

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И АДАПТИВНОСТЬ СОРТОВ ЛЮПИНА БЕЛОГО В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА

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

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

*В полевых опытах в течение 4-х лет (2019–2022 гг.) в условиях северной части Центрально-Чернозёмного региона определены и представлены в статье компоненты продуктивности у разнотипных сортов белого люпина (*Lupinus albus* L.). Изучались сорта Дега, Дельта, Старт, Мановицкий, Тимирязевский и Гана селекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Возделывание урожайных и высокобелковых сортов белого люпина позволяет увеличить производство растительного белка до 15 ц/га (с аналогичным урожаем у зерновых культур сбор белка в 4 раза меньше). Благодаря азотфиксации возможно его производство без затрат дорогостоящих азотных удобрений, что выгодно также в энергетическом и экологическом аспектах. Кроме того, белый люпин способен усваивать труднорастворимые фосфаты почвы. Определено влияние стрессовых факторов, связанных с изменением погоды на разных этапах вегетации, на вариабельность параметров семенной продуктивности растений. Созданные в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева сорта белого люпина с детерминантным типом роста характеризовались высоким уровнем адаптационного потенциала к дефициту влаги (засуха) и тепловому стрессу (Heat stress). Биологическая урожайность сортов была высокой, в среднем по сортам она составила в 2019, 2020, 2021 и 2022 гг. соответственно 529, 573, 483, 564 г/м². Доля главного побега в урожайности семян по годам составила 85, 74, 78, 88%. Коэффициент вариации на главном побеге, V%, в среднем по сортам составил 4,9%, по годам – 11,8%. На боковых побегах он был в 3 раза выше.*

Ключевые слова: сорта люпина белого (*Lupinus albus* L), рост и развитие, периоды формирования урожая, элементы структуры урожая, погода и стрессовые факторы, вариабельность.

Введение

Проблема дефицита растительного белка для использования в животноводстве, производстве комбикормов, в пищевой и перерабатывающей промышленности отмечается во многих странах мира, в том числе в странах Общего рынка – US [2, 15, 19]. Белковая зависимость от стран, в которых сосредоточено 75–80% мирового производства сои (США, Бразилия, Аргентина), определяет актуальность решения проблемы: производить или импортировать?

Проведенные исследования выявили ряд аспектов производства зернобобовых культур в Европе с позиций устойчивости и экологической безопасности земледелия. Исследователи обращают внимание на люпин как альтернативу сое [2, 12, 13, 16]. Преимущества люпина белого в сравнении с соей и другими видами люпина при возделывании в Центрально-Чернозёмном регионе России освещались ранее [3].

В ряде обзорных статей рассматриваются современные вызовы, связанные с формированием и использованием исходного материала в селекции зернобобовых культур и требований к качеству зерновой продукции [4, 5, 11, 16].

В исследованиях отмечается высокая вариабельность урожайности у зернобобовых культур. Они на разных этапах онтогенеза весьма чувствительны к изменениям окружающей среды, что определяется биологическими особенностями вида

и сорта, а также специфическими требованиями для успешного симбиоза с бактериями, образующими клубеньки на корнях растений [1, 5, 6, 11].

Изменение климата и влияние абиотических стрессовых факторов на формирование урожая обсуждаются в ряде работ. В числе основных абиотических стрессоров отмечают засуху (drought, water stress) и тепловой стресс (heat stress) [1, 3, 7, 8, 10, 14].

На фоне современных вызовов адаптивная селекция сортов люпина белого (*Lupinus albus L.*) на устойчивость к абиотическим стрессорам в условиях Центрально-Чернозёмного региона является актуальной и практически значимой.

Цель исследований: определить влияние стрессовых факторов, связанных с изменением погоды на разных этапах вегетации, на вариабельность компонентов семенной продуктивности сортов люпина белого с детерминантным типом роста.

