



Перевод на английский язык <https://vavilov.elpub.ru/jour>

Минеральный состав плодов ремонтантной малины (*Rubus idaeus* L.)

С.М. Мотылева , С.Н. Евдокименко, М.А. Подгаецкий, Т.А. Тумаева, Ю.В. Бурменко, Н.Ю. Свистунова, Д.В. Панищева, И.М. Куликов

Федеральный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства, Москва, Россия
 fncsad@fncsad.ru


Аннотация. В последние годы акцент в селекции малины сместился с агрономических показателей на характеристики, связанные с сенсорными качествами плодов и потенциальной пользой их для здоровья. Терапевтические и профилактические свойства малины обусловлены ее биохимическим составом. В связи с этим целью работы было определение содержания макро- и микроэлементов в плодах различных сортов ремонтантной малины с помощью современных высокотехнологичных аналитических методов и выделение генетических источников анализируемых элементов для дальнейшей селекции. Объектом исследований служили 17 сортов малины ремонтантного типа различного эколого-географического происхождения из генетической биоресурсной коллекции растений ФНЦ Садоводства. Установлено, что в зольном остатке ягод содержатся 12 основных элементов, которые образуют убывающий ряд: $K > P > Mg \geq Mo > Ca > S \geq Ni > Zn > Mn > Se > Fe \geq Co$. Наибольшую долю зольного остатка в плодах малины составляет К. В зависимости от сорта его количество в среднем изменяется от 12.81 мас.% (Самородок и Карамелька) до 22.37 мас.% (Атлант). Минимальное содержание К отмечено в золе сорта Carolina (5.62 мас.%), при этом в ягодах этого сорта выше средних значений накапливаются Mg (2.91), Ca (2.62) и Zn (0.14 мас.%). Среди группы сортов раннего срока созревания высоким содержанием Mo (4.63), Ca (2.19), Fe (0.25) и Co (0.21 мас.%) выделяется сорт Юбилейная Куликова. Сорт Пингвин характеризуется высоким содержанием K (22.65) и Se (0.31 мас.%). Сорт Самородок среднего срока созревания отличается повышенным содержанием P (4.08), S (0.47), Ni (0.51) и Zn (0.26 мас.%). Среди сортов позднего срока созревания по преимущественному накоплению девяти элементов выделяется сорт Poranna Rosa: Mg (2.98), P (4.42), S (0.36), K (20.34), Ca (1.71), Mn (0.14), Co (0.13), Se (0.21) и Mo (3.08 мас.%). Установлены корреляционные связи между элементами. Образцы с наибольшим накоплением макро- и микроэлементов в ягодах являются генетическими источниками для дальнейшей селекции малины на улучшение минерального состава плодов.

Ключевые слова: *Rubus idaeus* L.; сорта; минеральный состав; ягоды; энергодисперсионная спектрометрия.

Для цитирования: Мотылева С.М., Евдокименко С.Н., Подгаецкий М.А., Тумаева Т.А., Бурменко Ю.В., Свистунова Н.Ю., Панищева Д.В., Куликов И.М. Минеральный состав плодов ремонтантной малины (*Rubus idaeus* L.). Вавиловский журнал генетики и селекции. 2022;26(7):622-629. DOI 10.18699/VJGB-22-76

Mineral composition of repair raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruits

S.M. Motyleva , S.N. Evdokimenko, M.A. Podgaetsky, T.A. Tumaeva, Y.V. Burmenko, N.Y. Svistunova, D.V. Panisheva, I.M. Kulikov

Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia
 fncsad@fncsad.ru

Abstract. In recent years, raspberry breeding has shifted its emphasis from agronomic performance to characteristics related to the sensory qualities of the fruit and its potential health benefits. The therapeutic and preventive properties of raspberries are related to their biochemical composition. In this regard, the purpose of the work was to determine the content of macro- and micronutrients in fruits of different cultivars of repair raspberry using modern high-tech analytical methods and the selection of genetic sources of the analyzed elements for further breeding. The objects of the research were 17 cultivars of repair raspberry of different ecological and geographical origin from the genetic plant bioresource collection of FSBSO ARHC BAN. It was found that the ash residue of berries contains 12 major elements, which form the following descending series: $K > P > Mg \geq Mo > Ca > S \geq Ni > Zn > Mn > Se > Fe \geq Co$. The largest proportion of ash residue in raspberry fruits is K. Depending on the cultivar, its quantity averaged from 12.81 wt % (Samorodok and Karamelka) to 22.37 wt % (Atlant). The minimum K content was observed in the ash of the Carolina cultivar (5.62 wt %), while in berries of this cultivar Mg (2.91), Ca (2.62) and Zn (0.14 wt %) accumulated above average. Among the group of early maturing cultivars, the cultivar Yubileynaya Kulikova stands out with a high content of Mo (4.63), Ca (2.19), Fe (0.25) and Co (0.21 wt %). The cultivar Pingvin is characterized by a high content of K (22.65) and Se (0.31 wt %). The medium maturity cultivar Samorodok is characterized by a higher content of P (4.08), S (0.47), Ni (0.51) and Zn (0.26 wt %). Among the late maturing cultivars, the cultivar Poranna Rosa stands out with the preferential accumulation of nine elements: Mg (2.98), P (4.42), S (0.36), K (20.34), Ca (1.71), Mn (0.14), Co (0.13), Se (0.21)

and Mo (3.08 wt %). Correlation relationships between the elements have been established. Samples with the highest accumulation of macro- and microelements in berries represent genetic sources for further selection of raspberry for improvement of the mineral composition of fruits.

Key words: *Rubus idaeus* L.; cultivars; mineral composition; berries; energy dispersive spectrometry.

