

ГЕНЕТИКА КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ДИКИХ РОДИЧЕЙ

Научная статья

УДК 634.511:575.21;575.22

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-158-169



Оценка сроков распускания почек у сортов и селекционных форм ореха грецкого из генофонда Краснодарского края и валидация SSR-маркеров QTL данного признака

И. И. Супрун¹, Е. А. Аль-Накиб¹, И. В. Степанов¹, Е. В. Лободина¹, С. Н. Щеглов²¹ Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия² Кубанский государственный университет, Краснодар, РоссияАвтор, ответственный за переписку: Иван Иванович Супрун, supruni@mail.ru

Актуальность. Орех грецкий (*Juglans regia* L.) – самый распространенный вид рода *Juglans* L. Поздневесенние заморозки могут значительно снизить урожайность сортов. Создание сортов, вступающих в вегетацию позднее, позволяет избежать гибели молодых почек. Ранее были выявлены SSR-маркеры JRHR209732 и CUJRBO12, сцепленные с QTL признака «срок распускания почек». Целью нашей работы являлась оценка сроков наступления фенологической фазы «распускание почек» у сортов отечественной селекции и элитных форм генофонда Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ), а также апробация и валидация маркеров JRHR209732 и CUJRBO12, сцепленных с локусом, контролирующим данный признак, на образцах с относительно небольшой разницей в сроках распускания почек.

Материалы и методы. Объекты исследования – 32 элитные формы из генофонда СКФНЦСВВ и три сорта отечественной селекции, а также два сорта зарубежной селекции. Фенологическая оценка сроков распускания почек осуществлялась в течение трех лет (2022–2024). Генотипирование образцов проводили с помощью SSR-маркеров JRHR209732 и CUJRBO12. Анализ размеров ПЦР-продуктов аллелей целевых маркеров выполняли на генетическом анализаторе «НАНОФОР 05».

Результаты. По результатам фенологической оценки выявлены образцы, вступающие в вегетацию наиболее поздно по трем годам наблюдений, – 17-5-5, 'Овен'. Восемь образцов отнесены к группе поздних в двух сезонах наблюдений – они также представляют ценность для селекции. Доказано, что в 2023 и 2024 г. распускание почек наступало раньше, чем в 2022 г. Влияние среднемесячной температуры марта играет решающую роль во вступлении в фазу начала распускания почек. Сопоставление данных по SSR-генотипированию и результатов фенологической оценки позволило достоверно установить аллельные варианты маркеров JRHR20973 и CUJRBO12, характерные для образцов с ранним и поздним сроком распускания почек у образцов, представляющих генофонд юга России.

Ключевые слова: *Juglans regia*, селекция, фенология, маркеры ДНК, генетическое разнообразие, позднее распускание почек

Благодарности: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда и Кубанского научного фонда № 22-16-20061, (<https://rscf.ru/project/22-16-20061/>)

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

Для цитирования: Супрун И.И., Аль-Накиб Е.А., Степанов И.В., Лободина Е.В., Щеглов С.Н. Оценка сроков распускания почек у сортов и селекционных форм ореха грецкого из генофонда Краснодарского края и валидация SSR-маркеров QTL данного признака. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(1):158-169. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-158-169

GENETICS OF CULTIVATED PLANTS AND THEIR WILD RELATIVES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-158-169

Evaluation of the budbreak timing in walnut cultivars and breeding forms among the Kuban germplasm, and validation of the trait-related SSR-markersIvan I. Suprun¹, Ekaterina A. Al-Nakib¹, Ilya V. Stepanov¹, Elena V. Lobodina¹, Sergey N. Shcheglov²¹ North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Krasnodar, Russia² Kuban State University, Krasnodar, Russia**Corresponding author:** Ivan I. Suprun, supruni@mail.ru

Background. Walnut (*Juglans regia* L.) is the most widespread species within the genus *Juglans*. Late spring frosts can significantly reduce its yield. Development of cultivars that enter the growing season later helps to avoid the death of young buds. Earlier, during genetic studies, the SSR markers JRHR209732 and CUJRBO12 linked to the QTL of the “bud bursting time” character were identified. The objective of this study was to assess the budbreak timing in domestic cultivars and elite forms from the Krasnodar gene pool, as well as to test and validate the markers JRHR209732 and CUJRBO12 linked to the locus controlling late bud bursting in walnut genotypes with relatively small differences in budbreak timing.

Materials and methods. The material of the study included 32 elite breeding forms from the local gene pool, 3 domestic cultivars, and 2 cultivars of foreign origin. Phenological assessment of the budbreak time was carried out for three years (2022–2024). Genotyping of 35 accessions was performed using the SSR markers JRHR209732 and CUJRBO12. The sizes of PCR products of target marker alleles were assessed on a NANOPHOR 05 genetic analyzer.

Results. Phenological assessment helped to identify accessions 17-5-5 and ‘Oven’ with the latest start of the growing season in three years of observations. Eight genotypes were classified as late in two seasons – they are also valuable for breeding. In 2023 and 2024, the budbreak was observed to occur earlier than in 2022. The effect of the mean monthly temperature in March played a decisive role in entering the phase when the budbreak started. Comparison of the SSR genotyping data with the results of the phenological assessment made it possible to reliably validate the allelic variants of the JRHR20973 and CUJRBO12 markers, characteristic of the accessions with early and late budbreaks among the walnut gene pool maintained in southern Russia.

Keywords: *Juglans regia*, breeding, phenology, DNA markers, genetic diversity, late bud bursting

Acknowledgements: the research was funded from a grant of the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation (No. 22-16-20061, <https://rscf.ru/project/22-16-20061/>).

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

For citation: Suprun I. I., Al-Nakib E.A., Stepanov I.V., Lobodina E.V., Shcheglov S.N. Evaluation of the budbreak timing in walnut cultivars and breeding forms among the Kuban germplasm, and validation of the trait-related SSR-markers. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(1):158-169. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-158-169

Введение

Орех грецкий (*Juglans regia* L.) – широко распространенный вид рода *Juglans* L. Возделывание ореха грецкого развито по всему миру в регионах с умеренным климатом (США, Китай, Иран, Турция, Франция и т. д.). Изучение фенологических фаз развития ореха грецкого является неотъемлемой частью селекции и сортоизучения данной культуры. Изменения сроков прохождения фенологических фаз развития зависят от условий окружающей среды и флуктуаций климата (Chmielewski, Rötzer, 2001). Поздневесенние заморозки являются одним из основных лимитирующих факторов развития ореха грецкого, отрицательно влияющих на урожайность сортов (Soveili, Khadivi, 2023). Начало вегетации ореха грецкого должно протекать позднее, чем наступают возможные весенние заморозки (Kramer et al., 2017). Создание сортов с более поздними сроками начала вегетации имеет большое значение для решения вопроса, связанного с негативными последствиями поздневесенних заморозков.

