

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СЕМЯН ЛЮПИНА БЕЛОГО

А. С. Цыгуткин, кандидат биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа –
филиал Верхневолжского федерального аграрного научного центра,
601390, Владимирская обл., Судогодский р-н, д. Вяткино, ул. Прянишникова, 2
E-mail: asz.ru@mail.ru

Исследование проводили с целью изучения элементного состава различных частей семян люпина белого сортов Гамма, Дег и Дегер 1, которые возделывали в 2009–2011 гг. на Северо-Востоке Центрального Черноземья. Содержание 19 элементов определяли в Государственном центре агрохимической службы «Белгородский». Благодаря интенсивному потреблению питательных веществ люпин белый характеризуется уникальным составом семян, с содержанием многих нормируемых в кормлении животных и птицы химических элементов значительно большее, чем у других зернобобовых культур. По содержанию марганца люпин белый выступает растением-концентратором. В его семенах в значительных количествах накапливаются азот ($6,82 \pm 0,25$ %), фосфор ($0,45 \pm 0,07$ %), калий ($1,37 \pm 0,17$ %), магний ($0,17 \pm 0,02$ %), сера ($0,31 \pm 0,02$ %), железо ($41,85 \pm 1,36$ мг/кг), цинк ($48,55 \pm 4,33$ мг/кг), марганец ($390,70 \pm 181,57$ мг/кг), кобальт ($0,82 \pm 0,19$ мг/кг), молибден ($6,80 \pm 0,67$ мг/кг), которые сконцентрированы в большей степени в ядре. В оболочке содержание кальция ($0,35 \pm 0,02$ %), натрия ($0,240 \pm 0,006$ %), хрома ($0,329 \pm 0,049$ мг/кг), свинца ($0,60 \pm 0,04$ мг/кг), кадмия ($0,061 \pm 0,003$ мг/кг), мышьяка ($0,024 \pm 0,002$) выше, чем в ядре. Разделение семян люпина на ядро и оболочку при глубокой переработке может быть использовано для увеличения или уменьшения концентрации химических элементов. Размах варьирования содержания химических элементов возрастает с увеличением их концентрации. В анализируемых образцах содержание свинца, кадмия, мышьяка и ртути было меньше предельно допустимых значений для семян люпина белого, используемых в кормах. Результаты исследования необходимо учитывать при производстве комбикормов, белковых концентратов и определении нормативов содержания химических элементов в семенах белого люпина и его частях как статистические материалы при составлении программ кормления сельскохозяйственных животных, птицы, рыбы.

ELEMENTAL COMPOSITION OF WHITE LUPINE GRAIN

A. S. Tsygutkin

All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat –
branch of the Upper Volga Federal Agrarian Research Center,
601390, Vladimirskaya obl., Sudogodsky r-n, d. Vyatkin, ul. Pryanishnikova, 2
E-mail: asz.ru@mail.ru

The study was carried out to study the elemental composition of various parts of the grain of white lupine varieties Gamma, Dega and Deter 1, which were cultivated in 2009–2011. in the North-East of the Central Black Earth Region. The content of 19 elements was determined at the Belgorodsky State Center for Agrochemical Service. The elemental composition of grain and its parts has been studied. Intensive consumption of chemical elements allows white lupine to have a unique chemical composition of the grain, which shows that the content of many chemical elements standardized in feeding is much higher than in the seeds of other leguminous crops. In terms of manganese content, white lupine is a concentrator plant. In the grain of white lupine, nitrogen (6.82 ± 0.25 %), phosphorus (0.45 ± 0.07 %), potassium (1.37 ± 0.17 %), magnesium (0.17 ± 0.02 %) accumulate in significant quantities 0.02 %, sulfur (0.31 ± 0.02 %), iron (41.85 ± 1.36 mg/kg), zinc (48.55 ± 4.33 mg/kg), manganese ($390, 70 \pm 181.57$ mg/kg), cobalt (0.82 ± 0.19 mg/kg), molybdenum (6.80 ± 0.67 mg/kg), which are concentrated to a greater extent in the core. The shell contains calcium (0.35 ± 0.02 %), sodium (0.240 ± 0.006 %), chromium (0.329 ± 0.049 mg/kg), lead (0.60 ± 0.04 mg/kg), cadmium (0.061 ± 0.003 mg/kg), arsenic (0.024 ± 0.002) higher than in the core. The separation of lupine grain into core and shell during deep processing can be used to increase or decrease the concentration of chemical elements. The range of variations in the content of chemical elements increases with increasing their concentration. In the analyzed samples, the content of lead, cadmium, arsenic and mercury is less than the maximum permissible values for white lupine grain used in feed. The data obtained are important for use in the production of compound feeds, protein concentrates and for determining standards for the content of chemical elements in white lupine grain and its parts as statistical materials when drawing up feeding programs for farm animals, poultry, and fish.

