

УДК 581.192:634.722

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЯГОД ВИДОВ И МЕЖВИДОВЫХ ГИБРИДОВ КРАСНОЙ СМОРОДИНЫ В УСЛОВИЯХ КУЛЬТУРЫ

© А.Б. Горбунов*, Т.А. Кукушкина

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская,
101, Новосибирск, 630090 (Россия), e-mail: gab_2002ru@ngs.ru

Красная смородина – ценное пищевое и лекарственное растение, широко используется в промышленном и любительском садоводстве.

Целью данной работы является обобщение результатов многолетних исследований химического состава плодов дикорастущих видов и естественных межвидовых гибридов красной смородины разного географического происхождения и оценка возможности использования отборных форм для получения межвидовых гибридов.

Проведены биохимические исследования сухого вещества, аскорбиновой кислоты, сахаров, кислот, антоцианов, катехинов, пектинов и протопектинов в ягодах красной смородины. Анализы химического состава проводились по общепринятым методикам.

Установлены уровни изменчивости 8 биохимических признаков плодов красных смородин в зависимости от условий года и показано, что наиболее стабильным биохимическим признаком является содержание в ягодах сухого вещества, а самым изменчивым – содержание катехинов. В плодах салаирской смородины темно-пурпуровой по сравнению с горноалтайской накапливается больше аскорбиновой кислоты. По комплексу биохимических признаков наибольший интерес для интродукции и селекции представляют смородина темно-пурпуровая и гибрид *S.* темно-пурпуровой со *S.* высочайшей, а по содержанию сухого вещества, сахаров и катехинов – гибрид *S.* темно-пурпуровой со *S.* обыкновенной. Отборные формы являются источниками 1–5 выдающихся биохимических признаков и перспективны для использования в селекции. Созданные в ЦСБС межвидовые гибриды красной смородины с использованием отборных форм свидетельствуют о возможности получения высокоурожайных, крупноплодных с высоким содержанием в ягодах биологически активных веществ сортов.

Ключевые слова: красная смородина, отборные формы, сухое вещество, аскорбиновая кислота, сахара, кислотность, антоцианы, катехины, протопектины и пектины.

Работа выполнена в рамках государственного задания Центрального сибирского ботанического сада СО РАН по проекту АААА-А17-117012610054-6 «Анализ внутривидовой структуры ресурсных растений Азиатской России, отбор и сохранение генофонда». При подготовке публикации использовались материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекция живых растений в открытом и закрытом грунте», УНУ № USU 440534.

Введение

Красная смородина как пищевое растение широко используется для промышленного выращивания в США, Канаде, Польше, Германии, Венгрии, Франции, Голландии, Бельгии и для любительского садоводства в России, в том числе и в Сибири. Из дикорастущих в Сибири красных смородин для интродукции и селекции наибольший интерес по комплексу морфобиологических и биохимических признаков представляют смородина темно-пурпуровая – *Ribes atropurpureum* С.А.Мeyer, *S.* щетинистая – *R. hispidulum* (Jancz.) Pojark. и их естественные межвидовые гибриды [1]. В ягодах этих видов содержатся сахара, органические кислоты, витамины Н (биотин), В9 (фолиевая кислота), С (аскорбиновая кислота) и Р (водорастворимые биофлавоноиды) и

Горбунов Алексей Борисович – и.о. заведующего лабораторией, ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук, доцент, e-mail: gab_2002ru@ngs.ru
Кукушкина Татьяна Абдулхаировна – ведущий научный сотрудник, e-mail: kukushkina-phyto@yandex.ru

пектиновые вещества, что свидетельствует о перспективности их использования в качестве источников адаптогенов [2].

Из районированных в Сибири сортов известен лишь один, Обской закат, полученный в результате

* Автор, с которым следует вести переписку.

скрещивания *S.* обыкновенной (*R. vulgare*. Lam.), сорт Красный крест, с отобранной в природе алтайской формой смородины темно-пурпуровой [3].

В ЦСБС в результате многолетнего изучения (1961–2017 гг.) дикорастущих красных смородин Салаирского края и Горного Алтая по комплексу морфобиологических и биохимических признаков отобрано 19 перспективных для интродукции и селекции форм, в том числе 12 *S.* темно-пурпуровой, 3 *S.* щетинистой, 2 формы межвидового гибрида *S.* темно-пурпуровой со *S.* обыкновенной (*Ribes atropurpureum* × *R. vulgare*) и по 1 форме гибридов *S.* темно-пурпуровой со *S.* высочайшей (*Ribes atropurpureum* × *R. altissimum*) и *S.* темно-пурпуровой со *S.* щетинистой (*Ribes atropurpureum* × *R. hispidulum*) [4].

Анализ биохимических признаков ягод 52 интродуцированных образцов смородины темно-пурпуровой, собранных на профиле север – юг, от Салаирского края в Новосибирской области до Ябоганского перевала в Горном Алтае, не выявил четких закономерностей экологической и географической изменчивости химического состава плодов [5]. По биохимическим признакам *S.* темно-пурпуровая, *S.* щетинистая и гибрид *S.* темно-пурпуровой со *S.* высочайшей близки [4–6], но в плодах гибрида содержится существенно больше антоцианов (до 0.35%), чем в ягодах *S.* темно-пурпуровой (до 0.08%) и особенно гибридов *S.* темно-пурпуровой со *S.* щетинистой (до 0.04%), *S.* темно-пурпуровой со *S.* обыкновенной (до 0.03%) и *S.* щетинистой (до 0.04%). В ягодах гибрида смородины темно-пурпуровой со *S.* обыкновенной и *S.* щетинистой накапливалось меньше аскорбиновой кислоты (соответственно до 34.40 и 34.35 мг%). Больше всего ее было у *S.* темно-пурпуровой (до 52.99 мг%) и гибрида *S.* темно-пурпуровой со *S.* высочайшей (до 48.58 мг%). Сахаров больше накапливалось в ягодах гибрида *S.* темно-пурпуровой со *S.* обыкновенной (до 7.15%), *S.* щетинистой (до 6.95%) и отдельных форм *S.* темно-пурпуровой (до 6.35%). Самая высокая кислотность отмечена у ягод смородины темно-пурпуровой (до 6.72%), а самая низкая – у гибрида *S.* темно-пурпуровой со *S.* обыкновенной (до 3.56%).