Актуальность исследований по поиску форм ореха грецкого с поздним распусканием почек подтверждается количеством работ, проводимых селекционерами по всему миру. Работы по выявлению генотипов ореха грецкого с поздним распусканием почек ведутся в странах, где производство ореха грецкого ограничено погодными условиями весной. Так, к примеру, в Турции проводились исследования по отбору новых перспективных форм с комплексом таких ценных признаков, как позднее распускание почек, латеральное плодоношение, а также устойчивость к патогенам среди деревьев местных популяций (Акса, Ozongun, 2004). Иранскими исследователями проведена масштабная селекционная работа по скрещиванию сортов 'Персия', 'Каспиан', 'Чандлер', 'Педро' с сортами 'Франкетт', 'Лара'. При этом формы с наиболее поздним распусканием листьев получены при использовании в качестве родительской формы сорта 'Франкетт' (Fallah et al., 2022). Другая группа ученых из Ирана отобрала в местных популяциях 16 поздно распускающихся образцов, обладающих комплексом хозяйственно ценных характеристик (Kavosi, Khadivi, 2021). Проводились также работы по отбору форм, устойчивых к весенним заморозкам (Khadivi et al., 2019). Также в Иране, при проведении масштабного селекционного проекта, по результатам оценки четырех тысяч сеянцев, имеющих комплекс ценных признаков, выявили 61 образец с ультрапоздним распусканием почек (Soveili, Khadivi, 2023).

Наряду с фенотипической оценкой, важную роль в решении селекционных задач могут играть молекулярно-генетические маркеры. Существует множество направлений использования молекулярных маркеров для ореха грецкого. Это идентификация сортов (Dangl et al., 2005; Chen et al., 2014; Doğan et al., 2014), изучение гетерозиса (Emilia et al., 1997; Baby et al., 2023), оценка генетического разнообразия (Bernard et al., 2018; Magige et al., 2022; Tenche-Constantinescu et al., 2024). Немаловажную роль играют ДНК-маркеры и в выявлении генетических детерминант хозяйственно ценных признаков у ореха грецкого. Для признака «срок распускания почек» известно о наличии двух QTL, детерминирующих его. Один из них выявили на хромосоме 1, и на основе SNP, локализованного в области этого QTL, создали маркер с использованием технологии KASP (Marrano et al., 2019; Bernard et al. 2020). В другой работе, проведенной группой иссле-

дователей из Турции в 2019 г., выявили локусы (QTL), контролирующие сроки распускания листьев, наиболее важный из которых (до 60% фенотипического варьирования) картирован на четвертой группе сцепления. При этом идентифицировали два SSR-маркера, JRHR209732 и CUJRB012, сцепленные с данным локусом (Kefayati et al., 2019). Наличие данных SSR-маркеров позволяет одновременно проводить анализ аллельных вариантов QTL и получать данные для SSR-фингерпринтинга образцов и анализа генетических взаимосвязей. Эффективность данных маркеров впоследствии проверили на выборке из 86 образцов, представляющих генофонд Ирана, а также на некоторых сортах селекции США и Франции. Однако необходимо отметить, что выборка была представлена в значительной части ультраконтрастными образцами по целевому признаку – около 20 дней разницы в сроках наступления фазы распускания листьев (Fallah et al., 2024). Информативность маркеров JRHR209732 и CUJRB012 применительно к образцам, имеющим различия по срокам распускания листьев в пределах 7–15 дней, не изучалась.

Очевидная селекционная важность признака распускания почек, а также недостаточность научной информации об информативности SSR-маркеров, сцепленных с QTL, участвующим в его контроле, обусловили актуальность нашей работы. Целью исследования являлась оценка фенотипического варьирования по данному признаку у сортов и элитных форм ореха грецкого из коллекции генофонда Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ) и валидация маркеров JRHR209732 и CUJRB012 на генплазме юга России.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись 32 элитные формы и три сорта отечественной селекции из коллекции генетических ресурсов СКФНЦСВВ 'Урожайный', 'Родина', 'Овен', а также два сорта зарубежной селекции – 'Фернор' и 'Чандлер'. Фенологическая фаза развития «дата распускания почек» фиксировалась на протяжении трех лет (2022–2024 г.) в коллекционном насаждении СКФНЦСВВ (1990 и 2001 г. посадки) согласно методикам «Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве» (Eremin et al., 2012) и «Программа и методики сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур» (Sedov, Ogoltsova, 1999). Учеты проводили ежегодно с интервалом 2–3 дня в период с 20 марта. Датой распускания почек, согласно принятым методикам (UPOV Guidelines for..., 1989; Eremin et al., 2012), считался день, когда 50% почек достигли порога распускания.

Для проведения молекулярно-генетических исследований выделяли ДНК из листьев исследуемых образцов модифицированным ЦТАБ-методом (Rogers, Bendich, 1985). Генотипирование проводили с помощью SSR-маркеров JRHR209732 (F: 5'TGTTTCAGATCGATTAGGAG3'; R: 5'CCTCTTTCTTTAGATGCTTGTGG3') и CUJRB012 (F: 5'ACTCATCAAGATCCCCGACTAC3'; R: 5'CCACATCGTCTGGGTT CAT3') (Kefayati et al., 2019). Прямой праймер каждого из SSR-маркеров имел флуоресцентную метку: ROX (JRHR209732); TAMRA (CUJRB012).

ПЦР проводили при следующих условиях: концентрация реактивов ПЦР смеси – буфер 1X, dNTP – 0,24 mM, Taq 1U, SSR-праймеры (прямой и обратный) – 0,16 мкМ каждого, 2,5 mM MgCl₂, тотальная ДНК – 40 нг. Темпера-

турные режимы ПЦР: 3 минуты начальной денатурации при 94°C; 35 циклов: 20 секунд денатурация при 94°C, 30 секунд отжиг праймеров при 58°C, 40 секунд элонгации при 72°C; заключительная элонгация – 10 минут при 72°C. Анализ размеров амплифицированных фрагментов проводили на автоматическом генетическом анализаторе «НАНОФОР 05». Обработку данных осуществляли в программе GeneMarker V3.0.1. В макросе Microsoft Excel GenAlEx 6.503 рассчитывались следующие генетические параметры: Na – число аллелей, Ne – эффективное число аллелей, I – индекс разнообразия Шеннона, No – наблюдаемая гетерозиготность, He – ожидаемая гетерозиготность (Peakall, Smouse, 2012).

Метеорологические данные получены из ежедекадных агрометеорологических бюллетеней по Краснодарскому краю Краснодарского краевого центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Для удобства расчета данных по срокам распускания почек выполнили перевод календарных дат в непрерывный ряд, начинающийся с первого марта (в днях) (Zaitsev, 1990). Оценка достоверности отличий по признаку «срок распускания почек» между тремя годами наблюдений выполнена с использованием t-критерия Стьюдента. Влияние условий года на вариативность дат распускания почек и уровень дисперсии признака по годам определены на основании результатов дисперсионного анализа. Для доказательства взаимосвязи групп генотипов по локусам JRHR209732 и CUJRBO12 с данными фенологической оценки использовались t-критерий Стьюдента и дисперсионный анализ (Lakin, 1990). Расчет t-критерия Стьюдента и дисперсионный анализ выполняли в программе STATISTICA 6.0. (Khalafyan, 2005, 2008).