Работы выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075–15–2022–317 от 20 апреля 2022 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Материал и методика исследований

Изучение действия стрессовых и других лимитирующих факторов на формирование элементов продуктивности у сортов белого люпина проводилось в условиях полевого опыта в течение четырех лет (2019–2022 гг.) на экспериментальном участке в учхозе (Тамбовская область, Мичуринский район) при четырехкратной повторности. Площадь опытной делянки составляла 15 м². Почвы – выщелоченный чернозем средней мощности, рН_{сол.} – 5,7–5,9. Содержание в почве P₂O₅–94–98 мг, K₂O – 210–220 мг в 1 кг почвы. Срок посева – оптимально ранний, обычно в конце апреля. Способ посева – широкорядный с междурядьями 45 см и нормой высева 500 тыс/га всхожих семян (50 семян/м²). Проводили фенологические наблюдения, определяли продолжительность вегетации и межфазных периодов, число бобов, семян и массу семян на главном и боковых побегах. Элементы продуктивности представлены, как и урожайность, в расчете на единицу площади.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel. Вариабельность показателей формирования урожая оценивали по коэффициенту вариации V%. Коэффициент вариации определяли как отношение, выраженное в процентах, среднеквадратического отклонения (в статье – сигма) к средней оцениваемого показателя.

Результаты и их обсуждение

Метеорологические условия вегетационного периода и их влияние на развитие растений. В условиях 2019 г. посев провели 24–25 апреля, всходы появились 8–9 мая. В первой половине месяца прошли дожди. В период вегетативного роста от всходов до начала цветения продолжительностью 35 дней (период I) растения не испытывали дефицита влаги. В июне отмечена засуха, что совпало с критическим периодом формирования урожая белого люпина (период II – цветение и образование плодов). В этих условиях все сорта в дальнейшем развивались по типу скороспелых, побеги выше II порядка не формировались. Продолжительность цветения в связи с засухой составила всего 14–16 дней, в благоприятные годы – 25–30 дней.

Кроме того, в начале июня растения испытывали сильный перегрев (heat stress) ввиду аномально жаркой погоды с дневной температурой 40 °С. Июль был дождливым и холодным, осадков выпало больше нормы, а температура была на 4 °С ниже. Обилие влаги уже не могло положительно повлиять на число бобов на растениях. Пониженная

температура способствовала увеличению длительности периодов роста бобов и налива семян (периоды III–IV). В 2019 г. сформировались наиболее крупные семена.

В период от всходов до начала цветения в условиях 2020 г. среднесуточная температура оказалась на 2–4 °С ниже нормы. В результате период «Всходы – начало цветения» (период I) увеличился на 5–6 дней. Общая продолжительность периода цветения и образования бобов составила 23 дня. В это время в течение 14 дней стояла жаркая и сухая погода без осадков. Дневная температура превысила норму на 5–6 °С, что вызвало перегрев растений – тепловой стресс (heat stress).

Угнетение вегетативного роста в критический для развития растений период и стрессовые условия определили дальнейшее развитие всех сортов, особенно формирующих побеги II–IV порядков, по типу скороспелых, с ограничением ветвления. Осадки после периода засухи способствовали сохранению завязавшихся бобов на главном и побегах I порядка. Налив и созревание семян проходили в ускоренном режиме при теплой и сухой погоде в августе.

В 2021 г. посев проведен в обычные сроки (30 апреля), всходы появились 10 мая. Период от всходов до начала цветения составил 35–37 дней. В этот период вегетативного роста растения развивались нормально, не испытывая недостатка влаги. Однако в последующий период установилась аномально жаркая и сухая погода с температурой 32–35 °С и без осадков. В дальнейшем развитие растений всех сортов происходило по типу скороспелых форм. Завершение цветения отмечено 3–4 июля, период цветения и образования плодов (бобов) на растениях сократился до 2-х недель. 28 июня выпала почти месячная норма осадков. Эти осадки уже не могли повлиять на количество завязавшихся плодов. В июле также была жаркая и сухая погода, что еще более ускорило развитие растений. Уборочная спелость всех сортов отмечена 10–15 августа – на месяц раньше, чем по многолетним наблюдениям.

