

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

УДК 635.656: 631.559

DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-5-11

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СЕЛЕКЦИИ ГОРОХА (*PISUM SATIVUM* L.) (ОБЗОР)

В.В. Ковтунов^{1,2}, доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства гороха, доцент кафедры «Агрономия», kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

С.В. Брагинец^{1,2}, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, профессор кафедры «Технологии и оборудование переработки продукции агропромышленного комплекса», sbraginet@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7137-5692;

К.Н. Хабибуллин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства гороха, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649;

О.А. Беланова¹, аспирант, агроном лаборатории селекции и семеноводства гороха, olya8.belanova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5292-2224;

М.В. Никитенко¹, аспирант, агроном лаборатории селекции и семеноводства гороха, povolotskay68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703.

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3, e-mail: vniizk30@mail.ru;

²ФГБОУ ВО Донской государственный технический университет, 344003, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, зд. 1.

Горох занимает одно из ведущих мест среди зернобобовых культур в мире, объем его выращивания составляет около 12 млн. тонн. Посевные площади гороха посевного в Российской Федерации имеют устойчивую тенденцию роста. Дальнейшее увеличение урожайности и валовых сборов гороха невозможно без проведения своевременной сортоотмены и внедрения в производство новых сортов адаптивных к изменяющимся стресс-факторам. Целью данной работы является обобщение и анализ информации из научных статей, посвященных наиболее важным направлениям и современным методам селекции гороха. Подбор литературных источников осуществлялся в международных базах данных, а также на официальных платформах издательств. В качестве объектов анализа рассматривался широкий спектр публикаций, включая обзорные работы и оригинальные исследовательские статьи. Предпочтение отдавалось материалам с высоким индексом цитирования, за исключением научных статей, опубликованных в последние годы и не успевших его накопить. Для обеспечения полноты охвата данной темы дополнительно проведен анализ библиографических ссылок в отобранных работах, что позволило выявить и расширить значимые источники. Анализ литературных источников позволил установить, что основными признаками, по которым в настоящее время ведется селекционная работа, направленная на создание новых сортов гороха, являются урожайность и качество зерна, архитектура растения, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам, продолжительность вегетационного периода, повышение симбиотической фиксации азота. Современная селекционная работа по культуре гороха основана на таких методах селекции как внутривидовая гибридизация и отбор, мутагенез, ДНК-маркирование, а также использование ускоренной селекции. Проведенный анализ позволил сформировать комплексное представление о текущем состоянии изученной проблематики, выделить ключевые тренды и наметить перспективные направления для будущих исследований.

Ключевые слова: горох, урожайность, качество зерна, устойчивость, селекция, мутагенез, генотип, ген.

Для цитирования: Ковтунов В.В., Брагинец С.В., Хабибуллин К.Н., Беланова О.А., Никитенко М.В. Основные направления и современные методы селекции гороха (*Pisum sativum* L.) (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2026. Т. 18, №3. С. 5-11. DOI: 10.31367/2079-8725-2026-104-3-5-11.



MAIN DIRECTIONS AND MODERN METHODS OF PEA (*PISUM SATIVUM* L.) BREEDING (REVIEW)

V.V. Kovtunov^{1,2}, Doctor of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for pea breeding and seed production, associate professor of the department "Agronomy", kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

S.V. Braginet^{1,2}, Doctor of Technical Sciences, leading researcher of the department of plant products' processing, professor of the department "Technologies and processing equipment for plant products in AgroIndustrial Complex", sbraginet@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7137-5692;

K.N. Khabibullin¹, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for pea breeding and

seed production, kira1992k@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4136-1649;

O.A. Belanova¹, a graduate student, agronomist of the laboratory for pea breeding and seed production, olya8.belanova@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-5292-2224;

M.V. Nikitenko¹, a graduate student, agronomist of the laboratory for pea breeding and seed production, povolotskay68@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7382-4703.

¹FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Russia, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3;

²FSBEI HE "Donskoy State Technical University",
344003, Rostov region, Rostov-on-Don, Gagarin Sq., 1.

Peas are one of the leading legumes in the world, with production volumes reaching approximately 12 million tons. Pea acreage in the Russian Federation is steadily increasing. Further increases in pea yields and gross harvests are impossible without timely variety changing and the introduction of new varieties adaptable to changing stress factors. The purpose of the current work was to summarize and analyze information from scientific articles devoted to the most important areas and modern methods of pea breeding. Literary sources were selected from international databases and official publishing platforms. There has been analyzed a wide range of publications, including review papers and original research articles. Preference was given to materials with a high citation index, excluding research articles published in recent years that had not yet accumulated such an index. In order to ensure comprehensive consideration of this topic, there has been conducted an additional analysis of the bibliographic references in the selected works, which allowed identifying and expanding significant sources. An analysis of literary sources has revealed that the main characteristics currently being used in breeding work aimed at developing new pea varieties are seed productivity and quality, plant architecture, resistance to biotic and abiotic stress, length of a vegetation period, and increased symbiotic nitrogen fixation. Modern pea breeding is based on methods such as intraspecific hybridization and selection, mutagenesis, DNA-marking, and accelerated breeding. The current analysis has provided a comprehensive understanding of the present state of the issue, identified key trends, and outlined promising areas for future research.

