

Полиморфизм микросателлитных локусов в семье красной смородины с расщеплением по латеральному и терминальному типам плодоношения

М. А. Должикова[✉], А. В. Пикунова, А. А. Павленко, О. Д. Голяева

Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина,
Орловская область, Россия

[✉]E-mail: dolzjikova@orel.vniispk.ru

Аннотация. Большой генетический потенциал адаптивности красной смородины к различным почвенно-климатическим условиям позволяет ее возделывать практически во всех регионах России. **Цель** работы – охарактеризовать полиморфизм микросателлитных локусов для проверки происхождения ЭЛС 1674-30-30 со спонтанно возникшим терминальным (верхушечным) плодоношением и гибридов семьи 2521 (ЭЛС 1674-30-30 (Нива × Вискне) × свободное опыление), в которой наблюдается расщепление по типу плодоношения, присутствуют гибриды как с латеральным (боковым) типичным для культуры типом плодоношения, так и с терминальным. **Методы.** В лабораторных условиях производилась оценка полиморфизма микросателлитных локусов семьи красной смородины методом ПЦР и путем визуализации продуктов в полиакриламидных гелях. **Научная новизна.** Впервые дается оценка полиморфизма микросателлитных локусов семьи красной смородины, в которой присутствуют гибриды как с терминальным, так и с латеральным типом плодоношения. **Результаты.** По результатам исследований с помощью анализа микросателлитных локусов было подтверждено происхождение ЭЛС 1674-30-30 с терминальным плодоношением от сортов Нива и Вискне, а именно: не было обнаружено аллелей, амплифицируемых у отборного сеянца, но отсутствующих у родительских форм, и наоборот. Также по данным полиморфизма микросателлитных локусов было уточнено происхождение гибридов семьи 2521 (ЭЛС 1674-30-30 (Нива × Вискне) × свободное опыление), часть из которых произошла от самоопыления материнской формы, часть – от опыления пыльцой иного генотипа. Предположительно на происхождение материнской формы 1674-30-30 с терминальным типом плодоношения повлияла мутационная изменчивость.

Ключевые слова: красная смородина, ДНК, микросателлитные маркеры, терминальное (верхушечное) плодоношение

Для цитирования: Должикова М. А., Пикунова А. В., Павленко А. А., Голяева О. Д. Полиморфизм микросателлитных локусов в семье красной смородины с расщеплением по латеральному и терминальному типу плодоношения // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 864–872. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-864-872>.

Дата поступления статьи: 27.09.2024, **дата рецензирования:** 09.12.2024, **дата принятия:** 11.03.2025.

Polymorphism of microsatellite loci in the red currant family with cleavage by lateral and terminal fruiting types

M. A. Dolzhikova[✉], A. V. Pikunova, A. A. Pavlenko, O. D. Golyaeva

Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia

[✉]E-mail: dolzhikova@orel.vniispk.ru

Abstract. The great genetic potential of the red currant adaptability to various soil and climatic conditions allows it to be cultivated in almost all regions of Russia. **The purpose** of the study is to characterize the polymorphism of microsatellite loci for verifying the origin of ELS 1674-30-30 with spontaneously arisen terminal (apical) fruiting and hybrids of the family 2521, in which splitting by type of fruiting is observed and there are hybrids with both lateral (typical for culture) and terminal type of fruiting. **Methods.** Polymorphism of microsatellite loci of the red currant family was evaluated in laboratory conditions by PCR and by visualization of products in polyacrylamide gels. **Scientific novelty.** For the first time, the polymorphism of microsatellite loci is evaluated in the red currant family where hybrids with both terminal and lateral fruiting types are present. **Results.** According to the research results, using the analysis of microsatellite loci, the origin of ELS 1674-30-30 with terminal fruiting from the Niva and Veksne cultivars was confirmed; namely, no alleles were found that were amplified in the selected seedling, but absent in the parent forms, and vice versa. Also, according to the polymorphism of microsatellite loci, the origin of hybrids of the family 2521 was clarified – some of which originated from self-pollination of the maternal form and some from pollination with pollen of a different genotype. Presumably, the origin of the maternal form 1674-30-30 with terminal fruiting type was influenced by mutational variability.

Keywords: red currant, DNA, microsatellite markers, terminal (apical) fruiting

For citing: Dolzhikova M. A., Pikunova A. V., Pavlenko A. A., Golyaeva O. D. Polymorphism of microsatellite loci in the red currant family with cleavage by lateral and terminal fruiting types. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 864–872. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-864-872>. (In Russ.)

Date of paper submission: 27.09.2024, **date of review:** 09.12.2024, **date of acceptance:** 11.03.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Красная смородина – высокоурожайная, скороплодная и зимостойкая ягодная культура, которая обладает высокой степенью продуктивности. Ягоды красной смородины содержат большой набор витаминов, микроэлементов, сахаров, органических кислот, а также пектины, антоцианы и дубильные вещества [1–3]. В пищевой промышленности ягоды активно используют для приготовления соков, морсов, желе, мармелада и других полезных и витаминизированных продуктов питания [4–7].

