

Научная статья

УДК 633.522: 633.854.434:663.43

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-576-588>



Исследование макронутриентов семян конопли в процессе кратковременного проращивания

Ирина Эдуардовна Миневич*, Алла Павловна Нечипоренко**,
Агата Анатольевна Гончарова*, Валентин Игоревич Ущাপовский*

*Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация

**Национальный исследовательский университет информационных технологий,
механики и оптики, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Миневич Ирина Эдуардовна, irina_minevich@mail.ru

Аннотация. В настоящее время семена конопли как источник питательных веществ становятся все более популярными в питании. Цель работы состояла в исследовании макронутриентов семян конопли в процессе их кратковременного проращивания химическими и спектроскопическими методами. В качестве объектов исследования использовали семена конопли посевного сорта Людмила 2021 года производства, а также пророщенные семена конопли. Проращивание семян конопли проводили в лабораторных условиях в специальных поддонах при температуре (Т) 18–20 °С с добавлением воды в соотношении 2:1. Семена проращивали в течение 5 суток при периодическом увлажнении. Совокупность полученных экспериментальных данных по изучению белкового комплекса позволила предположить, что в исследуемом интервале проращивания семян конопли основной гидролитический распад белков осуществляется наравне с изменением в структурных компонентах, в том числе и за счет синтеза новых белков, сопровождающих рост проростков. Изменения таких показателей, как содержание жира и кислотного числа, интенсивность пиков функциональных групп в области липидов (1745, 1157, 1140 см⁻¹), свидетельствуют о накоплении жирных кислот в результате процесса гидролиза триглицеридов. Анализ углеводной области (1200–680 см⁻¹) ИК-спектров пророщенных семян конопли и интенсивности полос соответствующей функциональных групп позволяет предположить интенсивное протекание гидролитического расщепления полисахаридов. Изменение содержания экстрактивных веществ в водных растворах семян пророщенной конопли свидетельствует о накоплении и использовании водорастворимых веществ на ранних этапах прорастания. Данные по преобладанию водо- и солерастворимых белковых фракций свидетельствуют о повышении биологической ценности семян конопли в процессе кратковременного проращивания.

Ключевые слова: масличные семена, кратковременное проращивание, ИК-спектроскопия, макронутриенты, белки, ненасыщенные жирные кислоты, ограниченный ферментолит

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания Федерального научного центра лубяных культур (№ FGSS-2022-0007).

Для цитирования: Миневич И. Э., Нечипоренко А. П., Гончарова А. А., Ущাপовский В. И. Исследование макронутриентов семян конопли в процессе кратковременного проращивания // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. N 4. С. 576–588. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-576-588>.

PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

Study of macronutrients in hemp seeds during short-term germination

Irina E. Minevich*, Alla P. Nechiporenko**, Agatha A. Goncharova*,
Valentin I. Uschapovsky*

*Federal Scientific Center for Fiber Crops, Tver, Russian Federation

**National Research University of Information Technology, Mechanics and Optic,
St. Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Irina E. Minevich, irina_minevich@mail.ru

Abstract. At present, hemp seeds are becoming increasingly popular as a source of nutrients. This work addressed the dynamics of macronutrients in the process of short-term germination of hemp

seeds by chemical and spectroscopic methods. Lyudmila 2021 cultivated hemp seeds along with hemp sprouts were used as objects of research. The germination of hemp seeds was carried out under laboratory conditions using special trays at 18–20 °C with the water added at a ratio of 2:1 for 5 days with periodic moistening. The obtained experimental data on the protein complex suggested that, in the studied interval of the germination of hemp seeds, the key hydrolytic decomposition of proteins occurs along with changes in structural components, including through the synthesis of new proteins accompanying the sprouting. The variations in such parameters as fat content, acid number and peak intensity of functional groups in the lipid fingerprint region (1745, 1157 and 1140 cm⁻¹) indicated the accumulation of fatty acids as a result of the hydrolysis of triglycerides. The analysis of the IR spectra of hemp sprouts and the intensity of the bands of the corresponding functional groups in the carbohydrate region (1200–680 cm⁻¹) suggested the intensive hydrolytic decomposition of polysaccharides. The variation in the content of extractive matter in the aqueous solutions of hemp sprouts indicated the accumulation and utilisation of water-soluble substances at the early stages of germination. The data on the predominance of water- and salt-soluble protein fractions indicated an increase in the biological value of hemp seeds during short-term germination.

Keywords: oilseeds, short-term germination, IR spectroscopy, macronutrients, proteins, unsaturated fatty acids, limited enzymatic hydrolysis

Funding. This work was supported by the Russian Ministry of Education and Science under the State Assignment of the Federal Research Center for Bast Crops (no. FGSS-2022-0007).

For citation: Minevich I. E., Nechiporenko A. P., Goncharova A. A., Uschapovsky V. I. Study of macronutrients in hemp seeds during short-term germination. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(4):576-588. (In Russian). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-4-576-588>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возобновился глобальный интерес к древнейшей сельскохозяйственной культуре – конопле – как к многофункциональному промышленному сырью, что стало возможным благодаря созданию сортов технической конопли с низким содержанием тетрагидроканнабинола (ТГК) (0,1–0,3%), легализации возделывания и переработки такого сырья. Техническую коноплю как сельскохозяйственную культуру широко используют страны с развитой экономикой¹. Спектр применения продуктов переработки конопли посевной в мировой экономике постоянно расширяется, разрабатываются технологии производства изделий для применения в инновационных сферах промышленности. Конопля становится стратегической культурой, выращивание и переработка которой являются важными направлениями экономической политики правительств многих развитых стран и инвестиций частного бизнеса. В мире выпускается более 300 видов продуктов на основе технической конопли².

Техническая конопля выращивается как для получения волокна, так и для производства про-

дуктов питания (семена), используется в косметике, а также в лечебных и фармацевтических целях [1, 2].

В Российской Федерации законодательно разрешено возделывать в промышленных масштабах сорта конопли посевной (*Cannabis sativa* L.), содержащие в сухой массе листьев и соцветий растения не более 0,1% ТГК³, в отличие от других стран, где этот показатель составляет ≤0,3%. В российский Государственный реестр селекционных достижений включен 31 сорт технической конопли посевной, из которых 13 сортов предназначены на семена, 11 – двойного назначения (волокно и семена)⁴. Следует отметить, что ТГК, как и другие каннабиноиды, не присутствуют в семенах конопли и конопляном масле, а содержатся в соцветиях и листьях конопли.

Семена конопли относятся к масличным культурам. Химический состав семян конопли варьируется в зависимости от генотипа, климатических условий, агрохимических факторов (%): жир – (30–34), белок – (22–26), углеводы (кроме целлюлозы) – (18–20), целлюлоза – (17–19), зола – (4–6), вода – (4–6) [3–6].

¹ Конопля в Европе и мире // Росленконопля: сайт о льне и конопле. URL: <https://www.rosflaxhemp.ru/fakti-i-cifri/spravochnie-materiali.html/id/1761> (11.08.2022).

² Коноплеводство в РФ: хорошо забытое старое или вызов мирового рынка? // Smartconsult. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/12426/> (11.08.2022).

