

Любовь Анатольевна Зайцева

Федеральный научный центр лубяных культур, младший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур, Тверь, Россия

E-mail: l.zaitzeva@fncl.ru

Агата Анатольевна Гончарова

Федеральный научный центр лубяных культур, младший научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур, Тверь, Россия

E-mail: a.goncharova@fncl.ru

Ирина Эдуардовна Миневиц

Федеральный научный центр лубяных культур, ведущий научный сотрудник лаборатории переработки лубяных культур, Тверь, Россия

E-mail: irina_minevich@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ПИТАТЕЛЬНОЙ ЦЕННОСТИ СЕМЯН ЛЬНА В ПРОЦЕССЕ КРАТКОВРЕМЕННОГО ПРОРАЩИВАНИЯ

Семена льна являются перспективным функциональным ингредиентом для создания продуктов здорового питания. Для максимальной реализации биохимического потенциала семян льна и повышения их питательной ценности использовали способ кратковременного проращивания. С целью выяснения степени влияния проращивания на семена льна была проведена серия экспериментов, направленных на изучение изменений в составе белкового комплекса семян льна, а также изменений, происходящих с жирами в составе семени, определение кислотного числа и влажности в ходе кратковременного проращивания. В качестве объекта исследований использовали семена льна масличного промышленного производства (2018 г.). Проращивание семян льна проводили в специальных поддонах при температуре 18–20 °С с добавлением воды в соотношении 2:1, в течение 5 суток при ежесуточном отборе проб. Процесс прекращали путем сушки образца при 80 °С до влажности не выше 5 %. Было показано, что влажность семян в первые сутки проращивания увеличивалась с 3,6 до 51,3 %, что связано с усиленным впитыванием воды семенами и их набуханием. Фракционный состав белкового комплекса семян льна менялся на протяжении всего периода проращивания: на третьи сутки наблюдалось максимальное содержание суммы водо- и солерастворимой белковых фракций, которые характеризуются наиболее сбалансированным аминокислотным составом. В этот же период кислотное число масла семян льна имело максимальное значение, что свидетельствует о повышении количества жирных кислот. Исследования показали периодичность изменений показателей общего белка, сырого жира в процессе кратковременного проращивания, которая объясняется расщеплением запасных веществ и образованием новых. Показано, что при трехдневном проращивании семена льна содержат набор биологически активных растворимых веществ, необходимых для появления проростков, что свидетельствует об их высокой питательной ценности.

Ключевые слова: лен масличный, проращивание, белки, полисахаридный комплекс, жирные кислоты, аминокислоты, питательная ценность.

Lyubov A. Zajceva

Federal Research Center for Bast Crops, Junior Researcher, Laboratory for Processing Bast Crops, Tver, Russia

E-mail: l.zaitzeva@fncl.ru

Agata A. Goncharova

Federal Research Center for Bast Crops, Junior Researcher, Laboratory for Processing Bast Crops, Tver, Russia

E-mail: a.goncharova@fncl.ru

Irina E. Minevich

Federal Research Center for Bast Crops, Leading Researcher, Laboratory for Processing Bast Crops, Tver, Russia

