

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2526>
<https://elibrary.ru/LFIBYF>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Биохимический, минеральный и витаминный состав семян льна масличного белорусской селекции



В. Г. Лобанов¹, Ю. Ф. Росляков^{1,*}, М. Е. Маслинская²,
И. М. Почицкая³, Н. В. Комарова³

¹ Кубанский государственный технологический университет^{ROR}, Краснодар, Россия

² Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт льна», Устье, Беларусь

³ Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию, Минск, Беларусь

Поступила в редакцию: 20.02.2024

Принята после рецензирования: 26.04.2024

Принята к публикации: 07.05.2024

*Ю. Ф. Росляков: lizaveta_ros@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-1431-4804>

В. Г. Лобанов: <https://orcid.org/0000-0003-2838-3253>

М. Е. Маслинская: <https://orcid.org/0000-0001-8960-6460>

И. М. Почицкая: <https://orcid.org/0000-0001-5347-6676>

Н. В. Комарова: <https://orcid.org/0000-0002-8281-7975>

© В. Г. Лобанов, Ю. Ф. Росляков, М. Е. Маслинская,
И. М. Почицкая, Н. В. Комарова, 2024



Аннотация.

Семена льна масличного являются перспективными источниками биологически ценных веществ, незаменимых аминокислот, пищевых волокон, витаминов, антиоксидантов, эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот. Целью исследования является изучение биохимического, минерального и витаминного состава семян льна масличного сортов белорусской селекции для выявления наиболее пригодных в качестве компонентов при создании продуктов питания функционального назначения.

Объекты исследования – семена 10 сортов льна масличного (Илим, Опус, Брестский, Салют, Фокус, Альянс, Дар, Визирь, Славянин, Бонус). В 2020–2021 гг. авторами были заложены полевые опыты в РУП «Институт льна» (аг. Устье, Республика Беларусь) согласно общепринятой методике на делянках площадью 1 м² в трехкратной повторности. Для определения содержания микронутриентов в семенах применяли стандартные и общепринятые методы.

Установлено, что семена льна масличного могут служить источником растительного жира (до 44,8 %), белка (до 25,1 %) и клетчатки (до 26,0 %). Максимальное содержание α -линоленовой кислоты отмечено у сортов Салют (63,0 %), Визирь (61,4 %) и Бонус (61,8 %). Анализ минерального состава семян льна показал, что среднее содержание в них калия составило 7500,0–10625,0 мг/кг, фосфора 5700,0–7522,5 мг/кг, магния 2300,0–2605,0 мг/кг, кальция 1200,0–1922,5 мг/кг, железа 45,0–56,0 мг/кг, натрия 124,5–190,0 мг/кг соответственно. По максимальному содержанию витамина В₁ выделены сорта Салют (0,91 мг/100г) и Брестский (1,08 мг/100 г), витамина В₂ – Дар (0,058 мг/100 г), Илим (0,057 мг/100 г), Брестский (0,056 мг/100 г), витамина Е (токоферола) Салют (12,6 мг/100 г), Дар (12,07 мг/100 г) и Опус (12,35 мг/100 г). Хранение молотых семян при комнатных условиях для получения качественной пищевой муки из семян льна не допустимо из-за увеличения кислотного числа на 64–73 %.

Проведённые исследования подтверждают высокую биологическую ценность льна масличного и возможность его использования в качестве высокоактивного функционального ингредиента при создании новых видов продуктов питания.

Ключевые слова. Лён масличный, вегетационный период, биохимический состав, микронутриенты, витамины, микроэлементы, антиоксиданты, клетчатка, белок, вариабельность

Финансирование. Работа выполнена в рамках НИР 4 «Обоснование использования семян сортов льна масличного белорусской селекции для создания продуктов функционального назначения» задания 5.4 «Исследование и установление механизмов повышения качества, потребительской ценности и конкурентоспособности пищевых продуктов для различных категорий потребителей, разработка стратегии, направленной на совершенствование конкурентоустойчивости перерабатывающих отраслей пищевой промышленности» Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 годы» за счет средств республиканского бюджета.

Для цитирования: Биохимический, минеральный и витаминный состав семян льна масличного белорусской селекции / В. Г. Лобанов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 3. С. 532–545. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2526>

Biochemical, Mineral, and Vitamin Composition of Belarusian Linseed Cultivars



Vladimir G. Lobanov¹, Yuri F. Roslyakov^{1,*},
Margarita E. Maslinskaya², Irina M. Pochitskaya³,
Natalia V. Komarova³

¹ Kuban State Technological University^{ROR}, Krasnodar, Russia

² Institute of Flax, Ustye, Belarus

³ Applied Research Center, Belarus National Academy of Food Sciences, Minsk, Belarus

Received: 20.02.2024
Revised: 26.04.2024
Accepted: 07.05.2024

*Yuri F. Roslyakov: lizaveta_ros@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-1431-4804>
Vladimir G. Lobanov: <https://orcid.org/0000-0003-2838-3253>
Margarita E. Maslinskaya: <https://orcid.org/0000-0001-8960-6460>
Irina M. Pochitskaya: <https://orcid.org/0000-0001-5347-6676>
Natalia V. Komarova: <https://orcid.org/0000-0002-8281-7975>

© V.G. Lobanov, Y.F. Roslyakov, M.E. Maslinskaya, I.M. Pochitskaya,
N.V. Komarova, 2024



Abstract.

Linseeds are a promising source of biologically valuable substances, essential amino acids, dietary fiber, vitamins, antioxidants, and essential polyunsaturated fatty acids. The article describes the biochemical, mineral, and vitamin composition of Belarusian flax varieties. The research objective was to select cultivars for functional food production.

The study featured ten linseed cultivars, i.e., Ilim, Opus, Brestskiy, Salut, Fokus, Allyans, Dar, Vizir, Slavyanin, and Bonus. In 2020–2021, the authors planted plots of 1 m² in triplicate for each cultivar. The experimental field belonged to the Institute of Flax, Ustye, Republic of Belarus. The study followed standard methods to determine the content of micronutrients.

All flax varieties proved to be a reliable source of vegetable fat ($\leq 44.8\%$), protein ($\leq 25.1\%$), and fiber ($\leq 26.0\%$). The maximal content of α -linolenic acid belonged to Salut (63.0%), Vizir (61.4%), and Bonus (61.8%). The average mineral content was as follows: 7,500.0–10,625.0 mg/kg potassium, 5,700.0–7,522.5 mg/kg phosphorus, 2,300.0–2,605.0 mg/kg magnesium, 1,200.0–1,922.5 mg/kg calcium, 45.0–56.0 mg/kg iron, and 124.5–190.0 mg/kg sodium. The maximal content of vitamin B₁ was registered in the samples of Salut (0.91 mg/100 g) and Brestskiy (1.08 mg/100 g); the maximal content of vitamin B₂ belonged to the samples of Dar (0.058 mg/100 g), Ilim (0.057 mg/100 g), and Brestskiy (0.056 mg/100 g); the maximal content of vitamin E (tocopherol) was found in the samples of Salut (12.6 mg/100 g), Dar (12.07 mg/100 g), and Opus (12.35 mg/100 g). The linseeds were not suitable for high-quality food flour production after room temperature storage because the acid number increased by 64–73%.

The excellent biological value of Belarusian flax cultivars demonstrated good prospects as highly active functional ingredients in new functional foods.

Keywords. Linseed, cultivars, growing season, biochemical composition, micronutrients, vitamins, microelements, antioxidants, fiber, protein, variability

Funding. The study was part of the state-funded Scientific Research Program of Agricultural Technologies and Food Security for 2021–2025, Project 4: Linseeds of Belarusian selection in functional products; Task 5.4: Improving the quality, consumer value, and competitiveness of food products for various categories of consumers to raise the competitiveness of the food industry.

For citation: Lobanov VG, Roslyakov YuF, Maslinskaya ME, Pochitskaya IM, Komarova NV. Biochemical, Mineral, and Vitamin Composition of Belarusian Linseed Cultivars. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(3):532–545. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2526>

Введение

Значительная роль в жизни человека отводится здоровому питанию. В настоящее время во всем мире растет интерес к продуктам на растительной основе,

в связи с этим семена льна масличного и продукты его переработки становятся привлекательным пищевым сырьем [1–3]. Они содержат примерно 40 % липидов, 30 % пищевых волокон и 20 % белка. Химический

состав их значительно различается у разных сортов, а также зависит от условий окружающей среды, в которых выращивается растение. Семена льна являются источниками биологически ценных веществ, таких как незаменимые аминокислоты, пищевые волокна, витамины, антиоксиданты, эссенциальные полиненасыщенные жирные кислоты [4–7]. Льняное масло составляет примерно 30–48 % от массы семени и состоит из триглицеридов (природных органических соединений, полных сложных эфиров глицерина и одноосновных жирных кислот) и смеси жирных кислот. Уникальность состава льняного масла обусловлена высоким содержанием в нем незаменимых жирных кислот – полиненасыщенной альфа-линоленовой кислоты (ω -3) и линолевой кислоты (ω -6) и низким содержанием насыщенных жирных кислот [8, 9]. Протеины в семенах льна являются вторым компонентом после липидов по содержанию (18–25 %), что позволяет считать это сырье перспективным для получения разнообразных белковых продуктов. Известно, что содержание белка в семенах льна определяется сортом, а также зависит от региона и года выращивания [10, 11].

