

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 615.322
EDN: YXCTAW
DOI: 10.21285/achb.908



Аминокислотный состав пыльцы *Pinus sylvestris* L. и *Pinus sibirica* Du Tour, произрастающих в Прибайкалье

В.Г. Ширеторова*✉, С.А. Эрдынеева***, Л.Д. Раднаева***

*Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

**Бурятский государственный университет им. Доржи Банзарова, г. Улан-Удэ, Российская Федерация

Аннотация. Целью проведенного исследования являлось определение качественного и количественного аминокислотного состава пыльцы *Pinus sylvestris* L. и *Pinus sibirica* Du Tour. Сосновую пыльцу собирали в июне 2021 года в местах естественного произрастания на юго-восточном побережье озера Байкал. Массовую долю сырого протеина определяли по методу Кьельдаля; состав белка и содержание отдельных аминокислот – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с постколоночной модификацией нингидрином на автоматическом анализаторе LA8080 (Hitachi, Япония). Содержание сырого протеина в пыльце составило 14,38–15,94%. Установлено, что в состав белка сосновой пыльцы входят 17 аминокислот, в том числе 9 незаменимых: валин, изолейцин, лейцин, треонин, метионин, фенилаланин, лизин, а также гистидин и аргинин. Содержание суммы аминокислот составило 141,4–156,5 мг/г, в том числе незаменимых аминокислот 45,9–48,4%. Доминирующими в пыльце *Pinus sylvestris* и *Pinus sibirica* являются (мг/г): моноаминодикарбоновые кислоты – глутаминовая (21,3–24,2) и аспарагиновая (13,0–14,2), диаминокарбоновая кислота аргинин (17,0–17,4) и гетероциклическая аминокислота пролин (14,7–16,2). Полученные результаты могут быть полезны при разработке лекарственных средств и биологически активных добавок на основе пыльцы *Pinus sylvestris* и *Pinus sibirica*, обладающих ввиду наличия вышеуказанных аминокислот ноотропным, иммуномодулирующим, кардиостимулирующим, детоксикационным действием.

Ключевые слова: сосновая пыльца, аминокислоты, *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Байкальского института природопользования СО РАН (AAAA-A21-121011890027-0) и при частичной финансовой поддержке гранта Бурятского государственного университета на проведение инициативных исследований № 23-10-0502.

Для цитирования: Ширеторова В.Г., Эрдынеева С.А., Раднаева Л.Д. Аминокислотный состав пыльцы *Pinus sylvestris* L. и *Pinus sibirica* Du Tour, произрастающих в Прибайкалье // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 1. С. 135–141. DOI: 10.21285/achb.908. EDN: YXCTAW.

BRIEF COMMUNICATION

Amino acid composition of pollen *Pinus sylvestris* L. and *Pinus sibirica* Du Tour growing in the Baikal region

Valentina G. Shiretorova*✉, Svetlana A. Erdyneeva***, Larisa D. Radnaeva***

*Baikal Institute of Nature Management SB RAS, Ulan-Ude, Russian Federation

**Banzarov Buryat State University, Ulan-Ude, Russian Federation

Abstract. The purpose of the study was to determine the qualitative and quantitative amino acid composition of pollen *Pinus sylvestris* L. and *Pinus sibirica* Du Tour. Pine pollen was collected in June 2021 at natural sites on the southeastern coast of Lake Baikal. The mass fraction of crude protein was determined by the Kjeldahl method; the protein composition and individual amino acid content were determined by high-performance liquid chromatography with post-column modification of ninhydrin on an LA8080 automatic analyser (Hitachi, Japan). The crude protein content of the pollen was 14.38–15.94%. Pine pollen protein is shown to contain 17 amino acids, including 9 essential amino acids: valine, isoleucine, leucine, threonine, methionine, phenylalanine, lysine, histidine, and arginine. The content of the sum of amino acids was 141.4–156.5 mg/g, including essential amino acids 45.9–48.4%. The following amino acids are dominant in *Pinus sylvestris* and *Pinus sibirica* pollens (mg/g): monoaminodicarboxylic acids – glutamic (21.3–24.2) and aspartic (13.0–14.2), diamino-carboxylic acid arginine (17.0–17.4) and heterocyclic amino acid proline

© Ширеторова В.Г., Эрдынеева С.А., Раднаева Л.Д., 2024

(14.7–16.2). The obtained results can be useful in the development of drugs and biologically active additives based on pollen *Pinus sylvestris* and *Pinus sibirica*, which, due to the presence of the above amino acids, have a nootropic, immunomodulatory, cardiac stimulating, and detoxifying effect.

Keywords: pine pollen, amino acids, *Pinus sylvestris*, *Pinus sibirica*

Funding. The study was carried out within the framework of the state task of the Baikal Institute of Nature Management of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (AAAA-A21-121011890027-0) and partly supported by grant of Banzarov Buryat State University no. 23-10-0502.

