

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛОДОВ, СЕМЯН
И УРОЖАЙНОСТЬ СОРТОВ ЛЮПИНА БЕЛОГО (*LUPINUS ALBUS L.*)
С ДЕТЕРМИНАНТНЫМ ТИПОМ РОСТА

Г.Г. ГАТАУЛИНА, А.В. ШИТИКОВА, Н.В. МЕДВЕДЕВА

(Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Многолетние исследования были проведены на экспериментальном стационаре Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, расположенном в Тамбовской области (Мичуринский р-н Центрально-Черноземного региона РФ). Селекционная программа создания новых сортов детерминантного типа роста реализована на черноземах выщелоченных и включала в себя исследования по оценке степени влияния абиотических стресс-факторов на основные показатели динамического роста и продуктивности растений сортов *Lupinus albus L.* Тимирязевской селекции. При проведении исследований в условиях 2021–2022 гг. у новых сортов люпина белого Тимирязевский и Гана установлен высокий уровень адаптации в засушливых условиях: урожайность составила 540 г/м² (сорт Тимирязевский) и 516 г/м² (сорт Гана).

Ключевые слова: *Lupinus albus L.*, сорта, варибельность, урожайность, динамические параметры формирования урожая, стресс-факторы

Введение

Белый люпин (*Lupinus albus L.*), как альтернатива сое в мировой практике, достаточно широко освещается в многочисленных источниках литературы. Естественно, что истоки этого направления в проведенных исследованиях прежде всего обращены к характеристике этого вида в сравнении с другими видами рода *Lupinus spp* средиземноморского происхождения [1, 3, 5]. В ряде научных публикаций подчеркивается, что зерно люпина белого использовали в пищу и в качестве корма для скота в древние времена после удаления алкалоидов путем вымачивания в проточной воде.

Lupinus albus L. – однолетнее растение высотой до 120 см, с прочным стеблем и корневой системой, проникающей в почву на глубину 1,5 м. Листья очередные, с 5–9 листочками. Отдельные растения последовательно образуют ветви (боковые побеги) нескольких порядков, заканчивающиеся соцветием. Цветки могут быть различной окраски: от белого до синего цвета с разными оттенками, семена крупные, кремового цвета, круглой приплюснутой формы, масса 1000 семян – 300–450 г. Высокий урожай семян и сбор белка с 1 га возможны без внесения азотных удобрений за счет симбиотической азотфиксации [2–4]. Содержание алкалоидов в зерне люпина белого варьируется в зависимости от сорта, типа почвы и периода вегетации. В люпине меньше антипитательных факторов, чем в соевых бобах. Зерно люпина в отличие от сои не нуждается в термической обработке, поскольку ингибиторы трипсина практически отсутствуют (варьируется от 0,1 до 0,2 мг/г) [3, 5, 7].

Содержание белка (30...50%) в семенах *L. albus* определяется генотипом и условиями произрастания. В отличие от злаков белки люпина содержат большое количество лизина и низкое количество серосодержащих аминокислот [6]. Содержание масла варьируется от 9 до 11%. При этом отмечается высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот – таких, как олеиновая, линолевая, альфа-линоленовая, которые в сочетании с низкой концентрацией насыщенных жирных кислот для питательного рациона считаются оптимальными, в том числе для профилактики ряда заболеваний.

Содержание омега-6 и омега-3 и их соотношение в составе зерна люпина имеют важное значение. Семена белого люпина являются богатым источником макро- и микроэлементов, их общее содержание составляет 30–40 мг/кг: кальций – от 2,1 до 4,7 г/кг; фосфор – от 4,3 до 7,2 г/кг; магний – от 1,2 до 2,2 г/кг; калий – от 8,6 до 11,1 г/кг; натрий – от 0,1 до 0,2 г/кг. Высокое содержание витаминов в семенах люпина может обеспечить до 1/2 суточной потребности в тиамине, около 1/3 ниацина и 1/5 суточной потребности рибофлавина (при использовании 100 г семян) [9, 10, 14].