Для организма человека жизненно необходимыми являются микронутриенты: витамины и минеральные вещества. Микронутриенты относятся к незаменимым пищевым веществам. Они необходимы для нормального осуществления обмена веществ, роста и развития организма, защиты от болезней и вредных факторов внешней среды, надежного обеспечения всех жизненных функций и должны поступать в организм регулярно, в полном наборе и количествах, соответствующих физиологической потребности человека [12]. Анализ структуры питания населения нашей страны за последние годы свидетельствует о тенденции неуклонного снижения потребления белка животного происхождения, что обусловлено высокой себестоимостью продуктов животноводства в сравнении с продукцией растениеводства [13]. По оценкам специалистов количество продукции с семенами льна может составить от 10 до 20 % от общего объема хлебобулочных изделий [14, 15]. По составу витаминов и минералов семена льна близки к зерновым культурам [16]. Ценность извлекаемых из льна биологически активных веществ может достигать 80 000 долларов США на 1 тонну перерабатываемого льняного сырья [14–18]. Анализ практического использования семян льна в пищевой промышленности выявил, что функционально-технологические свойства пищевых ингредиентов семян льна позволяют улучшить технологические и органолептические свойства пищевых продуктов, повысить их пищевую ценность [19–23].

Семена льна оказывают положительное воздействие на профилактику сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета, обладают антибактериальным и антиоксидантным действием и т. д. Содержащиеся в семенах льна полисахариды (кроме крахмала), благодаря своим антигиперхолестеринемическим, антиканце-

рогенным и контролирующим метаболизм глюкозы эффектам могут предотвратить или снизить риск различных важных заболеваний, таких как сахарный диабет II типа, волчаночный нефрит, атеросклероз и гормонозависимые онкологические заболевания. Отмечалось значительное снижение липидного профиля, общего холестерина и липопротеинов низкой плотности в крови и антропометрических показателей (окружность талии и соотношение талии к бедрам) в группе пациентов, принимавших порошок льняного семени по сравнению с группой, принимавших плацебо [24].

Семена льна способствуют снижению уровня глюкозы и могут использоваться для лечения диабета II типа. Биоактивные компоненты этих семян, такие как диглюкозид секоизолярицирезинола, участвуют в лечении резистентности к инсулину или выработке инсулина. В различных исследованиях на мужчинах и женщинах с преддиабетом и ожирением, употребление определенных количеств экстрактов этих семян приводило к лучшему гликемическому контролю, что свидетельствует о том, что эти семена обладают антидиабетическими свойствами [25].

Льняное семя обладает антиоксидантным и противовоспалительным действием, способствует ускорению процессов регенерации, что обуславливает его рекомендацию при симптоматическом лечении таких аутоиммунных заболеваний, как артрит. Ежедневное употребление в течение 12 недель семян льна в количестве 30 г способствовало снижению тяжести боли, утренней скованности и ощущения болезненности и улучшению показателей инвалидности и качества жизни у пациентов с ревматоидным артритом в сравнении с группой пациентов, не принимавших его [26]. Исследования показали положительное действие измельченного льняного семени (30 г), льняного масла (10 г) на уровни маркеров воспаления в сыворотке крови, метаболические параметры и тяжесть заболевания у пациентов с язвенным колитом [27].

Известно, что семена льна обладают онкопротекторными свойствами. Они являются важным источником лигнанов, типа фитоэстрогена, который известен своими свойствами подавлять рост гормоночувствительных видов рака, таких как рак молочной железы и простаты, препятствуя воздействию эстрогена на эти ткани. Лигнаны льняного семени могут быть перспективными химиотерапевтическими/химиопрофилактическими средствами. Противоканцерогенез лигнанов семян льна достигается за счет множества молекулярных механизмов, включающих биохимические вещества, такие как клеточные киназы, медиаторы клеточного цикла, факторы транскрипции, воспалительные цитокины, активные формы кислорода и переносчики лекарств. Большое содержание ненасыщенных жирных кислот, оказывающих противовоспалительное действие, потенциально снижают риск развития рака, а также препятствуют или ограничивают пролиферацию и распространение определенных типов раковых

клеток. Белки льняного семени могут обладать антиангиогенными свойствами, препятствуя образованию новых кровеносных сосудов, необходимых для роста опухоли [28, 29].

В связи с этим актуальным является проведение комплексных исследований, направленных на анализ, выбор и отбор определенных сортов льна масличного по целевому назначению, для регулирования технологических процессов их переработки и улучшения пищевой ценности и потребительских свойств готовой продукции.

Целью работы является исследование биохимического, минерального и витаминного состава разных сортов семян льна масличного белорусской селекции, отбор сортов, пригодных в качестве компонентов для создания продуктов функционального назначения в пищевой промышленности.

Объекты и методы исследования

Исходный материал – сорта льна масличного белорусской селекции Илим, Опус, Брестский, Салют, Фокус, Альянс, Дар, Визирь, Славянин, Бонус.

Сорт Брестский. Позднеспелый, голубоцветковый сорт, содержание масла в семенах 46 %, содержание альфа – линоленовой кислоты – 56,95 %. Поражение болезнями 24,6 %. Устойчивость к полеганию 5,0 балла (по 5-ти балльной шкале). Средняя урожайность семян – 20,8 ц/га, масса 1000 семян – 6,3 г. Год районирования – 2012. *Сорт Опус*. Позднеспелый, голубоцветковый сорт, семена коричневые. Содержание масла в семенах 44,6 %. Поражение болезнями 12,1 %. Устойчивость к полеганию 5,0 балла (по 5-ти балльной шкале). Средняя урожайность семян – 22,9 ц/га. Год районирования – 2013. *Сорт Илим*. Среднеспелый, голубоцветковый сорт, семена коричневые. Содержание масла в семенах 47,6 %. Поражение болезнями 16,6 %. Устойчивость к полеганию 4,7 балла (по 5-ти балльной шкале). Средняя урожайность семян – 21,1 ц/га, масса 1000 семян – 6,9 г. Год районирования – 2013. *Сорт Салют*. Позднеспелый, голубоцветковый сорт, семена коричневые, крупные. Содержание масла в семенах 50,5 %. Поражение болезнями 21,1 %. Устойчивость к полеганию 5,0 балла. Средняя урожайность семян – 18,9 ц/га. Год районирования – 2014. *Сорт Фокус*. Раннеспелый, голубоцветковый сорт, семена коричневые, крупные. Средняя урожайность семян 22,1 ц/га, содержание масла 45,3 %. Сбор масла составил 8,5 ц/га. Год районирования – 2017. *Сорт Дар*. Среднеспелый, голубоцветковый сорт, семена коричневые, крупные, с массой 1000 семян – 5,4–6,7 г. Максимальная урожайность 23,2 ц/га получена на Бобруйском ГСУ, содержание жира – 42,4 %, содержание α -линоленовой кислоты составило 40,1 %. Преимущество сорта – измененный жирнокислотный состав. Сорт пригоден для получения высококачественного пищевого масла и жмыха (шрота), а также масло образца подходит для использования в медицине и парфюмерии. *Сорт Альянс*. Раннеспелый, голубоцветковый сорт, семена корич-

невые. Средняя урожайность семян – 23,9 ц/га, содержание масла – 45,2 %. Сбор масла 9,50 ц/га. Год районирования – 2021. *Сорт Визирь*. Среднеспелый, голубоцветковый сорт, семена коричневые, крупные. Средняя урожайность семян – 24,0 ц/га, содержание масла – 45,71 %. Сбор масла 9,43 ц/га. Год районирования – 2021. *Сорт Славянин*. Позднеспелый, голубоцветковый сорт, семена коричневые, крупные. Средняя урожайность семян составила 21,6 ц/га, содержание масла 41,95 %. Сбор масла составил 10,8 ц/га. Год районирования – 2022. *Сорт Бонус*. Среднеспелый, голубоцветковый сорт, семена коричневые, крупные. Средняя урожайность семян составила 21,4 ц/га, содержание масла 43,45 %. Сбор масла составил 10,9 ц/га. Год районирования – 2022.

