

Е.А. Размочаев,
директор НТЦ разработки и внедрения
новых технологий кормления
ООО «АгроАльянсРазвития»
Ю.А. Кучихин,
МГУТУ им. К.Г. Разумовского,
Институт биотехнологий и рыбного
хозяйства, ихтиолог
ООО «АгроАльянсРазвития»

Исследование изменений качественного состава бобов белого люпина (*Lupinus albus*) при барогидротермической обработке

Введение

Белый люпин (*Lupinus albus*) – зернобобовая сельскохозяйственная культура, широко культивируемая в России. Также как и соя, бобы белого люпина имеют высокое содержание сырого протеина, что позволяет его активно использовать в следующих сферах:

- в производстве продуктов питания для человека;
- для технических нужд;
- в производстве кормов для рыб, сельскохозяйственных и домашних животных и птицы [7].

Однако люпин наряду с высоким содержанием сырого протеина содержит и определённое количество антипитательных веществ, в качестве которых выступают алкалоиды. Для люпина содержание алкалоидных семян ограничивается отметкой 0,3% [4].

Барогидротермическая обработка (БГТО) – метод обработки зерна, при котором сырьё загружается в камеру, в которую под давлением подаётся пар. По истечении заданного времени камеру мгновенно разгерметизируют и сырьё под избыточным давлением перемещается в приёмный бункер и при этом вспучивается. Время обработки сырья составляет от 3 до 300 с, давление пара от 3 до 30 бар, а температура от 50 до 400°С. Такая обработка приводит к деструкции природных полимеров, входящих в состав зерна под действием термических, механических и химических процессов.

Аннотация. В статье приведены исследования по снижению содержания алкалоидов и изменению концентрации протеина в бобах белого люпина (*Lupinus albus*) при термической обработке паром в зависимости от времени воздействия. При исследовании партию контрольной группы бобов пропускали по линии барогидротермической обработки (БГТО), основная задача которой заключалась в снижении содержания алкалоидов, повышении доступности крахмала и снятии оболочки с бобов люпина. Так же определяли изменение сырья по составу и аминокислотам. В результате барогидротермической обработки удалось снизить содержание алкалоидов в бобах белого люпина (*Lupinus albus*) с минимальным значением на 30%, а также увеличить содержание протеина и аминокислот за счёт обрушения зерна.

Ключевые слова: барогидротермическая обработка, белый люпин, алкалоиды, аминокислоты, термическое воздействие.

Барогидротермическая обработка люпина повышает доступность крахмала и тем самым увеличивает энергетическую ценность корма.

При данной технологии продукт, в качестве которого выступают бобы белого люпина (*Lupinus albus*), из накопительного бункера (рис. 1) самотёком направляются в температурный стабилизатор 2 реакторного блока для предварительного подогрева, далее порция зерна отмеряется дозатором и поступает в реактор барогидротермической обработки (БГТО).

Реактор блока БГТО 1 предназначен для обработки зерна паром высокого давления с целью изменения его структуры и обеззараживания. Через паровой клапан (отметка «пар») в реактор подаётся пар под давлением 10,13–12,16 бар. В реакторе происходит нагрев и насыщение исходного продукта паром. Через установленное время производится резкое открывание клапана и продукт выбрасывается через лоток из реактора в циклон-отделитель 3. При мгновенном сбросе давления до атмосферного

внутриклеточная вода вскипает, и при этом происходят глубокие изменения в структуре зерен, зерно увеличивается в объёме, зерновые оболочки лопаются, частично отделяются, внутриклеточные питательные вещества становятся легко доступными для воды и пищеварительных ферментов животных. Переваримость питательных веществ увеличивается, а энергетическая ценность возрастает. Отработанный пар из циклона-отделителя удаляется вентилятором, а обработанное зерно транспортёром 4 подаётся далее. Из реакторного блока обработанное зерно через вейку 5 поступает в охлаждающий барабан 6. Вейка и охлаждающий барабан предназначены для удаления части шелухи и удаления влаги с поверхности зерна после обработки в реакторе блока. Охлаждение зерна (бобов) производится при непрерывном перемешивании в барабанном охладителе в процессе вращения барабана. Воздух во внутреннюю полость охладителя подаётся вентилятором через калорифер 7, влажный воздух выходит

из сушилки через вейку. Выгрузка охлаждённых бобов производится через специальное устройство в шнековый транспортер 8, который направляет обработанный и охлаждённый продукт в бункер 9, где бобы люпина досушиваются до необходимой влажности с помощью подогретого воздуха. Таким образом данная технология может быть перспективной методикой обработки бобов белого люпина (*Lupinus albus*) для получения продукции более высокого качества с улучшенными свойствами.