E-mail: irina_minevich@mail.ru

**INCREASING THE FLAXSEEDS NUTRITIONAL VALUE
IN THE PROCESS OF SHORT-TERM GERMINATION**

Flaxseeds are a promising functional ingredient for creating healthy food products. To maximize the biochemical potential of flax seeds and increase their nutritional value, the method of short-term germination was used. In order to clarify the degree of influence of germination on flax seeds, a series of experiments was carried out aimed at studying changes in the composition of the protein complex of flax seeds, as well as changes in fats in the composition of the seed, determination of acid number and moisture during short-term germination. As an object of research, we used industrial flax seeds (2018). Flax seeds were germinated in special trays at a temperature of 18–20 °C with the addition of water in a 2: 1 ratio for 5 days with daily sampling. The process was terminated by drying the sample at 80 °C to a moisture content of no higher than 5 %. It was shown that the moisture content of seeds in the first day of germination increased from 3.6 to 51.3 %, which is associated with increased water absorption by seeds and their swelling. The fractional composition of the protein complex of flax seeds changed throughout the entire period of germination: on the third day, the maximum content of the sum of water- and salt-soluble protein fractions, which are characterized by the most balanced amino acid composition, was observed. In the same period, the acid number of flax seed oil had a maximum value, which indicates an increase in the amount of fatty acids. Studies have shown the frequency of changes in the indicators of total protein, crude fat in the process of short-term germination, which is explained by the breakdown of reserve substances and the formation of new ones. It has been shown that after a three-day germination, flax seeds contain a set of biologically active soluble substances necessary for the emergence of seedlings, which indicates their high nutritional value.

Keywords: oil flax, germination, proteins, polysaccharide complex, fatty acids, amino acids, nutritional value.

Введение. Здоровое питание является одним из основных факторов, которые определяют здоровье человека, качество и продолжительность жизни. С целью сохранения и укрепления здоровья населения, профилактики заболеваний, обусловленных несбалансированным и неполноценным питанием, разработан Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ (ред. от 13.07.2020) «О качестве и безопасности пищевых продуктов». В соответствии с этим законом здоровым питанием называют питание, ежедневный рацион которого основывается на принципах, установленных Федеральным законом, отвечает требованиям безопасности и создает условия для физического и интеллектуального развития, жизнедеятельности человека и будущих поколений.

Большое значение для расширения ассортимента продуктов здорового питания имеет выбор сырья. В качестве природных ингредиентов стали популярны мука масличных, бобовых культур, семена, орехи, жмыхи и пр. В их числе – семена льна, которые по своему биохимическому составу соответствуют функциональному продукту. Белковый комплекс семян льна обладает сбалансированным составом аминокислот; более 50 % липидов приходится на α -линоленовую кислоту, которая относится к эссенциальным ПНЖК ω -3; полисахариды, сосредоточенные в семенной оболочке, относятся к растворимым пищевым волокнам; биологически активные вещества фенольного типа – лигнаны содержатся в наибольшем количестве по сравнению со всеми растительными источниками [1]. Оздоровитель-

ное действие семян льна на организм человека доказано экспериментально [2–4].

Главным потребительским продуктом льна масличного, который имеет постоянный спрос на мировом рынке, являются его семена [5]. Семена льна, льняная мука активно используются в пищевых технологиях, например, в таких областях, как хлебопекарная, мясная и молочная промышленность [6–10].

Для максимальной реализации биохимического потенциала семян льна и повышения их питательной ценности перспективным является способ кратковременного проращивания. В настоящее время метод проращивания широко используется для получения биоактивированных пищевых продуктов и компонентов: от пророщенных семян различных сельскохозяйственных культур до микрорзелени.

Фактически проращивание – это ферментативная биомодификация семян (зерна) собственными протеиназами, в результате которой повышается доступность и усвояемость питательных веществ за счет их расщепления на более низкомолекулярные формы. Период прорастания состоит из последовательных этапов – фаз прорастания. Каждой фазе присуща определенная продолжительность, определенные биохимические и морфологические изменения, происходящие в семени, а также определенные требования к условиям среды [11].

Всего выделяют пять фаз:

- 1) водопоглощение;
- 2) набухание, заканчивающееся наклевыванием;
- 3) рост первичных корешков;
- 4) развитие ростка;
- 5) становление проростка.

В процессе проращивания семян активируются собственные ферменты, способствующие

расщеплению белков, жиров, углеводов и, следовательно, увеличивающие их усвояемость. Помимо этого, в проростках в десятки и сотни раз увеличивается количество минеральных веществ, витаминов и других эссенциальных компонентов. Известно, что проростки до 3 мм также характеризуются высокой биологической ценностью [12].