Для решения поставленной задачи были заложены полевые опыты в РУП «Институт льна» (аг. Устье, Республика Беларусь) согласно общепринятой методике на делянках площадью 1 м² в трехкратной повторности в 2020–2021 гг. [30, 31]. Почва опытных участков для закладки питомников в годы исследований дерново-подзолистая, среднесуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемая с глубины 1 м моренным суглинком, предшественники – яровые зерновые. Агрохимическая характеристика почв следующая: рН (KCl) – 5,0–5,5, подвижных форм фосфора (P₂O₅) – 186–190 мг/кг почвы, калия (K₂O) – 210 мг/кг почвы; содержание органического вещества почвы – 1,6 %. Посев, уход осуществляли согласно отраслевому регламенту по возделыванию льна масличного [32]. Метеорологические условия места проведения исследований проанализированы по данным метеостанции города Орши Витебской области, Республика Беларусь [33]. Исследование биохимического состава и микронутриентного состава семян льна осуществляли в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию».

При проведении научно-исследовательской работы применяли стандартные методы определения показателей, в частности: содержание масла по ГОСТ 10857-64, белка – по ГОСТ 13496.4-2019, клетчатки – по ГОСТ 13496.2-91, золы – по ГОСТ 26312.5-84, суммарное содержание токоферолов – по ГОСТ EN 12822-2011, массовую долю витамина B₂ (тиамина) – по ГОСТ EN 14152-2020; массовую долю витамина B₁ (тиамина) по ГОСТ EN 14122-2020 с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. Метод основан на экстракции тиамин из пробы путем кислотного гидролиза, последующем ферментативном дефосфорилировании тиамин и его количественном определении с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с применением предварительной, либо послеколонной конверсии в тиохром. Жирнокислотный состав определяли согласно СТБ ИСО 15304-2007

методом газовой хроматографии с использованием капиллярных колонок. Данный метод разработан для определения содержания трансизомеров, образованных в процессе (высокотемпературной) очистки или в процессе гидрогенизации растительных масел или жиров, с использованием капиллярной газовой хроматографии. При анализе исследуемого образца данным методом возможно определение всех других жирных кислот (например, для получения полного состава жирных кислот и общего количества насыщенных жирных кислот, мононенасыщенных жирных кислот и полиненасыщенных жирных кислот). Содержание макро- и микроэлементов изучали методом атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной аргонной плазмой по МУК 4.1.1482-2003. Методика основана на окислительно-кислотной «мокрой» минерализации проб исследуемых семян и на последующем анализе ее на требуемые химические элементы методом атомно-эмиссионной спектроскопии с использованием в качестве источника возбуждения высокочастотной индуктивно связанной аргонной плазмы. Сочетание высокой избирательности и последовательного по длинам волн способа измерений позволяет определять до 20–30 элементов из одной подготовленной пробы в течение 4–5 мин.

Обработку экспериментальных данных проводили с использованием программ Microsoft Excel-2016 и Statistica 2010.

Результаты и их обсуждение

Продолжительность межфазных и вегетационных периодов являются показателями того, насколько растения обеспечены необходимыми условиями для прохождения стадий развития. В 2020 г. температурный фон при проведении посева растений находился на уровне 9,1 °С, что значительно ниже нормы (на 5,4 °С), количество осадков составило 7,8 мм (39 % от нормы),

в 2021 г. данный период характеризовался повышенными температурами (на 1,8 °С выше нормы) и количеством осадков 31,9 мм (160 % от нормы). Появление всходов в 2020 г. отмечено на 7–10 сутки после проведения посева, в 2021 г. на 5–7 сутки. Высокие температуры 1–3 декад июня как в 2020, так и в 2021 г. вызвали раннее зацветание растений, массовое цветение отмечено в период с 17 по 27 июня 2020 г. и в период с 22 по 29 июня 2021 г. В июле 2020 г. зафиксированы температуры на уровне и ниже нормы, период вегетации образцов составил 83–91 суток. В июле 2021 г. установилась жаркая и засушливая погода с незначительным количеством осадков. Сложившиеся условия способствовали быстрому созреванию растений и формированию урожая, имеющего невысокие качественные характеристики. Общая продолжительность вегетационного периода у сортов льна масличного белорусской селекции составила 80–86 суток.

Анализ биохимического состава семян позволил выявить сортовые различия по содержанию в них масла и белка (табл. 1). Более высокое процентное содержание масла отмечено в семенах льна урожая 2020 г., среднее значение данного показателя составило 36,5 % при интервале варьирования 29,2–44,8 %, в 2021 г. 34,2 % и 28,1–39,6 % соответственно. Как наиболее высокомасличные в оба года исследований следует выделить сорта Салют со средним содержанием масла в семенах 39,2 % и Фокус, среднее значение изучаемого показателя у которого составило 41 %.

Для установления доли вклада генотипа (сорта), внешних условий (год) и взаимодействия между ними по показателю «содержание масла в семенах» проведен двухфакторный дисперсионный анализ, в результате которого были выявлены высокие достоверные различия между изучаемыми факторами. Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии на формирование изучаемого показателя генотипа

Таблица 1. Содержание масла и белка в семенах исследуемых сортов льна масличного, 2020–2021 гг.

Table 1. Oil and protein in various linseed cultivars, 2020–2021

Наименование сорта	Содержание масла, %			Содержание белка, %		
	2020 г.	2021 г.	среднее	2020 г.	2021 г.	среднее
Салют	40,1	38,3	39,2	20,1	21,0	20,5
Альянс	36,2	32,6	34,4	20,4	21,9	21,1
Фокус	44,8	37,2	41,0	19,9	22,1	21,0
Визирь	38,2	32,5	35,35	21,4	21,5	21,5
Бонус	34,6	31,4	33,0	21,2	25,1	23,2
Дар	29,2	31,4	30,3	21,7	20,2	21,0
Славянин	32,1	28,1	30,1	19,8	24,0	21,9
Брестский	–	33,3	33,3	–	22,5	22,5
Илим	–	39,6	39,6	–	22,0	22,0
Опус	–	37,9	37,9	–	22,8	22,8
НСР ₀₅	1,96	1,19		0,29	0,45	

Примечание: «–» – не определялось.

Note. (–) means no data available.

(доля фактора – 74,5 %), влияние условий выращивания составило – 14,3 %), взаимодействия между данными факторами – 10,3 % [33].

Анализ содержания белка в семенах сортов льна масличного позволил установить интервал варьирования в 2021 г. в зависимости от сорта 20,3–25,1 % при среднем значении 22,3 %. Более низкие значения отмечены в семенах урожая 2020 г. и составило 19,8–21,7 % при среднем значении 20,6 %. Максимальные значения в оба года исследований отмены у сортов Бонус (23,2 %) и Славянин (21,9 %).

В результате дисперсионного анализа установлено, что в формировании белковости семян, доля влияния генотипа на проявление изучаемого признака составляет 23,4 %, условий года возделывания 25,2 %, взаимодействия между данными факторами – 32,9 %.

В льняном масле изучаемых сортов идентифицирован состав жирных кислот и проведен его анализ (рис. 1).

Многие исследователи утверждали, что насыщенные жирные кислоты вредны для здоровья человека, но научные открытия опровергли данный факт. В рациональном количестве данные кислоты благоприятно влияют на состояние кожи и терморегуляцию организма [34].

Пальмитиновая кислота относится к длинноцепочечным насыщенным жирным кислотам. Избыток в пище кислоты формирует состояние низкой биодоступности эссенциальных полиеновых жирных кислот, и клетки перестают их активно поглощать. Данные патобиохимические процессы характерны для атеросклероза, ожирения и синдрома инсулинорезистентности [35]. В масле из семян изучаемых сортов выявлено 4,2 (сорт Салют) – 5,8 % (сорт Дар) пальмитиновой кислоты.

Стеариновая кислота – это одно из наиболее распространенных в природе веществ своего рода. Она не растворяется в воде, но зато прекрасно разбавляется диэтиловым эфиром. Процент данной кислоты в масле семян изучаемых сортов льна составляет 2,6 (сорт Салют) – 4,5 % (сорт Опус).

Бегеновая и арахидоновая кислоты обнаружены в незначительных количествах 0,1 и 0,2 % соответственно.

При оценке качества семян масличных культур большое значение имеет содержание в их составе ненасыщенных жирных кислот. В растительных маслах наиболее значимыми являются два представителя семейств полиненасыщенных жирных кислот – линолевая и линоленовая кислоты. Исследования последних лет показали, что полиненасыщенные жирные кислоты семейства омега-3 нормализуют жировой обмен, повышают пластичность кровеносных сосудов, уменьшают вязкость крови, активизируют иммунитет [36]. Дефицит полиненасыщенных жирных кислот является одним из главных нарушений в питании современного человека [37]. Полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая C18:2(ω -6), линоленовая C18:3(ω -3), арахидоновая C20:4(ω -6)) являются важным эссенциальным фактором питания: в организме они не синтезируются и поэтому должны поступать с пищей. Эти кислоты по своим биологическим свойствам относятся к жизненно необходимым веществам и обозначаются как витамин F.

