

ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК 581.19:582.711.71
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-3-321-331>

Поступила в редакцию 07.02.2022
Received 07.02.2022

Я. Л. Страх, О. С. Игнатовец

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МЕТАБОЛИТОВ *RUBUS CHAMAEMORUS L.*

Аннотация. В статье приведена систематизированная оценка накопления морошкой приземистой (*Rubus chamaemorus L.*) северных и южных популяций биологически активных веществ (витаминов, жирных кислот, флавоноидов, антоцианов, проантоцианидинов, фенольных кислот). Определена роль вторичных метаболитов в формировании биологического потенциала плодов и листьев *R. chamaemorus L.*, а также отмечена высокая антиоксидантная и антирадикальная активность экстрактов плодов морошки в модельных системах *in vitro* и *in vivo*. Приведены результаты научных работ, посвященных изучению антимикробной активности плодов в отношении *Helicobacter pylori*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Bacillus subtilis*, *Campylobacter jejuni*, *Micrococcus luteus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans*. При этом отмечено, что количество исследований, посвященных изучению вторичных метаболитов морошки приземистой на южной границе ареала, незначительно. Определена биологическая значимость плодов и наземной листовой массы, изучены вопросы о перспективах культивирования этих растений на южной границе ареала, а также о их практическом применении в фармацевтической и пищевой промышленности. Отмечена тенденция к культурному и полукультурному выращиванию данного вида. Описаны климатические условия и географические зоны произрастания морошки приземистой. Приведены современные данные о химическом составе различных частей морошки приземистой, произрастающей в различных условиях окружающей среды.

Ключевые слова: морошка приземистая (*Rubus chamaemorus L.*), биологически активные вещества, ареал обитания, вторичные метаболиты, фенольные соединения, макронутриенты, листья, плоды, культивирование, промышленный сбор

Для цитирования: Страх, Я. Л. Химический состав и биологическая активность метаболитов *Rubus chamaemorus L.* / Я. Л. Страх, О. С. Игнатовец // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2022. – Т. 67, № 3. – С. 321–331. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-3-321-331>

Yana L. Strakh, Olga S. Ignatovets

Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

CHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF METABOLITES OF *RUBUS CHAMAEMORUS L.*

Abstract. The article describes the climatic conditions and the geographical zones of cloudberry (*Rubus chamaemorus L.*) growth. A trend towards cultural and semi-cultural cultivation of this species was noted. The current state of research on the chemical composition of various parts of cloudberry squat, growing in various environmental conditions, is highlighted. A systematic assessment of accumulation of biologically active substances (vitamins, fatty acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, phenolic acids) of this plant of northern and southern populations was carried out. The role of secondary metabolites in the formation of the biological potential of *R. chamaemorus L.* fruits and leaves is described. High antioxidant and antiradical activities of cloudberry fruit extracts in *in vitro* and *in vivo* model systems are also noted. The review presents the results of scientific works devoted to the study of the antimicrobial activity of fruits against *Helicobacter pylori*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Bacillus subtilis*, *Campylobacter jejuni*, *Micrococcus luteus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans*. There is a lack of research of secondary metabolites of the plant on the southern border of the range. The biological significance of fruits and ground leaf mass, as well as the prospects for cultivation on the southern border of the range and their practical use in the pharmaceutical and food industries are highlighted.

Keywords: cloudberry (*Rubus chamaemorus L.*), biologically active substances, habitat, secondary metabolites, phenolic compounds, macronutrients, leaves, fruits, cultivation, industrial collection

For citation: Strakh Ya. L., Ignatovets O. S. Chemical composition and biological activity of metabolites of *Rubus chamaemorus L.* *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2022, vol. 67, no. 3, pp. 321–331 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-3-321-331>

Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus* L.) – многолетнее травянистое растение, относящееся к семейству *Rosaceae*. Произрастает в арктических и умеренно-северных широтах Северной Америки, Финляндии, Норвегии, Швеции, Англии и России [1]. Широко распространена в полярно-арктической, тундровой, лесотундровой зонах. На севере Республики Беларусь проходит южная граница ареала обитания морошки приземистой [2]. Вид включен в Красную книгу Беларуси 1-го и 2-го изданий (1981, 1993). Относится ко II категории охраны (EN) [3]. В Польше морошка считается видом, находящимся под угрозой исчезновения, и строго охраняется законом [4]. Охраняется данный вид и на территории Германии [5].

Несмотря на то что свойства участков произрастания морошки достаточно широкие (от сухих до влажных), она предпочитает более влажную почву, особенно верховые болота, влажные торфяные и дерновые почвы. Отмечено, что вид достаточно хорошо адаптирован к кислой почве. Морошка теневынослива, однако оптимальный рост растение демонстрирует на достаточно открытых освещенных участках [6].

R. chamaemorus L. – двудомное растение, в дикой природе преобладают мужские особи, при этом наличие 10 % мужских растений считается достаточным для обеспечения высокого уровня плодоношения [7]. Женские особи предпочитают произрастать в более влажных зонах, обеспечивающих большую урожайность [8].

Полупромышленный крупномасштабный коммерческий сбор урожая ягод производится в Скандинавии, Англии и России. Для Северной Америки характерны большие площади произрастания морошки, однако из-за труднодоступного расположения сбор урожая намного меньше, чем в странах Скандинавии. В Северной Америке ресурсный потенциал данного вида больше в естественной среде обитания. Представленную сегодня на рынке морошку получают в основном из дикорастущих растений. В настоящее время наблюдается тенденция к культурному и полукультурному выращиванию данного вида, так как спрос на ягоды намного превышает предложение. Так, активно идут научные исследования по разработке сортов, пригодных для нужд селекции и обладающих дополнительными качествами, увеличивающими перспективы коммерческого выращивания.

Морошка – подходящая культура для северных территорий, богатых торфяниками, но не имеющих обширных сельскохозяйственных угодий хорошего качества. Болота Республики Беларусь также могут стать площадкой для выращивания морошки, и данное направление заслуживает изучения и развития. Однако в Республике Беларусь приоритетной задачей является сохранение и поддержание этого вида в естественной среде обитания. Данную задачу можно решить только путем научного подхода и анализа различных факторов, действующих на белорусские популяции морошки. С этой точки зрения актуальными становятся сбор и обобщение информации о морошке различных климатических зон и сравнение этой информации с данными о белорусских популяциях, а также о других представителях растения южной границы ареала обитания.

