

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 633.853.52
DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-38-49



Влияние сроков посева на урожайность различающихся по скороспелости образцов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) в климатических условиях Иркутской области

Н. Б. Катыхева¹, А. В. Поморцев¹, Н. В. Дорофеев¹, С. Ю. Зорина¹, Л. Г. Соколова¹, А. С. Журавкова¹, Ю. С. Букин², А. И. Катыхев¹

¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

² Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Наталья Баировна Катыхева, mitanova2014@yandex.ru

Актуальность. Соя играет важную роль в земледелии разных стран, она является одним из главных источников полноценного растительного белка и масла. До появления новых скороспелых сортов на территории Иркутской области соя не выращивалась. Для успешной интродукции этого вида требуется дальнейшее детальное изучение культуры в условиях региона и разработка агротехнических приемов возделывания, в первую очередь выбора оптимальных сроков посева.

Материалы и методы. Объектами исследований являлись позднеспелый в условиях Иркутской области сорт сои 'Баргузин' и скороспелый селекционный образец 15. Полевые эксперименты проводились в 2019–2021 гг. Посев осуществляли в четыре срока, с первой декады мая до первой декады июня.

Результаты и заключение. В климатических условиях Иркутской области позднеспелый сорт 'Баргузин' имеет высокую продуктивность семян (средняя урожайность составила 27 ц/га), на нее существенно влияют погодные условия и срок посева (урожайность варьирует от 14 до 36 ц/га). Оптимальные периоды посева сорта 'Баргузин' – первая и вторая декады мая. Скороспелый образец 15 характеризуется более стабильными значениями урожайности (средняя продуктивность составила 24 ц/га, минимальная – 19 ц/га, максимальная – 32 ц/га). Предпочтительными для посева этого образца являются вторая и третья декады мая. Скороспелый генотип сои предъявляет менее жесткие требования к выбору даты посева, чем позднеспелый. В результате на примере двух образцов сои показана необходимость индивидуального подбора сроков посева для сортов, различающихся по длине вегетационного периода.

Ключевые слова: селекция, вегетационный период, структура урожая, тепло- и влагообеспеченность, полевая всхожесть, PERMANOVA

Благодарности: исследование выполнено в рамках государственного задания Минобрнауки России для Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (Пер. № НИОКТР 122041100049-0).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Для цитирования: Катыхева Н.Б., Поморцев А.В., Дорофеев Н.В., Зорина С.Ю., Соколова Л.Г., Журавкова А.С., Букин Ю.С., Катыхев А.И. Влияние сроков посева на урожайность различающихся по скороспелости образцов сои (*Glycine max* (L.) Merr.) в климатических условиях Иркутской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2024;185(3):38-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-38-49

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-38-49

The effect of sowing dates on the yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions differing in maturity schedules under the climate conditions of Irkutsk Province

Natalia B. Katysheva¹, Anatolii V. Pomortsev¹, Nikolay V. Dorofeev¹, Svetlana Yu. Zorina¹, Lada G. Sokolova¹, Anna S. Zhuravkova¹, Yuriy S. Bukin², Alexander I. Katyshev¹

¹ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

² Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Natalia B. Katysheva, mitanova2014@yandex.ru

Background. Soybean is the main supplier of complete vegetable protein and oil. Prior to the emergence of new early-ripening cultivars, this crop was not cultivated in Irkutsk Province. Its introduction into the area requires a detailed study of agricultural practices, primarily the choice of optimal sowing dates.

Materials and methods. Soybean cv. 'Barguzin', late-ripening under the conditions of Irkutsk Province, and early-ripening accession 15 served as the research objects. Field studies were carried out in 2019–2021. There were four sowing dates, from the first ten-day period of May through the first ten-day period of June.

Results and conclusion. Cv. 'Barguzin' appeared highly productive under the climate of Irkutsk Province (its average seed yield in 2019–2021 was 2.7 t/ha), but its productivity was significantly influenced by weather conditions and sowing dates (seed yields varied from 1.4 to 3.6 t/ha). The optimal sowing times for this cultivar are the first and second ten-day periods of May. Early-ripening accession 15 was characterized by more stable yield values in the studied years (average productivity was 2.4 t/ha, minimum 1.9 t/ha, and maximum 3.2 t/ha). The preferred sowing times for this accession are the second and third ten-day periods of May. The case study of two soybean genotypes differing in maturation schedules revealed the need for individual selection of sowing dates. It was shown that the early-ripening soybean genotype imposed less stringent requirements on the choice of sowing dates.

Keywords: breeding, growing season, yield structure, heat supply, water supply, field germination, PERMANOVA

Acknowledgements: the study was carried out within the framework of the state task assigned by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation to the Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry (No. 122041100049-0).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Katysheva N.B., Pomortsev A.V., Dorofeev N.V., Zorina S.Yu., Sokolova L.G., Zhuravkova A.S., Bukin Yu.S., Katyshev A.I. The effect of sowing dates on the yield of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) accessions differing in maturity schedules under the climate conditions of Irkutsk Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2024;185(3):38-49. DOI: 10.30901/2227-8834-2024-3-38-49

Введение

Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) благодаря уникальному химическому составу семян является наиболее распространенной зернобобовой культурой в мире, которая нашла свое применение в кормовой, пищевой и технической промышленности. Мировыми лидерами по выращиванию сои являются страны Северной и Южной Америки: США, Бразилия, Аргентина. В Евразии в больших объемах производят культуру Китай и Индия. В этих странах посевные площади, занятые соей, больше в 4–5 раз, чем в России. Согласно данным FAO, в 2021 г. Россия находилась на восьмом месте по производству и седьмом месте по площади возделывания сои в мире (FAOSTAT..., 2021).

Ограничением для расширения ареала возделывания сои в России является в первую очередь то, что культура относится к растениям муссонного климата, короткодневным, чувствительным к продолжительности светового периода и интенсивности освещения. Вследствие этого она предъявляет повышенные требования к уровню обеспеченности влагой, теплом и светом (Li et al., 2019). Ключевым фактором, определяющим высокую урожайность сои, является выбор подходящих сортов для выращивания в конкретном регионе (Bandillo et al., 2017), так как каждый сорт характеризуется определенной зональной принадлежностью, обычно в пределах одного градуса широты (Agarkova et al., 2016; Perfil'ev et al., 2021). Благодаря кропотливой селекционной работе, ведущейся исследователями во всем мире, на сегодняшний день соя распространена на относительно большой территории – от 50° северной широты до 35° южной широты (Watanabe et al., 2012). В России созданы такие сорта культуры, как 'Чера-1', 'УСХИ-6', 'Памяти Фадеева' и другие, которые успешно возделываются в районе 56° с. ш. (Eliseeva, Eliseev, 2022). Важным фактором, влияющим на урожайность сои, связанным с особенностями региона возделывания, является правильный выбор сроков посева (Pierozan Jr. et al., 2015; Mourtzinis et al., 2019; Schoving et al., 2020). Это во многом определяет оптимальное по времени прохождение этапов вегетации и получения стабильной продуктивности (Dorofeev et al., 2008).