Ареал распространения подрода *Ribes* охватывает всю европейскую часть, Западную, Восточную Сибирь и Дальний Восток. На севере он заходит в Швецию, Норвегию, на юге – в Италию и Грецию. В Азии ареал на востоке охватывает Японию и Курильские острова, южная граница проходит по Киргизским степям, Гималаям и через Китай. Почти все современные сорта красной смородины являются сложными межвидовыми гибридами. Высокая пластичность и неприхотливость смородины позволяют ее возделывать от западных до восточных границ России. Если выращиваются оптимальные для региона сорта, красная смородина может дать высокие урожаи и в Заполярье.

Виды *Ribes* представляют собой кустарниковые растения, распространенные в первую очередь на умеренных территориях северного полушария. Существует несколько таксономических классификаций данного рода, однако наиболее качественно разработанными и точными считаются те, которые основаны либо на морфологических особенностях растений, либо на возможности скрещивать виды между собой.

Красная смородина имеет высокий потенциал продуктивности. Однако реализация зависит от ряда причин, к которым относятся генотип растений, их возраст и состояние, погодные условия во время цветения и формирования ягод, уровень агротехники. Фактическая или хозяйственная урожайность часто не отражает потенциальные возможности сортов. Российский сортимент красной смородины создавался и развивался в первую очередь за счет использования интродуцированных зарубежных сортов. На сегодняшний момент Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур (ВНИИСПК, г. Орел) располагает одной из крупнейших в мире биоресурсных коллекций красной смородины, состоящей из более чем 80 сортов как российского, так и иностранного происхождения¹.

¹ <https://vniispk.ru/docs/bpk/2022-03/11-red-white-currant.pdf>.

Данная коллекция пополняется новыми сортами, которые обязательно проходят изучение на предмет возможности возделывания в определенных почвенно-климатических условиях и наличия тех или иных хозяйственно ценных признаков, а также степени их выраженности. Данная биоресурсная коллекция служит источником для ведения селекции красной смородины на комплекс важных хозяйственно-биологических показателей и получения новых сортов красной смородины. Как результат многолетней целенаправленной селекции в ФГБНУ ВНИИСПК создан и передан на государственное испытание 21 сорт красной смородины, из которых более 10 сортов внесены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Данные сорта улучшили имеющийся сортимент красной смородины по Центрально-Черноземному региону [8].

Основой улучшения сельскохозяйственных культур является генетическая изменчивость. Селекционер использует ее для создания новых сортов, стремясь объединить желательные признаки родительских форм в гибридах, которые способны превзойти своих предков в выражении различных хозяйственно полезных признаков, таких как урожайность, качество, устойчивость к болезням и т. д. [9]. Не является исключением и красная смородина: перед селекционерами стоит задача получения новых сортов с улучшенными хозяйственно полезными признаками.

Для красной смородины и рода смородин в целом типично латеральное (боковое) плодоношение. Для ряда культур (например, для грецкого ореха) боковой тип плодоношения считается желательным, поскольку обеспечивает наибольший урожай. Более 80 % сортов грецкого ореха, распространенных в странах с его развитым производством, обладают латеральным типом плодоношения. В этом случае женские цветки появляются не только на и при апикальных почках, но также почти во всех пазушных почках зеленого побега. В связи с этим орехи располагаются по всей ветке на вершинах латеральных побегов. Такие ветки будут продолжать плодоносить несколько лет при условии хорошего освещения и ухода за растениями [10–12].

В результате научных исследований группой ученых под руководством О. Д. Голяевой [13] в гибридной семье красной смородины 1674 (Нива × Виксне), полученной от родителей с типичным боковым типом плодоношения, был отобран уникальный сеянец 1674-30-30, у которого наблюдается верхушечный тип плодоношения: на верхушках отдельных побегов закладывается цветковая почка, из которой развиваются плодовая кисть и листья, что несвойственно для красной смородины. Подобная кисть встречается у *R. Bracteosum*.

Почти все современные сорта красной смородины были получены от таких видов, как садовая смородина (*R. vulgare* Lam.), крупноплодная смородина (*R. vulgare* var. *macrocarpum*), красная смородина (*R. rubrum* L.), красная смородина скалистая (*R. petraeum* Wulf.), многоцветковая смородина (*R. multiflorum* Kit.), смородина Варшевича (*R. warscewiczii* Jancz.), смородина Пальчевского (*R. palczewskii* (Jancz.) Pojark и их гибриды. Другие виды и их гибриды ценны как исходный материал для дальнейшей селекции. Внутривидовые отношения рода *Ribes* остаются весьма спорными. Классификация *Ribes* на данный момент остается также неясной из-за широкого географического распространения, большой доли межвидовой гибридизации и высокого фенотипического разнообразия.

Виды смородины, входящие в одну секцию, достаточно легко скрещиваются между собой. В контактной зоне ареалов разных видов красной смородины находят их спонтанные гибриды. В литературных источниках приведены сведения о нахождении в природе 17 спонтанных межвидовых гибридов красных смородин [13].

Развитие селекционной работы требует большего вовлечения в селекцию гибридов с расширенным спектром генетической изменчивости.