Сорта урожая 2021 г. характеризовались более высоким содержанием линолевой кислоты (интервал варьирования составил 14,0–28,9 %, среднее содержание 17,6 % при значениях данного показателя в условиях 2020 г. 12,9–25,9 % и среднем содержании 15,6 % (табл. 2). Следует отметить значительное снижение содержания полиненасыщенной α -линоленовой кислоты, среднее значение данного показателя в 2020 г. составило 63,7 %, в 2021 г. – 54,9 % при варьировании значений 51,4–66,7 и 41,1–61,1 % соответственно.

Более высокое содержания олеиновой кислоты выявлено в масле семян льна урожая 2021 г.: интервал варьирования составил 16,4–21,4 %, среднее содержание – 18,2 % при значениях данного показателя в условиях 2020 г. – 11,1–13,9 % и среднем содержании 12,4 %.

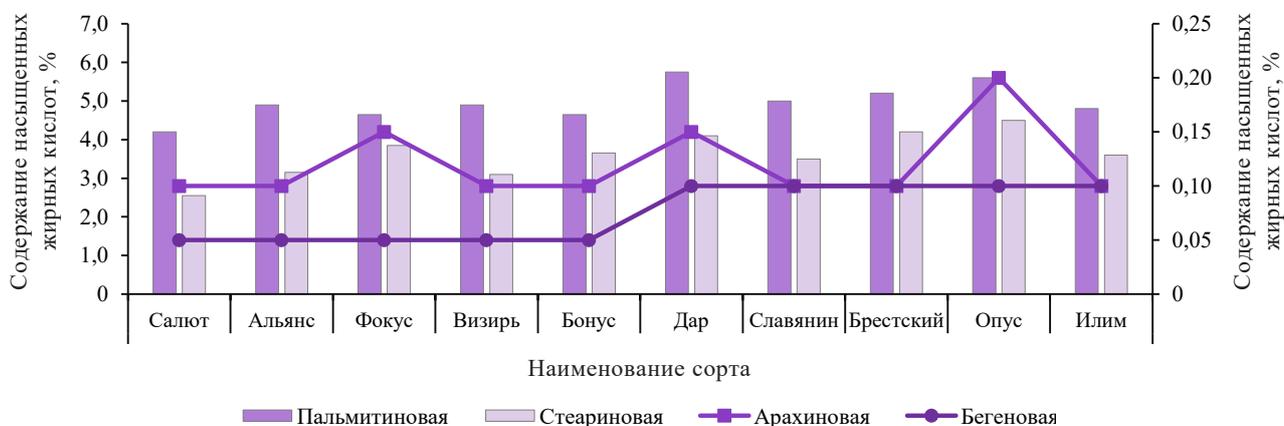


Рисунок 1. Содержание насыщенных жирных кислот в семенах исследуемых сортов льна масличного

Figure 1. Saturated fatty acids in various linseed cultivars

Таблица 2. Содержание полиненасыщенных жирных кислот в семенах льна масличного разных сортов, %

Table 2. Polyunsaturated fatty acids in various linseed cultivars, %

Наименование жирной кислоты	Год исследований	Наименование сорта									
		Салют	Альянс	Фокус	Визирь	Бонус	Дар	Славянин	Брестский	Опус	Илим
Линолевая (ω -6)	2021	14,3	14,6	14	14,2	13,5	25,9	12,9	–	–	–
	2022	15,2	18	17	16,9	15,2	28,9	18,2	14,0	16,6	15,4
	среднее	14,8	16,3	15,5	15,6	14,4	27,4	15,6	14,0	16,6	15,4
α -линоленовая (ω -3)	2021	64,8	63,7	66,1	66,4	66,7	51,4	66,6	–	–	–
	2022	61,1	53,5	55,9	56,4	56,8	41,1	50,7	59,7	55,9	57,4
	среднее	63,0	58,6	61,0	61,4	61,8	46,3	58,7	59,7	55,9	57,4
Олеиновая	2021	13,2	13,9	11,8	11,1	11,8	12,9	12,2	–	–	–
	2022	17,1	19,3	17,3	18,2	18,4	19,0	21,4	16,4	16,6	18,3
	среднее	15,2	16,6	14,6	14,7	15,1	16,0	16,8	16,4	16,6	18,3

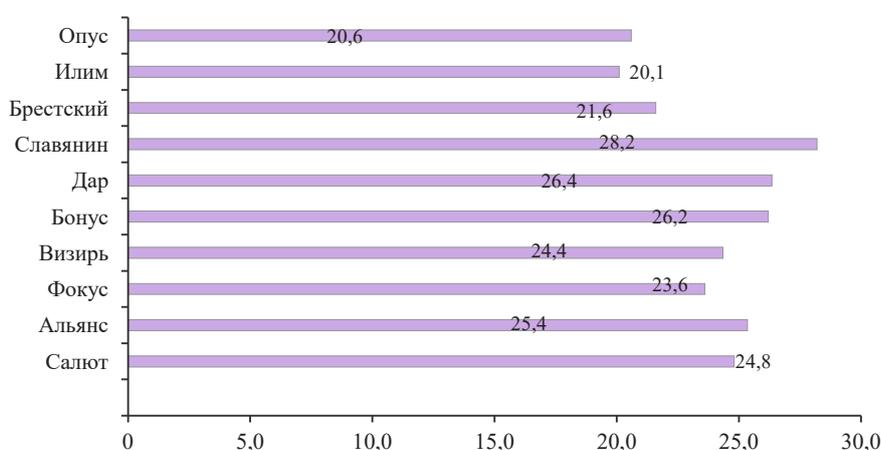


Рисунок 2. Среднее содержание клетчатки в семенах разных сортов льна масличного, % (среднее, 2020–2021 гг.)

Figure 2. Average fiber content in various linseed cultivars in 2020–2021, % mean value

Проведен двухфакторный дисперсионный анализ с целью установления влияния метеорологических условий и сортовых особенностей на накопление основных жирных кислот: α -линоленовой, линолевой и олеиновой. Установлено значительное влияние как генотипа (доля фактора – 49,8 %), так и условий исследований (доля фактора – 44,9 %) на накопление α -линоленовой кислоты, при взаимодействии данных факторов было незначительным (доля фактора – 4,8 %). Накопление линоленовой кислоты обусловлено в значительной мере сортовыми особенностями, доля влияния фактора составила – 87,4 %, при незначительном влиянии года и взаимодействия изучаемых факторов, доля влияния – 9,8 и 2,0 % соответственно. Значительное влияние условий года установлено на накопление олеиновой кислоты (доля фактора – 86,8 %) при незначительном влиянии других изученных факторов: сорта – 6,3 %, года – 5,0 %.

Клетчатка представляет собой оболочки клеток и состоит из полисахаридов, крахмала и нерастворимых полимеров фенольного ряда и лигнинов [38].

В семенах исследуемых сортов содержание данного компонента различалось в зависимости от года исследований (рис. 2). Отмечено более высокое содержание клетчатки с семян урожая 2020 г. – 29,0 % при интервале варьирования 24,8 (Сорт Фокус) – 33,3 % (сорт Славянин). В 2021 г. процентное содержание составило 20,1 (сорт Илим) – 23,1 % (сорт Славянин) при среднем значении 21,7 %.

Сырая зола участвует практически во всех основных процессах жизнедеятельности организма, от минерализации костей и водного баланса до метаболизма мышц, нервной активности и в работе ферментов [39]. Более высокое содержание золы в семенах сортов льна масличного урожая 2020 г. – среднее значение в процентах составило 4,0 % при средней величине данного показателя в 2021 г. – 3,4 % (табл. 3).

Данные минерального состава сортов льна масличного показывают, что основными макроэлементами являются калий, фосфор, магний и кальций (табл. 4). Калий – внутриклеточный элемент, который регулирует кислотно-щелочное равновесие крови.

Таблица 3. Содержание золы в семенах исследуемых сортов льна масличного, % (2020–2021 гг.)

Table 3. Ash content in various linseed cultivars in 2020–2021, %

Год исследований	Наименование сорта									
	Салют	Альянс	Фокус	Визирь	Бонус	Дар	Славянин	Брестский	Илим	Опус
2020	3,92	4,16	3,91	3,91	3,81	4,02	4,02	–	–	–
2021	3,43	3,58	3,36	3,41	3,67	3,22	3,37	3,43	3,27	3,18
среднее	3,68	3,87	3,64	3,66	3,74	3,62	3,70	3,43	3,27	3,18

Таблица 4. Минеральный состав семян льна масличного разных сортов, 2020–2021 гг.