Из изученных образцов отобраны 23 перспективные для интродукции и селекции формы смородины темно-пурпуровой и по 2 формы гибрида *S.* темно-пурпуровой со *S.* высочайшей и *S.* щетинистой, характеризующиеся крупными с высоким содержанием биологически активных веществ ягодами [5].

Среди них особого внимания заслуживают 5 форм: смородина темно-пурпуровая – I-1-19, отличающаяся хорошим вкусом, сладкими ягодами (6.64% сахаров) с высоким содержанием аскорбиновой кислоты (50.76 мг%), растворимого пектина (0.15%) и протопектина (0.23%); *S.* темно-пурпуровая I-1-7 – с хорошим вкусом, высоким содержанием сахаров (7.13%) и антоцианов (0.08%); гибрид *S.* темно-пурпуровой со *S.* высочайшей I-2-7 (IV-13-44) – с высоким содержанием антоцианов (0.26%) и аскорбиновой кислоты (40.33 мг%); форма *S.* щетинистой I-1-29 – с высоким содержанием сахаров (5.22%), аскорбиновой кислоты (33.97 мг%) и катехинов (0.04%); форма *S.* щетинистой I-2-20 – с вкусными ягодами, высоким содержанием сахаров (6.93%), аскорбиновой кислоты (34.35 мг%), растворимых пектинов (0.20%) и протопектинов (0.37%).

В результате исследований в 2005–2018 гг. [1, 4–8] по высокому содержанию в ягодах тех или иных веществ выделены, помимо перечисленных выше, перспективные для интродукции и селекции формы: I-1-3, I-1-9, III-6-19, III-6-22 и III-6-23 (сахара), I-2-6 (антоцианы, аскорбиновая кислота и сахара), II-1-11 (сахара, аскорбиновая кислота и катехины), I-2-13 (сахара, протопектин и аскорбиновая кислота), I-2-22 (аскорбиновая кислота и антоцианы), III-1-30 (сахара, аскорбиновая кислота, антоцианы и катехины), III-6-14 (растворимый пектин и протопектин), I-2-12 (антоцианы и аскорбиновая кислота), I-2-26 (аскорбиновая кислота).

В связи с тем, что по химическому составу ягод в разные годы оценивалось разное число отборных форм, возникла необходимость обобщить полученные сведения.

Цель данной работы – обобщение результатов многолетних исследований химического состава плодов дикорастущих видов и естественных межвидовых гибридов красной смородины разного географического происхождения и оценка возможности использования отборных форм для получения межвидовых гибридов.

Экспериментальная часть

В экспериментах использовали вызревшие плоды дикорастущих видов и естественных гибридов красной смородины из природных условий Салаирского края, Буготакских сопков и Горного Алтая, выращенной на экспериментальном участке ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск), а также созданные в ЦСБС искусственные гибриды. Химические анализы выполнены в период 2001–2018 гг. в лаборатории фитохимии ЦСБС СО РАН. Всего проанализировано 68 образцов по 7 показателям, в том числе 39 смородины темно-пурпуровой, 5 *S.* щетинистой, 3 *S.* обыкновенной, 3 образца естественного гибрида *S.* темно-пурпуровой со *S.* щетинистой,

8 образцов естественного гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. высочайшей*, 6 образцов естественного гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. обыкновенной* и 4 образца искусственного гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. обыкновенной*. Отдельные образцы за период исследований проанализированы в течение 2–6 лет. Масса пробы каждого образца составляла не менее 200 г. В пробах определяли содержание сухих веществ, аскорбиновой кислоты, сахаров, титруемой кислотности, антоцианов, катехинов, протопектинов и пектинов, повторность трехкратная. Все биохимические показатели рассчитаны на сырую массу.

Анализ содержания сухого вещества, аскорбиновой кислоты и сахаров проводили по общепринятым методикам [9].

Содержание суммы кислот определяли путем титрования аликвоты вытяжки щелочью [9, 10].

Экстракцию антоцианов проводили в солянокислой среде, растирая образец в ступке в присутствии 1% соляной кислоты, нагревали на водяной бане (40–50 °C) в течение 20 мин, охлаждали и доводили до метки 250 мл соляной кислотой, отфильтровывали и измеряли на СФ-56 при длине волны 510 нм. Пересчетный коэффициент рассчитывали по цианидин-3,5-дигликозиду [11].

Количественное содержание катехинов определяли спектрофотометрическим методом, основанным на способности катехинов давать малиновое окрашивание с раствором ванилина в концентрированной соляной кислоте. В две мерные пробирки переносили по 0.8 мл этанольного извлечения, в одну из них прибавляли 4 мл 1%-ного раствора ванилина в концентрированной соляной кислоте. Объем обеих пробирок доводили до 5 мл концентрированной соляной кислотой. Вторая пробирка служила в качестве раствора сравнения. Оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре СФ-56 при длине волны 502 нм. Пересчетный коэффициент определяли по (\pm)–катехину «Sigma» (Германия) [12].

