

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2374>
<https://elibrary.ru/WCQACN>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Биологическая ценность белка папоротника (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn)



Д. А. Черемных^{1,*}, Г. А. Губаненко¹,
Е. А. Речкина², Л. А. Маюрникова³, Н. Ю. Теплюк¹

¹ Сибирский федеральный университет^{ROR}, Красноярск, Россия

² Красноярский государственный аграрный университет^{ROR}, Красноярск, Россия

³ Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 21.03.2022

Принята после рецензирования: 28.04.2022

Принята в печать: 15.06.2022

*Д. А. Черемных: darya.cheremnykh.94@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5421-8791>

Г. А. Губаненко: <https://orcid.org/0000-0002-3049-0835>

Е. А. Речкина: <https://orcid.org/0000-0002-8045-9529>

Л. А. Маюрникова: <https://orcid.org/0000-0003-4592-8382>

Н. Ю. Теплюк: <https://orcid.org/0000-0002-2242-5590>

© Д. А. Черемных, Г. А. Губаненко, Е. А. Речкина,
Л. А. Маюрникова, Н. Ю. Теплюк, 2022



Аннотация.

Поиск новых источников полноценного белка решает актуальную проблему дефицита белковой составляющей в рационе питания человека. Одним из нетрадиционных источников может стать папоротник, богатый белком. Целью работы является изучение биологической ценности белка папоротника орляка обыкновенного (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), произрастающего на территории Красноярского края.

Объектом исследования являлся папоротник орляка обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), собранный в мае 2021 г. в Козульском, Курагинском и Шушенском районах Красноярского края. Содержание белка определяли спектрофотометрическим методом, аминокислотный состав – хроматографическим методом.

Содержание белка в папоротнике составило от 24 до 27 % на абсолютно сухое сырье. Во всех образцах идентифицировано 15 аминокислот, из них 7 незаменимых, среди которых доминирует фенилаланин+тирозин – до 2,17 г/100 г белка. Скор всех незаменимых аминокислот составил больше 100 %. Метионин+цистин в белках папоротника является лимитирующей аминокислотой. Среди заменимых аминокислот по содержанию доминирует глутамин – 4,98 г/100 г белка. Среди 15 идентифицированных аминокислот 12 представители различных классов алифатических, 1 – ароматическая и 2 – гетероциклических. По биологической ценности белок папоротника, собранный в Курагинском районе, превосходит образцы Козульского и Шушенского районов, т. к. имеет меньшее значение коэффициента различия аминокислотного сора (78) и наибольшее значение коэффициента утилитарности аминокислотного состава (0,55). Индекс незаменимых аминокислот для всех образцов свежего папоротника составил от 1,04 до 1,1. Это свидетельствует о большем значении суммы незаменимых аминокислот, чем в эталонном белке.

Изученный качественный и количественный состав аминокислот папоротника орляка обыкновенного, произрастающего на территории Красноярского края, позволяет говорить о возможности его дальнейшего применения в производстве отечественной пищевой продукции в качестве дополнительного источника белка в рационе человека.

Ключевые слова. Растительное сырье, папоротник, растительный белок, аминокислотный состав, биологическая ценность

Финансирование. Работа выполнена на кафедре технологии и организации общественного питания института торговли и сферы услуг Сибирского федерального университета (СФУ)^{ROR}, а также на базе аналитической лаборатории Института биофизики СО РАН.

Для цитирования: Биологическая ценность белка папоротника (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) / Д. А. Черемных [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 417–425. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2374>

Biological Protein Value of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn

Daria A. Cheremnykh^{1,*}, Galina A. Gubanenko¹, Ekaterina A. Rechkina²,
Larisa A. Mayurnikova³, Nadezhda Yu. Teplyuk¹

¹ Siberian Federal University^{ROR}, Krasnoyarsk, Russia

² Krasnoyarsk State Agrarian University^{ROR}, Krasnoyarsk, Russia

³ Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 21.03.2022

Revised: 28.04.2022

Accepted: 15.06.2022

* Daria A. Cheremnykh: darya.cheremnykh.94@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5421-8791>

Galina A. Gubanenko: <https://orcid.org/0000-0002-3049-0835>

Ekaterina A. Rechkina: <https://orcid.org/0000-0002-8045-9529>

Larisa A. Mayurnikova: <https://orcid.org/0000-0003-4592-8382>

Nadezhda Yu. Teplyuk: <https://orcid.org/0000-0002-2242-5590>

© D.A. Cheremnykh, G.A. Gubanenko, E.A. Rechkina,
L.A. Mayurnikova, N.Yu. Teplyuk, 2022



Abstract.