For citation: Motyleva S.M., Evdokimenko S.N., Podgaetsky M.A., Tumaeva T.A., Burmenko Y.V., Svistunova N.Y., Pansheva D.V., Kulikov I.M. Mineral composition of repair raspberry (*Rubus idaeus* L.) fruits. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(7):622-629. DOI 10.18699/VJGB-22-76

Введение

Малина – одна из самых востребованных ягодных культур в приусадебных хозяйствах и промышленном производстве. В последнее время акцент в селекции малины сместился с агрономических показателей на характеристики, связанные с сенсорными качествами плодов (Jennings et al., 2016) и потенциальной пользой для здоровья (Mazzoni et al., 2016). Одновременно были достигнуты значительные успехи в аналитической химии фруктов. Эти новые инструменты генерируют знания, которые могут значительно ускорить создание новых сортов, отвечающих ожиданиям потребителей с точки зрения сенсорного восприятия и пользы для здоровья от употребления фруктов. Исследования последних лет выявили экологические, биохимические и генетические факторы, лежащие в основе накопления определенных соединений в плодах малины (Kowalenko, 2005; Dresler et al., 2015).

Ягоды малины являются источником биологически активных соединений и минеральных веществ, оказывающих положительное влияние на здоровье человека (Pereira et al., 2018; Egemeeva et al., 2019). Минеральные вещества относятся к жизненно необходимым компонентам питания (микронутриентам) с весьма разнообразными физиологическими функциями. Они исключительно важны в пластических процессах, формировании и построении тканей организма, в частности костей скелета, для поддержания кислотно-щелочного равновесия в организме, создания определенной концентрации ионов водорода в тканях и клетках, межтканевых и межклеточных жидкостях, а также для придания им осмотических свойств, обеспечивающих нормальное протекание обмена веществ. Минеральные элементы обладают антиоксидантными свойствами, участвуют в окислительно-восстановительных процессах, в углеводном, белковом, витаминном и жировом обменах веществ, в формировании костной ткани, иммунобиологических реакциях, регулируют тепло- и газообмен, кроветворение, рост, дыхание, воздействуют на водно-солевой и кислотно-щелочной баланс (Салманов, Истригова, 2004; Nile, Park, 2014; Почицкая и др., 2017; Макуев и др., 2018). Например, железо, являясь незаменимым компонентом крови, участвует в переносе кислорода и окислительном метаболизме (Емельянова, 2001). Кальций нужен для формирования костной и соединительной ткани, для передачи нервных импульсов и сокращения мышц (Erdman et al., 2012). Медь входит в состав ряда важнейших ферментов, нормализует клеточный обмен и катализирует некоторые реакции, необходимые для нормального функционирования мозга и нервной системы. Магний имеет жизненное значение для энергетического метаболизма. Магний и марганец входят в состав ферментов, участвуют в метаболизме углеводов,

аминокислот и холестерина (Ferlemi et al., 2016). Цинк поддерживает оптимальную концентрацию токоферола, играет важную роль в росте и развитии растений, в формировании иммунного ответа, функции нервной системы, содействует абсорбции витамина А (Frassinetti et al., 2006). В профилактике и лечении ассоциированных с возрастом заболеваний применяют антиоксидантные стратегии, основанные на питании, включая добавки антиоксидантов и микроэлементов (Opara, Rockway, 2006).

Значительные межсортные различия в содержании минеральных веществ (Na, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn) были установлены в плодах малины разной окраски (Akimov et al., 2021). Количественный и качественный состав минеральных веществ плодов и ягод зависит от ботанического вида, сорта, почвенных и климатических условий, способов выращивания и т.д. (Нилова и др., 2018). Несмотря на огромную роль микроэлементов, они не получили такого внимания, как витамины, и это может быть связано с относительно узким диапазоном безопасности между дефицитом и токсичностью некоторых микроэлементов.

По мере распространения среди населения знаний о рациональном питании и лечебно-профилактических свойствах плодов и ягод растет и спрос на них, в том числе на малину, который в большинстве своем удовлетворяется за счет ремонтантных сортов (Gambardella et al., 2016; Orzel et al., 2016; Moreno-Medina et al., 2018; Евдокименко, 2020). Несмотря на популярность ремонтантной малины в промышленном производстве, в научной литературе имеются лишь отрывочные сведения о минеральном составе ее плодов. Сравнительные исследования минерального состава ягод ремонтантной малины коллекции ФНЦ Садоводства ранее не проводились. Следовательно, весьма актуальна систематизация содержания макро- и микроэлементов в плодах ремонтантных сортов малины с помощью современных высокотехнологичных аналитических методов и типизация образцов коллекции *Rubus idaeus* L.

Целью нашей работы было определение содержания макро- и микроэлементов в плодах различных сортов ремонтантной малины с использованием современных высокотехнологичных аналитических методов и выделение генетических источников анализируемых элементов для дальнейшей селекции.

Материалы и методы

Исследования проводились в 2021 г. в лаборатории биохимии и физиологии растений ФГБНУ ФНЦ Садоводства. Объектом изучения были плоды 17 ремонтантных сортов малины (*Rubus idaeus* L.) разного эколого-географического происхождения, различающиеся по срокам созревания, окраске и другим хозяйственно-биологическим признакам и свойствам (табл. 1). Малина выращивалась на

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Название образца	Страна-оригинатор	Срок созревания	Окраска плодов
Сорта селекции ФНЦ Садоводства			
Атлант	РФ	Поздний	Темно-красные
Евразия		Средний	»
Жар-Птица		Поздний	Светло-красные
Медвежонок		Ранний	»
Пингвин		»	Темно-красные
Поклон Казакову		Средний	»
Самородок		»	»
Элегантная		»	»
Юбилейная Куликова		Ранний	»
Коллекционные образцы			
Карамелька	РФ	Поздний	Красные
Brice	Великобритания		»
Carolina	США		»
Enrosadira	Италия		»
Erika	Италия		»
Maravilla	США		Светло-красные
Heritage	США		Темно-красные
Poranna Rosa	Польша		Желтые

участке генетической коллекции Кокинского опорного пункта ФНЦ Садоводства (53.154935° с. ш., 34.123027° в. д.) по общепринятой технологии с позднеосенним скашиванием стеблей (Казаков и др., 2016).

Почвы – серые лесные, хорошо окультуренные, средне-суглинистые. Глубина пахотного слоя 26 см, содержание гумуса 3.2 %, P₂O₅ – 35 мг на 100 г почвы, K₂O – 13.5 мг на 100 г почвы, реакция почвенного раствора слабокислая (рН 6.1).