Посев в 2022 г. проведен позже, чем в другие годы (7 мая), – ввиду пониженной температуры в апреле почва медленно прогревалась. Фаза полных всходов отмечена через 11 дней после посева. От всходов до начала цветения (35–37 дней) растения развивались нормально, не испытывая недостатка влаги. В последующий период в июле установилась аномально жаркая и сухая погода с температурой 30–35 °С без осадков, что оказало сильное влияние на ростовые процессы и развитие растений. У растений всех сортов прекратилось образование боковых побегов выше первого порядка. Такая погода определила более быстрое наступление последующих фаз, и все сорта развивались по типу скороспелых. Августовская жара ускорила процесс созревания. Уборочная спелость всех сортов отмечена 10–15 августа.

Таким образом, в 2019–2022 гг. стрессовые погодные условия на различных этапах вегетации оказывали сильное влияние на развитие растений, продолжительность отдельных периодов, величину элементов продуктивности на главном и боковых побегах растений.

Величина и вариабельность элементов структуры урожая. Густота стояния растений перед уборкой составляла 44–46 растений на 1 м². Наибольшее количество бобов за вегетацию обычно отмечается в конце периода II «Цветение и образование бобов». Этот показатель может быть прогностическим в определении планируемой урожайности. Урожайность зависит от числа бобов на 1 м², сформировавшихся и сохранившихся на растениях к уборке (табл. 1).

В 2020 и 2022 гг. бобов на главном побеге (на 1 м²) образовалось на 23–32% больше, чем в 2019 и 2021 гг. В среднем по сортам доля бобов с главного побега составила в 2019 г. 78%, в 2020 г. – 68%, в 2021 г. – 64%, в 2022 г. – 83%. Коэффициент вариации, показывающий степень влияния погодных условий на количество бобов на главном побеге, в 2,9 раза больше среднего V% по сортам. На боковых побегах V% как по сортам, так и по годам, больше, чем на главном побеге. Доля семян на главном побеге выше, чем бобов (табл. 2).

Таблица 1

Количество бобов на 1 м²

Год	Дега	Дельта	Тимирязевский	Гана	Мановицкий	Старт	Среднее по сортам	Сигма	V%
Главный побег									
2019	264	260	260	272	300	240	266	19,7	7,4
2020	302	338	315	320	347	342	327	17,7	5,4
2021	260	275	280	257	305	260	273	18,3	6,7
2022	355	340	360	335	320	315	338	18,1	5,4
Средн.	295	303	304	296	318	289	301	10,0	3,3
Сигма	44,1	41,7	43,9	37,4	21,1	47,4	36,7		
V%	14,94	13,76	14,44	12,63	6,64	16,37	12,20		
Боковые побеги									
2019	76	40	64	88	120	60	75	27,4	36,8
2020	126	167	189	221	131	90	154	47,5	30,9
2021	126	140	150	194	130	160	150	22,8	15,2
2022	63	72	68	45	67	55	62	10,0	16,2
Средн.	98	104	127	155	126	75	114	27,7	24,2
Сигма	35,4	89,8	88,4	94,0	7,8	21,2	56,1		
V%	36,2	86,8	69,9	60,9	6,2	28,3	49,1		
Всего на растениях									
2019	340	300	324	360	420	300	341	45,3	13,3
2020	428	504	504	540	477	432	481	44,2	9,2
2021	386	415	431	451	465	420	428	27,9	6,5
2022	421	412	428	410	387	390	408	16,5	4,0
Средн.	384	402	414	450	449	366	411	34,0	8,3
Сигма	62,2	144,2	127,3	127,3	40,3	93,3	99,1		
V%	16,2	35,9	30,7	28,3	9,0	25,5	24,1		

Примечание. В этой и последующих таблицах: сигма – стандартное отклонение; V% – коэффициент вариации.

В 2019 г. удельный вес семян с главного побега в среднем по сортам составил 85%, то есть на 7% больше, чем доля бобов; в 2020 г. – 74% (на 6% больше); в 2021 г. – 78% (на 12% больше); в 2022 г. – 88% (на 5% больше). При меньшем количестве бобов на растениях

перед уборкой увеличивалось число семян в каждом бобе. Коэффициент вариации семян с боковых побегов по сортам и по годам в 3–4 раза выше, чем для семян с главного побега.