³ Постановление Правительства РФ от 6 февраля 2020 г. № 101 «Об установлении сортов наркосодержащих растений, разрешенных для культивирования для производства используемых в медицинских целях и (или) ветеринарии наркотических средств и психотропных веществ, для культивирования в промышленных целях, не связанных с производством или изготовлением наркотических средств и психотропных веществ, а также требований к сортам и условиям их культивирования» // СПС «КонсультантПлюс». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_344925/ (11.08.2022).

⁴ Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М.: ФГБНУ «Росинформгротех», 2021. Т. 1. Сорта растений. С. 142–143.

В настоящее время семена конопли как источник питательных веществ, содержащий все незаменимые аминокислоты и полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) в количественном соотношении, достаточном для удовлетворения пищевых потребностей человека, становятся все более популярными в питании. Они также являются источником легкоусвояемой клетчатки и широкого спектра биологически активных веществ, минералов и витаминов [7–10].

Масло семян конопли характеризуется сбалансированным соотношением и уникальной композицией эссенциальных ПНЖК. В нем преобладает (более 50%) линолевая кислота (LA), относящаяся к ПНЖК ω -6. Второй по содержанию (18–20%) эссенциальной жирной кислотой является α -линоленовая кислота (ALA), которая относится к ПНЖК ω -3. Их соотношение варьируется от 3:1 до 5:1, что соответствует рекомендованному FAO/ВОЗ и Европейским агентством по пищевым продуктам и безопасности (EFSA) [11]. Соотношение ω -6: ω -3 ПНЖК определяет состояние липидного обмена, степень предрасположенности к сердечно-сосудистым и многим другим заболеваниям. На генном уровне ПНЖК ω -3 и ω -6 контролируют генную экспрессию в различных органах и тканях [12].

В отличие от большинства растительных масел в липидном составе семян конопли присутствует стеаридониковая кислота (цис-6,9,12,15-октадекатетраеновая, SDA) – ПНЖК ω -3, которая позволяет обойти первую критическую ферментативную стадию δ -6-десатуразы, облегчая превращение длинноцепочечных ПНЖК в биологически активную форму [13–15]. Стеаридониковая кислота (C18:4 n3) является промежуточной жирной кислотой при биосинтезе от α -линоленовой кислоты до длинноцепочечных ПНЖК ω -3, и преобразование из SDA протекает более эффективно, чем из ALA [16]. Поэтому одним из направлений селекции сортов конопли масличного направления является повышение содержания стеаридониковой кислоты [6].

Семена конопли остаются недооцененными в качестве источника пищевого белка. В белковом комплексе семян конопли преобладающей фракцией является глобулиновая, основу которой составляет белок эдестин. Эдестин легко ассимилируется, имеет сходство с альбуминами крови и куриных яиц, что свидетельствует о его высокой питательной ценности [17]. Белки семян конопли содержат весь спектр незаменимых аминокислот, необходимых для питания взрослых и детей. При этом лизин является лимитирующей кислотой, его аминокислотный скор варьируется, по данным ряда авторов, от 0,75 до 0,62 [18–20]. У них выявлен широкий спектр биологической активности, усиливаемой после частичного гидролиза различными протеазами, в том числе антиоксидантная активность, антигипертензивное действие [21, 22].

Анализ опубликованных данных показал, что семена конопли являются биологически актив-

ным растительным сырьем, которое необходимо использовать для расширения ассортимента продуктов здорового питания.

Доступным и экономически приемлемым способом максимальной реализации биохимического потенциала семян конопли и повышения их питательной ценности является способ кратковременного проращивания.

Прорастание семян/зерна как первая физиологическая стадия жизненного цикла растения важна не только для культивирования, но и имеет практическую значимость для повышения питательной ценности при их использовании в качестве пищевого сырья. Ранняя стадия прорастания семян включает набухание и последующий процесс поглощения, который способствует повышению метаболической активности в протоплазме семени [23]. В результате активизации ферментной системы самого сырья и, как следствие, протекания биохимических процессов происходит увеличение водорастворимых белковых фракций, накопление свободных аминокислот и жирных кислот, а также легкорастворимых редуцирующих сахаров, что приводит к повышению пищевой ценности сырья и улучшению функциональных свойств заключенного в нем белка [24–26].

Несмотря на значимые результаты в области биохимии прорастания, процессы синтеза и распада азотистых, углеводных и липидных компонентов неоднозначны и индивидуальны для семян сельскохозяйственных культур.

При этом практическое значение имеет определение продолжительности процесса, при котором конкретное сырье обладает повышенной биологической активностью за счет накопления продуктов гидролитического расщепления биополимеров. В связи с этим актуальны исследования динамики макронутриентов конкретного сырья в процессе проращивания.

Цель работы состояла в исследовании макронутриентов семян конопли в процессе их кратковременного проращивания химическими и спектроскопическими методами.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В качестве объектов исследования использовали семена конопли посевного сорта Людмила 2021 года производства, полученные из лаборатории агротехнологий обособленного подразделения «Пензенский ИСХ» Федерального научного центра лубяных культур, а также пророщенные семена конопли.

Семена конопли имели следующие показатели: содержание белка – 20,88%; содержание жира – 26,48%; содержание влаги – 5,46%; кислотное число – 0,96.

Проращивание семян конопли проводили в лабораторных условиях в специальных поддонах при температуре (Т) 18–20 °С с добавлением воды в соотношении 2:1. Семена проращивали в течение 5 суток при периодическом увлажнении.

Проросшие семена конопли представляли со-

бой набухшие семена с белыми проростками от 2 до 7 мм длиной. Процесс проращивания семян прекращали сушкой до влажности не более 5%. Отбор проб пророщенных семян проводили каждые сутки. Продукты хранили при $T = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В работе определяли следующие показатели: кислотное число (ГОСТ 31700-2012), содержание жира (ГОСТ 10857-64), содержание белка (ГОСТ 10846-91), влажность (ГОСТ 10856-96).

Выделение водорастворимых веществ из пророщенных семян конопли проводили водной экстракцией при следующих условиях: гидромодуль – 10, $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, время – 1 ч. После отделения водного экстракта от семян определяли сухой остаток.

Фракционный состав белкового комплекса исходных и пророщенных семян льна устанавливали по методу Ермакова⁵: последовательной экстракцией дистиллированной водой, 7%-м раствором NaCl и 0,1 М раствором NaOH. Высаживание белков производили 5%-м раствором трихлоруксусной кислоты.