Схема посадки растений на участке однорядная, расстояние между рядами 3 м, между растениями 0.5 м. За сезон проводили одну весеннюю азотную подкормку (35 кг/га д.в.). Междурядья в первую половину вегетации содержали под чистым паром, а после цветения – под естественным залужением.

Репрезентативную пробу зрелых ягод малины средней массой 200 г сушили в сушильном шкафу при температуре 50–60 °С. Высушенные образцы минерализовали в муфельной печи Naberterm (Германия) при температуре 450 °С в соответствии с ГОСТ 26929-94 (2002). Полученную золу диспергировали ультразвуком при частоте 18 кГц в течение 15 мин. Равномерный слой диспергата наносили на предметный столик, покрытый углеродным скотчем.

Химический состав основных 12 элементов золы – Mg, P, S, K, Mn, Co, Fe, Ca, Zn, Ni, Se и Mo – определяли методом энергодисперсионной спектроскопии (EDS) на аналитическом растровом электронном микроскопе JEOL JSM 6090 LA в соответствии с методикой (Мотылева, 2018). Разрешение микроскопа 4 нм, ускоряющее напряжение 20 кВ (изображение вторичных электронов). Рабочее расстояние при проведении элементного анализа

составляло 10 мм. Данные энергодисперсионного микроанализа были представлены в соответствии со стандартными протоколами и включали изображения микроструктур исследуемого образца, таблицу весовых данных и спектральные линии диагностируемых элементов. Пример отчета анализа показан на рис. 1.

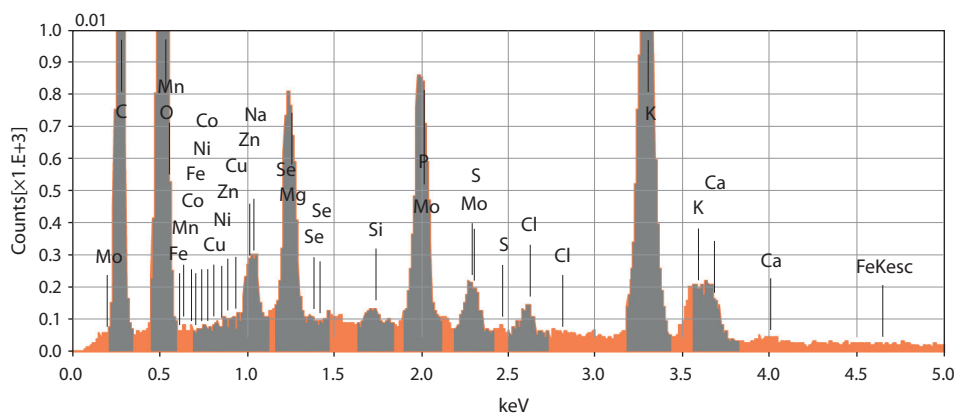
Концентрацию искомых элементов определяли по интенсивности спектральных линий. Точность химического анализа устанавливали следующим образом: при концентрации элементов от 1 до 5 % точность составляла менее 10 %; при концентрации от 5 до 10 % – менее 5 %; при концентрации элементов более 10 % – менее 2 %. Всего было исследовано по 10 участков каждого образца. Локальный анализ составлял 3 мм, а площадь сканирования – не менее 12 мкм.

Результаты были выражены как средние значения ($n = 10$) со стандартным отклонением (SD). Мы использовали статистический анализ пакета Excel (Microsoft Excel, v. 2016).

Результаты и обсуждение

Известно, что малина богата минералами (Pereira et al., 2018). Было идентифицировано 12 основных элементов, которые образуют убывающий ряд: K > P > Mg ≥ Mo > Ca > S ≥ Ni > Zn > Mn > Se > Fe ≥ Co. Среди макроэлементов самую высокую концентрацию имел K, что наблюдается также в плодах других ягодных культур – актинидии, ежевики, земляники, голубики (Motyleva et al., 2017; Pereira et al., 2018).

Наибольшее значение K (от 20.34 до 22.65 мас.%) накапливалось в шести сортообразцах – Poranna Rosa, Юбилейная Куликова, Жар-Птица, Erika, Атлант и Пингвин.



Element	keV	mass %	Error %
Mg K	1.253	3.42	0.31
Mn K	5.486	2.16	0.24
S K	1.739	0.48	0.25
P K	2.013	1.02	0.30
K K	3.312	23.89	0.11
Ca K	3.690	1.80	0.15
Ni K	4.508	0.64	0.22
Fe K	6.398	0.23	0.28

Рис. 1. Результаты представления ЭДС-анализа. Спектральные линии диагностируемых элементов и таблица результатов.

keV – энергия рентгеновского излучения K-уровня; mass % – весовая часть элемента; Error % – ошибка определения, регистрируемая прибором.

Таблица 2. Содержание калия в образцах *Rubus idaeus* L., мас.% в золе

Сорт	K, мас.%	max	min	SD	V, %	Сорт	K, мас.%	max	min	SD	V, %
Раннего срока созревания						Позднего срока созревания					
Пингвин	22.65	23.75	22.16	0.531	2.344	Жар-Птица	21.88	22.88	20.31	0.756	3.454
Юбилейная Куликова	21.17	22.45	19.28	1.097	5.192	Атлант	22.39	23.24	21.08	0.669	2.987
Медвежонок	15.91	16.88	14.11	0.791	4.978	Карамелька	12.81	14.01	12.15	0.603	4.694
Среднее	19.91					Brice	19.08	20.21	17.33	0.967	5.069
Среднего срока созревания						Carolina	5.62	16.61	14.88	0.658	4.207
Элегантная	16.81	17.98	15.384	0.601	3.582	Poranna Rosa	20.34	22.38	19.25	0.894	4.398
Самородок	12.81	13.44	12.08	0.486	3.807	Erika	22.25	23.41	21.89	0.571	5.707
Поклон Казакову	17.18	18.21	16.42	0.468	2.721	Enrosadira	16.78	17.54	15.38	0.750	4.469
Евразия	16.93	17.41	16.32	0.359	2.121	Maravilla	14.71	17.31	13.22	1.097	7.233
Среднее	15.93					Heritage	17.37	18.34	16.23	0.781	5.079
						Среднее	18.62				

Примечание. Среднее из 10 измерений ± SD (стандартное отклонение); V – коэффициент вариации.

