.; российской селекции – 30 шт.; китайской селекции – 15 шт., предшественник – пар, повторность – 1 кратная, площадь делянки – 2 кв.м. Посев проводили сеялкой ССФК-7. Для улучшения условий прорастания семян проводили прикатывание посевов. В качестве стандарта использованы сорта Ивушка и Бара. Расположение стандартных сортов через 10 номеров.

Технология возделывания культуры – зональная. Уборку каждого сорта сои производили по мере наступления уборочной спелости.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований показали, что период формирования вегетативной стадии (посев-всходы) был близок по продолжительности у изучаемых сортов сои, а различия между сортами проявлялись при переходе к генеративной стадии развития растений, особенно в период созревания. Сортообразцы изучаемой коллекции относились к ранней и среднеранней группам спелости (рис. 1).

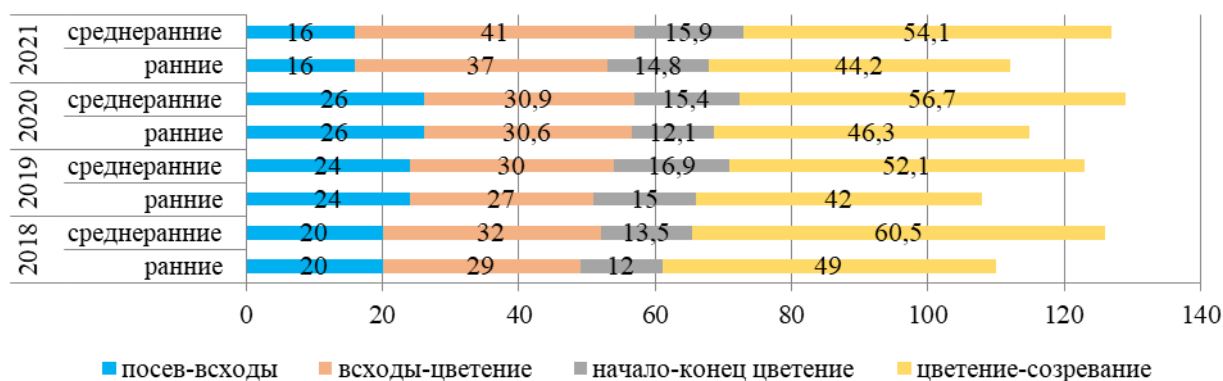


Рис. 1. Продолжительность межфазных периодов сои сортов разных групп спелости, суток, 2018-2021 гг.

Соответственно исходя из результатов исследований, для условий Северного Казахстана большой интерес для дальнейшей работы представляют образцы среднеранней группы спелости как Heihe 58, Heihe 33, Heihe 49, Beidou 26, Светлячек, Heihe 44 и Heihe 43. Данные сорта также характеризовались приемлемой длиной вегетационного периода до 90 дней и коротким периодом развития «всходы–цветение» (30-36,4 суток). В табл.1 представлены результаты оценки лучших среднеранних сортов сои.

Таблица 1

Показатели элементов структуры продуктивности лучших сортов сои среднеранней группы спелости, среднее за 2018-2021 гг.

Сорт	Происхождение	Высота растения, см.			Масса семян с 1 боба, г.	Высота прикрепления нижнего боба, см	Масса 1000 зерен, г.
			Бобов на растении, шт.	Семян в бобе, шт.			
Бара	Россия	49±0,0	23,3±0,0	3,0±0,0	0,42±0,0	10,7±0,0	123,2±0,0
Heihe 58	Китай	54±5,0	19,0±4,3	2,9±0,1	0,66±0,24	12,1±1,4	138,7±15,5
Heihe 59	Китай	55±6,0	19,7±3,6	3,0±0	0,66±0,24	12,9±2,2	136,2±13,0
Heihe 33	Китай	51±2,0	22,1±1,2	2,9±0,1	0,33±0,09	10,9±0,2	135,6±12,4
Heihe 35	Китай	51±2,0	22,5±0,8	3,0±0	0,46±0,04	12,4±1,7	137,0±13,8
Heihe 44	Китай	52±3,0	24,0±0,7	2,8±0,2	0,34±0,08	10,6±0,1	130,2±7,0
Heihe 49	Китай	52±3,0	28,4±14,9	2,2±0,8	0,39±0,03	10,1±0,6	151,0±27,8
Beidou 26	Китай	53±4,0	29,7±6,4	3,0±0	0,62±0,2	10,2±0,5	147,6±24,4
Beidou 36	Китай	57±8,0	28,0±4,7	3,0±0	0,45±0,03	14,0±3,3	131,8±8,6
Beidou 43	Китай	51±2,0	22,4±0,9	3,1±0,1	0,52±0,08	10,2±0,5	135,1±11,9
Huajiong 2	Китай	55±6,0	29,3±6,0	3,7±0,7	0,76±0,34	10,2±0,5	137,7±14,5

По признаку высота растений все исследуемые сорта относились к высокорослому типу. В годы исследований не отмечено полегания сортов сои. По признаку количество бобов с растения показатели варьировали от 18,2 до 29,7 штук. Наибольшим количеством бобов на растении характеризовались сорта Heihe 44, Heihe 49, Beidou 26, Beidou 36. По признаку количество семян в бобе варьирование не большое (2-3 штуки). В зависимости от количества семян в бобе соответственно изменялся показатель массы семян с боба (0,33-0,76 г). Лучшими были сорта Huajiong 2, Beidou26, Heihe58, Бара и Heihe59 (0,42-0,76 г). Варибельность признака «масса 1000 зерен» сортов сои была существенно меньше (123,2-151,2 г.), что указывает на его высокую наследственную обусловленность. По показателю высота прикрепления нижнего боба, большинство сортов сои характеризовались, как высокое (более

10 см). В таблице 2 представлены средние значения биометрических показателей выделенных сортов сои в разрезе групп спелости.