Колесательные спектры образцов (32 скана) получали методом ИК-спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) на Фурье-спектрометре Tensor 37 (Bruker, Германия) с алмазным НПВО-элементом, управляемым программным пакетом OPUS со стандартными градуировочными возможностями, в диапазоне частот 4000–600 cm^{-1} в формате поглощения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проращивание как процесс можно разделить на несколько этапов: замачивание, набухание, рост проростков. При замачивании оболочка семени в результате частичного растворения прорастающих ее веществ становится проницаемой для воды. Проникающая вода адсорбируется высокомолекулярными веществами эндосперма и зародыша. При этом степень поглощения воды определяется природой биополимеров. В семени, находящемся в воздушно-сухом состоянии, они представляют собой высохшие коллоидные студни и поэтому обладают высокой водопоглощающей способностью. Белковые вещества адсорбируют до 180% воды, крахмал – до 70%, целлюлоза – до 30% в расчете на сухое вещество. Поэтому в зависимости от химического состава количество поглощаемой семенами (зерном) воды различно. Так, пшеница поглощает около 46% воды от своей массы, кукуруза – 44%, овес – 60%, рыжик – 60%, конопля – 44%, мак – 91%, подсолнечник – 56%⁶.

При увлажнении семян сразу же начинается их набухание, затем происходит активизация предшествующих ферментов и синтез ферментов, определяющих начало гидролитических процессов. Эти и другие процессы (увеличение содержания осмотически активных веществ, подкисление оболочек клеток и др.) создают предпосылки для

начала роста зародыша. На следующем этапе начинается рост зародышевых осей и выход корешка. При этом сначала используются собственные питательные вещества, а затем происходит мобилизация питательных веществ запасующих органов (семядолей или эндосперма).

Визуальные изменения семени конопли, происходящие при кратковременном проращивании, представлены на рис. 1.

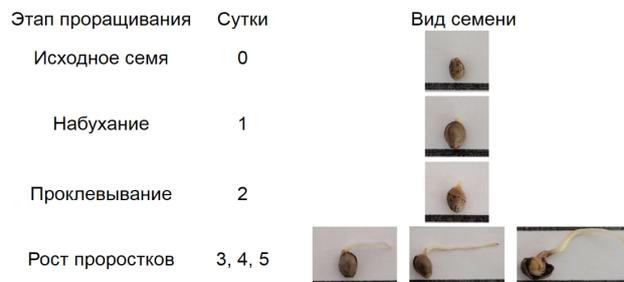


Рис. 1. Визуальные изменения семени конопли в процессе проращивания

Fig. 1. Visual changes in hemp seeds during germination

Активное поглощение воды, набухание коллоидов, создание высокого осмотического давления внутри клеток, которое обусловлено растворимыми внутриклеточными веществами, приводит к увеличению объема семени. В среднем объем набухшего семени в 1,5–2 раза больше исходного. За 5 суток семена конопли прошли все начальные этапы прорастания – от набухания до роста проростков, что продемонстрировано на рис. 1.

Прирост массы семян конопли в процессе проращивания за счет поглощения воды происходит с разной интенсивностью, что представлено на рис. 2.



Рис. 2. Увеличение массы семян конопли и их влажность в процессе проращивания

Fig. 2. Increase in hemp seeds mass and their moisture during germination

В течение первых 2-х суток происходит интенсивное увеличение массы семян. В интервале последующих 2–4-х суток меняются процессы, снижается скорость повышения массы семян за

⁵ Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. Л.: Агропромиздат. Ленингр. отделение, 1987. 430 с.

⁶ Козьмина Н. П., Гунькин В. А., Суслынок Г. М. Теоретические основы прогрессивных технологий (Биотехнология). Зерноведение (с основами биохимии растений). М.: Колос, 2006. 464 с.

счет удержания влаги. Практически аналогично изменяются значения влажности семян, о чем свидетельствуют графики (см. рис. 2). Вероятно, это связано с содержанием и природой водорастворимых веществ семян.

В соответствии с современными представлениями в условиях высокой влажности некоторые составные части семени (углеводы – сахара, пентозаны; азотистые и минеральные вещества) переходят в растворимое состояние и частично диффундируют в замочную воду. Это способствует оживлению зародыша, который для своей жизнедеятельности начинает активно использовать появившиеся растворимые и усвояемые питательные вещества. Активизирующиеся гидролитические ферменты диффундируют в эндосперм, где начинают катализировать гидролиз части высокомолекулярных веществ. С поглощением воды зародыш начинает потреблять накопленные в нем сахара еще до того, как соответствующие ферменты поступят в эндосперм и путем гидролиза дадут новые порции питательных веществ зародышу. На этом этапе, в данном случае 2–4-х суток проращивания (см. рис. 2), прирост массы семени за счет поступления воды приостанавливается. Предполагается, что в этот так называемый лаг-период в семенах происходит перестройка метаболического аппарата, возрастает содержание осмотически активных веществ, идет подкисление оболочек клеток, т. е. создаются условия для роста зародыша.

Об изменении содержания водорастворимых веществ в процессе кратковременного проращивания судили по сухому остатку водного экстракта семян конопли. Динамика водорастворимых веществ в течение 5 суток проращивания представлена на рис. 3. Можно предположить, что на третьи сутки происходит активный рост проростков в результате интенсивного использования перешедших в водную среду питательных веществ, о чем также свидетельствует внешний вид семян конопли, представленный на рис. 1.



Рис. 3. Динамика водорастворимых веществ в процессе кратковременного проращивания семян конопли

Fig. 3. Dynamics of water-soluble substances in short-term germination of hemp seeds

Все изменения, происходящие в семенах конопли, свидетельствуют о периодичности протекающих процессов в прорастающих семенах (рис. 4).

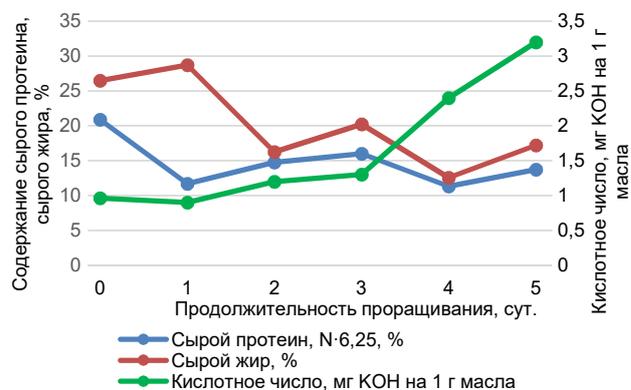


Рис. 4. Изменение показателей семян конопли в процессе проращивания

Fig. 4. Changes in the parameters of hemp seeds during germination

В результате интенсивного поглощения воды запускаются процессы гидролиза азотистых соединений, особенно белков, до свободных аминокислот, которые затем расходуются на создание новых белковых соединений. Вероятно, при проращивании семян конопли синтез белков начинается на 2-е сутки, о чем свидетельствует рост значений содержания протеина. Можно предположить, что в исследуемом интервале проращивания семян конопли основной гидролитический распад белков осуществляется наравне с изменением в структурных компонентах, в том числе и за счет синтеза новых белков, сопровождающих рост проростков. Этим можно объяснить колебания показателя содержания сырого протеина при проращивании семян конопли в первые 5 суток (см. рис. 4). На каждой стадии прорастания протекают процессы, связанные с изменением состава и состояния питательных веществ в семени.

Соотношение белковых фракций в этот исследуемый период проращивания изменялось, как это показано на рис. 5.