Пектины определяли бескарбазольным спектрофотометрическим методом, основанным на получении специфического желто-оранжевого окрашивания уроновых кислот с тимолом в сернохлорной среде. Для получения воспроизводимых результатов удаляли сахара из мелкоизмельченных проб (навеска 5–10 г) горячим этанолом (из расчета получения конечной концентрации 80–82%) на водяной бане с обратным холодильником в течение 20–30 мин трижды. Отфильтрованную пробу высушивали при 50 °C до исчезновения запаха спирта. Сначала водой извлекали пектины, затем гидролизовали протопектины. После реакции с тимолом плотность окрашенных растворов измеряли на спектрофотометре Agilent 8453 (США) при длине волны 480 нм в кювете с рабочей длиной 1 см. Количественное содержание пектиновых веществ определяли по калибровочной кривой, построенной по галактуроновой кислоте [13].

Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакета Statistica 5.0.

Обсуждение результатов

Анализ химического состава ягод красных смородин (табл. 1) свидетельствует о том, что содержание сухого вещества в ягодах является наиболее стабильным, а содержание катехинов – наиболее лабильным показателем. Согласно шкале С.А. Мамаева [14], уровень изменчивости сухого вещества колебался от очень низкого ($V=5.5\%$) до низкого ($V=9.2–10.8\%$) и среднего ($V=13.1–17.4\%$). Уровень изменчивости содержания в ягодах сахаров преимущественно повышенный ($V=25.2–26.7\%$), кислот – повышенный ($V=22.3–27.0\%$) и высокий ($V=38.8\%$), аскорбиновой кислоты – от низкого ($V=8.8–12.1\%$) до повышенного ($V=23.5–30.1\%$) и высокого ($V=31.0\%$), антоцианов – преимущественно высокий ($V=31.6–39.0\%$) и очень высокий ($V=46.4–63.4\%$), растворимых пектинов – высокий ($V=33.1–36.0\%$) и очень высокий ($V=55.6–81.0\%$), протопектинов – повышенный ($V=24.1–30.7\%$), высокий ($V=31.5–38.8\%$) и очень высокий ($V=53.6–59.6\%$) и катехинов – очень высокий ($V=55.3–156.5\%$).

В ягодах гибрида смородины темно-пурпуровой со *C. обыкновенной* существенно больше накапливалось сухого вещества ($14.26\pm 0.26\%$) и сахаров ($6.33\pm 0.21\%$), чем в плодах *C. темно-пурпуровой*, *C. щетинистой*, *C. обыкновенной*, гибридов *C. темно-пурпуровой* со *C. щетинистой* и *C. темно-пурпуровой* со *C. высочайшей*. В плодах горноалтайской *C. темно-пурпуровой* и гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. высочайшей* сухого вещества было больше (соответственно 13.86 ± 0.46 и $13.72\pm 0.40\%$), чем в ягодах смородины обыкновенной ($12.80\pm 0.41\%$). Меньше всего сахаров отмечено у гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. щетинистой* ($3.25\pm 0.41\%$). У гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. обыкновенной* отмечено самое низкое содержание кислот ($3.18\pm 0.17\%$). Аскорбиновой кислоты больше всего накапливалось в ягодах *C. обыкновенной* (44.36 ± 2.24 мг%), гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. высочайшей* (42.06 ± 3.77 мг%) и салаирской *C. темно-пурпуровой* (41.21 ± 1.78 мг%). Горноалтайская *C. темно-пурпуровая* достоверно меньше (35.98 ± 2.00 мг%)

накапливала в плодах аскорбиновой кислоты по сравнению с салаирской. Возможно, это обусловлено тем, что салаирская смородина формировалась в условиях повышенной влажности и умеренной температуры. Содержание аскорбиновой кислоты в ягодах *C. щетинистой* ($32.61 \pm 1.39\%$), гибридов *C. темно-пурпуровой* со *C. щетинистой* ($34.83 \pm 5.24\%$) и *C. темно-пурпуровой* со *C. обыкновенной* (30.78 ± 1.42) примерно такое же как и в ягодах горноалтайской *C. темно-пурпуровой*, так как разница между показателями статистически не достоверна. Больше всего антоцианов накапливалось в плодах гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. высочайшей* ($0.31 \pm 0.04\%$), что превышает его содержание в ягодах *C. темно-пурпуровой* в 4.4–5.2 раза, *C. щетинистой* – в 7.8, *C. обыкновенной* – в 10.3, гибридов *C. темно-пурпуровой* со *C. щетинистой* – в 6.2 и *C. темно-пурпуровой* со *C. обыкновенной* – в 10.3 раза. Растворимых пектинов меньше всего было у *C. обыкновенной* ($0.05 \pm 0.02\%$). У остальных видов и гибридов содержание растворимых пектинов было приблизительно одинаковым, в пределах 0.13–0.18%. По содержанию протопектинов виды и гибриды близки. Наибольшее количество катехинов отмечено в ягодах *C. обыкновенной* ($0.12 \pm 0.06\%$), гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. обыкновенной* ($0.09 \pm 0.02\%$) и *C. щетинистой* ($0.09 \pm 0.06\%$), и разница между ними статистически не достоверна. Остальные образцы по этому показателю существенно не различались и содержание катехинов находилось в пределах 0.04–0.05%.