Keywords: *peas, productivity, seed quality, resistance, breeding, mutagenesis, genotype, gene.*

Введение. Увеличение численности населения мира приведет к нехватке продовольствия, что поднимает вопрос о том, сможет ли современное сельское хозяйство удовлетворить потребности в продовольствии. Частичная замена животных белков растительными могла бы удовлетворить этот растущий спрос. Горох является легкодоступным источником белка, сложных углеводов, ряда витаминов и минералов. Содержание белка в семенах бобовых достигает 30%, что выше, чем у злаковых (около 13%), и близко по содержанию белка в мясе (18-25%). По сравнению со злаковыми культурами, бобовые отличаются высоким содержанием лизина, но характеризуются низким содержанием метионина и цистеина (Espósito et al., 2023). Помимо потребления человеком, горох используется в кормах для животных, в качестве зеленого удобрения, и в различных промышленных целях (Chen et al., 2024). Горох является третьей по распространенности бобовой культурой в мире, объем его выращивания составляет около 12 млн. тонн. Основными мировыми производителями являются Канада, за ней следуют Россия, Китай и Индия (Espósito et al., 2023). Посевные площади гороха посевного в Российской Федерации имеют устойчивую тенденцию роста. В последние годы экспорт гороха достигал почти половины валового сбора. Сельхозтоваропроизводители рассматривают данную культуру как один из лучших предшественников для озимой пшеницы (Гончаров и Коробова, 2022).

Целью данной работы является обобщение и анализ информации из научных статей, посвященных наиболее важным направлениям и современным методам селекции гороха.

Материалы и методы исследований.

Представленный обзор был подготовлен в соответствии со структурированной методологией, предполагавшей выполнение ряда взаимосвязанных этапов.

Изначально был проведен целенаправленный поиск и последующий отбор научных публикаций. Затем из отобранных источников были выделены актуальные для намеченной публикации данные, которые были систематизированы и обобщены.

Подбор литературных источников осуществлялся в международных базах данных, а также на официальных платформах издательств. В качестве объектов анализа рассматривался широкий спектр публикаций, включая обзорные работы и оригинальные исследовательские статьи.

Критериями для включения публикаций в обзор служили их релевантность заявленной проблематике и научная весомость. Предпочтение отдавалось материалам с высоким индексом цитирования, за исключением научных статей, опубликованных в последние годы и не успевших его накопить. Для обеспечения полноты охвата темы дополнительно проведен анализ библиографических ссылок в отобранных работах, что позволило выявить и расширить значимые источники.

Результаты и их обсуждение. Основными признаками, используемыми в качестве критериев для создания нового сорта, являются урожайность, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам, продолжительность вегетационного периода, качество зерна.

Повышение урожайности предполагает повышение количества полноценных семян на растении. Были предприняты попытки увеличить количество цветков на узле вместо увеличения количества зерен в бобе. Не менее важной целью в селекционных программах является равномерность созревания бобов и семян. Другим значимым аспектом является снижение потерь при уборочных работах. Повышение устойчивости к полеганию растений за счёт уменьшения высоты растений, усиления прочности стебля, использование

безлисточковых генотипов способствует значительному снижению потерь при уборке урожая (Espósito et al., 2023).

Для повышение урожайности гороха одним из ключевых направлений в селекции является изменение архитектуры растения. Идеальный фенотип гороха должен иметь более низкую высоту, что повышает устойчивость к полеганию. Важнейшим агрономическим признаком является характер роста стебля гороха, тесно связанный с продолжительностью периода роста, урожайностью и высотой растения. В зависимости от того, когда заканчивается рост верхушки стебля, большинство сортов гороха делятся на два основных архитектурных типа стебля: детерминантный и индетерминантный. Локус *Determinate (det)* кодирует белок, который функционирует для сохранения меристемы соцветия у гороха. У его мутанта верхушечная меристема заменяется цветочной структурой, что приводит к переходу гороха от неограниченного роста к форме с ограниченным ростом. Таким образом, локус *det* определяет детерминантность роста стебля гороха. Недавно были предприняты попытки использовать двойные мутанты *det fa*, в результате чего появились растения с верхушечной кистью, часто несущей более десяти цветков на укороченных цветоножках. Учитывая сходство цветочного строения с люпинами, этот признак называется «люпиноидным» (Chen et al., 2024).