Contemporary human diet is poor in proteins. Therefore, the modern food science should find new sources of high-grade protein. The bracken fern is rich in proteins can be an unconventional solution to this problem. The research objective was to study the protein contents of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, which grows on the territory of the Krasnoyarsk Region.

The study featured *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn harvested in several districts of the Kozulka, Kuragino and Shushenskoye districts Krasnoyarsk Region in May 2021. Spectrophotometry and chromatography were used to assess the proteins and amino acids, respectively.

The protein content in the dried fern samples ranged from 24 to 27%. All the samples contained fifteen amino acids, including seven essential ones, mostly represented by phenylalanine+tyrosine (2.17 g/100 g of protein). Glutamine was the dominating essential amino acid (4.98 g/100 g of protein). The score of all the essential amino acids was more than 100%. The limiting amino acid was represented by methionine+cystine. From the total of fifteen amino acids, twelve belonged to various classes of aliphatic amino acids, one – to aromatic amino acids, and two – to heterocyclic amino acids. In terms of biological value, the samples collected in the Kuragino district surpassed those from the Kozulka and Shushenskoye districts because they had a lower value of amino acid score difference coefficient (78) and the highest value of coefficient of amino acid utility (0.55). The index of essential amino acids for all the fresh fern samples ranged from 1.04 to 1.1, which indicates a greater value of the total of essential amino acids than in the reference protein.

The qualitative and quantitative composition of amino acids of the bracken fern in the Krasnoyarsk Region showed that it can be used in food industry as an additional source of protein.

Keywords. Plant raw materials, bracken, vegetable protein, amino acid composition, vegetable raw materials, biological value

Funding. The work was carried out on the basis of the Department of Technology and Catering Organization of the Trade and Economic Institute of the Siberian Federal University (SibFU)^{ROR}, as well as on the basis of the analytical laboratory of the Institute of Biophysics SB RAS.

For citation: Cheremnykh DA, Gubanenko GA, Rechkina EA, Mayurnikova LA, Teplyuk NYu. Biological Protein Value of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):417–425. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2374>

Введение

Актуальной современной проблемой в питании является белковая недостаточность, свидетельствующая о целесообразности расширения возможности использования в рационе человека

растительного белка наряду с белками животного происхождения [1, 2].

В последнее десятилетие наблюдается тенденция проведения исследований, направленных на сравнительный анализ ценности животных и

растительных белков. В результате этого сформировался новый мировой тренд – снижение уровня употребления мяса. В работах ряда авторов представлены результаты исследований, подтверждающие, что рацион, богатый животным белком с низким содержанием клетчатки, увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний из-за их неблагоприятного воздействия на липиды крови и артериальное давление [1–5]. Авторы утверждают, что увеличение потребления белков, особенно белков растительного происхождения, положительно влияет на здоровье человека [4].

Наблюдается смещение приоритетов в сторону использования растительных и альтернативных источников белка, способных изменить структуру питания человека и производство отдельных видов пищевой продукции. Поэтому пищевые растения рассматриваются как источники не только витаминов и углеводов, но и белка с высокой биологической ценностью, которая определяется количественным и качественным составом аминокислот.

В растениях за счет их ферментных систем накапливаются практически все аминокислоты, тогда как способность к синтезу незаменимых аминокислот утратили и животные, и человек [6]. Природные аминокислоты имеют более высокую физиологическую активность, по сравнению с синтетическими аналогами, т. к. в растительном сырье они находятся в легко усваиваемых человеческим организмом комплексах и в биологически доступных концентрациях [6–8].

Аминокислоты обладают широким спектром биологической активности. Лизин, треонин, фенилаланин, тирозин, аспарагин, глутамин, глицин, серин и аргинин служат исходными аминокислотами для синтеза антител, гормонов, ферментов и других веществ. Они участвуют в метаболизме сахаров и органических кислот (аланин), способствуют снижению уровня холестерина в крови (метионин, триптофан, лизин, аргинин), выведению тяжелых металлов из организма (метионин, цистеин), росту и восстановлению тканей (гистидин, изолейцин, лейцин, глицин, серин, пролин) [9]. При недостатке аминокислот замедляются многие жизненно важные процессы в организме. Кроме того, аминокислоты являются биогенетическими предшественниками большинства биологически активных веществ – флавоноидов и алкалоидов – и придают им легкоусвояемую форму с одновременным синергизмом их фармакологического действия [10].

