

УДК 633.35: 547.915

# Изменения жирнокислотного состава и липидного профиля зерна гороха и фасоли при проращивании

А. Л. Вебер<sup>1</sup>, С. А. Леонова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Омский Государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, г. Омск, Россия

<sup>2</sup> Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:****Вебер Анна Леонидовна**

E-mail: a.l.veber@omgau.org

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:**

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Вебер, А. Л., & Леонова, С. А. (2023). Изменения жирнокислотного состава и липидного профиля зерна гороха и фасоли при проращивании. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 72-89. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.436>

ПОСТУПИЛА: 01.03.2023

ПРИНЯТА: 17.06.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.07.2023

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**АННОТАЦИЯ**

**Введение:** По современным представлениям, для сбалансированного питания здорового человека необходимо наличие в рационе не только полноценного белка, микро- и макронутриентов, но и эссенциальных жирных кислот. Зерно гороха и фасоли является доступной альтернативой животному белку, содержит минимальное количество жира, однако его биологическая ценность обусловлена высоким содержанием незаменимых полиненасыщенных жирных кислот. Для получения растительной дисперсии из зерна гороха и фасоли с целью ее дальнейшего применения в технологии продуктов сегмента «dairy alternatives» использовали процесс проращивания, который, в том числе, может изменять жирнокислотный состав и липидный профиль зерна.

**Цель:** Изучение влияния процесса проращивания на жирнокислотный состав и липидный профиль зерна гороха и фасоли.

**Материалы и методы:** Изучен жирнокислотный состав и липидный профиль зерна гороха сортов селекции Башкирского НИИ сельского хозяйства УФИЦ РАН (Чишминский 95, Чишминский 229, Памяти Хангильдина) и фасоли сортов селекции ФГБОУ ВО Омского ГАУ (Омичка и Лукерья) до и после проращивания. Липиды из зерна гороха и фасоли исследуемых сортов экстрагировали методом Фолча. Качественный и количественный жирнокислотный состав липидов зерна определяли методом газовой хроматографии, триацилглицериды идентифицировали методом MALDI-TOF, жирнокислотный состав триацилглицеридов определяли методом газовой хромато-масс-спектрометрии.

**Результаты:** Установлено, что содержание триацилглицеридов в зерне гороха и фасоли исследуемых сортов составляет от 53,20 до 55,74 % и от 56,56 до 57,73 % от общего количества липидов, соответственно. В триацилглицеридах всех изученных сортов идентифицированы остатки ненасыщенных жирных кислот и глицерина, за исключением гороха сорта Чишминский 95. Во всех исследуемых сортах гороха и фасоли наибольший удельный вес занимают пальмитиновая, стеариновая, линолевая,  $\alpha$ -линоленовая и олеиновая кислоты. Доминирующей полиненасыщенной жирной кислотой для всех исследуемых сортов гороха является линолевая, для сортов фасоли  $\alpha$ -линоленовая. Установлено, что липиды зерна гороха сорта Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка имеют наибольшую физиологическую ценность, ввиду большего содержания полиненасыщенных жирных кислот, являющихся незаменимыми для человека. Также в ходе исследования установлено, что в результате проращивания происходит качественное и количественное перераспределение жирных кислот, в том числе в триацилглицеридах зерна.

**Выводы:** Достигнутое в результате проращивания увеличение содержания полиненасыщенной линолевой жирной кислоты способствует достижению повышенной пищевой ценности зерна.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

проращивание, горох, фасоль, триацилглицериды, полиненасыщенные жирные кислоты, насыщенные жирные кислоты, липиды

# Changes in the Fatty Acid Composition and Lipid Profile of Pea and Bean Grains during Sprouting

Anna L. Veber<sup>1</sup>, Svetlana A. Leonova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Omsk State Agrarian University  
named after P.A. Stolypin,  
Russian Federation, Omsk, Russia

<sup>2</sup> Bashkir State Agrarian University,  
Russian Federation, Ufa, Republic of  
Bashkortostan

## CORRESPONDENCE:

**Anna L. Veber**

E-mail: [a.l.veber@omgau.org](mailto:a.l.veber@omgau.org)

## FOR CITATIONS:

Veber, A. L., & Leonova, S. A. (2023).  
Changes in the fatty acid composition  
and lipid profile of pea and bean  
grains during germination. *Storage and  
Processing of Farm Products*, (2), 72-89.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2023.436>

RECEIVED: 01.03.2023

ACCEPTED: 17.06.2023

PUBLISHED: 30.07.2023

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** According to modern concepts, a balanced diet for a healthy person requires not only high-quality protein, micro- and macronutrients, but also essential fatty acids. The grain of peas and beans represents an affordable alternative to animal protein, contains a minimal amount of fat, however, its biological value is due to a high content of indispensable polyunsaturated fatty acids. To obtain plant dispersion from pea and bean grain for its further use in the technology of "dairy alternatives" segment products, the sprouting process was used, which, among other things, may alter the fatty acid composition and lipid profile of the grain.

**Purpose:** Investigate the impact of the sprouting process on the fatty acid composition and lipid profile of pea and bean grain.

**Materials and Methods:** The fatty acid composition and lipid profile of pea grain varieties selected by Bashkir Research Institute of Agriculture of Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Chishminsky 95, Chishminsky 229, In Memory of Khangildin) and bean varieties selected by Omsk State Agrarian University (Omichka and Lukerya) were studied before and after sprouting. Lipids from pea and bean grain of the studied varieties were extracted using the Folch method. The qualitative and quantitative fatty acid composition of grain lipids was determined by gas chromatography, triglycerides were identified by MALDI-TOF, and the fatty acid composition of triglycerides was determined by gas chromatography-mass spectrometry.

**Results:** It was found that the content of triglycerides in the grain of peas and beans of the studied varieties ranges from 53.20 to 55.74% and from 56.56 to 57.73% of the total amount of lipids, respectively. Residues of unsaturated fatty acids and glycerol, except for peas of the Chishminsky 95 variety, were identified in the triglycerides of all studied varieties. In all studied varieties of peas and beans, palmitic, stearic, linoleic,  $\alpha$ -linolenic, and oleic acids have the largest specific weight. The dominant polyunsaturated fatty acid for all studied varieties of peas is linoleic, for bean varieties  $\alpha$ -linolenic. It was found that the lipids of pea grain of the In Memory of Khangildin variety and bean of the Omichka variety have the highest physiological value, due to the higher content of polyunsaturated fatty acids, which are indispensable for humans. Also, during the study, it was found that as a result of sprouting, a qualitative and quantitative redistribution of fatty acids occurs, including in the triglycerides of the grain.

**Conclusion:** The increase in the content of polyunsaturated linoleic fatty acid achieved as a result of sprouting contributes to achieving increased food value of the grain.

## KEYWORDS

sprouting, peas, beans, triglycerides, polyunsaturated fatty acids, saturated fatty acids, lipids

## ВВЕДЕНИЕ

При избытке продуктов питания, отсутствии продовольственного голода наблюдаются нарушения структуры питания населения, которые характеризуются в том числе, дефицитом полиненасыщенных жирных кислот (Попова с соавт., 2021), о чем свидетельствуют результаты выборочного наблюдения фактического питания населения РФ, выполненного Росстатом в 2018 г. (Тутельян с соавт., 2021). Сложившаяся ситуация является следствием недостаточной информированности потребителей о пользе жира, что привело к исключению из рациона продуктов с высоким содержанием жировых компонентов, в том числе эссенциальных жирных кислот и/или к уменьшению общего количества потребляемых пищевых жиров (Фролова с соавт., 2021), при том, что жиры являются незаменимым фактором питания и обязательным компонентом пищи. Необходимо помнить, что значение имеет не только количество, но и химический состав жиров, который определяет их биологическую ценность и активность (Петрова с соавт., 2019).

Общеизвестно, что бобовые культуры являются источником белка (Босак & Сачивко, 2018; Veber et al., 2020) и крахмала (Колпакова с соавт., 2021), содержат антиалиментарные вещества (Вебер с соавт., 2019) и минимальное количество жира, являющегося источником жирных кислот различного строения, в том числе полиненасыщенных (эссенциальных) жирных кислот.

К эссенциальным относят линолевую, линоленовую, арахидоновую и некоторые другие полиненасыщенные жирные кислоты. Эссенциальные жирные кислоты принято подразделять на две группы: 1-я группа — семейство линолевой  $\omega$ -6 кислоты (преобладают в растительных жирах) и 2-я группа — семейство  $\alpha$ -линоленовой  $\omega$ -3 кислоты (преобладают в морских продуктах) (Лебская с соавт., 2020; Tomczyk, 2018; Витол с соавт., 2023). Их физиологическая роль многогранна: улучшение синтеза белка, состояния клеточных мембран, чувствительности к инсулину; защита сердца; предотвращение образования жировых бляшек в сосудах; синтез в организме ряда биологически активных веществ и т.д. (Гладышев, 2012; Воловик с соавт., 2019; Широкова с соавт., 2022).

Во многих регионах нашей страны ведутся селекционные работы по созданию высокопродуктивных, ценных по качеству зерна сортов бобовых культур (Давлетов с соавт., 2020). Только за период с 2017 по 2020 год созданы и переданы на государственное сортоиспытание 69 новых экологических сортов зернобобовых культур, в том числе 41 новый сорт гороха, 7 новых сортов фасоли обыкновенной. Впервые включены в Государственный реестр селекционных достижений РФ и предложены к возделыванию в различных регионах более 70 новых сортов, в том числе 25 сортов гороха и 9 сортов фасоли (Зотиков с соавт., 2018; Зотиков с соавт., 2020).

Несмотря на существующий генофонд зернобобового сырья, в том числе зерна фасоли и гороха, уровень осведомленности о жирнокислотном составе недостаточен. Липиды бобовых культур, в том числе гороха и фасоли, относят к малоизученной группе биологически активных веществ. По химическому строению сырой жир (свободные липиды) зерна гороха и фасоли представляет собой смесь сложных эфиров триацилглицеринов (триацилглицеридов) и сопутствующих веществ (Ogori, 2020; Cholewski et al., 2018). Они различаются по жирнокислотному составу, а также по позиционному распределению жирных кислот в триацилглицеринах (Yoshida et al., 2009), что зависит от множества факторов (Yoshida et al., 2007). К примеру, жирнокислотный состав гороха приблизительно идентичен маслу сои, при этом в горохе отмечено повышенное содержание глицеридов пальмитиновой и олеиновой кислот (Grela & Gunter, 1995). В образцах гороха сортов Daisy rogne, Asgrow seed, Frio доминирующая роль принадлежит пальмитиновой и стеариновой кислотам, в образцах гороха сорта Dans panatenuns — стеариновой и олеиновой кислотам, в образцах гороха сорта Vega — линолевой кислоте. При этом установлено, что у образца гороха сорт Dans panatenuns наименьшее содержание глицеридов линоленовой кислоты (Василенко с соавт., 2017).