Основой селекционных исследований и получения новых сортов и форм остается скрещивание генетико-географически разных образцов для получения нового генотипа с желаемыми качествами и свойствами. Этот процесс, в том числе и у ягодных культур, длится сравнительно долгое время. Как правило, в селекционных программах используют родительские формы, обладающие теми свойствами и качествами, которых нет у другой родительской формы, чтобы на выходе получить новый генотип, обладающий всеми желаемыми свойствами. Выявление генетического родства помогает целенаправленно находить родительские пары к скрещиванию, формируя разнообразные на генетическом уровне и высокоадаптивные сорта. Генетическое различие исходных сортов и форм в селекции смородины – база формирования долговременно устойчивых сортов.

Для успешной селекции недостаточно ограничиваться только традиционными методами (гибридизацией и другими). Следует сочетать данные методы с новыми, связанными с исследованиями на генетическом уровне. Один из наиболее перспективных методов для селекции красной смородины и других сельскохозяйственных культур – использование ДНК-маркеров.

ДНК-маркеры могут быть полезны для определения индивидуальных генотипических различий внутри одного или между разными видами. Полиморфизмы молекулярных маркеров обусловлены различными типами мутаций ДНК, которые созда-

ют различия в нуклеотидных последовательностях между организмами. Как правило, маркерные полиморфизмы в организмах – это последствия точечных мутаций, (возникающих в результате однонуклеотидных замен), перестроек в виде вставок (могут быть вызваны ретротранспозонами) или делеций, дупликаций участков ДНК, транслокаций и инверсий, а также ошибок при репликации tandemно повторяющихся ДНК.

Важное преимущество ДНК-маркерных технологий состоит в том, что они позволяют найти отличия между двумя близкородственными организмами, что в ряде случаев крайне сложно или вовсе невозможно сделать с помощью других видов маркеров.

Цель настоящей работы – охарактеризовать полиморфизм микросателлитных локусов для проверки происхождения ЭЛС 1674-30-30 со спонтанно возникшим терминальным (верхушечным) типом плодоношения и гибридов семьи 2521 (ЭЛС 1674-30-30 (Нива × Виксне) × свободное опыление), в которой наблюдается расщепление по типу плодоношения, присутствуют гибриды как с латеральным (боковым) типичным для культуры типом плодоношения, так и с терминальным.

Методология и методы исследования (Methods)

ДНК экстрагирована из ткани молодых листьев с помощью СТАВ-метода (Doyle & Doyle) с добавлением меркаптоэтанола в лизирующий буфер.

Ткань листьев с добавлением подогретого рабочего раствора лизирующего буфера и специальных бусин измельчали в свежем виде. Далее проводили инкубацию полученной смеси на водяной бане 60 минут при температуре 65 °С. Затем – очистку смесью хлороформа и изоамилактола (24 : 1), добавляя по 750 мкл к каждому образцу. При необходимости очистку проводили дважды. Далее полученную смесь перемешивали на ротаторе в течение 15 минут.

Получившуюся смесь в пробирках центрифугировали на скорости 10 000 об/мин в течение 10 минут. В результате в пробирках происходило разделение фаз.

Верхнюю фазу, в которой содержится ДНК и примеси, отбирали в новую 1,5 мл пробирку. К полученной смеси добавляли предварительно охлажденный изопропиловый спирт. Полученную смесь тщательно перемешивали.

Затем повторяли этап проведения центрифугирования полученной смеси при 10 000 об/мин в течение 10 минут. ДНК после центрифугирования выпадает в осадок. Полученный осадок промывали раствором 70-процентного этанола. При необходимости очистку повторяли дважды.

Спирт удаляли путем сливания в емкость, краткого открывания, отбора микропипеткой. Затем просушивали пробирки с полученным осадком в твердотельном термостате. Полученный осадок разводили в буфере TE (1M Tris HCl, 0,5M EDTA).

После растворения осадка полученный раствор ДНК встряхивали и центрифугировали.

Качество выделенной ДНК для генотипирования имеет решающее значение для получения достоверных последующих результатов и возможности их сравнительного анализа. Как отмечают многие авторы, низкое качество и малое количество ДНК могут обусловить амплификацию в гетерозиготах предпочтительно только одной более короткой аллели, что проявляется как «выпадение» (dropout) аллели.

В итоге выделения получается концентрированная ДНК. Для дальнейших исследований необходимо проверить на чистоту и концентрацию. В данных исследованиях проверка качества проводилась методом разгонки ДНК в 0,8-процентном агарозном геле вместе с контрольной ДНК с уже известной концентрацией (ДНК фага лямбда). Сравнивая интенсивность свечения с контрольным образцом, приблизительно оценивали концентрацию выделенной ДНК и устанавливали необходимую кратность разведения в 10 раз для дальнейшего проведения полимеразной цепной реакции (ПЦР).

При этом следует отметить, что химический состав листьев, обусловленный особенностями вида и сорта, может повлиять на результаты выделения. При работе с некоторыми сортами красной смородины понадобилось дважды произвести осаждение ДНК из раствора изопропанолом для достижения достаточного качества ДНК.