Ключевые слова: люпин белый (*Lupinus albus L.*), ядро семени, оболочка семени, содержание химических элементов.

Key words: white lupine (*Lupinus albus L.*), seed kernel, seed coat, content of chemical elements.

Люпин белый (*Lupinus albus L.*) – относительно новая сельскохозяйственная культура в АПК России, которая при этом имеет многовековую историю возделывания. Исследования белого люпина, которые в XX в. были начаты под руководством Н. А. Майсурына, привели к тому, что в XXI в. в результате интродукции культуры и успехов в селекции она превратилась в один из сегментов экономики Российской Федерации [1]. Вместе с другими зернобобовыми культурами люпин белый стал основой биологизации земледелия [2, 3], которая предусматривает решение проблем кормопроизводства

[4] и обеспечения населения продовольствием при максимальном использовании биологических факторов для повышения плодородия почв и продуктивности агроэкосистемы при снижении антропогенной нагрузки.

В ходе исследований были получены следующие результаты:

выведены сорта [5], адаптированные к возделыванию в условиях Российской Федерации [6];

изучены этапы роста и развития растений, определено влияние сорного компонента и патогенной микрофлоры на фитосанитарное состояние посевов люпина белого [7];

разработаны элементы технологии возделывания люпина белого в чистых и смешанных посевах [8, 9], его уборки в чистых посевах [10] и с подсевом зерновых культур [11] с последующей послеуборочной и глубокой переработкой семян [12, 13];

начато производство комбикормов и белковых концентратов на основе люпина белого [14, 15];

изучены рационы кормления высокопродуктивной сельскохозяйственной птицы мясного и яичного направления [16, 17], сельскохозяйственных животных и рыбы в аквакультуре [18, 19];

определены способы повышения плодородия почв в процессе оптимизации питания люпина белого при его возделывании [20, 21];

установлена возможность использования люпина белого при производстве продуктов питания и полуфабрикатов мясного и растительного происхождения [22].

Для каждого из перечисленных направлений необходимо изучение химического и биохимического состава семян, их технологических свойств. Исследование элементного состава растений и продуктов их переработки позволяет уточнить технологию возделывания культуры, оптимизировать систему удобрения, довести размеры урожая с заданными параметрами качества до планируемой величины. Ранее изучали вопросы химии семян люпина белого, но исследования или касались нескольких химических элементов, или проводились на ограниченном числе растительных образцов [23]. Это не позволяло получать представительные выборки статистических данных, так как определяли химические элементы только во всём семени или его ядре без оболочки [24].

В связи с этим особенности химического состава семени и составляющих его ядра и оболочки у наиболее распространённых и перспективных сортов люпина белого представляют интерес не только для науки, но и для производства. Разработка технологии возделывания люпина белого, определение стратегии и методов его переработки для производства продукции более высокого качества основаны на знаниях элементного состава семян, особенностей транслокации химических элементов из почвы в растения с последующим переходом в кормовой цепи от растения в организм животного и человека.

Выбор химических элементов для исследований сделан, исходя из их значения для жизни растений и содержания в семенах – основной продукции, ради которой белый люпин возделывают. В результате все исследуемые химические элементы можно разделить на три группы: необходимые, которые включают макро- и микроэлементы (азот, фосфор, калий, кальций, магний, натрий, сера, железо, молибден, медь, марганец, цинк, кобальт); условно необходимые (никель, хром, свинец, кадмий); поллутанты (мышьяк, ртуть).

Цель исследования – анализ элементного состава семян и их частей трех сортов люпина белого для совершенствования технологий его возделывания и расширения направлений переработки.

Методика. Для исследования использовали семена люпина белого сортов Гамма, Дега и Детер 1, выращенные при проведении полевых опытов в 2009–2011 гг. на северо-востоке Центрального Черноземья в Тамбовской области. Они относятся к разным морфотипам, но устойчиво созревают в условиях Центрального Черноземья. Сорт Детер 1 не имеет боковых побегов и выступает наиболее скороспелым из всех существующих сортов люпина белого. Сорт Гамма формирует семена на главном побеге и побегах 1-го и 2-го порядка, сорт Дега – на главном и побегах 2-го и 3-го порядка.