Зерно люпина содержит алкалоиды, относящиеся к семейству хинолизидинов, – в основном спартеин и люпанин, придающие зерну горький вкус. Присутствие алкалоидов является нетоксичным при низких концентрациях, современные сорта содержат 0,04–0,05% алкалоидов. Поскольку большинство алкалоидов люпина растворимо в воде, их содержание в зерне можно снижать путем предварительной обработки.

Зерновая продукция *L. albus* широко применяется в мировом производстве высокопротеиновых. Муку люпина можно использовать в производстве различных ферментированных продуктов, макарон, чипсов, хлеба и эмульгированных мясных продуктов для повышения питательной ценности, а также для изменения текстуры. Люпин белый используется в качестве полной или частичной замены соевых бобов при производстве тофу, для получения белкового изолята [13, 14, 17].

В дополнение к питательной ценности в кормлении животных люпин является хорошим предшественником для многих культур севооборота, в том числе при производстве органической продукции [10, 12, 16].

Интерес к производству люпина белого как потенциального источника протеина в последнее время стремительно повышается, в том числе и для использования в фармакологии благодаря высокой адаптации растения к почвенно-климатическим условиям [14, 17].

Нестабильность урожайности культур семейства Fabaceae в мировом растениеводстве определяется влиянием неблагоприятных условий тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода.

Цель исследований: изучение изменчивости продукционных этапов развития растений на основе динамических параметров *L. albus*, определение вклада отдельных этапов органогенеза в течение вегетационного периода, урожайных свойств, зависимости уровня урожайности от климатических факторов в условиях изменения климата для Центрально-Черноземного региона РФ.

Материал и методы исследований

В схему опыта были включены разные типы сортов люпина белого, существенно различающиеся по морфоархитектонике растений: побегообразование, динамика роста, этапы органогенеза и их продолжительность.

Исследования проведены в условиях полевого стационара Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, расположенного

в Тамбовской области (Мичуринский р-н Центрально-Черноземного региона РФ), на черноземных почвах выщелоченных, средней мощности ($pH_{\text{сол.}}$ – 5,8; P_2O_5 –96 мг; K_2O – 215 мг/кг почвы). Площадь опытной делянки – 25 м², в четырехкратной повторности. Посев производили в III декаде апреля (оптимально ранний) широкорядным способом (0,45 м) при норме высева 0,5 млн шт. всхожих семян на 1 га.

Азотофиксирующая способность растений обеспечивает получение устойчивых урожаев культуры без внесения удобрений. Продуктивность и ее структурные элементы главного и боковых побегов, урожайность семян приведены на единицу площади. Статистическая обработка экспериментальных данных произведена с использованием MS Office Excel. Коэффициент вариации (V%) использовали для оценки вариабельности показателей продуктивности. Коэффициент вариации определяли как отношение, выраженное в процентах, среднеквадратического отклонения (в статье – сигма) к средней оцениваемого показателя.

Результаты и их обсуждение

Белый люпин относится к позднеспелым видам, которые раньше в условиях северной части Центрально-Черноземного региона России не созревали. Интродукция белого люпина в этот регион стала возможной благодаря селекционной работе ученых РГАУ-МСХА, в результате многолетних экспериментов которых были получены первые экспериментальные образцы растений с детерминантным типом роста. Они послужили основой создания нового уникального исходного материала для начала селекции новых сортов *L. albus*, вызревающих в условиях Центрального Черноземья. Так появились новые сорта *L. albus*: Старт, Гамма, Мановицкий, Дега, Дельта, Детер 1. Новым этапом в научных исследованиях явилась разработка теоретических основ формирования урожая, присущих биологии культуры для семейства Бобовые.

Биологически обоснованные периоды формирования урожая у люпина белого и других культур семейства Fabaceae научно обоснованы в многолетних опытах. При этом последовательно установлены особенности агроценоза как фотосинтезирующей системы по периодам формирования элементов продуктивности, обеспечивающих значимое изменение урожайности и сбора протеина. Структура динамической системы применима для моделирования формирования продуктивности и других бобовых культур.

Для всех культур характерны два периода в развитии, когда фотосинтез отсутствует: начальный период – *от посева до появления всходов*; конечный период – *созревание*, когда на растениях отсутствуют листья и другие его зеленые части.