Данное исследование проведено по заявке ООО «АгроАльянс-Развития» в аккредитированной лаборатории, расположенной на ОАО «МЕЛЬКОМБИНАТ».

В данном исследовании уборка белого люпина (*Lupinus albus*) сорта Дега (определён по: С65 Сортовые признаки сельскохозяйственных культур [9]) осуществлялась в Смоленской области в октябре 2022 г. при средней влажности сырой продукции 12,5±4%. Продукцию пропускали через технологическую линию барогидротермической обработки (БГТО) (см. рис. 1).

Данная технология описана и запатентована ООО «БГТО Системы» (г. Пенза) [11]. Установка имеет следующую производственную мощность (табл. 1).

Для проведения опыта было сформировано несколько групп (табл. 2).

По регламенту эксперимента было запланировано проведение анализов по определению алкалоидов в люпине методом количественного определения алкалоидов [1]. Оборудование и реактивы соответствовали требованиям, предъявляемым к средствам измерений, устройствам и материалам, указанным в используемом регламенте. Использовался спектрофотометр ЭРОСХИМ ПЭ-5300ВИ и лабораторные весы ОКБ Веста BM213М- II.

Кроме алкалоидов определяли изменение содержания аминокислот, которое проводили в соответствии с ГОСТ 32195–2013. При определении использовался жидкостный хроматограф Shimadzu Sil-20AC и лабораторные весы ОКБ Веста BM213М- II.

Так же было запланировано проведение анализов группы контроля и группы опыта, которые покажут наилучшие результаты, на определение сухого вещества (ГОСТ 31640–2012), сырого протеина (ГОСТ 13496.4–2019) [2], сырого жира (ГОСТ

32905–2014), сырой клетчатки (ГОСТ 31675–2012), сырой золы (ГОСТ 26226–95), крахмала (ГОСТ 10845–98), сахара (ГОСТ 26176–2019), кальция (ГОСТ 26570–1995), фосфора (ГОСТ 24596.2–2015) [6], натрия (ГОСТ 13496.1–1998), магния (ГОСТ 32343–2013), калия (ГОСТ 32250–2013), хлора (ГОСТ 13496.1–2019) и серы (ГОСТ 25555.5–2014) [5]. Проведён также анализ на определение полиеновых жирных кислот, а также линолевой, линоленовой и олеиновой кислот (ГОСТ ISO/TS 17764–2–2015) [3].

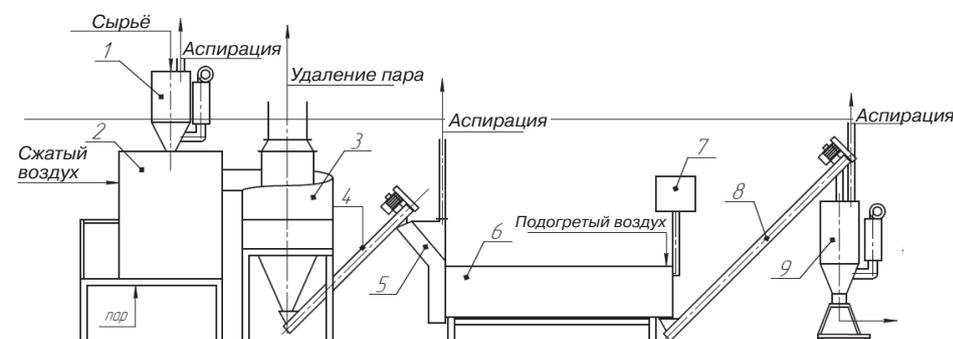


Рис. 1. Схема линии барогидротермической обработки бобов белого люпина: 1 – реактор блока БГТО; 2 – температурный стабилизатор; 3 – циклон-отделитель; 4 – транспортёры зерна; 5 – вейка; 6 – охлаждающий барабан; 7 – калорифер; 8 – шнековый транспортер зерна; 9 – бункер для досушивания продукта

1. Производственная мощность линии БГТО

Культура	Время обработки, с	Давление пара, бар	Потребление пара, кг/ч	Производительность, т/ч
Пшеница	20–22	10–11	400	1,5
Ячмень	22–24	10–11	400	1,3
Кукуруза	25–30	10–11	400	1
Люпин	20–40*	10–15	450	0,3*

* Параметры могут изменяться в целях необходимости.

