

## Семена люпина – альтернатива сое в формировании потребительских свойств продовольственных товаров

Д-р техн. наук **И.А. Глотова**, glotova-irina@yandex.ru

**А.О. Рязанцева**, lyutikova\_92@mail.ru

канд. техн. наук **Н.А. Галочкина**, galochkina.na@mail.ru

*Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I  
394087, Россия, Воронеж, ул. Мичурина, 1*

Канд. техн. наук **А.Е. Куцова**, ois-vguit@mail.ru

*Воронежский государственный университет инженерных технологий  
394000, Россия, Воронеж, пр. Революции, 19*

Исследовали биотехнологический потенциал нативных и подвергнутых различным способам предварительной обработки семян люпина с целью использовать их как сырье для продовольственных товаров, позволяющее формировать их детерминированные потребительские свойства. Использовали семена люпина безалкалоидного сорта Гамма селекции ВНИИ люпина (г. Брянск). Морфометрические, биохимические методы исследования, элементы SWOT-анализа применялись по отношению к люпину как альтернативной сое бобовой культуре при культивировании в России. Опыты проводили в трехкратной повторности на металлических перфорированных лотках, на каждый из которых помещали по 300 г неповрежденных семян люпина. Различия семян по массе на каждом из лотков составляли  $\pm 5\%$ . Рассматривали влияние различных способов предварительной обработки на морфологические, размерные характеристики и биохимический состав семян люпина в сравнении с контролем (образец № 1): замачивание и проращивание в водопроводной воде (образец № 2); замачивание и проращивание в смеси водопроводной воды с творожной сывороткой (образец № 3), а также обработка по вариантам № 2 и 3 в сочетании с мокрым шелушением (образцы № 4 и 5 соответственно). При изучении влияния условий замачивания и проращивания на биологическую ценность семян люпина учитывали влияние таких факторов, как катионно-анионный состав и pH среды, используемой для реализации процессов биоактивации семян люпина. Установлено, что проращивание и мокрое шелушение семян повышают скор лимитирующей аминокислоты для различных экспериментальных образцов. Уменьшение содержания танинов составило 35,70; 46,69; 64,67; 72,97% по вариантам обработки № 2–5 соответственно. Снижение трипсинингибирующей активности семян люпина составило от 23,32% для варианта № 2 до 87,22% для варианта № 5. Показаны перспективы использования пророщенных семян люпина в качестве основы для проектирования белково-углеводных композиций и их применения в составе рецептов продуктов питания с заданными потребительскими свойствами.

**Ключевые слова:** люпин; семена; биотехнологический потенциал; молочная сыворотка; проращивание; шелушение; аминокислотный состав; антипитательные вещества.

DOI: 10.17586/2310-1164-2019-12-2-69-79

## Lupine seeds as an alternative to soy in terms of food products consumer properties

D. Sc. **Irina A. Glotova**, glotova-irina@yandex.ru

**Alina O. Ryazantseva**, lyutikova\_92@mail.ru

Ph. D. **Nadezhda A. Galochkina**, galochkina.na@mail.ru

*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great  
1, Michurina str., Voronezh, 394087, Russia*

Ph. D. **Alla E. Kutsova**, ois-vguit@mail.ru

*Voronezh State University of Engineering Technologies  
19, Revolution ave., Voronezh, 394036, Russia*

The biotechnological potential of lupine seeds, native and subjected to various pretreatment methods, was evaluated in order to use them as raw materials for food products, allowing to form deterministic consumer properties. Lupine seeds of Gamma selection non-alkaloid variety by the All-Russian Research Institute of Lupine (Bryansk) were chosen as the object of the study. Morphometric, biochemical research methods, elements of the SWOT analysis were used for lupine as an alternative to soya bean crop cultivated in Russia. The experiments were carried out in triplicate on metal perforated trays, on each

of which 300 g of intact lupine seeds were placed. The differences of seeds by weight on each of the trays were  $\pm 5\%$ . The effect of various pretreatment methods on the morphological and dimensional characteristics, as well as on biochemical composition of lupine seeds compared with the control sample (No. 1) was investigated: soaking and germination in tap water (sample No. 2); soaking and germination in a mixture of tap water and curd whey (sample No. 3), as well as treatment analogous the one for No. 2 and No. 3 in combination with wet peeling (samples No. 4 and 5 respectively). Cationic-anionic composition and pH of the medium used to implement the processes of bioactivation of lupine seeds were taken into account when studying the influence of the conditions of soaking and germination on the biological value of lupine seeds. Germination and wet peeling increases the rate-limiting amino acid for various experimental samples. It is established that the decrease in the content of tannins was 35.70; 46.69; 64.67; 72.97% for treatment options numbers 2–5 respectively. The decrease in trypsin-inhibiting activity of lupine seeds as a result of all the treatment options associated with germination ranged from 23.32% for option No. 2 to 87.22% for option No. 5. Prospects for the use of germinated seeds of lupine as the basis for the design of protein-carbohydrate compositions and their use in the composition of food formulations with desired consumer properties were shown.

**Keywords:** lupine; seeds; biotechnology potential; milk serum; germination; peeling; amino acid composition; anti-nutritional substances.

### Введение

Люпин – многолетнее или однолетнее травянистое растение со стержневой корневой системой, прямостоячими или стелющимися стеблями, покрытыми сложно-пальчатыми очередными листьями на длинных черешках и многоцветковой верхушечной кистью из семейства бобовых [1–3].

Роль бобовых культур в питании человека обусловлена их высокой пищевой и энергетической ценностью. Они являются источником белков, липидов, углеводов, незаменимых аминокислот, непредельных жирных кислот, пищевых волокон, минеральных веществ и витаминов. Зернобобовые превосходят другие культуры по содержанию белка в семенах (зернах) и вегетативных органах. Их семена содержат 25–30% белка, т. е. в 2–3 раза больше, чем семена хлебных злаков. Белок отличается высоким качеством, основных незаменимых аминокислот в нем в 1,5–3,0 раза больше, чем в белке злаковых культур. Массовая доля углеводов в семенах составляет 45–50%. Массовая доля липидов составляет до 27% в сое, около 5% в нуте, до 10% в люпине белом, что также повышает их пищевую ценность [4, 5]. Семена люпина российских сортов «Гамма», «Снежить», «Витязь» являются высокобелковым пищевым сырьем [6].