Таблица 2

Биометрические показатели лучших сортов сои, среднее за 2018-2021 гг.

Сорт	Происхождение	Высота растения, см	Боковое ветвление, шт	Высота прикрепления нижнего боба, см	Бобов на растении, шт	Продуктивных узлов на стебле, шт	Зерен в бобе, шт
<i>Ранние</i>							
Ивушка	Казахстан	39,6±0,0	4±0,0	7,4±0,0	34,8±0,0	10,1±0,0	1,91±0,0
Beidou 43	Китай	42,2±2,6	2,4±1,6	6,7±0,7	24,4±10,4	11,2±1,1	1,9±0,01
LongKen 310	Китай	46,4±6,8	0,1±3,9	9,6±2,2	19,2±15,6	8,0±2,1	2,2±0,29
Heihe 43	Китай	36,2±3,4	0,1±3,9	8,3±0,9	24,4±10,4	11,4±1,3	1,9±0,01
Heihe 33	Китай	36,8±2,8	0,1±3,9	6,7±0,7	15,4±19,4	6,8±3,3	2,16±0,25
Золотистая	Россия	59,2±19,6	2±2,0	6,7±0,7	30±4,8	11±0,9	1,88±0,03
<i>Среднеранние</i>							
Бара	Россия	46,4±0,0	0,1±0,0	7,6±0,0	19,6±0,0	7,8±0,0	1,94±0,0
Линия 113	Казахстан	37,9±8,5	0,2±0,1	6,5±1,1	15,2±4,4	7,2±0,6	1,92±0,02
LongKen 336	Китай	35,6±10,8	0,1±0,0	9,1±1,5	18,4±1,2	7,8±0,0	2,38±0,44

По комплексу элементов структуры урожая интерес для практической селекции представляют сорта LongKen 310, Huaqiong 2, Beidou 26, Heihe 59 и сорт Бара. Также в 2021 году по данным показателям выделялись сорта: Нур+, Надежда, Золотистая, Kenfeng 6, Аванта, ОАК Пруденс и перспективная линия № 90.

В годы исследований урожайность сортов варьировала в широких пределах от 1,5 ц/га у среднеранней группы в 2018 г. до 14,1 ц/га у ранней в 2021 г. В разрезе каждой группы спелости выявлены ряд сортов характеризующиеся стабильным значением урожайности по годам. Как показали результаты исследований, продолжительность вегетации сортов сои имело наибольшее значение при формировании урожайности и его элементов структуры. Для зоны севера Казахстана необходимы сорта с коротким вегетационным периодом роста и развития от 90 до 110 дней. Сорта сои среднеспелой группы относятся к «группе риска», поскольку в годы с низким температурным фоном могут не вызреть. При этом в благоприятные годы в условиях Северного Казахстана, эта группа спелости характеризуется высокой урожайностью.

В таблице 3 представлены лучшие сорта сои, которые характеризуются коротким вегетационным периодом развития, с приемлемой урожайностью и содержанием белка и могут быть использованы как источники хозяйственно-ценных признаков в практической селекции.

Таблица 3

Лучшие сорта сои с коротким вегетационным периодом развития, высокой урожайностью и качеством зерна, среднее за 2018-2021 гг.

Название сорта	Происхождение	Вегетационный период, дни	Урожайность, ц/га	Содержание белка, %	Содержание жира, %
Heihe 33	Китай	90±1,0	10,2±1,9	36,7±2,09	18,1±5,77
Heihe 35	Китай	92±3,0	10,2±1,9	39,7± 5,09	18,5±5,37
Heihe 44	Китай	91±2,0	10,5±2,2	38,1±3,49	18,4±5,47
Heihe 49	Китай	90±1,0	10,8±2,5	41,8±7,19	17,5±6,37
Beidou 26	Китай	90±1,0	12,3±4,0	38,1±3,49	17,2±6,67
Beidou 43	Китай	90±1,0	10,5±2,2	36,0±1,39	21,4±2,47
Huaqiong 2	Китай	92±3,0	10,2±1,9	35,7±1,09	19,3±4,57

Вариабельность значений урожайности в годы исследований представлено на рисунке 2.