Рис. 5. Изменение фракционного состава белкового комплекса семян конопли на ранних стадиях проращивания

Fig. 5. Changes in the fractional composition of the hemp seeds protein complex at the early stages of germination

Исходные семена характеризовались преобладающим суммарным содержанием водо- и солерастворимой белковых фракций. В процессе проращивания наблюдался резкий рост их суммарного содержания. При этом соотношение альбуминов и глобулинов варьировалось в исследуемый период.

Содержание сырого жира, как видно из рис. 4, также подвержено колебаниям в исследуемом временном интервале проращивания. Несмотря на тенденцию снижения содержания сырого жира в семенах конопли, этот процесс протекает с определенной периодичностью. Распад жиров, в отличие от протеолиза белков, является более сложным многостадийным процессом [27]. При проращивании масличных семян основным обменным процессом считается превращение жира в сахар: протекает гидролиз триглицеридов с образованием свободных жирных кислот и глицерина, который через последовательность реакций гликолиза превращается в сахара.

Кислотное число масла, характеризующее содержание свободных жирных кислот, резко увеличивается на 4–5-й день проращивания (в 3,3 раза). Это свидетельствует об интенсификации процесса гидролиза триглицеридов.

Исследование оптических свойств высушенных и измельченных семян конопли, прошедших этапы набухания и кратковременного проращивания, методом Фурье-ИК-спектроскопии (рис. 6) также показало, что все основные вещества, содержащиеся в исходных семенах, претерпевают значительные изменения, которые носят экстремальный характер, изменяя фактуру спектра. Для разных компонентов (белки, липиды, углеводы) изменения при проращивании происходят неоднородно. Однако уже по общему рисунку полос ($1200\text{--}950\text{ см}^{-1}$) видно, что наибольшие различия наблюдаются в липидно-углеводной зоне.

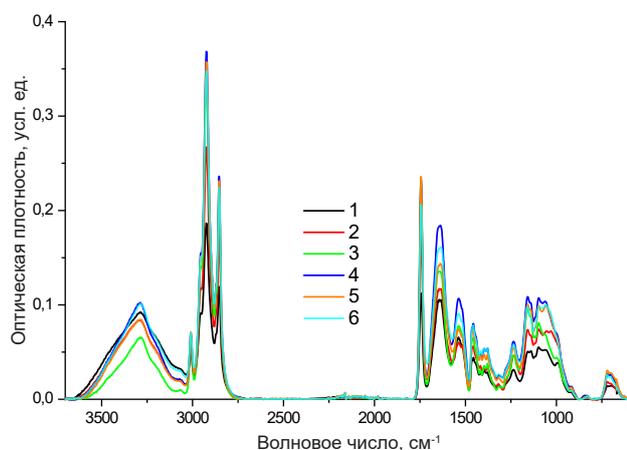


Рис. 6. ИК-спектры исходных и пророщенных семян конопли: 1 – исходные; пророщенные: 2 – 1 сутки, 3 – 2 суток, 4 – 3 суток, 5 – 4 суток, 6 – 5 суток

Fig. 6. IR spectra of initial and germinated hemp seeds: 1 – initial; germinated: 2 – 1 day, 3 – 2 days, 4 – 3 days, 5 – 4 days, 6 – 5 days

Более наглядно увидеть изменения, имеющие место в результате сложных и многообразных биохимических процессов при проращивании семян, позволяют увеличенные фрагменты наиболее информативных участков спектров, представленные на рис. 7. Обращает на себя внимание то, что большинство полос на протяжении эксперимента сохраняет стабильность своего положения. Однако при этом иногда меняется последовательность расположения спектральных кривых, что может указывать на периодичность взаимосвязанных процессов, протекающих в оживающей биологической системе.

При анализе рисунка полос Амид-1 и Амид-2 (рис. 7, а), характеризующих $\text{C}=\text{O}$ -группировки всей совокупности белковых компонентов, можно отметить, что уширение максимумов указывает на их сложный состав. Однако смещение правой ветви полосы Амид-1 в положение 1630 см^{-1} может свидетельствовать об увеличении доли глобулинов после 3-х суток проращивания. С этого момента начинает наблюдаться и периодичность в относительном положении спектральных кривых. Однако последовательность расположения кривых в полосе (рис. 7, b), характеризующей асимметричные (3286 см^{-1}) и симметричные (3268 см^{-1}) колебания NH -группировок пептидной связи, заметно отличается от последовательности кривых (см. рис. 7, а). Наблюдается снижение интенсивности обеих полос за первые 2-е суток, в отличие от амидных полос, и повторение характера их периодичности при проращивании в последующие. Здесь очевидно просматривается изменение в структурных характеристиках белковых компонентов при гидролитическом распаде в процессе набухания.

Анализ полос, дающих представление о динамике изменения оптических свойств липидных компонентов, представленных в разных областях спектра, позволяет отметить следующее: скорость изменения интенсивности полосы 1745 см^{-1} , характеризующей $\text{C}=\text{O}$ -функционалы карбоксильных (COOH) групп жирных кислот (см. рис. 7, а), полосы 3008 см^{-1} (рис. 7, с), ответственной за проявление валентных колебаний C-H -групп при двойной связи ($\text{CH}=\text{CH}$) ненасыщенных жирных кислот, дублета полос $1157/1140\text{ см}^{-1}$ (рис. 7, d), указывающих на соотношение соответственно коротко- и длинноцепочечных жирных кислот, и слабой полосы 720 см^{-1} , отвечающей деформационным колебаниям CH -групп при двойной связи (см. рис. 7, d), значительна в первые 3-е суток, а затем по приведенным на всех фрагментах данным падает, но на обоих этапах сохраняется последовательность расположения кривых, отмеченная для белков.

В углеводной части спектра на протяжении всего эксперимента очень наглядно изменя-