Морошка – эксплерент, обладающий слабой конкурентной способностью. Семена морошки приземистой обладают достаточно низкой всхожестью, что затрудняет генеративное размножение вида. Следовательно, для сохранения биоразнообразия, особенно в зонах, где морошка является растением, находящимся под угрозой исчезновения, необходимо исследовать произрастающие популяции с целью выявления среди них наиболее приспособленных к конкретным условиям среды. Кроме того, необходимо установить закономерности накопления некоторых метаболитов как индикаторов негативного воздействия окружающих факторов на различные популяции с целью их идентификации и разработки методов, позволяющих устранить или уменьшить влияние этих метаболитов.

Во многих экспериментальных работах по исследованию растительного сырья приведены данные о содержании различных биологически активных соединений в зависимости от зон произрастания и геоклиматических условий, влияния неблагоприятных факторов окружающей среды и воздействия патогенов.

Анализ научных работ показал, что в морошке приземистой содержание основных макроэлементов в наиболее северных популяциях достигает 0,8 г жира, 2,4 г белка и 8,6 г углеводов на 100 г плодов [9]. Более южные популяции характеризуются следующими показателями: 0,3 г жира, 1,9 г белка и 3,6 г углеводов [10].

Углеводы в плодах морошки приземистой представлены растворимыми сахарами (5,0–6,3 %), пектиновыми веществами (0,3–2,4 %) и клетчаткой (3,8 %) [11]. Основная доля приходится на редуцирующие сахара в виде глюкозы (158 мг/г СВ) и фруктозы (94 мг/г СВ) [12]. Углеводные компоненты находятся в основном в мякоти ягод, а жиры и белки доминируют в косточках. Основная часть липидов сосредоточена в семенах, где их содержание колеблется в пределах 9,1–12,4 % [13]. Причем большее содержание липидов отмечается у семян северных популяций. Жирнокислотный состав липидов представлен в основном олеиновой, линолевой и линоленовой кислотами, общее содержание которых достигает 90–93 %. Из них преобладает линолевая кислота $C_{18:2}$ (ω -6) – 43,1–48,7 %, на втором месте линоленовая $C_{18:3}$ (ω -3) – 27,9–35,5 %. Количество олеиновой кислоты $C_{18:1}$ (ω -9) составляет 13,7–16,7 %, но содержится также $C_{18:1}$ (ω -7), хотя и в незначительном количестве – 0,5–0,6 % [14]. Насыщенные жирные кислоты представлены в основном пальмитиновой кислотой, содержание которой не превышает 2 % [15]. Отмечается тенденция к увеличению содержания полиненасыщенных жирных кислот в семенах популяций более северных широт, что можно связать со среднегодовой температурой окружающей среды [16].

В большинстве работ наряду с общим анализом жирнокислотного состава липидов исследовали также компоненты, входящие в состав эфирного масла. Так, обнаружено, что большую часть эфирного масла составляют свыше 30 ароматических соединений. В основном это соединения, связанные с биосинтезом бензойной кислоты, которая в высокой концентрации содержится в плодах. Доминирующими ароматическими соединениями эфирного масла являются бензиловый спирт (31,3 %), метилбензоат (4,5 %), ацетофенон (2,9 %), 2-фенилэтанол (2,7 %), 1-фенилэтанол (2,3 %), этилбензоат (2,1 %) и 4-винилфенол (1,8 %) [17]. Терпеноиды (α -фенхен, гераниол, линалоол, линалилацетат, α -терпиниол, изопинокамфон и цис- и транс-линолооксиды) составляют лишь незначительную часть эфирного масла – около 1,3 % [18].

Установлено, что в состав эфирного масла морошки входят также ванилин, метилваниллат и ацетованиллон, которые оказывают влияние на его ароматические свойства. Обнаружено, что из нативных веществ эфирного масла при его нагревании образуются некоторые соединения гетероциклической природы (так называемые вторичные продукты). Они влияют на органолептические свойства продуктов из плодов морошки, подвергнутых термической обработке [18].

Наибольший интерес для промышленного применения представляет выделение масла из обработанных плодов морошки – жмыха, который образуется при производстве ликероводочной продукции. Масло, полученное из данного сырья методом сверхкритической экстракции, обладает хорошими физико-химическими и органолептическими показателями [19] и может применяться в косметической и пищевой промышленности.

Плоды морошки отличаются также достаточно высоким содержанием витаминов, особенно витамина С и каротиноидов. Содержание аскорбиновой кислоты варьируется в пределах 220–320 мг/100 г свежих плодов, произрастающих на севере ареала обитания [20]. На южной границе ареала обитания в плодах морошки приземистой содержание витамина С составляет 61,6–143,8 мг% в сухом веществе (СВ) [21].

Каротиноиды в плодах морошки приземистой представлены в основном β -каротином. Присутствуют также ксантофиллы зеаксантин, лютеин, антераксантин, неоксантин, виолаксантин [22]. Сравнительный анализ указанных БАВ показал вариабельность их накопления в зависимости от популяции. Для растений южного ареала характерны следующие значения: $2319,51 \pm 203,48$ мг/100 г сухой массы, 83 % из которых приходится на β -каротин [23]. На северной границе ареала обитания микропопуляция *R. chamaemorus* L. содержала 95 мг/100 г сухой массы [24].

Особое внимание в последнее время уделяется изучению фенольных соединений морошки приземистой, так как эта группа веществ обладает широким спектром биологической активности. По их содержанию плоды морошки приземистой являются одними из лидеров среди северных ягод. Общее содержание фенольных соединений составляет 4270 мг/100 г СВ [25]. В *R. chamaemorus* L. они представлены эллаготанинами (77,1 %), проантоцианидинами (5,9 %), фенолкарбоновыми кислотами (12,2 %), флавоноидами (2,6 %) и антоцианами (0,4 %) [25]. Химическая структура эллаготанина представлена на рис. 1.