Результаты и обсуждение

В связи с поставленной задачей осуществлялась оценка признака «срок распускания почек» у элитных форм и сортов ореха грецкого. Для каждого образца оценивалась средняя доля распутившихся верхушечных и боковых почек. Дата начала распускания почек у изучаемых

форм и сортов ореха грецкого приходилась на третью декаду марта – первую декаду апреля (рис. 1). Было установлено, что дата начала распускания почек протекала у разных форм в 2022 г. от 29 марта (17-1-14) до 11 апреля (Тимур, 'Овен'), в 2023 г. от 23 марта (Командор, 17-1-7) до 7 апреля (Конкистадор), в 2024 г. от 26 марта (17-2-1, 17-2-10) до 2 апреля (17-2-23, Дар Кубани, Тимур, 'Овен', Сатурн) (см. рис. 1).

Сорта зарубежной селекции 'Чандлер' и 'Фернор' известны как поздно вегетирующие (Bernard et al., 2018), что согласуется с нашими наблюдениями. Оценка сроков распускания почек данных сортов, обладающих ультрапоздним сроком распускания почек (рис. 2), проводилась в связи с тем, что они были использованы в качестве контрольных образцов при валидации маркеров JRHR209732 и CUJRBO12. Сроки распускания почек у сорта 'Чандлер' – 17 апреля в 2022 г., 15 апреля в 2023 г. и 19 апреля в 2024 г., а у сорта 'Фернор' – 23, 18 и 20 апреля соответственно (см. рис. 2). Как видно, 'Чандлер' и 'Фернор' значительно позже вступают в вегетацию по сравнению с изучаемыми элитными формами и сортами отечественной селекции. Разница в датах начала распускания почек этих сортов может достигать 15 дней по сравнению с изученными нами отечественными образцами.

В 2023 г. начало распускания почек у всех образцов наступало раньше на 2–13 дней относительно 2022 г., в 2024 г. у 29,7% форм отмечалось начало наступления распускания почек на 1–9 дней раньше по сравнению с 2023 г. Стоит отметить, что у шести образцов (17-2-16, 17-4-18, Стимул, Тимур, Конкистадор, Аврора-2) не отмечено сдвигов в дате распускания почек, в то время как остальные формы характеризовались началом распускания на 1–7 дней позже. По сравнению с 2022 г., в 2024 г. все формы вступали в вегетацию на 1–10 дней раньше. Самыми поздними сроками (от 8 апреля до 11 апреля) начала вегетации в 2022 г. характеризовались формы 17-5-5, 17-2-17, 17-2-16, 17-3-15, 17-2-23, Стимул, Дар Кубани, Тимур и сорт 'Овен'); в 2023 г. (от 4 апреля до 7 апреля) – Сатурн, Конкистадор, Теркин, Венгерский-5, 17-3-

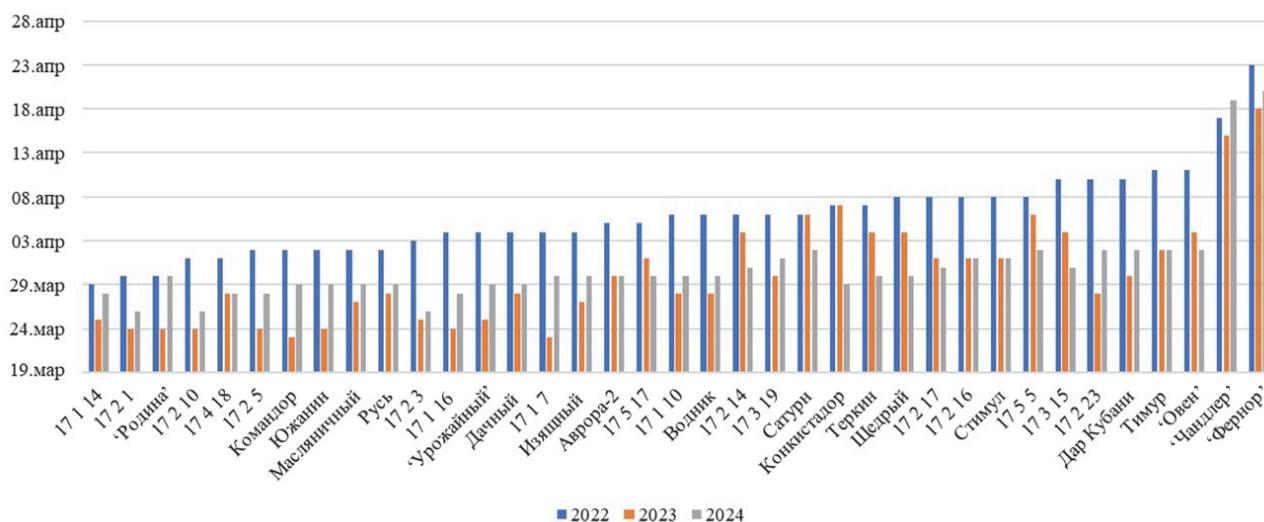


Рис. 1. Дата начала фазы распускания почек исследуемых образцов ореха грецкого в 2022–2024 гг. (коллекционное насаждение Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар)

Fig. 1. Budbreak starting dates for the studied walnut accessions in 2022–2024 (collection orchard of the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Krasnodar)



Рис. 2. Разница в сроках наступления фенофазы развития «распускание почек» у различных образцов ореха грецкого (28.03.2023; коллекционное насаждение Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар)

Fig. 2. Differences in the budbreak timing among different walnut accessions (March 28 2023; collection orchard of the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Krasnodar)

15, 17-5-5, 17-2-14 и сорт 'Овен'; в 2024 г. позднее остальных образцов вступили в вегетацию (1–2 апреля) 17-5-5, Сатурн, Тимур, Дар Кубани, 17-2-23, 17-2-16, Стимул, 17-3-19 и сорт 'Овен'. Выявлены образцы с более поздним сроком распускания почек на протяжении трех лет исследований по сравнению с другими – 17-5-5 и сорт 'Овен'. Данные образцы представляют существенный интерес для селекции как источники признака более позднего распускания почек. Несмотря на более ранние сроки распускания почек в сравнении с сортами 'Чандлер' и 'Фернор', они представляют местный генофонд, более адаптированный к агроклиматическим условиям региона. Одним из наиболее важных лимитирующих факторов для таких сортов, как 'Чандлер' (США, Калифорния) и 'Фернор' (Франция), являются низкие зимние температуры от $-22...-23^{\circ}\text{C}$ и ниже, при которых может наблюдаться повреждение не только плодовых почек, но и однолетних приростов. Кроме того, селекционную ценность по данному признаку представляют образцы Теркин, Щедрый, Конкистадор, Сатурн, Тимур, Дар Кубани, 17-2-14 и 17-3-15. Их отнесли к группе более поздних в двух годах наблюдений.