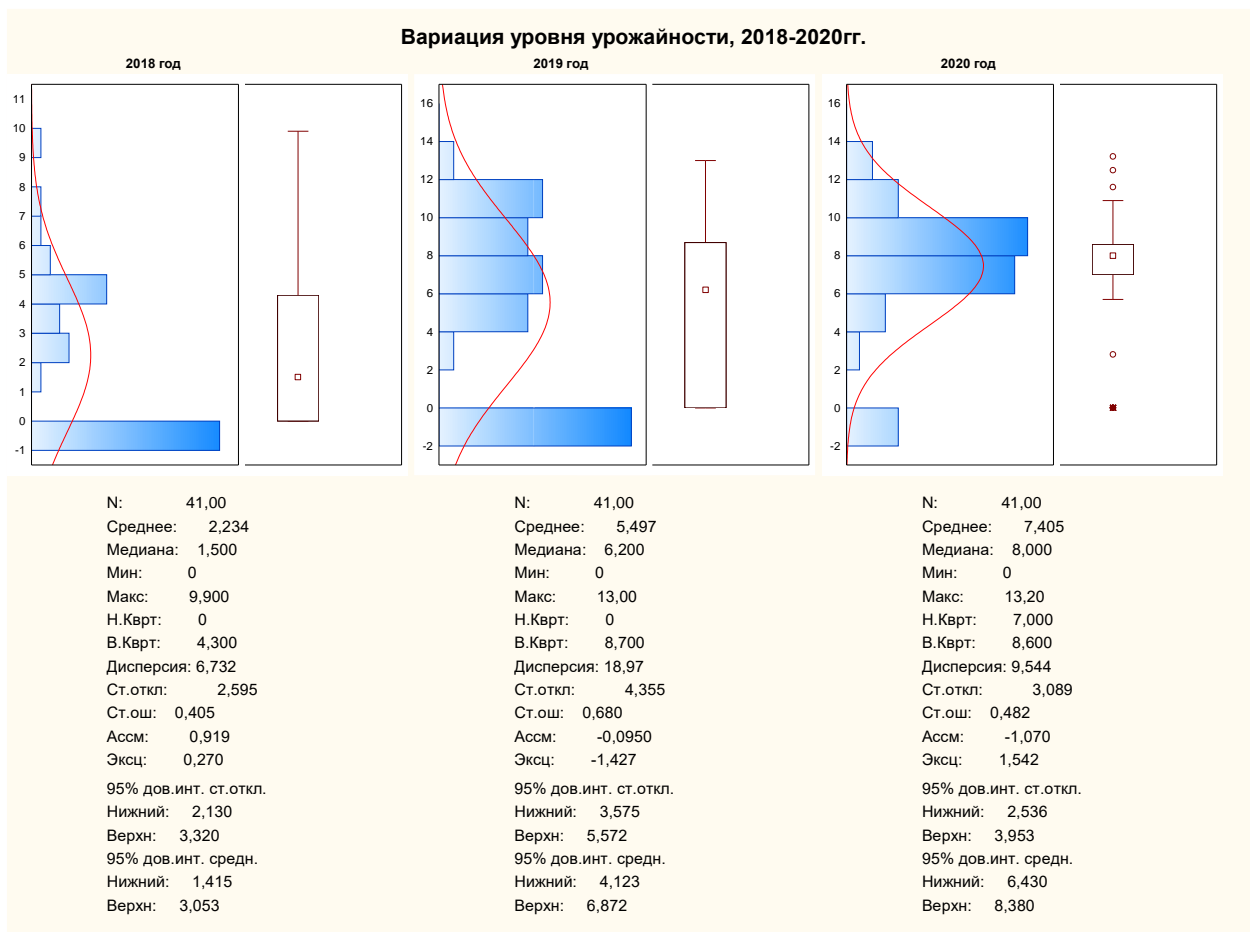


Рис. 2. Вариация уровня урожайности, 2018-2020 гг.

По результатам исследований выявлено, что урожайность сортов сои находится в прямой зависимости от погодных условий, которые в 2018 и 2020 гг. были более благоприятными для роста и развития сои. При дисперсии 9,5 среднее отклонение составило показатель – 3,0, отклонение при 95% достоверности соответствует норме.

В исследованиях формирование показателей структуры урожая больше проявлялись генетически, нежели проявлялся фенотипический эффект, так же как и показатель урожайности. Расчеты корреляционных связей между урожайностью и показателями элементов структуры урожая показали низкие значения, даже с числом бобов на растении ($R=0,3$). Судя по коэффициентам корреляции снижение высоты растений приводит к уменьшению количества продуктивных узлов ($r=0,51$) и сокращению расстояния от корневой шейки до первого боба ($r=0,44$). Средняя положительная корреляция установлена между числом семян в бобе и массой семян с боба ($r=0,64$), между высотой прикрепления нижнего боба и массой 1000 семян ($r=0,65$), массой 1000 семян и содержанием белка ($r=0,57$). Высокая отрицательная корреляция была у признаков число семян в бобе и содержание белка в зерне ($-r=0,80$), средняя – между урожайностью и содержанием белка ($-r=0,48$), числом бобов на растении и содержанием жира ($-r=0,67$). На проявление признаков количество бобов на растении и количество семян в бобе, определяющее влияние оказывали условия возделывания. При этом значительных различий по изучаемым показателям между сортами и признакам не наблюдалось. Количество семян в бобе, как правило, было 2-3, за исключением более поздних сортов, растения которых формировали 3-4 семени.

^1H и ^{13}C ЯМР спектры (рис. 3 и 4) исследованных образцов жира показали высокую идентичность полученных сигналов. Это свидетельствует о высокой схожести показателей качества жира образцов. Принимая во внимание, что основными компонентами растительных масел являются глицериды насыщенных (пальмитиновая, стеариновая) и ненасыщенных

(олеиновая, линолевая, линоленовая) жирных кислот, нами проведены исследования как качественного, так и количественного состава соевого масла.