По литературным данным, смородина темно-пурпуровая, интродуцированная из Салаирского кряжа в лесостепь Приобья (г. Бердск), содержала в ягодах значительно меньше сухих веществ (от 7.5 до 8.4%) и аскорбиновой кислоты (от 16.2 до 20.8 мг%), но одинаковое количество катехинов (0.03%) и органических кислот (3.5–4.6%), по сравнению с нашими данными [15, 16]. Возможно, это связано с индивидуальными особенностями отобранных в природе форм. Т.К. Куриленко [17] установила, что в естественных условиях Горного Алтая содержание аскорбиновой кислоты в ягодах *C. темно-пурпуровой* колеблется в пределах 34.7–49.2 мг%, *C. щетинистой* – 20.0–40.3, гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. щетинистой* – 36.6–68.5 и гибрида *C. высочайшей* со *C. темно-пурпуровой* – 39.7–51.4 мг%. Наши данные соответствуют установленным Т.К. Куриленко диапазонам изменчивости, за исключением содержания аскорбиновой кислоты в ягодах гибрида *C. темно-пурпуровой* со *C. щетинистой*. Салаирский гибрид накапливал аскорбиновой кислоты меньше (34.83 ± 5.24 мг%), чем горноалтайский. По данным В.Д. Федоровского [18], горноалтайская смородина щетинистая в зависимости от поясности содержала в среднем 21.4–59.8 мг% аскорбиновой кислоты и 0.3–0.4% антоцианов. В наших исследованиях содержание аскорбиновой кислоты в ягодах *C. щетинистой* находилось в этом же диапазоне (32.61 ± 1.39 мг%), антоцианов было на порядок меньше (0.04%).

Из отобранных по морфологическим признакам и урожайности 19 форм наиболее полно по биохимическим признакам проанализированы 13 (табл. 2). К высокосахаристым формам относятся I-1-20, I-1-9, III-6-23, III-6-19, I-1-19 и I-2-28, к формам с высоким содержанием в ягодах аскорбиновой кислоты – I-2-26, I-1-19, III-1-7, I-2-12 (IV-13-45) и I-2-28, антоцианов – I-2-12 (IV-13-45), I-2-28, I-2-22, I-2-26, III-1-7, I-2-13 и I-1-19, растворимых пектинов – I-1-20, I-2-28, I-1-9, III-6-14, III-6-23, III-6-19, протопектинов – I-2-20, I-1-9, I-2-28. III-6-14 и катехинов – I-1-9, I-2-12 (IV-13-45), III-1-7 и I-2-29.

В связи с тем, что мировой и отечественный сортимент красных смородин произошел преимущественно от четырех европейских видов [19] и имеет сложногибридное происхождение [16], интересно сравнить биохимические показатели культивируемых сортов с показателями отобранных нами в природе дикорастущих форм. По литературным данным [20], в ягодах сибирских сортов содержится 10.1–12.0% сухих веществ, 8.0–11.0% сахаров, 0.9–2.2% кислот и 24.0–54.0 мг% аскорбиновой кислоты. В обобщающих работах Н.И. Савельева с соавторами [21] и К. Kampuss, H.L. Pedersen [22] приведены близкие сведения по этим и дополнительно другим показателям. По Н.И. Савельеву с соавторами [21], в ягодах сортовой красной смородины содержится 8.9–14.9% сухих веществ, 4.4–7.7% сахаров, 2.0–4.9% кислот, 20.7–51.0 мг/100 г аскорбиновой кислоты и 166–560 мг/100 г (0.02 – 0.03%) катехинов. По данным К. Kampuss, H.L. Pedersen [22], в ягодах сортовой красной смородины накапливается 10.8–18.7% сухих веществ, 5.2–7.5% сахаров, 1.7–2.7% кислот, 5–77 мг/100 г аскорбиновой кислоты и 10–20 мг/100 г (0.01 – 0.02%) антоцианинов (комплекс катехинов, антоцианов и лейкоантоцианов). По сравнению с культивируемыми сортами, отборные формы ЦСБС содержат в ягодах примерно такое же количество сухих веществ и сахаров, значительно больше органических кислот и примерно столько же или несколько больше катехинов. Содержание аскорбиновой кислоты у сортов красной смородины примерно такое же или несколько выше, а содержание антоцианов значительно ниже – (0.01 – 0.02%), чем у отборных форм ЦСБС (0.02 – 0.41%).

Таблица 1. Химический состав ягод видов, естественных и искусственных межвидовых гибридов красной смородины в условиях культуры в 2001–2018 гг., % на сырую массу