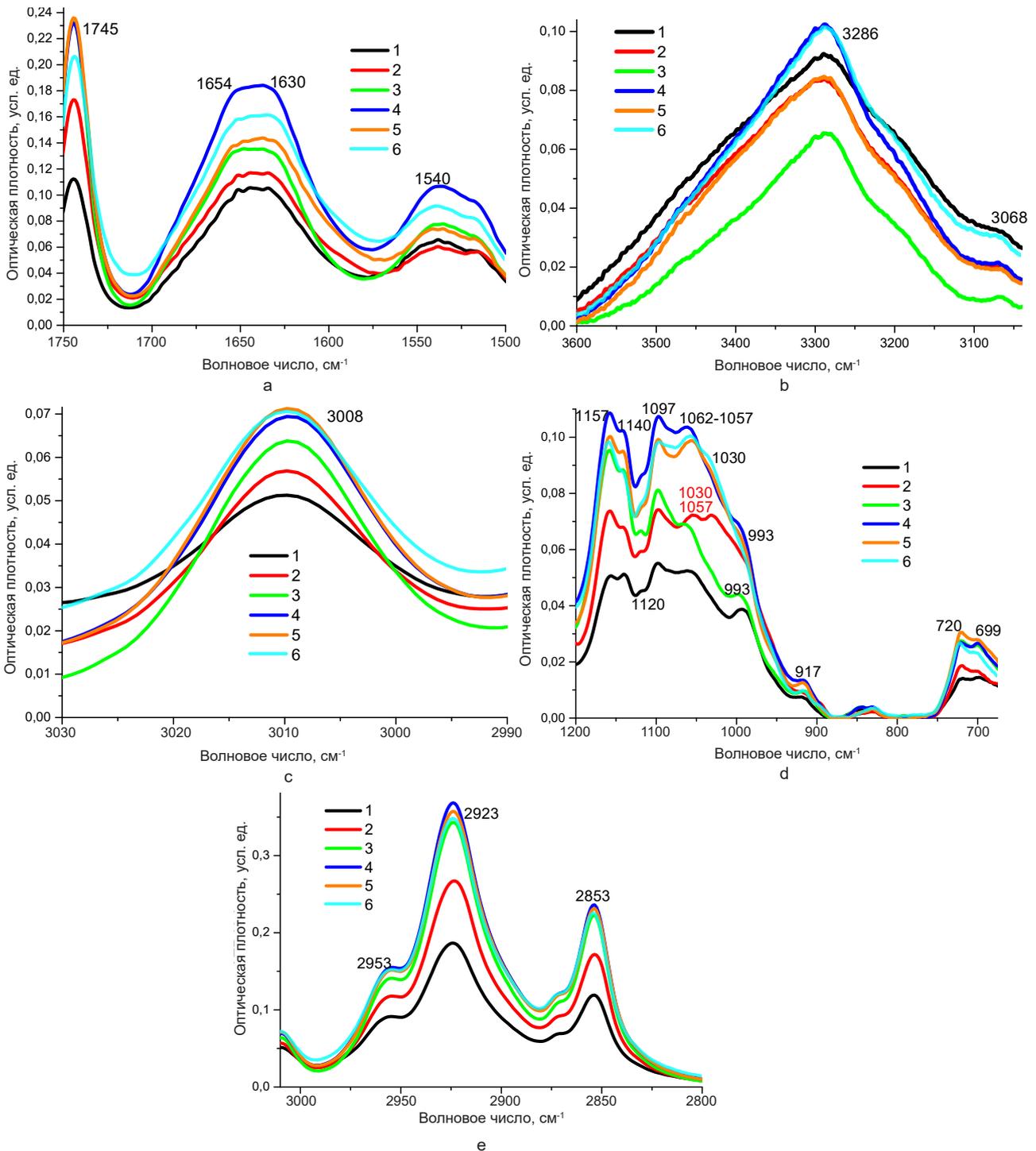


Рис. 7. Фрагменты ИК-спектров семян конопли (см⁻¹): а – 1750–1500; б – 3600–3050; с – 3030–2990; д – 1200–680; е – 3050–2800: 1 – исходные; пророщенные: 2 – 1 сутки, 3 – 2 суток, 4 – 3 суток, 5 – 4 суток, 6 – 5 суток

Fig. 7. Fragments of IR spectra of hemp seeds (cm⁻¹): а – 1750–1500; б – 3600–3050; с – 3030–2990; д – 1200–680; е – 3050–2800: 1 – initial; germinated: 2 – 1 day, 3 – 2 days, 4 – 3 days, 5 – 4 days, 6 – 5 days

ется рисунок полос 1097 и 1062–1057 см⁻¹ и их интенсивность (см. рис. 7, d). В данном случае, как и для дублета липидов, характерные качественные изменения наступают уже через сутки набухания (кривые 1 и 2). Через 2-е суток при увеличении интенсивности полосы 1097 см⁻¹ снижается полоса 1057 см⁻¹ и резко падает 1030 см⁻¹,

которая в спектрах образцов, полученных на 3–5-е сутки, трансформируется в слабо выраженное плечо на правой ветви. При этом в спектрах образцов 3–5 суток снова формируется двойная полоса, в которой отмечено движение по изменению интенсивности. На 3-и сутки в сформировавшемся дублете доминирует полоса

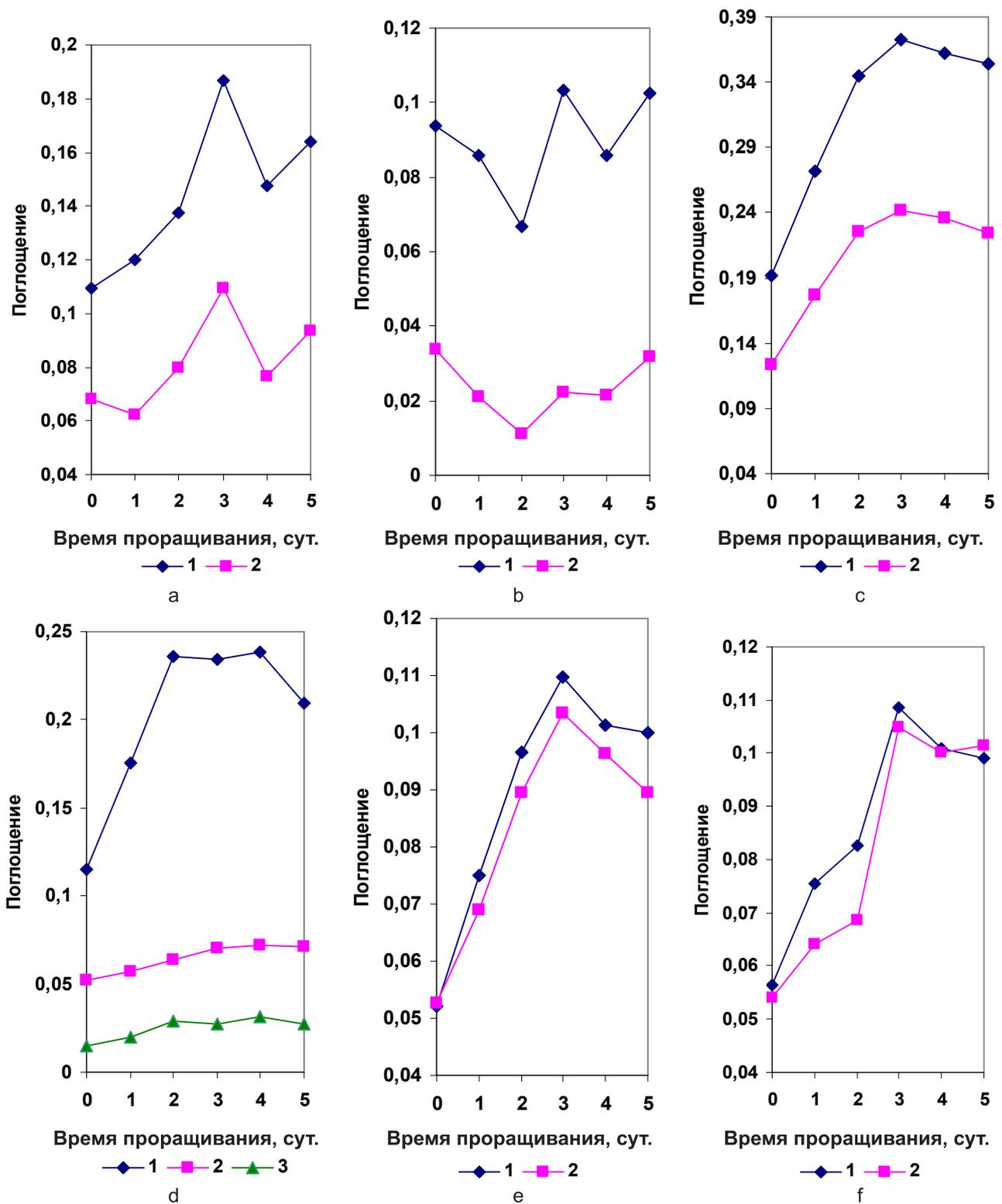


Рис. 8. Изменения интенсивности полос функциональных групп в спектрах образцов семян конопли в зависимости от времени их проращивания (cm^{-1}):