В перечне растительного сырья интерес представляет папоротник рода Орляк (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) – пищевое, многолетнее и зимостойкое растение, которое предпочитает бедные почвы и не страдает от засухи. Произрастает в разных типах леса. Однако для обильного распространения характерны светлые леса с соснами, березами, лиственными

деревьями и т. п. За счет своего двойного варианта размножения (вегетативного и спорового) папоротник легко разрастается на местах вырубki, а также населяет заросли на месте лесных пожаров.

В России папоротник растет в европейской части, на Урале, в Сибири (за исключением арктических территорий) и на Дальнем Востоке. Оценить биологические и эксплуатационные запасы невозможно, т. к. в национальном атласе России представлены данные по биологическим запасам только ягод, грибов и орехов. В литературе и в официальных статистических отчетах Росстата и Красстата отсутствует информация о сборе недревесных лесных ресурсах, в том числе папоротника.

В пищевых целях используют молодые надземные органы (вайи) папоротника на определенной стадии развития до начала разворачивания листовой пластинки. Установлено, что оптимальными для промышленной заготовки является 3 (устранение изгиба) и 4 (шильце) этапы, допускается сбор на 5 этапе (тойничок), но до раскрытия листа. Сезон сбора папоротника орляка – с конца апреля до середины июня – зависит от погодных условий и территориальной расположенности. Согласно правилам заготовки пищевых лесных ресурсов и сбора лекарственных растений промышленный сбор на одном участке допускается 1 раз в течение 3–4 лет.

Потребительские характеристики папоротника обуславливают его широкое кулинарное использование при приготовлении салатов, закусок, приправ и т. д. [11]. В пищу традиционно используют вайи, но известны примеры применения корневища растения в печеном виде или для приготовления муки [12]. В странах Азии папоротник является изысканным деликатесом и население употребляет его в пищу в жареном, тушеном, запеченном и вареном виде. В каждой стране есть свои рецепты и способы использования этого растения. В Японии папоротник орляк имеет название «Вараби» и популярен среди буддистов и вегетарианцев. Из рахисов (побегов) готовят холодное блюдо цукудани, варабимоти и салат гома-аэ. В Китае орляк принято называть «Цзю» и использовать корневище в качестве источника крахмала при приготовлении лапши черного цвета. В корейской кухне папоротник называется «Госари». Из него готовят острый суп с говядиной юккедян, блюдо из риса с добавлением различных овощей пибимпап и чон – оладьи с добавлением папоротника в тесто [13, 14].

В России на внутреннем рынке папоротник орляк не так востребован, поэтому большая его часть (более 70 %) заготавливается и перерабатывается для экспорта в Японию, Корею, Китай и т. д. Используют традиционный способ консервирования папоротника – соление. Пандемия и кризисы 2020–2022 гг. изменяли структуру потребления соленого папоротника на

внутреннем и внешнем рынках. За последние два года резко снизился объем экспорта. Это определило новые задачи для заготовителей и переработчиков папоротника по поиску других каналов сбыта продукции и разработки новых продуктов с целью обеспечения устойчивого развития.

Химический состав свежих побегов *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn представлен углеводами: сахарами (глюкозой, фруктозой, сахарозой и рибозой), клетчаткой, пектином, крахмалом и лигнином. Отмечены следы органических кислот, таких как яблочная, лимонная, аконитовая, кофейная, протокахетовая и шикимовая. Высокая пищевая ценность обусловлена составом витаминов А, С, Е, РР, и β -каротином. Минеральные вещества представлены калием, кальцием, натрием, фосфором, серой, магнием, медью и марганцем. В своем составе орляк содержит жирные кислоты: арахидоновую, α -линоленовую, олеиновую, γ -линоленовую, гексадекатриеновую, дигомо- γ -линоленовую, стеариновую, тимдоновую, бегоновую, арахидиновую; преобладают линолевая и пальмитиновая.

Изучение литературных источников по пищевой ценности папоротника позволило установить, что молодые побеги растения синтезируют большое количество белков – 25–31 % на абсолютно сухое сырье. По их содержанию орляк практически не отличается от опят, белокачанной капусты, бобовых и картофеля. По данным зарубежных авторов в папоротнике идентифицировано 16 аминокислот, 7 из которых незаменимы, а 9 заменимы. Среди незаменимых аминокислот высокое содержание у лейцина, наименьше – у метионина. Из заменимых содержание глутаминовой кислоты было самым высоким, а содержание цистеина самым низким, что согласуется с отечественными исследователями [15–17]. Аминокислотный состав белка папоротника по составу и количественному содержанию близок к физиологически необходимой норме (эталонному белку) по данным ФАО/ВОЗ [16, 17]. Авторы отмечают, что аминокислотный скор всех незаменимых аминокислот превышает 100 % (за исключением метионина+цистина). В связи с этим изучение аминокислотного состава папоротника орляка представляет научный и практический интерес.