Вид, гибрид, происхождение	Сухое вещество	Сахара	Кислотность	Аскорбиновая кислота,	Антоцианы	Пектины	Протопектины	Катехины
<i>Виды</i>								
<i>Ribes atropurpureum</i> , в целом	13.31 ±0.23	4.91 ±0.16	3.84 ±0.11	39.29 ±1.37	0.06 ±0.003	0.14 ±0.01	0.19 ±0.01	0.04 ±0.004
Коэффициент вариации (V), %	13.1	25.7	22.3	27.0	36.3	34.0	30.7	72.5
<i>R. atropurpureum</i> , Салаир	12.99 ±0.23	4.90 ±0.21	3.85 ±0.14	41.21 ±1.78	0.06 ±0.004	0.14 ±0.01	0.19 ±0.01	0.04 ±0.01
Коэффициент вариации (V), %	10.8	25.9	22.4	26.6	39.0	33.1	31.5	81.2
<i>R. atropurpureum</i> , Горный Алтай	13.86 ±0.46	4.94 ±0.27	3.83 ±0.19	35.98 ±2.00	0.07 ±0.01	0.13 ±0.01	0.19 ±0.01	0.04 ±0.01
Коэффициент вариации (V), %	15.6	25.8	22.8	26.0	31.6	36.0	29.9	56.9
<i>Ribes hispidulum</i> , Буготакские сопки	13.00 ±0.80	5.69 ±0.54	4.11 ±0.18	32.61 ±1.39	0.04 ±0.01	0.14 ±0.03	0.22 ±0.05	0.09 ±0.06
Коэффициент вариации (V), %	17.4	26.7	12.3	12.1	46.4	55.6	59.6	156.5
<i>Ribes vulgare</i> Lam., сорт Красная Андрейченко	12.80 ±0.41	4.92 ±0.23	3.44 ±0.47	44.36 ±2.24	0.03 ±0.002	0.05 ±0.02	0.15 ±0.03	0.12 ±0.06
Коэффициент вариации (V), %	5.5	8.2	23.5	8.8	11.6	60.1	38.8	87.7
<i>Естественные межвидовые гибриды</i>								
<i>Ribes atropurpureum</i> × <i>R. hispidulum</i> , Салаир	13.34 ±0.61	3.25 ±0.41	4.54 ±0.88	34.83 ±5.24	0.05 ±0.02	0.14 ±0.04	0.18 ±0.05	0.04 ±0.01
Коэффициент вариации (V), %	9.2	25.2	38.8	30.1	63.4	55.6	53.6	55.3
<i>Ribes atropurpureum</i> × <i>R. altissimum</i> , Горный Алтай	13.72 ±0.40	4.61 ±0.39	4.06 ±0.31	42.06 ±3.77	0.31 ±0.04	0.18 ±0.04	0.21 ±0.01	0.05 ±0.01
Коэффициент вариации (V), %	10.2	29.1	26.7	31.0	48.8	81.0	24.1	81.1
<i>Ribes atropurpureum</i> × <i>R. vulgare</i> , Салаир	14.26 ±0.26	6.33 ±0.21	3.18 ±0.17	30.78 ±1.42	0.03 ±0.002	0.12 ±0.01	0.19 ±0.02	0.09 ±0.02
Коэффициент вариации (V), %	9.2	17.1	27.0	23.5	24.7	57.5	43.7	126.8
<i>Искусственные межвидовые гибриды</i>								
IV-1-19, <i>Ribes atropurpureum</i> , I-2-22 × <i>R. vulgare</i> , сорт Красная Андрейченко	11.72	4.27	3.31	36.93	0.04	0.21	0.32	0.03
IV-1-20, <i>Ribes atropurpureum</i> , I-2-22 × <i>R. vulgare</i> , сорт Красная Андрейченко	10.72	3.03	3.42	52.00	0.06	0.12	0.16	0.03
IV-1-26, <i>Ribes atropurpureum</i> , I-2-22 × <i>R. vulgare</i> , сорт Красная Андрейченко	12.80	5.30	4.73	35.18	0.03	0.15	0.14	0.05
IV-1-1, <i>Ribes atropurpureum</i> , III-1-7 × <i>R. vulgare</i> , сорт Красная Андрейченко	13.77	3.35	4.00	37.43	0.03	0.17	0.28	0.04

При использовании отборных форм ЦСБС в межвидовых скрещиваниях в 2010 г. получены гибриды, которые вступили в пору плодоношения на 7-й год. В 2018 г., на 2-й год плодоношения, в комбинациях скрещивания смородины темно-пурпуровой (формы I-2-22 и III-1-7) со смородиной обыкновенной (сорт Красная Андрейченко) получены высокоурожайные (до 989.7 г с куста), крупноплодные (до 9.8 × 10.2 мм и 0.9 г), длиннокостные (до 8.4 см), с высокой завязываемостью (до 55%) и с компактными кустами гибриды, характеризующиеся высокими вкусовыми качествами плодов и их ценным биохимическим составом (табл. 1). Необходимо отметить, что ягоды искусственного гибрида IV-1-20 характеризовались высоким содержанием аскорбиновой кислоты (52.00 мг%) и антоцианов (0.06%), IV-1-26 – высоким содержанием сахаров (5.30%) и катехинов (0.05%) и IV-1-19 – высоким содержанием сахаров (4.27%) и антоцианов (0.04%).

Таблица 2. Химический состав ягод отборных форм красной смородины в условиях культуры в 2001–2018 гг., % на сырую массу