Наименьшее содержание калия (5.62 мас.%) отмечено в плодах сорта Carolina (табл. 2). В ягодах малины раннего и позднего сроков созревания наблюдалось более высокое накопление K (на 3–4 %), что может быть связано с генотипом сортов.

Выявлены различия накопления калия в ягодах малины, различающихся по окраске плодов. В ягодах темноокрашенных и красных сортов среднее содержание K было равно 18.22 и 15.91 мас.% соответственно. В светлоокрашенных ягодах (всего три сорта) количество K составляло от 14.71 (Maravilla) до 21.88 (Жар-Птица), в желтоокрашенных – 20.34 мас.% (Poranna Rosa). М.Ю. Акимов с коллегами (Акимов et al., 2021) упоминают также о высоком содержании K в желтоокрашенных ягодах сорта Желтый Гигант. Содержание K в ягодах малины сортов отечественной и зарубежной селекции в среднем составляет 18.28 и 16.54 мас.% соответственно. Однако выявленные различия

накопления калия в зависимости от цвета ягоды требуют дальнейших сравнительных исследований на большем количестве сортов. Коэффициент вариации калия низкий (V = 2.121–5.707 %), что свидетельствует о стабильном поступлении этого элемента в ягоды малины. В организме человека калий необходим для работы сердечной мышцы, поддержания кислотно-щелочного и водного баланса. В ионной форме калий повышает концентрацию других ионов и находится во всех органах человека (Meathnis et al., 1997).

Сравнительное содержание макроэлементов P, Mg и Ca в ягодах малины представлено на рис. 2.

Содержание фосфора в ягодах малины варьирует от 1.59 мас.% (Поклон Казакову) до 5.19 мас.% (Enrosadira). В зависимости от срока созревания среднее содержание P составляет 4.29 мас.% для сортов раннего срока созревания, 3.27 – среднего, 4.81 мас.% – позднего срока созре-

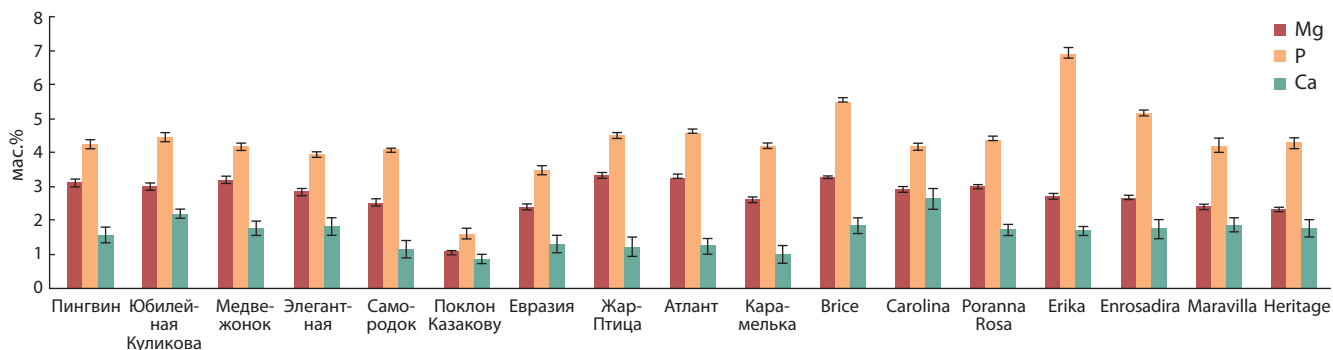


Рис. 2. Содержание Mg, P и Ca в ягодах *Rubus idaeus* L.

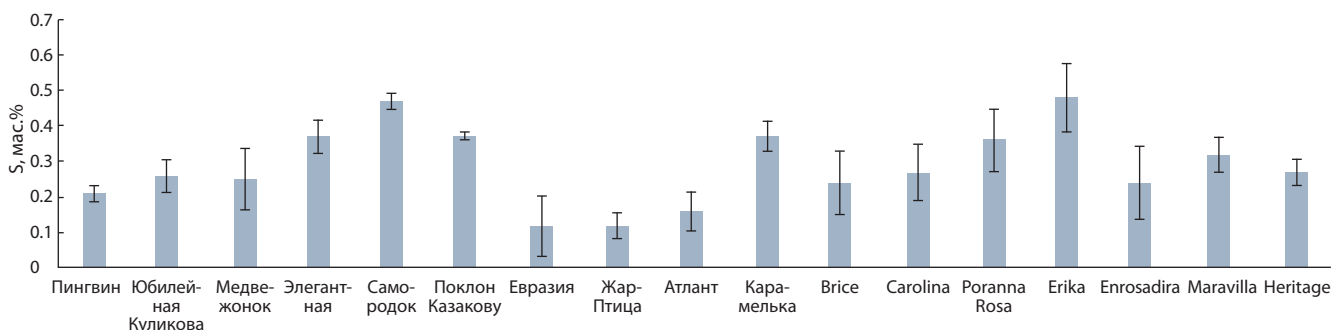


Рис. 3. Содержание S в ягодах *Rubus idaeus* L.