Цель исследования – изучить качественный и количественный состав аминокислот папоротника орляка (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), произрастающего на территории Красноярского края как сырьевой базы для дальнейшего применения в производстве отечественной пищевой продукции.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования использован свежий папоротник *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, произрастающий в разных районах Красноярского края. Заготовку образцов для исследования проводили

в мае 2021 г. Стебель с нераспустившейся листовой пластинкой (вайя) размером до 30 см собирали в соответствии с требованиями ГОСТ 59425-2021 и Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 28 июня 2020 г. № 494. Специфика образцов папоротника зависит от территориальной принадлежности, влияющей на биологическую ценность исследуемого растительного сырья. Папоротник *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn собран в Козульском районе (п. Бадаложный), в южной части восточных Саян (п. Курагино), в южной части западных Саян (п. Шушенское) и в таежных зонах, для которых характерен смешанный тип леса с растительным биоразнообразием. Выбор мест для сбора обусловлен расположением действующих на территории края площадок для промышленной заготовки папоротника.

Влажность растительного сырья определяли высушиванием при 105 °С до постоянной массы в соответствии с ОФС.1.5.3.0007.15.

Содержание белка определяли спектрофотометрическим методом. Оптическую плотность измеряли на ФЭКе (КФК-2, «ЗОМЗ») при длине волны 350 нм в соответствии с ОФС.1.2.3.0012.15.

Определение аминокислотного состава образцов проведено в аналитической лаборатории Института биофизики СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск). Метод заключается в расщеплении белков на аминокислоты (связанные аминокислоты) с помощью гидролиза, последующем разделении смеси аминокислот на хроматографической колонке, смешивании элюата с нингидрином для проведения реакции с получением окрашенных продуктов и детектировании компонентов фотометрическим детектором. Для определения аминокислот в пробах проводили гидролиз в 6N растворе соляной кислоты. Сухую навеску пробы массой 16–18 мг взвешивали в стеклянной виале и приливали 6–7 мл раствора 6N соляной кислоты. Виалу продували аргоном и помещали в песочную баню на 22 ч при 110 °С, затем охлаждали до комнатной температуры, взбалтывали содержимое и переносили на беззольный фильтр. Стенки виалы дважды промывали дистиллированной водой. Смывы также переносили на фильтры. Фильтрат выпаривали в выпарительной чашке на кипящей водяной бане до образования влажного осадка. Затем к осадку добавляли 2 мл дистиллированной воды и снова выпаривали для удаления следов соляной кислоты. Выпаренные гидролизаты хранили в эксикаторе над гранулированной щелочью (NaOH или KOH) до анализа. Перед анализом сухой гидролизат, содержащий смесь аминокислот, растворяли в буфере с pH 2,2 из расчета 1 мг исходного белка на 1 мл буфера. Для удаления гидрофобных веществ, мешающих разделению, использовали картриджи, заполненные силикагелем. Через картридж (Диапак С-1) пропускали раствор гидролизата в 5 %

растворе диметилсульфоксида в буфере, используемом для разведения проб. Перед анализом пробу фильтровали через фильтр с размером пор 0,45 мкм. Анализ выполняли на автоматическом анализаторе LA8080 (Hitachi, Япония) методом ВЭЖХ с постколоночной модификацией нингидрином. Для количественной оценки перед анализом серии проб в тех же условиях проводили анализ стандартной смеси аминокислот с известной концентрацией (Pickering Calibration Standard, США). В итоге получили хроматограммы с пиками семнадцати аминокислот: лизин, гистидин, аргинин, треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, аспарагиновая кислота, пролин, серин, глутаминовая кислота, глицин, аланин, цистин и тирозин. В процессе кислотного гидролиза триптофан практически полностью разрушается, цистеин окисляется в цистин, аспарагин и глутамин превращаются в аспарагиновую и глутаминовую кислоты соответственно.

Биологическую ценность белков рассчитывали двумя методами, представленными в работах [18–20]. Рассчитывали аминокислотный скор, коэффициент разбалансированности аминокислотного сора, коэффициент утилитарности аминокислотного состава и индекс незаменимой кислоты.

