

ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ СОРТА ЛЮПИНА ЖЕЛТОГО КОЛОСОВИДНОГО ТИПА

В.Ч. Шор¹, М.Н. Крицкий¹, В.Н. Купцов², кандидаты с.-х. наук,
В.Н. Войтова¹, А.А. Козловский¹, Н.С. Купцов², кандидат биол. наук

¹РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»,
²Институт микробиологии НАН Беларуси»

(Поступила 22.02.2022)

Рецензент: Лужинская Н.А., кандидат с.-х. наук

Аннотация. В статье освещены параметры модели сорта люпина желтого колосовидного типа, в основу которой положены основные характеристики признаков и свойств высокогетерозисного гибрида данной культуры. Указывается, что имеющийся генофонд позволяет создать в ближайшем будущем интенсивные колосовидные сорта люпина желтого с потенциальной урожайностью общей сухой биомассы 14–16 т/га, семян – 6–7 т/га. Сорта этой модели пригодны для возделывания на всех типах почв как на зерно, так и на зеленую массу.

Введение. В последние десятилетия в ряде стран созданы и внесены в Госреестры сорта люпина желтого, обладающие устойчивостью к фузариозу и толерантностью к антракнозу: *Эранти* (Дания), *Борена* (Германия), *Поло* (Польша), *Ярыло* (Украина), *Булат* (Россия), *Алтын* (Беларусь) и др., а также с редуцированным симподиальным ветвлением как метельчатого (*Борзельфа* в Германии, *Маркиз* в Польше), так и колосовидного типа (*Тапер* в Польше, *Демидовский* в России). Эти сорта при повышенной норме высева (1,5 млн/га) находятся на уровне или превышают по урожайности семян традиционные сорта, но созревают на 10–15 суток раньше [6, 7].

Необходимо отметить, что за сравнительно короткий период ученые различных стран усовершенствовали морфотип люпина желтого, превратив его в ценную сельскохозяйственную культуру. Благодаря их целенаправленной, кропотливой, упорной, творческой селекционной работе люпин желтый приобрел комплекс хозяйственно-полезных признаков и свойств: нарастрескиваемость и неоппадаемость бобов, хорошая водопроницаемость семенной кожуры, быстрый темп начального роста, раннеспелость, термо- и фотонейтральность, устойчивость и толерантность к вирусным и грибным болезням, пурпурная окраска листьев, белая, черная и красновато-коричневая окраска семян, белая, лимонная и оранжевая окраска цветков, редуцированное симподиальное ветвление, малоалкалоидность. При этом он сохранил полностью свои преимущества: большая адаптация к бедным песчаным почвам, толерантность к повышенной кислотности почвы (pH_{KCl} 4,5–5,5), длительный период сохранения высокого качества зеленой массы (до конца фазы блестящего боба), высокая поедаемость свежей и силосованной массы всеми видами сельскохозяйственных животных. В сухом

веществе зеленой массы содержится 20–22 % белка, в семенах – 40–43 %, лизина к белку – 4,5 %, метионина + цистин к белку – 1,8 %, минимальное количество ингибиторов пищеварительных ферментов.

Из изложенного выше видно, что современные сорта люпина желтого существенно уступают сортам люпина узколистного как по средней урожайности (на 9 ц/га), так и по максимальной (на 10,8 ц/га), обладая при этом более продолжительным (на 4 сут.) вегетационным периодом.

В настоящее время современное сельскохозяйственное производство в целях получения максимального количества качественной продукции с единицы площади при высоких вложениях антропогенной энергии в форме удобрений, пестицидов и средств механизации успешно идет по пути выращивания монокультур в более плотных гомогенных ценозах по сравнению со стародавними [1]. Гомогенность ценоза исключает острую конкуренцию между его особями, а уплотнение обеспечивает больший выход качественной продукции с единицы площади. В дикой флоре самыми продуктивными являются плотные моноценозы, состоящие из ксероморфных растений. Это свидетельствует о тождестве результатов получения продукции с единицы площади в дикой флоре и сельскохозяйственном производстве при уплотнении гомогенных ценозов. По сведениям литературы, только интенсивные растения сельскохозяйственных культур, возделываемые в плотном агроценозе по современным технологиям, способны формировать максимально возможную урожайность, а также обеспечить качество продукции и защиту посевов от неблагоприятных факторов внешней среды, болезней, вредителей. Следовательно, исследования по люпину желтому должны быть направлены на ускоренное выведение интенсивных сортов, что, в свою очередь, обусловит в дальнейшем расширение его посевных площадей.