Отборная форма	Сухое вещество	Сахара	Кислотность	Аскорбиновая кислота, мг%	Антоцианы	Пектины	Протопектины	Катехины
<i>Ribes atropurpureum</i> С.А. Meyer								
I-1-9, Кордон, №10-7	12.38 ±0.72	6.85 ±0.58	3.67 ±0.17	36.22 ±1.90	0.03 ±0.01	0.19 ±0.05	0.27 ±0.13	0.05 ±0.01
I-1-19, Кордон, № 10-17	12.25 ±0.43	5.57 ±0.70	3.55 ±0.21	50.41 ±1.62	0.05 ±0.01	0.12 ±0.02	0.19 ±0.03	0.03 ±0.01
I-2-13, (IV-8-2), Актёл-Беш-Озёк	13.52 ±0.35	4.53 ±0.38	4.27 ±0.53	33.93 ±2.01	0.06 ±0.004	0.12 ±0.01	0.18 ±0.03	0.03 ±0.004
I-2-22, Мирный, №14	12.41 ±0.67	4.58 ±0.34	4.10 ±0.13	39.10 ±4.10	0.07 ±0.01	0.12 ±0.02	0.12 ±0.05	0.03 ±0.003
I-2-26, Мирный, №10	13.36 ±0.75	4.21 ±0.37	5.15 ±0.54	52.05 ±4.87	0.07 ±0.01	0.13 ±0.02	0.15 ±0.03	0.03 ±0.003
I-2-28, Мирный, №11	12.71 ±0.78	5.16 ±0.24	4.63 ±0.89	44.30 ±6.28	0.09 ±0.02	0.20 ±0.01	0.22 ±0.02	0.03 ±0.01
III-1-7, Осиповка, №3	13.52 ±0.48	3.98 ±0.07	3.16 ±0.54	50.19 ±1.77	0.06 ±0.01	0.15 ±0.02	0.19 ±0.01	0.04 ±0.002
<i>Ribes hispidulum</i> (Jancz.) Pojark.								
I-2-20, Буготакские сопки, № 38	14.04 ±0.44	6.89 ±0.29	4.18 ±0.36	34.35 ±6.07	0.04 ±0.03	0.20 ±0.03	0.36 ±0.01	0.03 ±0.002
I-2-29, Буготакские сопки, № 39	11.09 ±1.13	4.52 ±0.38	4.43 ±0.25	32.13 ±1.03	0.04 ±0.001	0.11 ±0.04	0.15 ±0.05	0.04 ±0.003
<i>Ribes atropurpureum</i> × <i>R. hispidulum</i>								
III-6-14, Мирный, № 1	13.69 ±0.61	3.87 ±0.26	5.34 ±1.78	39.49 ±4.19	0.02±0.00 2	0.18 ±0.04	0.21 ±0.09	0.03 ±0.01
<i>Ribes atropurpureum</i> × <i>R. altissimum</i>								
I-2-12 (IV-13-45), Актёл-Беш-Озёк	13.95 ±0.71	4.64 ±0.21	4.77 ±0.76	46.91 ±3.19	0.41 ±0.04	0.15 ±0.02	0.20 ±0.03	0.04 ±0.004
<i>Ribes atropurpureum</i> × <i>R. vulgare</i>								
III-6-19, Жуланиха, №3	14.88 ±0.65	6.09 ±0.66	2.91 ±0.03	31.17 ±4.27	0.03 ±0.001	0.16 ±0.02	0.20 ±0.07	0.03 ±0.003
III-6-23, Жуланиха, №3	14.30 ±0.55	6.64 ±0.33	3.18 ±0.12	28.15 ±2.48	0.03 ±0.003	0.16 ±0.02	0.17 ±0.03	0.03 ±0.002

Выводы

В результате изучения химического состава ягод дикорастущих видов и естественных гибридов красных смородин в условиях культуры установлено:

1. В зависимости от погодных условий года наиболее стабильным биохимическим признаком было содержание в ягодах сухого вещества, а самым изменчивым – содержание катехинов. Остальные признаки по уровню изменчивости располагаются в следующей последовательности (от меньшего к большему): сахара, кислотность, аскорбиновая кислота, протопектины, антоцианы, растворимые пектины.

2. В плодах салаирской смородины темно-пурпуровой по сравнению с горноалтайской накапливается больше аскорбиновой кислоты.

3. По комплексу биохимических признаков наибольший интерес для интродукции и селекции представляют смородина темно-пурпуровая и гибрид С. темно-пурпуровой со С. высочайшей, а по содержанию сухого вещества, сахаров и катехинов – гибрид С. темно-пурпуровой со С. обыкновенной.

4. Отборные формы являются источниками от одного до пяти выдающихся биохимических признаков и перспективны для использования в селекции. Наибольшим количеством таких признаков характеризуются отборные формы I-2-28 (высокое содержание сахаров, аскорбиновой кислоты, антоцианов, растворимых пектинов, протопектинов) и I-1-9 (высокое содержание сахаров, растворимых пектинов, протопектинов, катехинов).

5. Полученные в ЦСБС межвидовые гибриды красной смородины на основе использования отборных форм свидетельствуют о возможности получения высокоурожайных, крупноплодных с высоким содержанием в ягодах биологически активных веществ сортов.

Выражаем благодарность старшему лаборанту лаборатории фитохимии ЦСБС СО РАН Шевцовой И.В. за оказанную помощь в проведении эксперимента.