Природно-климатические условия Иркутской области в зоне проведения наших опытов характеризуются резко континентальным климатом с продолжительными холодными зимами и жарким засушливым летом. В летние месяцы возможны возвратные ночные заморозки до минус 1–3°C (Gontar et al., 1977). Климат этой зоны отличается недостаточной суммой активных температур выше 10°C. По данным близлежащей к району исследований метеостанции (п. Залари), среднееголетний (1981–2010 гг.) показатель суммы активных температур составлял 1732°C. Эти условия далеки от оптимальных для возделывания сои.

Ранее в Иркутской области испытывались только скороспелые образцы сои (Dorofeev et al., 2008), оценка возможности получения хорошего урожая у позднеспелых сортов на территории региона не проводилась. Для выращивания сои с различной длиной вегетационного периода в лесостепной зоне требуется оптимизация агротехники и, в первую очередь, выбор наиболее оптимальных сроков посева.

Целью данной работы было изучение влияния различных сроков посева на урожайность двух различающихся по скороспелости образцов сои в условиях лесостепной зоны Иркутской области.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования проводились в условиях Заларинского агроэкологического стационара Сибирского института физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук (СИФИБР СО РАН) (53°33'58.75"N, 102°35'23.90"E) в течение трех лет (2019–2021). В эксперименте использовали два различающихся по продолжительности вегетационного периода образца сои: скороспелый образец 15, созданный в СИФИБР, и позднеспелый сорт 'Баргузин' селекции СИФИБР и Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур имени В.С. Пустовойта (ВНИИМК) (Zelentsov et al., 2020). Для посева подбирали семена с посевной годностью согласно ГОСТ Р 52325-2005 (GOST Р 52325-2005..., 2009) для категории оригинальные семена (ОС). Посев проводили в четыре срока с первой декады мая до первой декады июня: 1-й срок – 5 мая, 2-й срок – 15 мая, 3-й срок – 25 мая, 4-й срок – 5 июня. Способ посева рядовой, ширина междурядий – 30 см, норма высева – 700 тыс. шт./га, глубина заделки семян в почву – 4 см. Опыт закладывался в 4-кратной повторности на делянках площадью 4 м². Урожайность оценивали по данным снопового анализа с 1 м², учитывали семена только из тех бобов, которые расположены на стебле выше 12 см от поверхности почвы. Результаты изучения рассчитывали в ц/га.

В 2019 г. сумма среднесуточных температур выше 10°C во время вегетационного периода составила 1773°C, в 2020 г. была существенно выше – 2123°C, а в 2021 г. – 1737°C. По среднееголетним данным, сумма активных температур выше 10°C за период 1981–2010 гг. равнялась 1732°C. Отклонения от среднееголетних значений суммы температур выше 10°C в 2019–2021 гг. представлены на рисунке 1. В 2019 г. первая декада мая была теплой, отклонение было положительным (23,3°C). Вторая, третья декады мая, а также первая декада июня были холодными, особенно вторая декада мая; сумма активных температур была ниже среднееголетних значений на 51,8°C. В среднем сумма положительных температур выше 10°C в июне и июле была больше нормы, но первая и вторая декады июня, а также третья декада июля оказались более прохладными по сравнению со среднееголетними наблюдениями. Во второй декаде августа отклонение по сумме положительных температур выше 10°C достигало –24,5°C. Май в 2020 г. был более теплым, чем в среднем по многолетним наблюдениям. В первой декаде июня отклонение от нормы было отрицательным (–14,9°C); вторая, третья декады июня, а также первая декада июля характеризовались недостатком тепла. При этом вторая, третья декады августа и первая декада сентября были очень теплыми. В 2021 г. весь май и во второй и третьей декадах июня наблюдалось отрицательное отклонение температур от среднееголетних значений, июль и август по температуре были близки к многолетней норме.

Общая сумма осадков за период май – сентябрь в 2019 г. составила 442,3 мм, в 2020 г. – 368,7 мм, в 2021 г. – 275,0 мм, при среднееголетних значениях 290 мм. Характер распределения осадков в течение вегетационного периода представлен на рисунке 2. В мае 2019 г., а также в первой декаде июня был отмечен небольшой недостаток влаги относительно среднееголетних значений. Напротив, начиная со второй декады июня осадков выпало значительно больше нормы. В 2020 г. наблюдали недостаток увлажнения, только в первую декаду августа осадков выпало больше, чем в среднем по многолетним

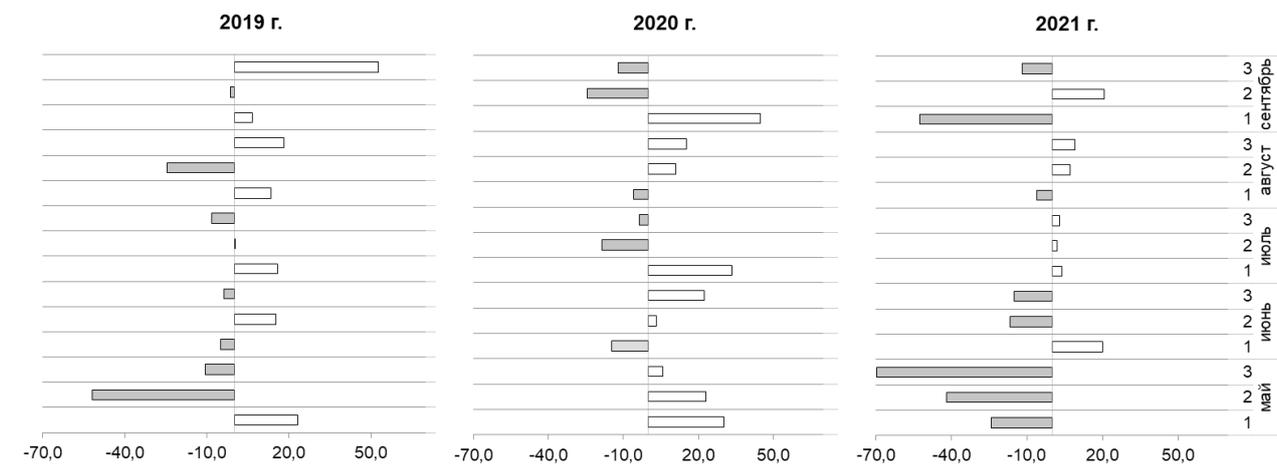


Рис. 1. Отклонение суммы положительных температур выше 10°C от среднемноголетних значений в вегетационные периоды 2019–2021 гг, Иркутская обл.