В течение вегетации от всходов до начала созревания, когда посев функционирует как фотосинтезирующая система, выделяются 4 периода:

I – от всходов до начала цветения (до раскрытия первого цветка на растении);

II – цветение и образование плодов (от раскрытия первого цветка до полного окончания цветения);

III – рост плодов (в конце периода плоды на боковых побегах или верхних ярусах растения достигают максимальных размеров, створки плодов имеют максимальную массу, отмечается фаза выполненных или блестящих бобов);

IV – налив семян (ассимиляты и питательные вещества из створок плодов и других органов оттекают в семена. В конце периода сухая масса семян является максимальной, влажность семян – высокой).

Созревание семян – завершающий период их развития, когда семена и створки плодов теряют влагу. Скорость созревания, характеризующаяся интенсивностью снижения влажности семян и створок плодов, зависит от погодных условий.

Сорта по архитектонике растений являются разнотипными: степень ветвления, образование побегов разного порядка, продолжительность вегетационного периода, высокая степень адаптации к условиям ЦЧР региона, устойчивость созревания, урожайность зерна – 3–5 т/га. В условиях достаточной влагообеспеченности периода роста отмечалось наиболее полное проявление сортовых признаков, особенно в части ветвления стебля и побегообразования.

Детерминантные сорта белого люпина по сравнению с индетерминантными характеризуются отсутствием или низким количеством боковых побегов, ранним созреванием, более низким выходом биомассы. Однако урожай семян у таких сортов почти полностью зависит от главного стебля, в то время как у индетерминантных сортов в зависимости от густоты стояния растений вклад главного стебля в формирование урожайности составляет 40...65%.

Вариабельность продолжительности вегетации «Всходы-созревание» и отдельных периодов в разных условиях по тепло- и влагообеспеченности позволяет оценить возможности и риски при возделывании этой культуры. Период вегетации (всходы-созревание) в условиях Тамбовской области изменялся в зависимости от сортовых особенностей и метеоусловий года исследований от 73 до 115 суток (табл. 1).

Таблица 1

Продолжительность вегетации сортов *L. albus*, дней

№	Год	Вариант					Средняя	σ^*	V%
		Старт	Гамма	Дельта	Дега	Детер 1			
1	2007	94	94	94	94	90	93	1,60	1,7
2	2008	114	114	115	114	105	112	3,72	3,3
3	2009	103	102	105	102	97	102	2,64	2,6
4	2010	77	77	78	77	73	76	1,74	2,3
5	2011	90	98	98	98	93	95	3,32	3,5
6	2012	102	102	103	102	96	101	2,53	2,5
7	2013	102	102	104	103	96	101	2,80	2,8
8	2014	102	102	102	102	96	101	2,40	2,4
9	2015	112	111	114	114	100	110	5,23	4,7
Средняя		100	100	101	101	94	99	2,66	2,7
σ		10,65	10,01	10,38	10,37	8,39			
V%		10,72	10,02	10,29	10,41	8,91			

Примечание. V% – коэффициент вариации.

*Сигма (σ) в таблицах – стандартное отклонение.

Вегетационный период (от всходов до созревания) наиболее ускоренным был в засушливые годы: 90...94 дня (2007 г.); 73...78 дней (2010 г.). При этом наиболее скороспелым в условиях дефицита влаги был сорт Детер 1, который не образует боковых побегов: 90 дней (2007 г.); 73 дня (2010 г.). В результате исследований установлено, что при недостатке влаги и высоких среднесуточных температурах сорта люпина белого, разнотипные по архитектонике, отличались скороспелостью, при этом отмечалось ускорение созревания в среднем на 35–38 дней.

В 2009, 2011–2012 гг., во второй половине вегетационного периода (после цветения), условия были особенно экстремальными для растений *L. albus* (засуха и высокие температуры воздуха) (табл. 2).