Экспериментальные исследования проводили в 3–5-кратной повторности. Результаты обрабатывали статистическими методами с доверительной вероятностью 0,95. Различия между средними показателями были проанализированы с использованием *t*-критерия Стьюдента. Результаты считались значимыми, если $P \leq 0,05$. Все результаты выражены в виде средних значений со стандартным отклонением.

Результаты и их обсуждение

Полученные экспериментальные данные показывают содержание общего белка от 24 до 27 % на абсолютно сухое сырье в свежем папоротнике орляка в зависимости от места заготовки. Результаты исследования по количеству белка в свежем папоротнике, заготовленном в Красноярском крае, согласуются с литературными данными по содержанию белка в папоротнике, произрастающем в других регионах России [16, 17]. Например, молодые побеги, собранные на Сахалине, содержат 30 % белка; орляк обыкновенный, заготовленный в Кемеровской области и предгорьях Алтая, накапливает до 27 % белков на абсолютно сухое сырье. Е. В. Мельникова опубликовала данные по содержанию белка в папоротнике в количестве 26,4 %.

Итоги исследования качественного и количественного аминокислотного состава белка свежего папоротника орляка, произрастающего в разных районах Красноярского края, приведены в таблице 1.

Идентифицировано 15 аминокислот, 12 из которых представляют различные классы алифатических аминокислот, 1 – ароматическая и 2 –

гетероциклических. Установлено, что папоротник, произрастающий в южной части западных Саян, накапливает на 3,5 г больше суммы заменимых и незаменимых аминокислот, чем другие образцы. Выявленную закономерность для данного района можно объяснить тем, что основная масса древостоев, под пологом которых развиваются заросли папоротника, имеют относительную полноту от 0,3 до 0,6. Это положительно сказывается на возможности накопления растением биологически активных веществ. Массовая доля незаменимых аминокислот в образцах, собранных в Козульском районе и в южной части западных Саян, составляет более 70 % от общего количества аминокислот. Папоротник южной части восточных Саян имеет меньший показатель по количеству незаменимых аминокислот – 64,3 %. Это подтверждает биологическую ценность растения.

В исследуемых растениях обнаружено 7 незаменимых аминокислот: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин+цистеин, фенилаланин+тирозин и треонин. В изучаемых объектах преобладает заменимая аминокислота – глутамин (содержание в пределах от 4,67 до 4,98 г/100 г белка). Глутамин играет важную роль в работе различных органов, а также служит источником энергии клеток и тканей, помогает организму быстро восстановиться во время сна, обеспечивая нервные клетки головного мозга энергией и улучшая умственную работу [20–22].

Из незаменимых аминокислот превалирует фенилаланин+тирозин (от 1,79 до 2,17 г/100 г белка). Он способен восстанавливать силы при хронической усталости, снижать тревожность и благотворно влиять на тонус организма в целом [21].

Для оценки биологической ценности белка *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn проведен анализ содержания незаменимых аминокислот свежего папоротника орляка в сравнении с идеальным белком ФАО/ВОЗ. Результаты представлены в таблице 2.

Из приведенных данных следует, что масса незаменимых аминокислот в белке свежего папоротника орляка составляет от 37 до 39 г/100 г белка. Выявлено, что скоры почти всех незаменимых аминокислот выше 100 %, что согласуется с выводами исследований [16, 17]. В работах Л. И. Гориславской, И. Э. Цапаловой и Т. В. Плотниковой, М. В. Центроева и др. представлены данные сора незаменимых аминокислот – валина, изолейцина, лейцина, лизина, фенилаланина+тирозина, треонина и триптофана – в пределах от 108 до 150 %. Авторами определена единственная лимитирующая аминокислота – метионин+цистин. Данные М. В. Центроева и Л. И. Гориславской согласуются с данными в отношении аминокислотного сора, который составил 60 и 57 %. По данным И. Э. Цапаловой он составляет 74 %.