Одним из наиболее известных локусов, контролирующих архитектуру гороха, является локус *Le*, который определяет длину междоузлий. Он играет ключевую роль в достижении полукарликовости у гороха. Локус *Tl*, который контролирует развитие усиков гороха, сыграл важную роль в селекции листового гороха. Большое значение в селекции гороха играет локус *Afila (Af)*. Использование мутантов *af*, имеющих безлисточковый фенотип, позволяет снизить проблему полегания гороха и значительно повысить как урожайность, так и качество зерна. Учитывая уменьшенное количество сложных листьев у мутантов *af*, которое может повлиять на фотосинтетическую эффективность, исследователи объединили *af* с *uni*, разработав фенотип, названный «хамелеоном». По сравнению с мутантами *af*, у *af uni* несколько усиков заменены листьями (Chen et al., 2024).

Актуальной задачей селекции в настоящее время является создание технологичных сортов гороха характеризующиеся неосыпаемостью семян в полевых условиях. Неосыпаемость семян гороха обусловлена прочным срастанием семяножки с кожурой семени и находится под контролем гена *def (defeloment funiculus)*. Широкое использование в селекции этого гена позволяет снизить потери урожая семян на 0,3–1,8 тонны с гектара (Гудкова и Дружинина, 2011).

Снижение потерь зерна при уборке возможно достичь путём использования гена *Dpo*, который контролирует раскрытие бобов гороха. Аллель *Dpo* преимущественно встречается у диких сортов с раскрывающимися бобами, тогда как рецессивная аллель *dpo* в основном присутствует у современных сортов с нераскрывающимися бобами (Chen et al., 2024).

Как и многие другие культуры, горох сталкивается с рядом абиотических и биотических стрессов, которые могут оказывать негативное влияние на рост и развитие, а также снижать урожайность и качество зерна. Создание сортов, устойчивых как к биотическим,

так и к абиотическим стрессорам, является эффективной стратегией повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, включая горох (Chen et al., 2024).

Выделение зимостойких сортов и поиск генов, тесно связанных с зимостойкостью для селекции зимующего гороха также являются приоритетной задачей (Espósito et al., 2023). Зимующий горох обладает высоким потенциалом, но его выращивание ограничено возможной гибелью растений в зимнее время. В исследованиях Franguelli et al. (2024) отдельные генотипы продемонстрировали выживаемость в 50% при температурах от –11,6 до –14,5 °C, что превышает обычно сообщаемые допустимые диапазоны от –8 до –13 °C (Niels et al., 2025). Сохранение и расширение зимостойкости необходимы для обеспечения надежного формирования посевов и стабильности урожая в условиях низких температур. Существенное влияние на величину урожайности оказывают засуха и тепловой стресс во время прорастания, ранней вегетативной стадии (Devi et al., 2023) и цветения (Yang et al., 2022). Повышение устойчивости сортов гороха к данным стресс-факторам также относится к числу первоочередных задач.

Создание и внедрение в сельскохозяйственное производство устойчивых к болезням сортов является наиболее быстрым и дешевым способом борьбы с заболеваниями культурных растений. Из множества грибов, обнаруженных на горохе, значительный экономический ущерб современным сортам наносят лишь некоторые виды. Их вредоносность может меняться в зависимости от географической зоны возделывания культуры и погодных условий (Фадеева, 2007).

Наибольшую вредоносность посевам гороха наносят грибковые заболевания аскохитоз и мучнистая роса. Значительные успехи были достигнуты в повышении устойчивости гороха к мучнистой росе, которая основана на действии рецессивного гена *er-1* (Espósito et al., 2023). Было установлено, что аллель *er-1* обеспечивает устойчивость к мучнистой росе, препятствуя проникновению *Erysiphe pisi* (E. pisi) в эпидермальные клетки гороха. На сегодняшний день уже описаны три гена, обеспечивающие устойчивость к E. pisi: *er-1*, *er-2* и *Er-3* (Chen et al., 2024).

Существенное снижение урожайности зерна во влажных условиях в большинстве регионов мира, где выращивается горох вызывает аскохитоз. Селекция на устойчивость к данной болезни, также считается одним из наиболее эффективных методов борьбы. Однако, это длительный процесс из-за сложной природы устойчивости (Espósito et al., 2023). Устойчивостью к *Ascochyta* контролируется геном *Rap-2*. Широкое распространение имеет вирус мозаики гороха. Устойчивость гороха к данному вирусу, передающемуся через семена, определяется геном *Sbm1*. Этот аллель ингибирует экспрессию генома вируса, его размножение и межклеточное перемещение (Chen et al., 2024).