Общеизвестно, что одним из самых эффективных способов изменения биологической ценности растительного сырья, включая повышение уровня усвояемости основных нутриентов и снижение или устранение антиалиментарных факторов, является процесс проращивания (Bautista-Expósito et al., 2021; Самофалова & Сафронова, 2017). На примере некоторых культур и сортов установлено качественное и количественное изменение не только

аминокислотного состава, но и увеличение активности протеаз, декстринирующей и осахаривающей способности (Kim et al., 2008). Подтверждено снижение содержания антиалиментарных веществ и увеличение биологической и пищевой ценности сырья, зафиксировано снижение липидов (Samtiya et al., 2020; Шаршунов с соавт., 2016). Однако, данные о качественных и количественных изменениях жирнокислотного состава зерна гороха и фасоли отечественной селекции весьма немногочисленны.

Цель исследования — определение липидного профиля и жирнокислотного состава зерна гороха и фасоли отечественных сортов до и после проращивания.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты

Зерно гороха селекции Башкирского НИИ сельского хозяйства УФИЦ РАН (БНИИСХ, Республика Башкортостан) сортов Чишминский 95, Чишминский 229, Памяти Хангильдина, выращенное в условиях селекционного центра БашНИИСХ. Зерно фасоли селекции ФГБОУ ВО Омского ГАУ сортов Омичка и Лукерья, выращенное в условиях учебно-опытного хозяйства Омского ГАУ.

### Оборудование

Газовый хромато-масс-спектрометр Agilent technology 5973N/6890N MSD/DS (США), масс-спектрометр Autoflex MALDI-TOF (Германия), газовый хроматограф Shimadzu GS -2010-Plus (Япония), роторный испаритель RV 8 V-C (IKA, Германия), лабораторная установка солеидного типа, установка «Смарт — спраутер «Росинка», изготовленная и испытанная в лабораторных условиях кафедры технического сервиса, механики и электротехники факультета технического сервиса в АПК ФГБОУ ВО ОмГАУ им. П.А. Столыпина.

### Методы

Исследование жирнокислотного состава зерна гороха и фасоли исследуемых сортов осуществляли по ГОСТ 31663–2012<sup>1</sup>; липидного профиля хромато-масс-спектрометрией — по ГОСТ Р 8.795–2012<sup>2</sup>, ГОСТ 28366–89<sup>3</sup>.

### Подготовка растительных образцов к анализу

К измельченным образцам добавляли 5 объемов смеси Фолча (соотношение хлороформ-метанола 2:1 по объему). Полученную смесь встряхивали в течение 10–15 минут и гомогенизировали в течение 5 мин при скорости вращения ротора 3000 об/мин. Экстракт отделяли от осадка, сливали в мерный цилиндр. Полученный осадок экстрагировали 3 раза. Далее осадок вместе с экстрактом количественно переносили в мерный цилиндр, перемешивали и центрифугировали при 3000 об/мин в течение 20 мин. Центрифугат отмывали от нелипидных примесей 0,73 %-м водным раствором NaCl в объеме, составляющем 20% от объема экстракта липидов. Экстракт перемешивали и центрифугировали при 2500 об/мин в течение 15–20 мин. Для дальнейших исследований использовали хлороформный раствор липидов (нижняя фаза). Поверхность нижней фазы и внутренние стенки центрифужной пробирки ополаскивали смесью растворителей хлороформ — метанол — водный раствор NaCl (3:48:47), избегая перемешивания нижней фазы и промывной смеси. Промывную смесь сливали, процедуру промывания повторяли еще 2 раза. К хлороформному раствору липидов прибавляли по каплям метанол до образования однофазной системы, который количественно переносили в предварительно подготовленную круглодонную колбу и упаривали на роторном испарителе RV 8 V-C (IKA, Германия). Колбу с осадком липидов доводили до постоянного веса в вакуум-эксикаторе над КОН. Количество полученных липидов определяли гравиметрическим методом с точностью до 0,000001 г и рассчитывали содержание липидов в процентах с учетом взятой навески.

<sup>1</sup> ГОСТ 31663–2012. (2019). *Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот*. М.: Стандартинформ.

<sup>2</sup> ГОСТ 8.795–2012. (2019). *Методики идентификации химических веществ методом хромато-масс-спектрометрии. Общие требования*. М.: Стандартинформ.

<sup>3</sup> ГОСТ 28366–89. (2010). *Реактивы. Метод тонкослойной хроматографии*. М.: Стандартинформ.

Для анализа качественного и количественного жирнокислотного состава липидов зерна получали метиловые эфиры жирных кислот и исследовали их методом газовой хроматографией. Для анализа качественного и количественного жирнокислотного состава триацилглицеридов зерна получали метиловые эфиры жирных кислот из триглицеридов и исследовали их методом газовой хромато-масс-спектрометрии. Для этого к экстракту после удаления растворителя добавляли 2,0 см<sup>3</sup> гексана, затем раствор переносили в пробирку типа Эппендорф, добавляли 0,1 см<sup>3</sup> раствора метилата натрия в метаноле молярной концентрации 2 моль/дм<sup>3</sup>. После интенсивного перемешивания в течение 2 минут реакционную смесь отстаивали 5 минут и верхний слой, содержащий метиловые эфиры жирных кислот, фильтровали через бумажный фильтр.

#### **Условия анализа ГХ/МС**

Анализ метиловых эфиров жирных кислот триглицеридов зерна исследуемых сортов проводили с использованием газового хромато-масс-спектрометра Agilent technology 5973N/6890N MSD/DS (США). Для разделения использовали капиллярную колонку HP-5MS 30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм. Тип ионизации — электронный удар (EI), энергия ионизации 70 эВ. Газ-носитель — гелий; скорость потока газа — 1 мл/мин; объем вводимой пробы 1 мкл. Использовали программируемый режим температур термостата — нагрев от 40 до 280 °С со скоростью 30 °С/мин. Температура испарителя 270 °С (Лютикова с соавт., 2013).

#### **Условия анализа ГЖХ**

Жирнокислотный состав липидов определяли методом газожидкостной хроматографией на хроматографе Shimadzu GS -2010-Plus (Япония) с пламенно-ионизационным детектором (FID). Длина колонки 50 м, диаметр 0,32 мм, скорость потока 80 мл/мин, температура инжектора 240 °С, температура детектора 260 °С.

#### **Идентификация и количественное определение жирных кислот и их эфиров**

Для идентификации пиков метиловых эфиров жирных кислот использовали стандарты метило-

вых эфиров (Sigma, США) и данные библиотеки масс-спектров.

#### **Выделение триацилглицеридов и их исследование методом MALDI-TOF**

Полученный сухой остаток растворяли в смеси гексан: ацетон (2 :1). Разделение липидов проводили методом тонкослойной хроматографии на пластинках с силикагелем «Силуфол». На линию старта наносили пипеткой с дозатором анализируемую смесь, затем помещали пластинку в хроматографическую камеру с системой растворителей петролейный эфир — диэтиловый эфир — ацетон (90:10:1). После достижения элюентом линии финиша пластинку вынимали и давали растворителю испариться. Для проявления пятен липидов пластинку помещали в закрытую емкость с кристаллами йода. После хроматографического разделения компоненты из участков силикагеля элюировали применяя смесь гексан-ацетон (8 : 2), фракции объемом по 1,5 мл собирали, проводили тонкослойную хроматографию и элюировали. Растворитель отгоняли под вакуумом. Массы полученных фракций определяли гравиметрическим методом.

На следующем этапе снимали масс-спектры фракций, в которых обнаруживали липиды, в диапазоне от 400 до 1200 Da, на приборе Autoflex MALDI-TOF. Для этого в пробирку помещали 10 мг вещества, которое растворяли в 1 мл смеси ацетонитрила и 0,1 % трифторуксусной кислоты, взятых в соотношениях 7:1. Содержимое встряхивали на шейкере. Полученные растворы наносили на мишень «MTP 384 target plate matt steel TF», сверху наносили каплю матрицы после высыхания. В качестве матрицы использовали α-циано-4-гидроксикоричную кислоту (Новиков с соавт., 2013). После высушивания проб мишень помещали в масс-спектрометр и регистрировали масс-спектры испытуемых образцов.

#### **Процедура**

Для проведения эксперимента использовали селекционные сорта зерна гороха и фасоли соответствующие требованиям ГОСТ 28674–2019<sup>4</sup> «Горох. Технические условия» и ГОСТ 7758–2020<sup>5</sup> «Фасоль

<sup>4</sup> ГОСТ 28674–2019. (2019). *Горох. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

<sup>5</sup> ГОСТ 7758–2020. (2022). *Фасоль продовольственная. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

продовольственная. Технические условия» соответственно. Биохимический состав зерна исследованных сортов за период с 2017 по 2019 год варьировал по сортам и годам исследований (Таблица 1).

Липиды из зерна гороха и фасоли исследуемых сортов экстрагировали методом Фолча. Исследование жирнокислотного состава липидов зерна гороха и фасоли исследуемых сортов осуществляли по стандартной методике. Для анализа качественного и количественного жирнокислотного состава триацилглицеридов получали метиловые эфиры жирных кислот из триглицеридов. Для этого к экстракту после удаления растворителя добавляли 2,0 см<sup>3</sup> гексана. Затем раствор переносили в пробирку типа Эппендорф, добавляли 0,1 см<sup>3</sup> раствора метилата натрия в метаноле молярной концентрации 2 моль/дм<sup>3</sup>. Реакционную смесь после перемешивания и отстаивания фильтровали через бумажный фильтр и исследовали методом газовой хромато-масс-спектрометрией (ГХ-МС). Для идентификации триацилглицеридов проводили разделение липидов методом тонкослойной хроматографии на пластинах с силикагелем «Силуфол». Массы полученных фракций определяли гравиметрическим методом, масс-спектры фракций, в которых обнаруживали липиды, снимали в диапазоне от 400 до 1200 Da, на приборе Autoflex MALDI-TOF. Липидный профиль и жирнокислотный состав зерна гороха и фасоли исследованных сортов определяли до и после проращивания.