a) 1 – 1642, 2 – 1540; b) 1 – 3286, 2 – 3068; c) 1 – 2923, 2 – 2853;

d) 1 – 1745, 2 – 3008, 3 – 720; e) 1 – 1157, 2 – 1140; f) 1 – 1097, 2 – 1053

Fig. 8. Changes in the intensity of bands of functional groups in the spectra of hemp seeds samples depending on the time of their germination (cm^{-1}):

a) 1 – 1642, 2 – 1540; b) 1 – 3286, 2 – 3068; c) 1 – 2923, 2 – 2853;

d) 1 – 1745, 2 – 3008, 3 – 720; e) 1 – 1157, 2 – 1140; f) 1 – 1097, 2 – 1053

1097 см⁻¹, на 4-е интенсивности полос выравниваются, а на 5-е сутки в спектре начинает лидировать полоса 1057 см⁻¹. Отмеченные особенности говорят о наиболее выраженных изменениях качественного состава именно углеводных компонентов, что может указывать на зависимость как от начинающихся работать ферментов, так и от претерпевающих биохимические изменения белков и липидов. На это указывает и изменение статуса полосы 993 см⁻¹, которая, как и полоса 917 см⁻¹, характерна для гликопиранозных колец сахаридов, в том числе и целлобиозы, являющейся структурным элементом целлюлозы любой природы.

Отмеченное позволяет высказать мнение о том, что углеводы при исследовании методом ИКС НПВО могут служить неплохим индикатором доминирующей роли тех или иных процессов, тех или иных компонентов, параметров или факторов на разных этапах проращивания семян.

На рис. 7, е проиллюстрировано изменение спектральных характеристик асимметричных и симметричных СН₂-группировок, обусловленных всеми компонентами семян конопли. Характер изменения последовательности расположения спектров тот же, что для белков (см. рис. 7, а) и липидов (см. рис. 7, d), но по скорости изменения интенсивности полос через 3-е суток они ближе к липидам. Это позволяет говорить о том, что данный фрагмент в большей мере отражает изменения в липидных компонентах.

Как отмечалось выше, периодичность процессов, происходящих при проращивании семян конопли, отражается в изменении интенсивности полос основных функциональных группировок в зависимости от продолжительности проращивания. На рис. 8 показана динамика изменения интенсивности комплекса курируемых полос для всех основных компонентов. Общий взгляд на кривые фрагментов рисунка говорит о том, что:

– переломным моментом для всех наблюдаемых, хотя и неоднозначных процессов являются 3-и сутки;

– в течение 3-х суток все основные компоненты, которые позволяет курировать метод, с разной скоростью, но увеличиваются по содержанию, особенно это заметно по полосе 1745 см⁻¹, свидетельствующей об увеличении жирных кислот (рис. 8, d), причем с несколько большим содержанием короткоцепочечных (рис. 8, e), что подчеркивают и кривые фрагмента «с»;

– в течение первых 2-х суток несколько запаздывают белки, что может быть обусловлено их деструкцией, гидролитическим распадом при набухании, на это есть указания кривых рис. 8, b – снижение количества NH-группировок пептидной связи;

– несколько обособленно стоят углеводы. Хотя характер их кривых ближе к липидам, есть основания полагать, что динамика гидролитического расщепления полисахаридов и их преобразования может быть обусловлена в данный период более низкой скоростью деструкции белковых

структур, с которыми они образуют сложные комплексы – гликопротеины.

При этом следует отметить относительную стабильность интенсивности полос, относящихся к функциональным группам непредельных жирных кислот (3008, 720 см⁻¹).

Таким образом, периодичность в изменении интенсивности полос ИК-спектров функциональных групп белков, углеводов и общих липидов в общем коррелирует с данными химического анализа (см. рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование биохимического состава семян конопли в процессе кратковременного проращивания, проведенное химическими методами и методом ИКС НПВО, показало периодичность в изменениях основных макронутриентов семян льна, при этом переломным моментом для всех наблюдаемых, хотя и неоднозначных процессов стали 3-и сутки.

Совокупность полученных экспериментальных данных по изучению белкового комплекса позволяет предположить, что в исследуемом интервале проращивания семян конопли основной гидролитический распад белков осуществляется наравне с изменением в структурных компонентах, в том числе и за счет синтеза новых белков, сопровождающих рост проростков.

Изменения таких показателей, как содержание жира и кислотного числа, интенсивность пиков функциональных групп в области липидов (1745, 1157, 1140 см⁻¹), свидетельствуют о накоплении жирных кислот в результате процесса гидролиза триглицеридов.

Изменение содержания экстрактивных веществ в водных растворах семян пророщенной конопли свидетельствует о накоплении и использовании водорастворимых веществ на ранних этапах прорастания.

Данные по преобладанию водо- и солерастворимых белковых фракций в результате резкого повышения содержания глобулинов свидетельствуют о повышении биологической ценности семян конопли в процессе кратковременного проращивания.

Анализ углеводной области (1200–680 см⁻¹) ИК-спектров пророщенных семян конопли и интенсивности полос соответствующих функциональных групп позволяет предположить интенсивное протекание гидролитического расщепления полисахаридов.