Известно, что температурные условия ранневесеннего периода являются одним из ключевых факторов, влияющим на распускание почек (Štepiňšek et al., 2009; Soleimani et al., 2019). Мы провели сопоставление показателей среднемесячной температуры в марте в годы наблюдений. Среднемесячная температура марта в 2023 г. составила $8,8^{\circ}\text{C}$, что на $5,9^{\circ}\text{C}$ выше, чем в 2022 г. ($2,9^{\circ}\text{C}$). Это могло привести к более раннему вступлению в вегетацию изучаемых образцов в 2023 г. по сравнению с 2022 г. Средняя температура марта в 2024 г. составила $7,5^{\circ}\text{C}$ (разница с 2023 г. – $1,3^{\circ}\text{C}$). Очевидно, что наиболее

существенные различия в сроках распускания почек 2022 г. от 2023 и 2024 г. можно объяснить более значительными различиями температурных условий марта. Для анализа статистической достоверности отличий по исследуемому признаку в ряду лет использовали t-критерий Стьюдента. Установлены статистически значимые различия между 2022 и 2023 г. ($36,03$ и $29,31$ дней, $t = 6,84$ при $p < 0,01$) и между 2022 и 2024 г. ($36,03$ и $30,00$ дней, $t = 8,89$ при $p < 0,01$). Статистически значимых различий между 2023 г. ($29,31$ дней) и 2024 г. ($30,00$ дней) не выявлено.

Также выполнена классификация форм по реакции на условия года в соответствии с изменением даты распускания почек. Выявлено четыре типа такой реакции: сократилось и затем возросло (21 форма – Изящный, Масленичный, 17-1-7, 17-1-10, 17-1-14, 17-1-16, 17-2-5, 17-2-1, 17-2-3, 17-2-10, 17-2-23, 17-3-19, Стимул, 'Урожайный', Дар Кубани, Командор, Водник, Русь, Южанин, 'Родина', Дачный); сокращалось каждый год (8 форм – 17-2-17, 17-2-14, 17-3-15, 17-5-17, 17-5-5, Теркин, Венгерский-5, 'Овен'); сократилось и не изменялось (4 формы – 17-2-16, 17-4-18, Тимур, Аврора-2); не изменялось и затем сократилось (2 формы – Сатурн и Конкистадор).

Учитывая выявленные достоверные отличия по целевому признаку в 2022 г. от 2023 и 2024 г., мы также провели количественную оценку влияния условий года на вариативность дат распускания почек с помощью дисперсионного анализа (табл. 1) и оценку уровня дисперсии признака по годам.

Из таблицы 1 видно, что влияние условий года на распускание почек составляет $51,4\%$. Проведенный анализ уровня дисперсии внутри выборки по годам позволил оценить степень изменчивости дат распускания почек

Таблица 1. Количественная оценка влияния условий года на распускание почек у образцов ореха грецкого в период 2022–2024 гг. (коллекционное насаждение Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар)

Table 1. Quantitative assessment of the effect of the year's conditions on the budbreak in walnut accessions in 2022–2024 (collection orchard of the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, Krasnodar)

Изменчивость	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера	Дисперсия	Доля влияния, %
Между годами	2	477,72	37,9**	13,29	51,4
Остаточная	102	12,59	–	12,59	48,6

Примечание: ** – значимость на уровне $\alpha = 0,05$

Note: ** – statistical significance at the level of $\alpha = 0.05$

по каждому году. Значения дисперсии равны 11,98, 21,69, 4,12 в 2022, 2023, 2024 г. соответственно. Таким образом, можно сделать вывод о том, что разброс значений этого показателя вырос в 2 раза в 2023 г. по сравнению с 2022 г., а затем уменьшился в 5 раз в 2024 г. по сравнению с 2023 г. Это может быть связано со значительным варьированием среднемесячной температуры в феврале – марте в 2023 г. (рис. 3). Дисперсия в 2023 г. выросла за счет генотип-специфичной реакции части изучаемых образцов на погодные условия, сложившиеся в поздн-зимний – ранневесенний период.

Среднемесячная температура февраля была 1,3°C, при этом в марте этот показатель составил 8,8°C. Как видно из рисунка, разница температур февраля и марта максимальная в 2023 г. и равна 7,5°C, что в 2,5 и 5,3 раза больше разницы температур марта и февраля в 2022 г. и в 2024 г. соответственно. Таким образом, наиболее выраженные флуктуации по показателям температуры в феврале – марте 2023 г. привели к повышению гетерогенности по типу фенотипической реакции среди изученной выборки. Учитывая вероятный полигенный характер изучаемого признака, можно сделать предположение об изменении вклада различных генетических детерминант у части образцов на фоне более выраженных

различий среднемесячной температуры февраля по отношению к марту в 2023 г.

Учитывая селекционную важность искомого признака ореха грецкого и имеющуюся научную информацию об SSR-маркерах, сцепленных с QTL, участвующим в его контроле, мы выполнили апробацию и валидацию данных ДНК-маркеров на изученной выборке образцов ореха грецкого.

По результатам SSR-анализа экспериментальной выборки, включая два сорта с ультрапоздними сроками распускания почек ('Чандлер' и 'Фернор'), получены ДНК-фингерпринты по двум маркерам для всех образцов. Суммарно выявили 18 генотипов (табл. 2). При этом восемь образцов имели специфичный SSR-профиль. Суммарно по локусу CUJRBO12 определено четыре аллеля, а в локусе JRHR209732 – шесть аллелей.

На первом этапе работы в целях проверки перспективности использования маркеров CUJRBO12 и JRHR209732 для анализа генетического разнообразия подсчитали ряд показателей, характеризующих полиморфизм и информативность маркеров (табл. 3).

Сравнительный анализ исследований генетического разнообразия ореха грецкого, выполненный на генплемне из различных регионов мира с данными об уровне по-

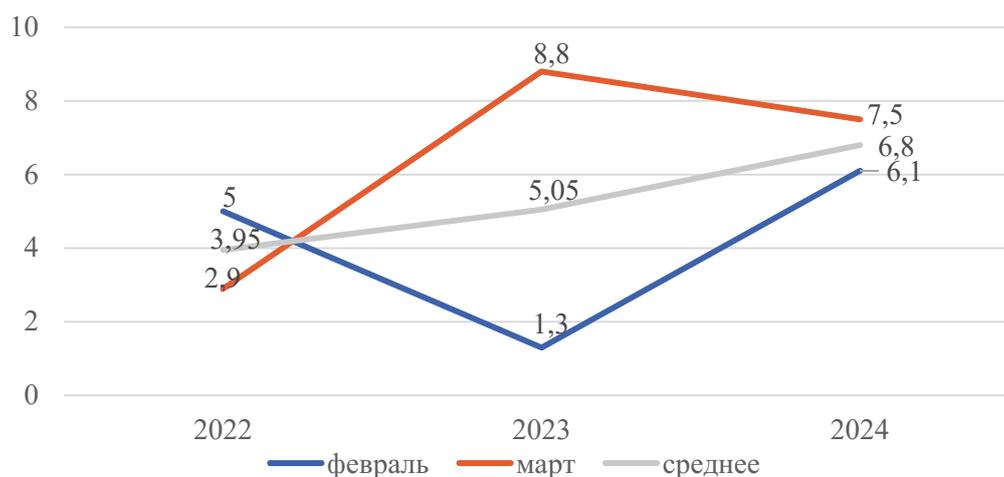


Рис. 3. Среднемесячная температура в феврале – марте 2022–2024 гг.