Превращение жира в сахар является основным обменным процессом при прорастании масличных культур. Вместе с тем на ранних этапах набухания жир в семенах не подвергается полному расщеплению. Практически распад жира начинается на 4-й день, а полное расщепление только на 8-й [13, 14].

При этом при проведении проращивания не используются какие-либо сторонние агрессивные или опасные для организма вещества, а сам процесс является экологичным и простым.

Цель работы. Повышение питательной ценности семян льна путем кратковременного проращивания для расширения ассортимента продуктов здорового питания.

Задачи исследования: оценить визуальные изменения семян льна, наблюдаемые на этапах проращивания; определить характеристики семян льна в процессе проращивания; изучить фракционный состав белкового комплекса семян льна в процессе проращивания.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследований использовали семена льна масличного, сорт «Ручеек».

Исходные семена льна – плоские, глянцевые, коричневого цвета. Размеры семени: толщина от 0,5 до 1,5; ширина от 1,7 до 3,2; длина от 3,2 до 6,0 мм.

Показатели исходных семян представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика исходных семян льна

Показатель	Значение
Содержание белка, %	21,77±1,09
Содержание жира, %	42,96±2,15
Кислотное число	3,14±0,16
Влажность, %	3,6±0,18

Проращивание семян проводили в специальных поддонах при температуре 18–20 °С с добавлением воды в соотношении 2:1. Семена прорастали в течение 5 суток при периодическом увлажнении.

Проращивание прекращали путем выдерживания образца в сушильном шкафу при 80 °С до влажности не более 5 %. Далее образцы измельчали на лабораторной мельнице, хранили при температуре 5 °С.

Отбор проб пророщенных семян проводили каждые сутки.

В работе использовались следующие методы анализов, выполненные в соответствии с ГОСТами:

Кислотное число – по ГОСТ 31700-2012.

Содержание жира – по ГОСТ 10857-64.

Содержание белка – по ГОСТ 10846-91.

Влажность – по ГОСТ 10856-96.

Зольность – по ГОСТ 10847-2019.

Фракционный состав белкового комплекса был изучен с применением метода Ермакова: белки экстрагировали последовательно водой, 7%-м раствором NaCl и 0,1M раствором NaOH. Осаждение белков производилось 5%-м раствором трихлоруксусной кислоты [15].

Результаты исследования и их обсуждение. Проращивание – сложный процесс, в результате которого изменениям подвергается весь биохимический комплекс семени. При этом происходят изменения размеров и внешнего вида семян. Визуальные изменения, наблюдаемые в процессе кратковременного проращивания семян льна, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Визуальные изменения семян льна, наблюдаемые при их проращивании

Продолжительность проращивания, сут	Наблюдаемые изменения
1	Осклизнение и набухание полисахаридной оболочки, увеличение размера семени
2	Набухание семян
3	Проклевывание
4	Прорастание ≈ 5 мм
5	Прорастание ≈ 11 мм

Как следует из визуальных наблюдений, на начальном этапе проращивания (набухание) происходит интенсивное поглощение семенем влаги. За первые сутки проращивания влажность возросла с 3,6 до 51,3 %. В течение следующих четырех суток влажность стабилизировалась и изменялась незначительно – 54,1 %; 52,9; 57,3; 57,1 % на вторые, третьи, четвертые и пятые сутки соответственно. Известно, что в поверхностном слое семенной оболочки семян льна содержатся водорастворимые полисахариды, которые быстро поглощают воду и набухают. После стадии набухания в последующие 3–5 суток наблюдений изме-

нялась форма семени вследствие проклевывания и увеличения длины проростка.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют: за первые сутки семя впитывает в себя наибольшее количество воды, что приводит к набуханию семени и осклизнению наружной полисахаридной оболочки, дальнейшее проникновение воды во все части семени способствует активации ферментов и их воздействию на основные питательные вещества.