Таким образом, семена конопли на раннем этапе проращивания содержат набор биологически активных веществ, обеспечивающий выход и активное прорастание проростка. Такие семена являются ценным ингредиентом для создания продуктов здорового питания с повышенным содержанием хорошо растворимых белков, свободных аминокислот и жирных кислот. Наличие указанных активных компонентов повышает питательную ценность и усвояемость целевой продукции.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Schultz C. J., Lim W. L., Khor S. F., Neumann K. A., Schulz J. M., Ansari O., et al. Consumer and health-related traits of seed from selected commercial and breeding lines of industrial hemp *Cannabis sativa* L. // Journal of Agriculture and Food Research. 2020. Vol. 2. P. 100025. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100025>.
2. Fike J. Industrial hemp: renewed opportunities for an ancient crop // Critical Reviews in Plant Sciences. 2016. Vol. 35, no. 5-6. P. 406–424. <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1257842>.
3. Irakli M., Tsaliki E., Kalivas A., Kleisiaris F., Sarrou E., Cook C. M. Effect of genotype and growing year on the nutritional, phytochemical, and antioxidant properties of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds // Antioxidants. 2019. Vol. 8. P. 491. <https://doi.org/10.3390/antiox8100491>.
4. Vonapartis E., Aubin M.-P., Seguin P., Mustafa A. F., Charron J.-B. Seed composition of ten industrial hemp cultivars approved for production in Canada // Journal of Food Composition and Analysis. 2015. Vol. 39. P. 8–12. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.004>.
5. Lan Y., Zha F., Peckrul A., Hanson B., Johnson B., Rao J., et al. Genotype x environmental effects on yielding ability and seed chemical composition of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties grown in North Dakota, USA // Journal of the American Oil Chemists' Society. 2019. Vol. 96. P. 1417–1425. <https://doi.org/10.1002/aocs.12291>.
6. Шеленга Т. В., Григорьев С. В., Батулин В. С., Сарана Ю. В. Биохимическая характеристика семян конопли (*Canabis sativa* L.) из различных регионов России // Аграрная Россия. 2011. N 2. С. 6–9.
7. Frassinetti S., Moccia E., Caltavuturo L., Gabriele M., Longo V., Bellani L., et al. Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts // Food Chemistry. 2018. Vol. 262. P. 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.078>.
8. Leonard W., Zhang P., Ying D., Fang Z. Hempseed in food industry: nutritional value, health benefits, and industrial applications // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020. Vol. 19, no. 1. P. 282–308. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12517>.
9. Cerino P., Buonerba C., Cannazza G., D'Auria J., Ottoni E., Fulgione A., et al. A review of hemp as food and nutritional supplement // Cannabis and Cannabinoid Research. 2021. Vol. 6, no. 1. P. 19–27. <https://doi.org/10.1089/can.2020.0001>.
10. Barčauskaitė K., Žydelis R., Ruzgas R., Bakšinskaitė A., Tilvikienė V. The seeds of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) a source of minerals and biologically active compounds // Journal of Natural Fibers. 2022. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2084486>.
11. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies) scientific opinion of the panel on dietetic products, nutrition and allergies on a request from European Commission related to labelling reference intake values for n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids // EFSA Journal. 2009. Vol. 8, no. 3. P. 1461. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1461>.
12. Васильев А. В., Шаранова Н. Э., Кулакова С. Н. Нутриметаболизма – новый этап развития биохимии питания. Роль нутрилипидных исследований // Вопросы питания. 2014. Т. 83. N 1. С. 4–11. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2014-00001>.
13. Farinon B., Molinari R., Costantini L., Merendino N. The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition // Nutrients. 2020. Vol. 29, no. 12. P. 1935. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>.
14. Зеленина О. Н., Серков В. А. Жирнокислотный состав масла семян новых сортов и гибридов среднерусской конопли // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011. N 2. С. 77–79.
15. Гущина В. А., Смирнов А. Д., Сологуб Н. Н., Сологуб И. И. Жирнокислотный состав масла семян конопли посевной при ее возделывании в лесостепи Среднего Поволжья // Аграрный научный журнал. 2022. N 4. С. 4–8. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp4-8>.
16. Walker C. G., Jebb S. A., Calder P. C., Phil D. Stearidonic acid as a supplemental source of ω -3 polyunsaturated fatty acids to enhance status for improved human health // Nutrition. 2013. Vol. 29, no. 2. P. 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.06.003>.
17. Сухорада Т. И., Проудак М. Н., Герасимова А. С., Семенин С. А., Шабельный М. М. Новый сорт конопли масличного направления Омегадар-1 // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2009. N 1. С. 147–150.
18. Wang X.-S., Tang C.-H., Yang X.-Q., Gao W.-R. Characterization, amino acid composition and in vitro digestibility of hemp (*Cannabis sativa* L.) proteins // Food Chemistry. 2008. Vol. 107. P. 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.064>.
19. House J. D., Neufeld J., Leson G. Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa* L.) products through the use of the protein digestibility-corrected amino acid score method // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010. Vol. 58. P. 11801–11807. <https://doi.org/10.1021/jf102636b>.
20. Malomo S. A., Aluko R. E. A comparative study of the structural and functional properties of isolated hemp seed (*Cannabis sativa* L.) albumin and globulin fractions // Food Hydrocolloids. 2015. Vol. 43. P. 743–752. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.08.001>.
21. Teh S. S., Bekhit A. E. D. A., Carne A., Birch J. Antioxidant and ACE-inhibitory activities of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysates produced by the proteases AFP, HT, pro-G, actinidin and zingibain // Food Chemistry. 2016. Vol. 203. P. 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.057>.
22. Girgih A. T., Udenigwe C. C., Aluko R. E. Reverse-phase HPLC separation of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysate produced peptide fractions with enhanced antioxidant capacity // Plant

Foods for Human Nutrition. 2013. Vol. 68. P. 39–46. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0340-6>.

23. Han C., Yang P. Studies on the molecular mechanisms of seed germination // *Proteomics*. 2015. Vol. 15, no. 10. P. 1671–1679. <https://doi.org/10.1002/pmc201400375>.

24. Самофалова Л. А., Симоненкова А. П., Сафронова О. В. Исследование структурообразования в экстрактах из прорастающих масличных семян по изменению функциональных свойств липидного комплекса // *Вестник технологического университета*. 2017. Т. 20. N 4. С. 120–122.

25. Казённова Н. К., Шнейдер Д. В., Казённов И. В. Изменение химического состава зерновых про-

дуктов при проращивании // *Хлебопродукты*. 2013. N 10. С. 55–57.

26. Vellneuve S., Power K. A., Guévremont E., Mondor M., Tsao R., Wanasundara J. P. D., et al. Effect of a short-time germination process on the nutrient composition, microbial counts and bread-making potential of whole flaxseed // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014. Vol. 39, no. 6. P. 1574–1586. <http://doi.org/10.1111/jfpp.12385>.

27. Дьяков А. Б. Физиология и экология льна: монография. Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В. С. Пустовойта, 2006. 214 с.

REFERENCES

1. Schultz C. J., Lim W. L., Khor S. F., Neumann K. A., Schulz J. M., Ansari O., et al. Consumer and health-related traits of seed from selected commercial and breeding lines of industrial hemp *Cannabis sativa* L. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2020;2:100025. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100025>.

2. Fike J. Industrial hemp: renewed opportunities for an ancient crop. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2016;35(5-6):406-424. <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1257842>.

3. Irakli M., Tsaliki E., Kalivas A., Kleisaris F., Sarrou E., Cook C. M. Effect of genotype and growing year on the nutritional, phytochemical, and antioxidant properties of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds. *Antioxidants*. 2019;8:491. <https://doi.org/10.3390/antiox8100491>.

4. Vonapartis E., Aubin M.-P., Seguin P., Mustafa A. F., Charron J.-B. Seed composition of ten industrial hemp cultivars approved for production in Canada. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015;39:8-12. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.11.004>.

5. Lan Y., Zha F., Peckrul A., Hanson B., Johnson B., Rao J., et al. Genotype x environmental effects on yielding ability and seed chemical composition of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties grown in North Dakota, USA. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2019;96:1417-1425. <https://doi.org/10.1002/aocs.12291>.

6. Shelenga T. V., Grigor'ev S. V., Baturin V. S., Sarana Yu. V. Biochemical research of cannabis accessions collected in various regions of Russia. *Agrarnaya Rossiya*. 2011;(2):6-9. (In Russian).