Средняя продолжительность периода вегетации от всходов до полной спелости у сорта Гамма составляет 103 дня, у сорта Дега – 104 дня, у сорта Детер 1 – 96 дней. Различия между сортами по архитектонике, продолжительности периода вегетации, устойчивости к болезням, особенностям формирования урожая и потенциалу урожайности семян позволили сделать выборку представительной, в том числе для исследования элементного состава семени и его частей. Для исследования проводили обрушение 9 образцов трёх сортов, урожай которых собирали в течение трёх лет. В результате были получены 27 образцов, в каждом из которых определяли содержание 19 химических элементов.

Почва опытного участка чернозём выщелоченный, среднесуглинистый. Среднезвешенные агрохимические показатели плодородия: содержание гумуса – 8,0 %, подвижного фосфора (по Чирикову) – 64 мг/кг P_2O_5 , обменного калия (по Масловой) – 104 мг/кг K_2O , pH_{KCl} – 5,7, степень насыщенности почвы основаниями – 82,7 %.

Семена люпина белого разделяли на ядро и оболочку в лаборатории механически с взвешиванием навесок до и после разделения. Валовое содержание химических элементов определяли в семенах в целом, ядре и оболочке в Государственном центре агрохимической службы «Белгородский» по методикам, принятым в Государственной агрохимической службе России. Для определения содержания азота использовали ГОСТ 13496.4-93, фосфора – ГОСТ 26657-97, калия – ГОСТ 30504-97, кальция – ГОСТ 26570, магния – ГОСТ 32343-2013, железа – ГОСТ 27998-88, натрия – ГОСТ 30503-97, цинка, меди, свинца и кадмия – ГОСТ 30692-2000, мышьяка – ГОСТ 26930-86, ртути – ГОСТ 26927-86, кобальта – ГОСТ 10.155-88, марганца – ГОСТ 27997-88. Концентрацию никеля, хрома, молибдена и серы измеряли в соответствии с действующими методическими указаниями [25, 26, 27].

При подготовке к проведению химических анализов массу семян пересчитывали на стандартную чистоту и влажность. Содержание химических элементов выражали в расчёте на элемент в процентах и в мг/кг сухого вещества.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программы Microsoft Excel. Вычисляли среднее значение ($X_{\text{сред.}}$) совокупности данных по каждому из химических элементов, доверительный интервал и устанавливали его границы. Кроме того, определяли минимальные (X_{min}) и максимальные (X_{max}) величины концентрации химических элементов, а также разность между крайними значениями для оценки амплитуды их разброса в семенах люпина белого и его частях.

Результаты и обсуждение. Доля ядра в среднем за три года составляла $81,31 \pm 3,40$ % от массы семени, оболочки – $18,69 \pm 3,40$ %. Границы доверительного интервала изменялись соответственно от 77,9 до 84,7 % и от 15,3 до 22,1 %. Сведения о соотношении ядра и оболочки в массе семян люпина белого необходимы для производства белковых концентратов, которые используют в кормлении сельскохозяйственных животных, птицы, рыбы.

В исследованных семенах содержание азота изменялось от 6,36 до 7,10 % при средней величина этого показателя $6,82 \pm 0,25$ % (см. табл.). Наибольшее количество азота отмечали в ядре – $7,98 \pm 0,42$ %, в оболочке оно находилось на уровне $1,57 \pm 0,09$ %.

В результате обрушения семян содержание азота в конечном продукте увеличилось на 1,16 %. При умножении этой величины на коэффициент 6,25 можно