Динамика изменения содержания белка, жира в семенах льна в процессе проращивания представлена в таблице 3.

Содержание питательных веществ в семенах льна разной степени прорастания

Продолжительность проращивания, сут	Содержание белка, %	Содержание сырого жира, %	Кислотное число жира, мг КОН на 1 г масла
Исходные семена	21,77±1,09	42,96±2,15	3,14±0,16
1	22,72±1,14	37,90±1,90	3,05±0,15
2	28,56±1,43	39,04±1,95	3,26±0,16
3	21,69±1,08	43,23±2,16	3,29±0,16
4	27,19±1,36	41,51±2,07	3,26±0,16
5	22,55±1,13	40,48±2,02	3,15±0,16

Полученные данные свидетельствуют о периодичности в изменении показателей на протяжении всего исследуемого процесса проращивания. Это связано с тем, что на каждой стадии прорастания семени протекают процессы, связанные с изменением состава и состояния питательных веществ в растении.

Появление свободной воды в клетках зародыша и эндосперма стимулирует процессы дыхания. Процессы метаболизма происходят за счет сахаров, аминокислот и других субстратов дыхания, которые высвобождаются в результате гидролитического расщепления высокомолекулярных запасных соединений. Превращение высокомолекулярных веществ должно протекать достаточно быстро, чтобы обеспечивать постоянное поступление активных низкомолекулярных соединений к зародышу, который их полностью использует в период от набухания до появления всходов [16].

Следует отметить колебания величины кислотного числа на 2–4-е сутки проращивания (см. табл. 3). Этот показатель характеризует уровень свободных жирных кислот, образующихся при распаде жиров. На третьи сутки, как следует из данных таблицы 3, кислотное число характеризуется максимальным значением.

Триглицериды под действием липазы гидролизуются с образованием свободных жирных кислот и глицерина. Глицерин через последовательность реакций гликолиза превращается в сахара. Свободные жирные кислоты, в свою очередь, через ряд промежуточных реакций включаются в цикл β -окисления. Все эти реакции в прорастающих семенах льна происходят с большой скоростью, поэтому даже при интенсивном распаде жиров свободные высшие жирные кислоты практически не накапливаются. Повышение кислотного числа в процессе проращивания семян льна, вероятно, связано с накоплением других кислот [17].

Анализ полученных результатов (см. табл. 3) показал, что кислотное число в своем максимальном значении (на 3-й день проращивания) повышалось на 4,78 %, а вариабельность значений сырого жира коррелирует с механизмом, описанным в источнике [17].

Белковый комплекс семян льна также претерпевает изменения. В процессе кратковременного проращивания происходит перераспределение белковых фракций. Изменение фракционного состава семян льна в зависимости от продолжительности проращивания представлено в таблице 4.

Фракционный состав семян льна при разной продолжительности проращивания, %

Продолжительность проращивания, сут	Водорастворимая фракция	Солерастворимая фракция	Щелочерастворимая фракция
Исходные семена	3,94±0,20	62,60±3,13	33,46±1,673
1	1,10±0,06	92,27±4,61	6,63±0,33
2	16,21±0,81	46,98±2,35	36,81±1,84
3	24,58±1,23	70,11±3,51	5,31±0,27
4	21,50±1,08	48,45±2,42	30,05±1,50
5	18,62±0,93	39,94±2,00	41,44±2,07

В первые сутки наблюдалось снижение содержания щелочерастворимой и водорастворимой фракций. Снижение содержания этих фракций составило 80,19 и 72,08 % соответственно, при этом содержание солерастворимой повысилось на 47,4 %. На третьи сутки проращивания наблюдалось максимальное содержание суммы водо- и солерастворимой белковых фракций. На основании тенденции изменения соотношения белковых фракций в процессе прорастания можно предположить возможность их взаимной трансформации в процессе проращивания.