Table 4. Mineral content in various linseed cultivars in 2020–2021, mg/kg

Наименование сорта	Минеральный состав, мг/кг											
	Кальций			Магний			Фосфор			Калий		
	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее	2020	2021	Среднее
Салют	2055,0	1500,0	1777,5	2810,0	2400,0	2605,0	8335,0	6000,0	7167,5	10000,0	7900,0	8950,0
Альянс	2125,0	1300,0	1712,5	2750,0	2200,0	2475,0	9045,0	6000,0	7522,5	11250,0	10000,0	10625,0
Фокус	2345,0	1500,0	1922,5	2725,0	2300,0	2512,5	8265,0	5700,0	6982,5	10200,0	7400,0	8800,0
Визирь	1995,0	1400,0	1697,5	2680,0	2300,0	2490,0	7945,0	6200,0	7072,5	11200,0	8200,0	9700,0
Бонус	1800,0	1500,0	1650,0	2590,0	2200,0	2395,0	6935,0	4700,0	5817,5	10600,0	6800,0	8700,0
Дар	1975,0	1500,0	1737,5	2605,0	2300,0	2452,5	7030,0	5900,0	6465,0	10835,0	8600,0	9717,5
Славянин	1790,0	1200,0	1495,0	2645,0	2200,0	2422,5	7185,0	4500,0	5842,5	11500,0	8600,0	10050,0
Брестский	–	1800,0	1800,0	–	2500,0	2500,0	–	6600,0	6600,0	–	8500,0	8500,0
Илим	–	1200,0	1200,0	–	2300,0	2300,0	–	5700,0	5700,0	–	7500,0	7500,0
Опус	–	1900,0	1900,0	–	2400,0	2400,0	–	6400,0	6400,0	–	8500,0	8500,0
НСР ₀₅	72,6	72,7		30,3	31,5		300,4	215,0		212,3	277,3	

Примечание: «–» – нет данных.

Note. (–) means no data available.

Содержание данного компонента в семенах урожая 2020 г. составило 10000,0 (сорт Салют) – 11500,0 (сорт Славянин) мг/кг, в семенах урожая 2021 г. количество его было ниже, значения варьировали в пределах 7400 (сорт Фокус)–10000,0 (сорт Салют) мг/кг. Максимальное содержание в оба года исследований отмечено у сорта Альянс.

Кальций составляет основу костной ткани, а также активизирует жизнедеятельность ряда важных ферментов. Содержание его в семенах в 2020 году варьировало в пределах 1790,0–2345,0 мг/кг при среднем значении 2012,0 мг/кг, в 2021 г. – 1200,0–1900,0 мг/кг при среднем значении 1480,0 мг/кг. Наиболее высокое содержание данного компонента отмечено у сортов Фокус, Брестский, Опус.

Магний – элемент, участвующий в формировании костей, регуляции работы нервной ткани, обмене углеводов, а также энергетическом обмене. Содержание данного компонента у сортов льна масличного составило 2590,0–2810,0 мг/кг в 2020 г., 2200,0–2500,0 мг/кг в 2021 г. Максимальные значения в оба года исследований зафиксированы у сортов Фокус и Салют.

Фосфор – элемент, входящий в состав белков, фосфолипидов, нуклеиновых кислот. Содержание фосфора в семенах урожая 2020 г. составило 6935,0–9035,0 мг/кг,

урожая 2021 г. – 4500–6600 мг/кг, выделены сорта Салют и Альянс. У белорусских сортов содержание калия в 2020 г. изменялось в пределах 10000,0–11500,0 мг/кг, в 2021 г. – 6800,0–10000,0 мг/кг. У сортов Альянс и Славянин отмечены максимальные значения в оба года исследований.

Определено содержание железа и натрия в семенах (рис. 3). Железо является элементом, участвующим в образовании гемоглобина крови и некоторых ферментов. В условиях 2020 г. количество железа составило 48–67 мг/кг, 2021 г. 43–54 мг/кг, выделены сорта Салют и Альянс.

Натрий – один из важнейших микроэлементов, необходимый для нормального функционирования организма. Он играет существенную роль в регуляции водного и кислотно-щелочного баланса, а также в работе нервной и мышечной систем. Более высокое содержание натрия отмечено в семенах льна урожая 2021 г. – 140–210 мг/кг при соответствующих значениях, в 2020 г. – 99–141 мг/кг. По количеству данного компонента в оба года исследований выделены сорта Альянс и Славянин.

Марганец защищает стенки артерий, делая их устойчивыми к образованию атеросклеротических бляшек. Он жизненно важен для функции мозга, для образо-

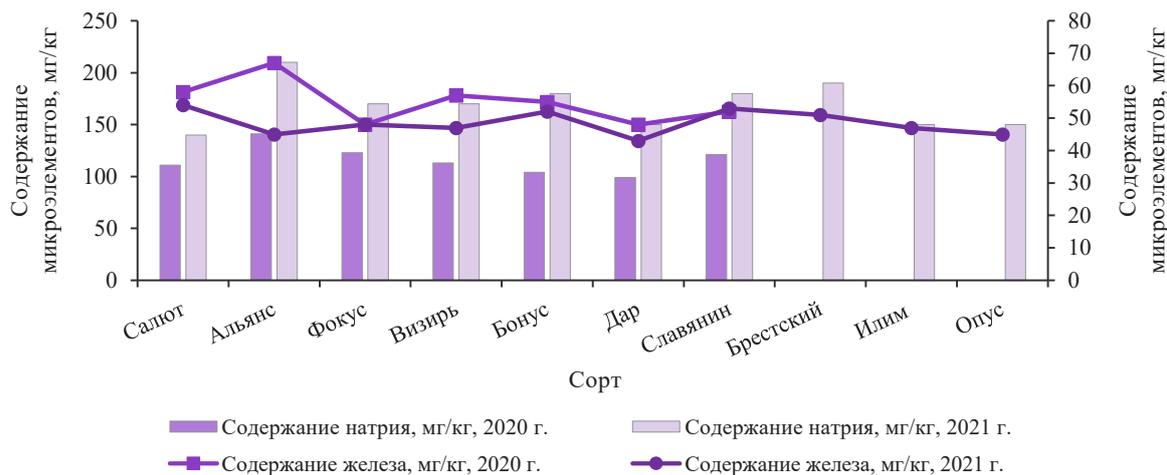


Рисунок 3. Содержание железа и натрия в семенах льна масличного разных сортов, 2020–2021 гг.

Figure 3. Iron and potassium in various linseed cultivars in 2020-2021, mg/kg

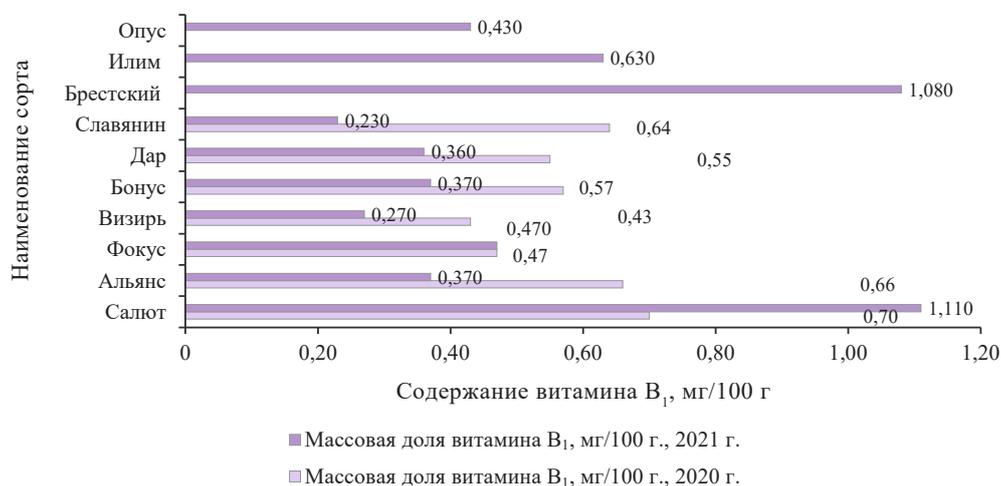


Рисунок 4. Содержание витамина B₁ в семенах льна масличного разных сортов, 2020–2021 гг.

Figure 4. Vitamin B₁ in various linseed cultivars in 2020–2021, mg/100g

вания кожного пигмента, входит в состав белков и ферментов. Обладает выраженной антиоксидантной активностью. Содержание марганца в семенах сортов изменялось в пределах 18–37 мг/кг, максимальное количество отмечено у сортов Бонус (35 мг/кг) и Дар (37 мг/кг).

Медь является жизненно важным микроэлементом, играющим существенную роль в синтезе гемоглобина и активации ферментов дыхательной цепи. Он входит в состав костей, хрящевой и соединительной ткани и миелиновых оболочек. В семенах изучаемых сортов, количество данного элемента составило 14–21 мг/кг, максимальное содержание меди отмечено у сорта Визирь.

Цинк относится к минералам, осуществляющим поддержку роста и иммунной системы. Он позво-

ляет организму вырабатывать белки и ДНК, способствует заживлению ран и играет значительную роль в росте и развитии детей, обладает антиоксидантными свойствами. Содержание цинка в семенах белорусских сортов льна масличного составило 35–51 мг/кг. Наиболее высокое количество отмечено в семенах сортов Альянс (47 мг/кг) и Бонус (53 мг/кг).