В 2009, 2011–2012 гг. отмечено одновременное созревание растений для сортов Старт, Гамма, Дельта и Дега. При этом период вегетации сокращался на 10–15 суток в сравнении с 2008 г. Установлено, что сортовая вариабельность продолжительности периода «Всходы-созревание» существенно (в 3 раза) ниже в сравнении с влиянием погодных условий в разные годы. При отборе перспективных генотипов по проанализированным показателям учитывали основные тенденции в селекции люпина, в первую очередь – генотипы с коротким вегетационным периодом, что является важным критерием для формирования продуктивности растений. Показатели продуктивности растений, их изменчивость определяющаяся генотипом, условия вегетации неразрывно связаны с потенциальной степенью адаптации сорта к меняющимся условиям.

Дефицит воды у *L. albus* вызывает тканеспецифические реакции, которые зависят от интенсивности стресса. Углеводный обмен очень чувствителен к изменениям водного статуса растения. Специфические реакции растений на дефицит воды зависят от количества и скорости потери воды, продолжительности стресса и стадии развития растения. Физиологические изменения, вызванные водным стрессом, подтверждают роль стебля люпина в адаптации растений как органа, запасающего влагу. Особенности архитектоники растений оказывали существенное влияние на величину и стабильность продуктивности, продолжительность вегетационного периода. Различия между изучаемыми сортами наблюдались после стадии бутонизации и сохранялись до конца вегетационного периода.

Урожайность всегда является компромиссом между продуктивностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды. Погодные условия вегетации в годы эксперимента оказали существенное влияние на формирование и вариабельность урожайности (табл. 3). При этом отмечена прямая зависимость динамики сокращения вегетационного периода и урожайности.

Исследования позволили установить значительное разнообразие основных компонентов продуктивности генотипов люпина белого. Сорта характеризовались значительными различиями по высоте растений, количеству бобов, семян и массы семян. Повышение продуктивного потенциала генотипов зависело от количества бобов и семян на растении. Погодные условия в разные годы оказали сильное воздействие на уровень урожайности и ее вариабельность.

Таблица 2

Гидротермический коэффициент увлажнения (по данным метеостанции Мичуринского района Тамбовской области)

Среднее значение	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
0,80	0,38	0,71	0,79	0,30	1,05	1,02	0,55	0,42	0,94

Урожайность семян сортов *L. albus*, т/га

№	Год	Сорт					Средняя
		Старт	Гамма	Дельта	Дега	Детер 1	
1	2007	2,40	2,38	2,67	2,34	2,26	2,41
2	2008	3,85	3,98	3,84	3,9	3,28	3,77
3	2009	3,45	3,43	4,16	3,78	3,19	3,60
4	2010	2,00	2,00	2,16	1,56	2,0	1,94
5	2011	3,58	3,16	3,07	3,53	3,58	3,38
6	2012	4,06	3,78	3,53	3,78	4,06	3,84
7	2013	2,00	2,31	2,11	2,17	2,07	2,13
8	2014	3,24	3,09	3,92	3,35	2,12	3,14
9	2015	3,82	5,54	6,10	5,89	4,00	5,07
Средняя		3,16	3,30	3,51	3,37	2,95	3,26
σ		0,76	1,02	1,16	1,19	0,80	0,93
V%		24,2	30,8	33,1	35,4	27,1	28,5

Урожайность семян сортов *L. albus* в среднем за годы исследований изменялась от 2,4 до 6,1 т/га. Наиболее значимые результаты были получены в благоприятные по обеспеченности влагой годы исследований: 2009, 2011–2012, 2015 (ГТК более 0,79), когда урожайность в среднем по сортам составила 3,6; 3,38; 3,84; 5,07 т/га соответственно.

Селекция культур семейства Fabaceae, в том числе *L. albus*, позволила создать ценные в пищевом значении сорта, экологически пластичные, высокоустойчивые к абиотическим и биотическим стрессорам. При этом дальнейшее совершенствование сортов люпина белого продолжает оставаться важнейшей задачей ввиду меняющихся условий выращивания. Исследования по изучению семенной продуктивности *L. albus*, по оценке вариабельности ее компонентов в сравнении с сортом Дега (st) для новых сортов Тимирязевский и Гана в условиях экстремальных погодных условий позволили установить следующую закономерность: погодные условия в 2021 г. (ГТК 0,78) и 2022 г. (ГТК 1,1) при дефиците влаги в условиях повышенных температур воздуха характеризовались в отдельные периоды вегетации как стрессовые. Высокие температуры (до 35°С) вегетационного периода 2021 г. отмечены в фазу начала цветения и налива семян. Созревание растений установлено в первую декаду августа (на 30 дней раньше). В условиях 2022 г. регулярное выпадение осадков отмечалось в период до начала цветения, в последующие периоды (цветение-образование плодов) наблюдался тепловой стресс, что привело к низкому количеству завязавшихся бобов на боковых побегах (табл. 4).