Значительный ущерб сортам гороха (*Pisum sativum* L.) наносит гороховая зерновка (*Bruchus pisorum* L.). Она снижает урожайность и качество посевного гороха, поедая большую часть запасных питательных веществ семени. Семена, заселённые гороховой зерновкой, имеют высокую вероятность осыпания во время уборки, а также ухудшается внешний вид зерна. Ограниченный успех агротехнических

методов борьбы, неэффективность биологического контроля и зависимость от дорогостоящих инсектицидов указывают на необходимость поиска альтернативных мер борьбы. Создание устойчивых к гороховой зерновке сортов является одним из наиболее перспективных вариантов снижения воздействия этого вредителя на производство гороха (Hardie et al., 1995). В исследованиях Hardie et al. (1995) 52 образца *P. sativum* и 18 образцов *P. fulvum* были классифицированы как потенциальные источники устойчивости к гороховой зерновке. Однако, дальнейшие полевые испытания не подтвердили абсолютной устойчивости к этому вредителю. Представленные в данной статье результаты указывают на то, что существуют возможные источники устойчивости к гороховой зерновке, присутствующие в некоторых образцах *Pisum*. Однако механизмы устойчивости и их наследование необходимо понять, прежде чем можно будет создать устойчивые сорта, и установить соответствующую стратегию селекции для повышения устойчивости к гороховой зерновке.

Важной задачей для селекционной работы является улучшение показателей качества. Понимание генетической изменчивости среди генотипов важно для отбора линий с хорошим питательным профилем. Общее содержание белка в семенах гороха ниже, чем в соевом шроте, и выше, чем в злаках (Ludvíková and Griga, 2022). В зависимости от сорта гороха показатели содержания белка варьируют от 11,4 до 32,6% (Espósito et al., 2023). Ludvíková and Griga (2022) отмечено, что тип семян (морщинистые или гладкие) влиял на биохимический состав гороха. Более высокое содержание белка наблюдалось в морщинистых семенах. Однако Jha et al., (2013) не наблюдали существенных различий между образцами с разной поверхностью семян. Основными запасными белками в семенах гороха являются глобулины, леугмин и вицилин. Биосинтез этих белков находится под контролем более сорока генов (Chen et al., 2024).

Большую долю семян гороха занимают углеводы, преимущественно хранящиеся в виде крахмала, который составляет приблизительно 45–50% от сухого веса. Следовательно, среди всех питательных компонентов гены, связанные с синтезом крахмала, являются наиболее многочисленными. Исторически наиболее известным геном, связанным с синтезом крахмала, является локус *Rugosus* (*R*) (Chen et al., 2024). Отмечается, что морщинистые семена характеризуются более низким содержанием крахмала, чем гладкие семена в зрелом состоянии, а горох с зелеными семядолями отличается меньшим содержанием крахмала, чем образцы с желтыми семядолями (Jha et al., 2013).

Содержание микроэлементов в зерне гороха изучено недостаточно. Cheng et al. (2015) оценили содержание минералов у 330 образцов коллекции гороха. Получены следующие средние значения, выраженные в мкг на 1 г: бор (B): 7,8; кальций (Ca): 802,1; медь (Cu): 4,4; железо (Fe): 50,4; магний (Mg): 1685,8; марганец (Mn): 16,0; молибден (Mo): 23,2; никель (Ni): 2,5; фосфор (P): 5047,5; калий (K): 12474,3 и цинк (Zn): 41,8.

Следует учитывать, что на показатели качества генотипа оказывают влияние условия выращивания, год и местоположение (Espósito et al., 2023). На содержание белка в семенах помимо влияния сорта,

могут существенно влиять почвенные и климатические условия, а также агротехнические мероприятия (Ludvíková and Griga, 2022). Условия окружающей среды оказывают значительное влияние на содержание крахмала, жира, Fe, K, Mg, Mn, P и Zn, аланина, глицина, изолейцина, лизина, треонина и активность ингибитора трипсина (Espósito et al., 2023). В исследованиях Amarakoon et al. (2012) сообщается, что концентрации Zn, Ca, P зависят от местоположения, генотипа, а также взаимодействия генотипа и окружающей среды (G x E). В тоже время, на содержание фитиновой кислоты G x E не оказывает значительного влияния. Liu et al. (2015) показали, что сорт, окружающая среда и их взаимодействие влияли на концентрацию P и фитиновой кислоты, а на содержание Fe взаимодействие генотип среда не оказало значительного влияния. Такие соединения как каротиноиды и полифенолы были достаточно стабильны в различных условиях, что позволяет предположить возможность селекции для повышения их содержания (Espósito et al., 2023).

На отечественном рынке важным показателем является возможность использования товарного зерна на продовольственные цели. Поэтому требуемым показателем стал желтый цвет зерна и, соответственно, отнесение к категории ценного сорта (Гончаров и Коробова, 2022).