Fig. 1. Deviations of the sums of positive temperatures above 10°C from the long-term mean values in the growing seasons of 2019–2021, Irkutsk Province

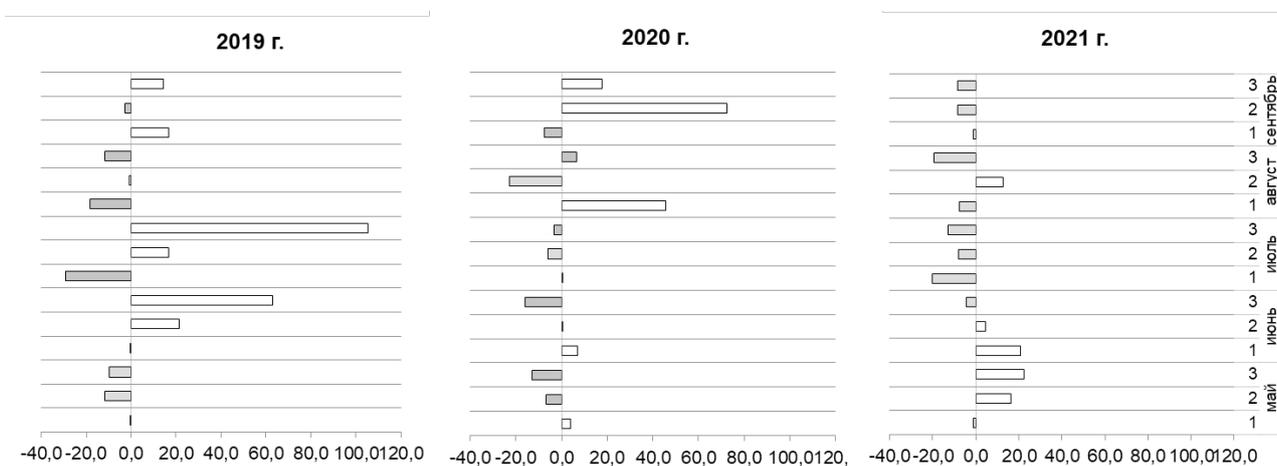


Рис. 2. Отклонение количества осадков, выпавших за вегетационный период 2019–2021 гг., от среднемноголетних значений, Иркутская обл.

Fig. 2. Rainfall deviations from the long-term mean values in the growing seasons of 2019–2021, Irkutsk Province

наблюдениям (+45,6 мм). В 2021 г. в мае и июне количество осадков было больше многолетней нормы, а практически на протяжении всего вегетационного периода сои наблюдали недостаток увлажнения.

Почва на агроэкологическом стационаре серая лесная, по гранулометрическому составу среднесуглинистая. Плотность пахотного слоя почвы (0–20 см) варьировала в пределах 1,00–1,22 г/см³. Содержание гумуса составило 3,27–3,45%, общего азота – 0,18–0,20%. Верхний горизонт почвы характеризовался слабокислой реакцией среды (рН_{вод.} = 6,05–6,38 и рН_{сол.} = 5,02–5,35). Показатель емкости катионного обмена (ЕКО) был 30,1–36,9 мг экв/100 г. Содержание подвижных форм фосфора (P₂O₅) в почве было высоким (240–252 мг/кг), а калия – повышенным (120–129 мг/кг).

Статистическая обработка результатов по анализу достоверности и интенсивности влияния таких факторов, как год и срок посева, на анализируемые параметры растений (урожайность, число растений во время уборки, вес снопа, высота растений в снопе, вес семян с бобов, расположенных ниже либо выше 12 см от почвы, масса 1000 семян) проводилась с помощью метода PERMANOVA (Anderson, 2001) на основе евклидовых расстояний в па-

кете vegan v. 2.6-2 для языка программирования R. Анализ PERMANOVA основан на расчетах вариации различий между выборками параметров внутри и между грациями определяющего фактора. Нулевая гипотеза теста (H₀ – фактор не влияет на распределения значения параметра) отвергалась при *p-value* ≤ 0,05. Вероятность *p-value* гипотезы H₀ в тесте PERMANOVA рассчитывалась непараметрическим перестановочным тестом (1000 перестановок), не зависящим от типа распределения значений в исходной выборке. Тест PERMANOVA выдает значения R² – коэффициент ковариации, значение которого меняется от 0 до 1. При *p-value* ≤ 0,05 значение R² интерпретируется как доля вариабельности исследуемого параметра, определяемого влиянием фактора. Чем больше это значение, тем в большей степени анализируемый фактор влияет на исследуемый параметр.

Оценку влияния года и срока посева на урожайность и число растений во время уборки представляли графически в виде диаграмм размаха, анализировали следующие показатели: медиана, процентиля 25% и 75%, минимальные и максимальные значения. Диаграммы размаха строились по данным четырех независимых повторностей. Точками на графиках показаны выбросы значений.

Результаты и обсуждение

Урожайность сои в исследуемые годы статистически значимо различалась. Согласно анализу, год посева повлиял на урожайность исследуемых генотипов – как селекционного образца 15 ($R^2 = 0,39$, $p\text{-value} < 0,05$), так и сорта 'Баргузин' ($R^2 = 0,48$, $p\text{-value} < 0,05$) (рис. 3). Средняя урожайность образца 15 в 2019 г. составила 23,5 ц/га, в 2020 г. – 27,9 ц/га, в 2021 г. – 20,6 ц/га. Средняя урожайность сорта 'Баргузин' в 2019 г. равнялась 24,7 ц/га, в 2020 г. – 33,8 ц/га, в 2021 г. – 22,5 ц/га (см. рис. 3). Отличия по урожайности сои в разные годы можно объяснить различной суммой активных температур и характером распределения тепла и осадков в течение периода вегетации. Так, в более теплом и с большим количеством осадков (превышающем среднееголетние значения) 2020 г. урожайность у образцов сои была выше, чем в 2019 и 2021 г. (см. рис. 1, 2, 3).

разец 15 (см. рис. 5), что, вероятно, связано со специфической реакцией этого генотипа на недостаток тепла (см. рис. 1). Количество осадков в этот год превышало показатели средних многолетних наблюдений (см. рис. 2). В то же время на фоне хорошей обеспеченности осадками (см. рис. 2) в период посева (май) наблюдались низкие значения положительных температур (см. рис. 1). Вероятно, данный сорт на начальных стадиях развития проростков более требователен к теплу, чем селекционный образец 15.

В наиболее урожайном 2020 г. высокая продуктивность образцов сои определялась как большим числом растений в снопе, так и большим весом семян в бобах, расположенных выше 12 см от поверхности почвы (таблица). Высокое значение последнего показателя, вероятно, связано не только с высокими показателями положительных температур в 2020 г., но и с превысившим среднееголетние значения количеством осадков. Вла-

