

УДК 581.192.2

Изменение содержания суммы флавоноидов в листьях и плодах черники *Vaccinium myrtillus* в градиенте техногенного загрязнения в центральной части Кольского полуострова

Серёда Л. Н.¹, Цветов Н. С.², Дрогобужская С. В.², Жиров В. К.³

¹Лаборатория медицинских и биологических технологий Федеральный исследовательский центр Кольский научный центр РАН
Апатиты, Россия
sundukprandory87@mail.ru

²Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева
Федеральный исследовательский центр Кольский научный центр РАН
Апатиты, Россия
tsvet.nik@mail.ru; s.drogobuzhskaia@ksc.ru

³Центр медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике РАН
Апатиты, Россия
v_zhirov_1952@mail.ru

Черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus* L.) – один из доминантов травяно-кустарничкового яруса лесов Кольского полуострова, имеющий широкую экологическую амплитуду и важное промышленное значение. Данный вид является бореальным многолетним листопадным кустарничком. Листья и плоды этого растения отличаются высоким содержанием флавоноидов, что обуславливает их выраженные антиоксидантные, антисептические, противовоспалительные, гипогликемические и другие терапевтические свойства. По результатам ультразвуковой экстракции 60 % этанолом этих соединений из листьев черники, произрастающей в зоне загрязнения выбросами ОАО «Комбинат Североникель», не обнаружено устойчивой связи их общего содержания с концентрацией тяжёлых металлов в почве при общем нелинейном характере данной зависимости. Общее содержание флавоноидов в фотосинтезирующих органах *V. myrtillus* в условиях аэротехногенного загрязнения, носит нелинейный характер, достигая максимальных значений в наиболее увлажнённых местах. Полученные сведения могут быть использованы для более детального изучения механизмов синтеза адаптогенных фенольных соединений у растений в условиях промышленного загрязнения арктических территорий.

Ключевые слова: флавоноиды, ультразвуковая экстракция, черника, техногенное воздействие, Арктика.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из доминантов травяно-кустарничкового яруса лесов Кольского полуострова, является многолетний листопадный ягодный кустарничек – черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), относящаяся к роду *Vaccinium* семейства Ericaceae. Согласно Раменской (1983), черника, как аборигенный лесной вид, характеризуется очень широкой экологической амплитудой, встречается в естественных сообществах от тундровой зоны до подзоны средней тайги и относится к группе бореальных видов, а именно, к бореальному циркумполярному элементу (или почти циркумполярному или циркумполярному с разрывами).

Черника является промысловым на территории Мурманской области видом, урожайность которого, согласно Летописям природы заповедника «Лапландский государственный природный биосферный заповедник», среди видов семейства Ericaceae – брусники, черники, вороники и арктоуса – уступает лишь воронике, с максимальной урожайностью в 2010 году – 1189,9 кг/га (Летописи природы..., 2018).

Данные многочисленных многолетних исследований указывают на присутствие широкого спектра фенольных соединений в плодах растений черники, таких как, фенолы и их производные, полифенолы, катехины, процианидины, фенольные кислоты и их производные, флавоноиды, антоцианов. Следует отметить, что содержание фенолов, кверцетина,

проантоцианидов, антоцианов, значительно выше в листьях, в сравнении с плодами, что, вероятно, связано с защитой функцией вегетирующей части растений от стресса, вызванного ультрафиолетовым излучением, запускающим метаболизм флавоноидов. Кроме того, в листьях, проходящих стадию изменения окраски, содержание кверцетина, кемпферола, п-кумариновой, кофейной и феруловой кислот выше, чем в плодах, имеющих зелёную окраску. Содержание вышеперечисленных фенольных соединений обуславливает ярко выраженные антисептические, антибактериальные, противовоспалительные, гипогликемические и ряд других свойства, терапевтическое действие которых, отмечено, как в народной, так и в официальной медицине (Nestby, 2019; Ștefănescu et al., 2019; Белова, 2020).