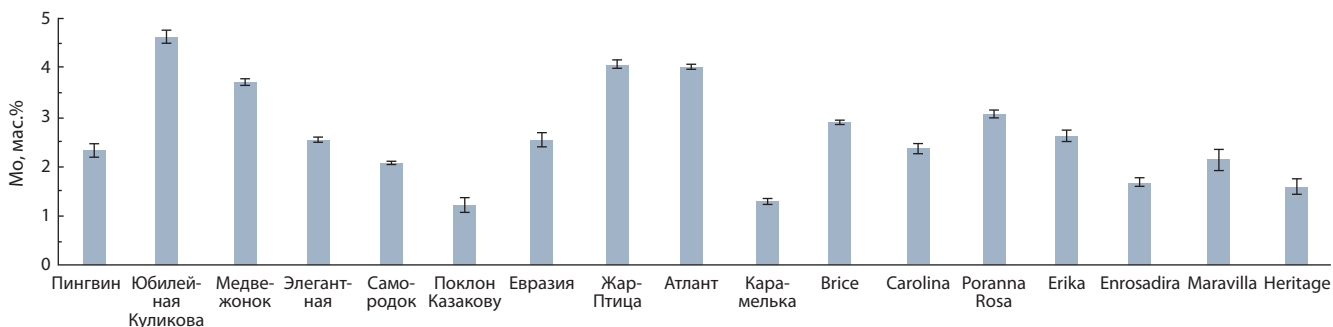


Рис. 4. Содержание Mo в ягодах *Rubus idaeus* L.

вания. Различия статистически значимы при $p \leq 0.05$. В ягодах сортов зарубежной селекции содержание P в среднем на 1.5–2.0 % выше, чем в ягодах отечественных сортов. Фосфор принимает участие во многих физиологических процессах, включая энергетический обмен (в виде АТФ), в регуляции кислотно-щелочного баланса, входит в состав фосфолипидов, нуклеотидов, нуклеиновых кислот, необходим для минерализации костной ткани (Авцын и др., 1991).

Различия в содержании Mg в ягодах малины менее выражены, чем P: от 1.05 мас.% (Поклон Казакову) до 3.31 мас.% (Жар-Птица). При этом существенной зависимости от цвета ягод и происхождения не установлено. В организме человека магний является коактором многих ферментов, в том числе энергетического метаболизма, принимает участие в синтезе белков, необходим для поддержки гомеостаза (Авцын и др., 1991).

Ионы кальция участвуют в процессах свертывания крови и обеспечении постоянного осмотического давления, в процессах роста и развития клеток. Кальций входит в состав ферментов, влияет на обмен веществ и иммунитет (Gins et al., 2018). По данным (Jeong et al., 2008), основными элементами в ягодах малины являются K, P и Ca.

Содержание серы в ягодах малины колеблется от 0.12–0.16 мас.% (Евразия, Жар-Птица и Атлант) до 0.26–0.48 мас.% (Юбилейная Куликова, Carolina, Erika, Самородок) (рис. 3).

В ягодах малины определена группа микроэлементов: Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Se, Mo. По результатам наших исследований Mo сопоставимы с концентрациями Ca и варьируют от 1.29 мас.% (Поклон Казакову и Карамелька) до 4.63 мас.% (Юбилейная Куликова) (рис. 4). Высоким содержанием Mo выделяются сорта Атлант и Жар-Птица – 4.01 и 4.07 мас.% соответственно.

Микроэлементы Zn, Fe, Se и Co присутствуют в ягодах малины в количестве не более 0.35 мас.%. Самое высокое содержание Se (от 0.27 до 0.31 мас.%) отмечено для ягод сортов Brice, Жар-Птица, Атлант и Медвежонок, самое низкое (0.04 мас.%) – для сортов Поклон Казакову, Enrosadira и Maravilla (рис. 5). Содержание цинка колеблется от 0.06 (Enrosadira) до 0.25 мас.% (Heritage и Самородок).

Профили накопления Fe и Co в зольном остатке плодов малины совпадают. Максимальное накопление этих элементов наблюдалось в ягодах сорта Юбилейная Куликова (0.25 и 0.20 мас.% соответственно) и Enrosadira и Brice (0.18 и 0.19–0.13 мас.%). Среднее значение Fe (от 0.11 до 0.15 мас.%) выявлено в ягодах сортов Карамелька, Maravilla, Heritage, Евразия.

Доля Se в ягодах малины большинства сортов составляет от 0.13 до 0.31 мас.%. Максимальное содержание этого микроэлемента обнаружено в малине сортов Пингвин, Медвежонок, Элегантная, Атлант, Жар-Птица и Brice, минимальное (0.4 мас.%) – в ягодах сортов Enrosadira, Maravilla и Поклон Казакову. Среди сортов с высокой плотностью ягоды выделяется Атлант, в зольном остатке которого содержание K, Mn, Fe, Se и Mo в 1.3, 1.5, 3.8, 1.8 и 1.6 раза больше, чем в ягодах других сортов позднего срока созревания. Имеются сведения, что увеличение содержания Se в продуктах питания в Финляндии обусловлено использованием удобрений с добавлением селена (Ekholm et al., 2007).

Калий, магний, кальций, железо, цинк и марганец отмечены как основные элементы в красной малине сорта Willamette (Dragišić Maksimović et al., 2017). Известно, что Zn и другие элементы из группы тяжелых металлов обладают антимикробным действием (Daglia et al., 2011). Три ключевых микроэлемента, значение которых в антиоксидантной защите привлекает все большее внимание, – это цинк, селен и железо. За последние двадцать лет накоплено множество доказательств о роли этих элементов в качестве клеточных антиоксидантов (Powell, 2000). Одним из путей, по которым цинк действует как антиоксидант, является индукция металлотионеинов. Было показано, что металлотионеины поглощают свободные радикалы и связывают некоторые оксиданты (DiSilvestro, 2000). Селен – эссенциальный элемент антиоксидантной системы защиты организма человека, обладает иммуномо-

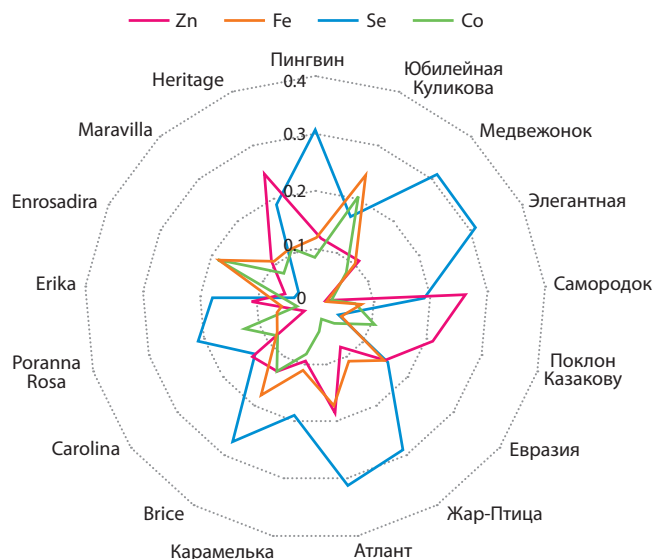


Рис. 5. Содержание микроэлементов (Zn, Fe, Se, Co) в ягодах *Rubus idaeus* L., мас.%.