ПЦР-анализ проводили в реакционной смеси объемом 20 мкл, содержащей:

- 1 × ПЦР буферный раствор;
- 200 мкМ нуклеотидов;
- 2 мкМ прямого праймера;
- 2 мкМ обратного праймера;
- 0,3 ед. Taq ДНК-полимеразы;
- 10 нг ДНК.

ПЦР экстрагированной ДНК со специфическими SSR-праймерами проводили с использованием реактивов и BioTaq полимеразы фирмы Dialat Ltd. на амплификаторе Bio-Rad T100 Thermal Cycler. Реакция амплификации: предварительная денатурация – 5 минут при 95 °С; денатурация – 30 с при 95 °С; отжиг праймера – 30 с; синтез ДНК – 30 с при 72 °С (30 циклов); элонгация – 10 минут при 72 °С.

На первоначальном этапе осуществили подбор микросателлитных локусов для дальнейших исследований. Всего протестировано на небольшой выборке образцов около 70 пар праймеров микросателлитных локусов. Из них около половины были ранее опубликованы и использовались для изучения представителей рода смородина зарубежными исследовательскими группами, а сиквенсы остальных пар праймеров были разработаны на базе сиквенсов смородины, размещенных в базе данных NCBI, и предоставлены Nahla Bassil.

Таблица 1

Характеристика микросателлитных локусов

№	Локус	Группа сцепления	Прямой праймер	Обратный праймер
1	e1-O21	4	TCT CTC CAA CTG AGA AGG AAA A	GAT TTG TTC TTG TGC AGC GA
2	g1-L12	5	CGA AGG TTG AAT CGG TGA GT	TTG TGA GCC GTA ACC ACG TA
3	Cra-531	6	AGA AGT GAA AGT GGA AGA ACC	GTT TGT TTG AAG GAA GAC AGA GA
4	e3-B02	5	AAG ACG AAG ACG ACG ACG AT	CTG ATC TTT GCC GAA TGG TT

Table 1

Characteristics of microsatellite loci

No.	Locus	Linkage group	Direct primer	Reverse primer
1	e1-O21	4	TCT CTC CAA CTG AGA AGG AAA A	GAT TTG TTC TTG TGC AGC GA
2	g1-L12	5	CGA AGG TTG AAT CGG TGA GT	TTG TGA GCC GTA ACC ACG TA
3	Cra-531	6	AGA AGT GAA AGT GGA AGA ACC	GTT TGT TTG AAG GAA GAC AGA GA
4	e3-B02	5	AAG ACG AAG ACG ACG ACG AT	CTG ATC TTT GCC GAA TGG TT