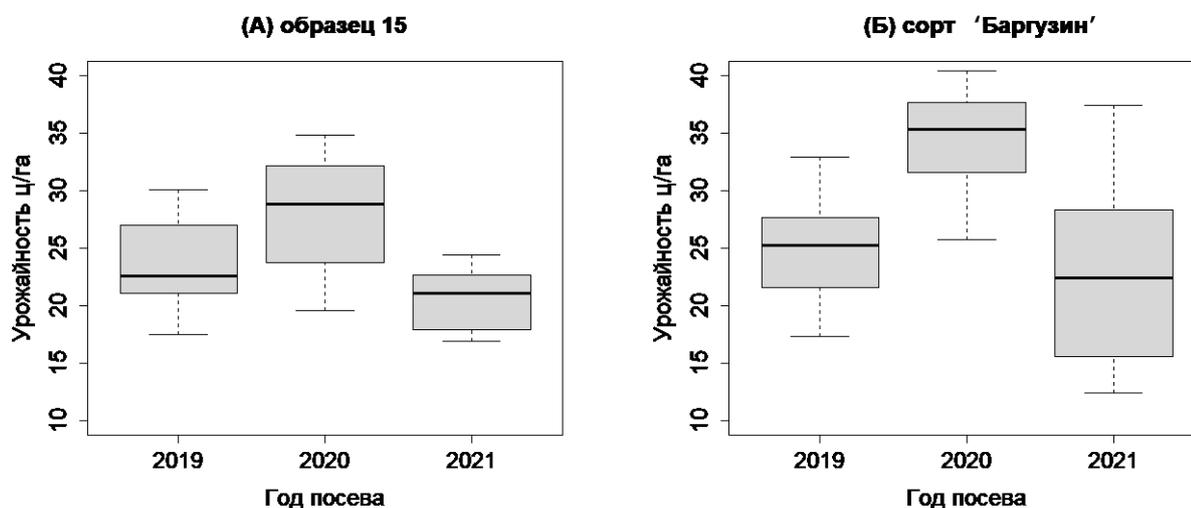


Рис. 3. Изменчивость урожайности образцов сои в 2019–2021 гг. в Иркутской обл.: (А) – образец 15, (Б) – сорт 'Баргузин'

Fig. 3. Soybean yield variability in accession 15 (A) and cv. 'Barguzin' (B) in 2019–2021, Irkutsk Province

При ранних сроках посева сои в климатических условиях Восточной Сибири недостаток тепла и осадков увеличивает риски появления плохих (слабых или изреженных) всходов. В связи с этим нами была проведена оценка доли (в %) выживших и сформировавших семена растений к моменту уборки от числа высеванных всхожих семян (число выживших растений / число высеванных семян). Полученное значение учитывает как полевую всхожесть, так и сохранность растений к уборке. Следует отметить, что в процессе вегетации выпад растений был небольшой. Статистически значимого влияния сроков посева на число растений, достигших периода уборки, обнаружено не было: образец 15 – $R^2 = 0,005$, $p\text{-value} > 0,05$; сорт 'Баргузин' – $R^2 = 0,03$, $p\text{-value} > 0,05$ (рис. 4).

При оценке числа растений во время уборки было выявлено влияние на этот показатель года посева – на образец 15 его воздействие было ниже ($R^2 = 0,57$, $p\text{-value} < 0,05$), чем на сорт 'Баргузин' ($R^2 = 0,73$, $p\text{-value} < 0,05$) (рис. 5). В более благоприятный 2021 г. отмечалось большее число выживших растений по сравнению с 2019 и 2021 г.

В 2021 г. сорт 'Баргузин' продемонстрировал значительно более низкую полевую всхожесть семян, чем об-

гообеспеченность является значимым фактором, определяющим урожайность сои, особенно в период налива бобов (Lamichhane et al., 2020). Влияние этого фактора на урожайность сои можно заметить на примере образца 15 в 2019 и 2021 г. В 2019 и 2021 г. значения суммы среднесуточных температур выше 10°C были близкими и составляли 1773°C и 1737°C соответственно. В то же время общая сумма осадков за период май – сентябрь в 2021 г. составила 275 мм, в 2019 г. – 442,3 мм. Более того, в 2021 г. наблюдалось нехарактерное для Иркутской области распределение осадков (см. рис. 2). Так, во второй и третьей декадах мая, а также в первой и второй декадах июня осадков выпало больше, чем в среднем по многолетним данным, а период второй половины вегетации сои был засушливым (см. рис. 2). Вероятно, это и определило низкую продуктивность образца 15 по сравнению с 2019 г.

Таким образом, анализ структуры урожайности и полевой всхожести семян сои позволяет заключить, что в Иркутской области необходимой предпосылкой достижения хорошей продуктивности является сочетание двух факторов – тепла и влаги. Сходную взаимосвязь продуктивности сои и погодных условий в период 2019–2021 гг. наблюдали в Приморском крае (Vasina et al., 2022). Так же как и в нашем случае, в данной работе наибольшая про-

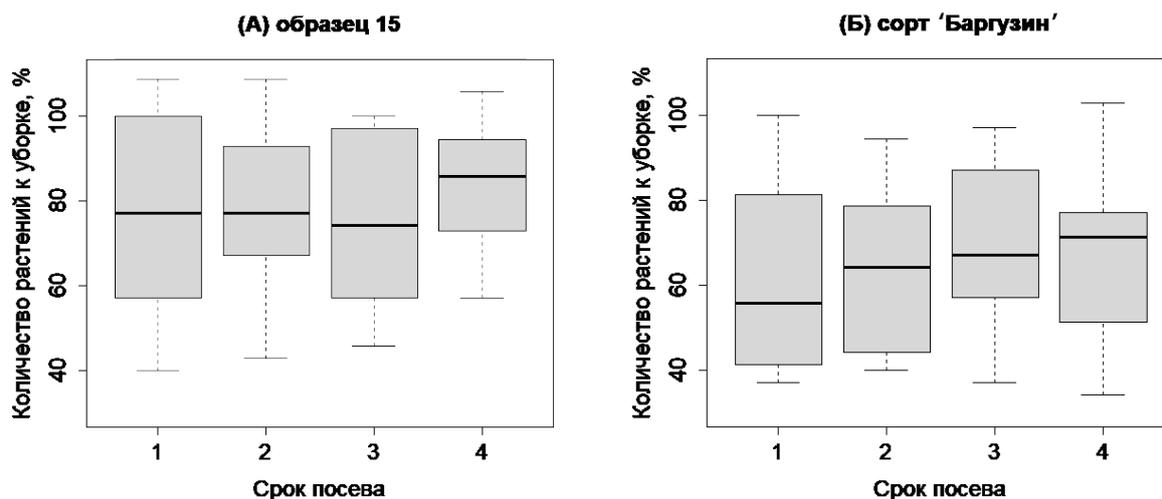


Рис. 4. Влияние срока посева на число растений сои во время уборки у образца 15 (А) и сорта 'Баргузин' (Б) в 2019–2021 гг. в Иркутской области

Fig. 4. The effect of the sowing time on the number of harvested soybean plants of accession 15 (A) and cv. 'Barguzin' (B) in 2019–2021, Irkutsk Province