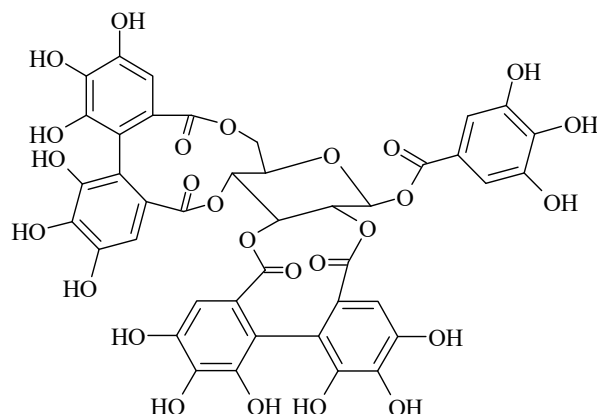


Рис. 1. Химическая структура эллаготанина

Fig. 1. Chemical structure of ellagitannin

Высокую биологическую ценность морошки приземистой определяют эллаготанины. В невысоких концентрациях они обладают антиоксидантным, антиатерогенным, антитромботическим, противовоспалительным и антиангиогенным действием [12]. В эллаготанинах преобладают тримерный ламбертианин С и димерный сангуин Н-6 – 35 и 43 % соответственно от их общего количества [11, 12]. Распределение изомеров сангуина определяется последовательностью Н-6 > Н-2 > Н-10. На долю Н-2 и Н-10 приходится 9 и 6 % соответственно, на долю мономерного касуариктина/потентиллина – 6,5 % от общего содержания эллаготанинов [26].

Фенолкарбоновые кислоты представлены в основном галловой, кофейной, р-кумаровой, феруловой, изоферуловой, бензойной кислотами [27].

Также в морошке идентифицированы следующие проантоцианидины: (+)-катехин, (–)-эпикатехин, резорцин, флороглюцин, процианидин В-2 [28].

Антоцианы встречаются в виде цианидин-3-О-(2-О-глюкозил)рутинозида, цианидин-3-О-софорозида, цианидин-3-О-глюкозида, цианидин-3-О-рутинозида [26–28]. Флавоноиды представлены в основном кверцетин-3-О-глюкуронидом и кверцетин-3-О-глюкозидом.

Данные о содержании фенольных соединений *R. chamaemorus* L. северных ареалов обитания представлены в таблице.

Фенольные соединения *R. chamaemorus* L. северных ареалов обитания

Phenolic compounds of *R. chamaemorus* L. of northern habitats

Фенольное соединение	Содержание	Лит. источник
<i>Гидролизуемые танины, в том числе эллаготанины</i>		
Сангуин Н-6	95,44 мг/г АЭ	[12]
Сангуин Н-2	19,82 мг/г АЭ	[12]
Сангуин Н-10	13,46 мг/г АЭ	[12]
Ламбертианин С	76,57 мг/г АЭ	[12]
Касуариктин/потентиллин	15,49 мг/г АЭ	[12]
<i>Проантоцианидины</i>		
(+)-Катехин	0,50 мг/100 г СП	[27]
(–)-Эпикатехин	0,80 мг/100 г СП	[27]
Процианидин В-2	0,40 мг/100 г СП	[27]
<i>Фенолкарбоновые кислоты</i>		
Эллаговая кислота	144,30 мг/г АЭ	[12]
	60,00 мг/100 г СП	[29]
Галловая кислота	4,20 мг/100 г СП	[27]
	63,0 (14,40–273,70) мг/100 СВ	[30]

Окончание таблицы

Фенольное соединение	Содержание	Лит. источник
p-Кумаровая кислота	4,3 мг/100 г СП	[27]
	31,6 (22,30–44,80) мг/100 СВ	[30]
Феруловая кислота	0,83 мг/г АЭ	[12]
	1,0 мг/100 г СП	[27]
	15,60 (6,30–39,00) мг/100 СВ	[30]
Кофейная кислота	1,15 мг/г АЭ	[12]
	1,00 мг/100 г СП	[27]
	7,70 (5,70–10,60) мг/100 СВ	[30]
Ванилиновая кислота	3,80 (2,70–5,20) мг/100 СВ	[30]
<i>Флавоноиды</i>		
Кверцетин	0,50 мг/100 г	[31]
Кверцетин-3-О-глюкоронид	0,50 мг/100 г СП	[27]
<i>Антоцианы</i>		
Цианидин-3-софорозид	0,20 мг/100 г СП	[27]
Цианидин-3(2G-гликозилрутинозид)	0,20 мг/100 г СП	[27]
Цианидин-3-глюкозид	0,40 мг/100 г СП	[27]
Цианидин-3-рутинозид	0,90 мг/100 г СП	[27]

Примечание. АЭ – ацетоновый экстракт, СВ – сухое вещество, СП – свежие плоды.

Для южной границы ареала обитания *R. chamaemorus* L. количественные показатели индивидуальных соединений исследованы незначительно. В литературе имеются данные о содержании эллаговой кислоты – в пределах 312 мг/100 г СП [4].

На рис. 2 представлены химические структуры основных фенольных соединений *R. chamaemorus* L.