Для проращивания использовали установку «Смарт — спраутер «Росинка», в основу которой заложена технология аэропоники. Установка по-

зволяет имитировать природоподобную среду для проращивания при помощи автоматических программ. Технологический алгоритм проведения эксперимента заключался в следующем. В емкость с крышкой для проращиваемого зерна на неподвижных опорах, выполненную с непроницаемыми стенками и сетчатым днищем, размещали лотки с зерном гороха и фасоли исследуемых сортов, предварительно подвергнутые замачиванию в омагниченной воде, в соответствии с установленными режимами. В установку с автоматическим регулированием влажности от 40 до 90% ультразвуковым парогенератором, который разбивает воду в мелкую пыль и смешивает её с воздухом, подаются водяные пары (аэрозоль), в результате чего происходит равномерное влагопоглощение зерном и обогащение кислородом воздуха. Для поддержания температуры и дополнительного облучения зерна используют инфракрасные излучатели, благодаря которым прогревается зерно и биостимулируется процесс проращивания (Алгазин с соавт., 2017). Процесс проращивания образцов вели до появления ростка 2–3 мм.

Для омагничивания питьевой воды централизованной системы питьевого водоснабжения была использована экспериментальная лабораторная установка соленоидного типа. Питание электромагнитного аппарата осуществлялось от сети переменного тока 50 Гц через регулятор напряжения. Максимальное значение силы тока составляло 4,5 А. Воду нагревали до температуры 40–42 °С и многократно (10 обработок) пропускали по стеклянной трубке при напряженности магнитного поля 300–400 Э (эрстед), что соответствует 15 мТ. Длина пути прохождения воды в магнитном поле — 20 см.

**Таблица 1**

Биохимический состав зерна исследованных сортов гороха и фасоли

Показатель	Горох сорт			Фасоль сорт	
	Чишминский 95	Чишминский 229	Памяти Хангильдина	Омичка	Лукерья
Массовая доля белка, %	22,80–23,30	22,00–23,00	23,70–24,28	23,30–24,10	19,40–22,80
Массовая доля жира, %	1,10–1,80	1,00–1,50	1,00–1,80	1,30–1,80	1,25–1,90
Массовая доля крахмала, %	36,20–38,05	36,70–38,60	35,90–39,90	42,60–43,40	44,80–45,20
Массовая доля сырой клетчатки, %	7,65–8,02	7,35–7,85	7,99–8,40	9,00–9,23	9,26–10,90
Массовая доля золы, %	3,50–3,60	3,40–3,60	3,00–3,10	3,20–3,50	3,00–3,70
Влажность, %	12,50–15,00	13,30–15,00	13,50–15,00	16,00–16,20	16,20–17,00

## Анализ данных

Статистическую обработку данных проводили, используя методы математической статистики с применением программного обеспечения Microsoft Excel (версия 2019 г.). Для обработки результатов исследований вычисляли средние арифметические значения величин из трех измерений для каждого опытного образца, стандартное отклонение не превышало 3,0% при доверительной вероятности  $P = 0,95$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований в результате разделения липидов проведена идентификация триацилглицеридов. В Таблице 2 перечислены идентифицированные остатки жирных кислот и глицерина.

Общее содержание липидов в зерне гороха и фасоли исследуемых сортов варьировалось от 1,17 до 1,50% и от 1,50 до 1,60% соответственно. Наибольшее количество липидов содержалось в зерне гороха сорта Памяти Хангильдина (1,50%) и фасоли сорта Лукерья (1,60%). Содержание триацилглицеридов в зерне гороха и фасоли исследованных сортов изменялось от 53,20 до 55,74% и от 56,56 до 57,73% от суммы липидов в зерне, соответственно. Оставшееся количество липидов приходится на свободные жирные кислоты, стерины и их эфиры, полярные липиды и фосфолипиды. Полученные результаты исследований согласуются с результатами других ученых (Никифорова с соавт., 2010; Mabaleha & Yeboah, 2004), которые в своих исследованиях установили, что триацилглицериды являются преобладающей фракцией липидов нативного зерна гороха (46,16% от суммы липидов в зерне) и фасоли (56,4–61,1% от суммы липидов в зерне). В триацилглицеридах зерна гороха и фасоли всех изученных сортов идентифицированы

Таблица 2

Результаты анализа триацилглицеридов зерна гороха и фасоли исследуемых сортов

Триацилглицерид	Горох, сорт			Фасоль, сорт	
	Чишминский 95	Чишминский 229	Памяти Хангильдина	Омичка	Лукерья
Значение показателя, % от суммы липидов					
Линолеоил-олеоил-пальмитоилглицерин	–	–	–	33,05 ± 1,494	–
Три (9,12-гептадекадиеноил) глицерин	–	–	–	17,28 ± 0,352	–
Трипальмитоилглицерин	–	–	–	4,58 ± 0,794	–
Пальмитоил-дистеароилглицерин	–	12,88 ± 0,652	–	1,66 ± 0,874	–
Линолеоил-пальмитоил-стеароилглицерин	–	13,71 ± 0,716	–	–	35,30 ± 1,336
Гексадеканоил-(5,9-гептадекадиеноил)-октадеканоилглицерин	–	–	–	–	13,09 ± 0,598
БраССИДИНОИЛ-пальмитоил-стеароилглицерин	–	–	–	–	9,34 ± 0,698
Дипальмитоил-стеароилглицерин	–	26,61 ± 1,814	–	–	–
Тристеароилглицерин	8,94 ± 0,949	–	–	–	–
Диизостеароил-пальмитоилглицерин	45,86 ± 1,354	–	–	–	–
Линолеоил-олеоил-пальмитоилглицерин и/или изостеароил-линолеоил-пальмитоилглицерин	–	–	53,32 ± 2,540	–	–
Линолэлаидоил-диолеоилглицерин	–	–	2,42 ± 0,612	–	–
Сумма	54,80 ± 2,820	53,20 ± 2,725	55,74 ± 2,198	56,56 ± 2,096	57,73 ± 2,554
Общее содержание липидов, %	1,42 ± 0,076	1,17 ± 0,058	1,5 ± 0,010	1,5 ± 0,100	1,6 ± 0,095

остатки ненасыщенных жирных кислот и глицерина, за исключением гороха сорт Чишминский 95.

На втором этапе исследований был установлен жирнокислотный состав липидов зерна исследуемых сортов (Таблица 4), а также жирнокислотный состав их триацилглицеридов (Таблица 3).

Согласно результатам исследований, триацилглицериды зерна гороха сорта Памяти Хангильдина, фасоли сортов Лукерья и Омичка более разнообразны по качественному жирнокислотному составу. В триацилглицеридах зерна гороха сортов Чишминский 95 и Чишминский 229 содержится три кислоты, в зерне гороха сорта Памяти Хангильдина и фасоли сорта Лукерья — шесть кислот, в зерне фасоли сорта Омичка — пять кислот. Жирнокислотный состав триацилглицеридов зерна гороха сорта Чишминский 95 на 52,62% от общего количества

жирных кислот представлен насыщенными жирными кислотами. Жирнокислотный состав триацилглицеридов зерна гороха сорт Чишминский 229 в сравнении с зерном гороха сорта Памяти Хангильдина характеризуется более высоким содержанием насыщенных жирных кислот (46,46 и 21,38% от общего количества жирных кислот, соответственно) и более низким содержанием ненасыщенных жирных кислот (4,60 и 32,61% от общего количества жирных кислот, соответственно). Доминирующей жирной кислотой триацилглицеридов зерна гороха сорта Чишминский 229 является пальмитиновая кислота, доля которой составляет 24,14% от общего количества жирных кислот.

В триацилглицеридах зерна гороха сорта Памяти Хангильдина в наибольшем количестве присутствуют пальмитиновая, олеиновая и линолевая жирные кислоты (14,01%; 9,54%, 15,29% от общего

**Таблица 3**

Жирнокислотный состав триацилглицеридов зерна гороха и фасоли исследуемых сортов

Наименование жирной кислоты	Горох сорт			Фасоль сорт	
	Чишминский 95	Чишминский 229	Памяти Хангильдина	Омичка	Лукерья
<b>Значение показателя, % от общего количества жирных кислот</b>					
<i>Полиненасыщенные жирные кислоты</i>					
Линолевая (C <sub>18:2 Δ9,12</sub> )	—	4,60 ± 0,744	15,29 ± 0,983	10,88 ± 0,324	10,85 ± 1,282
5,9-гептадекадиеновая (C <sub>17:2 cΔ5,9</sub> )	—	—	—	—	4,17 ± 0,445
5,9-гексадекадиеновая (C <sub>16:2 cΔ5,9</sub> )	—	—	—	—	3,14 ± 0,756
9,12-гептадекадиеновая (C <sub>17:2 Δ9,12</sub> )	—	—	—	16,02 ± 0,402	—
Линолэлаидиновая (C <sub>18:2 tΔ9,12</sub> )	—	—	0,45 ± 0,332	—	—
Сумма ПНЖК	—	4,60 ± 0,744	15,74 ± 1,278	26,89 ± 0,239	18,15 ± 2,234
<i>Мононенасыщенные жирные кислоты</i>					
Эруковая (C <sub>22:1 cΔ13</sub> )	—	—	—	—	3,54 ± 0,424
Гондоиновая (C <sub>20:1</sub> )	—	—	7,33 ± 0,179	—	—
Олеиновая (C <sub>18:1</sub> )	—	—	9,54 ± 0,399	10,88 ± 1,023	—
Сумма МНЖК	—	—	16,87 ± 0,563	10,88 ± 1,023	3,54 ± 0,424
<i>Насыщенные жирные кислоты</i>					
Стеариновая (C <sub>18:0</sub> )	12,92 ± 0,932	22,32 ± 1,412	—	1,56 ± 0,392	17,86 ± 0,558
Изостеариновая (C <sub>18:0</sub> )	26,56 ± 0,713	—	7,37 ± 0,972	—	—
Пальмитиновая (C <sub>16:0</sub> )	13,14 ± 1,137	24,14 ± 0,788	14,01 ± 0,268	15,36 ± 0,868	16,43 ± 0,158
Сумма НЖК	52,62 ± 2,649	46,46 ± 1,854	21,38 ± 1,198	16,92 ± 1,099	34,29 ± 0,472
Сумма жирных кислот	52,62 ± 2,649	51,06 ± 2,584	53,99 ± 0,931	54,69 ± 2,000	55,98 ± 2,037