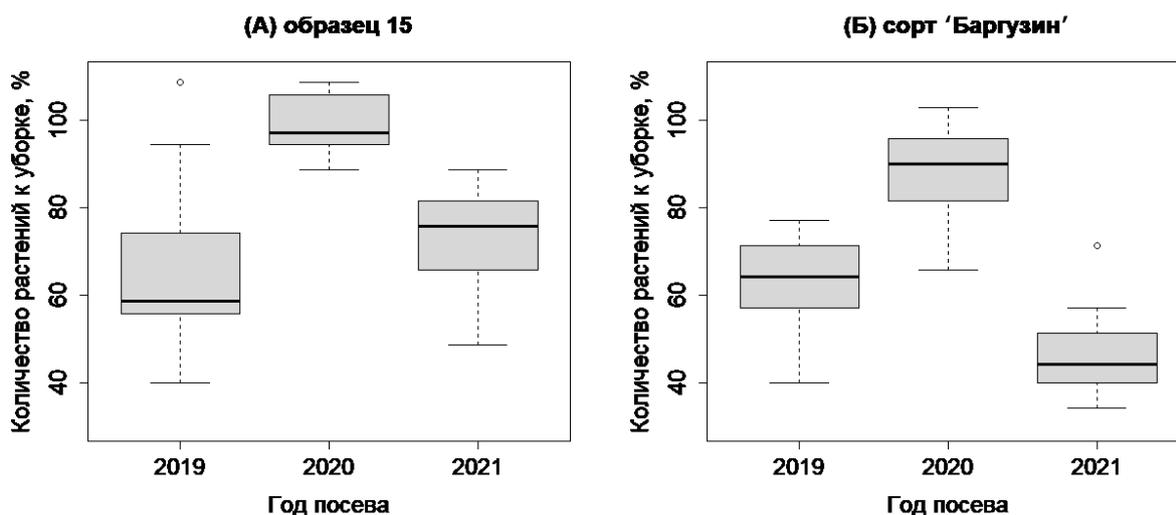


Рис. 5. Влияние года посева на число растений сои во время уборки у образца 15 (А) и сорта 'Баргузин' (Б) в 2019–2021 гг. в Иркутской области

Fig. 5. The effect of the sowing year on the number of harvested soybean plants of accession 15 (A) and cv. 'Barguzin' (B) in 2019–2021, Irkutsk Province

дуктивность семян наблюдалась в год, который характеризовался повышенной температурой и большим количеством осадков, превышавшим среднеголетние значения.

Вследствие чувствительности сои к недостатку тепла и влаги неудивительно, что разные сроки посева оказывали заметное влияние на урожайность и скороспелого, и позднеспелого образцов (рис. 6).

У скороспелого образца 15 при поздних сроках посева (25 мая, 5 июня) урожайность была немного выше (см. рис. 6А), хотя проведенная статистическая обработка показала, что значимость полученных различий не достоверна ($R^2 = 0,11$, $p\text{-value} > 0,05$). Достоверный эффект срока посева на урожайность сои отмечен только для позднеспелого сорта 'Баргузин' ($R^2 = 0,23$, $p\text{-value} < 0,05$),

причем в данном случае наблюдали обратную тенденцию – снижение урожайности при более поздних сроках посева (см. рис. 6Б).

Наблюдавшиеся различия в урожайности у образцов сои зависели от разных показателей структуры урожая (см. табл. 1, 2).

Так, у скороспелого образца 15 в 2019 и 2020 г. более высокие значения урожайности в 3-й и 4-й сроки посева определялись большим весом семян в бобах, расположенных выше 12 см от поверхности почвы. В наиболее урожайный 2020 г. значительное увеличение веса семян выше 12 см сочеталось с большей высотой растений. Увеличение высоты растений наблюдалось и у растений 3-го и 4-го сроков посева позднеспелого сорта 'Баргузин' в этом же году. В то же время вес семян бобов, располо-

Таблица. Структура урожайности образца сои 15 и сорта 'Баргузин' при разных сроках посева в 2019–2021 гг. в Иркутской области
Table. Soybean yield structure of accession 15 and cv. 'Barguzin' in the context of different sowing times in 2019–2021, Irkutsk Province

Год	Вариант	Показатели структуры урожая					Масса 1000 семян, г
		Вес снопа, г/м ²	Высота растений, см	Число растений, шт./м ²	Вес семян, г/м ²	Выше 12 см*	
Образец 15							
2019	1-й срок	492 ± 66	76,5 ± 6,1	36,5 ± 5,7	28,8 ± 4,9	224,5 ± 53,9	172,9 ± 3,6
	2-й срок	535 ± 97	74,0 ± 4,9	47,0 ± 20,0	20,3 ± 5,8	225,3 ± 38,9	164,0 ± 1,8
	3-й срок	598 ± 97	76,3 ± 4,9	47,5 ± 10,5	17,4 ± 9,1	253,5 ± 22,2	166,8 ± 2,4
	4-й срок	618 ± 64	70,3 ± 7,0	48,6 ± 11,9	21,6 ± 13,6	236,9 ± 39,3	170,9 ± 0,8
2020	Доля вариabельности R ² p-value	R ² = 0,32 > 0,05	R ² = 0,19 > 0,05	R ² = 0,02 > 0,05	R ² = 0,21 > 0,05	R ² = 0,101 > 0,05	R ² = 0,74 < 0,05
	1-й срок	753 ± 102	60,5 ± 4,9	72,5 ± 4,4	44,9 ± 10,9	241,7 ± 37,3	172,2 ± 10,6
	2-й срок	753 ± 50	66,0 ± 2,2	67,0 ± 6,6	62,3 ± 24,3	241,4 ± 40,4	186,1 ± 11,4
	3-й срок	855 ± 78	80,0 ± 3,6	69,0 ± 1,2	26,5 ± 11,7	324,4 ± 33,9	176,4 ± 6,6
2021	Доля вариabельности R ² p-value	R ² = 0,30 > 0,05	R ² = 0,84 < 0,05	p = 0,21 > 0,05	R ² = 0,47 < 0,05	R ² = 0,62 < 0,05	R ² = 0,48 < 0,05
	1-й срок	536 ± 158	65,2 ± 1,9	53,5 ± 4,4	56,6 ± 10,6	193,3 ± 19,3	174,0 ± 9,8
	2-й срок	704 ± 45	72,4 ± 3,9	53,0 ± 1,2	53,6 ± 4,6	225,1 ± 14,9	171,3 ± 5,1
	3-й срок	612 ± 54	70,2 ± 7,4	39,5 ± 5,3	45,4 ± 9,8	202,6 ± 33,4	179,5 ± 3,8
2021	Доля вариabельности R ² p-value	R ² = 0,03 > 0,05	R ² = 0,30 > 0,05	R ² = 0,82 < 0,05	R ² = 0,69 < 0,05	R ² = 0,25 > 0,05	R ² = 0,70 < 0,05
	4-й срок	623 ± 31	66,9 ± 5,6	58,5 ± 2,5	23,7 ± 12,7	202,6 ± 20,7	157,4 ± 3,3
	Влияние фактора «год посева» R ² , p-value	R ² = 0,55 < 0,05	R ² = 0,108 > 0,05	R ² = 0,57 < 0,05	R ² = 0,31 < 0,05	R ² = 0,39 < 0,05	R ² = 0,92 < 0,05
	Влияние фактора «срок посева» R ² , p-value	R ² = 0,06 > 0,05	R ² = 0,07 > 0,05	R ² = 0,01 > 0,05	R ² = 0,16 < 0,05	R ² = 0,07 > 0,05	R ² = 0,01 > 0,05