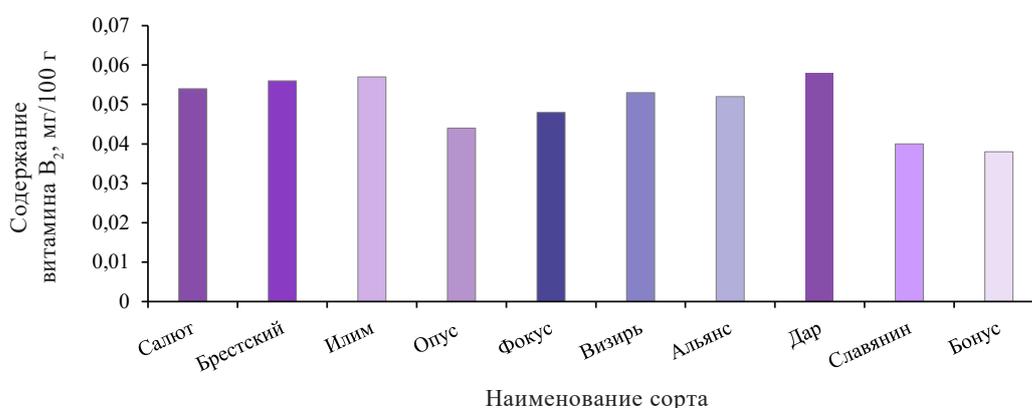
Следует отметить, что 100 г исследуемых семян льна масличного полностью удовлетворяют суточную потребность в марганце и меди. Семена льна можно считать источником для взрослого человека магния, фосфора, цинка.

Витамин B₁ (тиамин) участвует в регулировании углеводного обмена. Содержание его в условиях 2020 г. составило 0,430–0,700 мг/100 г, в условиях 2021 г. – 0,230–1,1 мг/100 г (рис. 4). Наиболее вы-

Таблица 5. Содержание токоферолов (витамина Е) в семенах льна масличного разных сортов

Table 5. Vitamin E (tocopherols) in various linseed cultivars, mg/100g

Наименование сорта	Токоферолы (витамин Е), мг/100 г			
	Суммарное содержание	α -токоферол	β -токоферол + γ -токоферол	δ -токоферол
Салют	12,66	0,30	12,28	0,08
Альянс	11,63	0,26	11,31	0,08
Фокус	10,39	0,29	10,03	0,07
Визирь	9,04	0,21	8,77	0,06
Бонус	10,28	0,20	10,02	0,06
Дар	12,07	0,26	11,72	0,09
Славянин	7,82	0,21	7,55	0,06
Брестский	9,47	0,25	9,13	0,09
Илим	12,06	0,31	11,66	0,09
Опус	12,35	0,28	11,97	0,10

Рисунок 5. Содержание витамина В₂ в семенах льна масличного разных сортов, мг/100 гFigure 5. Vitamin B₂ in various linseed cultivars, mg/100g

сокие средние значения данного компонента отмечены у сортов Салют (0,91 мг/100г) и Брестский (1,08 мг/100 г).

Токоферолы в масличных семенах и растительных маслах находятся в активной форме в виде смеси их гомологов. В растительных маслах γ -токоферол ведет себя как более сильный антиоксидант по сравнению с α -токоферолом [40]. Большая часть суммарного содержания токоферолов в подсолнечном масле приходится на α -токоферол (80 %), в кукурузном и соевом – на γ -токоферол (60–80 %) [41]. Суммарное содержание токоферолов в семенах льна масличного урожая 2021 г. составило 7,82–12,66 мг/100 г, массовая доля α -токоферола варьировала в пределах 0,20–0,31 мг/100 г, β -токоферола + γ -токоферола – 7,55–12,28 мг/100 г, δ -токоферола – 0,06–0,10 мг/100 г (табл. 3).

Более 90 % от суммы токоферолов приходится на сумму β -токоферол + γ -токоферолов. Благодаря наличию значительного количества этих антиоксидантов, семена льна имеют большой срок годности и длительное время сохраняют свой компонентный состав.

Общее содержание токоферолов в исследуемых семенах составляет 72 % от среднесуточной нормы потребления для взрослого человека. По наиболее высокому содержанию витамина Е выделены сорта Салют, Дар и Опус.

Рибофлавин (витамин В₂) участвует в окислении и биосинтезе жирных кислот, липидов и в превращении сахаров. Содержание его в семенах сортов изменялось в пределах 0,038–0,058 мг/100 г (рис. 5). Максимальное содержание данного компонента отмечено в семенах сортов Дар (0,058 мг/100 г), Илим (0,057 мг/100 г), Брестский (0,056 мг/100 г).

Проведенный анализ корреляционных взаимосвязей между содержанием витамина В₁ (тиамина), витамина Е (токоферолов), витамина В₂ (рибофлавина) и минеральным составом семян исследуемых сортов установил прямые зависимости средней силы между содержанием рибофлавина и магния ($r = 0,664$), содержанием кальция и магния ($r = 0,672$), кальция и фосфора ($r = 0,613$), фосфора и меди ($r = 0,683$), железа и цинка ($r = 0,569$), обратные зависимости средней силы между содержанием натрия и марганца

Таблица 6. Корреляционные взаимосвязи между содержанием витаминов и минеральным составом семян льна масличного разных сортов

Table 6. Vitamin content vs. mineral composition in various linseed cultivars

	Витамины, мг/100 г			Микро и макроэлементов, мг/кг								
	Токоферолы	Рибофлавин	Тиамин	Ca	Mg	P	K	Fe	Na	Mg	Cu	Zn
Токоферолы	1,000											
Рибофлавин	-0,217	1,000										
Тиамин	0,143	0,420	1,000									
Ca	0,096	0,379	0,057	1,000								
Mg	-0,004	0,664	0,388	0,672	1,000							
P	0,202	0,460	0,127	0,613	0,779	1,000						
K	-0,293	0,438	-0,369	0,235	0,379	0,494	1,000					
Fe	-0,238	0,443	0,263	-0,012	0,489	0,392	0,460	1,000				
Na	-0,308	0,263	0,392	0,025	-0,089	0,117	0,015	0,171	1,000			
Mg	0,282	0,060	-0,329	-0,176	-0,126	-0,111	0,231	0,069	-0,539	1,000		
Cu	0,286	0,000	-0,071	0,028	0,404	0,683	0,346	0,237	-0,259	0,216	1,000	
Zn	-0,231	0,232	-0,240	-0,371	-0,057	-0,190	0,406	0,569	-0,284	0,733	0,020	1,000

Примечание: достоверно при $p = 0,05$.

Note. – significant at $p = 0.05$.

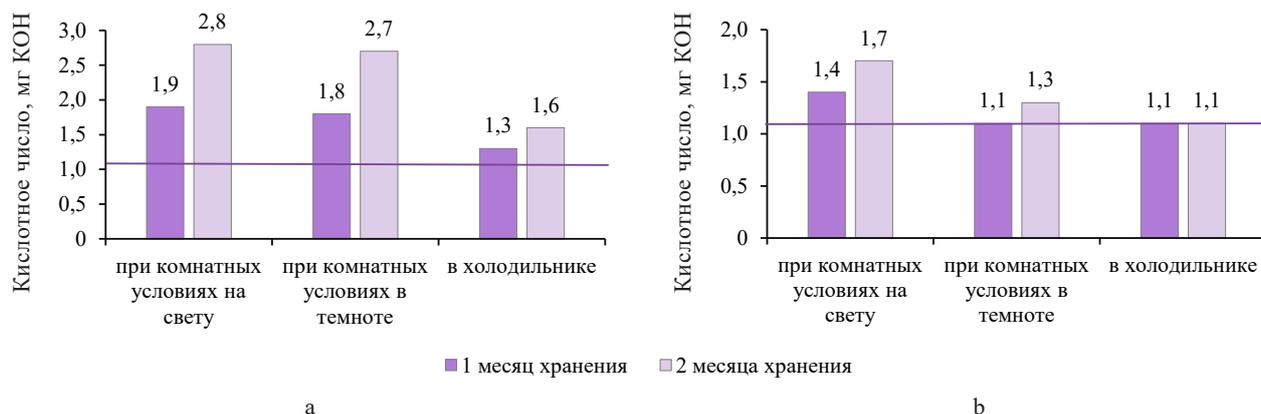


Рисунок 6. Рисунок 6. Изменение кислотного числа семян льна масличного при различных условиях хранения: а – молотые семена; б – целые семена

Figure 6. Acid number in various linseed cultivars under different storage conditions: a – ground seeds; b – whole seeds

($r = -0,539$) (табл. 6). Сильные взаимосвязи отмечены лишь между содержанием фосфора и магния в семенах исследуемых сортов ($r = 0,779$).

Высокая склонность льняного масла/семян к прогорканию требует исследования динамики изменения кислотного числа семян льна (целых и молотых) при различных условиях их хранения. Целые и молотые семена хранились в герметичных условиях при комнатной температуре 20 ± 3 °C и в холодильнике 4 ± 2 °C. Предварительные результаты хранения целых и измельченных семян льна представлены на рисунке 6.