Заключение. В результате проведенных исследований установлено, что в процессе прорастания семян льна масличного происходят изменения в соотношении белковых фракций, содержании жира, также изменялись такие параметры, как кислотное число и влажность семян.

Изменения в белковом комплексе свидетельствуют о перераспределении белковых фракций, связанном с гидролитическим расщеплением запасных белков, их взаимной трансформацией в процессе кратковременного проращивания. В результате изменений в белковом комплексе, а также за счет распада белков до свободных аминокислот повышается биологическая ценность и питательность продукта.

Известные данные об интенсивном протекании реакций гидролиза и быстром поступлении биологически активных веществ к зародышу [17] подтверждаются тем, что при проведении исследований было показано, что на третьи сутки происходило проклевывание проростка, а в последующие – их интенсивный рост. Таким образом, уже на третьи сутки проращивания семена льна содержат набор биологически активных веществ, обеспечивающий выход и 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.

Таким образом, процесс кратковременного проращивания семян льна является экологичным и безопасным способом повышения питательности семян льна, для которого не требуется

сложное оборудование или агрессивные химические вещества.

Литература

1. *Миневич И.Э.* Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях // *Health, Food & Biotechnology*, 2019. № 1(2). DOI: 10.36107/hfb.2019.i2.s224.
2. *Толкачев О.Н., Жученко мл. А.А.* Биологически активные вещества льна: использование в медицине и питании (обзор) // *Химико-фармацевтический журнал*. 2000. № 34(7). С. 23–30.
3. *Bernacchia R., Preti R., Vinci G.* Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed. *Austin J Nutri Food Sci.*, 2014. 2(8). P. 1045.
4. *Gutte K.B., Sahoo A.K., & Ranveer R.C.* (2015). Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Res.*, 2015. 31(1). P. 42–51.
5. *Новиков Э.В., Басова Н.В., Ущановский И.В.* и др. Масличный лен как глобальный сырьевой ресурс для производства волокна // *Молочнохозяйственный вестник*. 2017. № 3. С. 187–203.
6. *Sudha M.L., Begum K., Ramasarma P.R.* (2010). Nutritional characteristics of linseed/flaxseed (*Linum usitatissimum*) and its application in muffin making. *J Texture Stud*, 41, 563–578. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2010.00242.x.
7. *Marpalle P., Sonawane S.K., Arya S.S.*, (2014). Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT, Food Sci Technol*, 58, 614–619.
8. *Ivanov S., Rashevskaya T., Makhonina M.* (2011). Flaxseed additive application in dairy products production. *Procedia Food Sci*, 1, 275–280. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.043.
9. *Houryieh H., Aramouni F.* (2012). Physical and sensory characteristics of cookies prepared with flaxseed flour. *J Sci Food Agric*, 92, 2366–2372. DOI: 10.1002/jsfa.5642.
10. *Снегирева Н.В., Марченко Л.В.* Использование льняной муки и семян льна в рецептурах мучных кондитерских изделий // *Вестник КрасГАУ*. 2019. № 11. С. 143–150.