дулирующим действием, участвует в регуляции действия тиреоидных гормонов (Гигиена питания..., 2021).

В плодах малины всех образцов обнаружено достаточно высокое, незначительно изменяющееся в зависимости от генотипа содержание Ni, которое варьирует от 0.35–0.38 мас.% (Поклон Казакову, Карамелька, Евразия, Poranna Rosa) до 0.44–0.58 и 0.76 мас.% (Пингвин, Юбилейная Куликова, Медвежонок, Brice и Heritage) (рис. 6). Никель – переходный элемент, широко распространенный в окружающей среде, воздухе, воде и почве. Его накопление происходит из природных источников и может быть обусловлено антропогенной деятельностью. Хотя никель повсеместно присутствует в окружающей среде, его функциональная роль как микроэлемента для животных и человека еще не признана. Фитоэкстракция этого элемента зависит от уровня его концентрации в почве (Nordberg et al., 2007; Genchi et al., 2020).

По суммарному содержанию элементов в золе плодов выделяются сорта: Пингвин, Юбилейная Куликова, Медвежонок, Элегантная, Жар-Птица, Атлант, Brice, Poranna Rosa, Erika, Enrosadira и Heritage, в зольном остатке которых найдено 29–37 мас.% определяемых элементов.

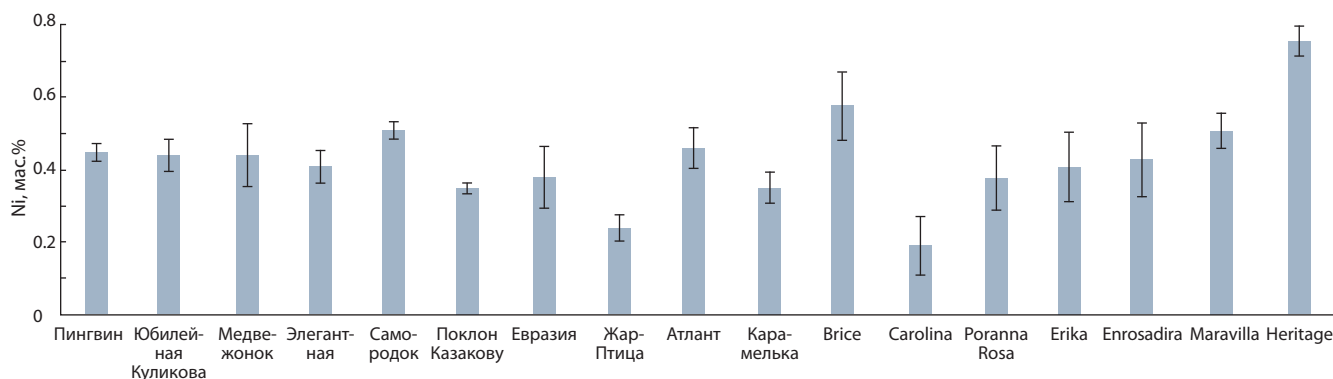


Рис. 6. Содержание Ni в ягодах *Rubus idaeus* L.

Таблица 3. Корреляционная матрица минерального (зольного) состава ягод *Rubus idaeus* L.

Элемент	Mg	P	S	Ca	Mn	Fe	Co	Ni	Zn	Se
P	0.5926									
S	0.9306*	0.6698*								
Ca	0.4576	0.0736	0.4517							
Mn	0.5355	0.3277	0.5651	0.6195*						
Fe	0.3355	0.2926	0.4719	0.3917	0.2771					
Co	0.1358	0.2949	0.9603*	0.8577*	-0.2391	0.6282*				
Ni	0.0501	0.2359	0.1558	0.4839	0.0484	0.4318	0.4309			
Zn	0.3417	0.1561	-0.3505	-0.2119	0.5241	0.4884	0.2198	0.4935		
Se	0.8587*	0.4229	0.7237*	0.6435*	0.4841	0.0584	0.5002	0.0085	0.4061	
Mo	0.4008	0.7075*	0.6786*	0.0087	0.3279	0.6449*	0.2617	0.2835	0.2312	0.1605

* Значимо при $p < 0.05$.

Корреляционный анализ позволяет выявить взаимосвязь между минеральными элементами (табл. 3). Самая высокая корреляция установлена для S–Mg ($r = 0.9603$), Co–S ($r = 0.9603$), Se–Mg ($r = 0.8587$) и Co–Ca ($r = 0.8577$). Средняя корреляция ($r = 0.61–0.73$) найдена между S–P, Mn–Ca, Co–Fe, Se–Ca, Se–S, Mo–S, Mo–P и Mo–Fe. Низкая корреляция ($r = 0.41–0.55$) отмечена между элементами: Ca–S, Mn–S, Fe–S, Ni–Co, Zn–Mn, Fe–Mg и Mo–Mg. Между элементами Se–Ni и Mo–Ca корреляция практически отсутствовала ($r = 0.0085–0.0087$).

Заключение

В плодах ремонтантной малины выявлено 12 минеральных элементов, содержание которых варьирует в зависимости от генотипа.

Генетическими источниками высокого суммарного накопления макро- и микроэлементов в ягодах являются сорта Пингвин, Юбилейная Куликова, Медвежонок, Элегантная, Жар-Птица, Атлант, Brice, Poranna Rosa, Erika, Enrosadira и Heritage.