Урожайность семян (биологическая), г/м²

Год	Сорт			Средняя
	Дега	Тимирязевский	Гана	
Главный побег				
2021	365	401	369	378
2022	522	513	482	506
средняя	444	457	426	442
σ	79	79	80	64
V%	17,7	17,3	18,8	14,4
Боковые побеги				
2021	81	122	135	113
2022	58	41	45	48
средняя	70	82	90	80
σ	16,3	57,3	63,6	45,7
V%	23,4	70,3	70,7	56,9
Всего на растениях				
2021	446	526	504	492
2022	580	554	527	554
средняя	513	540	516	523
σ	94,8	19,8	16,3	43,6
V%	18,5	3,7	3,2	8,3

Биологическая урожайность новых сортов *L. albus* в годы исследований составила в 2021 и 2022 гг.: для сорта Тимирязевский – соответственно 526 и 554 г/м², для сорта Гана – 504 и 527 г/м². Количество бобов, сформировавшихся на главном побеге, обеспечило порядка 80% вклад в урожайность семян

Выводы

Исследованиями установлено, что созданные и адаптированные к условиям Центрально-Черноземного региона сорта люпина белого стабильно созревают, формируя урожайность зерна на уровне 3–5 т/га. Определены продолжительность

периодов и динамические параметры формирования урожая *L. albus* для каждого периода. Доказано, что фаза от раскрытия первого цветка до полного окончания цветения и образования плодов имеет решающее значение для формирования урожая. Детерминантные сорта люпина белого Тимирязевский и Гана формировали высокую биологическую урожайность: 540 г/м² (сорт Тимирязевский) и 516 г/м² (сорт Гана), проявляя значительную степень устойчивости к недостатку влаги и повышенным температурам в критические периоды формирования урожая.

Библиографический список

1. *Гатаулина Г.Г., Шитикова А.В., Медведева Н.В.* Адаптивная селекция люпина белого (*Lupinus albus* l) на устойчивость к абиотическим стрессорам // Проблемы селекции-2022: Тезисы докладов Международной научной конференции (Москва, 12–15 октября 2022 г.). – Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 132.
2. *Гатаулина Г.Г., Шитикова А.В., Медведева Н.В.* Семенная продуктивность и адаптивность сортов люпина белого в условиях Центрально-Черноземного региона // Известия ТСХА. – 2022. – № 6. – С. 67–78. – DOI: 10.26897/0021-342X-2022-6-67-78.
3. *Alkemade J.A. et al.* The potential of alternative seed treatments to control anthracnose disease in white lupin // Crop Protection. – 2022. – Т. 158. – С. 106009.
4. *Bitarishvili S. et al.* Metabolic profiling reveals fumaric acid and GABA as possible markers of *Colletotrichum lupini* infection of white lupin // Physiological and Molecular Plant Pathology. – 2023. – Т. 128. – С. 102130.
5. *Borowska M., Prusiński J., Kaszkowiak E., Olszak G.* The yield of indeterminate and determinate cultivars of white lupin (*Lupinus albus* L.) depending on plant density // Acta Sci. Pol. Agric. – 2017. – № 16. – Pp. 59–66.
6. *Boudsocq S. et al.* Changes in belowground interactions between wheat and white lupin along nitrogen and phosphorus gradients // Plant and Soil. – 2022. – Т. 476, № 1–2. – С. 97–115.
7. *Boukid F., Pasqualone A.* Lupine (*Lupinus* spp.) proteins: Characteristics, safety and food applications // European Food Research and Technology. – 2022. – Т. 248, № 2. – С. 345–356.
8. *Georgieva N.A., Kosev V.I., Genov N.G., Butnariu M.* Morphological and biological characteristics of white lupine cultivars (*Lupinus albus* L.) // Rom. Agric. Res. – 2018. – № 35. – Pp. 109–119.
9. *Gresta F. et al.* White Lupin (*Lupinus albus* L.), an Alternative Legume for Animal Feeding in the Mediterranean Area // Agriculture. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 434.
10. *Jarecki W., Migut D.* Comparison of yield and important seed quality traits of selected legume species // Agronomy. – 2022. – Т. 12, № 11. – С. 2667.
11. *Jobert F. et al.* Auxin triggers pectin modification during rootlet emergence in white lupin // The Plant Journal. – 2022. – Т. 112, № 5. – С. 1127–1140.
12. *Jones R.A.C.* Host Resistance to Virus Diseases Provides a Key Enabler towards Fast Tracking Gains in Grain Lupin Breeding // Plants. – 2023. – Т. 12, № 13. – С. 2521.
13. *Keller J., Marmit S.P., Bunzel M.* Structural characterization of dietary fiber from different lupin species (*Lupinus* sp.) // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2022. – Т. 70, № 27. – С. 8430–8440.
14. *Osorio C.E., Till B.J.* A bitter-sweet story: Unraveling the genes involved in quinolizidine alkaloid synthesis in *Lupinus albus* // Frontiers in Plant Science. – 2022. – Т. 12. – С. 795091.