Результаты SWOT-анализа, выполненного авторами [5, 7] по отношению к сое и альтернативным источникам растительного белка, актуальным в качестве ресурсного обеспечения импортозамещающих технологий получения отечественных белковых препаратов, свидетельствуют, что наряду с положительными качествами, большинство бобовых культур являются источником антипитательных веществ (таблица 1). Группы антиалиментарных веществ в семенах бобовых и способы их удаления на основе традиционных подходов обобщены и проанализированы в работах [8, 9].

Таблица 1 – Группы антиалиментарных веществ в семенах бобовых  
Table 1. Groups of anti-alimentary substances in the seeds of legumes

Антиалиментарные вещества	Люпин	Соя	Горох, чечевица
Ингибиторы трипсина	*	+	+
Лектины			+
Алкалоиды**	+		
Сапонины		+	+
Галактозиды	+	+	+
Фитаты	+	+	+
Олигосахариды (вербаксоза, стахиоза, раффиноза)	+	+	+

\* Активность ингибиторов трипсина в семенах люпина в 50–100 раз ниже, чем в бобах сои [9]

\*\* Основная группа антиалиментарных веществ в семенах люпина

Согласно инструментальным и аналитическим исследованиям авторов [8, 9], традиционными способами детоксикации семян бобовых, сопряженными с объективными трудностями при их реализации, являются тепловая обработка (в случае ингибиторов трипсина и лектинов), экстрагирование

с использованием системы «вода – неполярный растворитель» в случае алкалоидов и олигосахаридов или использование водной экстракции в случае сапонинов, галактозидов, фитатов. Особенности фракционного состава семян.

Прогрессивным биотехнологическим способом снижения содержания антипитательных веществ в семенах бобовых культур является проращивание [4, 9, 10].

Цель работы – оценка биотехнологического потенциала нативных и подвергнутых различным способам предварительной обработки семян люпина как источника сырья для формирования детерминированных потребительских свойств продовольственных товаров.

Задачи работы:

- дать сравнительную оценку перспектив культивирования в России люпина и альтернативных бобовых культур с элементами SWOT-анализа;
- изучить влияние способов предварительной обработки, включая замачивание и проращивание в различных технологических средах, а также мокрое шелушение, на морфологические характеристики, нутриентный и биохимический состав семян люпина;
- оценить применимость пророщенных семян люпина в качестве компонента пищевых систем для формирования детерминированных потребительских свойств продовольственных товаров.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследования служили семена люпина безалкалоидного сорта Гамма селекции ГНУ ВНИИ люпина (г. Брянск), соответствующие требованиям ГОСТ 11227-81 «Семена люпина однолетнего. Сортовые и посевные качества. Технические условия». При этом была решена проблема горького вкуса семян люпина, обусловленного алкалоидами [9, 11].

При разработке программы эксперимента для изучения влияния условий замачивания и проращивания на биологическую ценность семян люпина учитывали влияние таких факторов, как катионно-анионный состав и рН среды, используемой для реализации процессов биоактивации семян люпина, в соответствии с рекомендациями [12–14].

Постановку эксперимента осуществляли в соответствии со схемой, представленной в таблице 2.

*Таблица 2 – Схема эксперимента по исследованию влияния способа предварительной обработки на морфологические, размерные характеристики и биохимический состав семян люпина*

*Table 2. Scheme of the experiment to investigate the effect of the pretreatment method on the morphological, dimensional characteristics, and biochemical composition of lupine seeds*

Способ обработки, номер опыта	Условия обработки семян люпина
1	без обработки (контроль)
2	замачивание и проращивание в водопроводной воде
3	замачивание и проращивание в смеси водопроводной воды с творожной сывороткой в соотношении 1,7:1*
4	обработка по варианту №2 + мокрое шелушение
5	обработка по варианту №3 + мокрое шелушение

*\* установлено экспериментальным путем по комплексу показателей, характеризующих изменения морфологических и гидратационных характеристик семян люпина по данным дифференциальной сканирующей калориметрии*

Опыты проводили в трехкратной повторности на металлических перфорированных лотках, на каждый из которых помещали по 300 г неповрежденных семян люпина сорта Гамма. Различия семян по массе на каждом из лотков составляли ± 5%.

Семена люпина обрабатывали в течение 5 ч раствором гипохлорита натрия с массовой долей 0,07%, промывали водопроводной водой до рН 6,5–7,5, после чего замачивали в 1500 см<sup>3</sup> жидкой среды в соответствии со схемой эксперимента (таблица 1). Продолжительность замачивания составила 5 ч 30 мин при периодическом встряхивании каждые 30 мин.

После замачивания семена помещали на лотки, покрытые влажной фильтровальной бумагой, такую же бумагу помещали поверх семян. Семена проращивали в темноте 3 суток при температуре 20°C при периодическом орошении соответствующей жидкой средой каждые 24 ч. Объем жидкой среды, использованной для орошения семян, составлял 1000 см<sup>3</sup>.

Сырой протеин определяли по методу Кьельдаля на установке Kjeltec 8100 (Дания), жир – методом Сокслета, золу – методом сухого озоления в соответствии с рекомендациями [15].

Сырую клетчатку определяли экспресс-методом в соответствии с ГОСТ 31675-2012 «Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации».

Идентификацию изменений в составе аминокислот семян люпина после разных способов предварительной обработки проводили с использованием метода ионообменной хроматографии на аминокислотном анализаторе ААА Т339 с сульфо-полистирольным ионообменником. Для элюции использовали натрий-цитратные буферные растворы со ступенчатым градиентом [16].