По мнению Шелепина Н.В. (2018) улучшению конкурентоспособности гороха может способствовать развитие глубокой переработки зерна. В тоже время, в работе Гончарова С.В. и Коробовой Н.А. (2022) отмечается, что вкус, питательная ценность, пригодность для глубокой переработки не рассматривались ранее в качестве целевых признаков селекционных программ.

Подобно другим бобовым растениям, горох обладает способностью к симбиотической фиксации азота. Хотя горох способен фиксировать азот до 165 кг/га, типичный диапазон фиксации в полевых условиях составляет от 40 до 60 кг/га. С одной стороны, это поддерживает рост гороха, с другой – обогащает почву (Chen et al., 2024). Способность гороха фиксировать атмосферный азот в симбиозе с ризобиями имеет важное значение для повышения продуктивности севооборотов в целом. Кроме того, горох имеет большую пищевую и экспортную ценность. Улучшение фиксации азота в горохе также принесет пользу быстрорастущему рынку растительных белков. В некоторых исследованиях выявлено сильное влияние сорта на симбиотическую способность растений (Espósito et al., 2023). Была обнаружена генетическая изменчивость количества и веса клубеньков у гороха, демонстрирующая положительную корреляцию со способностью к фиксации азота (Chen et al., 2024). Мутации у гороха, связанные с корневыми клубеньками, предоставляют возможность создать сорта гороха с большим потенциалом фиксации азота (Espósito et al., 2023). За последние два десятилетия, с момента первого упоминания гена *NIN*, связанного с азотфиксацией, исследователи выявили несколько ключевых генов, сопряженных с фиксацией азота в горохе. Эти открытия сыграли решающую роль в создании новых сортов гороха с улучшенными свойствами фиксации азота. Предполагается, что за счет повышения способности гороха к фиксации азота, произойдет увеличение, как урожайности, так и содержания белка в культуре. Кроме того, ожидается, что это улучшение будет

способствовать повышению плодородия почвы и снижению необходимости внесения азотных удобрений в севообороте с горохом (Chen et al., 2024).

На первых этапах научной селекции одним из основных способов создания сортов гороха был отбор из местных сортов-популяций. В настоящее время наиболее распространенным и эффективным методом селекции гороха является внутривидовая гибридизация (Кондыков, 2012).

Традиционными методами селекции были достигнуты значительные достижения. Дикie виды и формы гороха представляют собой ценные источники устойчивости к биотическим и абиотическим факторам. С их использованием созданы сорта, устойчивые к таким заболеваниям как ложная мучнистая роса, фузариоз и ржавчина, а также сокращён вегетационный период, повышена урожайность и качество семян (Espósito et al., 2023). Устойчивость к полеганию была улучшена за счет внедрения гена *afla* и за счет отбора на повышенную прочность стебля. Частичная устойчивость к аскохитозу была достигнута путем пирамидирования генов. Устойчивость к гороховой зерновке (*Bruchus pisorum* L.), выявленная в генофонде *P. fulvum*, была перенесена в культивируемый горох путем возвратных скрещиваний (Tayeh et al., 2015). Для гороха, где изменчивость генофонда низка из-за его автогамной природы, использование индуцированного мутагенеза в селекции имеет большие перспективы (Espósito et al., 2023). Подобного мнения придерживаются Chen et al. (2024), которые считают, что поскольку горох трудно генетически трансформировать, необходимо использовать мутантные популяции для облегчения клонирования генов, функционального анализа и мутационной селекции. Исследователи провели всестороннее изучение различных признаков гороха, используя мутанты, полученные в различных мутагенных условиях. Примерами являются клонирование локуса *Tendrill-less (TI)* из мутантов, полученных с помощью быстрых нейтронов, клонирование локуса *Elephant-ear-like leaf1 (ELE1)* из мутантов, полученных с помощью этилметансульфоната, и клонирование локуса *Keeled Wings (K)* из рентгеновского мутагенеза. Более того, мутационная селекция гороха, начатая в начале 1940-х годов, оказалась весьма успешной. Ярким примером этого является разработка безлисточкового сорта гороха, названного «Васата» Польшей в 1979 году, с использованием гамма-лучевого мутагенеза. Это достижение значительно повысило устойчивость гороха к полеганию без ущерба для его урожайности (Chen et al., 2024). Отмечается о создании порядка тридцати мутантных сортов *Pisum sativum* L.. Некоторые из них были выведены путем гибридизации с мутантным сортом, другие — с помощью методов прямой индуцированной мутации. Среди улучшенных характеристик отмечены: устойчивость к полеганию, раннее созревание и высокая урожайность семян (Espósito et al., 2023).