Таблица. Продолжение
Table. Continued

Год	Вариант	Показатели структуры урожая					
		Вес снопа, г/м ²	Высота растений, см	Число растеньиц, шт./м ²	Вес семян, г/м ²	Масса 1000 семян, г	
Образец 15							
2019	1-й срок	492 ± 66	76,5 ± 6,1	36,5 ± 5,7	28,8 ± 4,9	224,5 ± 53,9	172,9 ± 3,6
	2-й срок	535 ± 97	74,0 ± 4,9	47,0 ± 20,0	20,3 ± 5,8	225,3 ± 38,9	164,0 ± 1,8
	3-й срок	598 ± 97	76,3 ± 4,9	47,5 ± 10,5	17,4 ± 9,1	253,5 ± 22,2	166,8 ± 2,4
	4-й срок	618 ± 64	70,3 ± 7,0	48,6 ± 11,9	21,6 ± 13,6	236,9 ± 39,3	170,9 ± 0,8
Доля варибельности R ² p-value		R ² = 0,32 > 0,05	R ² = 0,19 > 0,05	R ² = 0,02 > 0,05	R ² = 0,21 > 0,05	R ² = 0,101 > 0,05	R ² = 0,74 < 0,05
2020	1-й срок	753 ± 102	60,5 ± 4,9	72,5 ± 4,4	44,9 ± 10,9	241,7 ± 37,3	172,2 ± 10,6
	2-й срок	753 ± 50	66,0 ± 2,2	67,0 ± 6,6	62,3 ± 24,3	241,4 ± 40,4	186,1 ± 11,4
	3-й срок	855 ± 78	80,0 ± 3,6	69,0 ± 1,2	26,5 ± 11,7	324,4 ± 33,9	176,4 ± 6,6
	4-й срок	810 ± 68	76,5 ± 4,0	68,0 ± 4,3	36,7 ± 13,1	311,8 ± 23,8	165,6 ± 5,4
Доля варибельности R ² p-value		R ² = 0,30 > 0,05	R ² = 0,84 < 0,05	p = 0,21 > 0,05	R ² = 0,47 < 0,05	R ² = 0,62 < 0,05	R ² = 0,48 < 0,05
2021	1-й срок	536 ± 158	65,2 ± 1,9	53,5 ± 4,4	56,6 ± 10,6	193,3 ± 19,3	174,0 ± 9,8
	2-й срок	704 ± 45	72,4 ± 3,9	53,0 ± 1,2	53,6 ± 4,6	225,1 ± 14,9	171,3 ± 5,1
	3-й срок	612 ± 54	70,2 ± 7,4	39,5 ± 5,3	45,4 ± 9,8	202,6 ± 33,4	179,5 ± 3,8
	4-й срок	623 ± 31	66,9 ± 5,6	58,5 ± 2,5	23,7 ± 12,7	202,6 ± 20,7	157,4 ± 3,3
Доля варибельности R ² p-value		R ² = 0,03 > 0,05	R ² = 0,30 > 0,05	R ² = 0,82 < 0,05	R ² = 0,69 < 0,05	R ² = 0,25 > 0,05	R ² = 0,70 < 0,05
Влияние фактора «год посева» R ² , p-value		R ² = 0,55 < 0,05	R ² = 0,108 > 0,05	R ² = 0,57 < 0,05	R ² = 0,31 < 0,05	R ² = 0,39 < 0,05	R ² = 0,92 < 0,05
Влияние фактора «срок посева» R ² , p-value		R ² = 0,06 > 0,05	R ² = 0,07 > 0,05	R ² = 0,01 > 0,05	R ² = 0,16 < 0,05	R ² = 0,07 > 0,05	R ² = 0,01 > 0,05

Таблица. Окончание
Table. The end

Год	Вариант	Показатели структуры урожая					Масса 1000 семян, г
		Вес снопа, г/м ²	Высота растений, см	Число растений, шт./м ²	Вес семян, г/м ²	Выше 12 см*	
2019	1-й срок	648 ± 105	99,5 ± 6,4	40,0 ± 10,9	0,6 ± 1,3	235,8 ± 35,6	121,4 ± 1,8
	2-й срок	745 ± 102	102,8 ± 2,6	42,5 ± 11,0	1,2 ± 1,0	278,1 ± 43,5	120,1 ± 1,4
	3-й срок	730 ± 56	95,8 ± 2,7	44,5 ± 3,4	4,8 ± 3,5	275,8 ± 15,9	123,5 ± 1,3
	4-й срок	643 ± 81	93,5 ± 4,8	48,5 ± 3,0	5,5 ± 5,6	201,4 ± 20,7	110,6 ± 1,3
2020	Доля вариabельности R ² p-value	R ² = 0,27 > 0,05	R ² = 0,46 > 0,05	R ² = 0,16 > 0,05	R ² = 0,34 > 0,05	R ² = 0,57 < 0,05	R ² = 0,93 < 0,05
	1-й срок	1058 ± 66	79,9 ± 3,2	60,0 ± 10,2	4,7 ± 1,7	352,1 ± 44,8	133,8 ± 5,2
	2-й срок	1068 ± 385	88,6 ± 2,9	59,5 ± 5,9	12,0 ± 4,7	356,2 ± 56,7	130,7 ± 4,4
	3-й срок	953 ± 38	98,3 ± 5,6	63,5 ± 4,1	1,5 ± 1,8	327,8 ± 2,6	106,4 ± 3,6
2021	Доля вариabельности R ² p-value	R ² = 0,12 > 0,05	R ² = 0,78 < 0,05	R ² = 0,05 > 0,05	R ² = 0,73 < 0,05	R ² = 0,45 < 0,05	R ² = 0,94 < 0,05
	1-й срок	857 ± 137	92,9 ± 6,6	29,0 ± 2,6	10,6 ± 2,4	306,6 ± 46,3	101,8 ± 1,6
	2-й срок	833 ± 48	94,0 ± 4,2	31,0 ± 2,6	5,1 ± 1,8	277,0 ± 26,9	99,5 ± 0,8
	3-й срок	1000 ± 347	91,8 ± 8,0	38,5 ± 9,8	4,6 ± 2,6	175,8 ± 27,2	81,5 ± 1,3
2021	Доля вариabельности R ² p-value	R ² = 0,04 > 0,05	R ² = 0,20 < 0,05	R ² = 0,74 < 0,05	R ² = 0,51 < 0,05	R ² = 0,86 < 0,05	R ² = 0,99 < 0,05
	Влияние фактора «год посева», R ² , p-value	R ² = 0,39 < 0,05	R ² = 0,06 > 0,05	R ² = 0,03 > 0,05	R ² = 0,12 < 0,05	R ² = 0,48 < 0,05	R ² = 0,96 < 0,05
	Влияние фактора «срок посева», R ² , p-value	R ² = 0,01 > 0,05	R ² = 0,06 > 0,05	R ² = 0,03 > 0,05	R ² = 0,04 > 0,05	R ² = 0,23 < 0,05	R ² = 0,004 > 0,05

Примечание: * – указаны значения веса семян в бобах, расположенных на растении ниже 12 см или выше 12 см от поверхности почвы; доля вариabельности R² – коэффициент ковариации, отражающий вклад фактора в вариabельность исследуемого параметра; жирным шрифтом выделены значения R², достоверные на 5-процентном уровне значимости; p-value – уровень вероятности
Note: * – the values indicated are the weight of seeds in beans located on the plant below 12 cm or above 12 cm from the soil surface; the share of variability R² is the covariance coefficient reflecting the contribution of the factor to the variability of the studied parameter; R² values significant at the 5% significance level are boldfaced