Танин определяли методом, основанным на его окислении перманганатом калия в присутствии индикатора индигокармина в соответствии с рекомендациями ГОСТ 19885-74 «Чай. Методы определения содержания танина и кофеина».

Для количественной оценки содержания фитатов использовали метод непрямого количественного анализа [17–19]. В качестве экстрагента фитатов использовали раствор соляной кислоты с объемной долей 2,4 %. Полученный центрифугированием супернатант пропускали через анионообменную колонку, из которой фитаты элюировали раствором хлорида натрия. Концентрацию фитатов в элюате определяли спектрофотометрическим методом [19].

Трипсинингибирующую активность определяли путем последовательного экстрагирования ингибитора трипсина из образцов семян люпина при рН = 9,5; ингибирования активности трипсина с помощью бензоил-L-аргинин-р-нитроанилида в качестве субстрата; количественного спектрофотометрического определения освобожденного в процессе ферментативной реакции р-нитроанилида с последующим вычислением значения трансингибирующей активности, используя рекомендации ГОСТ 33427-2015 (ISO 14902:2001) «Корма. Определение трипсинингибирующей активности».

### Элементы SWON-анализа люпина как альтернативной сое бобовой культуры

Среди российских агрохолдингов и крестьянских фермерских хозяйств наблюдается тенденция экспоненциального роста посевных площадей под люпином в период с 2011 г по настоящее время (рисунок 1), при соответствующем уменьшении площади посевов сои и гороха [3]. Для отечественных сельхозпроизводителей люпин является более привлекательной культурой, чем соя, в связи с отсутствием ограничений в отношении особенностей почвы или климата.

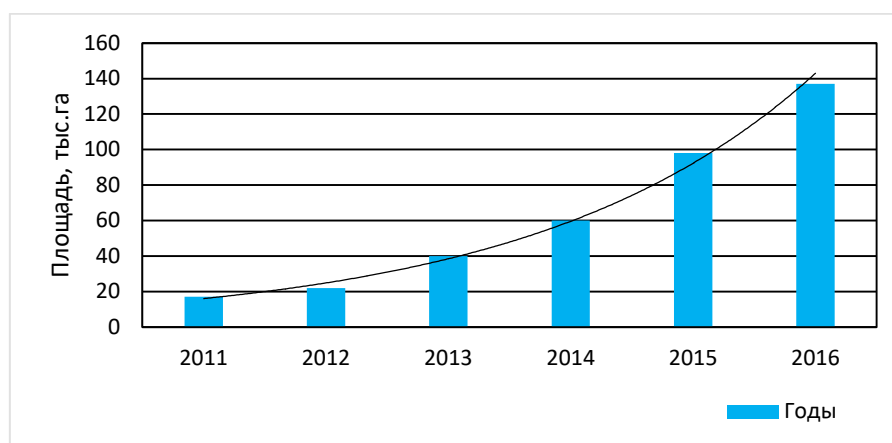


Рисунок 1 – Посевные площади в Российской Федерации под белым люпином (на семена)  
 Figure 1. Sown area under the white lupine (for seeds) in Russian Federation

Важным конкурентным преимуществом люпина для России, по сравнению с соей, является его высокий адаптационный потенциал к почвенно-климатическим условиям в большинстве регионов страны.

Преимущества люпина по сравнению с другими бобовыми культурами обусловлены его биологическими особенностями. В частности, он способен эффективно фиксировать азот из почвы, в связи с этим для его культивирования пригодны даже бедные песчаные сельхозугодья [20].

Наиболее высокий потенциал зерновой продуктивности и содержание в семенах пищевых веществ – белка на уровне 36–40% и жира на уровне 10–12% – имеет белый люпин, по сравнению с другими

однолетними видами люпина: желтым и узколиственным. При этом он имеет лучшие, чем соя характеристики по скороспелости, урожайности и технологичности [1], при сопоставимых с соей показателям пищевой ценности, физическим свойствам и массовым характеристикам.

Усредненные массовые характеристики бобов сои и люпина представлены на рисунке 2, где видно, что семена люпина имеют приблизительно на 25% меньшую массу, чем бобы сои. В то же время на долю семенной оболочки в случае люпина приходится масса в 3,4 раза больше по сравнению с бобами сои.

Принимая во внимание такие критерии, как количество и качество белка, количество и жирнокислотный состав липидной фракции, люпин является ближайшим конкурентом сои из всего перечня бобовых культур. Массовая доля белка в семенах люпина может достигать 40%, его характеризует полный набор протеиногенных аминокислот, при этом белок люпина является хорошим источником лизина, треонина и лейцина [6]. По критерию биологической ценности (БЦ) бобовые культуры можно расположить в следующий убывающий ряд: соя (80%) > люпин (60%) > нут (51%) > чечевица (48%) > горох (43%), в котором люпин находится на втором месте после сои [21].