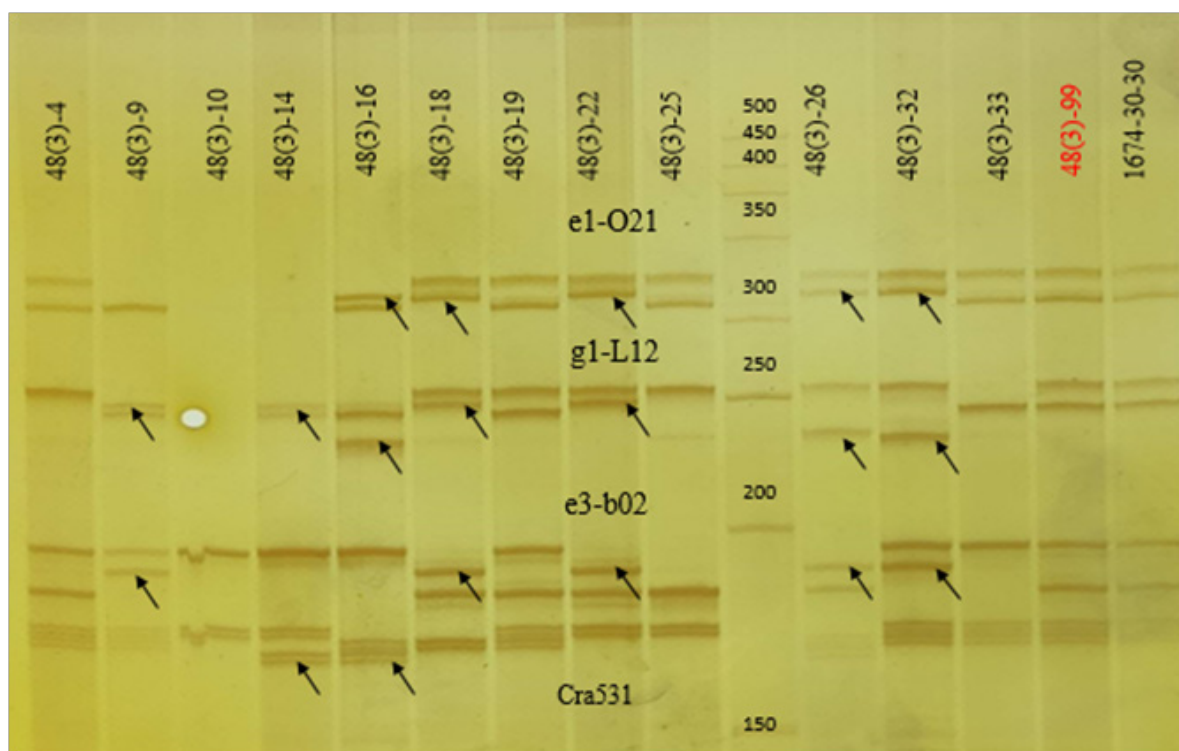


Рис. 1. Полиморфизм микросателлитных локусов гибридов, полученных от свободного опыления ЭЛС 1674-30-30. Стрелкой указаны аллели, отсутствующие у ЭЛС 1674-30-30 (8 % ПААГ). Черным цветом указаны гибриды без верхушечного плодоношения, красным – с верхушечным плодоношением
Fig 1. Polymorphism of microsatellite loci of hybrids obtained from free pollination of ELS 1674-30-30. The arrow indicates the alleles missing in ELS 1674-30-30 (8 % of PAAG). Hybrids without apical fruiting are indicated in black, while those with apical fruiting are indicated in red

Основной прием оптимизации условий ПЦР, использованный в данной работе, – это повышение или снижение температуры отжига праймеров. Остальные параметры – концентрация хлорида магния, концентрация праймеров, концентрация ДНК, число циклов амплификации – сохранялись достаточно жесткими во избежание неспецифической амплификации. При наличии неспецифических профилей амплификации (в широком диапазоне размеров), температура отжига повышалась, если после повышения все фрагменты равномерно

блекли, но оставались, то профиль в целом считали неспецифическим для микросателлитных локусов.

На первоначальном этапе исследований на материнской форме, ее родителях (сорта Нива и Виксне) и нескольких гибридах проанализировали 14 локусов: g1-K04, g1-M07, e1-O01, Cra-489, Cra-531, e3-B02, g2-L17, g2-G12, g2-H21, e1-O21, gr2-J05, g1-A01, g2-J08, g1-L12.

На всех гибридах изучили полиморфизм четырех локусов: e1-O21, g1-L12, e3-B02, Cra-531 (таблица 1).

Объектом исследований являлась гибридная семья красной смородины 2521 (ЭЛС 1674-30-30 (Нива × Вискне) × свободное опыление), материнская форма (ЭЛС 1674-30-30) и ее родители (сорта Нива и Вискне), в которой наблюдается расщепление по терминальному плодоношению. У родительских форм ЭЛС 1674-30-30, а именно у сортов Нива и Вискне, верхушечное плодоношение отсутствует. Данная гибридная семья имеет большую ценность в дальнейшей селекции по выходу семян с длинными кистями, а также семян, устойчивых к грибным заболеваниям (в том числе часть семян с верхушечным плодоношением).

Результаты (Results)

В результате анализа полиморфизма 14 микросателлитных локусов ЭЛС 1674-30-30 и его родительских форм сортов Нива и Вискне выявлено, что ЭЛС 1674-30-30 унаследовал аллели по изучаемым локусам от обоих родителей. Аллелей, которые имеются у ЭЛС 1674-30-30, но отсутствуют у родителей, не было обнаружено.

Таким образом, на данном этапе исследований было установлено, что отборный сеянец 1674-30-30 действительно является гибридом от скрещивания Нива × Вискне.

Далее по подобранным четырем микросателлитным локусам *e1-O21*, *g1-L12*, *e3-B02*, *Cra-531* [14] была проанализирована вся гибридная семья красной смородины 2521, полученная от свободного опыления ЭЛС 1674-30-30. По полученным данным полиморфизма микросателлитных локусов гибриды изучаемой семьи (61 гибрид) можно условно разделить на две группы.

Первая группа не имеет иных аллелей, кроме амплифицируемых у матери, и, вероятно, гибриды этой группы (всего 33 гибрида) произошли от самоопыления (рис. 1).

Гибриды второй группы (28 гибридов) имеют аллели, отсутствующие у материнской формы, и, вероятно, произошли от перекрестного опыления (рис. 1). На представленном рисунке это гибриды 48(3)-16, 48(3)-18, 48(3)-22, 48(3)-26, 48(3)-32 (по локусу *e1-O21*); 48(3)-9, 48(3)-14, 48(3)-16, 48(3)-18, 48(3)-22, 48(3)-26, 48(3)-32 (по локусу *g1-L12*); 48(3)-9, 48(3)-18, 48(3)-22, 48(3)-26, 48(3)-32 по локусу *e3-B02*); 48(3)-14, 48(3)-16 (по локусу *Cra-531*).

При этом терминальное плодоношение встречается как в первой, так и во второй группе изучаемых гибридов. Аллелей, которые отличали бы группы гибридов с терминальным и латеральным плодоношением, не обнаружено.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Ранее в ходе проведения исследований лабораторией селекции и сортоизучения смородины в 2017–2020 годах в селекционном саду Всероссийского научно-исследовательского института селекции плодовых культур в селекционной семье 1674

(Нива × Вискне) был обнаружен уникальный для красной смородины сеянец 1674-30-30, у которого наблюдается верхушечный тип плодоношения, при котором на верхушечных побегах закладывается смешанная почка, из которой в последующем развиваются плодовая кисть и листья, что абсолютно несвойственно для красной смородины [12].