В ^1H ЯМР профиле соевого масла сорта Светлячек сигнал 1 указывает на наличие ненасыщенных жирных протонов. Вместе с глицериновыми протонами 2 ненасыщенные жирные протоны составляют интегральную интенсивность 31.04H. Концентрация ненасыщенных жирных протонов – 31.04H – один из важных показателей для установления уровня ненасыщенности масел. Соевое масло характеризуется в целом значительным содержанием полиненасыщенных жирных кислот (линолевая и линоленовая). Содержание метиленовых (бис-аллильных) протонов линоленовой и линоленовой кислот составляет 12.47H (сигнал 5) метиленовые протоны.

В ^{13}C ЯМР спектрах изученных образцов соевого масла наблюдается большое число сигналов в области 14.17-34.26 м.д., которые соответствуют метильным, метиленовым и аллильным углеродным атомам. Пики в области 14.17-22.78 м.д. соответствуют терминальным атомам углерода CH_3 цепей жирных кислот. Сигналы при 62.16 и 66.10 м.д. указывают на углеродные атомы CH_2 и CH глицерида. Непредельные($=\text{CH}$) атомы углерода определяются сигналами 128.11-130.28 м.д. Сигналы при 172.91-173.33 м.д. указывают на карбонильные ($\text{C}=\text{O}$) углеродные атомы триглицеридов.

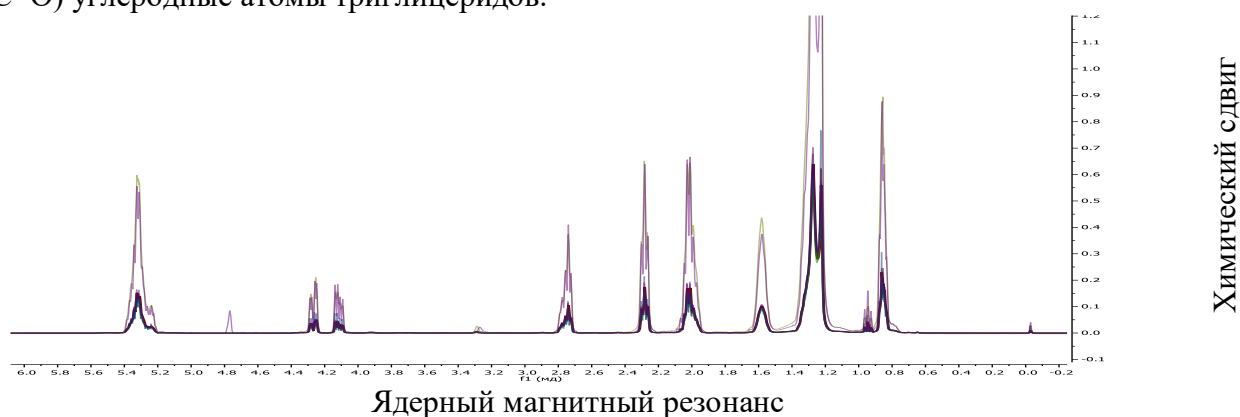


Рис. 3. ^1H ЯМР спектры изучаемых образцов соевых масел

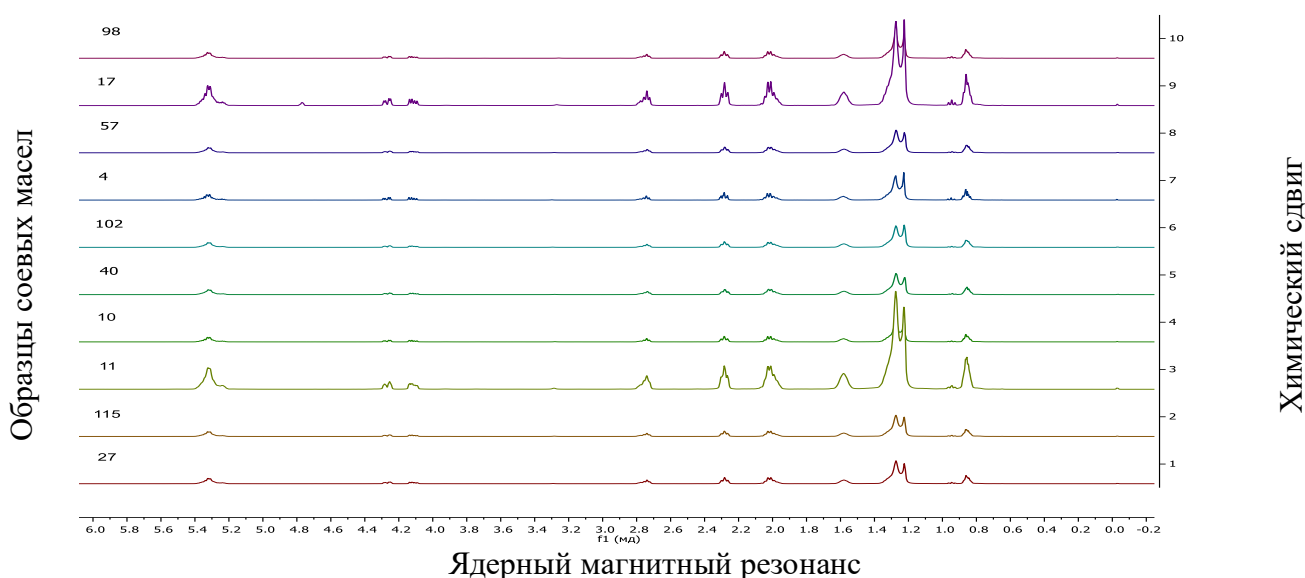


Рис. 4. ^1H ЯМР спектры изучаемых образцов соевых масел (№98- Золотистая (Казахстан), №17- Heihe 43 (Китай), №57 – Чера 1 (Россия), № 4 – Светлячек (Казахстан), №102 – Нур+ (Казахстан), № 40 –Heihe 33 (Китай), №10 – Бара (Россия), №11 – Ивушка (Казахстан), №115 – линия (Казахстан), №77 (Казахстан), № 27 – Heihe 44 (Китай))