Анализ результатов установил, что наихудшие условия хранения семян в измельченном состоянии как на свету, так и в темноте при комнатной температуре, кислотное число образца увеличивается более чем в 2 раза. Не изменилось кислотное число при хра-

нении целых семян в холодильнике и практически не изменилось значение кислотного числа целых семян, хранившихся в темноте при комнатной температуре. Можно заключить, что хранение семян льна в измельченном виде характеризуется ростом кислотного числа относительно первоначального значения. При хранении в условиях пониженных температур $+2 \dots +4$ °C кислотное число в измельченных семенах вырастает на 18,2 % в первый месяц хранения, и на 45,5 % при хранении в течение 2-х месяцев. Это необходимо учитывать при создании продуктов, в которых будут использованы молотые семена (льняная мука).

Выводы

Годы проведения исследований различались как по температурному режиму, так и количеству осадков, что сказалось на продолжительности вегетационного

периода: в 2020 г. – 83–91 суток, в 2021 г. – 80–86 суток. Анализ химического состава и пищевой ценности сортов льна масличного позволил установить варьирование содержания масла 29,2–44,8 % в 2020 г., 28,1–39,6 % в 2021 г. Наибольшим накоплением масла отличались семена масличного льна сортов Салют (39,2 %) и Фокус (41,0 %). Выделены сорта с содержанием белка более 24 %: Бонус (25,1 %) и Славянин (24,0 %) что составляет более 30 % от среднесуточной нормы потребления взрослого человека в 100 грамм семян.

Идентифицирован состав жирных кислот и проведен его анализ. Выявлено следующее процентное содержание насыщенных кислот: пальмитиновой – 4,2 (сорт Салют) – 5,8 % (сорт Дар), стеариновой – 2,6 (сорт Салют) – 4,5 % (сорт Опус), бегеновая и арахидовая кислоты обнаружены в незначительных количествах 0,1 и 0,2 % соответственно.

Сорта урожая 2021 г. характеризовались более высоким содержанием линолевой и олеиновой кислот (среднее содержание 17,6 и 18,2 %). Отмечено значительное снижение содержания полиненасыщенной α -линоленовой кислоты, среднее значение данного показателя в 2020 г. составило 63,7 %, в 2021 г. – 54,9 %).

Семена льна сортов Славянин, Бонус и Дар отличаются высоким содержанием клетчатки (более 26 %). Средняя зольность семян составила 3,18 (сорт Опус) – 3,87 % (сорт Альянс).

Исследование минерального состава семян льна масличного позволило выделить основные макроэлементы и их варьирование в зависимости от года исследований. Содержание калия в семенах урожая 2020 г. составило 10000,0–11500,0 мг/кг, в семенах урожая 2021 г. 7400,0–10000,0 мг/кг, фосфора – 6935–9035 мг/кг и 4500–6600 мг/кг, магния – 2590,0–2810,0 мг/кг и 2200–2500 мг/кг, кальция – 1790,0–2345,0 мг/кг и 1200–1900 мг/кг соответственно. Максимальное содержание макроэлементов отмечено в семенах сортов Салют, Альянс и Фокус. Более низкое содержание железа (43–54 мг/кг) и натрия (99–141 мг/кг) установлено в семенах урожая 2021 г. Количество марганца варьировало в пределах 18–35 мг/кг, меди – 14–21 мг/кг, цинка – 35–53 мг/кг. Таким образом, 100 г исследуемых семян льна масличного полностью удовлетворяют суточную потребность в марганце и меди, их также можно считать источниками для взрослого человека магния, фосфора, цинка.

Наиболее высокие средние значения содержания тиамин в оба года исследований отмечены у сортов Салют (0,91 мг/100г) и Брестский (1,08 мг/100 г) при варьировании по годам исследований 0,430–

0,700 мг/100 г (2020 г.), 0,230–1,11 мг/100 г (2021 г.). Суммарное содержание токоферолов в семенах льна масличного составило 7,82–12,66 мг/100 г, более 90 % от суммы токоферолов приходится на сумму β -токоферол + γ -токоферолов. Максимальное содержание компонента отмечено в семенах сортов Салют, Дар и Опус. Общее содержание токоферолов в исследуемых семенах составляет 72 % от среднесуточной нормы потребления для взрослого человека. Содержание рибофлавина в семенах белорусских сортов варьировало в пределах 0,038 – 0,058 мг/100 г. По наиболее высокому его количеству выделены сорта Дар, Илим и Брестский.

С целью получения качественной пищевой муки из семян льна, недопустимо хранение молотых семян. При необходимости использования измельченных семян льна рекомендуется их применять свежемолотыми.

Результаты исследований биохимического, минерального и витаминного состава семян сортов льна масличного белорусской селекции подтверждают высокую биологическую ценность семян данной культуры и возможность их использования в качестве высокоактивного, функционального ингредиента при создании новых видов продуктов питания.

Критерии авторства

В. Г. Лобанов – анализ полученных результатов, Ю. Ф. Росляков – обзор литературы, анализ данных, подготовка текста; И. М. Почичкая, М. Е. Маслинская – постановка, научное руководство проектом задания и обработка экспериментальных данных, Н. В. Комарова – проведение исследований, обработка экспериментальных данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

V.G. Lobanov analyzed the results, Yu.F. Roslyakov reviewed scientific publications, analyzed the data, and drafted the manuscript; I.M. Pochitskaya and M.E. Maslinskaya developed the research concept, supervised the research, and processed the experimental data; N.V. Komarova performed the research and processed the experimental data.

Conflict of interest

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

References/ Список литературы

1. Bolgova MA, Kleymenova NL, Bolgova IN, Kopylov MV. Nutrient study of brown and white flax seeds. Polzunovskiy Vestnik. 2021;(3):13–20. (In Russ). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.03.002>; <https://elibrary.ru/ZMZIWW>
2. Renzyaeva TV, Tuboltseva AS, Renzyaev AO. Various flours in pastry production technology. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):407–416. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>