For citation: Shiretorova V.G., Erdyneeva S.A., Radnaeva L.D. Amino acid composition of pollen *Pinus sylvestris* L. and *Pinus sibirica* Du Tour growing in the Baikal region. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(1):135-141. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.908. EDN: YXCTAW.

ВВЕДЕНИЕ

Создание новых конкурентоспособных биологически активных добавок из отечественного растительного сырья, обладающих лечебно-профилактическим эффектом, широким спектром действия и малой токсичностью, в современных условиях является одной из приоритетных задач российского здравоохранения. Изучение и введение в медицинскую практику растений, издавна используемых в народной медицине и обладающих значительными запасами сырья, может служить одним из путей решения данной задачи.

Ценным источником биологически активных веществ является сосновая пыльца, которая содержит витамины, фенольные соединения, макро- и микроэлементы, ферменты и коферменты, моно- и полисахариды, аминокислоты, жиры и пищевые волокна [1–5]. На территории Китая пыльца сосны Массона (*Pinus massoniana*) на протяжении тысячелетий широко используется в лечебно-профилактических целях, а также в качестве добавки к пище. Результаты фармакологических и клинических исследований показали, что экстракты из пыльцы *P. massoniana* обладают антиоксидантной, противовирусной, противовоспалительной, иммуномодулирующей и гепатопротекторной активностью [6–11]. Для экстрактов из пыльцы *P. densiflora*, произрастающей в Корее, установлены антиоксидантная активность и противовоспалительное действие [6, 12].

Известно, что лечебное действие растений связано с содержанием в них комплекса биологически активных веществ, в том числе аминокислот. Для большинства аминокислот характерен широкий диапазон фармакологической активности: кардиотонической, липотропной, гепатопротекторной, противосудорожной, седативной и др. Аминокислоты выполняют важную роль в поддержании баланса азота в организме, регуляции иммунной системы, являются основой для синтеза белка и целого спектра соединений (ферментов, гормонов, специализированных тканевых белков, нуклеиновых кислот и др.), обладающих биологической активностью [13, 14]. Высокое содержание некоторых аминокислот в лекарственных растениях усиливает их терапевтический эффект и определяет потенциал их использования в составе лечебных сборов и биологически активных добавок [15–17]. Многие аминокислоты играют важную роль в реакции растений на стрессовые воздействия окружающей среды, снижая

патологические и повреждающие эффекты, обусловленные окислительными воздействиями различной природы [18].

Большой опыт применения пыльцы сосен азиатских видов в народной медицине, доказанный широкий спектр биологической активности, растущая во всем мире популярность биологически активных добавок на основе сосновой пыльцы позволяют сделать вывод о перспективности исследования пыльцы отечественных видов сосен, широко распространенных на территории России: *P. sylvestris* L. и *P. sibirica* Du Tour. Литературные данные по аминокислотному составу сосновой пыльцы данных видов носят единичный характер [19, 20].

В связи с вышесказанным целью проведенного исследования являлось определение качественного состава и количественного содержания аминокислот в пыльце *P. sylvestris* и *P. sibirica*, произрастающих в Прибайкалье.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Образцы пыльцы сосен были собраны в начале июня 2021 г. в месте естественного произрастания – в Кабанском районе Республики Бурятия на юго-восточном побережье озера Байкал. Микростробилы (мужские шишки) собирали за 1–3 дня до начала пыления, затем сушили при комнатной температуре до полного высыпания пыльцы. Пыльцу отделяли от посторонних примесей просеиванием на ситах и до проведения анализа хранили в герметичной стеклянной таре при 2–3 °С.

Для подтверждения присутствия аминокислот проводили качественное обнаружение с помощью нингидриновой реакции с водными извлечениями сосновой пыльцы, а также метода тонкослойной хроматографии с использованием пластинок ПТСХ-П-А-УФ (Sorbfil, Россия) и системы растворителей *n*-бутанол – уксусная кислота ледяная – вода (соотношение 4:1:1). Для проявления хроматограмм использовали спиртовой раствор нингидрина (0,2%).

Содержание сырого протеина в сосновой пыльце определяли по методу Кьельдаля¹.

Для установления качественного состава и определения содержания аминокислот в пыльце сосен использовали высокоэффективную жидкостную хроматографию с постколоночной модификацией нингидрином. Для определения аминокислот в пробе проводили гидролиз в HCl (6н) при 110 °С в течение 22 ч

¹ГОСТ Р 51417-99. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Метод Кьельдаля. М., 2002. 8 с.