По имеющимся в литературе данным, синтезу вторичных метаболитов у растений способствуют экстремальные условия территории исследования, обусловленные комплексом метеорологических и гелиогеофизических факторов Арктики (Артёмкина, 2019). Анализ изменчивости содержания флавоноидов в растениях черники в градиенте воздействия на окружающую среду одного из крупнейших горно-металлургических предприятий Кольского полуострова – ОАО «Комбинат Североникель» – выбросы которого содержат тяжёлые металлы (Cu, Fe, Zn, Mn, Co, Ni), сернистые соединения, окислы азота, фтор и другие (Крючков, Макарова, 1989; Артёмкина, 2019), позволит оценить эффекты их кооперативного действия на фармакологически ценные растения в условиях Крайнего Севера.

Цель работы – оценить изменение содержания суммы флавоноидов в листьях и плодах черники *Vaccinium myrtillus* в градиенте техногенного загрязнения в центральной части Кольского полуострова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались рутин (≥ 94 %, Sigma-Aldrich), хлорид алюминия, уксусная кислота (все реактивы квалификации ХЧ, Вектон), этанол (96 %, РФК) и дистиллированная вода.

Объектами исследования служили листья растений черники обыкновенной – *V. myrtillus*.

Сбор растительного материала производился в I декаду июля 2021 года в фазу полного цветения (ВВСН 69).

Регистрация фенологических фаз производилась по методике И. Н. Бейдемана (1954), с последующим переводом на шкалу ВВСН (Meier et al., 2009; Meier, 2018).

Растительный материал собирали на 3 стационарных площадках площадью 400 м² каждая, расположенных в Мончегорском районе (Мурманская обл.), вдоль автотрассы Санкт-Петербург – Мурманск, в зоне локального воздействия ОАО «Комбинат Североникель» (ОАО «Кольская ГМК») на различном удалении от источника промышленного загрязнения (1246, 1251, 1256 км к югу от Мончегорска, соответственно).

Подготовка растительного материала включала в себя сушку на открытом воздухе и хранение в соответствии с ОФС.1.1.0011.15 (Хранение лекарственного..., 2015).

Экстрагирование проводилось методом ультразвуковой экстракции в предварительно термостатированной до 45 °С ультразвуковой ванне Велитек VBS - 3DP (Россия) в течении 60 минут. Навеска (0,05 г) измельченного и отсеиванного до фракции 0,5 мм растительного материала смешивалась с 0,5 мл 60 % этанола в соотношении 1:10 (w/v) в 1,5 мл микроцентрифужных пробирках типа Эппендорф с крышками, имеющими винтовой механизм, и интенсивно встряхивалась, для достижения полного смачивания растительного материала экстрагентом.

Общее содержание флавоноидов (ТФС) определялось с помощью реакции комплексообразования с хлоридом алюминия (Беликов, Шрайбер, 1970; Tsvetov et al., 2022). К 1 мл 2 % раствора хлорида алюминия добавлялся 1 мл разбавленного в 100 раз экстракта. Полученную смесь термостатировали при 25 °С в течении 60 минут. Оптическая плотность измеряли при длине волны 420 нм с помощью фотоколориметра КФК-3-01 (ЗОМЗ Россия, 2010 г.). Калибровка проводилась с использованием рутина в качестве стандарта в диапазоне

концентраций 100–1000 мкг/мл. Общее содержание флавоноидов в экстракте выражали в мг эквивалента рутина (RE) в пересчете на 1 г растительного материала:

$$TFC = \frac{D \times 0.1 \times A_{420} \times V_{ext}}{m_{plant}}, \text{ мг RE/г,}$$

где: D – гидромодуль; A_{420} – оптическая плотность при длине волны 420 нм, k – калибровочный коэффициент; V_{ext} – объем экстрагента, m_{plant} – масса растительного материала.

Для анализа содержания тяжелых металлов в грунте, почвенным буром были отобраны объединённые, составленные путем смешивания не менее чем из пяти точечных проб, отобранных на каждой стационарной площадке, пробы прикорневого слоя (10-20 г) в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017 (Межгосударственный стандарт, 2017).

Анализ общего содержания тяжёлых металлов в грунте (Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) производили методом автоклавного микроволнового вскрытия с помощью масс-спектрометра Perkin Elmer ELAN 9000 DRCe с индуктивно связанной плазмой.