2. Бобы люпина, обработанные в блоке реактора БГТО и сформированные в группы опыта

Группа опыта	Параметры воздействия	
	давление, бар	время обработки, с
00.00 (контроль, без обработки)		
10.25	10	25
10.35	10	35
10.45	10	45
12.25	12	25
12.35	12	35
12.45	12	45

3. Влажность сырого продукта перед уборкой

Номер пробы	Влажность, %
1	12,47
2	12,51
3	12,54
Средний показатель 12,5±4%.	

Для исследования была отобрана единая партия люпина с одного места произрастания.

Перед сбором бобов люпина было отобрано 3 пробы для определения влажности продукции по ГОСТ 13586.5–2015 (табл. 3).

Результаты исследования средней пробы группы контроля (00.00) приведены в табл. 4.

После проведения группы контроля по линии барогидротермической обработки в соответствии с регламентом эксперимента

были определены показатели качества аминокислот и алкалоидов. В результате теплового воздействия и обработки паром, а затем резкого охлаждения происходит отшелушивание оболочки зерна, в которой находится наибольшее количество алкалоидов. Внешний вид бобов люпина до и после обработки приведены на рис. 2.

По распространению и количественному содержанию алкалоидов в растениях люпина

основными являются: люпинин ($C_{10}H_{19}ON$), люпанин ($C_{15}H_{24}ON_2$), спартеин ($C_{15}H_{26}N_2$), ангустифолин ($C_{14}H_{22}ON_2$) и гидроксилупинин ($C_{15}H_{20}O_2N_2$) [10]. Так как данная методика обработки связана с тепловым воздействием, а на содержание белка и концентрацию аминокислот влияет термическая обработка, то и количество белка и аминокислот во всех вариантах групп будет разное. Массовая доля алкалоидов и протеина приведены в табл. 5.

Количественное содержание аминокислот приведено в табл. 6.

Так, как группа 12.45 показала наилучшие результаты по содержанию основных аминокислот, в том числе наибольшему содержанию перевариваемого протеина, то в группе 12.45 произведено контрольное измерение основных показателей. Результаты исследования группы 12.45 приведены в табл. 7.



Рис. 2. Внешний вид бобов люпина до и после обработки: 1 – бобы люпина до обработки, 2 – крупка люпина после обработки, 3 – отшелушенная оболочка

4. Результаты исследования группы контроля

Показатель	Значение
Массовая доля, а.с.в.*%:	
сырого протеина	28
сырого жира	11,5
сырой клетчатки	28,9
Влажность, %	12,5

* а.с.в – абсолютно сухое вещество.

5. Массовая доля алкалоидов и протеина, %

Номер группы	Массовая доля, а. с. в.* %	
	алкалоидов	протеина
00.00	0,073	28
10.25	0,039	34,7
10.35	0,037	34,6
10.45	0,034	31,8
12.25	0,043	34,1
12.35	0,042	33,1
12.45	0,039	36,3

* а.с.в – абсолютно сухое вещество.

6. Массовая доля аминокислот, г/кг

Группа	Аспарагиновая кислота	Треонин	Серин	Глутаминовая кислота	Глицин	Аланин	Валин	Изолейцин	Лейцин	Тирозин	Фенилаланин	Лизин	Аргинин	Пролин
00.00	2,418	0,824	1,163	5,131	0,894	0,762	0,96	1,002	1,709	0,931	0,875	1,093	2,375	0,955
10.25	2,376	0,827	1,153	5,076	0,899	0,778	0,961	0,990	1,703	1,061	0,931	1,072	2,323	0,835
10.35	2,914	0,989	1,389	6,155	1,089	0,89	1,142	1,213	2,067	1,159	1,085	1,309	2,888	1,090
10.45	2,552	0,879	1,238	5,481	0,951	0,855	0,998	1,041	1,797	1,114	0,963	1,042	3,285	0,937
12.25	2,783	0,948	1,328	5,916	1,061	0,845	1,126	1,165	2,006	1,141	1,048	1,236	2,776	0,987
12.35	2,454	0,845	1,176	5,214	0,917	0,809	0,984	1,011	1,745	0,934	0,835	1,011	2,221	0,869
12.45	3,121	1,066	1,485	6,674	1,173	1,021	1,245	1,312	2,222	1,236	1,152	1,231	2,894	1,248

Выводы

Подводя итоги следует упомянуть, что содержание алкалоидов при разной степени обработки разное и нет никакой видимой зависимости степени обработки от процента снижения алкалоидов. Тем не менее, в любой обрабатываемой группе происходило снижение концентрации алкалоидов вследствие успешного обрушения зерна и показатели по методу достоверности Стьюдента достоверно не отличались. Наряду с этим минимальное снижение числа алкалоидов составило 30%. При снижении 1/3 содержания алкалоидов

образцы даже с превышением максимально допустимой границы по ГОСТу можно использовать в кормах. По итогам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Барогидротермическая обработка позволяет существенно снизить массовую долю алкалоидов в бобах белого люпина. Минимальное снижение составило 30%.