Таблица 1. Состав и количество аминокислот в свежем папоротнике рода Орляк, г/100 г на абсолютно сухое сырье

Table 1. Qualitative and quantitative composition of amino acids in dried *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, g/100 g

№	Наименование аминокислот	Образец № 1 (п. Бадаложный)	Образец № 2 (п. Курагино)	Образец № 3 (п. Шушенское)
<i>Алифатические</i>				
Моноаминомонокарбоновые				
1	Глицин, <i>Gly</i>	0,94 ± 0,03	0,95 ± 0,02	1,16 ± 0,03
2	Аланин, <i>Ala</i>	1,16 ± 0,03	1,26 ± 0,02	1,46 ± 0,02
3	Валин, <i>Val</i>	1,09 ± 0,05	1,01 ± 0,03	1,36 ± 0,02
4	Изолейцин, <i>Ile</i>	0,76 ± 0,02	0,72 ± 0,02	0,96 ± 0,03
5	Лейцин, <i>Leu</i>	1,52 ± 0,03	1,49 ± 0,04	1,91 ± 0,07
Оксимоаминокарбоновые				
6	Серин, <i>Ser</i>	1,05 ± 0,04	1,05 ± 0,05	1,26 ± 0,04
7	Треонин, <i>Thr</i>	0,92 ± 0,04	0,89 ± 0,02	1,10 ± 0,04
Амиды моноаминодикарбоновых				
8	Аспарагин, <i>Asp</i>	1,79 ± 0,05	1,76 ± 0,06	2,26 ± 0,08
9	Глутамин, <i>Glu</i>	4,67 ± 0,14	4,98 ± 0,17	4,81 ± 0,11
Амиды моноаминодикарбоновых				
10	Лизин, <i>Lys</i>	1,07 ± 0,03	1,00 ± 0,03	1,19 ± 0,03
11	Аргинин, <i>Arg</i>	1,04 ± 0,03	0,99 ± 0,02	1,28 ± 0,03
Серосодержащие				
12	Метионин, <i>Met</i>	0,29 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,29 ± 0,01
<i>Ароматические</i>				
13	Фенилаланин+тирозин, <i>Phe+Tyr</i>	1,96 ± 0,02	1,79 ± 0,04	2,17 ± 0,07
<i>Гетероциклические</i>				
14	Гистидин, <i>His</i>	0,41 ± 0,02	0,39 ± 0,01	0,51 ± 0,02
15	Пролин, <i>Pro</i>	0,77 ± 0,02	0,79 ± 0,03	1,18 ± 0,05
	Сумма заменимых аминокислот	11,42	11,78	13,41
	Сумма незаменимых аминокислот	8,02	7,59	9,49
	Общая сумма аминокислот	19,44	19,37	22,90

В результате исследования выявлено, что в белке доминируют фенилаланин+тирозин и треонин, аминокислотный скор которых находится в пределах 224–246 и 184–192 % соответственно. Метионин+цистин в белках папоротника орляка является лимитирующей аминокислотой (скор не превышает 65 %).

Анализ биологической ценности белка папоротника, рассчитанной с учетом коэффициента различия аминокислотного сора (табл. 2), показывает, что белок папоротника, собранный в южной части западных Саян (п. Шушенское), уступает белку образцов, заготовленных в южной части восточных Саян и Козульском районе, т. к. коэффициент разбалансированности аминокислотного сора у него выше, а коэффициент утилитарности аминокислотного состава ниже.

Качественной оценкой белка служит и коэффициент утилитарности: чем выше его значения ($U = 1$), тем лучше сбалансированы незаменимые аминокислоты и тем рациональнее они могут быть использованы организмом [22]. Согласно литературным данным если $U = 1$ и КРАС = 0, то аминокислоты в белке лучше сбалансированы [22].

Произведенные расчеты показали, что по биологической ценности белок папоротника Образца № 2 (из южной части восточных Саян п. Курагино) превосходит Образцы № 1 и 3, т. к. имеет меньшее значение коэффициента разбалансированности аминокислотного сора (78) и наибольшее значение коэффициента утилитарности аминокислотного состава (0,55). Это позволяет говорить об удовлетворительной степени сбалансированности.

В литературе известен другой способ определения биологической ценности белка [18–20]. Если индекс незаменимых аминокислот превышает 1, то содержание незаменимых аминокислот больше в исследуемом белке, чем в эталонном. Индекс незаменимой кислоты для образцов свежего папоротника (табл. 2) составил более 1. Это характеризует хорошую биологическую ценность исследуемых образцов.