Данные обрабатывали с помощью программного обеспечения MS Professional Plus Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемая зона воздействия ОАО «Комбинат Североникель» включает 3 площадки, находящиеся в 12, 7 и 2-километровом удалении от источника загрязнения. Результаты анализа общего содержания флавоноидов в листьях черники представлены на рисунке 1. Как видно, данный показатель нелинейно изменяется с расстоянием до промышленного объекта, достигая максимальных значений в 7 км до него. По данным других авторов, содержание флавоноидов в растениях в зоне промышленного воздействия влияет количество осадков (Платонова, 2018). За счёт протекающей по территории 2 площадки небольшой реки и наличия родника, произрастающим в её пределах растениям, обеспечивается достаточное увлажнение в течении всего вегетационного периода, что может обуславливать наибольшее, в сравнении с менее увлажнёнными 1 и 3 площадками, зафиксированное общее содержание флавоноидов в листьях черники.

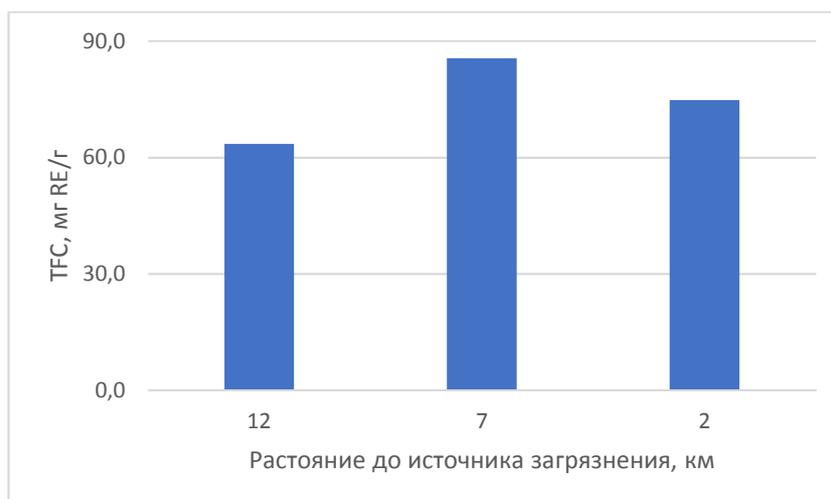


Рис. 1. Содержание флавоноидов в листьях черники в градиенте техногенного загрязнения

Проведённый корреляционный анализ (табл. 1) между содержанием флавоноидов и тяжёлыми металлами, показал, в целом, нулевую корреляцию с концентрацией всех исследуемых элементов в почве, что даёт возможность предположить, что тяжёлые металлы не влияют на общее содержание флавоноидов в листьях растений черники, и косвенно подтвердить предположение о роли влияния увлажнения на содержание фенольных соединений.

Таблица 1

Коэффициент корреляции между содержанием флавоноидов и химических элементов в грунте

	Элементы						
	Cr	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Флавоноиды	-0,3	-1	0	0,1	0,1	-0,8	-0,3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общее содержание флавоноидов в фотосинтезирующих органах *V. myrtillus* в условиях аэротехногенного загрязнения, носит нелинейный характер, достигая максимальных значений в наиболее увлажненных местах.

В целом установлена нулевая корреляция между общим содержанием флавоноидов в листьях исследуемых растений и содержанием тяжёлых металлов в почве.

Полученные данные могут быть использованы для более детального изучения особенностей синтеза фенольных соединений в листьях растений черники обыкновенной синтеза адаптогенных фенольных соединений у растений в условиях промышленного загрязнения арктических территорий.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦ КНЦ РАН по теме: «Научные основы инновационных подходов к здоровьесбережению и биологической и экологической безопасности населения западного сектора российской Арктики», № FMEZ-2022-0020