Таким образом, современный люпин желтый нуждается в дальнейшем повышении потенциала семенной продуктивности и адаптивности как средства его реализации. Для успешной селекционной работы в указанном направлении необходимым условием является наличие модели интенсивного сорта люпина желтого, в соответствии с которой исследователь может вести отбор желательных генотипов из селекционного материала.

Материалы и методы. Полевые исследования проводили в 2019–2020 гг. в селекционном севообороте РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». Почва опытного участка дерново-подзолистая, развивающаяся на водно-ледниковой супеси, подстилаемой с глубины 0,5 м мореным суглинком, связно-супесчаная. Характеризуется следующими агрохимическими показателями: pH_{KCl} – 6,2–6,4; содержание гумуса – 2,11–2,46 %; P_2O_5 – 200–260 мг/кг; K_2O – 220–270 мг/кг почвы.

Закладка полевых экспериментов осуществлялась по общепринятым методикам. Предшественник – озимые зерновые. Объектом изучения являлись современные образцы и гибрид люпина желтого, их морфофизиологические признаки. Агротехнические мероприятия проводились в сроки и согласно технологическому регламенту. Фосфорно-калийные удобрения ($P_{60}K_{90}$) вносили общим фоном осенью.

Результаты и обсуждение. Принимая во внимание указанное выше, мы для ускорения разработки идеатипа интенсивного сорта люпина желтого использовали в качестве базового модельного объекта высокогетерозисный гибрид первого поколения (F_1), полученный от скрещивания между собой двух лучших колосовидных образцов собственной селекции (К-Ж-БМО-пурп. х К-Л-БМО – жел.).

Следует отметить, что в плотном ценозе (150 растений/м^2) модельный объект, гибрид от скрещивания двух колосовидных образцов, по урожайности семян (572 г/м^2) и сухого вещества (1401 г/м^2) превысил лучшего родителя на 34,3 и 10,8 % соответственно. Родительские образцы имели следующие показатели урожайности: семян – 426 и 334 г/м^2 , сухого вещества – 1264 и 1015 г/м^2 .

Значительно выше у гибрида был и показатель хозяйственной эффективности ($K_{\text{хоз}}=40,8 \%$), а у родительских образцов он составил 33,7 и 32,9 % у материнского и отцовского компонентов. При этом у гибрида имеет место тенденция к увеличению доли семян в бобе (50,2 %) в сравнении с родительскими формами (47,6 и 48,0 % соответственно). По высоте растений гибрид (89,6 см) также превосходит своих родителей (85,4 и 80,9 см соответственно). Однако вегетационный период у гибрида (86 сут.) короче, чем у родительских образцов (93 и 96 сут. соответственно).

Важным фактом является также то, что у гибрида по сравнению с родительскими образцами (47,4 и 38,3 % соответственно) увеличена доля бобов цимозной части сложного колосовидного соцветия (64,4 %). При этом число листьев (17 шт.), их величина и форма у растений гибрида и его родителей одинакова.

Изложенное выше свидетельствует о том, что у колосовидного люпина желтого имеются большие резервы для повышения селекционным путем потенциала урожайности сухого вещества и семян. Гетерозисное состояние, вероятно, формирует оптимальную морфофизиологическую структуру растений, в результате чего они эффективнее по сравнению с родителями используют факторы плодородия агрофитоценоза и противостоят неблагоприятным воздействиям внешней среды. Высокогетерозисные гибриды первого поколения в одних и тех же условиях обеспечивают наиболее высокую урожайность семян по сравнению с родителями.

Следует отметить, что параметры моделей сортов, разработанных на основе высокогетерозисных гибридов первого поколения, представляют собой реальные, а не абстрактные, ориентиры как для отбора желательных генотипов из селекционного материала, так и для создания в дальнейшем на их основе интенсивных сортов. Такие модели являются своего рода готовой рекомендацией для практической селекции, позволяющей определить необходимые и целесообразные изменения ряда признаков и свойств растения, наметить пути дальнейшей селекционной работы.

Морфофизиологическая модель (идеатип) колосовидного сорта люпина желтого. Опираясь на параметры ключевых признаков и свойств высокогетерозисного гибрида первого поколения колосовидного люпина желтого и учи-

таявая современные достижения биологии продукционного процесса агроценозов, а также собственный многолетний опыт по селекции современных сортов разных видов люпина, мы разработали морфофизиологическую модель (идеа-тип) и генотип (идиотип) интенсивного колосовидного сорта люпина желтого [4].