Выводы

На основе сравнительного анализа количества белка в трех образцах свежего папоротника орляка *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, произрастающего

Таблица 2. Биологическая ценность белка папоротника *Pteridium aquilinum* (L.) KuhnTable 2. Biological value of protein in *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn

Аминокислоты	Идеальный белок		Образец № 1		Образец № 2		Образец № 3	
	г/100 г белка	Скор, %	г/100 г белка	Скор, %	г/100г белка	Скор, %	г/100г белка	Скор, %
Валин	4,0	100	5,6	140	5,2	130	5,9	148
Изолейцин	3,0	100	3,9	130	3,7	123	4,2	140
Лейцин	6,1	100	7,8	128	7,7	126	8,4	138
Лизин	4,8	100	5,5	115	5,2	108	5,2	108
Метионин+цистин	2,3	100	1,5	65	1,5	65	1,3	57
Фенилаланин+тирозин	4,1	100	10,1	246	9,2	224	9,5	232
Треонин	2,5	100	4,7	188	4,6	184	4,8	192
Триптофан	0,66	100	–	–	–	–	–	–
Сумма	27,5	–	39,1	–	37,1	–	39,3	–
Коэффициент различия аминокислотного сора (КРАС), %			80		72		88	
Биологическая ценность (БЦ), %			20		28		12	
Коэффициент утилитарности аминокислотного состава (U), дол. ед.			0,52		0,55		0,46	
Индекс незаменимой аминокислоты (ИНАК)			1,1		1,04		1,04	

на территории Красноярского края, установлено незначительное различие по его содержанию, которое составило от 24 до 27 % на а.с.с. Наибольшее значение аминокислот (22,9 г) в составе белка имеет папоротник, произрастающий в южной части западных Саян, что на 3,5 г больше, чем в образцах из других районов.

В папоротнике с разных территорий региона содержится 15 аминокислот, из них 7 незаменимых. Доминирует среди заменимых глутамин, содержание которого составляет до 4,98 г/100 г белка. Из незаменимых аминокислот превалирует фенилаланин+тирозин (от 1,79 до 2,17 г/100 г белка).

Для оценки биологической ценности белка свежего папоротника орляка рассчитан скор всех незаменимых аминокислот, значение которого составило больше 100 %. Установлено, что метионин+цистин в белках изучаемых объектов является лимитирующей аминокислотой (скор 65 %).

Выявлено, что по биологической ценности белок папоротника, собранного в южной части восточных Саян (п. Курагино), превосходит белок папоротника образцов из Козульского района (п. Бадаложный) и южной части западных Саян (п. Шушенское), т. к. имеет меньшее значение коэффициента различия аминокислотного сора (78) и наибольшее значение коэффициента утилитарности аминокислотного состава (0,55). Индекс незаменимых аминокислот для всех образцов свежего папоротника составил от 1,04 до 1,1. Это свидетельствует о большем значении суммы незаменимых аминокислот, чем в эталонном белке.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о качественном составе белка папоротника орляка, который может быть использован в производстве пищевой продукции. Разработана технология получения новых продуктов путем применения сублимационной сушки с целью сохранения биологической ценности и дальнейшего использования как дополнительного источника белка для человека.

Критерии авторства

Авторы статьи несут полную ответственность за концепцию и идеи, отраженные в статье. Д. А. Черемных и Г. А. Губаненко являлись руководителями проекта. Е. А. Речкина, Л. А. Маюрникова и Н. Ю. Теплюк участвовали в экспертизе данных и обсуждении содержания статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность ведущему научному сотруднику ИБФ СО РАН (г. Красноярск), доктору биологических наук Н. Н. Сущик за помощь в выполнении исследований химического состава *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.

Contribution

The authors of the article are solely responsible for the concept and ideas reflected in the article. D.A. Cheremnykh and G.A. Gubanenko supervised

the project. E.A. Rechkina, L.A. Mayurnikova, and N.Yu. Teplyuk analyzed the data.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgements

The authors express their gratitude to Dr.Sci.(Bio.) N.N. Suschik, the leading researcher of The Institute of Biophysics, the Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