В качестве источников повышенного содержания Mg, Mo и Se предлагается использовать в селекции сорта Медвежонок, Жар-Птица и Атлант, накопления Ca, Mo, Fe – сорт Юбилейная Куликова, повышенного содержания Zn – сорта Heritage, Самородок и Атлант.

Список литературы / References

Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. М., 1991.
[Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. Human Microelementoses. Moscow, 1991. (in Russian)]
Гигиена питания. Рациональное питание. В: Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021). М., 2021.
[Nutrition hygiene: Sound nutrition. In: Physiological standards of energy and nutrients for various population groups in the Russian Federation: methodic guidelines MR 2.3.1.0253-21. Approved by the Russia's Chief Public Health Officer July 22, 2021. Moscow, 2021. (in Russian)]

ГОСТ 26929-94. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
[GOST 26929-94. Raw material and food-stuffs. Preparation of samples. Decomposition of organic matters for analysis of toxic elements. Moscow, 2002. (in Russian)]
Евдокименко С.Н. Поиск и создание родительских форм малины ремонтантного типа для совершенствования ее сортимента. *Сад-оводство и виноградарство*. 2020;1:10-16. DOI 10.31676/0235-2591-2020-1-10-16.
[Evdokimenko S.N. Search and creation of parental forms of primocane raspberry to improve its assortment. *Sadovodstvo i Vиноградarstvo = Horticulture and Viticulture*. 2020;1:10-16. DOI 10.31676/0235-2591-2020-1-10-16. (in Russian)]
Емельянова Т.П. Витамины и минеральные вещества: полная энциклопедия. СПб., 2001.
[Emel'yanova T.P. Vitamins and Minerals: A complete encyclopedia. St. Petersburg, 2001. (in Russian)]
Казakov И.В., Айтжанова С.Д., Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф., Кулагина В.Л., Андронova Н.В. Ягодные культуры в Центральном регионе России. М., 2016.
[Kazakov I.V., Aitzhanova S.D., Evdokimenko S.N., Sazonov F.F., Kulagina V.L., Andronova N.V. Small Fruit Crops in Central Russia. Moscow, 2016. (in Russian)]
Макуев Г.А., Омаров Ш.К., Раджабова Г.Б. Минеральный состав ягод перспективных сортов винограда зарубежной селекции в условиях южного Дагестана. *Международ. науч.-исслед. журн.* 2018;67(1-2):100-103. DOI 10.23670/IRJ.2018.67.078.
[Makuev G.A., Omarov Sh.K., Radzhabova G.B. Mineral composition of berries of perspective grape varieties of foreign selection in the conditions of southern Dagestan. *Mezhdunarodnyj Nauchno-Issledovatel'skij Zhurnal = International Research Journal*. 2018;67(1-2):100-103. DOI 10.23670/IRJ.2018.67.078. (in Russian)]
Мотылева С.М. Методические рекомендации по выполнению анализа зольных элементов и минеральных включений в органах растений методом энергодисперсионной спектроскопии на аналитическом РЭМ. М.; Саратов, 2018.
[Motyleva S.M. Guidelines for the analysis of ash elements and mineral inclusions in plant organs by energy dispersive spectrometry on an analytical SEM. Moscow; Saratov, 2018. (in Russian)]
Нилова Л.П., Икрамов П.А., Малютенкова С.М., Верякина А.С. Исследование минерального состава в процессе переработки дикорастущих ягод. *Вестн. ВГУИТ*. 2018;80(1):151-156. DOI 10.20914/2310-1202-2018-1-151-156.