Таблица 2

Количество семян на 1 м²

Год	Дега	Дельта	Тимирязевский	Гана	Мановицкий	Старт	Среднее по сортам	Сигма	V%
Главный побег									
2019	928	952	920	1008	1124	936	978	78,1	8,0
2020	1103	1301	1265	1166	1395	1337	1261	108,9	8,6
2021	1116	1160	1233	1157	1125	1156	1158	41,2	3,6
2022	1368	1292	1337	1332	1247	1202	1296	62,3	4,8
Средн.	1016	1127	1093	1087	1260	1137	1120	80,7	7,2
Сигма	163	184	132	129	167	143			
V%	16,0	16,4	12,1	11,8	13,2	12,6			
Боковые побеги									
2019	176	52	180	224	272	104	168	80	47,4
2020	230	414	536	563	369	185	383	155	40,4
2021	302	355	400	522	324	495	400	91	22,7
2022	171	198	130	112	135	184	155	34	22,0
Средн.	220	255	312	355	275	242	276	50	18,0
Сигма	61	163	190	222	101	173	152		
V%	27,8	64,0	61,0	62,4	36,9	71,4	53,9		
Всего на растениях									
2019	1104	1004	1100	1232	1396	1040	1146	145,0	12,7
2020	1715	1800	1728	1764	1521	1758	1714	97,5	5,7
2021	1418	1515	1233	1679	1449	1651	1491	90,3	6,1
2022	1539	1490	1567	1444	1382	1386	1468	105,9	7,2
Средн.	1444	1452	1407	1530	1437	1459	1455	109,7	7,5
Сигма	257	330	290	240	63	320	250		
V%	17,8	22,7	20,6	15,7	4,4	21,9	17,2		

Изменение массы 1000 семян по годам и по сортам представлено в таблице 3.

Этот показатель в зависимости от сорта и погодных условий года варьировал на главном побеге от 490 г в 2019 г. до 318 г в 2020 г. В условиях 2019 г. сложились

благоприятные погодные условия в период налива семян. Масса 1000 семян в 2019 г. в среднем по сортам оказалась необычайно высокой – на 30% выше по сравнению с другими годами. Масса 1000 семян на боковых побегах всегда меньше, чем на главном, в данном исследовании в среднем по сортам – на 15%.

Таблица 3

Масса 1000 семян, г

Год	Дега	Дельта	Тимирязевский	Гана	Мановицкий	Старт	Среднее по сортам	Сигма	∇%
Главный побег									
2019	414	458	420	468	491	479	455	31,5	6,9
2020	318	362	345	362	340	362	348	17,7	5,1
2021	325	341	325	323	336	338	331	7,9	2,4
2022	382	418	384	362	397	404	391	19,5	5,0
Средн.	360	395	369	379	391	396	381	19,1	4,8
Сигма	46,1	53,2	42,2	62,3	72,3	61,8	55,1		
∇%	12,8	13,5	11,4	16,4	18,5	15,6	14,5		
Боковые побеги									
2019	364	385	422	411	426	369	396	27,1	6,8
2020	268	300	315	287	305	292	295	16,3	5,5
2021	267	291	303	259	305	286	285	18,8	6,6
2022	342	363	300	320	333	285	324	28,4	8,8
Средн.	310	335	335	319	342	308	325	22,6	6,9
Сигма	50,2	46,3	58,4	66,1	57,4	40,8	50,3		
∇%	16,2	13,8	17,4	20,7	16,8	13,2	15,5		
Всего на растениях									
2019	412	454	462	459	479	508	462	31,6	6,8
2020	304	348	337	338	331	358	336	18,3	5,5
2021	315	329	320	302	329	322	320	10,1	3,2
2022	382	418	384	362	397	404	391	19,5	5,0
Средн.	353	387	376	365	384	398	377	16,1	4,3
Сигма	52,2	58,7	63,6	67,2	70,8	80,6	64,5		
∇%	14,8	15,2	16,9	18,4	18,4	20,3	17,1		

Из данных таблицы 4 следует, что семенная продуктивность сортов белого люпина, несмотря на стрессовые погодные условия, поддерживалась на высоком уровне. В среднем за годы исследования по сортам она составила 537 г/м², в том числе семена с главного побега – 446 г/м² (4,46 т/га). Коэффициент вариации на главном побеге в среднем по годам составил 11,8%, по сортам – 4,9%. На боковых побегах он был в 3,1–3,3 раза выше.