Элементный состав семян люпина белого

Элемент	Семена в целом		Ядро		Оболочка	
	$X_{\text{среднее}} \pm$ доверительный интервал	границы значений $X_{\text{min}} \dots X_{\text{max}}$	$X_{\text{среднее}} \pm$ доверительный ин- тервал	границы значений $X_{\text{min}} \dots X_{\text{max}}$	$X_{\text{среднее}} \pm$ доверительный интервал	границы значений $X_{\text{min}} \dots X_{\text{max}}$
Азот, %	6,82 ± 0,25	6,36...7,10	7,98 ± 0,42	7,53...8,71	1,57 ± 0,09	1,45...1,72
Фосфор, %	0,45 ± 0,07	0,38...0,56	0,50 ± 0,08	0,40...0,61	0,10 ± 0,02	0,07...0,12
Калий, %	1,37 ± 0,17	1,18...1,68	1,51 ± 0,17	1,27...1,82	0,59 ± 0,05	0,48...0,68
Кальций, %	0,35 ± 0,02	0,32...0,39	0,21 ± 0,01	0,19...0,23	0,79 ± 0,04	0,74...0,84
Магний, %	0,17 ± 0,02	0,15...0,21	0,19 ± 0,03	0,16...0,25	0,100 ± 0,008	0,09...0,11
Натрий, %	0,240 ± 0,006	0,23...0,25	0,231 ± 0,006	0,22...0,24	0,25 ± 0,01	0,24...0,27
Сера, %	0,31 ± 0,02	0,30...0,35	0,35 ± 0,03	0,31...0,41	0,11 ± 0,02	0,09...0,14
Железо, мг/кг	41,85 ± 1,36	39,19...43,19	47,90 ± 1,62	45,52...51,40	21,28 ± 1,19	20,13...22,99
Цинк, мг/кг	48,55 ± 4,33	40,65...52,59	53,37 ± 7,59	42,47...55,52	15,83 ± 3,53	10,27...19,59
Молибден, мг/кг	6,80 ± 0,67	5,39...7,91	7,04 ± 0,73	5,48...8,22	1,12 ± 0,21	0,88...1,59
Медь, мг/кг	6,06 ± 0,82	4,83...7,22	6,60 ± 1,05	5,38...8,89	3,24 ± 0,99	2,39...4,91
Марганец, мг/кг	390,7 ± 181,6	208,9...732,8	498,42 ± 215,04	215,20...943,33	141,9 ± 62,1	87,6...266,8
Кобальт, мг/кг	0,82 ± 0,19	0,61...1,20	0,84 ± 0,22	0,62...1,30	0,74 ± 0,09	0,63...0,87
Никель, мг/кг	3,39 ± 0,86	2,09...4,95	4,05 ± 0,73	3,10...5,16	0,50 ± 0,02	0,47...0,53
Хром, мг/кг	0,329 ± 0,049	0,27...0,41	0,281 ± 0,044	0,23...0,35	0,447 ± 0,033	0,39...0,49
Свинец, мг/кг	0,60 ± 0,04	0,52...0,64	0,55 ± 0,05	0,50...0,63	0,69 ± 0,03	0,65...0,74
Кадмий, мг/кг	0,061 ± 0,003	0,057...0,067	0,056 ± 0,003	0,052...0,062	0,064 ± 0,004	0,058...0,069
Мышьяк, мг/кг	0,024 ± 0,002	0,020...0,026	0,022 ± 0,002	0,019...0,025	0,028 ± 0,002	0,025...0,032
Ртуть, мг/кг	0,0030 ± 0,0012	0,0022...0,0060	0,0034 ± 0,0014	0,0023...0,0063	0,0025 ± 0,0003	0,0022...0,0027

рассчитать содержание сырого протеина в семени и ядре, которое после обрушения оболочки возросло на 7,25 % с 42,63 до 49,88 %. При этом оболочка семян люпина белого, которая выступает отходом процесса обрушения, может служить ценным кормом для животных, испытывающих дефицит клетчатки в рационах.

Известно, что при оптимизации азотного питания содержание сырого протеина в семенах может быть повышено на 2...3 % [28]. При глубокой переработке, включающей обрушение и сушку с использованием инфракрасного излучения, можно увеличить содержание сырого протеина на 10 % и более, что дает возможность производить корма с новыми, более ценными качествами и сохранять содержания алкалоидов на уровне ниже ПДК для кормов [29].

Люпин белый относится к культурам с высоким содержанием фосфора в семенах (0,45 ± 0,07 %). Большая его часть сосредоточена в ядре (0,50 ± 0,08 %), меньшая – в оболочке (0,10 ± 0,02 %). Значительное потребление растениями азота требует большого количества фосфора, так как они тесно взаимосвязаны. При высоком содержании азота и фосфора в семенах их соотношение не самое широкое среди зерновых, зернобобовых, технических и других культур.

Большая часть калия содержится в ядре семени (1,51 %) люпина белого, меньшая – в оболочке (0,59 %). Улучшение калийного питания растений приводит к повышению урожая и содержанию азота в семенах. В связи с этим повышение плодородия почв, мониторинг их состояния становится важной задачей, сопутствующей возделыванию белого люпина, и формированию высоких урожаев на уровне 80...90 % потенциальных возможностей сорта при сохранении заданных параметров качества [30].

Содержание кальция в семенах люпина белого значительно меньше, чем в вегетативных органах и корневой системе. Поэтому из-за высокой концентрации фосфора в семенах необходима корректировка рационов животных по количеству кальция при использовании целого (0,35 ± 0,02 %) и обрубленного семени (0,21 ± 0,01 %). Так как считается, что их усвоение будет хорошим, если в кормовом рационе сельскохозяйственных животных и птицы на одну часть Р приходится 0,5...2,0 части Са.