Статистическая и графическая (GGE biplot) оценка позволяет проводить более детальный анализ и характеризовать аспекты генотип-средовых испытаний, генотипов, сред и мега средовой анализ (рис. 5).

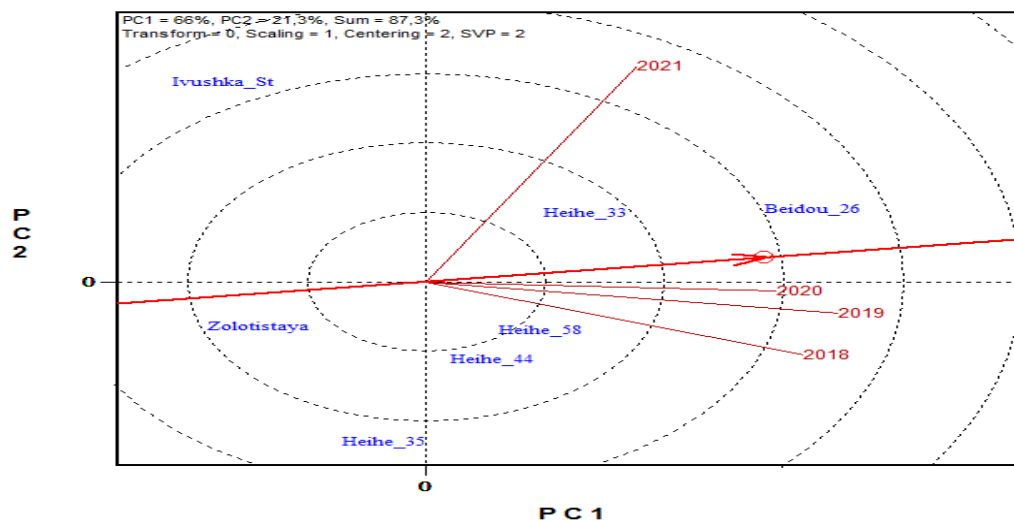


Рис. 5. Дифференцирующая способность и репрезентативность сред испытания

Основная жирная линия, проходящая через центр, является средней осью изучаемых сред. В конкретном случае среда 2019 и 2021 гг. характеризуются более длинным вектором, что свидетельствует об их дифференцирующей способности. Меньший угол между средней осью и вектором среды 2020 г. говорит об его репрезентативности. Однако невозможно с уверенностью сделать заключение об идеальности данной среды для условий выращивания культуры.

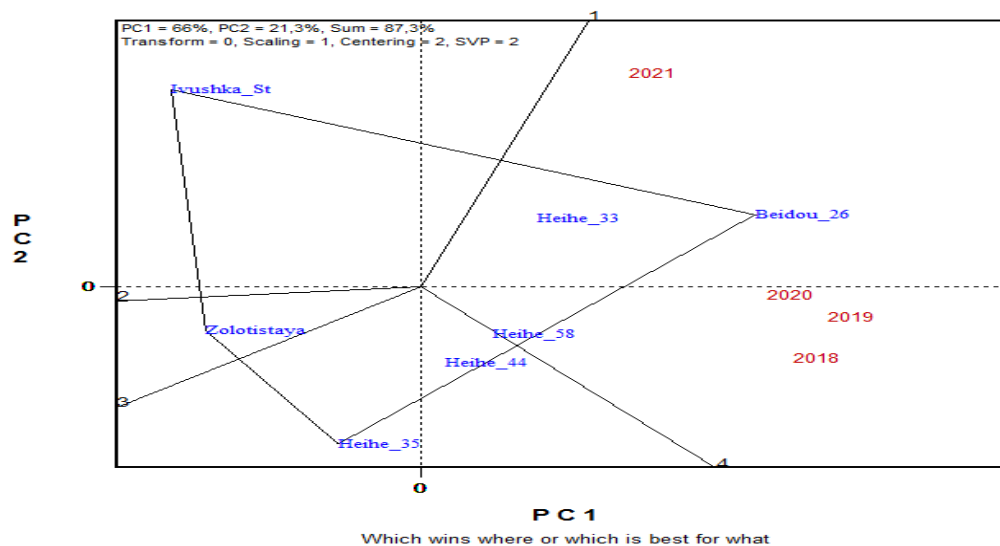


Рис. 6. Двухмерный график GGE для шаблона «Which-won-where» («Какой из генотипов, где победил»), 2018-2021 гг.