Таблица 4

Биологическая урожайность семян, г/м²

Год	Дега	Дельта	Тимирязевский	Гана	Мановицкий	Старт	Среднее по сортам	Сигма	V%
Главный побег									
2019	384	436	432	472	552	448	454	56,0	12,3
2020	369	473	441	423	473	491	445	44,6	10,0
2021	365	396	401	369	378	360	378	16,9	4,5
2022	522	540	513	482	495	486	506	22,6	4,5
Средн.	410	461	447	437	475	446	446	22,1	4,9
Сигма	75,1	61,2	47,4	51,9	72,4	60,6	52,6		
V%	18,3	13,3	10,6	11,9	15,3	13,6	11,8		
Боковые побеги									
2019	64	20	76	92	116	80	75	32,1	42,9
2020	131	135	171	162	113	54	128	41,9	32,8
2021	81	104	122	135	99	85	104	21,0	20,1
2022	58	72	41	45	45	54	53	11,5	21,8
Средн.	84	83	103	109	93	68	90	14,7	16,3
Сигма	33,1	49,1	56,4	51,2	33,0	16,6	33,1		
V%	39,7	59,3	55,1	47,2	35,4	24,3	36,9		
Всего на растениях									
2019	448	456	508	564	668	528	529	81,1	15,3
2020	500	608	612	585	585	545	573	42,8	7,5
2021	446	500	526	504	477	445	483	32,9	6,8
2022	580	612	554	527	540	570	564	30,5	5,4
Средн.	494	544	550	545	568	522	537	46,8	8,8
Сигма	62,9	78,3	45,5	36,4	80,3	54,2	59,6		
V%	12,7	14,4	8,3	6,7	14,2	10,4	11,1		

В исследованиях 2019–2022 гг. стрессовые погодные условия отмечены в каждом году во второй половине июня, что полностью или частично совпало с критическим для формирования урожая периодом развития растений (период II «Цветение и образование бобов»). В результате растения всех сортов в дальнейшем развивались по типу скороспелых форм и в 2020–2022 гг. созрели в середине августа – на месяц раньше обычного срока.

В 2019 г. пониженная температура и обилие осадков в июле привели к увеличению длительности периодов роста бобов и налива семян (периоды III–IV). В августе погода была близкой к норме. Для налива семян (период IV) сложились благоприятные условия. Масса 1000 семян на 30% превысила этот показатель в другие годы.

Исследования свидетельствуют о высоком адаптационном потенциале сортов люпина белого с детерминантным типом роста при возделывании в Центрально-Черноземном регионе.

Выводы

На основании исследований, проведенных в разных странах с зернобобовыми культурами, установлено, что белый люпин – наиболее перспективное растение как альтернатива сое.

Центрально-Чернозёмный регион – основная зона возделывания (производства) белого люпина. В этом регионе стрессовые погодные условия (засуха, тепловой стресс, быстрое снижение температуры в сентябре в период созревания) часто возникают в течение вегетационного периода.

Созданные в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева сорта белого люпина с детерминантным типом роста характеризовались высоким уровнем адаптационного потенциала к дефициту влаги (засуха) и тепловому стрессу (heat stress). Биологическая урожайность сортов была высокой: в среднем по сортам она составила в 2019, 2020, 2021 и 2022 гг. соответственно 529, 573, 483, 564 г/м². Доля главного побега в урожайности семян по годам составила 85, 74, 78, 88%. Коэффициент вариации на главном побеге, V%, в среднем по сортам составил 4,9%, по годам – 11,8%. На боковых побегах он был в 3 раза выше.