Высокое содержание фосфора в семенах люпина белого связано со способностью растений хорошо обеспечивать питание этим элементом, в том числе из трёхзамещённых фосфатов, недоступных для пита-

ния большинства сельскохозяйственных культур. В результате соотношение Са: Р в семени составляет 0,78, в ядре – 0,43, в оболочке – 7,90. Таким образом, в семени оно находится в оптимальных пределах, а в ядре сильно сокращается. Поэтому при использовании обрубленных семян для производства кормов их необходимо балансировать по содержанию кальция и фосфора [31].

Магния в семени содержится меньше, чем кальция (0,17 ± 0,02 %). В ядре его доля несколько увеличивается (0,19 ± 0,03 %), а в оболочке снижается (0,100 ± 0,008 %). Соотношение Са: Mg в семени равно 2,06, в ядре – 1,09, в оболочке – 7,9. Принято считать, что корм лучше усваивается если соотношение этих химических элементов находится в пределах 2,0...3,0 [31]. По нашим данным в семенах оно находится на оптимальном уровне, а при использовании отдельно ядра и оболочки на корм соотношение Са: Mg необходимо балансировать.

Натрия в семени также содержится меньше, чем кальция (0,240 ± 0,006 %). Больше его находится в оболочке (0,25 ± 0,01 %), меньше – в ядре (0,231 ± 0,006 %). Разброс величины этого показателя минимальный. В семени она изменяется от 0,23 до 0,25 %, в ядре – от 0,22 до 0,25 %, в оболочке – от 0,24 до 0,27 %.

Содержание серы в семенах люпина белого составляет 0,31 ± 0,02 %. Участвуя в цикле азота, этот элемент выступает исходным продуктом при синтезе белков и конечным при их распаде, сера усиливает формирование клубеньковых бактерий и способствует фиксации азота из атмосферы. Поэтому люпин белый, накапливая в семенах значительное количество азота, потребляет для его усвоения серу значительно больше, чем другие культуры [32].

Сера входит в состав незаменимой аминокислоты метионина и заменимой аминокислоты цистина, содержание которых нормируют в кормах для сельскохозяйственной животных и птицы [32]. В семени этот элемент накапливается в основном в ядре (0,35 ± 0,03 %) и в меньшей степени в оболочке (0,11 ± 0,02 %). Разброс данных по содержанию серы в семени варьирует от 0,30 до 0,35 %.

Белый люпин считают концентратом марганца. В его семенах содержание этого элемента составляет 390,70 ± 181,57 мг/кг. При обрушении семян количество марганца на единицу массы возрастает до 498,4 ± 215,0 мг/кг. Содержание марганца в оболочке ниже, оно составляет 141,9 ± 62,1 мг/кг. Производить корма, богатые марганцем, важно для развития мясного на-

правления животноводства и птицеводства, так как этот элемент укрепляет кости животных и птицы, что позволяет формировать большую убойную массу [33].

Способность люпина белого потреблять большое количество марганца определяется не только его физиологическими особенностями. Прототипом выведенных в России сортов послужили формы этой культуры, произрастающие в субтропиках северного Причерноморья на почвах, содержащих повышенное количество марганца. Радиационное и химическое воздействие на семена люпина белого позволили создать формы, устойчиво созревающие в условиях северо-востока Центрального Черноземья. Расщепление генома с последующей интродукцией не изменили способность культуры усваивать марганец в гипертрофированных количествах при возделывании на атипичных для роста и развития растений чернозёмах и серых лесных почвах.

В условиях северного Причерноморья культурные формы люпина белого произрастали на почвах с кислой реакцией почвенного раствора. В таких условиях марганец в почве обладает большой подвижностью. На чернозёмах и серых лесных почвах кислотность почвенного раствора снижается, достигая значений слабокислой или близкой к нейтральной, при которых марганец становится малоподвижным и недоступным для растений. Корневые выделения люпина белого способны изменять величину pH в ту или иную сторону на две единицы. В результате чего малоподвижный марганец, как и фосфор трёхзамещённых фосфатов, становится более доступным для питания растений и накапливается в семенах люпина белого.

Железо и другие необходимые микроэлементы (молибден, цинк, медь, кобальт) сконцентрированы, в основном, в ядре и в меньшей степени в оболочке люпина белого. Содержание железа в семени составило $41,85 \pm 1,36$ мг/кг. Большая часть его накапливалась в ядре ($47,90 \pm 1,62$ мг/кг). В оболочке содержание железа составило $21,28 \pm 1,19$ мг/кг. По годам содержание железа в семенах изменялось от 39,19 до 43,19 мг/кг.

Люпин белый накапливает в семенах достаточно большое количество цинка – в среднем $48,55 \pm 4,33$ мг/кг с изменением по годам от 40,65 до 52,59 мг/кг. В ядре его концентрация достигает $53,37 \pm 7,59$ мг/кг, в оболочке содержание цинка значительно меньше ($15,83 \pm 3,53$ мг/кг).