Список литературы

- Артемкина Н. А. Фенольные соединения *Vaccinium vitis-idaea* и их ответ на воздействие различных факторов окружающей среды // Химия растительного сырья. – 2019. – № 2. – С. 59–66.
- Бейдеман И. Н. Методика фенологических наблюдений при геоботанических исследованиях. – М.–Л.: Изд. АН СССР, 1954. – 130 с.
- Беликов В. В., Шрайбер М. С. Методы анализа флавоноидных соединений // Фармация. – 1970. – Т. 19. – С. 66–72.
- Белова Е. А. и др. Изучение фенольных соединений ягод трех видов растений рода *Vaccinium*, произрастающих в Ханты-Мансийском автономном округе // Химия растительного сырья. – 2020. – № 1. – С. 107–116.
- ГОСТ 17.4.4.02-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа, 2017
- Крючков В. В., Макарова Т. Д. Аэротехногенное воздействие на экосистемы Кольского Севера. – Апатиты: Изд-во Кольского Научного Центра АН СССР, 1989. – 96 с.
- Летопись природы заповедника «Лапландский государственный природный биосферный заповедник». Отчет. «Наблюдение явлений и процессов в природном комплексе заповедника и их изучение по программе «Летопись природы». – 2019. – Т. 54. – 284 с.
- ОФС.1.1.0011.15 Хранение лекарственного растительного сырья и лекарственных растительных препаратов, 2015.
- Платонова Н. Б. Белоус О. Г. Содержание флавоноидов в зависимости от условий выращивания и сорта чайного растения // Фенольные соединения: функциональная роль в растениях: Сборник научных статей по материалам X Международного симпозиума, Москва, 14–19 мая 2018 года / [Ответственный редактор Н. В. Загоскина]. – Москва: PRESS-BOOK.RU, 2018. – С. 319–326.
- Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. – Л.: Наука, 1983. – 216 с.

Meier U. et al. The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications // Journal für Kulturpflanzen. – 2009. – Vol. 61. – P. 41–52.

Meier U. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants BBCH. – Quedlinburg, 2018. – 204 p.

Nestby R. et al. Review of botanical characterization, growth preferences, climatic adaptation and human health effects of Ericaceae and Empetraceae wild dwarf shrub berries in boreal, alpine and arctic areas // Journal of Berry Research. – 2019. – Vol. 9. – P. 515–547.

Ștefănescu B. E. et al. Phenolic Compounds from Five Ericaceae Species Leaves and Their Related Bioavailability and Health Benefits // Molecules. – 2019. – Vol. 24. – P. 2046

Tsvetov N., Sereda L., Korovkina A. et al. Ultrasound-assisted extraction of phytochemicals from *Empetrum hermaphroditum* Hager. using acid-based deep eutectic solvent: kinetics and optimization // Biomass Conversion and Biorefinery. – 2022. – Vol. 12. – P. 145–156.

Sereda L. N., Tsvetov N. S., Drogobuzhskaya S. V., Zhiron V. K. Changes in the content of the total flavonoids in the leaves and fruits of *Vaccinium myrtillus* blueberries in the gradient of technogenic pollution in the central part of the Kola Peninsula // Ekosistemy. 2023. Iss. 34. P. 163–167.

Common bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) is one of the dominant species in the herbaceous-shrub layer of the forests of Kola Peninsula, which has a wide ecological amplitude and important commercial value. This species is a boreal perennial deciduous shrub. The leaves and fruits of this plant are distinguished by a high content of flavonoids, which causes their pronounced antioxidant, antiseptic, anti-inflammatory, hypoglycemic and other therapeutic properties. According to the results of ultrasonic extraction with 60 % ethanol of these compounds from the leaves of blueberries growing under pollution with emissions from the “Severonickel” Company, a stable relationship was found between their total content and the concentration of heavy metals in the soil, with a general non-linear nature of this dependence. The total content of flavonoids in the photosynthetic organs of *V. myrtillus* under conditions of aerotechnogenic pollution is non-linear, reaching maximum values in the most humid places. The obtained information can be used for a more detailed study for mechanisms of phenolic compounds synthesis in plants under conditions of the industrial pollution in Arctic.

Key words: flavonoids, ultrasonic extraction, blueberries, anthropogenic impact, Arctic.

Поступила в редакцию 03.12.22

Принята к печати 15.02.23