На рисунке 6 представлен многоугольник «Which-won-where», где визуализирована реакция некоторых сортов при их взаимодействии со средой, что позволяет визуализировать преимущество генотипов в средах. Линиями отходящими от центра разделены 2 сектора, на них расположены изучаемые сорта. Данные сорта имеют определенное преимущество в каждой среде. По результатам оценки лучшими в совокупности всех сред были сорта Beidou 26 (Китай) и Heihe 58 (Китай). Сорта, указанные в секторах без

сред, уступали им по показателю адаптивности. Для корректной оценки проведен анализ взаимодействия генотип-среда. Согласно полученным результатам, PC_1 – это эффект генотипа, а PC_2 – взаимодействие генотипа со средой. В наших исследованиях PC_1 – составил 66%, а PC_2 – 21,3% соответственно. Общая дисперсия (изменчивость компонентов) составила 87,3%.

Так как урожайность это больше интегральный показатель продуктивности растений, как результат взаимодействия всех количественных признаков растения с условиями внешней среды. Основной причиной колебания показателя является изменение погодных условий в период вегетации и реакция изучаемых сортов сои на изменения условий окружающей среды. Сорта сои, характеризующиеся высокой урожайностью, в различные годы являются экологически пластичными.

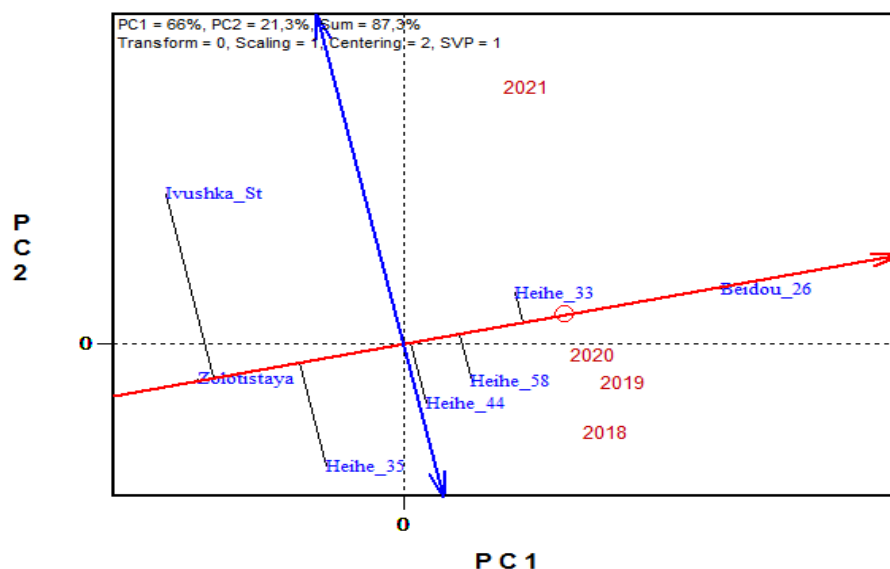


Рис. 7. Двухмерный график GGE для оценки средней урожайности и стабильности генотипов в 2018-2021 гг.

На рисунке 7 представлена биplot-модель «Mean again ststability» (сочетание среднего значения и стабильности). Судя по результатам, высокой адаптивной способностью обладает сорт Heihe 44 (Китай) и по убывающей, сорта Heihe 58 (Китай), Beidou 26 (Китай) в совокупности сред сорт Heihe 33 (Китай) в среде 2021 года.

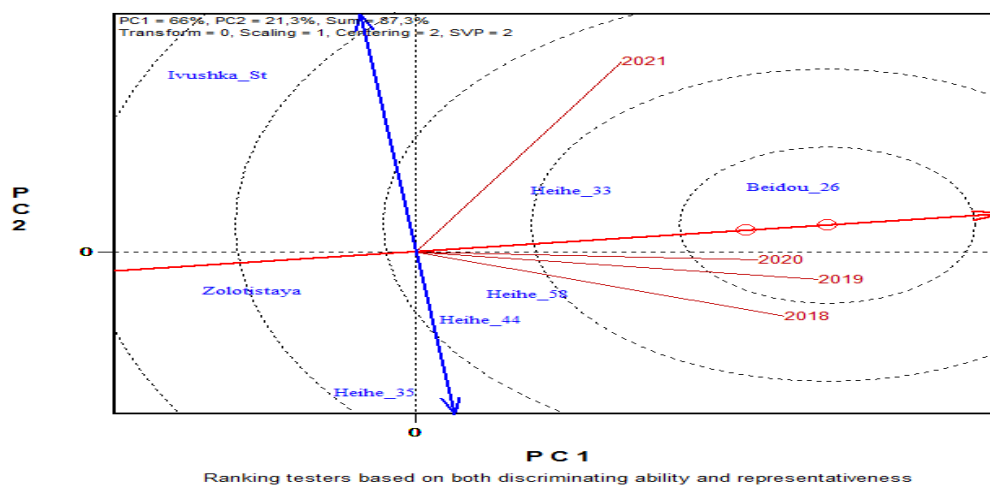


Рис. 8. Двухмерный график GGE распределения генотипов, для сравнения с «идеальным» генотипом GGE «Rank genotypes with reference to the «Ideal» genotype»

На рис. 8 красная стрелка указывает на расположение идеального генотипа, который находится в центре кругов. Расположенные в центре кругов сорта сои являются наиболее адаптивными и стабильными по урожайности в исследуемые годы, как, например, сорт Beidou 26. Сорта Heihe 33 (Китай), Heihe 58 (Китай) и Heihe 44 (Китай) уступают Beidou 26 (Китай), но способны реализовать потенциал урожайности и адаптивности в иных условиях возделывания. Сорта Золотистая и Heihe 35 не показали практической ценности вследствие низкой адаптивной способности. Выявленные в результате исследований сорта сои обладают высокой экологической пластичностью и могут быть использованы в практической селекции при создании сортов сои для конкретных условий севера Казахстана. Условия возделывания сельскохозяйственных культур и особенно масличных в регионах Северного Казахстана весьма жесткие и, естественно, уровень продуктивности их невысокий, однако качество в отдельные годы могут сформировать очень высокое. Условия возделывания 2018-2021 годов по своему отразились на формировании уровня урожайности и качества сои.