Таблица 4

Жирнокислотный состав липидов зерна гороха и фасоли исследуемых сортов

Наименование жирной кислоты	Горох сорт			Фасоль сорт	
	Чишминский 95	Чишминский 229	Памяти Хангильдина	Омичка	Лукерья
<b>Значение показателя, % от общего количества жирных кислот</b>					
<b>Полиненасыщенные жирные кислоты</b>					
Линолевая (C <sub>18:2 cΔ 9,12</sub> )	19,01 ± 0,049	30,07 ± 0,294	31,11 ± 0,972	26,60 ± 0,715	19,68 ± 0,704
α-линоленовая (C <sub>18:3a cΔ 9,12,15</sub> )	8,65 ± 0,315	4,43 ± 0,518	8,65 ± 0,178	36,62 ± 0,192	31,76 ± 0,071
Сумма ПНЖК	28,00 ± 0,750	34,73 ± 1,260	39,83 ± 1,652	63,72 ± 1,288	51,58 ± 1,097
<b>Мононенасыщенные жирные кислоты</b>					
Олеиновая (C <sub>18:1 cΔ9</sub> )	13,21 ± 1,072	13,89 ± 0,401	25,26 ± 0,354	11,70 ± 0,285	4,85 ± 0,736
Элаидиновая (C <sub>18:1 tΔ9</sub> )	–	–	0,115 ± 0,062	–	–
Гондоиновая (C <sub>20:1</sub> )	1,01 ± 0,252	0,90 ± 0,100	7,64 ± 0,334	0,74 ± 0,004	0,44 ± 0,008
Эруковая (C <sub>22:1 cΔ13</sub> )	обнаружена	обнаружена	обнаружена	–	4,40 ± 0,02
Нервоновая (C <sub>24:1</sub> )	обнаружена	обнаружена	–	1,38 ± 0,006	–
Сумма МНЖК	14,92 ± 2,018	14,94 ± 0,774	33,43 ± 1,120	14,17 ± 0,423	9,79 ± 1,181
<b>Насыщенные жирные кислоты</b>					
Миристиновая (C <sub>14:0</sub> )	0,59 ± 0,068	обнаружена	0,82 ± 0,495	–	–
Пентадециловая (C <sub>15:0</sub> )	обнаружена	обнаружена	0,44 ± 0,106	обнаружена	обнаружена
Пальмитиновая (C <sub>16:0</sub> )	14,15 ± 0,073	24,45 ± 0,407	14,93 ± 0,421	17,40 ± 0,068	17,04 ± 0,198
Стеариновая (C <sub>18:0</sub> )	39,49 ± 0,952	23,83 ± 0,094	8,86 ± 0,059	1,93 ± 0,008	18,28 ± 0,495
Арахидиновая (C <sub>20:0</sub> )	0,97 ± 0,049	–	0,58 ± 0,354	обнаружено	1,69 ± 0,013
Бегеновая (C <sub>22:0</sub> )	обнаружена	–	обнаружена	обнаружена	0,55 ± 0,001
Лигноцериновая (C <sub>24:0</sub> )	обнаружена	обнаружена	0,544 ± 0,025	0,667 ± 0,003	обнаружена
Сумма НЖК	55,50 ± 1,758	48,96 ± 0,967	26,56 ± 2,134	21,41 ± 0,130	38,26 ± 1,039
Сумма ННЖК	42,92 ± 2,768	49,66 ± 2,034	73,26 ± 2,772	77,88 ± 1,711	61,37 ± 2,278
Сумма жирных кислот	98,42 ± 2,961	98,64 ± 3,001	99,82 ± 2,342	99,30 ± 1,840	99,44 ± 3,035

Примечание: Минорные жирные кислоты (C<sub>14:1</sub>, C<sub>15:1cΔ 10</sub>, C<sub>16:1</sub>, C<sub>17:1</sub>, C<sub>4:0</sub>, C<sub>6:0</sub>, C<sub>8:0</sub>, C<sub>10:0</sub>, C<sub>12:0</sub>, C<sub>13:0</sub>, C<sub>17:0</sub>) с концентрацией менее 0,5 % от общего количества жирных кислот в этой таблице не указаны.

количества жирных кислот, соответственно). Идентифицирован также транс-изомер линолевой кислоты — линолэлаидиновая кислота в количестве 0,45 % от общего количества жирных кислот, содержание которого находится в пределах допустимых значений ТР ТС 024/2011. Присутствие изомеров линолевой кислоты в зерне бобовых культур в количестве ≤ 1 % от общего количества жирных кислот установлено ранее другими учеными (Bouchenak & Lamri-Senhadj, 2013).

Во всех исследуемых сортах фасоли установлено присутствие как насыщенных, так и ненасыщенных жирных кислот. В зерне фасоли сорта Омичка в наибольшем количестве присутствуют пальмитиновая, олеиновая, линолевая и 9,12-гептадекади-

еновая жирные кислоты (15,36%; 10,88%; 10,88% и 16,02% от общего количества жирных кислот соответственно). В зерне фасоли сорта Лукерья в наибольшем количестве присутствуют стеариновая, пальмитиновая и линолевая жирные кислоты (17,86%; 16,43%; 10,85% от общего количества жирных кислот, соответственно). При этом следует отметить, что триацилглицериды всех исследуемых сортов не содержат α-линоленовую кислоту, триацилглицериды зерна гороха сорт Чишминский 229 не содержат мононенасыщенных жирных кислот, а триацилглицериды зерна гороха сорт Чишминский 95 не содержат ненасыщенных жирных кислот. Однако в результате исследования жирнокислотного состава липидов зерна (Таблица 4) установлено, что олеиновая кислота входит в число

наиболее распространенных жирных кислот. Доминирующей полиненасыщенной жирной кислотой для всех исследуемых сортов гороха является линолевая (19,01–31,11% от общего количества жирных кислот), для зерна фасоли  $\alpha$ -линоленовая (31,76–36,62% от общего количества жирных кислот), что свидетельствует о том, что данные кислоты входят в состав других фракций липидов.

Также установлено, что суммарное содержание насыщенных жирных кислот в зерне фасоли сорта Лукерья выше, чем в зерне гороха сорта Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка в 1,4 и 1,8 раза соответственно, но ниже в 1,4 и 1,3 раза, чем в зерне гороха сортов Чишминский 95 и Чишминский 229. Суммарное содержание полиненасыщенных жирных кислот в зерне фасоли сорта Омичка выше, чем в зерне гороха сорта Чишминский 95, Чишминский 229, Памяти Хангильдина и фасоли сорта Лукерья в 2,3; 1,8; 1,6 и 1,2 раза соответственно. Суммарное содержание мононенасыщенных жирных кислот в зерне гороха сорт Памяти Хангильдина выше, чем в зерне гороха сортов Чишминский 95, Чишминский 229 и фасоли сорта Омичка в 2,2–2,3 раза и в зерне фасоли сорта Лукерья в 3,4 раза.

Полученные результаты в большинстве случаев согласуются с исследованиями других ученых, посвященными изучению жирнокислотного состава бобовых культур. К примеру, в зерне белой фасоли сорта “Piękny Jaś Karłow” доминирующей жирной кислотой была линоленовая кислота (39,26%), в значительном количестве присутствовали  $\alpha$ -линоленовая (23,25%) и олеиновая (17,59%) кислоты. Наиболее распространенными насыщенными кислотами были пальмитиновая кислота (12,79%) и стеариновая кислота (3,68%). Доля остальных жирных кислот в профиле жирных кислот составляла приблизительно 0,5% и менее (Ziarno et al., 2020). При исследовании жирнокислотного состава липидов пяти сортов фасоли, выращенных в Японии, установлено, что во всех сортах из ненасыщенных жирных кислот преобладают  $\alpha$ -линоленовая (48,5–57,8%), линолевая (16,7–25,8%) и олеиновая (7,8–13,8%) кислоты, из насыщенных — пальмитиновая кислота (8,3–13,2%) (Yoshida et al., 2005).

Однако в некоторых случаях результаты качественного и количественного жирнокислотного состава существенно различаются. Так, в результате исследования содержания жира и жирных кислот в зерне

гороха и нута, выращенных в Оренбургской области, установлено, что суммарное содержание ненасыщенных жирных кислот в липидах зерна нута больше, чем в зерне гороха в 2,58 раз, при этом доминирующей ненасыщенной жирной кислотой в зерне гороха была  $\alpha$ -линоленовая кислота, в зерне нута преобладала линолевая кислота. Насыщенные жирные кислоты были представлены пальмитиновой и стеариновой кислотами (Кудашева с соавт., 2013). Разница в качественном и количественном жирнокислотном составе культур объяснима, прежде всего, видовыми и сортовыми особенностями, почвенно — климатическими условиями, технологией выращивания (Босак, 2018).

Несмотря на разнообразие идентифицируемых ненасыщенных жирных кислот (Таблица 3, Таблица 4) только линолевою и  $\alpha$ -линоленовую кислоты считают основными биохимическими предшественниками физиологически значимых длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (арахидоновая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты). Помимо вышесказанного, у линолевой и  $\alpha$ -линоленовой кислот, также отмечены антиоксидантные свойства; противораковый, противовоспалительный, антиостеопоротический, кардиопротекторный и нейропротекторный эффекты (D’Angelo et al., 2020; De Lorgeril, 2007; Fialkow, 2016). Все остальные идентифицируемые ненасыщенные жирные кислоты можно условно отнести к функциональным факторам питания, препятствующим риску развития различных заболеваний.

К примеру, эруковая кислота, обнаруженная в фасоли сорта Лукерья, обладает антиоксидантным и противовоспалительным действием (Altinoz et al., 2021; Kumar & Sharma, 2020), также может быть ценной при лечении рассеянного склероза, действовать как нейропротекторное, противоопухолевое и защитное средство при болезни Паркинсона, глиобластоме и нейробластоме (Altinoz & Ozpinar, 2019). Олеиновая кислота обладает рядом положительных терапевтических эффектов для сердечно-сосудистой системы, мозга, эмоционального настроения человека, является антиоксидантом (Pegoraro et al., 2020; Carrillo et al., 2012).

Обнаруженная в фасоли сорта Лукерья 5,9-гексадекадиеновая кислота обладает антимикробной активностью в отношении грамположительных бактерий *Staphylococcus aureus* и *Streptococcus faecalis*,

но неактивна в отношении грамотрицательных бактерий, таких как *Pseudomonas aeruginosa* (Carballeira et al., 2002).

Учитывая вышесказанное, липиды зерна гороха сорт Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка, в сравнении с другими исследованными сортами, обладают значительно большей физиологической ценностью, ввиду большего содержания полиненасыщенных жирных кислот (39,83 и 63,72 % от суммы всех жирных кислот, соответственно), являющихся незаменимыми для человека.

На заключительном этапе исследований в результате проращивания зерна гороха в течение 13–15 часов и фасоли в течение 17–20 часов на опытном устройстве «Смарт — спраутер «Росинка» с автоматическим регулированием влажности от 40 до 90 % при температуре (21–23) °С засвидетельствованы снижение массовой доли липидов, качественные и количественные изменения кислотных групп в триацилглицеридах (Таблицы 5, 6), а также изменение окислотного состава липидов зерна.