Содержание молибдена в семенах составляет в среднем $6,80 \pm 0,67$ мг/кг с варьированием от 5,39 до 7,91 мг/кг. Молибден концентрируется в основном в ядре ($7,04 \pm 0,73$ мг/кг) и в меньшей степени в оболочке ($1,12 \pm 0,21$ мг/кг).

Концентрация кобальта в семенах составляет в среднем $0,82 \pm 0,19$ мг/кг с варьированием от 0,61 до 1,20 мг/кг. Кобальт в большей части концентрируется в ядре ($0,84 \pm 0,22$ мг/кг), в составе оболочки его несколько меньше ($0,74 \pm 0,09$ мг/кг).

Содержание меди в семенах в среднем находится на уровне $6,06 \pm 0,82$ мг/кг. Минимальная величина этого показателя составляет 4,83 мг/кг, максимальная – 7,22 мг/кг. Медь концентрируется в основном в ядре ($6,60 \pm 1,05$ мг/кг), в оболочке ее содержание составляет $3,24 \pm 0,99$ мг/кг.

Разброс данных по содержанию химических элементов в семени, ядре и оболочках связан, вероятно, с погодными условиями при возделывании люпина белого, пестротой плодородия почвы, уровнем обеспеченности растений питательными элементами. Необходимо отметить, что железо, молибден, цинк, медь, кобальт сконцентрированы, в основном, в ядре, разброс между

максимальными и минимальными величинами этих химических элементов в ядре так же более значительный, чем в семени и оболочке.

Содержание в семенах люпина белого марганца, цинка, кобальта и молибдена больше, чем у сои и других зерновых и зернобобовых культур, меди – меньше [34, 35], что приводит к их большему выносу с урожаем.

Содержание условно необходимых элементов хрома, свинца и кадмия больше в оболочке, чем в ядре, а никеля – в ядре, чем в оболочке. Количество никеля в семенах составляет в среднем $3,39 \pm 0,86$ мг/кг с варьированием от 2,09 до 4,95 мг/кг. Концентрация этого элемента в ядре составляет $4,05 \pm 0,73$ мг/кг, в оболочке – $0,50 \pm 0,02$ мг/кг. Содержание хрома в семенах $0,329 \pm 0,049$ мг/кг с амплитудой крайних значений от 0,27 до 0,41 мг/кг. В ядре накапливается $0,281 \pm 0,044$ мг/кг хрома, что почти в 2 раза меньше, чем в оболочке ($0,447 \pm 0,033$ мг/кг). В семенах люпина белого в среднем $0,60 \pm 0,04$ мг/кг свинца при разбросе значений от 0,52 до 0,64 мг/кг. Его содержание в ядре составляет $0,55 \pm 0,05$ мг/кг, в оболочке – $0,69 \pm 0,03$ мг/кг. Концентрация кадмия в семенах находится на уровне $0,061 \pm 0,003$ мг/кг с крайними величинами от 0,057 до 0,067 мг/кг. В ядре люпина белого содержание этого элемента составляло $0,056 \pm 0,003$ мг/кг, в оболочке – $0,064 \pm 0,004$ мг/кг.

Среди поллютантов больше содержание мышьяка отмечено в оболочке, ртути – в ядре. Концентрация мышьяка в семенах составляла $0,024 \pm 0,002$ мг/кг, в ядре – $0,022 \pm 0,002$ мг/кг, в оболочке – $0,028 \pm 0,002$ мг/кг. Количество ртути в семенах составляет $0,0030 \pm 0,0012$ мг/кг, в ядре – $0,0034 \pm 0,0014$ мг/кг, в оболочке – $0,0025 \pm 0,0003$ мг/кг.

Содержание свинца, кадмия, мышьяка и ртути меньше предельно допустимых концентраций (ПДК), принятых для семян белого люпина в соответствии с техническим регламентом таможенного союза «О безопасности зерна»: свинца – не более 5,0 мг/кг, кадмия – не более 0,5 мг/кг, мышьяка – не более 2,0 мг/кг, ртути – не более 0,1 мг/кг [23].

Сведения об элементном составе семян и его частей важны не только для разработки системы удобрения люпина белого и управления производственным процессом, но и для его глубокой переработки с целью производства продукта, который в большей степени отвечает требованиям для кормления сельскохозяйственных животных, птицы, рыбы [36, 37]. Поэтому при необходимости повысить или снизить содержание химических элементов в люпине белом необходимо семена оставить или в нативном состоянии, или провести их обрушение. Полученные при обрушении семян люпина белого, ядро и оболочка могут служить основой для производства комбикормов и белковых концентратов.