7. Frassinetti S., Moccia E., Caltavuturo L., Gabriele M., Longo V., Bellani L., et al. Nutraceutical potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) seeds and sprouts. *Food Chemistry*. 2018;262:56-66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.078>.

8. Leonard W., Zhang P., Ying D., Fang Z. Hempseed in food industry: nutritional value, health benefits, and industrial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020;19(1):282-308. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12517>.

9. Cerino P., Buonerba C., Cannazza G., D'Auria J., Ottoni E., Fulgione A., et al. A review of hemp as food and nutritional supplement. *Cannabis and Cannabinoid Research*. 2021;6(1):19-27. <https://doi.org/10.1089/can.2020.0001>.

<https://doi.org/10.1089/can.2020.0001>.

10. Barčauskaitė K., Žydelis R., Ruzgas R., Bakšinskaitė A., Tilvikienė V. The seeds of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) a source of minerals and biologically active compounds. *Journal of Natural Fibers*. 2022. <https://doi.org/10.1080/15440478.2022.2084486>.

11. EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies) scientific opinion of the panel on dietetic products, nutrition and allergies on a request from European Commission related to labelling reference intake values for n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids. *EFSA Journal*. 2009;8(3):1461. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1461>.

12. Vasilyev A. V., Sharanova N. E., Kulakova S. N. Nutrimentalomics – the new stage of biochemistry of nutrition. The role of nutr lipidomic analysis. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2014;83(1):4-11. (In Russian). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2014-00001>.

13. Farinon B., Molinari R., Costantini L., Merendino N. The seed of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.): nutritional quality and potential functionality for human health and nutrition. *Nutrients*. 2020;29(12):1935. <https://doi.org/10.3390/nu12071935>.

14. Zelenina O. N., Serkov V. A. Fat acid composition of seed oil in new varieties and hybrids of Middle Russian hemp. *Vestnik Rossiiskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk*. 2011;2:77-79. (In Russian).

15. Gushchina V. A., Smirnov A. D., Sologub N. N., Sologub I. I. Fatty acid composition of hemp seed oil during its cultivation in the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*. 2022;(4):4-8. (In Russian). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp4-8>.

16. Walker C. G., Jebb S. A., Calder P. C., Phil D. Stearidonic acid as a supplemental source of ω-3 polyunsaturated fatty acids to enhance status for improved human health. *Nutrition*. 2013;29(2):363-369. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.06.003>.

17. Sukhorada T. I., Proidak M. N., Semynin A. C., Gerasimova S. A., Shabelny M. M. New oil hemp variety Omegadar-1. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2009;(1):147-150. (In Russian).

18. Wang X.-S., Tang C.-H., Yang X.-Q.,

Gao W.-R. Characterization, amino acid composition and in vitro digestibility of hemp (*Cannabis sativa* L.) proteins. *Food Chemistry*. 2008;107:11-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.064>.

19. House J. D., Neufeld J., Leson G. Evaluating the quality of protein from hemp seed (*Cannabis sativa* L.) products through the use of the protein digestibility-corrected amino acid score method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010;58:11801-11807. <https://doi.org/10.1021/jf102636b>.

20. Malomo S. A., Aluko R. E. A comparative study of the structural and functional properties of isolated hemp seed (*Cannabis sativa* L.) albumin and globulin fractions. *Food Hydrocolloids*. 2015;43:743-752. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.08.001>.

21. Teh S. S., Bekhit A. E. D. A., Carne A., Birch J. Antioxidant and ACE-inhibitory activities of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysates produced by the proteases AFP, HT, pro-G, actinidin and zingibain. *Food Chemistry*. 2016;203:199-206. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.057>.

22. Girgih A. T., Udenigwe C. C., Aluko R. E. Reverse-phase HPLC separation of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) protein hydrolysate produced peptide fractions with enhanced antioxidant capacity. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2013;68:39-46. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0340-6>.

doi.org/10.1007/s11130-013-0340-6.

23. Han C., Yang P. Studies on the molecular mechanisms of seed germination. *Proteomics*. 2015;15(10):1671-1679. <https://doi.org/10.1002/pmc201400375>.

24. Samofalova L. A., Simonenkova A. P., Safronova O. V. Study of structure formation in extracts from germinating oilseeds according to the functional properties of the lipid complex. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2017;20(4):120-122. (In Russian).

25. Kazennova N. K., Shneider D. V., Kazennov I. V. Changes in the chemical composition of grain products during sprouting. *Khleboprodukty*. 2013;(10):55-57. (In Russian).

26. Vellneuve S., Power K. A., Guévremont E., Mondor M., Tsao R., Wanasundara J. P. D., et al. Effect of a shot-time germination process on the nutrient composition, microbial counts and bread-making potential of whole flaxseed. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014;39(6):1574-1586. <http://doi.org/10.1111/jfpp.12385>.

27. Dyakov A. B. *The physiology and ecology of flax: monograph*. Krasnodar: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut maslichnykh kul'tur im. V. S. Pustovoita; 2006, 214 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

И. Э. Миневич,

д.т.н., ведущий научный сотрудник,
Федеральный научный центр лубяных культур,
170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, 17/56,
Российская Федерация,
irina_minevich@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

А. П. Нечипоренко,

д.х.н., профессор,
Национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики
и оптики,
197101, г. Санкт-Петербург,
Кронверкский пр-т, 49, Российская Федерация,
allanech2512@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8609-9950?lang=en>

А. А. Гончарова,

младший научный сотрудник,
Федеральный научный центр лубяных культур,
170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, 17/56,
Российская Федерация,
a.goncharova@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

В. И. Ущাপовский,

младший научный сотрудник,
Федеральный научный центр лубяных культур,
170041, г. Тверь, Комсомольский пр-т, 17/56,
Российская Федерация,
v.uschapovsky@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1620-3323>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina E. Minevich,

Dr. Sci. (Engineering), Leading Researcher,
Federal Scientific Center for Fiber Crops,
17/56, Komsomolskii Ave., Tver, 170041,
Russian Federation,
irina_minevich@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

Alla P. Nechiporenko,

Dr. Sci. (Chemistry), Professor,
National Research University of Information
Technologies, Mechanics and Optics,
49, Kronverkskii Ave., St. Petersburg, 197101,
Russian Federation,
allanech2512@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8609-9950?lang=en>

Agatha A. Goncharova,

Junior Researcher,
Federal Scientific Center for Fiber Crops,
17/56, Komsomolskii Ave., Tver, 170041,
Russian Federation,
a.goncharova@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5977-5669>

Valentin I. Uschapovsky,

Junior Researcher,
Federal Scientific Center for Fiber Crops,
17/56, Komsomolskii Ave., Tver, 170041,
Russian Federation,
v.uschapovsky@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1620-3323>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о статье

Поступила в редакцию 12.09.2022.
Одобрена после рецензирования 23.10.2022.
Принята к публикации 30.11.2022.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

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 12.09.2022.
Approved after reviewing 23.10.2022.
Accepted for publication 30.11.2022.