Для создания новых сортов гороха с использованием традиционных методов селекции требует десять или более лет. Использование ДНК-маркеров наряду с традиционной селекцией может ускорить и повысить эффективность отбора при создании сортов (Espósito et al., 2023). С момента первой генетической карты, опубликованной еще в 1948 году, знания о геноме гороха расширились вместе с развитием молекулярных

маркеров (Pandey et al., 2021). В общей сложности было построено не менее 52 генетических карт для различных популяций F2 или рекомбинантных инбредных линий, содержащих до 8503 маркеров (Tayeh et al., 2015). В тоже время, отмечается, что с наступлением эры геномики в науке о растениях горох, обладающий внушительным геномом в 4,45 Гб, значительно отстал в геномных исследованиях по сравнению с другими бобовыми растениями (Chen et al., 2024). В настоящее время, генотипирование методом секвенирования используется в различных исследованиях гороха, таких как характеристика зародышевой плазмы, геномная селекция, изучение продолжительности вегетационного периода, высоты растения, урожайности семян и массы семян. Проводятся важные исследования по QTL качества семян гороха. Помимо основных минералов, таких как Ca, Fe, K, Mg, Mn, Mo и P, были определены QTL содержания крахмала, клетчатки и фитатов в горохе (Espósito et al., 2023). Выявлены маркеры, связанные с урожайностью, архитектурой надземной части и корней, устойчивостью к абиотическим стрессам и полеганию, содержанием ингибитора трипсина, устойчивостью к таким заболеваниям, как мучнистая роса, вирусу мозаики, фузариозное увядание, аскохитоз и ржавчина (Tayeh et al., 2015). По мнению Chen et al. (2024), увеличение информации о генах, связанных с устойчивостью гороха к стрессам, и идентификация ключевых локусов устойчивости имеет решающее значение.

Для ускорения селекции по многим сельскохозяйственным культурам разработаны приёмы получения нескольких поколений в год за счёт выращивания растений в регулируемых условиях с использованием искусственного освещения, контроля температуры и влажности (Espósito et al., 2023). На горохе Cazzola et al. (2020) используя гидропонную систему с 22-часовым фотопериодом и регуляторов роста получил до пяти поколений в год. Использование ускоренной селекции потенциально может сократить время, необходимое для создания новых сортов, и повысить эффективность селекционных программ по сравнению с традиционными методами селекции (Espósito et al., 2023).

Выводы. На основе проведенного обзора научной литературы выделены основные направления и методы селекции гороха. Анализ литературных источников позволил установить, что основными признаками, по которым в настоящее время ведётся селекционная работа, направленная на создание новых сортов гороха, являются урожайность и качество зерна, архитектура растения, устойчивость к биотическим и абиотическим стрессам, продолжительность вегетационного периода, повышение симбиотической фиксации азота. Современная селекционная работа по культуре гороха основана на таких методах селекции как внутривидовая гибридизация и отбор, мутагенез, ДНК-маркирование, а также использование ускоренной селекции. Проведённый анализ позволил сформировать комплексное представление о текущем состоянии изученной проблематики, выделить ключевые тренды и наметить перспективные направления для будущих исследований.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № FNFN-2025-0010).