Зерновая продукция адаптированных сортов люпина белого с детерминантным типом роста используется для решения проблемы дефицита растительного белка, сокращения импорта сои и обеспечения белковой независимости России.

Библиографический список

1. *Гатаулина Г.Г., Медведева Н.В.* Селекционные аспекты variability урожайности и динамических характеристик продукционного процесса у сортов люпина белого // Новые сорта люпина, технология их выращивания и переработки, адаптация в системы земледелия и животноводство: Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию со дня основания Всероссийского научно-исследовательского института люпина, Брянск, 4 июля 2017 г. – Брянск: ЗАО Издательство «Читай-город», 2017. – С. 23–37.

2. *Гатаулина Г.Г., Медведева Н.В., Шитикова А.В.* Люпин белый (*Lupinus albus* L.) – альтернатива сое: новый сорт Тимирязевский // Кормопроизводство. – 2020. – № 1. – С. 36–40.

3. *Гатаулина Г.Г., Шитикова А.В., Медведева Н.В.* Влияние стрессовых погодных условий на разных этапах вегетации на формирование элементов продуктивности

у сортов люпина белого (*Lupinus albus* L.) селекции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА. – 2021. – № 5. – С. 65–76.

4. Развитие производства зернобобовых и крупяных культур в России на основе использования селекционных достижений / В.И. Зотиков, А.А. Полухин, Н.В. Грядунова и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2020. – № 4 (36). – С. 5–17.

5. *Abraham E.M., Ganopoulos I., Madesis P., Mavromatis A., Mylona P., Nianiou-Obeidat I., Vlachostergios D.* The use of lupin as a source of protein in animal feeding: Genomic tools and breeding approaches // International journal of molecular sciences. – 2019. – Т. 20, № 4. – P. 851.

6. *Annicchiarico P., Boschini G., Manunza P., Arnoldi A.* Quality of *Lupinus albus* L. (white lupin) seed: extent of genotypic and environmental effects // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2014. – № 62. – Pp. 6539–6545.

7. *Bhandari K., Siddique K.H., Turner N.C., Kaur J., Singh S., Agrawal S.K., Nayyar H.* Heat stress at reproductive stage disrupts leaf carbohydrate metabolism, impairs reproductive function, and severely reduces seed yield in lentil // Journal of Crop Improvement. – 2016. – № 30. – Pp. 118–151.

8. *Bishop J., Potts S.G., Jones H.E.* (2016) Susceptibility of faba bean (*Vicia faba* L.) to heat stress during floral development and anthesis // Journal of Agronomy & Crop Science. – 2016. – № 202. – Pp. 508–517.

9. *Cernay C., Ben-Ari T., Pelzer E., Meynard J. – M. and Makowski D.* (2015). Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas // Sci. Rep. – 2015. – № 5. – P. 11171.

10. *Devasirvatham V., Tan D.K., Gaur P.M., Trethowan R.M.* Chickpea and temperature stress. An overview // In 'Legumes under environmental stress: yield, improvement and adaptations' (Eds M.M. Azooz, P. Ahmad). – 2015. – Pp. 97–106. (Wiley-Blackwell: Welwyn, UK).

11. Gérard Duc, Hesham Agrama, Shiyang Bao, Jens Berger, Virginie Bourion, Antonio M. De Ron, Cholenahalli L.L. Gowda, Aleksandar Mikic, Dominique Millot, Karam B. Singh, Abebe Tullu, Albert Vandenberg, Maria C. Vaz Patto, Thomas D. Warkentin & Xuxiao Zong. Breeding Annual Grain Legumes for Sustainable Agriculture: New Methods to Approach Complex Traits and Target New Cultivar Ideotypes, Critical Reviews in Plant Sciences. – 2015. – 34:1–3. – Pp. 381–411.

12. Legume Futures 2014. Legume-supported cropping systems for Europe. General project report. Available at www.legumefutures.de.

13. *Lucas M.M., Stoddard F.L., Annicchiarico P., Frías J., Martínez-Villaluenga C., Sussmann D., Duranti M., Seger A., Zander P.M. and Pueyo J.J.* The future of lupin as a protein crop in Europe // Front. Plant Sci. – 2015. – 6:705.