**Таблица 5**

Результаты анализа триацилглицеридов пророщенного зерна гороха сорт Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка

Триацилглицерид	Горох сорт	Фасоль сорт
	Памяти Хангильдина	Омичка
	Значение показателя, % от суммы липидов	
1,2-дидиолеоил-3-пальмитоилглицерин	47,73 ± 1,492	–
1,2-дидиолеоил-3-пальмитоилглицерин	–	21,43 ± 1,219
Линоленоил-дидиолеоилглицерин	–	14,43 ± 0,859
Дидиолеоил-линолеоилглицерин	–	14,13 ± 0,760
Сумма	47,73 ± 1,492	49,99 ± 2,708
Общее содержание липидов, %	1,26 ± 0,083	1,27 ± 0,088

Совокупный анализ результатов исследований (Таблицы 2 и 5) показывает четкие изменения в составе триацилглицеридов пророщенного зерна исследуемых культур. Количество триацилглицеридов в процессе проращивания зерна гороха и фасоли снизилось с 55,74 до 47,73 % и с 56,56 до 49,99 %

соответственно. Для всех образцов характерно содержание пальмитоина и дидиолеоила. В триацилглицеридах пророщенного зерна фасоли сорта Омичка идентифицированы линоленоины и дидиолеоилы не идентифицированные в нативном зерне. Жирнокислотный состав триглицеридов пророщенного зерна исследуемых сортов представлен в Таблице 6.

**Таблица 6**

Жирнокислотный состав триацилглицеридов пророщенного зерна гороха сорт Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка

Наименование жирной кислоты	Горох сорт Памяти Хангильдина	Фасоль сорт Омичка
	Значение показателя, % от общего количества жирных кислот	
	Пальмитиновая кислота (C <sub>16:0</sub> )	19,44 ± 0,879
Линолевая кислота (C <sub>18:2</sub> )	26,36 ± 0,994	26,90 ± 0,876
Линоленовая кислота (C <sub>18:3</sub> )	–	13,12 ± 0,621
Сумма ПНЖК	26,36 ± 0,994	40,01 ± 1,468
Сумма НЖК	19,44 ± 0,879	7,38 ± 0,312
Сумма жирных кислот	45,79 ± 1,776	47,39 ± 1,629

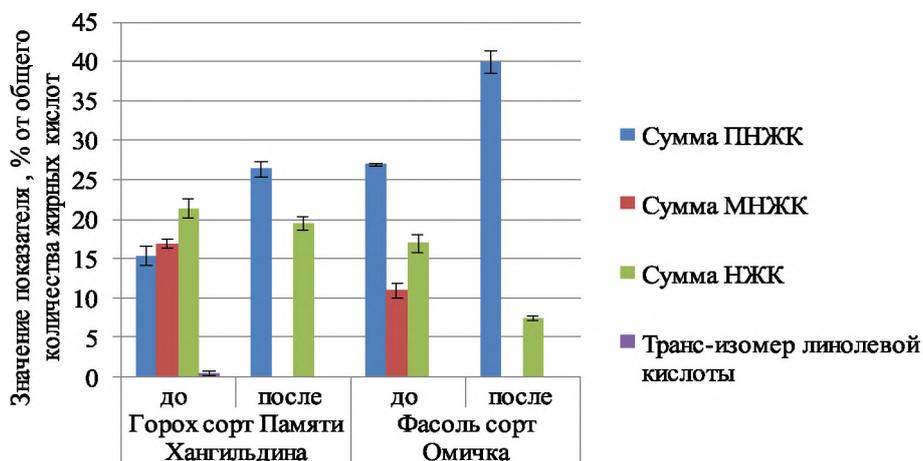
Динамика изменения жирнокислотного состава триглицеридов зерна исследуемых сортов в результате процесса проращивания представлена на Рисунке 1.

В результате исследований установлено снижение содержания насыщенных жирных кислот в триацилглицеридах пророщенного зерна гороха сорта Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка (с 21,38 до 19,44 % и с 16,92 до 7,38 % от общего количества жирных кислот, соответственно), увеличение содержания полиненасыщенных жирных кислот в зерне гороха и фасоли (с 15,29 до 26,36 % и с 26,89 до 40,01 % от общего количества жирных кислот, соответственно), отсутствие мононенасыщенных жирных кислот и транс-изомера линолевой кислоты.

Указанные изменения, в пророщенном зерне гороха и фасоли свидетельствуют о глубоких биохимических преобразованиях липидов. Метаболизм липидов в процессе проращивания зерна осуществляется различными путями при участии ферментов зерна, активность которых в процессе замачивания и про-

**Рисунок 1**

Изменение суммы насыщенных и ненасыщенных жирных кислот триацилглицеридов зерна исследуемых сортов в результате процесса проращивания

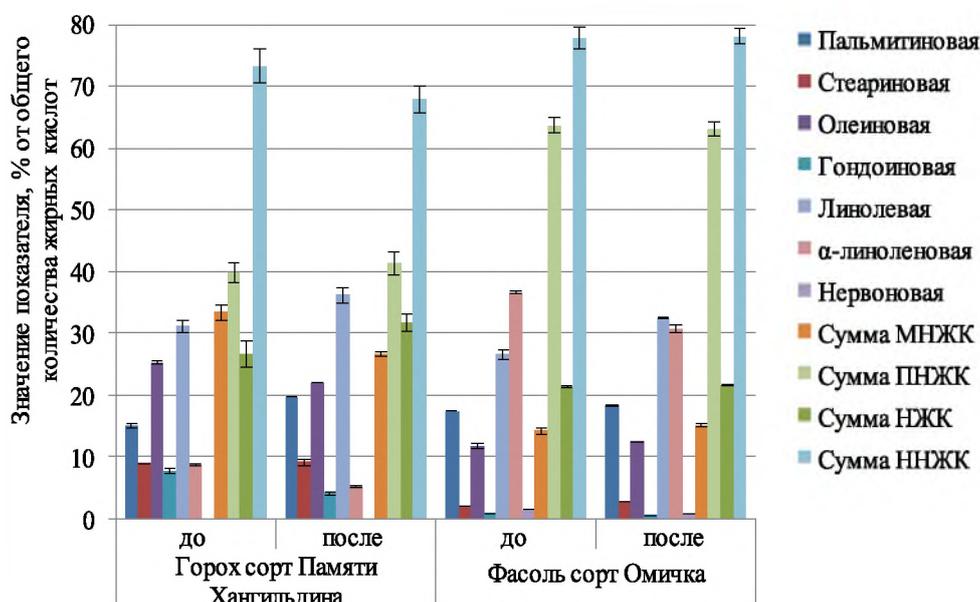


ращивания повышается. Гидролитические ферменты липазы в процессе проращивания высвобождают этерифицированные жирные кислоты из триглицеридов, изменяя соотношение насыщенных и ненасыщенных жирных кислот (Benincasa et al., 2019; Бездудная, 2005) в липидах. Свободные жирные кислоты и глицерин вовлекаются в энергетический метаболизм. Глицерин, через ряд последовательных реакций, участвует в синтезе глюкозы. Свободные

жирные кислоты, в свою очередь, включаются в ряд последовательных ферментативных реакций цикла Кноопа — Линена ( $\beta$ -окисление), в результате которого происходит последовательное расщепление жирных кислот до ацетил-КоА необходимого для глиоксилатного цикла. Жирнокислотный состав липидов зерна гороха сорта Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка до и после проращивания представлен на Рисунке 2.

**Рисунок 2**

Изменение жирнокислотного состава липидов зерна исследуемых сортов в результате процесса проращивания



Примечание: Минорные жирные кислоты ( $C_{14:1}$ ,  $C_{15:1\Delta 10}$ ,  $C_{16:1}$ ,  $C_{17:1}$ ,  $C_{22:1\Delta 13}$ ,  $C_{14:0}$ ,  $C_{15:0}$ ,  $C_{17:0}$ ,  $C_{20:0}$ ,  $C_{22:0}$ ,  $C_{24:0}$ ) с концентрацией менее 0,5% от общего количества жирных кислот на этом рисунке не указаны.

Сравнительный анализ результатов исследований (Рисунок 2) позволил установить увеличение содержания НЖК с 26,56 до 31,72% соответственно и ПНЖК с 39,83 до 41,38%, снижение МНЖК с 33,43 до 26,58% в пророщенном зерне гороха; увеличение содержания НЖК с 21,41 до 21,51% и МНЖК с 14,17 до 15,09%, снижение ПНЖК с 63,72 до 63,08% в пророщенном зерне фасоли. Отмечено высокое содержание в пророщенном зерне гороха и фасоли ненасыщенных жирных кислот (67,96 и 78,18% от общего количества жирных кислот, соответственно) и низкое содержание насыщенных жирных кислот (31,72 и 21,51% от общего количества жирных кислот, соответственно).

В результате процесса проращивания зерна гороха отмечено увеличение линолевой кислоты с 31,11 до 36,16%, пальмитиновой кислоты с 14,93 до 19,69% и стеариновой кислоты с 8,86 до 9,11%, снижение  $\alpha$ -линоленовой кислоты с 8,65 до 5,22%, олеиновой кислоты с 25,26 до 21,91% и гондоиновой кислоты с 7,64 до 4,09%. В процессе проращивания зерна фасоли отмечено увеличение линолевой с 26,60 до 32,42% и олеиновой кислоты с 11,70 до 12,45%, пальмитиновой с 17,40 до 18,27% и стеариновой с 1,93 до 2,70% кислот, снижение  $\alpha$ -линоленовой с 36,62 до 30,66% и нервоновой с 1,38 до 0,68% кислот. Выше перечисленные жирные кислоты представлены в пророщенном зерне гороха и фасоли в наибольшем количестве. Доминирующей жирной кислотой как в пророщенном зерне гороха, так и в пророщенном зерне фасоли, является линолевая кислота содержание которой достигает 36,16 и 32,42% от общего количества жирных кислот, соответственно.

Полученные нами результаты во многом согласуются с данными других ученых; в то же время, имеются и иные сведения. Так, Абдель-Рахман и др. при изучении влияния процесса проращивания на липидный профиль бобов мунг засвидетельствовали, как и в наших исследованиях, снижение доли олеиновой кислоты с 15,78 до 14,40%, увеличение линолевой с 16,98 до 18,34%, пальмитиновой с 16,15 до 17,46% и стеариновой с 6,33 до 7,73% кислот, однако в отличие от наших исследований ученые показывают увеличение  $\alpha$ -линоленовой кислоты с 16,98 до 18,34% (Abdel-Rahman et al., 2007).