Библиографический список

1. Гончаров С.В., Коробова Н.А. Перспективные направления селекции гороха // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 13–17.
2. Гудкова Г.Н., Дружинина В.С. Морфолого-анатомическое строение семяножки осыпавшихся и неосыпавшихся сортов гороха // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2011. Выпуск 2. С. 35–39.
3. Кондыков И.В. Основные достижения и приоритеты в селекции гороха // Зернобобовые и крупяные культуры». 2012. № 1. С. 37–46.
4. Фадеева А.Н. Селекция гороха на устойчивость к болезням // Достижения науки и техники АПК. 2007. №3. С. 11–13.
5. Шелепина Н.В. Состояние и перспективы комплексной промышленной переработки зерна гороха // Вестник ОрелГИЭТ. 2018. № 2 (44). С. 16–20.
6. Amarakoon D., Mcphee K., Thavarajah P. Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition // Journal of Food Composition and Analysis. 2012. Vol. 27(1), P. 8–13.
7. Cazzola F., Bermejo C.J., Guindon M.F., Cointy E. Speed breeding in pea (*Pisum sativum* L.), an efficient and simple system to accelerate breeding programs // Euphytica. 2020. Vol. 216, P. 178. DOI: 10.1007/s10681-020-02715
8. Chen B., Shi Y., Sun Y., Lu L., Wang L., Liu Z., Cheng S. Innovations in functional genomics and molecular breeding of pea: exploring advances and opportunities // aBIOTECH. 2024. Vol. 5, P. 71–93. DOI: 10.1007/s42994-023-00129-1
9. Cheng P., Holdsworth W., Ma Y., Coyne C., Mazourek M., Grusak M., Fuchs S., Mcgee R. Association Mapping of Agronomic and Quality Traits in USDA Pea Single-Plant Collection. Molecular Breeding. 2015. Vol. 35(2), P. 75.
10. Devi J., Sagar V., Mishra G.P., Jha P.K., Gupta N., Dubey R.K., Singh P.M., Behera T.K., Prasad P.V.V. Heat stress tolerance in peas (*Pisum sativum* L.): Current status and way forward // Frontier in Plant Science. 2023. Vol. 13: 1108276. DOI: 10.3389/fpls.2022.1108276
11. Espósito M.A., García A.N., Guindón F., Cazzola F., Bermejo C., Gatti I. Objectives and modern techniques in pea (*Pisum sativum* L.) breeding in Argentina: A review // Revista de Investigaciones Agropecuarias. 2023. Vol. 49, No. 3. P. 119-127. DOI: 10.58149/3d1f-3n65
12. Franguelli N., Cavalli D., Notario T., Pecetti L., Annicchiarico P. Frost tolerance improvement in pea and white lupin by a highthroughput phenotyping platform // Front Plant Sci. 2024. Vol. 15: 1490577. DOI: 10.3389/fpls.2024.1490577
13. Hardie D.C., Baker G.J., Marshall D.R. Field screening of *Pisum* accessions to evaluate their susceptibility to the pea weevil (Coleoptera: Bruchidae). Euphytica. 1995. Vol. 84, P.155–161.
14. Jha A.B., Arganosa G., Tar'an B., Diederichsen A., Warkentin T.D. Characterization of 169 diverse pea germplasm accessions for agronomic performance, mycosphaerella blight resistance and nutritional profile // Genetic Resources and Crop Evolution. 2013. Vol. 60, P. 747–761. DOI: 10.1007/s10722-012-9871-1
15. Liu X., Glahn R., Arganosa G., Warkentin T.D. Iron Bioavailability in Low Phytate Pea. Crop Science. 2015. Vol. 55(1). P. 320–330.
16. Ludvíková M., Griga M. Pea transformation: History, current status and challenges // CAAS Agricultural Journals. 2022. Vol. 58(3). P. 127-161. DOI: 10.17221/24/2022-CJGPB
17. Niels L., Reif J.C., Otto L., Mirdita V., Oppermann M., Lohwasser U., Kotter M., Weise S., El Hanafi S. Harnessing historical genebank data to accelerate pea breeding // Theoretical and Applied Genetics. 2025. Vol. 138, P. 243. DOI: 10.1007/s00122-025-05032-5
18. Pandey A.K., Rubiales D., Wang Y., Fang P., Sun T., Liu N., Xu P. Omics resources and omics-enabled approaches for achieving high productivity and improved quality in pea (*Pisum sativum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134, P. 755-776. DOI: 10.1007/s00122-020-03751-5
19. Tayeh N., Aubert G., Pilet-Nayel M.L., Lejeune-Hénaut I., Warkentin T.D., Burstin J. Genomic Tools in Pea Breeding Programs: Status and Perspectives. Front. Plant Sci. 2015. Vol. 6:1037. DOI: 10.3389/fpls.2015.01037
20. Yang X., Gou Z., Zhu Z. et al. Breeding and evaluation of a new-bred semi-leafless pea (*Pisum sativum* L.) cultivar Longwan No. 6 // Agronomy. 2022. Vol. 12:850. DOI: 10.3390/agronomy12040850

References

1. Goncharov S.V., Korobova N.A. Perspektivnye napravleniya seleksii gorokha [Promising directions in pea breeding] // Agrarnyi nauchnyi zhurnal. 2022. № 9. С. 13–17.
2. Gudkova G.N., Druzhinina V.S. Morfologo-anatomicheskoe stroenie semyanozhki osypayushchikhsya i neosypayushchikhsya sortov gorokha [Morphological and anatomical structure of the seed stalk of shattering and non-shattering pea varieties] // Vestnik Adygeiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki. 2011. Vypusk 2. S. 35–39.
3. Kondykov I.V. Osnovnye dostizheniya i priority v seleksii gorokha [Major achievements and priorities in pea breeding] // Zernobobovye i krupyanye kul'tury». 2012. № 1. С. 37–46.
4. Fadeeva A.N. Seleksiya gorokha na ustoychivost' k boleznyam [Pea breeding for disease resistance]// Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2007. №3. С. 11–13.
5. Shelepina N.V. Sostoyanie i perspektivy kompleksnoi promyshlennoi pererabotki zerna gorokha [State and prospects of integrated industrial processing of pea seeds] // Vestnik OrelGIET. 2018. № 2 (44). С. 16–20.