в ампулах, запаиваемых под током аргона. Полученный гидролизат упаривали, затем высушивали и хранили в эксикаторе над гидроксидом натрия (гранулированным). Непосредственно перед проведением анализа сухой гидролизат (пробу) разводили в буферном растворе (рН 2,2) из расчета 1 мг белка на 1 мл буфера. Анализ выполняли на автоматическом анализаторе LA8080 Hitachi (Hitachi, Япония), оснащенный ионообменной колонкой #2622 80×4,6 мм и предколонкой для подавления аммонийного пика, постколоночным реактором для модификации аминокислот нингидрином, а также спектрофотометрическим детектором. Условия анализа были следующие: температура колонки 20–90 °С; температура нингидринового реактора 125 °С; рабочее давление 1,6 МПа; поток элюента 0,2 мл/мин; измерительный канал 1 с длиной волны 440 нм, канал 2 с длиной волны 570 нм. Для определения количественного содержания перед анализом партии проб в тех же условиях проводили анализ стандартного образца смеси 17 аминокислот с известной концентрацией (Pickering's Calibration Standard (catalog no. 1700-0155), США). Необходимо отметить, что в процессе кислотного гидролиза происходят следующие изменения аминокислот: триптофан разрушается практически полностью, аспарагин и глутамин переходят в аспарагиновую и глутаминовую кислоты, цистеин окисляется до цистина.

При выполнении исследования в рамках госзадания использовалось оборудование Центра коллективного пользования Байкальского института природопользования СО РАН.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Образцы пыльцы *P. sylvestris* и *P. sibirica* представляли собой мелкодисперсный сыпучий порошок, цвет которого варьировал от светло-желтого до желтого. Присутствие аминокислот в водных извлечениях пыльцы было подтверждено реакцией с нингидрином: наблюдалось красно-фиолетовое окрашивание извлечения, а также зоны, окрашенные в сине-фиолетовый цвет на хроматографических пластинках.

Содержание сырого протеина в пыльце составило, % от массы абсолютно сухого сырья: *P. sylvestris* – 14,38±0,22, *P. sibirica* – 15,94±0,12.

По результатам анализа методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в пыльце *P. sylvestris* и *P. sibirica* было идентифицировано 17 аминокислот, в том числе 9 относящихся к незаменимым: треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, лизин, гистидин и аргинин. Доля незаменимых аминокислот составила 45,9–46,4% от общей суммы (таблица).

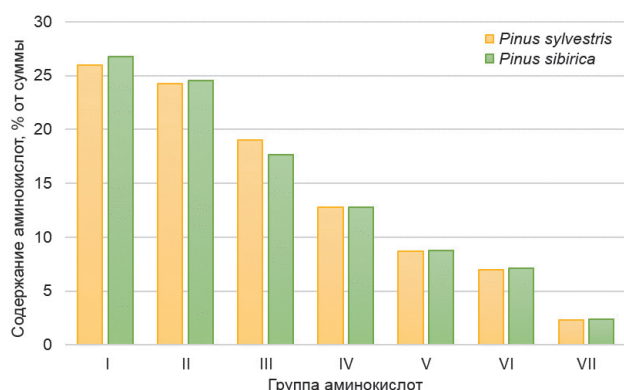
Анализ группового состава аминокислот белка сосновой пыльцы (рисунок) показал, что преобладающими (26–27% от суммы всех аминокислот) являются моноаминомонокарбоновые и моноаминодикарбоновые кислоты (24%). Содержание диаминокарбоновых, гетероциклических, оксимоноаминокарбоновых и ароматических аминокислот составило 7–19% от общей суммы. Значительно более низкая доля – 2,3–2,4% – была характерна для серосодержащих компонентов – цистина и метионина. Относительно содержания аминокислот можно отметить сходство образцов пыльцы исследуемых видов сосен. Незначительные отличия (в 1,1–1,3 раза) наблюдались лишь в содержании валина и аргинина.

Содержание аминокислот в пыльце *Pinus sylvestris* и *Pinus sibirica*

Amino acids content in *Pinus sylvestris* and *Pinus sibirica*

Наименование аминокислоты	<i>Pinus sylvestris</i> , мг/г (% от суммы)	<i>Pinus sibirica</i> , мг/г (% от суммы)	<i>Pinus sylvestris</i> [19], мг/г (% от суммы)	<i>Pinus sibirica</i> [20], % от суммы
Аспарагиновая кислота (Asp)	13,0 (9,2)	14,2 (9,1)	12,3 (10,1)	9,5–9,7
Треонин (Thr)	5,7 (4,0)	6,4 (4,1)	5,0 (4,1)	5,1–5,2
Серин (Ser)	6,7 (4,7)	7,3 (4,7)	6,1 (5,0)	6,4–6,6
Глутаминовая кислота (Glu)	21,3 (15,1)	24,2 (15,4)	17,5 (14,3)	12,4–12,8
Глицин (Gly)	6,7 (4,7)	7,7 (4,9)	5,8 (4,8)	9,2–9,3
Аланин (Ala)	7,9 (5,6)	8,7 (5,5)	6,8 (5,6)	8,7–9,2
Валин (Val)	6,9 (4,9)	8,5 (5,4)	5,6 (4,6)	5,7–5,8
Цистин (Cys)	1,1 (0,8)	1,4 (0,9)	Не обнаружено	Не обнаружено
Метионин (Met)	2,2 (1,5)	2,4 (1,5)	1,7 (1,4)	1,3–1,4
Изолейцин (Ile)	5,6 (4,0)	6,4 (4,1)	4,4 (3,6)	4,0–4,3
Лейцин (Leu)	9,6 (6,8)	10,7 (6,9)	8,4 (6,9)	7,7–8,1
Тирозин (Tyr)	4,6 (3,3)	5,2 (3,3)	6,0 (5,0)	2,2–2,4
Фенилаланин (Phe)	5,2 (3,7)	5,9 (3,8)	5,1 (4,2)	3,1–3,3
Лизин (Lys)	9,5 (6,7)	10,7 (6,8)	8,7 (7,2)	6,8–6,9
Гистидин (His)	3,4 (2,4)	3,9 (2,5)	3,4 (2,8)	1,9–2,0
Аргинин (Arg)	17,4 (12,3)	17,0 (10,9)	15,1 (12,5)	4,7–5,7
Пролин (Pro)	14,7 (10,4)	16,2 (10,3)	9,5 (7,8)	8,9–10,1
Сумма аминокислот	141,4 (100)	156,5 (100)	121,4 (100)	–
Незаменимых аминокислот, %	46,4	45,9	47,4	41,2–41,8