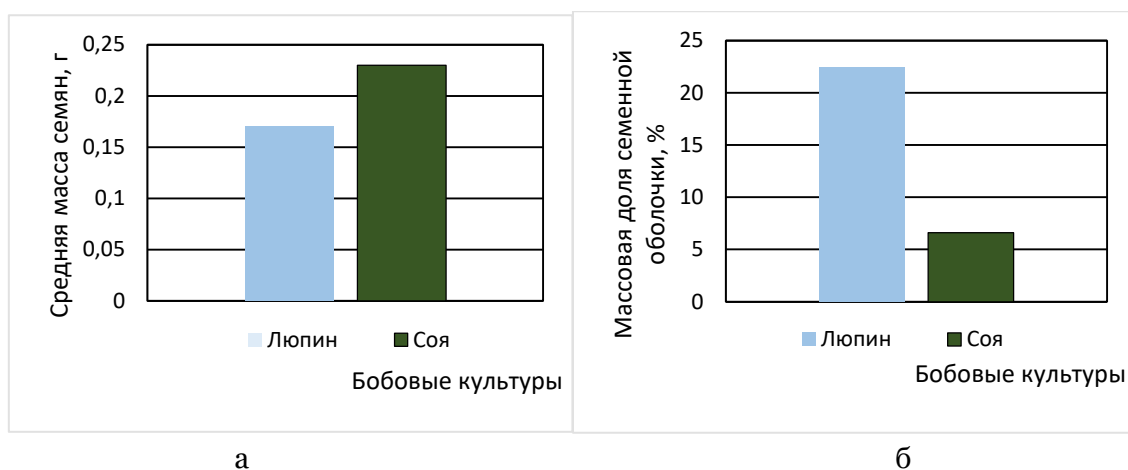


Рисунок 2 – Массовые характеристики бобов сои и семян люпина: а – средняя масса семян; б – массовая доля семенной оболочки

Figure 2. Mass characteristics of soybeans and lupine seeds: a – average seed weight; b – mass fraction of the seed coat

Сравнительная оценка жирнокислотного состава семян бобовых культур показывает высокую степень идентичности масла люпина соевому маслу. Липидная фракция семян люпина богата такими ненасыщенными жирными кислотами, как олеиновая, линолевая, линоленовая. В свою очередь, наличие липидной фракции в семенах люпина коррелирует с наличием в этом пищевом источнике жирорастворимых витаминов и провитаминов, в виде токоферолов, стеролов и каротиноидов [21, 22].

Из водорастворимых витаминов в семенах люпина отмечено наличие тиамина, рибофлавина, пиридоксина, биотина, фолиевой и аскорбиновой кислоты.

Преимущество люпина по содержанию β-каротина и токоферолов по сравнению с зерновыми культурами представлено в таблице 3, которое составляет: для β-каротина – в 21–27 раз, для токоферолов – в 2,9–3,5 раз [21].

Таблица 3 – Сравнительная оценка семян люпина и зерновых культур по содержанию β-каротина и токоферолов [21]

Table 3. Comparative evaluation of lupine seeds and grain crops in terms of β-carotene and tocopherols content [21]

Наименование культуры	Содержание в семенах, мг%	
	β-каротина	токоферолов
Люпин	0,30–0,49	3,9–16,2
Зерновые культуры	0,014–0,018	1,1–5,5

Негативным фактором для использования семян люпина в рецептурах продуктов питания без предварительной обработки является наличие ингибиторов пищеварительных ферментов. Преимуществом люпина по сравнению с соей является отсутствие ингибиторов пепсина и в 50–100 раз



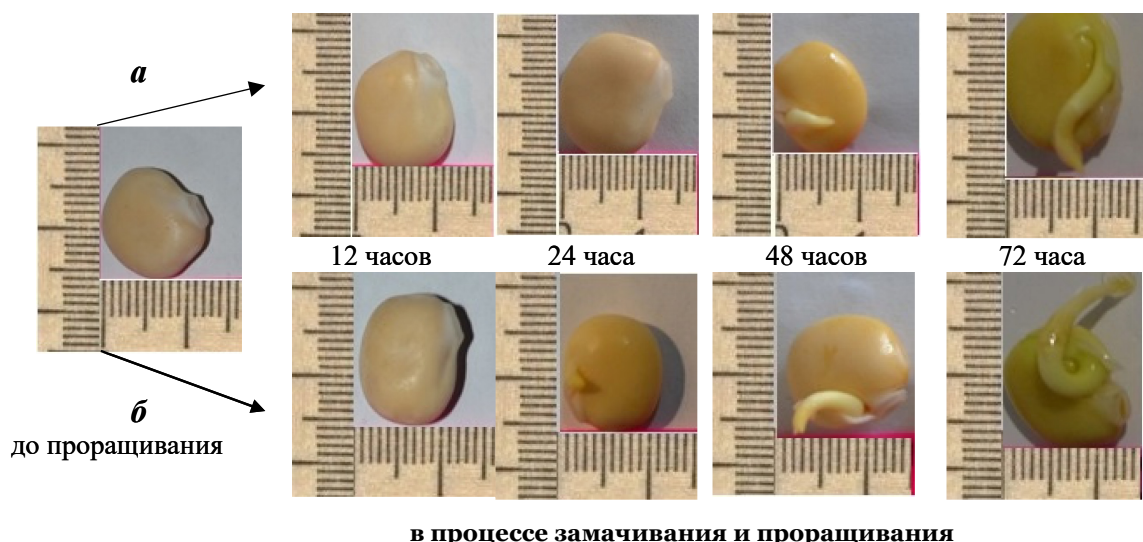
меньший уровень активности ингибиторов трипсина, которые относятся к сериновым протеиназам, локализованы в солерастворимой фракции белков и являются легко растворимыми глобулинами [9].

В качестве подхода, существенно снижающего активность ингибиторов трипсина путем их реутилизации и биосинтеза новых биологически активных соединений и клеточных структур, реализован процесс проращивания с использованием молочной сыворотки, по образному определению академика А.Г. Храмова, в качестве «универсального биоэкосырья» и универсального биоэкоактиватора.

### Исследование влияния проращивания и шелушения на морфологические характеристики и биохимический состав семян люпина

Процесс проращивания зерна является естественным начальным этапом жизненного цикла растения. Визуализация морфометрических и размерных изменений семян люпина при замачивании и проращивании представлена на рисунке 3.

На начальных стадиях замачивания и проращивания семя люпина находится в прямой зависимости от абсолютных факторов внешней среды – оптимальной влажности воздуха, температуры, доступа кислорода. Прорастание начинается с поглощения семенем влаги и набухания, при этом происходит увеличение зародыша, появление зародышевого корешка и почки [22]. Длина ростков в конце процедуры проращивания составила 2–3 см.