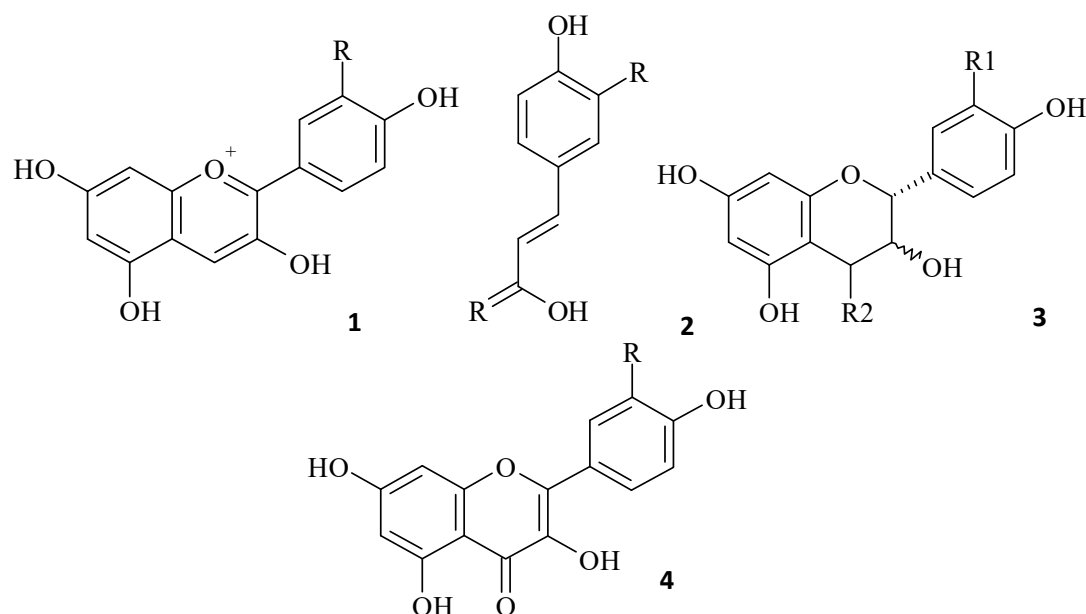


Рис. 2. Химическая структура: **1** – антоцианидины (R=OH – цианидин, R=H – пеларгонидин), **2** – оксикоричные кислоты (R=H – p-кумаровая кислота, R=OH – кофейная кислота, R=OCH₃ – феруловая кислота), **3** – проантоцианидины (R₁=OH, R₂=H (2R,3S) (+)-катехин, R₁=OH, R₂=H (2R,3R) (-)-эпикатехин), **4** – флавоноиды (R=OH – кверцетин, R=H – кемпферол)

Fig. 2. Chemical structure: **1** – anthocyanidins (R=OH – cyanidin, R=H – pelargonidin), **2** – hydroxycinnamic acids (R=H – p-coumaric acid, R=OH – caffeic acid, R=OCH₃ – ferulic acid), **3** – proanthocyanidins (R₁=OH, R₂=H (2R,3S) (+)-catechin, R₁=OH, R₂=H (2R,3R) (-)-epicatechin), **4** – flavonoids (R=OH – quercetin, R=H – kaempferol)

В листьях *R. chamaemorus* L. идентифицированы следующие С-гликозиды флавонов: эмбинин, 2,3-диацетилэмбинин, 3,4-диацетилэмбинин, 2-ацетилэмбинин, 3-ацетилэмбинин, 4-ацетилэмбинин и 2,4-диацетилэмбинин [32].

В морошке приземистой присутствуют сапонины. Кумарины и фурукумарины в морошке приземистой встречаются как в свободной форме, так и в гликозидной (в сумме 2,0–4,4 мг/100 г плодов) [33]. Обзор современной литературы показал, что качественный и количественный состав сапонинов, кумаринов и фурукумаринов изучен недостаточно.

Благодаря наличию фенольных соединений, витаминов, антоцианов экстракты плодов и листьев морошки приземистой обладают антиоксидантным эффектом. Данный вид биологической активности был установлен в модельных реакциях *in vitro* и *in vivo*. Экстракты плодов (мякоти) *in vitro* проявляли радикал-связывающую активность ($IC_{50} = 11,8 \pm 0,6$ мг/г) и хелатирующую активность ($EC_{50} = 34,0 \pm 4,0$ мг/г) [34].

На модели *Drosophila melanogaster* установлено, что экстракт плодов морошки проявлял геопротекторные свойства у самок. Потребление экстракта с пищей увеличивало медианную продолжительность жизни и показатель 90 % смертности достигал 11–19 %, а также снижало популяционную скорость старения самок до 13 %. При этом экстракт морошки не влиял на устойчивость самок дрозофил к голоданию и окислительному стрессу. Влияние экстракта плодов морошки на продолжительность жизни самцов было выражено слабо, а в отдельных случаях носило отрицательный характер [35].

Антиоксидантная активность сока красной морошки хорошо коррелирует с его фенольным составом. В красных ягодах значительно более высокое содержание антоцианов, особенно цианидина и производных пеларгонидина, чем в более распространенных желтых плодах. И наоборот, в желтом соке более высокое содержание эллагитанина. Изучение кормления насекомых *in vivo* показало воздействие соков на перекисное окисление липидов у чувствительного подгула *Drosophila melanogaster*. У молодых самок мух наблюдалось значительное ($p < 0,01$) влияние сока морошки на перекисное окисление липидов. У молодых самцов мух значимые ($p < 0,05$) эффекты были обнаружены на первичных продуктах (гидроксипероксида) с желтым соком и на вторичных продуктах (кетодиенах) с красным соком. С последними было установлено значительное ($p < 0,05$) снижение кетодиенов как у молодых, так и у старых мужских особей. Проведенное исследование демонстрирует, что эффекты ягодных антиоксидантов на перекисное окисление липидов легко и быстро тестируются *in vivo* на чувствительной модели дрозофилы [36].

В исследования некоторых ученых показана тенденция к увеличению антиоксидантной активности посредством гидролиза гликозидов, например эллаготанинов (рис. 3), с образованием свободных фенольных остатков [37].

Ряд научных работ посвящен изучению антимикробной активности экстрактов плодов. Большая часть данного эффекта осуществляется за счет органических кислот, основной из которых в плодах *R. chamaemorus* L. является бензойная. Экстракт ягод морошки обладает бактериоста-

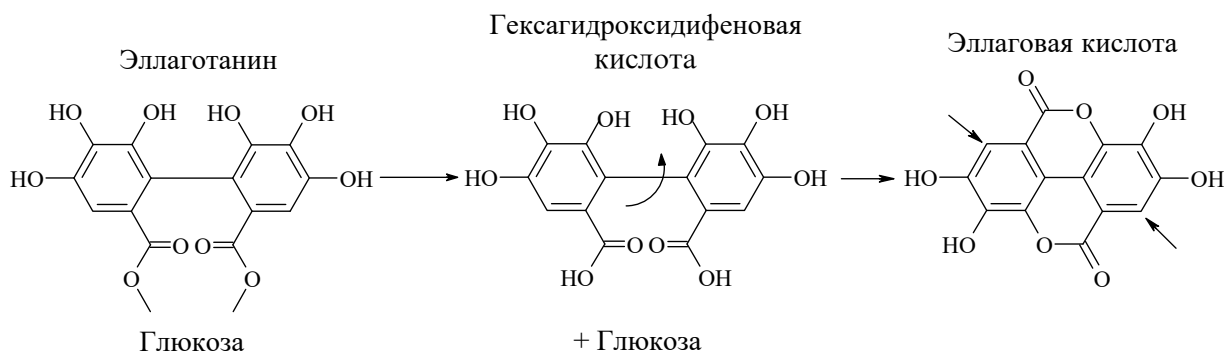


Рис. 3. Реакция гидролиза эллаготанина с образованием эллаговой кислоты

Fig. 3. Hydrolysis reaction of ellagitanin with the formation of the ellagic acid

тическим действием в отношении кишечных бактерий, например *Salmonella* spp. [38]. В целом при исследовании экстрактов ягод продемонстрировано подавление роста грамотрицательных бактерий, в том числе и патогенных штаммов кишечной палочки VTT E-093121 и VTT E-84219 [13]. Наблюдалась также противомикробная активность в отношении *Helicobacter pylori*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Candida albicans* и *Campilobacter jejuni*. Некоторый антимикробный эффект оказывали дубильные вещества. Другими эффективными соединениями являлись содержащиеся в морошке флавоны, кверцетин и нарингенин, которые показали свою эффективность в подавлении роста микроорганизмов.