Примечание. Курсивом выделены незаменимые аминокислоты.



Групповой аминокислотный состав пыльцы *Pinus sylvestris* и *Pinus sibirica*: I – моноаминомонокарбоновые (Gly, Ala, Val, Ile, Leu); II – моноаминодикарбоновые (Asp, Glu); III – диаминокрбоновые (Lys, Arg); IV – гетероциклические (His, Pro); V – оксимоаминокрбоновые (Thr, Ser); VI – ароматические (Tyr, Phe); VII – серосодержащие (Cys, Met)

Amino acid group composition of *Pinus sylvestris* and *Pinus sibirica* pollen: I – monoaminomonocarboxylic acids (Gly, Ala, Val, Ile, Leu); II – monoaminodicarboxylic (Asp, Glu); III – monoaminocarboxylic (Lys, Arg); IV – heterocyclic (His, Pro); V – oxyaminomonocarboxylic (Thr, Ser); VI – aromatic (Tyr, Phe); VII – sulfur-containing (Cys, Met)

По содержанию аминокислот в образцах пыльцы *P. sylvestris* и *P. sibirica* можно составить следующий ряд: Glu > Asp > Arg > Pro > Leu > Lys > Ala > Val > Gly ≥ Ser > Thr > Phe > Ile > Tyr > His > Cys > Met. Доминирующими аминокислотами в пыльце *P. sylvestris* и *P. sibirica* являются (мг/г): моноаминодикарбоновые кислоты – глутаминовая (21,3–24,2) и аспарагиновая (13,0–14,2), диаминокрбоновая кислота аргинин (17,0–17,4) и гетероциклическая аминокислота пролин (14,7–16,2). Значительное содержание в сосновой пыльце данных аминокислот имеет практическое значение, так как глутаминовая кислота эффективна при лечении эпилепсии, сахарного диабета и некоторых других заболеваний; аспарагиновая кислота обладает гепатопротекторными свойствами, применяется для профилактики заболеваний нервной системы; аргинин действует как сосудорасширяющее средство, используется при застойной сердечной недостаточности, преэклампсии, гипертонии, стенокардии, ишемической болезни сердца и эректильной дисфункции; пролин способствует заживлению ран, ожогов, язв и нормальному функционированию суставов [21–28].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Stanley R.G., Linskens H.F. Pollen: biology, biochemistry, management. New-York: Springer Science & Business Media, 2012. 310 p.
2. Keriene I., Šauliene I., Šukiene L., Judžentienė A., Ligor M., Buszewski B. Patterns of phenolic compounds in *Betula* and *Pinus* pollen // Plants. 2023. Vol. 12, no. 2. P. 356. DOI: 10.3390/plants12020356.
3. Olennikov D.N., Shishmarev V.M., Shiretorova V.G. Alkyl cinnamates from pollen of *Pinus sylvestris* // Chemistry of Natural Compounds. 2023. Vol. 59, no. 2. P. 207–211. DOI: 10.1007/s10600-023-03957-1.
4. Ширеторова В.Г., Эрдынеева С.А., Раднаева Л.Д.