Megat Rusydi и др. в своих исследованиях отмечают, что при проращивании зерна фасоли снижается

содержание пальмитиновой с 17,92 до 12,06%, стеариновой с 5,13 до 2,69%, олеиновой с 9,73 до 2,52%, линолевой с 29,56 до 18,93% и линоленовой с 12,75 до 8,88% кислот (Megat-Rusydi et al., 2011). Ziarno и др. отмечают незначительные изменения содержания олеиновой кислоты (с 17,59 до 18,30%), увеличение пальмитиновой (с 12,79 до 16,72%) и стеариновой (с 3,68 до 5,66%) кислот, снижение доли линолевой (с 39,26 до 33,59%) и  $\alpha$ -линоленовой (с 23,25 до 18,97%) кислот при проращивании фасоли (Ziarno et al., 2020). Данные различия объяснимы видовой и сортовой изменчивостью культур, почвенно-климатическими условиями, параметрами проращивания и многими другими факторами.

## ВЫВОДЫ

По результатам исследований установлено, что содержание триацилглицеридов в зерне гороха и фасоли исследуемых сортов составляет от 53,20 до 55,74% и от 56,56 до 57,73% от общего количества липидов, соответственно. В триацилглицеридах всех изученных сортов идентифицированы остатки ненасыщенных жирных кислот и глицерина, за исключением гороха сорт Чижминский 95.

Во всех исследуемых сортах гороха и фасоли пальмитиновая, стеариновая, линолевая,  $\alpha$ -линоленовая и олеиновая кислоты наиболее распространены. Доминирующей полиненасыщенной жирной кислотой для всех исследуемых сортов гороха является линолевая кислота (19,01–31,11% от общего количества жирных кислот, соответственно), для зерна фасоли  $\alpha$ -линоленовая кислота (31,76–36,62% от общего количества жирных кислот, соответственно). Липиды зерна гороха сорта Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка обладают значительно большей физиологической ценностью, ввиду большего содержания полиненасыщенных жирных кислот (39,83 и 63,72% от общего содержания жирных кислот, соответственно), являющихся незаменимыми для человека.

В процессе проращивания зерна гороха сорт Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка при каталитическом действии ферментов снижается количество жира, происходит качественное и количественное перераспределение жирных кислот в триацилглицеридах зерна. При этом отмечено отсутствие мононенасыщенных жирных кислот и транс-изомера,

повышение содержания полиненасыщенных жирных кислот в 1,7 и 1,5 раза соответственно, снижение насыщенных жирных кислот в 1,1 и 2,3 раза соответственно по сравнению с триацилглицеридами нативного зерна. Содержание линолевой кислоты в липидах пророщенного зерна гороха сорт Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка по сравнению с нативным зерном увеличилось с 31,11 до 36,16% и с 26,60 до 32,42% от общего количества жирных кислот, соответственно.

Пророщенное зерно по сравнению с нативным представляет собой более ценный источник незаменимой полиненасыщенной линолевой жирной кислоты, являющейся биохимическим предшественником физиологически значимых длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (Гладышев, 2012). Арахидоновая, эйкозапентаеновая и докозагексаеновая кислоты — не только важные структурные компоненты клеточных мембран всех органов и тканей, но и биохимические предшественники синтеза эндогормонов — эйкозаноидов, регулирующие многочисленные функции, включая степень воспалительной реакции, уровень

активности клеток иммунной системы и ряд других (Берзегова, 2007).

С учетом вышесказанного, наиболее перспективным является дальнейшее использование пророщенного зерна гороха сорт Памяти Хангильдина и фасоли сорта Омичка как в качестве основного сырья в технологии продуктов сегмента «dairy alternatives», так и в качестве функционального ингредиента продуктов питания.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Вебер Анна Леонидовна:** концептуализация, методология, администрирование данных, создание черновика рукописи, создание рукописи и её редактирование, визуализация, руководство исследованием.

**Леонова Светлана Александровна:** верификация данных, формальный анализ, проведение исследования, ресурсы, создание рукописи и её редактирование.

## ЛИТЕРАТУРА

- Алгазин, Д. Н., Воробьёв, Д. А., Забудский, А. И., Данникер, А. А. & Фалькович, Л.Л. (2017). Смарт спраутер «Росинка». *Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ*, (1), 18.
- Бездудная, Е. Ф. (2005). Динамика липидов в семенах и проростках сои при проращивании. *Вестник Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина. Биология*, (1–2), 22–27.
- Берзегова, А. А. (2007). Значение липидов для организма человека. *Новые технологии*, (4), 40–42.
- Босак, В. Н., & Сачивко, Т. В. (2018). Особенности аминокислотного состава и биологическая ценность белка бобовых овощных культур. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*, (1), 37–40.
- Василенко, А. А., Тымчук, С. М., Поздняков, В. В., Супрун, О. Г., Анциферова, О. В., & Безуглый И. М. (2017). Содержание и жирнокислотный состав масла в семенах крахмалмодифицирующих мутантов гороха. *Зернобобовые и крупяные культуры*, (3), 33–39.
- Вебер, А. Л., Леонова, С. А., & Давлетов Ф. А. (2019). Фитохимический потенциал и ингибиторная активность новых сортов зернобобовых культур. *Техника и технология пищевых производств*, 49(2), 281–288. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-281-288>
- Витол, И. С., Мелешкина, Е. П., & Панкратов, Г. Н. (2023). Оруби из композитной зерновой смеси как объект глубокой переработки. Углеводно-амилазные и липидные комплексы. *Пищевые системы*, 6(1), 22–28. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-22-28>
- Воловик, В. Т., Леонидова, Т. В., Коровина, Л. М., Блохина, Н. А., & Касарина, Н. П. (2019). Сравнение жирнокислотного состава различных пищевых масел. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, (5), 147–152. <http://doi.org/10.17513/mjpf.12754>
- Гладышев, М. И. (2012). Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека. *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*, (4), 352–386.
- Давлетов, Ф. А., Гайнуллина, К. П., & Магафурова, Ф. Ф. (2020). Сравнительное изучение хозяйственно-биологических признаков у сортов гороха, созданных в республике Башкортостан за последние 30 лет. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, (4), 72–77. <http://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-84-4-72-77>
- Зогиков, В. И., Полухин, А. А., Грядунова, Н. В., Сидоренко, В. С., & Хмызова, Н. Г. (2020). Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений. *Зернобобовые и крупяные культуры*, (4), 5–17. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11198>
- Зогиков, В. И., Сидоренко, В. С., & Грядунова, Н. В. (2018). Развитие производства зернобобовых культур в Российской

- Федерации. *Зернобобовые и крупяные культуры*, (2), 4–10. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>
- Колпакова, В. В., Куликов, Д. С., Уланова, Р. В., & Чумикина, Л. В. (2021). Пищевые и кормовые белковые препараты из гороха и нута: производство, свойства, применение. *Техника и технология пищевых производств*, 51(2), 333–348. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348>.
- Кудашева, А. В., Галиев, Б. Х., Ширнина, Н. М., & Родионова, Г. Б. (2013). Региональные особенности жирокислотного состава зерна на примере Оренбургской области. *Животноводство и кормопроизводство*, 79, 104–109.
- Лебская, Т. К., Баль-Прилипко, Л. В., Менчинская, А. А., & Лебский, С. О. (2020). Липидный профиль черноморской травяной креветки *Palaemon adspersus* Rathke, 1837. *Вопросы питания*, 89(1), 96–100. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10011>
- Лютикова, М. Н., Туров, Ю. П., & Ботиров, Э. Х. (2013). Применение хромато-масс-спектрометрии для определения свободных и этерифицированных жирных кислот при их совместном присутствии в растительном сырье. *Тонкие химические технологии*, 8(2), 52–57.
- Никифорова, Т. А., Севериненко, С. М., Куликов, Д. А., & Пономарев, С. Г. (2010). Потенциальные возможности побочных продуктов крупяных производств. *Вестник Оренбургского государственного университета*, 5 (111), 141–144.
- Новиков, О. О., Писарев, Д. И., & Ванхин, О. А. (2013). Использование метода MALDI/TOF/MS для исследования компонентов жирных масел растительного происхождения. *Актуальные проблемы медицины*, (24–1), 110–114.
- Петрова, С. Н., Ещенко, А. Р., & Минеева, Е. М. (2019). О жировой составляющей питания дошкольников. *Техника и технология пищевых производств*, 49(4), 621–628. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-621-628>
- Попова, А. Ю., Тутельян, В. А., & Никитюк, Д. Б. (2021). О новых нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. *Вопросы питания*, 90(4), 6–19. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
- Самофалова, Л. А., & Сафронова, О. В. (2017). Методологические подходы к проращиванию семян сельскохозяйственных культур, тестирование успеха прорастания. *Зернобобовые и крупяные культуры*, (3), 68–74.
- Тутельян, В. А., Нечаев, А. П., & Балыхин, М. Г. (2021). *Пищевые ингредиенты в продуктах питания: От науки к технологиям*: Монография. М.: Московский государственный университет пищевых производств
- Фролова, Ю. В., Кочеткова, А. А., Соболев, Р. В., Воробьева, В. М., & Коденцова, В. М. (2021). Олеогели как перспективные пищевые ингредиенты липидной природы. *Вопросы питания*, 90(4), 64–73. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-64-73>
- Шаршунов, В. А., Урбанчик, Е. Н., Шалюта, А. Е., & Галдова, М. Н. (2016). Получение биологически активного зернового продукта на основе смесей пророщенного зерна пшеницы и овса голозерного. *Вестник национальной академии наук Беларуси*, (4), 118–125.
- Ширшова, Т. И., Бешлей, И. В., & Уфимцев, К. Г. (2022). Нейтральные липиды и высшие жирные кислоты в некоторых представителях рода *Allium* L. флоры Республики Коми. *Химия растительного сырья*, (3), 219–227. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310599>
- Abdel-Rahman, E. A., El-Fishawy, F. A., El-Geddawy, M. A., Kurz, T., El-Rify, M. N. (2007). The changes in the lipid composition of mung bean seeds as affected by processing methods. *International Journal of Food Engineering*, 3(5), Article 6. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1186>
- Altinoz, M. A., & Ozpinar, A. (2019). PPAR- $\delta$  and erucic acid in multiple sclerosis and Alzheimer's Disease. Likely benefits in terms of immunity and metabolism. *International Immunopharmacology*, 69, 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2019.01.057>
- Altinoz, M. A., Elmaci, İ., Hacimuftuoglu, A., Ozpinar, A., Hacker, E., & Ozpinar, A. (2021). PPAR $\delta$  and its ligand erucic acid may act anti-tumoral, neuroprotective, and myelin protective in neuroblastoma, glioblastoma, and Parkinson's disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 78, Article 100871. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2020.100871>
- Bautista-Expósito, S., Vandenberg, A., Peñas, E., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2021). Lentil and fava bean with contrasting germination kinetics: a focus on digestion of proteins and bioactivity of resistant peptides. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 754287. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.754287>
- Bouchenak, M., & Lamri-Senhadji, M. (2013). Nutritional quality of legumes, and their role in cardiometabolic risk prevention: A review. *Journal of Medicinal Food*, 16(3), 185–198. <https://doi.org/10.1089/jmf.2011.0238>
- Byrdwell, W. C., & Goldschmidt, R. J. (2022). Fatty acids of ten commonly consumed pulses. *Molecules*, 27, Article 7260. <https://doi.org/10.3390/molecules27217260>
- Carballeira, N. M., Betancourt, J. E., Orellano, E. A., & González, F. A. (2002). Total synthesis and biological evaluation of (5Z,9Z)-5,9-hexadecadienoic acid, an inhibitor of human topoisomerase I. *Journal of Natural Products*, 65(11), 1715–1718. <https://doi.org/10.1021/np0202576>.
- Carrillo, C., Cavia, M. del M., & Alonso-Torre, S. R. (2012). Antitumor effect of oleic acid; mechanisms of action: A review. *Nutricion hospitalaria*, 27(6), 1860–1865. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.6.6010>
- Cholewski, M., Tomczykowa, M., & Tomczyk, M. (2018). A comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. *Nutrients*, 10(11), Article 1662. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>
- D'Angelo, S., Motti, M. L., & Meccariello, R. (2020).  $\omega$ -3 and  $\omega$ -6 polyunsaturated fatty acids, obesity and cancer. *Nutrients*, 12(9), Article 2751. <https://doi.org/10.3390/nu12092751>
- De Lorgeril M. (2007). Essential polyunsaturated fatty acids, inflammation, atherosclerosis and cardiovascular diseases. *Sub-cellular biochemistry*, 42, 283–297. [https://doi.org/10.1007/1-4020-5688-5\\_13](https://doi.org/10.1007/1-4020-5688-5_13)
- Farag, M. A., & Gad, M. Z. (2022). Omega-9 fatty acids: Potential roles in inflammation and cancer management. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology*, 20(1), Article 48. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00329-0>