Экстракты листьев *Rubus chamaemorus* L. оказывали эффективное воздействие против *Acanthamoeba* при $IC_{50} = 0,05$ мг/мл [39].

Также была отмечена антимикробная активность против патогенов человека *S. aureus* DSM 20231, *S. epidermis* ATCC 12228, *B. subtilis* ATCC 9372, *M. luteus* YMBL, *E. coli* ATCC 8739. Экстракты морошки являются лучшими ингибиторами таких бактерий, как *Staphylococcus* spp., *Salmonella* spp., *Helicobacter pylori* и *Bacillus cereus* [40].

Таким образом, в последнее время число исследований, посвященных изучению биологически активных веществ морошки приземистой, значительно увеличилось. Однако существует достаточно серьезная проблема сохранения и поддержания данного вида на южной границе ареала обитания, что требует научно-практического подхода, направленного на всестороннее изучение качественного и количественного состава вторичных метаболитов и их роли в защите растения от неблагоприятных условий окружающей среды. Такой подход будет способствовать выявлению наиболее приспособленных к климатическим условиям популяций. Биологическая активность экстрактов плодов позволяет рассчитывать на то, что использование сырьевого потенциала данного вида даст возможность наладить производство продуктов питания, в состав которых входят биологически активные добавки и биологически активные вещества функционального назначения.

Следует отметить, что, несмотря на то что при разработке данного направления основной объем исследований, посвященных *R. chamaemorus* L., приходится на изучение плодов, интерес исследователей вызывает также потенциальная ценность листовой массы.

Список использованных источников

1. Thiem, B. *Rubus chamaemorus* L. – a boreal plant rich in biologically active metabolites: a review / B. Thiem // Biol. Lett. – 2003. – Vol. 40, N 1. – P. 3–13.
2. Вогулкин, К. Э. Субарктический вид *Rubus chamaemorus* L. на южной и северной границах своего ареала / К. Э. Вогулкин, Н. В. Вогулкина, Л. Н. Шандрикова // Весн. ВГУ. – 2011. – № 6 (66). – С. 26–34.
3. Красная книга Республики Беларусь. Растения. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений / гл. ред. : Л. И. Хоружик (пред.) [и др.]. – Минск : Беларус. Энцыкл., 2005. – 456 с.
4. Thiem, B. Malina moroszka *Rubus chamaemorus* L. – występowanie i próba zachowania ginącego gatunku w kulturach *in vitro* / B. Thiem // Chronmy Przyr. Ojcz. – 2001. – N 57. – S. 16–24.
5. Bundesartenschutzverordnung vom 16. Februar 2005 (BGBl. I S. 258, 896), die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 21. Januar 2013 (BGBl. I S. 95) geändert worden ist. 73 s.
6. Small, E. North American Cornucopia: Top 100 indigenous food plants / E. Small. – Boca Raton : CRC Press, 2013. – 793 p.
7. Петрова, С. Е. Гендерное соотношение и анатомия разнополых особей морошки (*Rubus chamaemorus* L.) в Мурманской области / С. Е. Петрова // Изв. Тимиряз. с.-х. акад. – 2019. – № 6. – С. 130–140.
8. Uleberg, E. Cloudberry breeding in Norway / E. Uleberg, G. Røthe, I. Martinussen // Latvian J. Agronomy. – 2009. – N 12. – P. 122–125.
9. Cloudberries, raw (Alaska Native) nutrition facts and analysis per serving [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.nutritionvalue.org/Cloudberries%2C_raw_%28Alaska_Native%29_nutritional_value.html. – Date of access: 15.06.2021.
10. Шароглазова, Л. П. Комплексная переработка ягод морошки приземистой (*Rubus chamaemorus*), произрастающей на территории Красноярского края : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.01 / Л. П. Шароглазова. – Красноярск, 2018. – 144 л.