По сравнению с пыльцой *P. sylvestris*, произрастающей в Северной Осетии – Алании [19], в пыльце сосны, произрастающей на территории Бурятии, содержание суммы аминокислот выше на 16–29%, а пролина – в 1,5–1,7 раза. Повышенное накопление пролина в пыльце сосен обеспечивает ее развитие и фертильность и способствует ее устойчивости к стрессовым условиям среды, что также отмечалось и для других растений [29]. Сравнительный анализ аминокислотного состава пыльцы *P. sibirica* с литературными данными, опубликованными в 1978 г. [20], показал более высокое (в 2 раза) содержание аргинина и меньшее содержание аланина и глицина (в 1,6 и 1,9 раза соответственно) в исследуемых нами образцах, содержание остальных аминокислот отличалось незначительно. Необходимо отметить, что в исследуемых образцах пыльцы в количестве 1,1–1,4 мг/г присутствовал цистин, который ранее обнаружен не был [19, 20]. Различия полученных в ходе проведенного исследования и литературных данных в содержании отдельных аминокислот могут быть связаны с условиями произрастания, так как для территории Бурятии характерен резко континентальный климат с холодной зимой и жарким летом, а также высокая продолжительность солнечного сияния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования содержания белка и его аминокислотного состава в пыльце *P. sylvestris* и *P. sibirica* показали, что она содержит значительное количество белка (14,38–15,94%), в составе которого идентифицировано 17 аминокислот, в том числе все 9 незаменимых. Содержание суммы аминокислот составило 141,4–156,5 мг/г белка, в том числе незаменимых 45,9–48,4%. По содержанию аминокислоты расположились в следующем порядке: Glu > Asp > Arg > Pro > Leu > Lys > Ala > Val > Gly ≥ Ser > Thr > Phe > Ile > Tyr > His > Cys > Met. Доминирующими аминокислотами являются (мг/г): глутаминовая (21,3–24,2), аспарагиновая (13,0–14,2) кислоты, аргинин (17,0–17,4) и пролин (14,7–16,2). Полученные данные по аминокислотному составу могут быть полезны при разработке лекарственных средств и биологически активных добавок на основе пыльцы *P. sylvestris* и *P. sibirica*, обладающих ввиду наличия вышеуказанных аминокислот ноотропным, иммуномодулирующим, кардиостимулирующим, детоксикационным действием.

Элементный состав пыльцы *Pinus sylvestris* L., *P. sibirica* Du Tour и *P. pumila* (Pall.) Regel // Химия растительного сырья. 2022. N 2. С. 233–242. DOI: 10.14258/jcprm.20220210171. EDN: XWHTPR.

5. Erdyneeva S.A., Shiretorova V.G., Tykheev Zh.A., Radnaeva L.D. Fatty-acid composition of pollen from *Pinus sylvestris*, *P. sibirica*, and *P. pumila* // Chemistry of Natural Compounds. 2021. Vol. 57. P. 741–742. DOI: 10.1007/s10600-021-03462-3.

6. Liang S.-B., Liang N., Bu F.-L., Lai B.-Y., Zhang Y.-P., Cao H.-J. et al. The potential effects and use of Chinese herbal medicine pine pollen (*Pinus pollen*): a bibliometric