- Fialkow, J. (2016). Omega-3 fatty acid formulations in cardiovascular disease: dietary supplements are not substitutes for prescription products. *American Journal of Cardiovascular Drugs: Drugs, Devices, and other Interventions*, 16(4), 229–239. <https://doi.org/10.1007/s40256-016-0170-7>
- Grela, E. R., & Gunter, K. D. (1995). Fatty acid composition and tocopherol content of some legume seeds. *Animal Feed Science and Technology*, 52, 325–331. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)00733-P](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)00733-P)
- Kim, S. J., Zaidul, I. S., Suzuki, T., Mukasa, Y., Hashimoto, N., Takigawa, S., Noda, T., Matsuura-Endo, C., & Yamauchi, H. (2008). Comparison of phenolic compositions between common and tartary buckwheat (*Fagopyrum*) sprouts. *Food Chemistry*, 110(4), 814–820. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.050>
- Kumar, J. B. S., & Sharma, B. (2022). A review on neuropharmacological role of erucic acid: An omega-9 fatty acid from edible oils. *Nutritional Neuroscience*, 25(5), 1041–1055. <https://doi.org/10.1080/1028415X.2020.1831262>
- Megat-Rusydi, M. R., Noraliza, C. W., Azrina, A., & Zulkhairi, A. (2011). Nutritional changes in germinated legumes and rice varieties. *International Food Research Journal*, 18(2), 705–713.
- Ogori, A. F. (2020). Source, extraction and constituents of fats and oils. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 6, Article 60. <https://doi.org/10.24966/FSN-1076/100060>
- Pegoraro, N. S., Camponogara, C., Gehrcke, M., Giuliani, L. M., da Silva, D. T., Maurer, L. H., Dias, P., Emanuelli, T., Cruz, L., & Oliveira, S. M. (2020). Oleic acid-containing semisolid dosage forms exhibit in vivo anti-inflammatory effect via glucocorticoid receptor in a UVB radiation-induced skin inflammation model. *Inflammopharmacology*, 28(3), 773–786. <https://doi.org/10.1007/s10787-019-00675-5>
- Samtiya, M., Aluko, R.E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2, Article 6. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
- Tomczyk, M. A (2018) Comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. *Nutrients*, 10, Article 1662. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>
- Veber, A. L., Leonova, S. A., Simakova, I. V., & Esmurzaeva, Zh. B. (2020). The development of a beverage with a dispersion structure from pea grains of domestic selection. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 624, Article 012127. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012127>
- Yoshida, H., Saiki, M., Yoshida, N., Tomiyama, Y., & Mizushina, Y. (2009). Fatty acid distribution in triacylglycerols and phospholipids of broad beans (*Vicia faba*). *Food Chemistry*, 112(4), 924–928. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.003>
- Yoshida, H., Tomiyama, Y., Tanaka, M., & Mizushina, Y. (2007). Distribution of fatty acids in triacylglycerols and phospholipids from peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2709–2714. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3035>
- Yoshida, H., Tomiyama, Y., Kita, S., & Mizushina, Y. (2005). Lipid classes, fatty acid composition and triacylglycerol molecular species of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107(5), 307–315. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200401078>
- Ziarno, M., Brys, J., Parzyszek, M., & Veber, A. (2020). Effect of lactic acid bacteria on the lipid profile of bean-based plant substitute of fermented milk. *Microorganisms*, 8(9), Article 1348. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091348>

## REFERENCES

- Algazin, D. N., Vorob'ev, D. A., Zabudskii, A. I., Danniker, A. A. & Fal'kovich, L.L. (2017). Smart sprauter “Rosinka” [Smart sprouter “Dewdrop”]. *Elektronnyi nauchno-metodicheskii zhurnal Omskogo GAU [Electronic Scientific and Methodological Journal of the Omsk State University]*, (1), 18.
- Berezogova, A. A. (2007). Znachenie lipidov dlya organizma cheloveka [The importance of lipids for the human body]. *Novye tekhnologii [New Technologies]*, (4), 40–42.
- Bezudnaya, E. F. (2005). Dinamika lipidov v semenakh i prorstkakh soi pri pro-rastanii [Dynamics of lipids in soybean seeds and seedlings during germination]. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo universiteta imeni V. N Karazina. Biologiya*, (1–2), 22–27.
- Bosak, V.N., & Sachivko, T.V. (2018). Osobennosti aminokislотного состава i biologicheskaya tsennost' belka bobovykh ovoshchnykh kul'tur [Features of the amino acid composition and biological value of the protein of bo-bo vegetable crops]. *Vestnik Belorusskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, (1), 37–40.
- Davletov, F. A., Gainullina, K. P., & Magafurova, F. F. (2020). Sravnitel'noe izuchenie khozyaistvenno-biologicheskikh priznakov u sortov gorokha, sozdannykh v respublike Bashkortostan za poslednie 30 let [Comparative study of economic and biological characteristics of pea varieties created in the Republic of Bashkortostan over the past 30 years]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]*, (4), 72–77. <http://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-84-4-72-77>
- Frolova, Yu. V., Kochetkova, A. A., Sobolev, R. V., Vorob'eva, V. M., & Kodentsova, V. M. (2021). Oleogeli kak perspektivnye pishchevye ingredienty lipidnoi prirody [Oleogels as promising food ingredients of lipid nature]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 90(4), 64–73. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-64-73>
- Gladyshev, M. I. (2012). Nezamenimye polinenasyshchennyye zhirnyye kisloty i ikh pishchevye istochniki dlya cheloveka [Essential polyunsaturated fatty acids and their food sources for humans]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya [Journal of the Siberian Federal University. Biology]*, (4), 352–386.
- Kolpakova, V. V., Kulikov, D. S., Ulanova, R. V., & Chumikina, L. V. (2021). Pishche-vye i kormovyye belkovyye preparaty iz gorokha i nuta: proizvodstvo, svoystva, primenenie [Food and feed