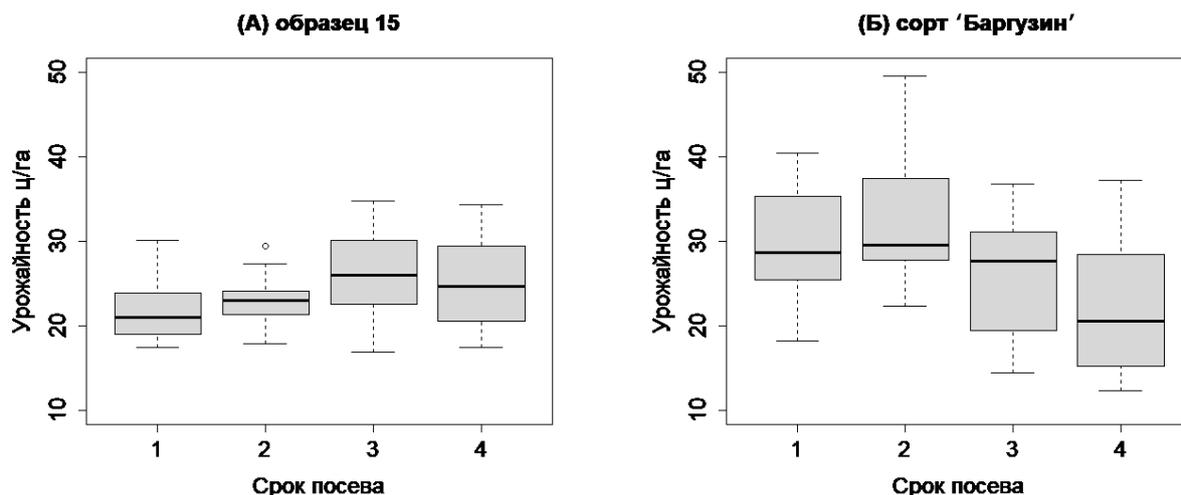


Рис. 6. Влияние срока посева на урожайность образца сои 15 (А) и сорта 'Баргузин' (Б) в 2019–2021 гг. в Иркутской области

Fig. 6. The effect of the sowing time on the yield of soybean accession 15 (A) and cv. 'Barguzin' (B) in 2019–2021, Irkutsk Province

женных выше 12 см, у данного генотипа не увеличивался. Влияние срока посева на высоту растений сои наблюдала А. А. Алиева (Aliyeva, 2021). Более низкая урожайность сорта 'Баргузин' третьего и четвертого сроков посева определялась меньшим весом семян в бобах, расположенных выше 12 см от поверхности почвы, и меньшей массой 1000 семян. Последний параметр был заметно снижен у растений четвертого срока посева во все годы наблюдений из-за выраженной незрелости семян.

Отдельно стоит отметить, что вес семян с бобов, расположенных на высоте ниже 12 см от поверхности почвы, был во все сроки посева больше у образца 15 в сравнении с сортом 'Баргузин'. При ранних сроках посева данных образцов этот показатель был выше, чем при поздних.

Необходимость выбора оптимальных сроков посева для достижения более высокой урожайности сои подтверждается исследователями во всем мире. Для каждого региона сроки посева определяются своим набором факторов. Так, в Бразилии выбор наилучшего срока посева обеспечивает возможность собирать урожай сои два раза в год (Zhang et al., 2021). В Северной Америке и Европе запаздывание со сроками посева приводит к тому, что цветение и созревание сои приходятся на наиболее засушливый и жаркий период вегетации (Mourtzinis et al., 2019; Lamichhane et al., 2020). На основании наших данных показано, что для различающихся по скороспелости образцов сои в условиях лесостепной зоны Иркутской области существуют свои оптимальные сроки посева. В связи с возможными возвратными заморозками, характерными для условий региона при сверхраннем посеве (первый срок – 5 мая), повышаются риски попадания всходов под отрицательные температуры. Для скороспелого образца 15 предпочтительным является посев в период с 15 по 25 мая. Статистически значимой разницы в урожайности между третьим и четвертым сроками посева не было, тем не менее, учитывая короткий вегетационный период, характерный для условий лесостепной зоны Иркутской области, мы не рекомендуем четвертый срок посева. Похожие результаты были получены ранее на опытно-экспериментальном участке СИФИБР СО РАН

г. Иркутска (Dorofeev et al., 2008), на основании которых авторы также рекомендовали посев сои в Восточной Сибири в период с 15 по 25 мая.

В наших экспериментах для позднеспелого сорта 'Баргузин' первый и второй сроки посева были наилучшими, третий – менее оптимален, четвертый срок – неблагоприятен. Запаздывание со сроком посева сорта 'Баргузин' в условиях региона может привести к тому, что растения не успеют вызреть в течение вегетационного периода. На основании полученных данных для позднеспелых сортов сои, таких как 'Баргузин', мы рекомендуем посев в первой – второй декаде мая.

Заключение

В результате трехлетнего изучения влияния погодных условий, генотипа и сроков посева на урожайность сои в лесостепной зоне Иркутской области было выявлено, что на продуктивность исследованных образцов существенное влияние оказывают метеорологические факторы – сумма положительных температур и количество осадков, а также характер распределения тепла и осадков в разные периоды вегетации.

Достоверного эффекта влияния срока посева на урожайность скороспелого селекционного образца 15 нами выявлено не было. Однако на позднеспелый образец 'Баргузин' сильно действовали поздние сроки посева, значительно снижая урожайность этого высокопродуктивного сорта.

Негативное влияние внешней среды на продуктивность сои может быть снижено путем выбора правильного сочетания генотипа и сроков посева. Посев скороспелых образцов нужно проводить во второй и третьей декадах мая, позднеспелых – в первой и второй.

Для получения стабильного урожая в агроклиматических условиях региона предпочтительнее выращивать скороспелые сорта сои. Использование таких сортов позволит уменьшить вероятность получения низкого урожая из-за воздействия неблагоприятных факторов среды при ранних сроках посева и снизить риски невызревания семян при позднем посеве.