Список литературы

1. Горбунов А.Б. Красная смородина // Интродукция нетрадиционных плодовых, ягодных и овощных растений в Западной Сибири. Новосибирск, 2013. С. 128–140.
2. Евтухова Л.А., Горбунов А.Б., Кукушкина Т.А. Перспективы использования адаптогенов // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. 2007. №6(45). С. 33–36.
3. Данилина Н.В. Обской закат // Помология. Сибирские сорта плодовых и ягодных культур XX столетия. Новосибирск, 2005. С. 419–420.
4. Горбунов А.Б. Красные смородины Салаирского кряжа и Горного Алтая, перспективные для интродукции и селекции // Современные тенденции устойчивого развития ягодоводства России (смородина, крыжовник). Воронеж, 2018. Т. 1. С. 52–61. DOI: 10.17513/np.329.
5. Горбунов А.Б., Кукушкина Т.А., Шевцова И.В., Исаенко Т.В. Изменчивость морфологических и биохимических признаков видов смородины подрода *Ribesia* (Berl.) Jancz. в условиях интродукции // Проблемы современной дендрологии. М., 2009. С. 88–91.
6. Горбунов А.Б. Формы красной смородины Салаирского кряжа и Горного Алтая, перспективные для селекции // Современное садоводство – Contemporary horticulture. 2015. №2. С. 46–53.
7. Горбунов А.Б., Кукушкина Т.А. Перспективные для интродукции и селекции формы смородины темно-пурпуровой Салаирского кряжа // Состояние и перспективы селекции и сорторазведения плодовых культур. Орел, 2005. С. 309–313.
8. Горбунов А.Б., Кашина Т.Ю., Менькина А.Н. Перспективные для интродукции и селекции формы красной смородины в ЦСБС // Теоретические и прикладные аспекты интродукции растений как перспективного направления развития науки и народного хозяйства. Т. 1. Минск, 2007. С. 138–141.
9. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.В., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987. 430 с.
10. Кривенцов В.И. Методические рекомендации по анализу плодов на биохимический состав. Ялта, 1982. 21 с.
11. Муравьева Д.А., Бубенчикова В.Н., Беликов В.В. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветках василька синего // Фармация. 1987. №5. С. 28–25.
12. Кукушкина Т.А., Зыков А.А., Обухова Л.А. Манжетка обыкновенная (*Alchemilla vulgaris* L.) как источник лекарственных средств // Актуальные проблемы создания новых лекарственных препаратов природного происхождения. СПб., 2003. С. 64–69.
13. Кривенцов В.И. Бескарбазольный метод количественного спектрофотометрического определения пектиновых веществ // Тр. Никитского бот. сада. 1989. Т. 109. С. 128–137.
14. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости (на примере семейства Pinaceae на Урале). М., 1973. 283 с.
15. Смирнов А.С. Разнообразие форм *Ribes atropurpureum* С.А. Меу. при интродукции в лесостепной зоне Западной Сибири // Биоразнообразие природных и антропогенных экосистем: сб. статей участников молодеж. науч. семинара. Екатеринбург, 2005. С. 97–102.
16. Сорокопудов В.Н., Соловьёва А.Е., Смирнов А.С. Красная смородина в лесостепи Приобья. Новосибирск, 2005. 120 с.
17. Куриленко Т.К. Смородины подрода *Ribesia* (Berl.) Jancz. центральной части Горного Алтая (изменчивость, естественная гибридизация, отбор): дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2001. 125 с.
18. Федоровский В.Д. *Ribes spicatum* Robson – смородина колосистая (систематика, география, изменчивость, интродукция). Киев, 2001. 204 с.
19. Горбунов А.Б., Толеубаева Л.А. Изменчивость признаков генеративной сферы видов смородины подрода *Ribesia* (Berl.) Jancz. Салаирского кряжа // Сиб. экол. журн. 2007. №2. С. 303–316.
20. Помология. Сибирские сорта плодовых и ягодных культур XX столетия. Новосибирск, 2005. С. 418–429.
21. Савельев Н.И., Леонченко В.Г., Макаров В.Н., Жбанова Е.В., Черенкова Т.А. Биохимический состав плодов и ягод и их пригодность для переработки. Мичуринск, 2004. 124 с.
22. Kampuss K., Pedersen H.L. A review of red and white currant (*Ribes rubrum* L.): research and literature // Small fruit review. 2003. Vol. 2, N 3. Pp. 23–46.

Поступила в редакцию 17 декабря 2018 г.

После переработки 7 февраля 2019 г.

Принята к публикации 9 апреля 2019 г.

Для цитирования: Горбунов А.Б., Кукушкина Т.А. Химический состав ягод видов и межвидовых гибридов красной смородины в условиях культуры // Химия растительного сырья. 2019. №3 С. 85–93. DOI: 10.14258/jcprm.2019034815.

Gorbunov A.B.*, Kukushkina T.A. THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE BERRIES OF SPECIES AND INTER-SPECIFIC HYBRIDS OF RED CURRANT IN CULTURE

Central Siberian Botanical Garden, SB RAS, Zolotodolinskaya str., 101, Novosibirsk, 630090 (Russia),
e-mail: gab_2002ru@ngs.ru

Red currant is a valuable food and medicinal plant widely used in industrial and amateur gardening.

The aim of this article is a summary of results of a multi-year research of the chemical composition of fruits of red currant wild-growing species and natural interspecific hybrids of different geographical origin and assessment of a possibility of use of the selections to produce interspecific hybrids.

Biochemical study of dry substance, ascorbic acid, sugars, acids, anthocyanins, catechins, pectins and protopectins in red currant berries was carried out. The analyses of the chemical composition were performed by the universally accepted procedures.

The levels of variability of 8 biochemical characters of red berry fruits depending on conditions of a year were established. It was shown that the most stable biochemical character was content of dry substance in berries and the most variable one – content of catechins. More ascorbic acid accumulates in berries of *Ribes atropurpureum* from the Salair Ridge in comparison with the amount in berries of *R. atropurpureum* from the Altai Mountains. By the complex of biochemical characters of prime interest are *R. atropurpureum* and hybrid *R. atropurpureum* × *R. altissimum*, and by the content of dry substance, sugars and catechins – hybrid *R. atropurpureum* × *R. vulgare*. The selections are a source of 1-5 outstanding biochemical characters and promising for the use in breeding. The interspecific hybrids of red currant obtained in CSBG by the use of selections testify to the possibility of production of high yield, large-fruited cultivars with a high content of biologically active substances in berries.

Keywords: red currant, selections, dry substance, ascorbic acid, sugars, acids, anthocyanins, pectins, protopectins and catechins.