References/Список литературы

1. Tarrega A, Rizo A, Murciano A, Laguna L, Fiszman S. Are mixed meat and vegetable protein products good alternatives for reducing meat consumption? A case study with burgers. *Current Research in Food Science*. 2020;3:30–40. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.02.003>
2. Milford AB, Le Mouël C, Bodirsky BL, Rolinski S. Drivers of meat consumption. *Appetite*. 2019;141. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.06.005>
3. Horgan GW, Scalco A, Craig T, Whybrow S, Macdiarmid JI. Social, temporal and situational influences on meat consumption in the UK population. *Appetite*. 2019;138:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.03.007>
4. Hruby A, Jacques PF. Dietary protein and changes in markers of cardiometabolic health across 20 years of follow-up in middle-aged Americans. *Public Health Nutrition*. 2018;21(16):2998–3010.
5. Oosterwijk MM, Soedamah-Muthu SS, Geleijnse JM, Bakker SJL, Navis G, Binnenmars SH, et al. High dietary intake of vegetable protein is associated with lower prevalence of renal function impairment: Results of the dutch DIALECT-1 cohort. *Kidney International Reports*. 2019;4(5):710–719. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2019.02.009>
6. Nedit'ko OV, Yanitskaya AV. The study of amino acid content of *Glycyrrhiza glabra* over-ground and underground parts. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2020;(1):251–256. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020014678>
7. Serba EM, Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Tadzhibova PY, Zorin SN. Production of peptides and amino acids from microbial biomass in food and feed industries: biotechnological aspects. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):268–276. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-268-276>
8. Osipova GA, Koryachkina SYa, Koryachkin VP, Seregina TV, Zhugina A.E. Effects of protein-containing additives on pasta quality and biological value. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(1):60–66. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-60-66>
9. Tabalenkova GN, Rosentsvet OA. Amino acid composition of leaves of three species of *Artemisia* L. growing in the Elton region. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2021;(3):219–225. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021038736>
10. Reut AA, Denisova SG, Pupykina KA, Shigapov ZCh. Accumulation of biologically active substances in raw material of some representatives of the genus *Paeonia* L. under the introduction in the South Urals. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2019;(2):80–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2019-0-2-80-87>
11. Ryazanova OA, Nikolaeva MA, Kleshchevsky YuN. Botanical and commodity characteristics of the common bracken fern. *Food Products Commodity Expert*. 2021;(1):26–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.33920/igt-2101-04>
12. Prokopenko ST, Shalisko IV. Contemporary aspects of wild-growing plant raw material use as food with example of bracken fern. *Technico-tehnologicheskie problemy servisa*. 2013;25(3):69–74. (In Russ.).
13. Прокопенко С. Т., Шалиско И. В. Современные аспекты использования дикорастущего сырья в качестве продуктов питания на примере папоротника-орляка // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2013. Т. 25. № 3. С. 69–74.
14. Туркенич Д. Р., Вершинина А. Р. Японская кухня как объект всемирного культурного наследия // Ученые заметки ТОГУ. 2021. Т. 12. № 4. С. 100–103. (На англ.).
15. Denisova YaV, Popova YaP. Wild food plants from Sakhalin Island in Korean and Japanese cuisine. *Innovation. Science. Education*. 2021;(31):1807–1813. (In Russ.).
16. Денисова Я. В., Попова Я. П. Дикорастущие пищевые растения острова Сахалин, используемые в корейской и японской кухне // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 31. С. 1807–1813.
17. Wang Y, Gao S, He X, Li Y, Zhang Y, Chen W. Response of total phenols, flavonoids, minerals, and amino acids of four edible fern species to four shading treatments. *PeerJ*. 2020;2020(1). <https://doi.org/10.7717/peerj.8354>
18. Prokopenko ST, Shalisko IV. Effects of freezing on some properties of consumer bracken agro-food as kind of raw materials. *Technico-tehnologicheskie problemy servisa*. 2015;32(2):23–20. (In Russ.).
19. Прокопенко С. Т., Шалиско И. В. Влияние замораживания на некоторые потребительские свойства папоротника-орляка как вида пищевого сырья // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. Т. 32. № 2. С. 23–30.

17. Tipsina NN, Melnikova EV. The fern powder use in the production of shortbread and sponge cakesemi-finished product. *Bulletin of KSAU*. 2014;99(12):219–224. (In Russ.).

Типсина Н. Н., Мельникова Е. В. Использование порошка папоротника в производстве песочного печенья и бисквитного полуфабриката // *Вестник КрасГАУ*. 2014. Т. 99. № 12. С. 219–224.

18. Kravchenko NV. Assessment of the quality and biological value of baked dishes using gluten-free raw materials. *Research Result. Business and Service Technologies*. 2019;5(1):36–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2019-5-1-0-4>

19. Agafonova SV, Rykov AI, Mezenova OYa. Biological value of lupine proteins and their prospects in the food industry. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019;(2):79–85. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-2-79-85>

20. Ramazanov ASh, Balaeva SA. Amino acid composition of fruits silybum marianum, growing in the territory of the Republic of Dagestan. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2020;(3):215–223. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020036434>

21. Gao H. Amino acids in reproductive nutrition and health. In: Wu G, editor. *Amino acids in nutrition and health*. Cham: Springer; 2020. pp. 111–131. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45328-2_7

22. Erpuleva YuV. Glutamine solution in the parenteral nutrition for children with critical conditions. *The Russian Bulletin of Childrens Surgery, Anesthesiology and Resuscitation*. 2021;11(4):555–560. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/psaic1012>