В последующей работе селекционерами нашего института была получена и высажена на опытном селекционном участке ФГБНУ ВНИИСПК гибридная семья красной смородины 2521 от свободного опыления ЭЛС 1674-30-30. В данной семье присутствуют гибриды как с боковым, так и с верхушечным плодоношением (рис. 2). Очевидно, что верхушечный тип плодоношения наследуется и присутствует у ЭЛС 1674-30-30 в гетерозиготном состоянии. В процессе полевых наблюдений было установлено, что растения с верхушечным типом плодоношения быстрее стареют, чем сеянцы с латеральным типом плодоношения.

ЭЛС 1674-30-30 получена от межвидового скрещивания. Сорт Нива среднераннего срока созревания создан во Всероссийском научно-исследовательском институте селекции плодовых культур от скрещивания сортов Миннесота и Чулковская и является потомком от *R. rubrum* во втором поколении. Кисти средней длины, достаточно плотные, однобокие. Сорт Вискне раннего срока созревания, получен от посева семян смородины Варшавича. Кисти достаточно длинные, цилиндрической формы, плотные.

В предыдущих исследованиях сортовой генофонд красной смородины биоресурсной коллекции ВНИИСПК был проанализирован с применением генотипирования путем секвенирования (genotyping by sequencing). В результате секвенирования было получено в среднем 1,5 млн прочтений. В общей сложности было обнаружено более 8500 дуаллельных SNP-маркеров [14].



Рис. 2. Сеянец гибридной семьи 2521 (ЭЛС 1674-30-30 свободное опыление) с терминальным плодоношением

Fig. 2. Seedling of the hybrid family 2521 (ELS 1674-30-30 free pollination) with terminal fruiting

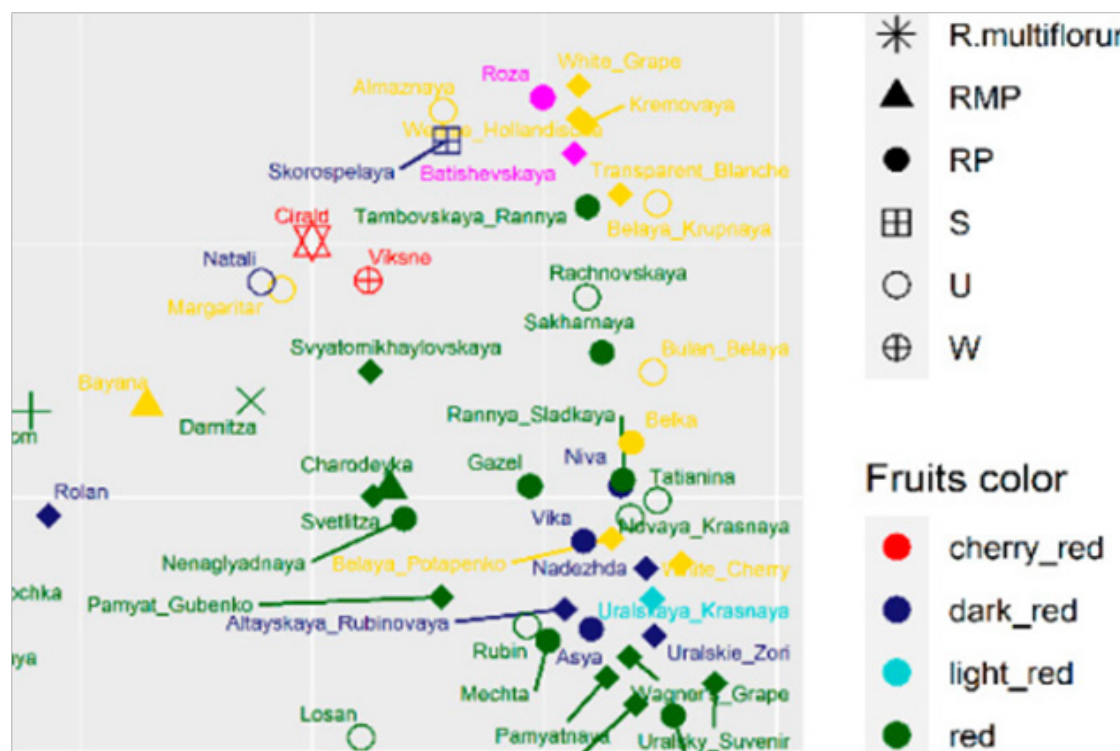


Рис. 3. Часть графика MDS по данным GBS о полиморфизме генотипов красной смородины.

W – потомок *R. Warscewicz*

Fig. 3. Part of the MDS graph based on GBS data on polymorphism of red currant genotypes.

W – is a descendant of *R. warscewicz*

На основе полученных данных GBS был проведен анализ с многомерным масштабированием (MDS) (рис. 3), на котором наглядно видно расположение сортов Нива и Вискне в разных частях представленного графика.

Admixture-анализ GBS-данных выборки сортов красной смородины, содержащей 75 сортов красной смородины различного генетического происхождения, условно разделил все сорта на 6 кластеров, при этом сорт Вискне (потомок *R. warscewicz*) вошел во второй кластер. Сорт Нива по происхождению вошел в третий кластер. Данный сорт является потомком от *R. Rubrum* во втором поколении [15]. Таким образом, GBS-анализ подтвердил, что сорт Вискне и сорт Нива достаточно генетически различны.