- analysis of pharmacological and clinical studies // World Journal of Traditional Chinese Medicine. 2020. Vol. 6, no. 2. P. 163–170. DOI: 10.4103/wjtc.wjtc_4_20.
7. Jin X., Cong T., Zhao L., Ma L., Li R., Zhao P., et al. The protective effects of Masson pine pollen aqueous extract on CC1₄-induced oxidative damage of human hepatic cells // International Journal of Clinical and Experimental Medicine. 2015. Vol. 8, no. 10. P. 17773–17780.
8. Zhou C., Yin S., Yu Z., Feng Y., Wei Kai, Ma W. Preliminary characterization, antioxidant and hepatoprotective activities of polysaccharides from Taishan *Pinus massoniana* pollen // Molecules. 2018. Vol. 23, no. 2. P. 281. DOI: 10.3390/molecules23020281.
9. Hongqi S., Zhou S., Huan W., Yongqiang M., Xiangyun N., Ruichang C. Taishan *Pinus massoniana* pollen polysaccharide inhibits H9N2 subtype influenza virus infection both *in vitro* and *in vivo* // Veterinary Microbiology. 2020. Vol. 248. P. 108803. DOI: 10.1016/j.vetmic.2020.108803.
10. Sha Z., Shang H., Miao Y., Huang J., Niu X., Chen R. Polysaccharides from *Pinus massoniana* pollen improve intestinal mucosal immunity in chickens // Poultry Science. 2021. Vol. 100, no. 2. P. 507–516. DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.015.
11. Ma D., Wang Z., He Z., Wang Z., Chen Q., Qin F., et al. Pine pollen extract alleviates ethanol-induced oxidative stress and apoptosis in HepG2 cells via MAPK signaling // Food and Chemical Toxicology. 2023. Vol. 171. P. 113550. DOI: 10.1016/j.fct.2022.113550.
12. Choi E.-M. Antinociceptive and antiinflammatory activities of pine (*Pinus densiflora*) pollen extract // Phytotherapy Research. 2007. Vol. 21, no. 5. P. 471–475. DOI: 10.1002/ptr.2103.
13. Табаленкова Г.Н., Розенцвет О.А. Аминокислотный состав листьев трех видов рода *Artemisia* L., произрастающих в условиях Приэльтона // Химия растительного сырья. 2021. N 3. С. 219–225. DOI: 10.14258/jcprm.2021038736. EDN: XWRYHF.
14. Недилько О.В., Яницкая А.В. Изучение аминокислотного состава надземной и подземной частей солодки голой // Химия растительного сырья. 2020. N 1. С. 251–256. DOI: 10.14258/jcprm.2020014678. EDN: LBKAWL.
15. Moran-Palacio E.F., Tortoledo-Ortiz O., Yañez-Farías G.A., Zamora-Álvarez L.A., Stephens-Camacho N.A., Soñanez-Organis J.G., et al. Determination of amino acids in medicinal plants from Southern Sonora, Mexico // Tropical Journal of Pharmaceutical Research. 2014. Vol. 13, no. 4. P. 601–606. DOI: 10.4314/tjpr.v13i4.17.
16. Alsaedi S., Aljeddani G. Phytochemical analysis and bioactivity screening of primary and secondary metabolic products of medicinal plants in the Valleys of Medina Region Saudi Arabia // Advances in Biological Chemistry. 2022. Vol. 12, no. 4. P. 92–115 DOI: 10.4236/abc.2022.124009.
17. Wani S.S, Dar P.A, Zargar S.M, Dar T.A. Therapeutic potential of medicinal plant proteins: present status and future perspectives // Current Protein & Peptide Science. 2020. Vol. 21, no. 5. P. 443–487. DOI: 10.2174/1389203720666191119095624.
18. Trovato M., Funck D., Forlani G., Okumoto S., Amir R. Editorial: amino acids in plants: regulation and functions in development and stress defense // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. P. 772810. DOI: 10.3389/fpls.2021.772810.
19. Бидарова Ф.Н., Сидакова Т.М., Кисиева М.Т. Исследование аминокислотного состава пыльцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающей на территории РСО-Алания // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. N 12-2. С. 267–271. EDN: YMNHUE.
20. Аларкон Н.Л., Минина Е.Г., Митрофанов Т.К., Ларионова Н.А., Толкачев О.Н. Аминокислоты пыльцы кедрового сибирского // Физиология растений. 1978. Т. 25. N 4. С. 855–857.
21. Budniak L., Slobodianiuk L., Marchyshyn S., Potishnyi I. Determination of amino acids of plants from *Angelica* L. genus by HPLC method // Pharmacia. 2022. Vol. 69, no. 2. P. 437–446. DOI: 10.3897/pharmacia.69.e83705.
22. Кудряшева А.А., Преснякова О.П. Медико-биологические особенности натуральных пищевых аминокислот // Пищевая промышленность. 2014. N 3. С. 68–73. EDN: RWFTMT.
23. Wu G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition // Amino Acids. 2009. Vol. 37. P. 1–17. DOI: 10.1007/s00726-009-0269-0.
24. Сырочая А.О., Шаповал Л.Г., Макаров В.А., Петюнина В.Н., Грабовецкая Е.Р., Андреева С.В. [и др.]. Аминокислоты глазами химиков, фармацевтов, биологов: монография. В 2 т. Харьков: Щедра садиба плюс, 2015. Т. 2. 268 с.
25. Pahlavani N., Jafari M., Sadeghi O., Rezaei M., Rasad H., Rahdar H.A., Entezari M.H. L-arginine supplementation and risk factors of cardiovascular diseases in healthy men: a double-blind randomized clinical trial // F1000Research. 2014. Vol. 3. P. 306. DOI: 10.12688/f1000research.5877.1.
26. Appleton J. Arginine: clinical potential of a semi-essential amino acid // Alternative Medicine Review. 2002. Vol. 7, no. 6. P. 512–522.
27. Wu G., Bazer F.W., Burghardt R.C., Johnson G.A., Kim S.W., Knabe D.A., et al. Proline and hydroxyproline metabolism: implications for animal and human nutrition // Amino Acids. 2011. Vol. 40. P. 1053–1063. DOI: 10.1007/s00726-010-0715-z.
28. Hu S., He W., Wu G. Hydroxyproline in animal metabolism, nutrition, and cell signaling // Amino Acids. 2022. Vol. 54. P. 513–528. DOI: 10.1007/s00726-021-03056-x.
29. Trovato M., Forlani G., Signorelli S., Funck D. Proline metabolism and its functions in development and stress tolerance // Osmoprotectant-mediated abiotic stress tolerance in plants: recent advances and future perspectives / eds M.A. Hossain, V. Kumar, D.J. Burrett, M. Fujita, P.S.A. Mäkelä. Cham: Springer, 2019. P. 41–72. DOI: 10.1007/978-3-030-27423-8_2.

REFERENCES

1. Stanley R.G., Linskens H.F. *Pollen: biology, biochemistry, management*. New-York: Springer Science & Business Media; 2012, 310 p.
2. Keriene I., Šauliene I., Šukienė L., Judžentienė A., Ligor M., Buszewski B. Patterns of phenolic compounds in *Betula* and *Pinus* pollen. *Plants*. 2023;12(2):356. DOI: 10.3390/plants12020356.
3. Olennikov D.N., Shishmarev V.M., Shiretorova V.G.