14. *Ozga J.A., Kaur H., Savada R.P., Reinecke D.M.* Hormonal regulation of reproductive growth under normal and heat-stress conditions in legume and other model crop species // Journal of Experimental Botany. – 2016. – № 68. – Pp. 1885–1894.

15. *Redden R.J., Hatfield P.V., Prasad V., Ebert A.W., Yadav S.S., O'Leary G.J.* (2014) Temperature, climate change, and global food security // Temperature and Plant Development. – 2014. – № 8. – Pp. 181–202.

16. de Visser C.L.M., Schreuder R. and Stoddard F.L. The EU's dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. – 2014. – OCL 21, D407.

SEED PRODUCTIVITY AND ADAPTABILITY OF VARIETIES OF WHITE LUPIN IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL CHERNOZEM ZONE

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

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

*In field experiments for four years (2019–2022) in the conditions of the northern part of the Central Chernozem region, the productivity components of different varieties of white lupin (*Lupinus albus* L.) were determined and presented in the article Dega, Delta, Start, Manovitsky, Timiryazevsky and Gana, the varieties of breeding of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, were studied. Cultivation of high-yielding and high-protein varieties of white lupin increases the production of vegetable protein up to 15 c/ha (with a similar yield in grain crops, the protein harvest is four times lower). Thanks to nitrogen fixation, its production is possible without the cost of expensive nitrogen fertilizers, which is also beneficial in energy and environmental aspects. In addition, white lupin is able to assimilate phosphates that are difficult to dissolve. The influence of stress factors related to weather changes at different stages of vegetation on the variability of plant seed productivity parameters has been determined. The varieties of white lupine with determinant type of growth bred in Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy were characterized by a high level of adaptive potential to moisture deficiency (drought) and heat stress. The biological yield of the varieties was high, averaging 529, 573, 483, 564 g/m² in 2019, 2020, 2021 and 2022, respectively. The share of the main stem in seed yield by year was 85, 74, 78, 88%. The coefficient of variation on the main shoot (V%) averaged 4.9% in varieties, 11.8% in years. On lateral shoots it was three times higher.*

Key words: varieties of white lupin (*Lupinus albus* L), growth and development, periods of yield formation, elements of crop structure, weather and stress factors, variability.

References

1. Gataulina G.G., Medvedeva N.V. Selektсионnye aspekty variabel'nosti urozhaynosti i dinamicheskikh kharakteristik produktsionnogo protsessu u sortov lyupina belogo [Breeding aspects of yield variability and dynamic characteristics of the production process in varieties of white lupin]. Novye sorta lyupina, tekhnologiya ikh vyrashchivaniya i pererabotki, adaptatsiya v sistemy zemledeliya i zhivotnovodstvo: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchenoy 30-letiyu so dnya osnovaniya Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lyupina, Bryansk, 04 iyulya 2017 goda. Bryansk: ZAO "Izdatel'stvo" Chitay-gorod". 2017: 23–37. (In Rus.)
2. Gataulina G.G., Medvedeva N.V., Shitikova A.V. Lyupin beliy (*Lupinus albus* L.) – al'ternativa soe: noviy sort Timiryazevskiy [White lupine (*Lupinus albus* L.) – an alternative to soy: a new variety Timiryazevsky]. Kormoproizvodstvo. 2020; 1: 36–40. (In Rus.)
3. Gataulina G.G., Shitikova A.V., Medvedeva N.V. Vliyaniye stressovykh pogodnykh usloviy na raznykh etapakh vegetatsii na formirovaniye elementov produktivnosti u sortov lyupina belogo (*Lupinus albus* L.) selektsii RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva [The influence of stressful weather conditions at different stages of vegetation on the formation of productivity elements in varieties of white lupine (*Lupinus albus* L.) bred by RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev]. Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2021; 5: 65–76. DOI: 10.26897/0021–342X-2021–5–65–76 (In Rus.)
4. Zotikov V.I., Polukhin A.A., Gryadunova N.V. et al. Razvitiye proizvodstva zernobovyykh i krupyanykh kul'tur v Rossii na osnove ispol'zovaniya selektsionnykh

dostizheniy [Development of the production of leguminous and cereal crops in Russia based on the use of breeding achievements]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*. 2020; 4 (36): 5–17. DOI: 10.24411/2309–348X-2020–11198 (In Rus.)