В рамках данной работы с помощью анализа микросателлитных локусов подтверждено происхождение элитного сеянца с терминальным плодоношением от сортов Нива и Вискне и установлена природа происхождения гибридов изучаемой семьи красной смородины 2521, часть из которых произошла от самоопыления, а часть – от опыления иной пыльцой.

В дальнейших исследованиях будет продолжена исследовательская работа по установлению генетических основ нового признака – верхушечного плодоношения у красной смородины. Однако уже на данном этапе исследований можно сделать предположение, что произошла мутация в одном гене.

Библиографический список

1. Berk S., Gundogdu S., Tuna S., Tas A. Role of maturity stages on phenolic compounds and organic acids contents in red currant fruits // International Journal of Fruit Science. 2020. Vol. 20, No. 2. Pp. S1054–S1071. DOI: 10.1080/15538362.2020.1774476.
2. Новикова И. М., Блинникова О. М., Блохина Т. С. Оценка качества ягод красной смородины как источника БАВ [Электронный ресурс] // Наука и образование. 2022. Т. 5, № 3. URL: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/4924> (дата обращения: 02.09.2024).
3. Макаркина М. А., Павел А. Р., Ветрова О. А. Биохимическая оценка сортов некоторых плодовых и ягодных культур селекции ВНИИСПК // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 4. С. 18–21. DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/18-21.
4. Макаркина М. А., Ветрова О. А., Богомолова Н. И. Изучение содержания каротиноидов в плодах ягодных культур // Садоводство и виноградарство. 2023. № 5. С. 49–55. DOI: 10.31676/0235-2591-2023-5-49-55.

5. Панфилова О. В., Калинина О. В. Красная смородина: путь от селекции к производству // Наше сельское хозяйство. 2020. № 3. С. 126–128.
6. Гахраманова А. М. Биодоступность антиоксидантов сока ягод черной и красной смородины в пастилках // Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию кафедры токсикологической химии. Пермь, 2022. С. 91–93.
7. Асманова А. З., Сабитова Л. М., Багаутдинов И. И. Использование сока из ягод красной смородины в производстве мармелада // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сборник статей II международной научно-практической конференции в рамках международного научно-практического форума, посвященного Дню хлеба и соли. Саратов, 2021. С. 208–212.
8. Голяева О. Д., Курашев О. В., Князев С. Д., Бахотская А. Ю. Новые сорта смородины и крыжовника селекции ВНИИСПК // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 4. С. 41–46.
9. Yahaya M. A., Shimelis H., Laing M., Mohammed M. S., Mathew I. (Methodologies for hybridization in predominantly self-pollinating crops: a review // Journal of Crop Improvement. 2020. Vol. 34, No. 2. Pp. 268–289.
10. Зубков А. В., Антоненко В. В., Самощенко Е. Г. Особенности цветения и формирования плодов *Juglans regia* L. с латеральным типом плодоношения в условиях Нечерноземной зоны средней полосы России // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. Т. 1, № 3. С. 22–33.
11. Корниенко П. С. Сравнительный анализ состояния и распространения ореха грецкого в мире, а также проблематика его возделывания в России // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2022. № 29 (192). С. 46–58.
12. Супрун И. И., Лободина Е. В., Аль-Накиб Е. А., Авакимян А. О. Поиск и оценка перспективных форм ореха грецкого в местных семенных популяциях Краснодарского края // Плодоводство и виноградарство Юга России. 2023. Т. 79, № 1. С. 45–59.
13. Golyaeva O., Panfilova O., Kalinina O., Okatan V. Formation when using interspecific crossings in the *Ribes* subgenus // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Article number 012038. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012038.
14. Должикова М. А., Пикунова А. В., Павленко А. А., Голяева О. Д. ДНК-паспортизация сортов смородины красной зарубежной селекции биоресурсной коллекции ВНИИСПК с применением SSR-маркеров // Современное садоводство. 2023. № 4. DOI: 10.52415/23126701_2023_0401.
15. Pikunova A., Goryunova S., Goryunov D., Golyaeva O., Dolzhikova M., Pavlenko A. Genetic diversity and pedigree analysis of red currant germplasm // Plants. 2022. Vol. 11, No. 13. Article number 1623. DOI: 10.3390/plants11131623.

Об авторах:

Мария Александровна Должикова, младший научный сотрудник лаборатории биохимической генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0002-2641-2172, AuthorID 971277. E-mail: dolzhikova@orel.vniispk.ru

Анна Викторовна Пикунова, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимической генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0003-4269-4250, AuthorID 750838. E-mail: pikunova@orel.vniispk.ru

Анна Андреевна Павленко, младший научный сотрудник лаборатории биохимической генетики отдела биотехнологии и молекулярной генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0002-7664-8896, AuthorID 1035311. E-mail: pavlenko@orel.vniispk.ru

Ольга Дмитриевна Голяева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и сортоизучения смородины, Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, д. Жилина, Орловская область, Россия; ORCID 0000-0003-1106-634X, AuthorID 607472. E-mail: golyaeva@vniispk.ru

References

1. Berk S., Gundogdu S., Tuna S., Tas A. Role of maturity stages on phenolic compounds and organic acids contents in red currant fruits. *International Journal of Fruit Science*. 2020; 2: S1054–S1071. DOI: 10.1080/15538362.2020.1774476.