в процессе замачивания и проращивания

Рисунок 3 – Визуальная оценка морфометрических и размерных изменений семян люпина при замачивании и проращивании: а – в водопроводной воде; б – в смеси водопроводной воды и творожной сыворотки в соотношении 1,7:1

Figure 3. Visual assessment of morphometric and dimensional changes of lupine seeds during soaking and germination: a – in tap water; b – in a mixture of tap water and cheese whey in the ratio of 1.7:1

В процессе набухания через 12 ч семена люпина увеличились в объеме в среднем в 2 раза, при этом более выраженная степень набухания семян наблюдалась при использовании водопроводной воды (опыты № 2 и 4). Однако появление проростков для семян опытов № 3 и 5 было зафиксировано через 24 ч эксперимента, а для семян опытов № 2 и 4 – только спустя 48 ч.

Через 48 ч эксперимента наличие ростков было зафиксировано у семян всех опытных групп, однако для семян групп № 3 и 5 была отмечена положительная динамика увеличения длины ростков по сравнению с семенами групп № 2 и 4 – 1,5–2,0 см и 0,7–1,2 см соответственно.

Согласно данным [23], значительная доля антипитательных веществ бобовых растений локализована в оболочках, а процессы их удаления в сухом виде характеризуются высокой энерго- и трудоемкостью. При этом положительно охарактеризованы перспективы мокрого шелушения.

Химический состав сухих веществ семян люпина в зависимости от способов обработки, представленный в таблице 4, демонстрирует тенденцию возрастания содержания сырого протеина в сухих веществах семян люпина, при снижении массовой доли жира, золы, сырой клетчатки, при последовательном переходе от способа обработки № 1 (контроль) к № 5. Потери сухих веществ могут быть связаны с их переходом в жидкую фракцию при замачивании перед проращиванием, а также с использованием липидных фракций в качестве энергетического субстрата при проращивании.

Таблица 4 – Химический состав семян люпина (% к СВ)  
 Table 4. Chemical composition of the lupine seeds (% of DW)

Способ обработки, в соответствии с данными таблицы 1	Химический состав сухого вещества семени люпина (% к СВ)			
	сырой протеин	жир	зола	сырая клетчатка
№ 1 (контроль)	38,23 ± 0,01	8,13 ± 0,02	2,32 ± 0,07	13,59 ± 0,06
№ 2	40,54 ± 0,02	8,01 ± 0,07	2,03 ± 0,03	13,45 ± 0,04
№ 3	39,98 ± 0,03	7,96 ± 0,04	2,23 ± 0,06	13,18 ± 0,02
№ 4	41,33 ± 0,05	7,51 ± 0,03	1,89 ± 0,05	12,37 ± 0,01
№ 5	42,74 ± 0,02	7,76 ± 0,02	1,79 ± 0,09	12,21 ± 0,08

Данные, представленные в таблице 5, отражают аминокислотный состав семян люпина, полученных в результате различных вариантов обработки. Из нее видно, что проращивание и мокрое шелушение семян приводит к изменению количественного содержания и соотношения между незаменимыми и заменимыми аминокислотами, меняя в лучшую сторону скор лимитирующей аминокислоты для различных экспериментальных образцов.

Таблица 5 – Аминокислотный состав образцов люпина (г/100 г белка)  
 Table 5. Amino acid composition of lupine samples (g/100 g protein)

Аминокислоты	Способ обработки в соответствии с данными таблицы 1				
	№ 1 (контроль)	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Незаменимые аминокислоты					
лизин	4,23	4,40	4,54	5,35	5,43
лейцин	6,45	6,92	7,01	7,36	7,42
фенилаланин	2,61	2,01	3,69	3,41	3,49
треонин	3,03	3,47	3,54	3,81	3,98
изолейцин	3,21	3,14	3,69	4,06	4,10
валин	3,37	3,73	3,94	4,24	4,29
метионин	1,27	1,34	1,46	1,56	2,02
цистин	0,96	1,11	1,23	1,36	1,46
триптофан	0,91	1,04	1,02	1,12	1,06
гистидин	2,89	3,04	3,69	3,46	3,51
тирозин	3,79	4,23	4,43	4,69	4,79
сумма незаменимых	32,72	34,43	38,24	40,42	41,55
Заменимые аминокислоты					
глутаминовая	16,84	17,11	17,23	17,30	17,41
аспарагиновая	10,69	10,54	10,69	11,01	11,12
проланиновая	4,37	4,41	4,54	4,84	4,87
аргинин	8,36	8,61	8,69	8,74	8,85
глицин	4,12	4,21	4,65	4,84	4,96
аланин	3,47	3,48	3,69	3,76	4,12
серин	4,13	4,56	4,81	4,98	5,26
сумма заменимых	51,96	52,92	54,30	55,47	56,59

Для образцов семян люпина по вариантам обработки № 1, 4, 5 лимитирующей аминокислотой является фенилаланин, скор которой составляет 35,0; 52,5 и 61,7% соответственно.

Для образцов семян люпина по вариантам обработки № 2 и 3 лимитирующей аминокислотой является метионин, скор которой составляет 41,3 и 41,7% соответственно.

Результаты могут быть связаны с особенностями фракционного состава белков семян люпина, их распределением между ядром и семенной оболочкой люпина и известной спецификой аминокислотного состава белковых фракций семян бобовых в целом и люпина как их типичного представителя [24, 25].

Результаты исследования влияния способов обработки семян люпина на содержание антипитательных веществ представлены в таблице 6, из которой видно, что уменьшение содержания танинов составило 35,70; 46,69; 64,67; 72,97% по способам обработки № 2–5 соответственно.