References

1. Gorbunov A.B. *Introdukciya netradicionnyh plodovyh, yagodnyh i ovoshchnykh rastenij v Zapadnoj Sibiri* [Introduction of non-traditional fruit, berry and vegetable plants in Western Siberia], Novosibirsk, 2013, pp. 128–140. (in Russ.).
2. Evtuhova L.A., Gorbunov A.B., Kukushkina T.A. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta im. F. Skoriny*, 2007, no. 6(45), pp. 33–36. (in Russ.).
3. Danilina N.V. *Pomologiya. Sibirskie sorta plodovyh i yagodnyh kul'tur XX stoletiya* [Pomology. Siberian varieties of fruit and berry crops of the XX century], Novosibirsk, 2005, pp. 419–420. (in Russ.).
4. Gorbunov A.B. *Sovremennye tendencii ustojchivogo razvitiya yagodovodstva Rossii (smorodina, kryzhovnik)* [Current trends in the sustainable development of berry growing in Russia (currants, gooseberries)], Voronezh, 2018, vol. 1, pp. 52–61. DOI: 10.17513/np.329 (in Russ.).
5. Gorbunov A.B., Kukushkina T.A., Shevtsova I.V., Isaenko T.V. *Problemy sovremennoj dendrologii* [Problems of modern dendrology], Moskva, 2009, pp. 88–91. (in Russ.).
6. Gorbunov A.B. *Sovremennoe sadovodstvo – Contemporary horticulture*, 2015, no. 2, pp. 46–53. (in Russ.).
7. Gorbunov A.B., Kukushkina T.A. *Sostoyanie i perspektivy selekcii i sortorazvedeniya plodovyh kul'tur* [Status and prospects of selection and cultivation of fruit crops], Orel, 2005, pp. 309–313. (in Russ.).
8. Gorbunov A.B., Kashina T.YU., Men'kina A.N. *Teoreticheskie i prikladnye aspekty introdukcii rastenij kak perspektivnogo napravleniya razvitiya nauki i narodnogo hozjajstva* [Theoretical and applied aspects of plant introduction as a promising direction for the development of science and the national economy], vol. 1, Minsk, 2007, pp. 138–141. (in Russ.).
9. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P., Peruanskij Yu.V., Lukovnikova G.A., Ikonnikova M.I. *Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij* [Methods of biochemical research of plants], Leningrad, 1987, 430 p. (in Russ.).
10. Kriventsov V.I. *Metodicheskie rekomendacii po analizu plodov na biohimicheskij sostav* [Guidelines for the analysis of fruits on the biochemical composition], Yalta, 1982, 21 p. (in Russ.).
11. Murav'eva D.A., Bubenchikova V.N., Belikov V.V. *Farmaciya*, 1987, no. 5, pp. 28–25. (in Russ.).
12. Kukushkina T.A., Zykov A.A., Obuhova L.A. *Aktual'nye problemy sozdaniya novykh lekarstvennykh preparatov prirodnoho proiskhozhdeniya* [Actual problems of creating new drugs of natural origin], S.-Peterburg, 2003, pp. 64–69. (in Russ.).
13. Kriventsov V.I. *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada* [Proceedings of the Nikitsky Botanical Garden], 1989, vol. 109, pp. 128–137. (in Russ.).
14. Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoj izmenchivosti (na primere semejstva Pinaceae na Urale)* [Forms of intraspecific variability (on the example of the Pinaceae family in the Urals)], Moskva, 1973, 283 p. (in Russ.).
15. Smirnov A.S. *Raznoobrazie form Ribes atropurpureum C.A. Bioraznoobrazie prirodnyh i antropogennyh ehkosistem: Sbornik statej uchastnikov molodyozhnogo nauchnogo seminara* [Biodiversity of Natural and Anthropogenic Ecosystems: A Collection of Articles by Participants in a Youth Scientific Seminar], Ekaterinburg, 2005, pp. 97–102.
16. Sorokopudov V.N., Solov'yova A.E., Smirnov A.S. *Krasnaya smorodina v lesostepi Priob'ya* [Redcurrant in the forest-steppe of the Ob], Novosibirsk, 2005, 120 p. (in Russ.).
17. Kurilenko T.K. *Smorodiny podroda Ribesia (Berl.) Jancz. central'noj chasti Gornogo Altaya (izmenchivost', estestvennaya gibrizaciya, otbor)* [Currants of the subgenus Ribesia (Berl.) Jancz. the central part of Altai Mountains (variability, natural hybridization, selection): dis. ... cand. biol. of sciences], Novosibirsk, 2001, 125 p. (in Russ.).
18. Fedorovskij V.D. *Ribes spicatum Robson – smorodina kolosistaya (sistematika, geografiya, izmenchivost', introdukcija)* [*Ribes spicatum Robson* – spike currant (taxonomy, geography, variability, introduction)], Kiev, 2001, 204 p. (in Russ.).

* Corresponding author.

19. Gorbunov A.B., Toleubaeva L.A. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal*, 2007, no. 2, pp. 303–316. (in Russ.).
20. *Pomologiya. Sibirskie sorta plodovyh i yagodnyh kul'tur XX stoletiya* [Pomology. Siberian varieties of fruit and berry crops of the XX century], Novosibirsk, 2005, pp. 418–429. (in Russ.).
21. Savel'ev N.I., Leonchenko V.G., Makarov V.N., Zhanova E.V., Cherenkova T.A. *Biokhimicheskiy sostav plodov i yagod i ikh prigodnost' dlya pererabotki* [The biochemical composition of fruits and berries and their suitability for processing], Michurinsk, 2004, 124 p. (in Russ.).
22. Kampuss K., Pedersen H.L. *Small fruit review*, 2003, vol. 2, no. 3, pp. 23–46.

Received December 17, 2018

Revised February 7, 2019

Accepted April 9, 2019

For citing: Gorbunov A.B., Kukushkina T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 3, pp. 85–93. (in Russ.).

DOI: 10.14258/jcprm.2019034815.