Alkyl cinnamates from pollen of *Pinus sylvestris*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2023;59(2):207-211. DOI: 10.1007/s10600-023-03957-1.

4. Shiretorova V.G., Erdyneeva S.A., Radnaeva L.D. Elemental composition of the *Pinus sylvestris* L., *P. sibirica* Du Tour and *P. pumila* (Pall.) Regel pollen. *Khimija rastitel'nogo syr'ja = Chemistry of plant raw material*. 2022;2:233-242. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.20220210171. EDN: XWHTPR.

5. Erdyneeva S.A., Shiretorova V.G., Tykheev Zh.A., Radnaeva L.D. Fatty-acid composition of pollen from *Pinus sylvestris*, *P. sibirica*, and *P. pumila*. *Chemistry of Natural Compounds*. 2021;57:741-742. DOI: 10.1007/s10600-021-03462-3.

6. Liang S.-B., Liang N., Bu F.-L., Lai B.-Y., Zhang Y.-P., Cao H.-J. et al. The potential effects and use of Chinese herbal medicine pine pollen (*Pinus pollen*): a bibliometric analysis of pharmacological and clinical studies. *World Journal of Traditional Chinese Medicine*. 2020;6(2):163-170. DOI: 10.4103/wjtc.wjtc_4_20.

7. Jin X., Cong T., Zhao L., Ma L., Li R., Zhao P., et al. The protective effects of Masson pine pollen aqueous extract on CC₄-induced oxidative damage of human hepatic cells. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2015;8(10):17773-17780.

8. Zhou C., Yin S., Yu Z., Feng Y., Wei Kai, Ma W. Preliminary characterization, antioxidant and hepatoprotective activities of polysaccharides from Taishan *Pinus massoniana* pollen. *Molecules*. 2018;23(2):281. DOI: 10.3390/molecules23020281.

9. Hongqi S., Zhou S., Huan W., Yongqiang M., Xiangyun N., Ruichang C. Taishan *Pinus massoniana* pollen polysaccharide inhibits H9N2 subtype influenza virus infection both *in vitro* and *in vivo*. *Veterinary Microbiology*. 2020;248:108803. DOI: 10.1016/j.vetmic.2020.108803.

10. Sha Z., Shang H., Miao Y., Huang J., Niu X., Chen R. Polysaccharides from *Pinus massoniana* pollen improve intestinal mucosal immunity in chickens. *Poultry Science*. 2021;100(2):507-516. DOI: 10.1016/j.psj.2020.09.015.

11. Ma D., Wang Z., He Z., Wang Z., Chen Q., Qin F., et al. Pine pollen extract alleviates ethanol-induced oxidative stress and apoptosis in HepG2 cells via MAPK signaling. *Food and Chemical Toxicology*. 2023;171:113550. DOI: 10.1016/j.fct.2022.113550.

12. Choi E.-M. Antinociceptive and antiinflammatory activities of pine (*Pinus densiflora*) pollen extract. *Phytotherapy Research*. 2007;21(5):471-475. DOI: 10.1002/ptr.2103.

13. Tabalenkova G.N., Rozentsvet O.A. Amino acid composition of leaves of three species of *Artemisia* L. growing in the Elton region. *Khimija rastitel'nogo syr'ja = Chemistry of plant raw material*. 2021;3:219-225. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.2021038736. EDN: XWRYHF.

14. Nedil'ko O.V., Yanitskaya A.V. The study of amino acid content of *Glycyrrhiza glabra* overground and underground parts. *Khimija rastitel'nogo syr'ja = Chemistry of plant raw material*. 2020;1:251-256. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.2020014678. EDN: LBKAWL.

15. Moran-Palacio E.F., Tortoledo-Ortiz O., Yañez-Farías G.A., Zamora-Álvarez L.A., Stephens-Camacho N.A., Soñanez-Organis J.G., et al. Determination of amino acids in medicinal plants from Southern Sonora, Mexico. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 2014;13(4):601-606. DOI: 10.4314/tjpr.v13i4.17.

16. Alsaedi S., Aljeddani G. Phytochemical analysis and

bioactivity screening of primary and secondary metabolic products of medicinal plants in the Valleys of Medina Region Saudi Arabia. *Advances in Biological Chemistry*. 2022;12(4):92-115 DOI: 10.4236/abc.2022.124009.

17. Wani S.S., Dar P.A., Zargar S.M., Dar T.A. Therapeutic potential of medicinal plant proteins: present status and future perspectives. *Current Protein & Peptide Science*. 2020;21(5):443-487. DOI: 10.2174/1389203720666191119095624.

18. Trovato M., Funck D., Forlani G., Okumoto S., Amir R. Editorial: amino acids in plants: regulation and functions in development and stress defense. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:772810. DOI: 10.3389/fpls.2021.772810.

19. Bidarova F.N., Sidakova T.M., Kisieva M.T. The amino acid composition of pine pollen (*Pinus sylvestris* L.), growing on the territory of RNO-Alania. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovanii = International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2017;12-2:267-271. (In Russian). EDN: YMHHUE.