- [Nilova L.P., Ikramov R.A., Malyutenkova S.M., Veryaskina A.S. Investigation of mineral composition during processing of wild berries. *Vestnik Voronežskogo Gosudarstvennogo Universiteta Inženernyh Tehnologij = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2018;80(1):151-156. DOI 10.20914/2310-1202-2018-1-151-156. (in Russian)]
- Почицкая И.М., Комарова Н.В., Коваленко Е.И. Исследование антиоксидантной активности и минерального состава ягодного сырья. *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2017;1: 68-75.
- [Pochitskaya I.M., Komarova N.V., Kovalenko E.I. Study of antioxidant activity and mineral composition of berry raw material. *Piševāā Promyšlennost': Nauka i Tehnologii = Food Industry: Science and Technology*. 2017;1:68-75. (in Russian)]
- Салманов М.М., Истригова Т.А. Минеральный состав винограда. *Изв. вузов. Пищевая технология*. 2004;1:57-59.
- [Salmanov M.M., Istrigova T.A. The mineral composition of grapes. *Izvestiya Vuzov. Pishchevaya Tekhnologiya = Izvestiya Vuzov. Food Technology*. 2004;1:57-59. (in Russian)]
- Akimov M.Yu., Koltsov V.A., Zhanova E.V., Akimov O.M. Nutritional value of promising raspberry varieties. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;640:022078. DOI 10.1088/1755-1315/640/2/022078.
- Daglia M., Papetti A., Mascherpa D., Grisoli P., Giusto G., Lingström P., Pratten J., Signoretto C., Spratt D.A., Wilson M., Zaura E., Gazzani G. Plant and fungal food components with potential activity on the development of microbial oral diseases. *J. Biomed. Biotechnol.* 2011;2011:274578. DOI 10.1155/2011/274578.
- DiSilvestro R.A. Zinc in relation to diabetes and oxidative stress. *J. Nutr.* 2000;130(5):1509S-1511S. DOI 10.1093/jn/130.5.1509S.
- Dragišić Maksimović J.J., Poledica M.M., Radivojević D.D., Mili-vojević J.M. Enzymatic profile of 'Willamette' raspberry leaf and fruit affected by prohexadione-Ca and young canes removal treatments. *J. Agric. Food Chem.* 2017;65(24):5034-5040. DOI 10.1021/acs.jafc.7b00638.
- Dresler S., Bednarek W., Tkaczyk P., Hawrylak-Nowak B. Estimation of the macro- and micronutrient status of raspberries grown in the Lublin region. *Folia Horti.* 2015;27(1):53-62. DOI 10.1515/fhort-2015-0014.
- Ekholma P., Reinivuob H., Mattilac P., Pakkalab H., Koponend J., Happonend A., Hellström J., Ovaskainen M.L. Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. *J. Food Compos. Anal.* 2007;20(6):487-495. DOI 10.1016/j.jfca.2007.02.007.
- Erdman J.W., Macdonald I.A., Zeisel S.H. (Eds.) Present Knowledge in Nutrition. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. DOI 10.1002/9781119946045.
- Eremeeva N., Makarova N., Zhidkova E., Maximova V., Lesova E. Ul-trasonic and microwave activation of raspberry extract: antioxidant and anti-carcinogenic properties. *Foods Raw Mater.* 2019;7(2):264-273. DOI 10.21603/2308-4057-2019-2-264-273.
- Ferlemi A.-V., Makri O.E., Mermigki P.G., Lamari F.N., Georgakopoulos C.D. Quercetin glycosides and chlorogenic acid in high bush blueberry leaf decoction prevent cataractogenesis *in vivo* and *in vitro*: investigation of the effect on calpains, antioxidant and metal chelating properties. *Exp. Eye Res.* 2016;145:258-268. DOI 10.1016/j.exer.2016.01.012.
- Frassinetti S., Bronzetti G.L., Caltavuturo L., Cini M., Croce C.D. The role of zinc in life: a review. *J. Environ. Pathol. Toxicol. Oncol.* 2006;25(3):597-610. DOI 10.1615/jenvironpatholtoxiconcol.v25.i3.40.
- Gambardella M., Contreras E., Alcalde J., Neri D. Phenotyping primocane fruiting trait in raspberry (*Rubus idaeus*). *Acta Horti.* 2016; 1133:67-74. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1133.11.
- Genchi G., Carocci A., Lauria G., Sinicropi M.S., Catalano A. Nickel: human health and environmental toxicology. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020;17(3):679. DOI 10.3390/ijerph17030679.
- Gins M., Gins V., Motyleva S., Kulikov I., Medvedev S., Kononkov P., Pivovarov V. Mineral composition of amaranth (*Amaranthus* L.) seeds of vegetable and grain usage by arhivbsp selection. *Potravinarstvo Slovak J. Food Sci.* 2018;12(1):330-336. DOI 10.5219/863.
- Jennings S.N., Graham J., Ferguson L., Young V. New developments in raspberry breeding in Scotland. *Acta Horti.* 2016;1133:23-28. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1133.4.
- Jeong C.-H., Choi S.-G., Heo H.-J. Analysis of nutritional compositions and antioxidative activities of Korean commercial blueberry and raspberry. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 2008;37(11):1375-1381. DOI 10.3746/jkfn.2008.37.11.1375.
- Kowalenko C.G. Accumulation and distribution of micronutrients in Willamette red raspberry plants. *Can. J. Plant Sci.* 2005;85(1):179-191. DOI 10.4141/P03-107.
- Mazzoni L., Perez-Lopez P., Giampieri F., Alvarez-Suarez J.M., Gasparini M., Forbes-Hernandez T.Y., Quiles J.L., Mezzetti B., Battino M. The genetic aspects of berries: from field to health. *J. Sci. Food Agric.* 2016;96(2):365-371. DOI 10.1002/jsfa.7216.
- Meathnis F.G., Ichida A.M., Sanders D., Schroeder J.I. Roles of higher plant K⁺ channels. *Plant Physiol.* 1997;114(4):1141-1149. DOI 10.1104/pp.114.4.1141.
- Moreno-Medina B.L., Casiera-Posada F., Cutler J. Phytochemical composition and potential use of *Rubus* species. *Gesunde Pflanzen.* 2018;70(2):65-74. DOI 10.1007/s10343-018-0416-1.
- Motyleva S.M., Kulikov I.M., Marchenko L.A. EDS analysis for fruit *Prunus* elemental composition determination. *Mater. Sci. Forum.* 2017;888:314-318. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.888.314.
- Nile S.H., Park S.W. Edible berries: bioactive components and their effect on human health. *Nutrition.* 2014;30(2):134-144. DOI 10.1016/j.nut.2013.04.007.
- Nordberg G.F., Fowler B.A., Nordberg M., Friberg L.T. (Eds.) Handbook on the Toxicology of Metals. Acad. Press, 2007. DOI 10.1016/B978-0-12-369413-3.X5052-6.
- Opara E.C., Rockway S.W. Antioxidants and micronutrients. *Disease-A-Month.* 2006;52(4):151-163. DOI 10.1016/j.disamont.2006.05.002.
- Orzeł A., Simlat M., Danek J. Directions in raspberry and blackberry breeding program conducted in NIWA Berry Breeding Ltd., Brzezna, Poland. *Acta Horti.* 2016;1133:9-34. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1133.5.
- Pereira C.C., Silva E.N., Souza A.O., Vieira M.A., Ribeiro A.S., Cadore S. Evaluation of the bioaccessibility of minerals from blackberries, raspberries, blueberries and strawberries. *J. Food Compos. Anal.* 2018;68:73-78. DOI 10.1016/j.jfca.2016.12.001.
- Powell S.R. The antioxidant properties of zinc. *J. Nutr.* 2000;130: 1447S-1454S. DOI 10.1093/jn/130.5.1447S.

ORCID ID

S.M. Motyleva orcid.org/0000-0003-3399-1958
S.N. Evdokimenko orcid.org/0000-0001-9187-7593
M.A. Podgaetsky orcid.org/0000-0002-0289-1092
T.A. Tumaeva orcid.org/0000-0002-9256-0798

Y.V. Burmenko orcid.org/0000-0002-6172-9597
N.Y. Svistunova orcid.org/0000-0001-7334-9615
D.V. Panischeva orcid.org/0000-0002-0548-0192
I.M. Kulikov orcid.org/0000-0001-8071-0931

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Минобрнауки России «Национальная сетевая коллекция генетических ресурсов растений для эффективного научно-технологического развития РФ в сфере генетических технологий» по соглашению № 075-15-2021-1050 от 28.09.2021.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.06.2022. После доработки 05.08.2022. Принята к публикации 05.08.2022.