2. Данный вид обработки позволяет увеличить содержание белка и аминокислот, причём концентрация аминокислот при всех вариантах обработки нестабильная и может изменяться в зависимости от процентного выхода определённых аминокислот, что требует дальнейших исследований.

3. Доказана эффективность снятия оболочки бобов белого люпина методом БГТО.

Литература

1. *Артюхов, А.И.* Количественное определение алкалоидов в люпине: методические рекомендации / А.И. Артюхов, Т.В. Яговенко, Е.В. Афонина, Л.В. Трошина. – М.: ГНУ ВНИИ Люпина, Брянск, 2012–16 с.

2. ГОСТ 13496.4–2019 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Методы определения содержания азота и сырого протеина». Национальный стандарт РФ. Утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8.08.2019 г. № 488-ст: дата введения 08–01–2020. – М.: Стандартинформ, 2020. – 13 с.

3. ГОСТ ISO/TS 17764–2–2015 «Корма, комбикорма. Определение содержания жирных кислот». Ч. 2. «Метод газовой хроматографии». Национальный стандарт РФ. Утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6.10.2015 г. № 1479-ст: дата

7. Результаты группы 12.45

Показатель	Значение
Сухое вещество, г	902
Массовая доля, г:	
сырого протеина	363
сырой клетчатки	46
сырого жира	105
сырой золы	33
крахмала	48
сахара	84
крахмала + сахара	132
Массовая доля минеральных веществ, г:	
кальция (Ca)	1,8
фосфора (P)	3,9
доступного (P)	3,5
переваримого (P)	3
натрия (Na)	0,2
магния (Mg)	3
калия (K)	11
хлора (Cl)	0,3
серы (S)	4,4
Массовая доля кислот, г:	
линолевой	7
линоленовой	1
олеиновой	2,64
полиеновых	8

введения 01–01–2017. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.

4. ГОСТ 11321–89 «Люпин кормовой. Требования при заготовках и поставках». Национальный стандарт РФ. Утверждён и введён в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 24.03.89 № 684: дата введения 07–01–1990. – М.: Стандартинформ, 1989. – 4 с.

5. ГОСТ 25555.5–2014 «Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения диоксида серы». Национальный стандарт РФ. Утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20.08.2014 г. № 926-ст: дата введения 01–01–2016. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

6. ГОСТ 24596.2–2015 «Фосфаты кормовые. Методы определения фосфора». Национальный стандарт РФ. Утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31.08.2015 г. № 1211-ст: дата введения 07–01–2016. – М.: Стандартинформ, 2020. – 13 с.

7. *Зверев, С.В.* З 43 Белый люпин: обрушение и термообработка зерна / С.В. Зверев,

А.Э. Ставцев, А.С. Цыгуткин. – М.: ООО «Сам Полиграфист», 2019. – 128 с.

8. *Зверев, С.В.* Оценка качества белка бобовых культур / С.В. Зверев, М.А. Никитина // Комбикорма. – 2017. – №4. – С. 37–41.

9. *Зеленский, Г.Л.* С65 Сортовые признаки сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / Г.Л. Зеленский [и др.]. – Краснодар: Кубанский ГАУ. 2014. – Ч. III. – 68 С. Doi: 631.362.5.

10. *Панкина, И.А.* Исследование алкалоидности семян люпина / И.А. Панкина, Л.М. Борисова // Научный журнал ИТМО. Серия: процессы и аппараты пищевых производств. 2015. – Изд. №4. – С. 80–86.

11. Пат. № 2482697 РФ, МПК А23L 1/00 (2011.10). Способ обработки растительного сырья / К.И. Артеменко, Н.Э. Богданов. – № 20171105030; заявлено 15.02.2017; опубл. 01.12.2017; заявитель – БГТУ. – Бюл. №15. – 4 С.

12. *Перов, А.А.* Белый люпин: дробление, шелушение и сепарация / А.А. Перов, С.А. Зверев, А.С. Цыгуткин // Комбикорма. – 2014. – № 6. – С. 41–46.