2. Novikova I. M., Blinnikova O. M., Blokhina T. S. Assessment of the quality of red currant berries as a source of biologically active substances. *Science and Education* [Internet] 2022 [cited 2024 Sep 02]; 5. Available from: <https://opusmgau.ru/index.php/see/article/view/4924>. (In Russ.)
3. Makarkina M. A., Pavel A. R., Vetrova O. A. Biochemical assessment of some fruit and berries varieties in selection of all-russian research institute for fruit crop breeding. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2020; No. 4: 18–21. DOI: 10.30850/vrsn/2020/4/18-21 (In Russ.)
4. Makarkina M. A., Vetrova O. A., Bogomolova N. I. Study on carotenoid content in berry fruits. *Horticulture and Viticulture*. 2023; 5: 49–55. DOI: 10.31676/0235-2591-2023-5-49-55. (In Russ.)
5. Panfilova O. V., Kalinina O. V. Red currant: the path from breeding to production. *Our Agriculture*. 2020; 3: 126–128. (In Russ.)
6. Gakhramanova A. M. Bioavailability of antioxidants of black and red currant berry juice in lozenges. *Bulletin of the Perm State Pharmaceutical Academy: A scientific and practical journal. Scientific and practical conference with international participation dedicated to the 50th anniversary of the Department of Toxicological Chemistry*. Perm, 2022. Pp. 91–93. (In Russ.)
7. Asmanova A. Z., Sabitova L. M., Bagautdinov I. I. The use of juice from red currant berries in the production of marmalade. *Food technologies of the future: innovations in production and processing of agricultural products: collection of articles of the II international scientific-practical conference within the framework of the international scientific-practical forum dedicated to the Day of Bread and Salt*. 2021. Pp. 208–212. (In Russ.)
8. Golyaeva O. D., Kurashev O. V., Knyazev S. D., Barkhotskaya A. Yu. New varieties of currants and gooseberry breeding plants. *Bulletin of the Russian Agricultural Science*. 2020; 4: 41–46. (In Russ.)
9. Yahaya M. A., Shimelis H., Laing M., Mohammed M. S., Mathew I. (Methodologies for hybridization in predominantly self-pollinating crops: a review. *Journal of Crop Improvement*. 2020; 34 (2): 268–289.
10. Zubkov A. V., Antonenko V. V., Samoshchenkov E. G. Features of flowering and fruit formation of *Juglans regia* L. with the lateral type of fruiting in the conditions of the Non-Chernozem region of Central Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024; 1 (3): 22–33. (In Russ.)
11. Kornienko P. S. Comparative analysis states and the spread of walnut in the world, as well as the problems of its cultivation in Russia. *Izvestia of Agricultural Science of Taurida*. 2022; 29 (192): 46–58. (In Russ.)
12. Suprun I. I., Lobodina E. V., Al-Naqib E. A., Avakimyan A. O. Search and evaluation of perspective forms of the walnut growing on the territory of the Krasnodar territory. *Fruit Growing and viticulture of the South of Russia*. 2023; 79 (1): 45–59. (In Russ.)
13. Golyaeva O., Panfilova O., Kalinina O., Okatan, V. Formation when using interspecific crossings in the *Ribesia* subgenus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022: 012038. DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012038. (In Russ.)
14. Dolzhikova M. A., Pikunova A. V., Pavlenko A. A., Golyaeva O. D. DNA certification of foreign red currant cultivars of the VNIISPK bioresource collection using SSR markers. *Contemporary Horticulture*. 2023; 4. DOI: 10.52415/23126701_2023_0401. (In Russ.)
15. Pikunova A., Goryunova S., Goryunov D., Golyaeva O., Dolzhikova M., Pavlenko A. Genetic diversity and pedigree analysis of red currant germplasm. *Plants*. 2022; 11 (13): 1623. DOI: 10.3390/plants11131623.

Authors' information:

Mariya A. Dolzhikova, junior researcher at the laboratory of biochemical genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0002-2641-2172, AuthorID 971277. *E-mail: dolzhikova@orel.vniispk.ru*

Anna V. Pikunova, candidate of biological sciences, senior researcher at the laboratory of biochemical genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0003-4269-4250, AuthorID 750838. *E-mail: pikunova@orel.vniispk.ru*

Anna A. Pavlenko, junior researcher at the Laboratory of biochemical genetics of the department of biotechnology and molecular genetics, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0002-7664-8896, AuthorID 1035311. *E-mail: pavlenko@orel.vniispk.ru*

Olga D. Golyaeva, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the laboratory of currant breeding and variety research, Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina village, Orel region, Russia; ORCID 0000-0003-1106-634X, AuthorID 607472. *E-mail: golyaeva@vniispk.ru*