Генеративная сфера растения данного морфофизиологического типа представляет собой сложную колосовидную кисть, у которой на удлинённой оси (стебле) на ножках вместо колосков располагаются цветки. Нижняя часть соцветия (зона 5–10 пазушных цветков) является цимозной (симподиальной) фрондозной кистью, так как ее цветки в результате действия рецессивного гена *sbr* распускаются сверху от бутона вниз (базипетально), а прицветники не отличаются от вегетативных листьев. Верхняя часть сложного соцветия является типичной рацемозной (моноподиальной) брактеозной кистью, у которой цветки распускаются снизу бутона вверх (акропетально), а прицветники резко отличаются от вегетативных листьев. Цветки колосовидного люпина желтого имеют лимонно-желтую (рецессивный ген *cit*) окраску или оранжевую (рецессивный ген *fco1*), белую (*cit fco1*).

Необходимо подчеркнуть, что по определению классической ботаники простой колос является сходным типом частной кисти и отличается от нее только недоразвитостью цветоножек, а сложный колос по структуре близок к кисти, так как на его удлинённой оси простые колоски располагаются на ножках (боковых осях) [2]. Опираясь на данную схожесть частной кисти, простого и сложного колоса, указанное выше сложное соцветие люпина именуют колосовидным, а соответствующий морфофизиологический тип – также колосовидным [1, 4]. Принадлежность растений к этому морфофизиологическому виду определяется по типу соцветия габитуально.

Габитус растений колосовидного типа компактный (рисунок 1), обеспечивающий минимальное их взаимодействие в плотном моноценозе. Высота растений – 80–90 см, до 1-го боба – 30–40 см.

Надземная часть растений представляет собой центральный (главный) побег без ветвей, состоящий только из листьев и стебля, заканчивающегося сложной колосовидной кистью. Оптимальная архитектура растений колосовидного типа обеспечивает их толерантность к условиям плотного для люпина фитоценоза (130–150 растений/м²). Следует отметить, что плотный созревший моноценоз колосовидного люпина желтого (130–150 растений/м²) обеспечивает потенциальную урожайность сухой биомассы 14–16 т/га, семян – 6–7 т/га при среднем количестве бобов на растении 9–10 шт., семян – 40–45 шт., семян в бобе – 4–5 шт., массе 1000 семян – 110–120 г, массе растения – 10–11 г, семян с растения – 4–5 г. Семена содержат: белка 40–42 %, жира – 4–6 %, алкалоидов – 0,01–0,02 %. Сумма незаменимых аминокислот к белку – 30–35 %, лизина – 4,3–4,7 %, метионина + цистина – 2,2–2,5 %. Доля ядра в семени составляет 75–80 %, семян в бобе – 55–60 %. Коэффициент хозяйственной эффективности (К_{хоз}) – 40–45 %. Семена мягкокожурные, имеют черную или красновато-коричневую окраску. Необходимо подчеркнуть, что указанная выше урожай-



Рисунок 1 – Общий вид колосовидного созревшего растения люпина желтого

ность семян может обеспечиваться только одной цимозной частью сложного соцветия (1–10 цветков). Соответственно, нет необходимости у колосовидных растений люпина желтого иметь очень многоцветковую (30–45 шт.) рацемозную часть сложного соцветия. В связи с этим у модели сорта она редуцирована до 15–20 цветков. Этого количества достаточно для выполнения компенсаторной функции завязывания бобов цимозной части сложного соцветия в случаях неблагоприятных климатических условий, которые иногда бывают в Беларуси во второй половине мая и первой половине июня.

Необходимо также отметить, что у колосовидного типа каждый цветок, а затем боб цимозной части сложного соцветия обладает собственным листом, что положительно сказывается на обеспечении их ассимилятами. В результате этого масса 1000 семян цимозной части на 10–15 % больше чем рацемозной.

Корневая система колосовидного растения люпина желтого (стержневая, быстро формирующаяся, хорошо разветвленная) обеспечивает бездефицитный водный баланс и активную азотфиксацию (до 300–400 кг/га), а также переводит труднодоступные для других культур фосфорные соединения в легко усвояемые (до 40–50 кг/га).