Получить данные об элементном составе семян белого люпина в различных почвенно-климатических зонах страны можно без привлечения дополнительных средств. Для этого целесообразно использовать результаты демонстрационных опытов, в которых, обычно, выращивают районированные и перспективные сорта, с проведением анализа растительных образцов в сертифицированных лабораториях для получения сопоставимых результатов, что позволит накапливать информацию для формирования соответствующей базы данных.

Выводы. В продукции белого люпина накапливается большое количество азота, фосфора, калия, магния, натрия, серы, железа, цинка, марганца, кобальта, молибдена. Ядра содержат больше азота, фосфора, калия, магния, серы, железа, молибдена, цинка, меди, марганца, кобальта, никеля, оболочки – кальция, натрия,

хрома, свинца, кадмия, мышьяка. Люпин белый служит растением-концентратором марганца.

Разделение семян на части может быть использовано при переработке белого люпина и производстве концентрированных кормов и кормовых добавок. В анализируемых образцах содержание свинца, кадмия, мышьяка и ртути было меньше предельно допустимых значений, принятых в Таможенном союзе (технический регламент таможенного союза «О безопасности зерна») для продукции, используемой на кормовые цели.

Благодарность. Автор благодарит и выражает признательность доктору сельскохозяйственных наук, профессору Лукину Сергею Викторовичу за помощь, оказанную при изучении состава семян.

Литература

1. Достижения и перспективы селекции люпина / М. И. Лукашевич, П. А. Агеева, Н. В. Новик и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 2. С. 29–32. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10207.
2. Лукин С. В. Биологизация земледелия в Белгородской области: итоги и перспективы // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 7. С. 20–23.
3. Агрономические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия / В. М. Косолапов, А. С. Цыгуткин, Н. В. Алдошин и др. // Кормопроизводство. 2022. № 3. С. 41–47.
4. Косолапов В. М., Чернявских В. И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» в их решении // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 4. С. 5–4. doi: 10.53859/02352451_2022_36_4_5.
5. Влияние новых изолятов клубеньковых бактерий на рост и развитие белого люпина сорта Детер I / Ч. Зулицэцг, О. В. Селицкая, А. С. Цыгуткин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 11. С. 78–80.
6. Мониторинг патогенной микрофлоры в посевном материале сортов люпина белого и узколистного в условиях Брянской области / Л. И. Пимохова, Н. В. Мисникова, Г. Л. Яговенко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 6. С. 47–54. doi: 10.53859/02352451_2022_36_6_47.
7. Пимохова Л. И., Яговенко Г. Л. Болезни и вредители люпина: система и средства защиты. Брянск: Читай-город, 2020. 89 с.
8. Смешанные посевы с люпином в земледелии Нечерноземной зоны / М. Н. Новиков, И. П. Такунов, Т. Н. Слесарева и др. М.: ООО «Столичная типография», 2008. 160 с. ISBN 978-5-9974-0010-1.
9. Слесарева Т. Н., Такунов И. П., Новиков М. Н. Люпино-злаковые посевы – перспективное направление в земледелии // Земледелие. 2010. № 4. С. 7–9.
10. Обоснование технологических параметров комбайнов на уборке белого люпина / Н. В. Алдошин, А. А. Золотов, А. С. Цыгуткин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 1. С. 64–66.
11. Алдошин Н. В., Золотов А. А., Цыгуткин А. С. Технологические аспекты уборки белого люпина с яровым тритикале // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 2. С. 73–76.
12. Зверев С. В., Ставцев А. Э., Цыгуткин А. С. Белый люпин: обрушение и термообработка зерна. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2019. 128 с. ISBN 978-5-00077-826-5.
13. Термовлагообмен зерна люпина при нагреве в потоке инфракрасного излучения / С. В. Зверев, В. М. Косолапов, А. Э. Ставцев и др. // Кормопроизводство. 2021. № 7. С. 34–39.
14. Белковый концентрат на основе белого люпина с высоким содержанием протеина / И. А. Егоров, Т. В. Егорова, Л. И. Криворучко и др. // Птицеводство. 2018. № 9. С. 15–19.
15. Использование белкового концентрата на основе белого люпина в рационах цыплят-бройлеров / И. А. Егоров, Т. В. Егорова, А. Э. Ставцев и др. // Птица и птицепродукты. 2017. № 1. С. 33–36.
16. Фисинин В. И. Мировое и российское птицеводство: реалии и вызовы будущего: монография. М.: Хлебпродинформ, 2019. 470 с.
17. Люпин в кормлении сельскохозяйственной птицы / Е. Н. Андрианова, И. А. Егоров, Е. Н. Григорьева и др. // Птицеводство. 2019. № 11–12. С. 31–36. doi: 10.33845/0033-3239-2019-68-11-12-31-36.
18. Особенности формирования бактериального сообщества рубца и биохимический статус организма коров в зависимости от источника протеина / Н. П. Буряков, Г. Ю. Лаптев, М. А. Бурякова и др. // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2021. № 12 (197). С. 3–22. doi: 10.33920/sel-05-2112-01.
19. Рыбопродуктивность осетров при использовании отечественных комбикормов / С. И. Николаев, Ю. М. Батракова, А. Э. Ставцев и др. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022. № 1 (68). С. 83–87.
20. Формирование урожайности зерна и показатели качества люпина белого (*Lupinus albus* L.) при применении селенита натрия / И. И. Серегина, А. О. Шумилин, Ю. М. Вигилянский и др. // Агрохимия. 2018. № 7. С. 73–80. doi: 10.1134/S0002188118070128.
21. Цыгуткин А. С., Азаров А. В. Изучение влияния технологий возделывания сельскохозяйственных культур и почвы, как саморазвивающейся системы, на содержание гумуса // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 6. С. 44–49. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10608.
22. Грикшас С. А., Муромцева Д. В., Кузьмина М. О. Технологические особенности использования клетчатки белого люпина в производстве полукопченых колбас // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 4. С. 76–80. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10416.
23. Лукин С. В. Агроэкологическая оценка макро- и микроэлементного состава растений белого люпина // Земледелие. 2017. № 8. С. 42–44.
24. Люпин: селекция, возделывание, использование / В. М. Косолапов, Г. Л. Яговенко, М. И. Лукашевич и др. Брянск: Брянское областное полиграфическое объединение, 2020. 304 с. ISBN 978-5-94632-223-2.
25. Прижужкова В. Г., Шаймухаметова А. А., Тюхова М. В. Методические указания по определению серы в растениях и кормах растительного происхождения. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2004. 8 с.
26. Атомно-абсорбционные методы определения токсичных элементов в пищевых продуктах и пищевом сырье. Методические указания. М., 1992. 16 с.
27. Методические указания по колориметрическому определению микроэлементов в кормах и растениях. М.: Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства МСХ СССР (ЦИНАО), 1977. 39 с.
28. Научные основы и рекомендации по диагностике и оптимизации минерального питания зерновых и других культур: Коллективная монография /