(территория локализации коллекционного насаждения Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар)

Fig. 3. Mean monthly temperatures for February–March in 2022–2024

(for the area where the collection orchard of the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making is situated, Krasnodar)

Таблица 2. Аллели SSR-локусов, ассоциированных с признаком позднего распускания почек у изученных образцов ореха грецкого**Table 2. Alleles of the SSR loci associated with the budbreak trait of the studied walnut accessions**

Генотип		Сорт/элитная форма
CUJRBO12	JRHR209732	
90:90	267:272	‘Родина’
90:90	256:256	Дачный
90:90	260:264	Южанин
90:90	256:272	Масленичный
90:94	256:264	17-1-10
90:94	259:259	Командор
90:94	264:264	Русь
94:94	264:264	Водник
90:103	256:272	17-1-14, 17-1-16, 17-2-3
90:103	256:259	‘Чандлер’, ‘Фернор’*
90:105	256:272	17-2-1, 17-2-10
103:103	256:256	Изящный, 17-1-7, ‘Урожайный’
103:105	256:256	17-1-11, 17-4-18, 17-5-10, Конкистадор, Аврора-2, Теркин, Венгерский-5
103:105	256:264	17-2-5, 17-2-23, 17-3-19, 17-5-17,
105:105	256:256	17-2-19, 17-2-14, 17-2-16, 17-3-15, Стимул,
105:105	256:264	17-2-17, 17-5-5, Сатурн, Дар Кубани, Щедрый, ‘Овен’, Тимур

Примечание: * – сочетание аллелей 103 пн по SSR-маркеру CUJRBO12 и 259 пн по SSR-маркеру JRHR209732 характеризуют сорта с ультрапоздним сроком распускания почек

Note: * – combinations of 103 bp alleles for the SSR marker CUJRBO12 and 259 bp alleles for the SSR marker JRHR209732 characterize the accessions with an ultralate budbreak time

Таблица 3. Полиморфизм SSR-маркеров, использованных для генотипирования образцов ореха грецкого
Table 3. Polymorphism of the SSR markers used for walnut genotyping

Locus	Na	Ne	I	Ho	He
CUJRBO12	4,000	3,202	1,244	0,514	0,688
JRHR209732	6,000	2,332	1,131	0,568	0,571

Примечание: Na – число выявленных аллелей; Ne – число эффективных аллелей; I – индекс разнообразия; Ho – наблюдаемая гетерозиготность; He – ожидаемая гетерозиготность

Note: Na – number of identified alleles; Ne – number of effective alleles; I – diversity index; Ho – observed heterozygosity; He – expected heterozygosity

лиморфизма использованных нами SSR-маркеров, позволяет говорить о перспективности их использования для этих целей. К примеру, в работах с объемами выборок образцов 28 (Bozhuyuk et al., 2020); 36 (Najafi et al., 2014); 72 (Itou et al., 2023); 105 (Karimi et al., 2010) средний показатель числа аллелей на locus варьировал от 4,3 (Najafi et al., 2014) до 6,5 (Bozhuyuk et al., 2020). Это свидетельствует в пользу перспективности применения маркеров CUJRBO12 и JRHR209732 для оценки генетического разнообразия и SSR-фингерпринтинга сортов.

Анализируя аллельные варианты по целевым маркерам и фенотип изученных образцов по признаку «срок распускания почек», можно видеть, что сочетания алле-

ля 103 пн по локусу CUJRBO12 и аллеля 259 пн в локусе JRHR209732, характерные для сортов ‘Чандлер’ и ‘Фернор’, не выявлены у отечественных сортов и элитных форм с наиболее поздним сроком распускания почек. Наиболее вероятно, что данное аллельное сочетание специфично исключительно для сортов с наиболее поздним наступлением периода распускания почек, какими и являются сорта ‘Чандлер’ и ‘Фернор’. В выборке образцов российской селекции таких ультрапоздних сроков распускания почек нет, однако имеется ряд сортов и элитных форм с поздними сроками распускания почек. Можно сделать предположение, что исследуемый QTL отличается по аллельному составу у образцов с поздними

и ультрапоздними сроками распускания почек. Таким образом, вероятнее всего, аллельный вариант 103 пн в локусе CUJRB012 в сочетании с 259 пн по JRHR209732 можно использовать только для выявления образцов с ультрапоздними сроками распускания почек.

В связи с вышесказанным мы выполнили анализ взаимосвязи аллельных вариантов данных SSR-маркеров и фенотипической характеристики образцов ореха грецкого с относительно небольшой разницей в сроках распускания почек.

При сопоставлении данных генотипирования по локусу CUJRB012 и дат начала распускания почек установлены различия в среднем значении даты распускания почек для различных комбинаций аллелей 105 пн и 90 пн (рис. 4). Все образцы разделили на шесть групп: группа 1 – гомозиготы по аллелю 105 пн CUJRB012 (105:105); группа 2 – гетерозиготы с аллелем 105 CUJRB012 (105:-); группа 3 – генотипы, у которых отсутствовали аллели 105 пн и 90 пн (-:-); группа 4 – гетерозиготы с генотипом 105:90; группа 5 – гетерозиготы с аллелем 90 пн CUJRB012 (90:-); группа 6 – гомозиготы по аллелю 90 пн CUJRB012 (90:90).

Для образцов из групп, включающих генотипы с аллелем 105 пн (группы 1 и 2), в среднем были характерны более поздние сроки начала распускания почек по отношению к остальным образцам. В свою очередь, для образцов из групп, сформированных из генотипов с аллелем 90 пн (группы 5 и 6), в среднем наблюдались более ранние сроки начала распускания почек. Образцы, для которых не было выявлено аллелей 90 пн и 105 пн (группа 3), имели средние значения дат начала распускания почек. Два образца, сочетающие в генотипе аллели 90 пн и 105 пн, имели ранние сроки распускания почек.

Для подтверждения правомерности распределения образцов по указанным группам провели количественную оценку влияния выделенных групп на сроки начала распускания почек с помощью дисперсионного анализа (табл. 4).

Из таблицы 4 видно, что группы, выделенные по генотипу, оказывают довольно существенное влияние на сроки распускания почек в каждом из трех годов исследования (62,2–69,5%). Факт наличия изменчивости сроков распускания почек, обусловленный группами образ-

цов, выделенным по аллельным вариантам в локусе CUJRB012, дополнительно исследовали путем сравнения средних значений даты распускания почек с помощью t-критерия Стьюдента. Сравнивались каждая группа, выделенная по генотипу, со всеми остальными выделенными группами. В ходе анализа установлено, что достоверные отличия ($p < 0,05$) по срокам распускания почек по трем годам исследования характерны для первой группы CUJRB012 (105:105) и пятой группы CUJRB012 (90:-) (табл. 5).