References / Литература

- Agarkova S.N., Novikova N.E., Belyaeva R.V., Golovina E.V., Belyaeva Zh.A., Tsukanova Z.R. et al. Features of the formation of productivity and adaptive reactions in leguminous crop varieties with recessive alleles of genes. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2016;177(2):22-39. [in Russian] (Агаркова С.Н., Новикова Н.Е., Беляева Р.В., Головина Е.В., Беляева Ж.А., Цуканова З.Р. и др. Особенности формирования продуктивности и адаптивных реакций у сортов зернобобовых культур с рецессивными аллелями генов. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2016;177(2):22-39). DOI: 10.30901/2227-8834-2016-2-22-39
- Aliyeva A. Effect on soybean growth of sowing time and fertilizers. *Bulletin of Science and Practice*. 2021;7(5):121-126. DOI: 10.33619/2414-2948/66/15
- Anderson M.J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*. 2001;26(1):32-46. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.PP.X
- Bandillo N.B., Anderson J.E., Kantar M.B., Stupar R.M., Specht J.E., Graef G.L. et al. Dissecting the genetic basis of local adaptation in soybean. *Scientific Reports*. 2017;7(1):17195. DOI: 10.1038/s41598-017-17342-w
- Dorofeev N.V., Boyarkin E.V., Peshkova A.A. Soybean yield in Eastern Siberia depending on the sowing dates (Urozhaynost soi v Vostochnoy Sibiri v zavisimosti ot sroka poseva). *Zernovoye khozyaystvo = Grain Farming*. 2008;(3):30-31. [in Russian] (Дорофеев Н.В., Бояркин Е.В., Пешкова А.А. Урожайность сои в Восточной Сибири в зависимости от срока посева. *Зерновое хозяйство*. 2008;(3):30-31).
- Eliseeva L.V., Eliseev I.P. Economic and biological assessment of soybean varieties in the conditions of the Chuvash Republic. *Vestnik Chuvash SAU*. 2022;2(21):5-9. [in Russian] (Елисеева Л.В., Елисеев И.П. Хозяйственно-биологическая оценка сортов сои в условиях Чувашской Республики. *Вестник Чувашского аграрного университета*. 2022;2(21):5-9). DOI: 10.48612/vch/fpuz-mx6d-gr2m
- FAOSTAT: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics. Rome: FAO; 2021. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [accessed Sept. 12, 2023].
- Gontar V.I., Tatakina L.N., Furman M.Sh. Agroclimatic resources of Irkutsk Province (Agroklimaticheskiye resursy Irkutskoy oblasti). Leningrad: Gidrometeoizdat; 1977. [in Russian] (Гонтарь В.И., Татакина Л.Н., Фурман М.Ш. Агроклиматические ресурсы Иркутской области. Ленинград: Гидрометеоиздат; 1977).
- GOST R 52325-2005 National standard of the Russian Federation. Seeds of agricultural plants. Varietal and sowing characteristics. General specifications. Moscow: Standardinform; 2009. [in Russian] (ГОСТ Р 52325-2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ; 2009). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200039547> [дата обращения: 18.09.2023].
- Lamichane J.R., Aubertot J.N., Champolivier L., Debaeke P., Maury P. Combining experimental and modeling approaches to understand genotype × sowing date × environment interaction effects on emergence rates and grain yield of soybean. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:558855. DOI: 10.3389/fpls.2020.558855
- Li M., Liu Y., Tao Y., Xu C., Li X., Zhang X. et al. Identification of genetic loci and candidate genes related to soybean flowering through genome wide association study. *BMC Genomics*. 2019;20(1):987. DOI: 10.1186/s12864-019-6324-7
- Mourtzinis S., Specht J.E., Conley S.P. Defining optimal soybean sowing dates across the US. *Scientific Reports*. 2019;9(1):2800. DOI: 10.1038/s41598-019-38971-3
- Perfil'ev R.N., Shcherban A.B., Salina E.A. Development of a marker panel for genotyping of domestic soybean cultivars for genes controlling the duration of vegetation and response to photoperiod. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;25(7):761-769. DOI: 10.18699/VJ21.087
- Pierozan Jr. C., Kawakami J., Bridi M., Müller M.M.L., Del Conte M.V., Michalovicz L. Phenological and quantitative plant development changes in soybean cultivars caused by sowing date and their relation to yield. *African Journal of Agricultural Research*. 2015;10(6):515-523. DOI: 10.5897/AJAR2014.9325
- Schoving C., Stöckle C.O., Colombet C., Champolivier L., Debaeke P., Maury P. Combining simple phenotyping and photothermal algorithm for the prediction of soybean phenology: Application to a range of common cultivars grown in Europe. *Frontiers in Plant Science*. 2020;10:1755. DOI: 10.3389/fpls.2019.01755
- Vasina E.A., Butovets E.S., Lukyanchuk L.M. Results of a study of soybean source material for breeding purposes under the conditions of Primorsky Territory. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(4):19-29. [in Russian] (Васина Е.А., Бутовец Е.С., Лукьянчук Л.М. Результаты изучения исходного материала сои в условиях Приморского края для селекционных целей. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(4):19-29). DOI: 10.30901/2227-8834-2022-4-19-29
- Watanabe S., Harada K., Abe J. Genetic and molecular bases of photoperiod responses of flowering in soybean. *Breeding Science*. 2012;61(5):531-543. DOI: 10.1270/jsbbs.61.531
- Zelentsov S.V., Moshnenko E.V., Bubnova L.A., Budnikov E.N., Trunova M.V., Lukomets A.V. et al. A cold-resistant soybean cultivar of the northern ecotype Barguzin. *Oil Crops*. 2020;1(181):132-139. [in Russian] (Зеленцов С.В., Мошненко Е.В., Бубнова Л.А., Будников Е.Н., Трунова М.В., Лукомец А.В. и др. Холодоустойчивый сорт сои северного экотипа Баргузин. *Масличные культуры*. 2020;1(181):132-139). DOI: 10.25230/2412-608X-2020-1-181-132-139
- Zhang M., Abrahao G., Cohn A., Campolo J., Thompson S. A MODIS-based scalable remote sensing method to estimate sowing and harvest dates of soybean crops in Mato Grosso, Brazil. *Heliyon*. 2021;7(7):07436. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07436

Информация об авторах

Наталья Баировна Катышева, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, mitanova2014@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5847-1695>

Анатолий Владимирович Поморцев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, pomorcevanatolii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8025-7647>

Николай Владимирович Дорофеев, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, nicdoro@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0005-0134>

Светлана Юрьевна Зорина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, zorina@sifibr.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7587-981X>

Лада Георгиевна Соколова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, sokolova.lada@sifibr.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5178-1404>

Анна Сергеевна Журавкова, ведущий инженер, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, shiverskix98@bk.ru

Юрий Сергеевич Букин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, bukinyura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4534-3846>

Александр Игоревич Катышев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский институт физиологии и биохимии растений Сибирского отделения Российской академии наук, 664033 Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 132, byacky78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7856-0460>

Information about the authors

Natalia B. Katysheva, Cand. Sci. (Biology), Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, mitanova2014@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5847-1695>

Anatolii V. Pomortsev, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, pomorcevanatolii@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8025-7647>

Nikolay V. Dorofeev, Cand. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, nicdoro@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0005-0134>

Svetlana Yu. Zorina, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, zorina@sifibr.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7587-981X>

Lada G. Sokolova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, sokolova.lada@sifibr.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5178-1404>

Anna S. Zhuravkova, Technician, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, shiverskix98@bk.ru

Yurij S. Bukin, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Limnological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk 664033, Russia, bukinyura@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4534-3846>

Alexander I. Katyshev, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 132 Lermontova St., Irkutsk 664033, Russia, byacky78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7856-0460>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 22.12.2023; одобрена после рецензирования 18.06.2024; принята к публикации 04.09.2024. The article was submitted on 22.12.2023; approved after reviewing on 18.06.2024; accepted for publication on 04.09.2024.