11. Antioxidant activity of isolated ellagitannins from red raspberries and cloudberries / M. P. Kähkönen [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2012. – Vol. 60, N 5. – P. 1167–1174. <https://doi.org/10.1021/jf203431g>
12. Fermentation and dry fractionation increase bioactivity of cloudberry (*Rubus chamaemorus*) / R. Puupponen-Pimia [et al.] // Food Chem. – 2016. – N 197, pt. A. – P. 950–958. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.061>
13. Johansson, A. Characterization of seed oils of wild, edible Finnish berries / A. Johansson, P. Laakso, H. Kallio // Ztschr. Lebensm. Unters. Forsch. A. – 1997. – Vol. 204, N 4. – P. 300–307. <https://doi.org/10.1007/s002170050081>
14. Johansson, A. Molecular weight distribution of the triacylglycerols of berry seed oils analysed by negative-ion chemical ionization mass spectrometry / A. Johansson, P. Laakso, H. Kallio // Ztschr. Lebensm. Unters. Forsch. A. – 1997. – Vol. 204, N 4. – P. 308–315. <https://doi.org/10.1007/s002170050082>
15. Страх, Я. Л. Анализ жирно-кислотного состава липидов семян морошки приземистой *Rubus chamaemorus* L. / Я. Л. Страх, О. С. Игнатовец, Е. В. Феськова // Биотехнология: взгляд в будущее : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. (Ставрополь, 16 апр. 2020 г.) / Ставропол. гос. мед. ун-т ; отв. ред. В. И. Кошель. – Ставрополь, 2020. – С. 170–173.
16. Страх, Я. Л. Популяционные различия макро-, микроэлементного состава растений и жирнокислотного состава липидов семян морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.) / Я. Л. Страх, Е. В. Феськова, О. С. Игнатовец // Тр. БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 1 (240). – С. 94–100.
17. Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) cell culture with bioactive substances: Establishment and mass propagation for industrial use / L. Nohynek [et al.] // Eng. Life Sci. – 2014. – Vol. 14, N 6. – P. 667–675. <https://doi.org/10.1002/elsc.201400069>
18. Pyysalo, T. The influence of heat on the aroma of cloudberries (*Rubus Chamaemorus* L.) / T. Pyysalo, E. Honkanen // Ztschr. Lebensm. Unters. Forsch. – 1977. – Vol. 163, N 1. – P. 25–30. <https://doi.org/10.1007/BF01123552>
19. Получение масла из ягод морошки экстракцией сверхкритическим диоксидом углерода / А. Д. Ивахнов [и др.] // Химия раст. сырья. – 2019. – № 2. – С. 91–97.
20. Круглов, Д. С. Органические кислоты и витамины в плодах морошки приземистой / Д. С. Круглов, Ю. С. Мельник // Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции : сб. науч. тр. / под ред. М. В. Гаврилина. – Пятигорск, 2010. – Вып. 65. – С. 73–75.
21. Вогулкин, К. Э. Сезонная динамика биохимического состава морошки приземистой (*Rubus chamaemorus* L.), произрастающей на севере Беларуси / К. Э. Вогулкин, Н. В. Вогулкина, Л. Н. Шандрикова // Биологически активные вещества растений – изучение и использование : материалы Междунар. науч. конф. (Минск, 29–31 мая 2013 г.) / науч. ред. В. Н. Решетников. – Минск, 2013. – С. 82–83.
22. Содержание и состав желтых пигментов в плодах морошки и черники в условиях среднетаежной зоны европейской части России / Т. К. Головки [и др.] // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2011. – Т. 13, № 1–4. – С. 813–816.
23. Lashmanova, K. A. Northern berries as a source of carotenoids / K. A. Lashmanova, O. A. Kuzivanova, O. V. Dymova // Acta Biochim. Pol. – 2012. – Vol. 59, N 1. – P. 133–134.
24. Морфо-физиологические особенности ассимиляционного аппарата листьев *Rubus chamaemorus* на Западном Шпицбергене / Е. А. Марковская [и др.] // Бот. журн. – 2019. – Т. 104, № 11–12. – С. 1740–1752.
25. Contents of anthocyanins and ellagitannins in selected foods consumed in Finland / J. M. Koponen [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2007. – N 55, N 4. – P. 1612–1619. <https://doi.org/10.1021/jf062897a>
26. Chemical composition of ripe fruits of *Rubus chamaemorus* L. grown in different habitats / M. Jaakkola [et al.] // J. Sci. Food Agric. – 2012. – Vol. 92, N 6. – P. 1324–1330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4705>
27. Määttä-Riihinen, K. R. Identification and quantification of phenolic compounds in berries of *fragaria* and *Rubus* species (family Rosaceae) / K. R. Määttä-Riihinen, A. Kamal-Eldin, A. R. Törrönen // J. Agric. Food Chem. – 2004. – Vol. 52, N 20. – P. 6178–6187. <https://doi.org/10.1021/jf049450r>
28. Assessing the influence of genotype and temperature on polyphenol composition in cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) using a novel mass spectrometric method / G. J. McDougall [et al.] // J. Agric. Food Chem. – 2011. – Vol. 59, N 20. – P. 10860–10868. <https://doi.org/10.1021/jf202083b>
29. Häkkinen, S. H. Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: influence of cultivar, cultivation site and technique / S. H. Häkkinen, A. R. Törrönen // Food Res. Int. – 2000. – Vol. 33, N 6. – P. 517–524. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00086-7](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00086-7)
30. Hajazimi, E. Simultaneous determination of flavonols and phenolic acids by HPLC-CoulArray in berries common in the Nordic diet / E. Hajazimi, R. Landberg, G. Zamaratskaia // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 74. – P. 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.034>
31. National Food and Nutrient Analysis Program. Proceedings of the American Statistical Association (Survey Research Methods). Alexandria, VA, 2001. 1 CD-ROM.
32. Анализ С-гликозидов флавонов и продуктов ступенчатого гидролиза их ацетатов в листьях *Rubus chamaemorus* L. / А. К. Уэйли [и др.] // Химия раст. сырья. – 2021. – № 2. – С. 257–265.
33. Акимов, М. Ю. Роль плодов и ягод в обеспечении человека жизненно важными биологически активными веществами / М. Ю. Акимов, В. Н. Макаров, Е. В. Жбанова // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 2. – С. 56–60.

34. Antioxidant activity of extracts from *Allium schoenoprasum* L. and *Rubus chamaemorus* L. growing in the Komi Republic / K. V. Bezmaternykh [et al.] // *Pharmaceut. Chem. J.* – 2014. – Vol. 40, N 2. – P. 36–40. <https://doi.org/10.1007/s11094-014-1060-4>
35. The effects of cloudberry fruit extract on *Drosophila melanogaster* lifespan and stress resistance / E. A. Lashmanova [et al.] // *Adv. Gerontol.* – 2019. – Vol. 9, N 2. – P. 254–260. <https://doi.org/10.1134/s2079057019020127>
36. Rubus fruit juices affect lipid peroxidation in a *Drosophila melanogaster* model *in vivo* / S. V. Mylnikov [et al.] // *J. Agric. Food Chem.* – 2005. – Vol. 53, N 20. – P. 7728–7733. <https://doi.org/10.1021/jf0513031>
37. Polyphenol composition and antioxidant activity in strawberry purees; impact of achene level and storage / K. Aaby [et al.] // *J. Agric. Food Chem.* – 2007. – Vol. 55, N 13. – P. 5156–5166. <https://doi.org/10.1021/jf070467u>
38. Weakening of Salmonella with selected microbial metabolites of berry-derived phenolic compounds and organic acids / H.-L. Alakomi [et al.] // *J. Agric. Food Chem.* – 2007. – Vol. 55, N 10. – P. 3905–3912. <https://doi.org/10.1021/jf070190y>
39. Derda, M. Plant extracts as natural amoebicidal agents / M. Derda, E. Hadaś, B. Thiem // *Parasitol. Res.* – 2009. – Vol. 104, N 3. – P. 705–708. <https://doi.org/10.1007/s00436-008-1277-9>
40. Berry phenolics: Antimicrobial properties and mechanisms of action against severe human pathogens / L. J. Nohynek [et al.] // *Nutr. Cancer.* – 2006. – Vol. 54, N 1. – P. 18–32. https://doi.org/10.1207/s15327914nc5401_4