Таблица 6 – Влияние способов обработки на содержание антипитательных веществ в семенах люпина  
 Table 6. Effect of treatment methods on the content of anti-nutrients in the lupine seeds

Показатели	Значение показателей для образцов семян люпина по способам обработки в соответствии с данными таблицы 1				
	№ 1 (контроль)	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
содержание танинов, г/100 г СВ	337,53 ± 0,28	217,03 ± 0,56	179,94 ± 1,33	119,25 ± 0,04	91,25 ± 0,56
содержание фитатов, мг/100 г СВ	223,69 ± 0,99	179,36 ± 0,76	123,22 ± 1,06	91,23 ± 0,46	76,06 ± 0,58
трипсинингибирующая активность, мг/г СВ	2,66 ± 0,13	2,04 ± 0,85	1,69 ± 0,08	1,03 ± 0,02	0,34 ± 0,07

Также выявлена тенденция к снижению содержания фитатов. Оно составляет 19,82; 44,92; 59,22; 65,99% по способам обработки № 2–5 соответственно.

Наилучшие результаты по снижению содержания танинов и фитатов получены для варианта обработки № 5. Это служит подтверждением факта, что большая доля фитиновой кислоты и танинов локализируются в семенной оболочке. Кроме того, дополнительный эффект снижения содержания фитатов в пророщенных семенах люпина может быть связан с возрастанием активности фитазы. Полученные результаты согласуются с данными авторов [22, 24], в работах которых экспериментально доказано, что в процессе проращивания бобовых культур происходит увеличение биодоступности минеральных веществ, белков и переваримости крахмала, тогда как содержание фитиновой кислоты и ее солей, танинов уменьшается.

Установленное снижение трипсинингибирующей активности (ТГИ) семян люпина в результате всех вариантов обработки, связанных с проращиванием, составляет от 23,32 до 87,22% для вариантов № 2 и 5 соответственно. Результаты согласуются с имеющимся данными об участии белков бобовых – ингибиторов трипсина – в регуляции процессов белкового обмена в семенах бобовых культур на различных стадиях онтогенеза [17–19]. При этом в процессе проращивания возрастает содержание компонентов в составе глобулиновой фракции растительных белков, идентифицируемых соответственно как 7S и 11S-глобулины, которые относятся к перечню предпочтительных субстратов для микробной трансглутаминазы [26]. Это открывает перспективы использования пророщенных семян люпина в качестве основы для проектирования белково-углеводных композиций с заданными потребительскими свойствами, включая сбалансированный состав аминокислот, приближенные к мясному сырью гидратационные, структурно-механические характеристики и органолептические оценки.

### Выводы

Люпин как типичный представитель бобовых культур имеет приоритет и перспективу для развития органического земледелия и сопряженного с ним органического животноводства в связи с биологическими особенностями аккумуляирования азота и естественного формирования почвенного плодородия, при отсутствии ограничений в отношении почвы или климата.

Апробированные способы предварительной обработки семян люпина путем замачивания и проращивания в воде и смеси воды с молочной сывороткой, включая сочетание с мокрым шелушением, позволяют повысить биотехнологический потенциал семян люпина за счет целенаправленного изменения следующих биохимических показателей:

- содержания и соотношения незаменимых и заменимых аминокислот, с увеличением скорости лимитирующей аминокислоты для различных экспериментальных образцов;
- снижения активности ингибиторов трипсина от 23,32 до 87,22% по отношению к контролю;
- снижения содержания танинов от 35,7 до 72,97% и фитатов от 19,82 до 65,99% по отношению к контролю в зависимости от способа обработки. Это подтверждает тенденцию к снижению содержания антипитательных веществ за счет использования таких технологических приемов, как замачивание и проращивание в технологической среде с использованием молочной сыворотки и удаление семенной оболочки, в которой они преимущественно локализованы.

Процессы реутилизации антипитательных веществ и биосинтеза новых биологически активных соединений и клеточных структур при замачивании и проращивании семян люпина, в сочетании



с другими технологическими приемами позволяют рекомендовать использование белково-углеводного комплекса биоактивированных семян люпина для проектирования пищевых композиций со сбалансированным составом аминокислот и потребительскими характеристиками, удовлетворяющим запросам различных социальных, возрастных и других детерминированных групп потребителей.