Полученные результаты исследований позволили оценить вариацию уровня основного признака – урожайности в различные годы, а так же определить аспекты генотип-средовых испытаний, реакцию изучаемого набора сортов в различных средах и в результате – выделить «идеальный генотип».

Выводы

1. Выявлены образцы сои, выделяющиеся по хозяйственно-ценным признакам для использования в качестве источников и доноров в практической селекции:

– скороспелые: Heihe 58 (Китай), Heihe 33 (Китай), Heihe 49 (Китай), Бара (Россия), Beidou 26 (Китай), Beidou 51 (Китай), Suiyang 1 (Китай);

– с высоким потенциалом урожайности: Heihe 33 (Китай), Heihe 35 (Китай), Бара (Россия), Heihe 44 (Китай), Heihe 49 (Китай), Beidou 26 (Китай), Beidou 43 (Китай), Huajiong 2 (Китай), LongKen 310(Китай), Kenfeng 6 (Китай);

– с высоким содержанием протеина: Huajiong 2 (Китай), Beidou 43 (Китай), Beidou 26 (Китай), Heihe 49 (Китай), Бара (Россия), Heihe 33 (Китай) и Heihe 35 (Китай).

2. Некоторые элементы структуры урожая напрямую влияли на формирование урожайности сортов сои в годы исследований, в частности это масса семян с боба и соответственно масса 1000 семян. Незначительной корреляционной связью характеризовались показатели высоты растения, количество бобов на растении и количество семян в бобе. По показателю высоты растений выявлено, что снижение высоты растений приводит к снижению количества продуктивных узлов.

3. Вариация уровня урожайности и других хозяйственно-ценных признаков в различные годы является проявлением генотипического эффекта (влияние генотипа составил 66%, взаимодействие генотипа со средой – 21,3%), что в свою очередь позволило определить аспекты генотип-средовых испытаний, реакцию изучаемого набора сортов в различных средах и выделить «идеальный генотип». Таковым является сорт сои Beidou 26 (Китай), сорт расположен в непосредственной близости к «идеальному» генотипу, что свидетельствует о сочетании урожайных и адаптивных свойств. Сорт обладает высокой экологической пластичностью и может быть использован в практической селекции при создании сортов сои для конкретных условий севера Казахстана.

4. Исследования образцов жира с использованием ^1H и ^{13}C ЯМР метода показали схожесть полученных сигналов. Выделены ряд сортов сои с интегральной интенсивностью сигналов как сорт Светлячек (Казахстан) (31.04Н). У остального набора сортов отмечается большое скопление сигналов в 14.17-34.26 м.д. метиленовым и аллильным углеродным атомам, сигналы в области 14.17-22.78 м.д. соответствуют терминальным атомам углерода CH_3 цепей жирных кислот. По результатам исследований сорт сои Светлячек (Казахстан) рекомендуется для использования в качестве исходного материала при практической селекции на качество зерна.

Литература

- 1 Гончаров С.В., Коробова Н.А. Перспективные направления селекции гороха. *Аграрный научный журнал*. 2022;9;13–17. DOI.org/10.28983/asj.y2022i9pp13-17
- 2 He F.J., Chen, J.Q. Consumption of soybean, soy foods, soy isoflavones and breast cancer incidence: differences between Chinese women and women in Western countries and possible mechanisms. *Food Sci.Hum. Wellness* 2013;3;146-161. DOI 10.1016/j.fshw.2013.08.002
- 3 Hildebrand D. Operation of the oxylin pathway. Soy 2000. Program and proceedings for 8th Biennial Conference of the Cellular and Molecular Biology in Soybean. Lexington, Kentucky, 2000. P. PII 08.
- 4 Hufnagel J., Reckling M., Ewert, F. Diverse approaches to crop diversification in agricultural research. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2020;40;14. DOI 10.1007/s13593-020-00617-4
- 5 Амантаев Б.О., Кипшакбаева Г.А., Тлеулина З.Т. Солтүстік Қазақстанның құрғақ далалық аймағы жағдайында температураның майбұршақ сорттарының өсіп-дамуына әсері. Костанайский государственный университет имени Ахмета Байтурсынова "Intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация" многопрофильный научный журнал 2020;2;59-65.
- 6 Кипшакбаева Г.А., Амантаев Б.О., Тлеулина З.Т., Кипшакбаева А.А., Кульжабаев Е.М. Изучение и оценка перспективных сортов сои в условиях сухостепной зоны Северного Казахстана. Казахский национальный аграрный университет. *Исследования, результаты*. – 2020; – № 2 (86); – С. 235-241.
- 7 Созонова А.Н. Изучение сортов сои в лесостепи Тюменской области. *Агропродовольственная политика России*. 2016;12(60); 49-50.
- 8 Лукомец В.М., Пенчуков В.М., Тильба В.А., Зайцев Н.И., Шабалдас О.Г., Бушнева С. Совершенствование технологии возделывания сои. *Вестник АПК Ставрополя*. – 2015; – 2; – С. 88-9.
- 9 Yoo S.K., Chung K.S., Kim, J., Lee J. H., Hong S. M., Yoo S.J., et al. (2005). CONSTANS activates SUPPRESSOR OF OVEREXPRESSION OF CONSTANS 1 through FLOWERING LOCUS T to promote flowering in Arabidopsis. *Plant Physiol.* 2005;139;770–778. DOI 10.1104/pp.105.066928.
- 10 Corbesier L., Vincent C., Jang S., Fornara F., Fan Q., Searle I., et al. (2007). FT protein movement contributes to long-distance signaling in floral induction of Arabidopsis. *Science* 2007;316;1030–1033. DOI 10.1126/science.1141752
- 11 Tamaki S., Matsuo S., Wong H. L., Yokoi S., Shimamoto K. Hd3a protein is a mobile flowering signal in rice. *Science* 2007;316;1033–1036. DOI 10.1126/science.1141753.
- 12 Andres, F., Coupland, G. The genetic basis of flowering responses to seasonal cues. *Nat. Rev. Genet.* 2012;13;627–639. DOI 10.1038/nrg3291
- 13 Гончаров С.В., Карпачев В.В. Перспективы развития биодизеля в России. Масличные культуры. *Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. – 2021; – № 3 (187); – С. 71-77. DOI 10.25230/2412-608X-2021-3-187-71-77
- 14 Омелянюк Л.В., Юсова О.А., Козлов Г.Я., Асанов А.М. Урожайность и качество зерна сортов сои в условиях южной лесостепи Западной Сибири. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. – 2013; – № 11 (109); – С. 26-29.