Также при оценке связи сроков распускания почек у образцов с их генотипами по локусу JRHR209732 установили, что для всех выявленных гетерозигот с аллелем 272 пн характерны ранние сроки распускания. Сравнение данной группы образцов с другими генотипами по значению среднего значения сроков распускания почек с помощью t-критерия Стьюдента подтвердило достоверность ($p < 0,05$) выделения генотипов с аллелем 272 пн в отдельную группу (табл. 6).

Из таблицы 6 видно, что образцы с генотипом JRHR209732 (-:-) в среднем имеют более поздний срок начала распускания почек, чем образцы с генотипом JRHR209732 (272:-).

Таким образом, на выборке из 35 генотипов установлена достоверная взаимосвязь между аллелями 105 пн и 90 пн SSR-локуса CUJRB012, а также 272 пн локуса JRHR209732 с фенотипическим проявлением признака срока распускания почек. Это является дополнительным подтверждением имеющихся научных сведений о сцепленности данных SSR-локусов с QTL, детерминирующим искомым признаком, и выявленным S. Kefayati et al. (2019).

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать предварительный вывод о перспективности использования маркеров CUJRB012 и JRHR209732 при проведении скрининга генофонда с целью выявления образцов с более поздними сроками начала вегетации, что можно использовать для решения селекционных задач. Кроме того, полученные данные свидетельствуют в пользу наличия аллеля QTL, специфичного для образцов с поздними сроками распускания почек. Для подтверждения этого предположения необходимо выполнение исследования на расширенной выборке образцов.

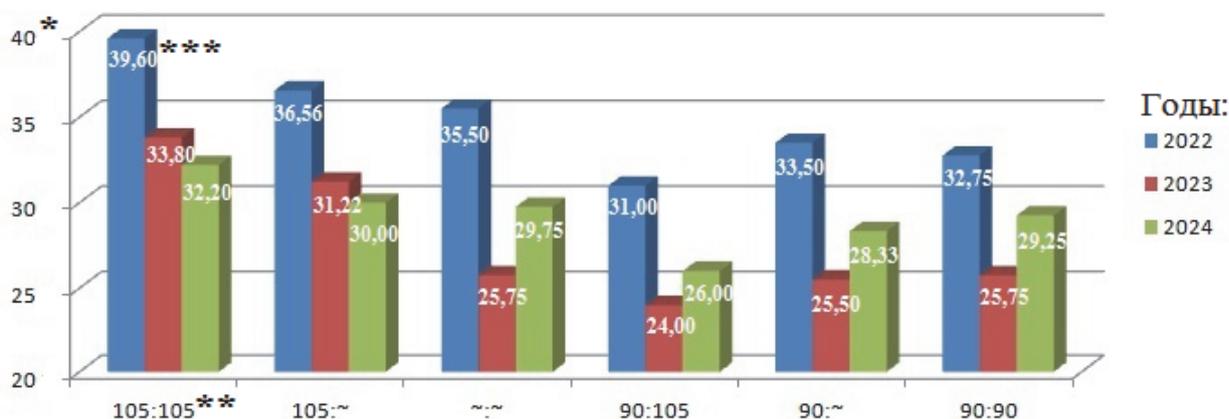


Рис. 4. Сроки распускания почек у образцов ореха грецкого с различными генотипами по локусу CUJRB012

(* – количество дней от 1 марта; ** – генотипы, выявленные для локуса CUJRB012; *** – среднее значение количества дней от 1 марта до начала распускания почек)

Fig. 4. Budbreak timing of walnut accessions with different genotypes for the CUJRB012 locus

(* – number of days from March 1; ** – genotypes identified for the CUJRB012 locus; *** – mean of the number of days from March 1 to budbreak)

Таблица 4. Результаты дисперсионного анализа дат начала распускания почек у шести выделенных групп образцов ореха грецкого по аллельным вариантам локуса CUJRBO12**Table 4.** Results of the analysis of variance for budbreak dates in the classified six groups of walnut accessions according to the allelic variants of the CUJRBO12 locus

Изменчивость	Степени свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера	Дисперсия	Доля влияния, %
Сроки начала распускания почек в 2022 г.					
Между группами	5	52,62	10,6	8,17	62,2
Остаточная	29	4,96	–	4,96	37,8
Сроки начала распускания почек в 2023 г.					
Между группами	5	95,88	10,7	14,91	62,6
Остаточная	29	8,90	–	8,90	37,4
Сроки начала распускания почек в 2024 г.					
Между группами	5	19,91	14,3	3,17	69,5
Остаточная	29	1,39	–	1,39	30,5

Таблица 5. Сравнение средних значений сроков распускания почек между группами 1 (CUJRBO12 105:105), 2 (CUJRBO12 90:-) и остальными образцами**Table 5.** Comparison of the mean budbreak time values between groups 1 (CUJRBO12 105:105) and 2 (CUJRBO12 90:-), and the other accessions

Признак	Первое среднее*	Второе среднее**	t-критерий
Группа 1 CUJRBO12 (105:105) – Остальные группы			
Сроки начала распускания почек в 2022 г.	39,60	34,60	5,08
Сроки начала распускания почек в 2023 г.	33,80	27,52	4,52
Сроки начала распускания почек в 2024 г.	32,20	29,12	5,56
Группа 5 CUJRBO12 (90:-) – Остальные группы			
Сроки начала распускания почек в 2022 г.	33,50	37,08	–2,05
Сроки начала распускания почек в 2023 г.	25,50	30,69	–2,35
Сроки начала распускания почек в 2024 г.	28,33	30,45	–2,35

Примечание: * – среднее количество дней от 1 марта до распускания почек у группы генотипов CUJRBO12 (105:105) и CUJRBO12 (90:-); ** – среднее количество дней от 1 марта до распускания почек у всех остальных образцов

Note: * – mean number of days from March 1 to budbreak for the group of genotypes CUJRBO12 (105:105) and CUJRBO12 (90:-); ** – mean number of days from March 1 to budbreak for all other accessions

Таблица 6. Сравнение средних значений сроков распускания почек между группой JRHR209732 (272:-) и остальными образцами JRHR209732 (-:-)**Table 6.** Comparison of the mean budbreak time values between the JRHR209732 (272:-) group and other JRHR209732 (-:-) accessions

Признак	JRHR209732 (-:-)	JRHR209732 (272:-)	t-критерий
Сроки начала распускания почек в 2022 г.	37,07*	31,86	4,44**
Сроки начала распускания почек в 2023 г.	30,46	24,71	3,33**
Сроки начала распускания почек в 2024 г.	30,61	27,57	4,39**

Примечание: * – приведено среднее значение дней от 1 марта до распускания почек; ** – значимость на уровне $\alpha = 0,05$

Note: * – mean number of days from March 1 to budbreak is given; ** – statistical significance at the level of $\alpha = 0,05$

Заключение

Проведена оценка признака сроков распускания почек 32 элитных форм и трех сортов ореха грецкого генофонда СКФНЦСВВ, а также двух сортов зарубежной селекции в течение трех лет. На основе фенологической оценки сроков распускания почек ореха грецкого выделены наиболее ценные образцы. Полученные данные о формах, вступающих в вегетацию позже, позволяют использовать их в качестве родительских форм для создания сортов с поздним распусканьем почек. В результате статистической обработки данных погодных условий и дат распускания почек доказано, что в 2023 и 2024 г. распускание почек наступало раньше, чем в 2022 г. Изучено влияние температурных условий на признак позднего распускания почек и выявлено, что среднемесячная температура марта играет решающую роль в прохождении фазы распускания почек. Анализ дисперсии внутри признака по годам позволил оценить степень изменчивости дат распускания по каждому году. Высокая дисперсия в 2023 г. объясняется генотип-специфической реакцией ряда образцов на погодные условия в феврале. Выявлены образцы, вступающие в вегетацию наиболее поздно по трем годам наблюдений, – 17-5-5, 'Овен'. Образцы Теркин, Щедрый, Конкистадор, Сатурн, Тимур, Дар Кубани, 17-2-14 и 17-3-15 отнесены к группе поздних в двух сезонах наблюдений – они также представляют ценность для селекции.