Investigation of changes in the qualitative composition of white lupin beans (*Lupinus albus*) during barohydrothermal treatment

E. A. Razmochaev, *director of the science and technical development and implementation of new feeding technologies Agroalliance Development LLC.*

Y. A. Kuchikhin, *Moscow State Technical University named after K.G. Razumovsky, Institute of Biotechnology and Fisheries, Ichthyologist of Agroalliance Development LLC*

Abstract. This article is devoted to the study of reducing the content of alkaloids and changing the protein concentration in white lupin beans (*Lupinus albus*) during heat treatment with steam, depending on the time of exposure. During the study, a batch of the control group of beans was passed through the line of barohydrothermal treatment (BGTO), the main task of which is to reduce the content of alkaloids, increase the availability of starch and remove the shell from the lupin beans. The change of raw materials in composition and amino acids was also studied. As a result, barohydrothermal treatment allowed to reduce the content of alkaloids in white lupin beans (*Lupinus albus*) with a minimum value by 30%, as well as to increase the content of protein and amino acids due to the collapse of grain.

Keywords: barohydrothermal treatment, white lupin, alkaloids, amino acids, thermal effect.

Bibliography

1. Artyukhov, A. I., Yagovenko, T. V., Afonina, E. V., Troshina, L. V. Quantitative determination of alkaloids in lupine: methodological recommendations – M.: GNU Research Institute of Lupine, Bryansk. 2012, 16 p.

2. GOST [GOST 13496.4–2019 «Feed, compound feed, feed raw materials»: methods for determining the content of nitrogen and crude protein. National Standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 8.08.2019. № 488-st: date of introduction 08–01–2020. – M.: Standartinform, 2020, 13 p.

3. GOST [GOST ISO / TS 17764–2–2015 «Feed, compound feed. Determination of the content of fatty acids». Part 2. Gas chromatography method. National Standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 6.10.2015. № 1479-st: date of introduction 01–01–2017. – M.: Standartinform, 2020, 12 p.

4. GOST [GOST 11321–89 «Lupin Stern. Requirements for procurement and supply». The national standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by the Resolution of the USSR State Committee for Standards dated 03/24/89 № 684: date of introduction 07–01–1990. – M.: Standartinform, 1989, 4 p.

5. GOST [GOST 25555.5–2014 «Fruit and vegetable processing products»: methods for the determination of sulfur dioxide. National Standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 20.08.2014. № 926-st: date of introduction 01–01–2016. – M.: Standartinform, 2014, 20 p.

6. GOST [GOST 24596.2–2015 «Feed phosphates»: methods for determining phosphorus. National Standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 31.08.2015. № 1211-st: date of introduction 07–01–2016. – M.: Standartinform, 2020, 13 p.

7. Zverev, S.V., Stavtsev, A.E., Tsygutkin, A.S. Z 43 Belyj lyupin: obrushenie i termoobrabotka zerna [Z 43 White lupin: grinding and heat treatment of grain]. – M.: LLC «Sam Polygraphist», 2019, 128 p.

8. Zverev, S.V., Nikitina, M.A. Ocenka kachestva belka bobovyh kul'tur [Evaluation of protein quality of legumes] // Compound feed. 2017, №4, Pp. 37–41.

9. Zelensky, G.L., Repko, N.V., Kazakova, V. V. [et al]. S65 Sortovye priznaki sel'skohozyajstvennyh kul'tur: ucheb. posobie [C65 Varietal characteristics of agricultural crops. Part III: studies. manual]. – Krasnodar, 2014, CHast' III, 68 p.

10. Pankina, I.A., Borisova, L.M. Issledovanie alkaloidnosti semyan lyupina [Investigation of the alkaloidicity of lupin seeds] / ITMO scientific journal. Series: processes and devices of food production. 2015, № 4, Pp. 80–86.

11. Pat. № 2482697 Rossijskaya Federaciya, MPK A23L 1/00. Sposob obrabotki rastitel'nogo syr'ya [Handbook for processing VEGETABLE RAW materials] / Artemenko K. I., Bogdanov N. E. № 2017105030: application 15.02.2017; publ. 01.12.2017; applicant – BSTU. Bul. № 15, 4 p.

12. Perov, A.A., Zverev, S.A., Tsygutkin, A.S. Belyj lyupin: droblenie, shelushenie i separaciya [White lupin: crushing, peeling and separation] // Compound feed. – 2014, № 6, Pp. 41–46.