15. *Panasiewicz K.* Chemical Composition of Lupin (*Lupinus* spp.) as Influenced by variety and tillage system // *Agriculture*. – 2022. – T. 12, № 2. – C. 263.
16. *Pecetti L. et al.* White lupin drought tolerance: Genetic variation, trait genetic architecture, and genome-enabled prediction // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2023. – T. 24, № 3. – C. 2351.
17. *Pereira A., Ramos F., Sanches Silva A.* Lupin (*Lupinus albus* L.) seeds: Balancing the good and the bad and addressing future challenges // *Molecules*. – 2022. – T. 27, № 23. – C. 8557.
18. *Staniak M., Szpunar-Krok E., Kocira A.* Responses of soybean to selected abiotic stresses – Photoperiod, temperature and water // *Agriculture*. – 2023. – № 13. – C. 146.
19. Determining the Value of Novel Feedstuffs in Imperfect Markets, Taking *Lupinus albus* as an Example // *Agriculture*. – 2023. – T. 13, № 4. – C. 867.

POD FORMATION, SEED PRODUCTION AND YIELD
OF WHITE LUPINE (*LUPINUS ALBUS* L.) VARIETIES
WITH DETERMINANT GROWTH TYPE

G.G. GATAULINA, N.V. MEDVEDEVA, A.V. SHITIKOVA

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*Long-term studies were carried out at the experimental base of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Michurinsky district, Tambov region) in the conditions of the northern part of the Central Chernozem region. The breeding program to create new varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.) of determinant type was carried out on leached chernozems and included studies to assess the effect of stress factors on the main dynamic parameters and seed productivity of varieties of white lupine selected by the RSAU – MTA. In the research in the conditions of 2021–2022 the new varieties of white lupine Timiryazevsky and Gana had a high level of adaptation potential in drought conditions: the yield was 540 g/m² (Timiryazevsky) and 516 g/m² (Gana).*

*Keywords: *Lupinus albus* L., varieties, variability, yield, dynamic parameters of crop formation, stress factors.*

References

1. *Gataulina G.G., Shitikova A.V., Medvedeva N.V.* Adaptive breeding of white lupine (*Lupinus albus* L.) for resistance to abiotic stressors. Problems of breeding – 2022: Abstracts of reports of the international scientific conference, Moscow, 12–15 October 2022. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvenniy agrarniy universitet – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2022:132. (In Russ.)
2. *Gataulina G.G., Shitikova A.V., Medvedeva N.V.* Seed productivity and adaptability of varieties of white lupin in the conditions of the Central Chernozem zone. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2022;1(6):67–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-6-67-78>
3. *Alkemade J.A. et al.* The potential of alternative seed treatments to control anthracnose disease in white lupin. *Crop Protection*. 2022;158:106009.
4. *Bitarishvili S. et al.* Metabolic profiling reveals fumaric acid and GABA as possible markers of *Colletotrichum lupini* infection of white lupin. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2023;128:102130.