20. Alarkon N.L., Minina E.G., Mitrofanov T.K., Larionova N.A., Tolkachev O.N. Amino acids of Siberian cedar pollen. *Fiziologiya rastenii*. 1978;25(4):855-857. (In Russian).

21. Budniak L., Slobodianiuk L., Marchyshyn S., Potishnyi I. Determination of amino acids of plants from *Angelica* L. genus by HPLC method. *Pharmacia*. 2022;69(2):437-446. DOI: 10.3897/pharmacia.69.e83705.

22. Kudryasheva A.A., Presnyakova O.P. Medical and biological features of natural food amino acids. *Pishchevaya promyshlennost' = Food Industry*. 2014;3:68-73. (In Russian). EDN: RWFTMT.

23. Wu G. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*. 2009;37:1-17. DOI: 10.1007/s00726-009-0269-0.

24. Syrovaya A.O., Shapoval L.G., Makarov V.A., Petyunina V.N., Grabovetskaya E.R., Andreeva S.V., et al. *Amino acids through the eyes of chemists, pharmacists, biologists*. In 2 vol. Kharkov: Shchedra sadiba plyus; 2015, vol. 2, 268 p. (In Russian).

25. Pahlavani N., Jafari M., Sadeghi O., Rezaei M., Rasad H., Rahdar H.A., Entezari M.H. L-arginine supplementation and risk factors of cardiovascular diseases in healthy men: a double-blind randomized clinical trial. *F1000Research*. 2014;3:306. DOI: 10.12688/f1000research.5877.1.

26. Appleton J. Arginine: clinical potential of a semi-essential amino acid. *Alternative Medicine Review*. 2002;7(6):512-522.

27. Wu G., Bazer F.W., Burghardt R.C., Johnson G.A., Kim S.W., Knabe D.A., et al. Proline and hydroxyproline metabolism: implications for animal and human nutrition. *Amino Acids*. 2011;40:1053-1063. DOI: 10.1007/s00726-010-0715-z.

28. Hu S., He W., Wu G. Hydroxyproline in animal metabolism, nutrition, and cell signaling. *Amino Acids*. 2022;54:513-528. DOI: 10.1007/s00726-021-03056-x.

29. Trovato M., Forlani G., Signorelli S., Funck D. Proline metabolism and its functions in development and stress tolerance. In: Hossain M.A., Kumar V., Burritt D.J., Fujita M., Mäkelä P.S.A. (eds). *Osmoprotectant-mediated abiotic stress tolerance in plants: recent advances and future perspectives*. Cham: Springer; 2019, p. 41-72. DOI: 10.1007/978-3-030-27423-8_2.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ширеторова Валентина Германовна,
к.т.н., старший научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
✉ vgshiretorova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3528-5101>

Эрдынеева Светлана Аркадьевна,
к.фарм.н.,
научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
старший преподаватель,
Бурятский государственный университет
им. Доржи Банзарова,
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина 24а,
Российская Федерация,
esssa198013@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4330-5723>

Раднаева Лариса Доржиевна,
д.х.н.,
главный научный сотрудник,
Байкальский институт
природопользования СО РАН,
670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6,
Российская Федерация,
заведующий кафедрой,
Бурятский государственный университет
им. Доржи Банзарова,
670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина 24а,
Российская Федерация,
radld@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2886-1075>

Вклад авторов

В.Г. Ширеторова – разработка концепции исследования, сбор образцов, обсуждение результатов, написание текста статьи.
С.А. Эрдынеева – сбор образцов, проведение анализа, обработка полученных данных.
Л.Д. Раднаева – разработка концепции исследования, редактирование текста статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 15.06.2023.
Одобрена после рецензирования 19.09.2023.
Принята к публикации 29.02.2024.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Valentina G. Shiretorova,
Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
✉ vgshiretorova@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3528-5101>

Svetlana A. Erdyneeva,
Cand. Sci. (Pharmacology),
Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
Senior Lecturer,
Banzarov Buryat State University,
24a, Smolin St., Ulan-Ude, 670000,
Russian Federation,
esssa198013@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4330-5723>

Larisa D. Radnaeva,
Dr. Sci. (Chemistry),
Chief Researcher,
Baikal Institute of Nature Management SB RAS,
6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670047,
Russian Federation,
Head of the Department,
Banzarov Buryat State University,
24a, Smolin St., Ulan-Ude, 670000,
Russian Federation,
radld@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2886-1075>

Contribution of the authors

Valentina G. Shiretorova – conceptualization, methodology, sampling, discussion of the results, original draft preparation, and editing of the manuscript.
Svetlana A. Erdyneeva – sampling, analysis, discussion of the results.
Larisa D. Radnaeva – supervision, review, editing of the manuscript.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Information about the article

The article was submitted 15.06.2023.
Approved after reviewing 19.09.2023.
Accepted for publication 29.02.2024.