### Литература

1. *Артюхов А.И.* Адаптация видов люпина в агроландшафты России // *Зернобобовые и крупяные культуры.* 2015. № 1. С. 60–66.
2. *Дубинкина Е.А., Беляев Н.Н., Дубинкина Е.А.* Люпин белый и люпин узколистый в условиях Тамбовской области // *Зернобобовые и крупяные культуры.* 2018. № 1. С. 103–106.
3. *Лукашевич М.И., Захарова М.В., Свириденко Т.В., Хараборкина Н.И.* Направления и результаты селекции люпина белого во Всероссийском НИИ люпина // *Материалы Международной научно-практической конференции «Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции полевых культур в Беларуси»* (Жодино, 5–6 июля 2017 г.). Минск: ИВЦ Минфина, 2017. С. 292–295.
4. *Труфанова Ю.Н., Вострикова Е.М., Никитин И.А.* Люпин – перспективный источник полноценного пищевого белка // *Материалы международной научно-практической конференции «Технологии производства пищевых продуктов питания и экспертиза товаров»* (Курск, 2–3 апреля 2015 г.). Курск: Университетская книга, 2015. С. 171–173.
5. *Чижова М.Н., Бутова С.В., Глотова И.А., Курчаева Е.Е., Булавский А.А.* Функциональные свойства белковых дисперсных систем бобовых культур в разработке функциональных продуктов питания // *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции.* 2014. № 3. С. 51–55.
6. *Цыгуткин А.С., Штеле А.Л., Медведева Н.В., Андрианова Е.Н.* Аминокислотный состав зерна белого люпина сортов Гамма и Дега // *Достижения науки и техники АПК.* 2011. № 9. С. 41–43.
7. *Антипова Л.В., Глотова И.А.* Отечественные растения в развитии пищевой биотехнологии // *Вестник Воронежской государственной технологической академии.* 2008. № 3(37). С. 44–49.
8. *Король В.Ф., Лахмоткина Г.Н.* Молочные напитки из люпина // *Молочная сфера.* 2011. № 2. С. 54–57.
9. *Король В.Ф., Лахмоткина Г.Н.* Использование ультразвука при выделении антиалиментарных веществ из зерна люпина // *Южно-Сибирский научный вестник.* 2018. № 1(21). С. 27–34.
10. *Мячикова Н.И., Сорокопудов В.Н., Биньковская О.В., Думачева Е.В.* Пророщенные семена как источник пищевых и биологически активных веществ для организма человека [Электронный ресурс] // *Современные проблемы науки и образования.* 2012. № 5. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7007> (дата обращения: 23.03.2019).
11. *Яговенко Т.В., Афонина Е.В., Трошина Л.В.* Сравнительное изучение проявления признака алкалоидности семян у люпина желтого, возделываемого во ВНИИ люпина // *Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Повышение эффективности сельскохозяйственной науки в современных условиях»* (Орел, 17–18 ноября 2015 г.). Орел: ВНИИ зернобобовых и крупяных культур, 2015. С. 185–190.
12. *Белопухов С.Л., Блинникова В.Д., Кауфман А.Л., Рекус И.Г., Цыгуткин А.С.* Способ определения оптимального значения рН для прорастания семян белого люпина: пат. 2564389 Российская Федерация. 2015. Бюл. № 27.
13. *Осадченко И.М., Горлов И.Ф., Злобина Е.Ю., Бараников В.А., Николаев Д.В.* Способ стимуляции прорастивания семян сельскохозяйственных культур: пат. 2492625 Российская Федерация. 2013.
14. *Гришина Е.А., Белопухов С.Л., Цыгуткина А.С.* Термодинамика и кинетика процессов прорастания семян белого люпина // *Бутлеровские сообщения.* 2013. Т. 34. № 4. С. 152–156.
15. *Рак М.В., Николаева Т.Г.* Влияние кобальтовых и марганцевых удобрений на кормовую ценность люпина узколистого // *Почвоведение и агрохимия.* 2010. № 1 (41). С. 221–227.
16. *Антипова Л.В., Сторублевцев С.А.* Современные методы исследования сырья и продуктов животного происхождения. Воронеж, 2014. 530 с.
17. *Елисеева Л.Г., Рыжакова А.В., Махотина И.А., Белкин Ю.Д.* Влияние собственных эндоферментов на модификацию химического состава и технолого-функциональные свойства растительных белковых препаратов люпина // *Плехановский научный бюллетень.* 2012. № 2(2). С. 21–34.
18. *Елисеева Л.Г., Рыжакова А.В., Махотина И.А., Блинникова О.М., Белкин Ю.Д., Юрина О.В.* Управление качеством пищевых функциональных ингредиентов [Электронный ресурс] // *Электрон. текстовые данные.* М.: Палеотип. 2013. 210 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/48705.html> (дата обращения 05.04.2019 г.).
19. *Елисеева Л.Г., Махотина И.А., Калачев С.Л.* Повышение безопасности пищевых продуктов растительного происхождения путем уменьшения содержания фитатов // *Вопросы безопасности.* 2019. № 1. С. 9–17.
20. *Гатаулина Г.Г., Медведева Н.В., Штеле А.Л., Цыгуткин А.С.* Рост, развитие, урожайность и кормовая ценность сортов белого люпина (*Lupinus albus L.*) селекции РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии.* 2013. № 6. С. 12–30.

21. Пащенко Л.П., Черных И.П., Пащенко В.Л. Перспективы применения люпина в технологии продуктов питания // Фундаментальные исследования. 2006. № 6. С. 101–102.
22. Bhardwaj H.L., Namana A.A. Cultivar and Growing Location Effects on Fatty Acids and Minerals in White Lupin Sprouts. *ISRN Agronomy*. Vol. 2012, 5 p. URL: <http://dx.doi.org/10.5402/2012/232349> (Accessed 14.04.2019).
23. Купреенко А.И., Кондрашова О.Н., Свиридов И.Г. Технология мокрого шелушения семян сои и люпина // Вестник ВНИИ механизации животноводства. 2016. № 3(23). С. 118–121.
24. Khalid I.I., Elhardallou S.B., Amino Acid Composition and Physicochemical Properties of Bitter Lupine (*Lupinustermis*) Seed Flour Gobouri. *Orient J Chem*. 2016. Vol. 32(6). URL: <http://www.orientjchem.org/?p=26069> (Accessed 14.04.2019).
25. Глотова И.А., Рязанцева А.О. Разработка новых способов внесения биополимерных комплексов в состав пищевых систем на основе мясного сырья // ФЭС: Финансы. Экономика. 2018. Т. 15. № 3. С. 54–61.
26. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П. Эволюционно-биологические особенности транслгутаминазы. Структура, физиологические функции, применение // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2011. Т. 47. № 1. С. 3–7.