5. *Abraham E.M., Ganopoulos I., Madesis P., Mavromatis A., Mylona P., Nianiou-Obedat I., Vlachostergios D.* The use of lupin as a source of protein in animal feeding: Genomic tools and breeding approaches. *International journal of molecular sciences*. 2019; 20 (4): 851.

6. *Annicchiarico P., Boschini G., Manunza P., Arnoldi A.* Quality of *Lupinus albus* L. (white lupin) seed: extent of genotypic and environmental effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014; 62: 6539–6545.

7. *Bhandari K, Siddique K.H, Turner N.C, Kaur J, Singh S, Agrawal S.K, Nayyar H.* Heat stress at reproductive stage disrupts leaf carbohydrate metabolism, impairs reproductive function, and severely reduces seed yield in lentil. *Journal of Crop Improvement*. 2016; 30: 118–151.

8. *Bishop J, Potts S.G, Jones H.E.* Susceptibility of faba bean (*Vicia faba* L.) to heat stress during floral development and anthesis. *Journal of Agronomy & Crop Science*. 2016; 202: 508–517.

9. *Cernay C., Ben-Ari T., Pelzer E., Meynard J. – M., Makowski D.* Estimating variability in grain legume yields across Europe and the Americas. *Sci. Rep.* 2015; 5: 11171. DOI: 10.1038/srep11171

10. *Devasirvatham V, Tan D.K., Gaur P.M., Trethowan R.M.* Chickpea and temperature stress. An overview. In “Legumes under environmental stress: yield, improvement and adaptations”. Ed. by Azooz M.M., Ahmad P. Wiley-Blackwell: Welwyn, UK. 2015: 97–106.

11. *Gérard Duc, Hesham Agrama, Shiyang Bao, Jens Berger, Virginie Bourion, Antonio M. De Ron, Cholenahalli L.L. Gowda Aleksandar Mikic, Dominique Millot, Karan B. Singh, Abebe Tullu, Albert Vandenberg, Maria C. Vaz Patto, Thomas D. Warkentin, Xuxiao Zong* Breeding Annual Grain Legumes for Sustainable Agriculture: New Methods to Approach Complex Traits and Target New Cultivar Ideotypes. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2015; 34 (1–3): 381–411.

12. Legume Futures 2014. Legume-supported cropping systems for Europe. General project report. [Electronic source]. URL: www.legumefutures.de

13. *Lucas M.M., Stoddard F.L., Annicchiarico P., Frías J., Martínez-Villaluenga C., Sussmann D., Duranti M., Seger A., Zander P.M., Pueyo J.J.* The future of lupin as a protein crop in Europe. *Front. Plant Sci.* 2015; 6: 705. DOI: 10.3389/fpls.2015.00705

14. *Ozga J.A., Kaur H., Savada R.P., Reinecke D.M.* Hormonal regulation of reproductive growth under normal and heat-stress conditions in legume and other model crop species. *Journal of Experimental Botany*. 2016; 68: 1885–1894.

15. *Redden R.J., Hatfield P.V., Prasad V., Ebert A.W., Yadav S.S., O’Leary G.J.* Temperature, climate change, and global food security. *Temperature and Plant Development*. 2014; 8: 181–202.

16. *De Visser C.L.M., Schreuder R., Stoddard F.L.* The EU’s dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. July 2014, OCL 21(4): D407. DOI: 10.1051/ocl/2014021

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) 976–18–18

Шитикова Александра Васильевна, заведующий кафедрой 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 of the Department of Plant Growing and Meadow Ecosystems, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation; phone: (499) 976–18–18; E-mail: ggataulina@rgau-msha.ru)

Aleksandra V. Shitikova, DSc (Ag), Professor, Head of the Department of Plant Growing 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, PhD (Ag), Leading Research Associate of 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)