5. Borowska M., Prusiński J., Kaszkowiak E., Olszak G. The yield of indeterminate and determinate cultivars of white lupin (*Lupinus albus* L.) depending on plant density. *Acta Sci. Pol. Agric.* 2017;16:59–66.
6. Boudsocq S. et al. Changes in belowground interactions between wheat and white lupin along nitrogen and phosphorus gradients. *Plant and Soil.* 2022;476(1–2):97–115.
7. Boukid F., Pasqualone A. Lupine (*Lupinus* spp.) proteins: Characteristics, safety and food applications. *European Food Research and Technology.* 2022;248(2):345–356.
8. Georgieva N.A., Kosev V.I., Genov N.G., Butnariu M. Morphological and biological characteristics of white lupine cultivars (*Lupinus albus* L.). *Rom. Agric. Res.* 2018;35:109–119.
9. Gresta F. et al. White Lupin (*Lupinus albus* L.), an Alternative Legume for Animal Feeding in the Mediterranean Area. *Agriculture.* 2023;13(2):434.
10. Jarecki W., Migut D. Comparison of yield and important seed quality traits of selected legume species. *Agronomy.* 2022;12(11):2667.
11. Jobert F. et al. Auxin triggers pectin modification during rootlet emergence in white lupin. *The Plant Journal.* 2022;112(5):1127–1140.
12. Jones R.A.C. Host Resistance to Virus Diseases Provides a Key Enabler towards Fast Tracking Gains in Grain Lupin Breeding. *Plants.* 2023;12(13):521.
13. Keller J., Marmit S.P., Bunzel M. Structural characterization of dietary fiber from different lupin species (*Lupinus* sp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 2022;70(27):8430–8440.
14. Osorio C.E., Till B.J. A bitter-sweet story: Unraveling the genes involved in quinolizidine alkaloid synthesis in *Lupinus albus*. *Frontiers in Plant Science.* 2022;12:795091.
15. Panasiewicz K. Chemical Composition of Lupin (*Lupinus* spp.) as Influenced by Variety and Tillage System. *Agriculture.* 2022;12(2):263.
16. Pecetti L. et al. White lupin drought tolerance: Genetic variation, trait genetic architecture, and genome-enabled prediction. *International Journal of Molecular Sciences.* 2023;24(3):2351.
17. Pereira A., Ramos F., Sanches Silva A. Lupin (*Lupinus albus* L.) seeds: Balancing the good and the bad and addressing future challenges. *Molecules.* 2022;27(23):8557.
18. Staniak M., Szpunar-Krok E., Kocira A. Responses of soybean to selected abiotic stresses – Photoperiod, temperature and water. *Agriculture.* 2023;13:146.
19. Tröster M., Heinz M., Durst L. Determining the Value of Novel Feedstuffs in Imperfect Markets, Taking *Lupinus albus* as an Example. *Agriculture.* 2023;13(4):867.

Сведения об авторах

Гатаулина Галина Глебовна, профессор кафедры растениеводства и луговых экосистем ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», д-р с.-х. наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127422, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ggataulina@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–18–78

Шитикова Александра Васильевна, профессор кафедры растениеводства и луговых экосистем ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», д-р с.-х. наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: plant@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–13–75

Медведева Наталия Викторовна, ведущий научный сотрудник Центра зерновых бобовых культур и производства растительного белка ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», канд. с.-х. наук, Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: plant@rgau-msha.ru; тел.: (499) 976–13–75

Galina G. Gataulina, DSc (Ag), Professor, Professor at the Department of Plant Production and Meadow Ecosystems, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–18–78; e-mail: ggataulina@rgau-msha.ru)

Aleksandra V. Shitikova, DSc (Ag), Professor, Professor at the Department of Plant Production and Meadow Ecosystems, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–13–75; e-mail: plant@rgau-msha.ru)

Nataliya V. Medvedeva, CSc (Ag), Leading Research Associate at the Center for Grain Legumes and Vegetable Protein Production, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–13–75; e-mail: plant@rgau-msha.ru)