Установлена взаимосвязь между аллельным составом локусов JRHR209732, CUJRBO12 и проявлением признака «срок распускания почек». Для образцов с аллелем 105 пн в гомозиготе по локусу CUJRBO12 были характерны достоверно более поздние сроки распускания почек относительно остальной части исследованной выборки российских образцов. В свою очередь, аллель 90 пн локуса CUJRBO12 и аллель 272 пн локуса JRHR209732 в гетерозиготном состоянии присутствовали у образцов с ранним распусканьем почек. Таким образом, установленные в работе закономерности позволяют с относительно высокой степенью точности определять сроки распускания почек у образцов из генофонда ореха грецкого юга России. Указанные аллели могут являться «диагностическими» при проведении предварительного скрининга генофонда в целях выявления поздно вегетирующих образцов. Проведение более обширного анализа с вовлечением большего числа исследованных образцов даст возможность определить границы применимости выявленных взаимосвязей «аллель маркера / фенотип». Однако стоит отметить, что ранее установленные на генофонде западноевропейских и американских сортов закономерности между аллельным составом локусов JRHR209732, CUJRBO12 и сроками распускания почек не удалось выявить в кубанской генплазме. Это может являться следствием того, что в изученной нами выборке элитных форм и сортов отечественной селекции не представлены образцы с ультрапоздними сроками распускания почек. На основе этого можно сделать предположение о наличии разных аллелей искомого QTL у образцов с поздними и ультрапоздними сроками распускания почек.

References / Литература

Akca Y., Ozogun S. Selection of late leafing, late flowering, laterally fruitful walnut (*Juglans regia*) types in Turkey. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 2004;32(4):337-342. DOI: 10.1080/01140671.2004.9514313

- Aradhya M.K., Velasco D., Wang J.R., Ramasamy R., You F.M., Leslie C. et al. A fine-scale genetic linkage map reveals genomic regions associated with economic traits in walnut (*Juglans regia*). *Plant Breeding*. 2019;138(5):635-646. DOI: 10.1111/pbr.12703
- Baby J., Thomas T., Thomas D. Molecular markers for harnessing heterosis. In: N. Kumar (ed.). *Molecular Marker Techniques: A Potential Approach of Crop Improvement*. Singapore: Springer Nature; 2023. p.1-24. DOI: 10.1007/978-981-99-1612-2_1
- Bernard A., Lheureux F., Dirlwanger E. Walnut: past and future of genetic improvement. *Tree Genetics and Genomes*. 2018;14(1):1-28. DOI: 10.1007/s11295-017-1214-0
- Bernard A., Marrano A., Donkpegan A., Brown P.J., Leslie C.A., Neale D.B. et al. Association and linkage mapping to unravel genetic architecture of phenological traits and lateral bearing in Persian walnut (*Juglans regia* L.). *BMC Genomics*. 2020;21(1):203. DOI: 10.1186/s12864-020-6616-y
- Bozhuyuk M.R., Ercisli S., Orhan E., Koc A. Determination of the genetic diversity of walnut (*Juglans regia* L.) cultivar candidates from Northeastern Turkey using SSR markers. *Mitteilungen Klosterneuburg*. 2020;70:269-277.
- Chen L.N., Ma Q.G., Chen Y.K., Wang B.Q., Pei D. Identification of major walnut cultivars grown in China based on nut phenotypes and SSR markers. *Scientia Horticulturae*. 2014;168:240-248. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.02.004
- Chmielewski F.M., Rötzer T. Response of Tree Phenology to Climate Change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2001;108(2):101-112. DOI: 10.1016/S0168-1923(01)00233-7
- Črepinšek Z., Solar M., Štampar F., Solar A. Shifts in walnut (*Juglans regia* L.) phenology due to increasing temperatures in Slovenia. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2009;84(1):59-64. DOI: 10.1080/14620316.2009.11512480
- Dangl G.S., Woeste K., Aradhya M.K., Koehmstedt A., Simon C., Potter D. et al. Characterization of 14 microsatellite markers for genetic analysis and cultivar identification of walnut. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 2005;130(3):348-354. DOI: 10.21273/JASHS.130.3.348
- Doğan Y., Kafkas S., Sütyemez M., Akça Y., Türemiş N. Assessment and characterization of genetic relationships of walnut (*Juglans regia* L.) genotypes by three types of molecular markers. *Scientia Horticulturae*. 2014;168:81-87. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.01.024
- Dwivedi S.L., Crouch J.H., Mackill D.J., Xu Y., Blair M.W., Ragot M. et al. The molecularization of public sector crop breeding: progress, problems, and prospects. *Advances in Agronomy*. 2007;95:163-318. DOI: 10.1016/S0065-2113(07)95003-8
- Emilia M., Spada M., Beritognolo I., Cannata F. Differentiation of walnut hybrids (*Juglans nigra* L. × *Juglans regia* L.) through RAPD markers. *Acta Horticulturae*. 1997;442:43-52. DOI: 10.17660/ActaHortic.1997.442.4
- Eremin G.V. (ed.). Contemporary methodological aspects of the organization of the breeding process in horticulture and viticulture (Sovremennyye metodologicheskiye aspekty organizatsii selektsionnogo protsesssa v sadovodstve i vinogradarstve). Krasnodar; 2012. [in Russian] (Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве / под ред. Г.В. Еремина. Краснодар; 2012).
- Fallah M., Paizila A., Karci H., Arab M.M., Sarikhani S., Suprun I. et al. Validation and implementation of marker-assisted selection (MAS) for the leafing date trait in Persian walnut populations from Iran. *Euphytica*. 2024;220(2):25. DOI: 10.1007/s10681-023-03281-3