6. Amarakoon D., Mcphee K., Thavarajah P. Iron-, zinc-, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition // Journal of Food Composition and Analysis. 2012. Vol. 27(1), P. 8–13.
7. Cazzola F., Bermejo C.J., Guindon M.F., Cointy E. Speed breeding in pea (*Pisum sativum* L.), an efficient and simple system to accelerate breeding programs // Euphytica. 2020. Vol. 216, P. 178. DOI: 10.1007/s10681-020-02715
8. Chen B., Shi Y., Sun Y., Lu L., Wang L., Liu Z., Cheng S. Innovations in functional genomics and molecular breeding of pea: exploring advances and opportunities // aBIOTECH. 2024. Vol. 5, P. 71–93. DOI: 10.1007/s42994-023-00129-1
9. Cheng P., Holdsworth W., Ma Y., Coyne C., Mazourek M., Grusak M., Fuchs S., Mcgee R. Association Mapping of Agronomic and Quality Traits in USDA Pea Single-Plant Collection. Molecular Breeding. 2015. Vol. 35(2), P. 75.
10. Devi J., Sagar V., Mishra G.P., Jha P.K., Gupta N., Dubey R.K., Singh P.M., Behera T.K., Prasad P.V.V. Heat stress tolerance in peas (*Pisum sativum* L.): Current status and way forward // Frontier in Plant Science. 2023. Vol. 13: 1108276. DOI: 10.3389/fpls.2022.1108276
11. Espósito M.A., García A.N., Guindón F., Cazzola F., Bermejo C., Gatti I. Objectives and modern techniques in pea (*Pisum sativum* L.) breeding in Argentina: A review // Revista de Investigaciones Agropecuarias. 2023. Vol. 49, No. 3. P. 119-127. DOI: 10.58149/3d1f-3n65
12. Franguelli N., Cavalli D., Notario T., Pecetti L., Annicchiarico P. Frost tolerance improvement in pea and white lupin by a highthroughput phenotyping platform // Front Plant Sci. 2024. Vol. 15: 1490577. DOI: 10.3389/fpls.2024.1490577
13. Hardie D.C., Baker G.J., Marshall D.R. Field screening of *Pisum* accessions to evaluate their susceptibility to the pea weevil (Coleoptera: Bruchidae). Euphytica. 1995. Vol. 84, P.155–161.
14. Jha A.B., Arganosa G., Tar'an B., Diederichsen A., Warkentin T.D. Characterization of 169 diverse pea germplasm accessions for agronomic performance, mycosphaerella blight resistance and nutritional profile // Genetic Resources and Crop Evolution. 2013. Vol. 60, P. 747–761. DOI: 10.1007/s10722-012-9871-1
15. Liu X., Glahn R., Arganosa G., Warkentin T.D. Iron Bioavailability in Low Phytate Pea. Crop Science. 2015. Vol. 55(1). P. 320–330.
16. Ludvíková M., Griga M. Pea transformation: History, current status and challenges // CAAS Agricultural Journals. 2022. Vol. 58(3). P. 127-161. DOI: 10.17221/24/2022-CJGPB
17. Niels L., Reif J.C., Otto L., Mirdita V., Oppermann M., Lohwasser U., Kotter M., Weise S., El Hanafi S. Harnessing historical genebank data to accelerate pea breeding // Theoretical and Applied Genetics. 2025. Vol. 138, P. 243. DOI: 10.1007/s00122-025-05032-5
18. Pandey A.K., Rubiales D., Wang Y., Fang P., Sun T., Liu N., Xu P. Omics resources and omics-enabled approaches for achieving high productivity and improved quality in pea (*Pisum sativum* L.) // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134, P. 755-776. DOI: 10.1007/s00122-020-03751-5
19. Tayeh N., Aubert G., Pilet-Nayel M.L., Lejeune-Hénaut I., Warkentin T.D., Burstin J. Genomic Tools in Pea Breeding Programs: Status and Perspectives. Front. Plant Sci. 2015. Vol. 6:1037. DOI: 10.3389/fpls.2015.01037
20. Yang X., Gou Z., Zhu Z. et al. Breeding and evaluation of a new-bred semi-leafless pea (*Pisum sativum* L.) cultivar Longwan No. 6 // Agronomy. 2022. Vol. 12:850. DOI: 10.3390/agronomy12040850

Поступила: 13.04.26; доработана после рецензирования: 15.05.26; принята к публикации: 20.05.26.

Критерии авторства. Авторы подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Ковтунов В.В. – постановка цели, концептуализация исследования, подготовка рукописи; Брагинец С.В. – концептуализация исследования, анализ литературных источников; Хабибуллин К.Н. – подготовка рукописи; Беланова О.А. – поиск литературных источников в базах данных; Никитенко М.В. – поиск литературных источников в базах данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.