References

1. Thiem B. *Rubus chamaemorus* L. – a boreal plant rich in biologically active metabolites: a review. *Biology Letters*, 2003, vol. 40, no. 1, pp. 3–13.
2. Vogulkin K. E., Vogulkina N. V., Shandrikova L. N. Subarctic species *Rubus chamaemorus* L. on the southern and northern borders of its range. *Vesnik Vitsebskaga dzyarzhavnaga universiteta* [Bulletin of Vitebsk State University], 2011, no. 6 (66), pp. 26–34 (in Russian).
3. *Red Book of the Republic of Belarus. Plants. Rare and endangered species of wild plants*. Minsk, Belaruskaya Entsiklapedyya Publ., 2005. 456 p. (in Russian).
4. Thiem B. Malina morozzka *Rubus chamaemorus* L. – występowanie i próba zachowania ginącego gatunku w kulturach *in vitro*. *Chrońmy Przyrodę Ojczyzny*, 2001, no. 57, pp. 16–24.
5. *Federal Species Protection Ordinance of February 16, 2005* (BGBl. I p. 258, 896), which was last amended by Article 10 of the law of January 21, 2013 (BGBl. I p. 95). 73 p.
6. Small E. *North American Cornucopia: Top 100 Indigenous Food Plants*. Boca Raton, CRC Press, 2013. 793 p.
7. Petrova S. E. Gender ratio and anatomy of heterogenous cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) species in the Murmansk region. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Proceedings of the Timiryazev agricultural academy], 2019, no. 6, pp. 130–140 (in Russian).
8. Uleberg E., Røthe G., Martinussen I. Cloudberry breeding in Norway. *Latvian Journal of Agronomy*, 2009, no. 12, pp. 122–125.
9. *Cloudberry, raw (Alaska Native) nutrition facts and analysis per serving*. Available at: https://www.nutritionvalue.org/Cloudberry%2C_raw_%28Alaska_Native%29_nutritional_value.html (accessed 15.06.2021).
10. Sharoglazova L. P. *Complex processing of cloudberry berries (Rubus chamaemorus) growing in the Krasnoyarsk Territory*. Ph. D. diss. Krasnoyarsk, 2018. 144 p. (in Russian).
11. Kähkönen M. P., Kylli P., Ollilainen V., Salminen J.-P., Heinonen M. Antioxidant activity of isolated ellagitannins from red raspberries and cloudberry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, vol. 60, no. 5, pp. 1167–1174. <https://doi.org/10.1021/jf203431g>
12. Puupponen-Pimiä R., Nohynek L., Juvonen R., Kössö T., Truchado P., Westerlund-Wikström B., Leppänen T., Moilanen E., Oksman-Caldentey K.-M. Fermentation and dry fractionation increase bioactivity of cloudberry (*Rubus chamaemorus*). *Food Chemistry*, 2016, no. 197, pt. A, pp. 950–958. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.061>
13. Johansson A., Laakso P., Kallio H. Characterization of seed oils of wild, edible Finnish berries. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung A*, 1997, vol. 204, no. 4, pp. 300–307. <https://doi.org/10.1007/s002170050081>
14. Johansson A., Laakso P., Kallio H. Molecular weight distribution of the triacylglycerols of berry seed oils analysed by negative-ion chemical ionization mass spectrometry. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung A*, 1997, vol. 204, no. 4, pp. 308–315. <https://doi.org/10.1007/s002170050082>
15. Strakh Ya. L., Ignatovets O. S., Fes'kova E. V. Analysis of the fatty acid composition of lipids in the seeds of cloudberry *Rubus chamaemorus* L. *Biotechnologiya: Vzglyad v budushchee: materialy 6i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Stavropol', 16 aprelya 2020 goda)* [Biotechnology: A look into the future: materials of the 6th International scientific and practical conference (Stavropol', April 16, 2020)]. Stavropol', 2020, pp. 170–173 (in Russian).
16. Strakh Ya. L., Fes'kova E. V., Ignatovets O. S. Population differences in macro-, microelement composition of plants and fatty acid composition of lipids in cloudberry seeds (*Rubus chamaemorus* L.). *Trudy BGTU. Seriya 1, Lesnoe khozyaistvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyaemykh resursov* [Proceedings of BSTU. Series 1, Forestry, nature management and processing of renewable resources], 2021, no. 1, pp. 94–100 (in Russian).
17. Nohynek L., Bailey M., Tähtiharju J., Seppänen-Laakso T., Rischer H., Oksman-Caldentey K.-M., Puupponen-Pimiä R. Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) cell culture with bioactive substances: establishment and mass propagation for industrial use. *Engineering in Life Sciences*, 2014, vol. 14, no. 6, pp. 667–675. <https://doi.org/10.1002/elsc.201400069>