11. Казакова А.С., Майборода С.Ю. Микрофенологические фазы прорастания семян ячменя: монография. Зерноград, 2018. 183 с.
12. Пат. RU 2 528 498 A23L 1/172. Способы получения проростков льна / Н.Н. Попова, Л.И. Столбовских. Заявл. 29.04.2013. 5 с.
13. 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, № 4. С. 120–122.
14. Щербаков В.Г., Лобанов В.Г., Прудникова Т.Н. и др. Биохимия растительного сырья / под ред. В.Г. Щербакова. М.: Колос, 1999. 376 с.
15. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И. и др. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Колос, 1972. 447 с.
16. Климентова Е.Г., Рассадина Е.В., Антонова Ж.А. Физиология растений. Ульяновск: УлГУ, 2014. 170 с.
17. Дьяков А.Б. Физиология и экология льна. Краснодар: Изд-во ВНИИМК, 2006. 214 с.
6. Sudha M.L., Begum K., Ramasarma P.R. (2010). Nutritional characteristics of linseed/flaxseed (*Linum usitatissimum*) and its application in muffin making. *J Texture Stud*, 41, 563-578. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2010.00242.x.
7. Marpalle P., Sonawane S.K., Arya S.S., (2014). Effect of flaxseed flour addition on physico-chemical and sensory properties of functional bread. *LWT, Food Sci Technol*, 58, 614–619.
8. Ivanov S., Rashevskaya T., Makhonina M. (2011). Flaxseed additive application in dairy products production. *Procedia Food Sci*, 1, 275–280. DOI: 10.1016/j.profoo.2011.09.043.
9. Khouryieh H., Aramouni F. (2012). Physical and sensory characteristics of cookies prepared with flaxseed flour. *J Sci Food Agric*, 92, 2366–2372. DOI: 10.1002/jsfa.5642.
10. Snegireva N.V., Marchenko L.V. Ispol'zovanie l'nyanoy muki i semyan l'na v recepturah muchnyh konditerskih izdelij // *Vestnik KrasGAU*. 2019. № 11. S. 143–150.
11. Kazakova A.S., Majboroda S.Yu. Mikrofenologicheskie fazy prorstaniya semyan yachmenya: monografiya. Zernograd, 2018. 183 s.
12. Pat. RU 2 528 498 A23L 1/172. Sposoby polucheniya prorstkov l'na / N.N. Popova, L.I. Stolbovskih. Zayavl. 29.04.2013. 5 s.
13. Samofalova L.A., Simonenkova A.P., Safronova O.V. Issledovanie strukturoobrazovaniya v `ekstraktah iz prorstayuschih maslichnyh semyan po izmeneniyu funkcional'nyh svojstv lipidnogo kompleksa // *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2017. T. 20, № 4. S. 120–122.
14. Scherbakov V.G., Lobanov V.G., Prudnikova T.N. i dr. Biohimiya rastitel'nogo syr'ya / pod red. V.G. Scherbakova. M.: Kolos, 1999. 376 s.
15. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Smirnova-Ikonnikova M.I. i dr. Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij / pod red. A.I. Ermakova. Izd. 2-e, pererab. i dop. L.: Kolos, 1972. 447 c.
16. Klimentova E.G., Rassadina E.V., Antonova Zh.A. Fiziologiya rastenij. Ul'yanovsk: UIGU, 2014. 170 s.
17. D'yakov A.B. Fiziologiya i `ekologiya l'na. Krasnodar: Izd-vo VNIIMK, 2006. 214 s.

References

1. Minevich I. E. Funkcional'naya znachimost' semyan l'na i praktika ih ispol'zovaniya v pischevyh tehnologiyah // *Health, Food & Biotechnology*, 2019. № 1(2). DOI: 10.36107/hfb.2019.i2.s224.
2. Tolkachev O.N., Zhuchenko ml. A.A. Biologicheski aktivnye veschestva l'na: ispol'zovanie v medicine i pitanii (obzor) // *Himiko-farmaceuticheskij zhurnal*. 2000. № 34(7). S. 23–30.
3. Bernacchia R., Preti R., Vinci G. Chemical Composition and Health Benefits of Flaxseed. *Austin J Nutri Food Sci.*, 2014. 2(8). P. 1045.
4. Gutte K.B., Sahoo A.K., & Ranveer R.C. (2015). Bioactive Components of Flaxseed and its Health Benefits. *Int. J. Pharm. Sci. Res.*, 2015. 31(1). P. 42–51.
5. Novikov E.V., Basova N.V., Uschapovskij I.V. i dr. Maslichnyj len kak global'nyj syr'evoy resurs dlya proizvodstva volokna // *Molochnohozyajstvennyj vestnik*. 2017. № 3. S. 187–203.