3. Zubtsov VA, Zverev SV, Roslyakov YuF, Gonchar VV. Efficiency of flax seeds disintegration in the centrifugal hulling machine. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*. 2019;(1):89–92. (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.1.22>; <https://www.elibrary.ru/VWEDRX>
4. Hussain MS, Kaur G, Mohapatra C. Nutritional composition and functions of flaxseed (*Linum usitatissimum linn.*). *Food Ther Health Care*. 2021;3(4):88–91; <https://doi.org/10.53388/FTHC2021030488>
5. Shirazi SA, Nia AP, Asl MRS, Naghipour F, Tavakolipour H. Antioxidant activity of aqueous and alcoholic extracts of *Salvia leriifolia* L. and *Linum usitalissimum* L. subjected to a pulsed electric field. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(1):186–195; <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-186-195>
6. Troshchynska Y, Bleha R, Synytsya A, Štetina J. Chemical composition and rheological properties of seed mucilages of various yellow-and brown-seeded flax (*Linum usitatissimum* L.). Cultivars. *Polymers*. 2022; 14(10):2040. <https://doi.org/10.3390/polym14102040>
7. Begalina A, Baitelenova A, Wangyu FU, Kipshakbaeva G, Tleppeva A. Qualitative indicators of oily flax varieties of the chinese breeding in the conditions of the dry steppe zone of Northern Kazakhstan. *Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University*. 2021;(3):30–39. (In Russ.). [https://doi.org/10.51452/kazatu.2021.3\(110\).730](https://doi.org/10.51452/kazatu.2021.3(110).730); <https://www.elibrary.ru/BJDLTC>
8. Hasanov JaH, Mirzaxmedov ShD, Sultonova EM, Salikhov ShI. Effect of moisture content on the quality and quantity of screw-pressed flax seed oil. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(2):309–315. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2434>; <https://www.elibrary.ru/VQPHTN>
9. Lupova YeI, Novikova AV, Polyakov AV, Vinogradov DV. Yield and quality of flax seeds of sunlin oil variety. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019;(6):110–119. (In Russ.). <https://doi.org/10.34677/0021-342x-2019-6-110-119>; <https://www.elibrary.ru/EOCLPO>
10. Minevich IE, Goncharova AA, Ushchapovsky VI. The influence of varietal diversity on the efficiency of protein water extraction from whole flaxseeds. *Processes and Food Production Equipment*. 2023;(1):3–9. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2023-16-1-3-9>; <https://elibrary.ru/OFDTNB>
11. Xin-Pei YE, Ming-Feng XU, Zhen-Xing TANG, Hang-Jie CHEN, Dan-Ting WU, et al. Flaxseed protein: extraction, functionalities and applications. *Food Science and Technology*. 2022;42(6):e22021. <https://doi.org/10.1590/fst.22021>
12. Zakharova IN, Tvorogova TM. Correction of micronutrient deficiency is one of the priority areas in the practical work of a pediatrician. *Medical Council*. 2019;(17):24–35. (In Russ.). <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-17-24-35>
13. Varivoda AA. Promising use of oil and fat raw materials for functional food products. *Polzunovsky Bulletin*. 2019;(2):75–79. (In Russ.). [Варивода А. А. Перспективное использование масложирового сырья для функциональных продуктов питания // Ползуновский вестник. 2019. № 2. С. 75–79.]. <https://elibrary.ru/LWQQNZ>
14. Merenkova SP, Semizdralova VV, Paimulina AV. Analysis of the influence of flaxseed flour on the structural and mechanical properties of meat products. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food And Biotechnology*. 2018; 6(4):42–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/food180406>; <https://elibrary.ru/YOKHGP>
15. Zhukova YuS, Lybenko ES, Marinina AYu. Prospects for the development of the flax subcomplex of the Kirov region. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2020;(3):55–60. (In Russ.). [Жукова Ю. С., Лыбенко Е.С., Маринина А. Ю. Перспективы развития льняного подкомплекса Кировской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 3. С. 55–60.]. <https://elibrary.ru/MEKSLV>
16. Madhagy SA, Ashmawy NS, Mamdouh A, Eldahshan OA, Farag MA. A comprehensive review of the health benefits of flaxseed oil in relation to its chemical composition and comparison with other omega-3-rich oils. *European Journal of Medical Research*. 2023;28:240. <https://doi.org/10.1186/s40001-023-01203-6>
17. Maslinskaya ME, Savelyev NS, Sosnovskaya AA. Linseed as a raw material for the production of biologically active additives. *Food Industry: Science and Technologies*. 2022;15(1):21–30. (In Russ.). [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-1\(55\)-21-30](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-1(55)-21-30); <https://elibrary.ru/EUQAFN>
18. Minevich IE. Functional significance of flax seeds and practice of their use in food technologies. *Health, Food and Biotechnology*. 2019;1(2):97–120. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>; <https://elibrary.ru/NCTPWG>
19. Tsyganova TB, Minevich IE, Osipova LL. Flaxseed polysaccharides: practical application. *Storage and Processing of Farm Products*. 2019;(2):24–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.151>; <https://elibrary.ru/PBPBOO>
20. Minevich IE, Osipova LL, Tsyganova TB. The use of flax seeds and flax flour in the technology of flour confectionery. *Baking in Russia*. 2018;(3):38–41. (In Russ.). [Миневич И. Э., Осипова Л. Л., Цыганова Т. Б. Использование семян льна и льняной муки в технологии мучных кондитерских изделий // Хлебопечение России. 2018. № 3. С. 38–41.]. <https://elibrary.ru/VRLOY Y>
21. Kaur M, Kaur R, Punia S. Characterization of mucilages extracted from different flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars: A heteropolysaccharide with desirable functional and rheological properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018;117:919–927. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.010>
22. Liu W-Y, Feng M-Q, Wang M, Wang P, Sun J, Xu X-L, et al. Influence of flaxseed gum and NaCL concentrations on the stability of oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*. 2018;79:371–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.010>

23. Al-Hassawi F, Al-Ghanim J, Al-Foudari M, Al-Othman A, Sidhu JS. Effects of flaxseed on the nutritional and sensory qualities of pan and Arabic flat breads. *Foods and Raw Materials*. 2023;11(2):272–281. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-571>
24. Haghghatsiar N, Askari G, Saraf-Bank S, Feizi A, Keshmiri H. Effect of flaxseed powder on cardiovascular risk factor in dyslipidemic and hypertensive patients. *International Journal of Preventive Medicine*. 2019;10:218. https://doi.org/10.4103%2Fijpvm.IJPVM_563_17
25. Askarpour M, Karimi M, Hadi A, Ghaedi E, Symonds ME, Miraghajani M, *et al.* Effect of flaxseed supplementation on markers of inflammation and endothelial function: A systematic review and meta-analysis. *Cytokine*. 2020;126:154922. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2019.154922>
26. Ghaseminasab-Parizi M, Nazarinia M-A, Akhlaghi M. The effect of flaxseed with or without anti-inflammatory diet in patients with rheumatoid arthritis, a randomized controlled trial. *European Journal of Nutrition*. 2022;61(3):1377–1389. <https://doi.org/10.1007/s00394-021-02707-9>
27. Morshedzadeh N, Shahrokh S, Aghdae HA, Pourhoseingholi MA, Chaleshi V, Hekmatdoost A, *et al.* Effects of flaxseed and flaxseed oil supplement on serum levels of inflammatory markers, metabolic parameters and severity of disease in patients with ulcerative colitis. *Complementary Therapies in Medicine*. 2019;46:36–43. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.07.012>
28. Merkher Y, Kontareva E, Alexandrova A, Javaraiah R, Pustovalova M, Leonov S. Anti-Cancer Properties of Flaxseed Proteome. *Proteomes* 2023;11(4):37; <https://doi.org/10.3390/proteomes11040037>
29. Mueed A, Deng Z, Korma S.A, Shibli S, Jahangir M. Anticancer potential of flaxseed lignans, their metabolites and synthetic counterparts in relation with molecular targets: current challenges and future perspectives. *Food Function*. 2023; (5):2286–2303. <https://doi.org/10.1039/D2FO02208G>
30. Dospikhov BA. Field experiment methodology. Moscow: Alyans; 2011. 350 p. (In Russ.). [Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М: Альянс, 2011. 350 с.]
31. Prudnikov VA. Cultivation of linseed. Standard technological processes. Minsk: Research and Practical Center of National Academy of Sciences of the Republic of Belarus for Arable Farming; 2022: 470 p. (In Russ.). [Прудников В. А. Возделывание льна масличного. Типовые технологические процессы. Минск: Научно-практический центр Национальной академии наук Республики Беларусь по земледелию, 2022. 470 с.]
32. Klintsevich OM, Gomonova TS. Bulletin of Agrometeorology. Minsk:Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus; 2021. 70 p. (In Russ.). [Клинцевич О. М., Гомонова Т. С. Минск: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, 2021. 70 с.]
33. Maslinskaya ME. Scumulation of oil in linseeds depending on the meteorological conditions of the year. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2023;(1):70–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7898468>; <https://elibrary.ru/CBTAJG>
34. Volovik VT, Leonidova TV, Korovina LM, Blokhina NA, Kasarina NP. Comparison of fatty acid composition of different edible oils. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2019;(5):147–152. (In Russ.). [Сравнение жирнокислотного состава различных пищевых масел / В. Т. Воловик [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 5. 147–152.]. <https://elibrary.ru/JUKLLQ>
35. Titov VN, Dygai AM, Kotlovskiy MYu, Kurdoyak YeV, Yakimenko AV, Yakimovich IYu, *et al.* Palmitic and oleic acids and their role in pathogenesis of atherosclerosis. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2014;13(5):149–159. (In Russ.). [Пальмитиновая, олеиновая кислоты и их роль в патогенезе атеросклероза / В. Н. Титов [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. 2014. Т. 13. № 5. С. 149–159]. <https://elibrary.ru/TGDKIN>
36. Podzolkov VI, Pisarev MV. Role of omega-3 polyunsaturated fatty acids in cardiovascular risk management. *Cardiovascular Therapy and Prevention*. 2020;19(3):86–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2020-2589>; <https://elibrary.ru/FRBPYM>
37. Shagina VN, Blokhina II, Serov IS. Omega-3 polyunsaturated fatty acids in women’s reproductive health. *Young Scientist* 2020;(35):34–35. (In Russ.). [В. Н. Шагина, И. И. Блохина, И. С. Серов. Роль омега-3 полиненасыщенных жирных кислот в репродуктивном здоровье женского организма // Молодой ученый. 2020. № 35. С. 34–35.]. <https://elibrary.ru/ZASSZG>
38. Kurdyukov EE, Semenova EF, Gavrilova NA, Ponomareva TA, Sheludyakova YuB. Chemical composition of linseed. *Vestnik of Penza State University*. 2019;(4):81–84. (In Russ.). [Особенности химического состава льна семян / Е. Е. Курдюков [и др.] // Вестник Пензенского государственного университета. 2019. № 4. С.81–84.]. <https://elibrary.ru/WIHTCV>
39. Maslinskaya ME, Pochitskaya IM, Komarova NV. Study of physical indicators and biochemical composition of seeds of belarusian linseed varietie. *Food Industry: Science and Technologies*. 2022;15(2):26–35. (In Russ.). [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-26-35](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-26-35); <https://elibrary.ru/XAYQJW>
40. Puligundla P, Lim S. A Review of Extraction Techniques and Food Applications of Flaxseed Mucilage. *Foods*. 2022; 11(12):1677. <https://doi.org/10.3390/foods11121677>
41. Özcan MM, Değerli Z. Effect on human health and bioactive components of linseed. *Food Industry: Science and Technologies*. 2019;12(3):85–92. <https://elibrary.ru/TNNRWY>