- П. Г. Акулов, Р. А. Афанасьев, Г. П. Гамзиков и др. М.: Агроконсалт, 2000. 100 с.
29. Использование метода спектрофотометрии для идентификации высокоалкалоидных семян белого люпина / С. В. Зверев, В. М. Косолапов, В. Б. Зайцев и др. // Кормопроизводство. 2020. № 10. С. 25–28.
30. Мониторинг основных агрохимических показателей плодородия пахотных почв в Центрально-Черноземном районе России / Р. В. Некрасов, С. В. Лукин, Д. А. Куницын и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 9. С. 4–10. doi: 10.53859/02352451_2021_35_9_4.
31. Методическое руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы / И. А. Егоров, В. А. Манукян, Т. М. Околелова и др. Сергиев Посад: Изд-во ВНИТИП, 2015. 199 с.
32. Подобед Л. И. Аминокислоты в питании сельскохозяйственных животных и птицы. Одесса: Акватория, 2017. 280 с.
33. Природный источник марганца – белый люпин / Е. Н. Андрианова, Л. В. Кривопишина, О. А. Чванова и др. // Птица и птицепродукты. 2015. № 5. С. 47–49.
34. Лукин С. В., Селюкова С. В. Агроэкологическая оценка микроэлементного состава растений сои // Достижения науки и техники АПК. 2017. № 6. С. 34–36.
35. Лукин С. В., Жуйков Д. В. Мониторинг содержания марганца, цинка и меди в почвах и растениях Центрально-Черноземного района России // Почвоведение. 2021. № 1. С. 60–69.
36. Промышленное птицеводство. Под общ. ред. В. И. Фисинина. М.: ФНЦ «ВНИТИП» РАН, 2016. 354 с.
37. Адаптивная ресурсосберегающая технология производства яиц: монография / В. И. Фисинин, А. Ш. Кавтарашвили, И. А. Егоров и др. Сергиев Посад: Изд-во ВНИТИП, 2016. 351 с.

Поступила в редакцию 01.08.2023

После доработки 23.08.2023

Принята к публикации 12.09.2023