- Fallah M., Vahdati K., Hasani D., Rasouli M., Sarikhani S. Breeding of Persian walnut: Aiming to introduce late-leaving and early-harvesting varieties by targeted hybridization. *Scientia Horticulturae*. 2022;295:110885. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.110885
- Ito H., Shah R.A., Qurat S., Jeelani A., Khursheed S., Bhat Z.A. et al. Genome-wide characterization and development of SSR markers for genetic diversity analysis in north-western Himalayas Walnut (*Juglans regia* L.). *3 Biotech*. 2023;13(5):136. DOI: 10.1007/s13205-023-03563-6
- Karimi R., Ershadi A., Vahdati K., Woeste K. Molecular characterization of Persian walnut populations in Iran with microsatellite markers. *HortScience*. 2010;45(9):1403-1406. DOI: 10.21273/HORTSCI.45.9.1403
- Kavosi H., Khadivi A. The selection of superior late-leaving genotypes of Persian walnut (*Juglans regia* L.) among seedling originated trees based on pomological characterizations. *Scientia Horticulturae*. 2021;288:110299. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110299
- Kefayati S., Ikhsan A.S., Sutyemez M., Paizila A., Topçu H., Bükücü Ş.B. et al. First simple sequence repeat-based genetic linkage map reveals a major QTL for leafing time in walnut (*Juglans regia* L.). *Tree Genetics and Genomes*. 2019;15(1):13. DOI: 10.1007/s11295-019-1318-9
- Khadivi A., Montazeran A., Yadegari P. Superior spring frost resistant walnut (*Juglans regia* L.) genotypes identified among mature seedling origin trees. *Scientia Horticulturae*. 2019;253:147-153. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.04.041
- Khalafyan A.A. Statistica 6. Statistical data analysis (Statistica 6. Statisticheskii analiz dannykh). Moscow: Binom; 2008. [in Russian] (Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. Москва: Бинум; 2008
- Khalafyan A.A. Statistica 6.0. Statistical data analysis (Statistica 6. Statisticheskii analiz dannykh). Krasnodar; 2005. [in Russian] (Халафян А.А. Statistica 6.0. Статистический анализ данных. Краснодар; 2005).
- Kramer K., Ducouso A., Gömöry D., Hansen J.K., Ionita L., Liesebach M. et al. Chilling and forcing requirements for foliage bud burst of European beech (*Fagus sylvatica* L.) differ between provenances and are phenotypically plastic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017;234-245:172-181. DOI: 10.1016/j.agrformet.2016.12.002
- Lakin G.F. Biometrics: a manual for biological university specialties (Biometriya: uchebnoye posobiye dlya biologicheskikh spetsialnostey vuzov). 4th ed. Moscow: Vysshaya Shkola; 1990. [in Russian] (Лакин Г.Ф. Биометрия: учебное пособие для биологических специальностей вузов. 4-е изд. Москва: Высшая школа; 1990).
- Magige E.A., Fan P.Z., Wambulwa M.C., Milne R., Wu Z.Y., Luo Y.H. et al. Genetic diversity and structure of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in Pakistan: implications for conservation. *Plants*. 2022;11(13):1652. DOI: 10.3390/plants11131652
- Marrano A., Sideli G.M., Leslie C.A., Cheng H., Neale D.B. Deciphering of the genetic control of phenology, yield and pellicle color in Persian walnut (*Juglans regia* L.). *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:1140. DOI: 10.3389/fpls.2019.01140
- Najafi F., Mardi M., Fakheri B., Pirseyedi S.M., Mehdinejad N., Farsi M. Isolation and characterization of novel microsatellite markers in walnut (*Juglans regia* L.). *American Journal of Plant Sciences*. 2014;5(3):409-415. DOI: 10.4236/ajps.2014.53054
- Peakall R., Smouse P.E. GenALEx 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics*. 2012;28(19):2537-2539. DOI: 10.1093/bioinformatics/bts460
- Rogers S.O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant Molecular Biology*. 1985;5(2):69-76. DOI: 10.1007/BF00020088
- Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds). Program and methodology of variety studies for fruit, berry and nut crops (Programma i metodika sortoizucheniya plodovoykh, yagodnykh i orekhoplodnykh kultur). Orel: VNIISPК; 1999. [in Russian] (Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н Седова, Т.П. Огольцовой. Орел: ВНИИСПК; 1999).
- Soleimani A., Rabiei V., Hassani D., Mozaffari M.R. Phenological characteristics of walnut (*Juglans regia* L.) genotypes under environmental conditions of Karaj in Iran. *Crop Breeding Journal*. 2019;9(2):11-22. DOI: 10.22092/CBJ.2020.128539.1045
- Soveili S., Khadivi A. Selecting the superior late-leaving genotypes of Persian walnut (*Juglans regia* L.) using morphological and pomological evaluations. *BMC Plant Biology*. 2023;23(1):379. DOI: 10.1186/s12870-023-04386-6
- Tenche-Constantinescu A.M., Lalescu D.V., Popescu S., Sarac I., Petolescu C., Camen D. et al. *Juglans regia* as urban trees: genetic diversity and walnut kernel quality assessment. *Horticulturae*. 2024;10(10):1027. DOI: 10.3390/horticulturae10101027
- UPOV Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability. Walnut (*Juglans regia* L.). Geneva: UPOV; 1989.
- Wani A.W., Hassan G.I., Bhat K.M., Ahmad M., Siddiqui M.H., Kumar S. et al. Utilizing SSR markers to examine the population structure and molecular genetic diversity of walnut (*Juglans regia* L.) genotypes in the North-western Himalayan region of Jammu and Kashmir. *BioResources*. 2024;19(3):4213-4237. DOI: 10.15376/biores.19.3.4213-4237
- Zaitsev G.N. Mathematics in experimental botany (Matematika v eksperimentalnoy botanike). Moscow: Nauka; 1990. [in Russian] (Зайцев Г.Н. Математика в экспериментальной ботанике. Москва: Наука; 1990).

Информация об авторах

Иван Иванович Супрун, кандидат биологических наук, заведующий функциональным научным центром, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, supruni@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0355-8395>

Екатерина Аделевна Аль-Накиб, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, ealnakib@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0855-1176>

Илья Владимирович Степанов, младший научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, ivstepanof@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6251-300X>

Елена Вадимовна Лободина, научный сотрудник, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, 350901 Россия, Краснодар, ул. 40 лет Победы, 39, alyona2255@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3580-2316>

Сергей Николаевич Щеглов, доктор биологических наук, профессор, доцент, Кубанский государственный университет, 350040 Россия, Краснодар, ул. Ставропольская, 149, gold_finch@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3919-8168>

Information about the authors

Ivan I. Suprun, Cand. Sci. (Biology), Head of a Functional Scientific Center, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, supruni@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0355-8395>

Ekaterina A. Al-Nakib, Associate Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, ealnakib@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0855-1176>

Ива V. Степанов, Associate Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, ivstepanof@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6251-300X>

Elena V. Lobodina, Researcher, North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making, 39 40 let Pobedy St., Krasnodar 350901, Russia, alyona2255@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3580-2316>

Sergey N. Shcheglov, Dr. Sci. (Biology), Professor, Associate Professor, Kuban State University, 149 Stavropolskaya St., Krasnodar 350040, Russia, gold_finch@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3919-8168>

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 24.10.2024; одобрена после рецензирования 29.11.2024; принята к публикации 03.12.2024. The article was submitted on 24.10.2024; approved after reviewing on 29.11.2024; accepted for publication on 03.12.2024.