References

1. Goncharov S.V., Korobova N.A. Perspective directions of pea breeding. *Agrarian Scientific journal*. 2022, no.9, pp. 13–17. DOI.org/10.28983/asj.y2022i9pp13-17 (In Russian)
2. He F.J., Chen, J.Q. Consumption of soybean, soy foods, soy isoflavones and breast cancer incidence: differences between Chinese women and women in Western countries and possible mechanisms. *Food Sci.Hum. Wellness* 2013;3;146-161. DOI 10.1016/j.fshw.2013.08.002
3. Hildebrand D. Operation of the oxylin pathway. Soy 2000. Program and proceedings for 8th Biennial Conference of the Cellular and Molecular Biology in Soybean. Lexington, Kentucky, 2000. P. PII 08.
4. Hufnagel J., Reckling M., Ewert, F. Diverse approaches to crop diversification in agricultural research. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 2020;40;14. DOI 10.1007/s13593-020-00617-4

5. Amantaev B.O., Kypshakbaeva G.A., Tleulina Z.T. The influence of temperature on the growth and development of soybean varieties in the conditions of the construction steppe zone of Northern Kazakhstan. Kostanay State University named after Akhmet Baitursynov multidisciplinary scientific journal "*Intellect, idea, innovation - intelligence, idea, innovation*" 2020, no.2, pp.59-65.
6. Kipshakbaeva G.A., Amantaev B.O., Tleulina Z.T., Kipshakbaeva A.A., Kulzhabaev E.M. Study and evaluation of promising soybean varieties in the conditions of the dry steppe zone of Northern Kazakhstan. Kazakh National Agrarian University. *Research, results*. 2020, no.2(86), pp. 235-241.
7. Sozonova A.N. The study of soybean varieties in the forest-steppe of the Tyumen region. *Agro-food policy of Russia*. 2016, no.12 (60), pp.49-50
8. Lukomets V.M., Penchukov V.M., Tilba V.A., Zaitsev N.I., Shabaldas O.G., Bushneva S. Improvement of soybean cultivation technology. *Bulletin of the Agroindustrial complex of Stavropol*. 2015, no.2, pp.88-89.
9. Yoo S.K., Chung K.S., Kim, J., Lee J. H., Hong S. M., Yoo S.J., et al. (2005). CONSTANS activates SUPPRESSOR OF OVEREXPRESSION OF CONSTANS 1 through FLOWERING LOCUS T to promote flowering in Arabidopsis. *Plant Physiol*. 2005;139;770–778. DOI 10.1104/pp.105.066928.
10. Corbesier L., Vincent C., Jang S., Fornara F., Fan Q., Searle I., et al. (2007). FT protein movement contributes to long-distance signaling in floral induction of Arabidopsis. *Science* 2007;316;1030–1033. DOI 10.1126/science.1141752
11. Tamaki S., Matsuo S., Wong H. L., Yokoi S., Shimamoto K. Hd3a protein is a mobile flowering signal in rice. *Science* 2007;316;1033–1036. DOI 10.1126/science.1141753.
12. Andres, F., Coupland, G. The genetic basis of flowering responses to seasonal cues. *Nat. Rev. Genet*. 2012;13;627–639. DOI 10.1038/nrg3291
13. Goncharov S.V., Karpachev V.V. Prospects of biodiesel development in Russia. *Oilseed crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2021, no.3(187), pp.71-77. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-3-187-71-77
14. Omelianyuk L.V., Yusova O.A., Kozlov G.Ya., Asanov A.M. Yield and grain quality of soybean varieties in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2013, no.11(109), pp.26-29.