18. Pyysalo T., Honkanen E. The influence of heat on the aroma of cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.). *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, 1977, vol. 163, no. 1, pp. 25–30. <https://doi.org/10.1007/BF01123552>
19. Ivakhnov A. D., Sadkova K. S., Sobashnikova A. S., Skrebets T. E., Bogdanov M. V. Obtaining oil from cloudberry berries by extraction with supercritical carbon dioxide. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2019, no. 2, pp. 91–97 (in Russian).
20. Kruglov D. S., Mel'nik Yu. S. Organic acids and vitamins in the fruits of cloudberry. *Razrabotka, issledovanie i marketing novoi farmatsevticheskoi produktsii: sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 65* [Development, research and marketing of new pharmaceutical products: a collection of scientific papers. Iss. 65]. Pyatigorsk, 2010, pp. 73–75 (in Russian).
21. Vogulkin K. E., Vogulkina N. V., Shandrikova L. N. Seasonal dynamics of the biochemical composition of cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.), growing in the north of Belarus. *Biologicheski aktivnye veshchestva rastenii – izuchenie i ispol'zovanie: materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Minsk, 29–31 maya 2013 goda)* [Biologically active substances of plants – studying and application : proceedings of the International scientific conference (Minsk, May 29–31, 2013)]. Minsk, 2013, pp. 82–83 (in Russian).
22. Golovko T. K., Dymova O. V., Lashmanova E. A., Kuzivanova O. A. The content and composition of yellow pigments in cloudberry and blueberry fruits in the conditions of the middle taiga zone of the European part of Russia. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2011, vol. 13, no. 1–4, pp. 813–816 (in Russian).
23. Lashmanova K. A., Kuzivanova O. A., Dymova O. V. Northern berries as a source of carotenoids. *Acta Biochimica Polonica*, 2012, vol. 59, no. 1, pp. 133–134.
24. Markovskaya E. F., Shmakova N. Yu., Morozova K. V., Ermolaeva O. V. Morpho-physiological features of the assimilation apparatus of leaves of *Rubus chamaemorus* in Western Svalbard. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical journal], 2019, vol. 104, no. 11–12, pp. 1740–1752 (in Russian).
25. Koponen J. M., Happonen A. M., Mattila P. H., Törrönen A. R. Contents of anthocyanins and ellagitannins in selected foods consumed in Finland. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, no. 55, no. 4, pp. 1612–1619. <https://doi.org/10.1021/jf062897a>
26. Jaakkola M., Korpelainen V., Hoppula K., Virtanen V. Chemical composition of ripe fruits of *Rubus chamaemorus* L. grown in different habitats. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, vol. 92, no. 6, pp. 1324–1330. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4705>
27. Määttä-Riihinen K. R., Kamal-Eldin A., Törrönen A. R. Identification and quantification of phenolic compounds in berries of fragaria and *Rubus* species (family Rosaceae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, vol. 52, no. 20, pp. 6178–6187. <https://doi.org/10.1021/jf049450r>
28. McDougall G. J., Martinussen I., Junntila O., Verrall S., Stewart D. Assessing the influence of genotype and temperature on polyphenol composition in cloudberry (*Rubus chamaemorus* L.) using a novel mass spectrometric method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, vol. 59, no. 20, pp. 10860–10868. <https://doi.org/10.1021/jf202083b49>
29. Häkkinen S. H., Törrönen A. R. Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: Influence of cultivar, cultivation site and technique. *Food Research International*, 2000, vol. 33, no. 6, pp. 517–524. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00086-7](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00086-7)
30. Hajazimi E., Landberg R., Zamaratskaia G. Simultaneous determination of flavonols and phenolic acids by HPLC-CoulArray in berries common in the Nordic diet. *LWT – Food Science and Technology*, 2016, vol. 74, pp. 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.034>
31. *National Food and Nutrient Analysis Program. Proceedings of the American Statistical Association (Survey Research Methods)*. Alexandria, VA, 2001. 1 CD-ROM.
32. Whaley A. K., Ponkratova A. O., Orlova A. A., Serebryakov E. B., Selivanov S. I., Krivoshechekov S. V., Belousov M. V., Proksh P., Luzhanin V. G. Analysis of flavones C-glycosides and stepwise hydrolysis of their acetates in the leaves of *Rubus chamaemorus* L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2021, no. 2, pp. 257–265 (in Russian).
33. Akimov M. Yu., Makarov V. N., Zhbanova E. V. The role of fruits and berries in providing a person with vital biologically active substances. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of APK], 2019, vol. 33, no. 2, pp. 56–60 (in Russian).
34. Bezmaternykh K. V., Shirshova T. I., Beshlei I. V., Matistov N. V., Smirnova G. V., Oktyabr'skii O. N., Volodin V. Antioxidant activity of extracts from *Allium schoenoprasum* L. and *Rubus chamaemorus* L. growing in the Komi Republic. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2014, vol. 40, no. 2, pp. 36–40. <https://doi.org/10.1007/s11094-014-1060-4>
35. Lashmanova E. A., Kuzivanova O. A., Dymova O. V., Moskalev A. A. The effects of cloudberry fruit extract on *Drosophila melanogaster* lifespan and stress resistance. *Advances in Gerontology*, 2019, vol. 9, no. 2, pp. 254–260. <https://doi.org/10.1134/s2079057019020127>
36. Mylnikov S. V., Kokko H. I., Kärenlampi S. O., Oparina T. I., Davies H. V., Stewart D. Rubus fruit juices affect lipid peroxidation in a *Drosophila melanogaster* model *in vivo*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, vol. 53, no. 20, pp. 7728–7733. <https://doi.org/10.1021/jf0513031>
37. Aaby K., Wrolstad R. E., Ekeberg D., Skrede G. Polyphenol composition and antioxidant activity in strawberry purees; impact of achene level and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, vol. 55, no. 13, pp. 5156–5166. <https://doi.org/10.1021/jf070467u>

38. Alakomi H.-L., Puupponen-Pimiä R., Aura A.-M., Helander I. M., Nohynek L., Oksman-Caldentey K.-M., Saarela M. Weakening of *Salmonella* with selected microbial metabolites of berry-derived phenolic compounds and organic acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, vol. 55, no. 10, pp. 3905–3912. <https://doi.org/10.1021/jf070190y>

39. Derda M., Hadaś E., Thiem B. Plant extracts as natural amoebicidal agents. *Parasitology Research*, 2009, vol. 104, no. 3, pp. 705–708. <https://doi.org/10.1007/s00436-008-1277-9>

40. Nohynek L. J., Alakomi H. L., Kahkonen M. P., Heinonen M., Helander I. M., Oksman-Caldentey K. M., Puupponen-Pimiä R. H. Berry phenolics: antimicrobial properties and mechanisms of action against severe human pathogens. *Nutrition and Cancer*, 2006, vol. 54, no. 1, pp. 18–32. https://doi.org/10.1207/s15327914nc5401_4

Информация об авторах

Страх Яна Леонидовна – аспирант. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: y.strakh@gmail.com

Игнатовец Ольга Степановна – канд. биол. наук, доцент. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Ignatovets@belstu.by

Information about the authors

Yana L. Strakh – Postgraduate student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: y.strakh@gmail.com

Olga S. Ignatovets – Ph. D. (Biol.), Associate Professor. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov Str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Ignatovets@belstu.by