### References

1. Artyukhov A.I. Adaptation of lupine species in agrolandscapes of Russia. *Grain legumes and cereals*. 2015, no. 1, pp. 60–66 (In Russian).
2. Dubinkina E.A., Belyaev N.N., Dubinkina E.A. White lupine and narrow-leaved lupine in the conditions of the Tambov region. *Grain legumes and cereals*. 2018, no.1, pp. 103–106 (In Russian).
3. Lukashevich M.I., Zakharova M.V., Sviridenko T.V., Kharaborkina N.I. Directions and results of the selection of lighting in the All-Russian Research Institute of Lupins. *Proceeding of the International scientific and practical conference "Strategies and priorities for the development of agriculture and the selection of field crops in Belarus" (Zhodino, July 5–6, 2017)*. Minsk, ITC Ministry of Finance Publ., 2017, pp. 292–295 (In Russian).
4. Trufanova Yu.N., Vostrikova E.M., Nikitin I.A. Lupine - a promising source of high-grade food protein. *Proceeding of the International scientific and practical conference "Technology of food production and examination of goods"* (Kursk, April 2–3, 2015). Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2015, pp. 171–173 (In Russian).
5. Chizhova M.N., Butova S.V., Glotova I.A., Kurchayeva E.E., Bulavsky A.A. Functional properties of protein disperse systems of leguminous crops in the development of functional foods. *Technologies and Commodity Research of Agricultural Products*. 2014, no. 3, pp. 51–55 (In Russian).
6. Tsygutkin A.S., Shtele A.L., Medvedeva N.V., Andrianova E.N. Amino acid composition of white lupine grain varieties Gamma and Degas. *Achievements of Science and Technology of Agriculture*. 2011, no 9, pp. 41–43 (In Russian).
7. Antipova L.V., Glotova I.A. Domestic plants in the field of food biotechnology. *Bulletin of the Voronezh State Technological Academy*. 2008, no. 3 (37), pp. 44–49 (In Russian).
8. King V.F., Lakhmotkina G.N. Milk drinks from lupine. *Milk Sphere*. 2011, no, 2, pp. 54–57 (In Russian).
9. King V.F., Lakhmotkina G.N. The use of ultrasound in the isolation of anti-alimentary substances from the grain of lupine. *South-Siberian Scientific Journal*. 2018, no. 1(21), pp. 27–34 (In Russian).
10. Myachikova N.I., Sorokopudov V.N., Binkovskaya O.V., Dumacheva E.V. Germinated seeds as a source of food and biologically active substances for the human body. *Modern Problems of Science and Education*. 2012, no. 5. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=7007> (Accessed 03.23.2019). (In Russian).
11. Yagovenko T.V., Afonina E.V., Troshina L.V. Comparative study of the manifestations of the sign of seed alkaloid in yellow lupine cultivated in the Lupine Research Institute. *Proceeding of the International scientific and practical conference "Improving the efficiency of agricultural science in modern conditions"* (Orel, November 17–18, 2015). Orel, All-Russian Research Institute of grain and cereal crops Publ., 2015, pp. 185–190 (In Russian).
12. Belopukhov S.L., Blinnikova V.D., Kaufman A.L., Rekus I.G., Tsygutkin A.S. *The method for determining the optimal pH value for germination of white lupine seeds*. Patent RF, no. 2564389. 2015.
13. Osadchenko I.M., Gorlov I.F., Zlobina E.Yu., Baranikov V.A., Nikolaev D.V. *Method of stimulating the germination of seeds of agricultural crops*. Patent RF, no. 2492625. 2013.
14. Grishina E.A., Belopukhov S.L., Tsygutkina A.S. Thermodynamics and kinetics of germination of white lupine seeds. *Butlerov Communications*. 2013, V.34, no. 4, pp. 152–156 (In Russian).
15. Cancer M.V., Nikolaeva T.G. Influence of cobalt and manganese fertilizers on the feed value of narrow-leaved lupine. *Soil Science and Agrochemistry*. 2010, no. 1(41), pp. 221–227 (In Russian).
16. Antipova L.V., Storublevtsev S.A. *Modern methods of research of raw materials and products of animal origin*. Voronezh, 2014. 531 p. (In Russian).
17. Eliseeva L.G., Ryzhakova A.V., Makhotina I.A., Belkin Yu.D. Influence of own endoenzymes on the modification of the chemical composition and technological-functional properties of plant protein preparations of lupine. *Plekhanovsky Scientific Bulletin*. 2012, no. 2(2), pp. 21–34 (In Russian).

18. Eliseeva L.G., Ryzhakova A.V., Makhotina I.A., Blinnikova O.M., Belkin Yu.D., Yurina O.V. *Quality management of food functional ingredients*. Electronic text data. Moscow, Paleotype Publ., 2013. 210 p. URL: <http://www.iprbookshop.ru/48705.html> (Accessed 04.05.2019). (In Russian).
19. Eliseeva L.G., Makhotina I.A., Kalachev S.L. Improving the safety of foods of plant origin by reducing the content of phytates. *Voprosy bezopasnosti*. 2019, no. 1, pp. 9–17 (In Russian).
20. Gataulina G.G., Medvedeva N.V., Shtele A.L., Tsygutkin A.S. Growth, development, yield and feed value of varieties of white lupine (*lupinus albus* L.) Selection of RSAU-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. *News of Timiryazev Agricultural Academy*. 2013. no. 6, pp. 12–30 (In Russian).
21. Pashchenko L.P., Chernykh I.P., Pashchenko V.L. Prospects for the use of lupine in food technology. *Fundamental research*. 2006, no. 6, pp. 101–102 (In Russian).
22. Bhardwaj H.L., Hamama A.A. Cultivar and Growing Location Effects on Fatty Acids and Minerals in White Lupin Sprouts. *ISRN Agronomy*. Vol. 2012, 5 p. URL: <http://dx.doi.org/10.5402/2012/232349> (Accessed 14.04.2019).
23. Kupreenko, A.I., Kondrashova, O.N., Sviridov, I.G. Technology of wet peeling of soybean and lupine seeds. *Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Animal Life Mechanization*. 2016, no. 3(23), pp. 118–121 (In Russian).
24. Khalid I.I., Elhardallou S.B., Amino Acid Composition and Physicochemical Properties of Bitter Lupine (*Lupinustermis*) Seed Flour Gobouri. *Orient J Chem*. 2016. Vol. 32(6). URL: <http://www.orientjchem.org/?p=26069> (Accessed 14.04.2019).
25. Glotova I.A., Ryazantseva A.O. Development of new methods for introducing biopolymer complexes into the composition of food systems based on raw meat. *FES: Finance. Economy*. 2018, V. 15, no. 3, pp. 54–61 (In Russian).
26. Shleikin A.G., Danilov N.P. Evolutionary-biological features of transglutaminase. Structure, physiological functions, application. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*. 2011, V. 47, no. 1, pp. 3–7 (In Russian).

Статья поступила в редакцию 15.05.2019