- protein preparations from peas and chickpeas: production, properties, application]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, 51(2), 333–348. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348>.
- Kudasheva, A. V., Galiev, B. Kh., Shirmina, N. M., & Rodionova, G. B. (2013). Regio-nal'nye osobennosti zhirkislotnogo sostava zerna na primere Orenburg-skoi oblasti [Regional features of the fatty acid composition of grain on the example of the Orenburg region]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo [Animal Husbandry and Feed Production]*, 79, 104–109.
- Lebskaya, T. K., Bal'-Prilipko, L. V., Menchinskaya, A. A., & Lebskii, S. O. (2020). Lipidnyi profil' chernomorskoi travyanoi krevetki Palaemon adspersus Rathke, 1837 [Lipid profile of the Black Sea grass shrimp Palaemon adspersus Rathke, 1837]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 89(1), 96–100. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10011>
- Lytukova, M. N., Turov, Yu. P., & Botirov, E. Kh. (2013). Primenenie khromato-mass-spektrometrii dlya opredeleniya svobodnykh i eterifitsirovannykh zhirnykh kislot pri ikh sovместnom prisutstvii v rastitel'nom syr'e [The use of chromatography-mass spectrometry for the determination of free and esterified fatty acids in their combined presence in growing raw materials]. *Tonkie khimicheskie tekhnologii [Fine Chemical Technologies]*, 8(2), 52–57.
- Nikiforova, T. A., Severinenko, S. M., Kulikov, D. A., & Ponomarev, S. G. (2010). Potencial'nye vozmozhnosti pobochnykh produktov krupyanykh proizvodstv [Potential opportunities of by-products from cereal production]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 5(111), 141–144.
- Novikov, O. O., Pisarev, D. I., & Vankhin, O. A. (2013). Ispol'zovanie metoda MALDI/TOF/MS dlya issledovaniya komponentov zhirnykh masel rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Using the MALDI/TOF/MS method to study the components of fatty oils of vegetable origin]. *Aktual'nye problemy meditsiny [Actual Problems of Medicine]*, (24–1), 110–114.
- Petrova, S. N., Eshchenko, A. R., & Mineeva, E. M. (2019). O zhirovoi sostavlyayushchei pitaniya doshkol'nikov [About the fat component of the nutrition of preschoolers]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, 49(4), 621–628. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-621-628>
- Popova, A. Yu., Tutel'yan, V. A., & Nikityuk, D. B. (2021). O novykh normakh fizio-logicheskikh potrebnosti v energii i pishchevykh veshchestvakh dlya razlichnykh grupp naseleniya Rossiiskoi Federatsii [About new norms of physiological needs for energy and food items for various groups of the population of the Russian Federation]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 90(4), 6–19. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
- Samofalova, L. A., & Safronova, O. V. (2017). Metodologicheskie podkhody k prorashchivaniyu semyan sel'skokhozyaistvennykh kul'tur, testirovanie uspekha prorstaniya [Methodological approaches to germination of seeds of agricultural crops, testing of germination success]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury [Legumes and Cereals]*, (3), 68–74.
- Sharshunov, V. A., Urbanchik, E. N., Shalyuta, A. E., & Galdova, M. N. (2016). Poluchenie biologicheskii aktivnogo zernovogo produkta na osnove smesei proroshchennogo zerna pshenitsy i ovsа golozer'nogo [Obtaining a biologically active grain product based on mixtures of sprouted wheat and naked oats]. *Vestnik natsional'noi akademii nauk Belarusi [Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus]*, (4), 118–125.
- Shirshova, T. I., Beshlei, I. V., & Ufimtsev, K. G. (2022). Neitral'nye lipidy i vysshie zhirnye kisloty v nekotorykh predstavitel'yakh roda Allium L. flory Respubliki Komi [Neutral lipids and higher fatty acids in some representatives of the genus Allium L. flora of the Komi Republic]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Materials]*, (3), 219–227. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220310599>
- Tutel'yan, V. A., Nechaev, A. P., & Balykhin, M. G. (2021). *Pishchevye ingredienty v produktakh pitaniya: Ot nauki k tekhnologiyam: Monografiya [Food ingredients in food: From Science to technology: A monograph]*. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv
- Vasilenko, A. A., Tymchuk, S. M., Pozdnyakov, V. V., Suprun, O. G., Antsiferova, O. V., & Bezuglyi I. M. (2017). Soderzhanie i zhirkislotnyi sostav masla v semenakh krakhmal-modifitsiruyushchikh mutantov gorokha [The content and fatty acid composition of oil in the seeds of starch-modifying mutants of peas]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury [Legumes and Cereals]*, (3), 33–39.
- Veber, A. L., Leonova, S. A., & Davletov F. A. (2019). Fitokhimicheskii potentsial i ingibitornaya aktivnost' novykh sortov zernobobovykh kul'tur [Phytochemical potential and inhibitory activity of new varieties of leguminous crops]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, 49(2), 281–288. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-281-288>
- Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., & Pankratov, G. N. (2023). Otrubi iz kompozitnoi zernovoi smesi kak ob'ekt glubokoi pererabotki. Uglevodno-amilaznye i lipidnye komplekсы [Bran from a composite grain mixture as an object of deep processing. Carbohydrate-amylase and lipid complexes]. *Pishchevye sistemy [Food Systems]*, 6(1), 22–28. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-22-28>
- Volovik, V. T., Leonidova, T. V., Korovina, L. M., Blokhina, N. A., & Kasarina, N. P. (2019). Sravnenie zhirkislotnogo sostava razlichnykh pishchevykh masel [Comparison of fatty acid composition of various edible oils. International]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [Journal of Applied and Fundamental Research]*, (5), 147–152. <http://doi.org/10.17513/mjpf.12754>
- Zotikov, V. I., Polukhin, A. A., Gryadunova, N. V., Sidorenko, V. S., & Khmyzova, N. G. (2020). Razvitie proizvodstva zernobobovykh i krupyanykh kul'tur v Rossii na osnove ispol'zovaniya selektsionnykh dostizhenii [The development of the production of legumes and cereals in Russia based on the use of breeding achievements]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury [Legumes and Cereals]*, (4), 5–17. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11198>
- Zotikov, V. I., Sidorenko, V. S., & Gryadunova, N. V. (2018). Razvitie proizvodstva zernobobovykh kul'tur v Rossiiskoi Federatsii [Development of the production of leguminous crops in the Russian Federation]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury [Legumes and Cereals]*, (2), 4–10. <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2018-10008>

- Abdel-Rahman, E. A., El-Fishawy, F. A., El-Geddawy, M. A., Kurz, T., El-Rify, M. N. (2007). The changes in the lipid composition of mung bean seeds as affected by processing methods. *International Journal of Food Engineering*, 3(5), Article 6. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1186>
- Altinoz, M. A., & Ozpinar, A. (2019). PPAR-6 and erucic acid in multiple sclerosis and Alzheimer's Disease. Likely benefits in terms of immunity and metabolism. *International Immunopharmacology*, 69, 245–256. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2019.01.057>
- Altinoz, M. A., Elmaci, İ., Hacimuftuoglu, A., Ozpinar, A., Hacker, E., & Ozpinar, A. (2021). PPAR-6 and its ligand erucic acid may act anti-tumoral, neuroprotective, and myelin protective in neuroblastoma, glioblastoma, and Parkinson's disease. *Molecular Aspects of Medicine*, 78, Article 100871. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2020.100871>
- Bautista-Expósito, S., Vandenberg, A., Peñas, E., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2021). Lentil and fava bean with contrasting germination kinetics: a focus on digestion of proteins and bioactivity of resistant peptides. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 754287. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.754287>
- Bouchenak, M., & Lamri-Senhadj, M. (2013). Nutritional quality of legumes, and their role in cardiometabolic risk prevention: A review. *Journal of Medicinal Food*, 16(3), 185–198. <https://doi.org/10.1089/jmf.2011.0238>
- Byrdwell, W. C., & Goldschmidt, R. J. (2022). Fatty acids of ten commonly consumed pulses. *Molecules*, 27, Article 7260. <https://doi.org/10.3390/molecules27217260>
- Carballeira, N. M., Betancourt, J. E., Orellano, E. A., & González, F. A. (2002). Total synthesis and biological evaluation of (5Z,9Z)-5,9-hexadecadienoic acid, an inhibitor of human topoisomerase I. *Journal of Natural Products*, 65(11), 1715–1718. <https://doi.org/10.1021/np0202576>
- Carrillo, C., Cavia, M. del M., & Alonso-Torre, S. R. (2012). Antitumor effect of oleic acid; mechanisms of action: A review. *Nutricion hospitalaria*, 27(6), 1860–1865. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.6.6010>
- Cholewski, M., Tomczykowa, M., & Tomczyk, M. (2018). A comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. *Nutrients*, 10(11), Article 1662. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>
- D'Angelo, S., Motti, M. L., & Meccariello, R. (2020).  $\omega$ -3 and  $\omega$ -6 polyunsaturated fatty acids, obesity and cancer. *Nutrients*, 12(9), Article 2751. <https://doi.org/10.3390/nu12092751>
- De Lorgeril M. (2007). Essential polyunsaturated fatty acids, inflammation, atherosclerosis and cardiovascular diseases. *Sub-cellular biochemistry*, 42, 283–297. [https://doi.org/10.1007/1-4020-5688-5\\_13](https://doi.org/10.1007/1-4020-5688-5_13)
- Farag, M. A., & Gad, M. Z. (2022). Omega-9 fatty acids: Potential roles in inflammation and cancer management. *Journal of Genetic Engineering & Biotechnology*, 20(1), Article 48. <https://doi.org/10.1186/s43141-022-00329-0>
- Fialkow, J. (2016). Omega-3 fatty acid formulations in cardiovascular disease: dietary supplements are not substitutes for prescription products. *American Journal of Cardiovascular Drugs: Drugs, Devices, and other Interventions*, 16(4), 229–239. <https://doi.org/10.1007/s40256-016-0170-7>
- Grela, E. R., & Gunter, K. D. (1995). Fatty acid composition and tocopherol content of some legume seeds. *Animal Feed Science and Technology*, 52, 325–331. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)00733-P](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)00733-P)
- Kim, S. J., Zaidul, I. S., Suzuki, T., Mukasa, Y., Hashimoto, N., Takigawa, S., Noda, T., Matsuura-Endo, C., & Yamauchi, H. (2008). Comparison of phenolic compositions between common and tartary buckwheat (*Fagopyrum*) sprouts. *Food Chemistry*, 110(4), 814–820. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.050>
- Kumar, J. B. S., & Sharma, B. (2022). A review on neuropharmacological role of erucic acid: An omega-9 fatty acid from edible oils. *Nutritional Neuroscience*, 25(5), 1041–1055. <https://doi.org/10.1080/1028415X.2020.1831262>
- Megat-Rusydi, M. R., Noraliza, C. W., Azrina, A., & Zulkhairi, A. (2011). Nutritional changes in germinated legumes and rice varieties. *International Food Research Journal*, 18(2), 705–713.
- Ogori, A. F. (2020) Source, extraction and constituents of fats and oils. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 6, Article 60. <https://doi.org/10.24966/FSN-1076/100060>
- Pegoraro, N. S., Camponogara, C., Gehrcke, M., Giuliani, L. M., da Silva, D. T., Maurer, L. H., Dias, P., Emanuelli, T., Cruz, L., & Oliveira, S. M. (2020). Oleic acid-containing semisolid dosage forms exhibit in vivo anti-inflammatory effect via glucocorticoid receptor in a UVB radiation-induced skin inflammation model. *Inflammopharmacology*, 28(3), 775–786. <https://doi.org/10.1007/s10787-019-00675-5>
- Samtiya, M., Aluko, R.E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2, Article 6. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
- Tomczyk, M. A (2018) Comprehensive review of chemistry, sources and bioavailability of omega-3 fatty acids. *Nutrients*, 10, Article 1662. <https://doi.org/10.3390/nu10111662>
- Veber, A. L., Leonova, S. A., Simakova, I. V., & Esmurzaeva, Zh. B. (2020). The development of a beverage with a dispersion structure from pea grains of domestic selection. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 624, Article 012127. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/624/1/012127>
- Yoshida, H., Saiki, M., Yoshida, N., Tomiyama, Y., & Mizushina, Y. (2009). Fatty acid distribution in triacylglycerols and phospholipids of broad beans (*Vicia faba*). *Food Chemistry*, 112(4), 924–928. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.003>
- Yoshida, H., Tomiyama, Y., Tanaka, M., & Mizushina, Y. (2007). Distribution of fatty acids in triacylglycerols and phospholipids from peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2709–2714. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3035>
- Yoshida, H., Tomiyama, Y., Kita, S., & Mizushina, Y. (2005). Lipid classes, fatty acid composition and triacylglycerol molecular species of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 107(5), 307–315. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200401078>
- Ziarno, M., Brys, J., Parzyszek, M., & Veber, A. (2020). Effect of lactic acid bacteria on the lipid profile of bean-based plant substitute of fermented milk. *Microorganisms*, 8(9), Article 1348. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091348>