Растения колосовидного типа характеризуются очень быстрым темпом начального роста (7–10 мм/сут.), который контролируется двумя генами: доминантным *Rp* и рецессивным *alt*, а также обладают высокой скоростью образования и разветвления листьев (0,4–0,5 шт./сут.). К бутонизации (стадия ВВСН 55) колосовидное растение образует 17–19 листьев. Средняя площадь их листа варьирует от 28 до 30 см². Листовая поверхность растения в ценозе – 400–500 см². Быстрое листообразование является диагностическим признаком типа растений, отличающихся сочетанием высокой потенциальной продуктивности и раннеспелости.

Ценоз колосовидных растений люпина желтого (130–150 растений/м²) достигает оптимальной листовой поверхности (ЛИ = 6–7) к стадии «начало цветения» (ВВСН 60). В этот период агроценоз колосовидного люпина желтого формирует 30–35 т/га зеленой массы, которая характеризуется наибольшей биологической ценностью и обладает максимальной концентрацией антоцианов, питательных веществ и высокой их перевариваемостью. Она содержит 13–14 % сухого вещества. В сухом веществе имеется 6–7 % сырой золы и 93–94 % органических соединений, из них в среднем 22 % сырого протеина, 2,5 % сырого жира, 25 % сырой клетчатки, 38,95 % БЭВ (1,45 % крахмала, 19,5 % сахаров, 18 % гемицеллюлозы), 1,9 % флавоноидов, 0,15 % каратиноидов, 1 % свободных органических кислот, 1,5 % хлорофиллов, 0,001–0,01 % алкалоидов.

Необходимо отметить, что листья колосовидных растений люпина желтого относятся к ксероморфному С-типу, который контролируется доминантным геном *Lst1*. Этот тип листа характеризуется высокой удельной поверхностной плотностью (50–60 г/м²), а также наибольшей среди других типов листа интенсивностью видимого фотосинтеза [3, 4].

Листья и вегетативные органы колосовидного растения имеют насыщенно-антоциановую (пурпурную) окраску, обусловленную действием рецессивного гена *lco3*. Пурпурная окраска листьев и стебля способствует в холодных условиях лучшей аккумуляции солнечного тепла. Растения с пурпурной окраской вегетативных органов имеют более высокую температуру побега (на 2–3 °С), чем зеленые растения. Они растут быстрее и интенсивнее осуществляют фотосинтез [5]. Кроме того, растения люпина с пурпурной окраской листьев меньше поражаются болезнями, чем с зелеными листьями [4].

Антоцианы, накапливаясь в оболочках семян колосовидных растений, обуславливают их окраску (красновато-коричневую, черную). Чернотемные образцы люпина по сравнению с белосемянными аналогами созревают на 3–5 сут. раньше [8]. Созревающие и полностью созревшие бобы чернотемных и красновато-семянных образцов люпина быстрее высыхают после ночной росы и дождя, создавая тем самым неблагоприятные условия для развития на них патогенных микроорганизмов. Эти особенности обусловлены лучшей аккумуляцией солнечного тепла семенами с красновато-коричневым и черным цветом. Антоцианы также играют существенную роль как в устойчивости развивающихся и созревших семян к патогенным микроорганизмам, вредным насекомым, механическим повреждениям, так и в сохранении их жизнеспособности при хранении.

Следует подчеркнуть, что у колосовидного растения вегетативная и генеративная фазы максимально разделены как в пространстве, так и во времени. После бутонизации у них не происходит образования новых листьев.

Оптимальная архитектура колосовидных растений уменьшает в ценозе долю дальнего красного света, что приводит к уменьшению содержания хлорофилла *b* и увеличение такового *a* и каротиноидов. Содержание же суммы хлорофиллов (*a+b*) составляет 10–11 мг/г с.в., каротиноидов – 1,3–1,6 мг/г с.в., отношение хлорофиллов *a/b* – 2,5–3,0, хлорофиллов/каротиноидов – 6–7. Аналогичные соотношения пигментов характерны для растений открытых местообитаний. Увеличение содержания каротиноидов обусловлено возрастанием их роли в качестве дополнительных светосборщиков в сине-фиолетовой области солнечного спектра, доля которого в климатической зоне территории Беларуси увеличена в рассеянной радиации из-за частой облачности. Кроме того, каротиноиды в условиях высокой инсоляции выполняют защитную функцию.

Колосовидный люпин желтый обладает высокой скоростью формирования своего сложного соцветия, что в значительной степени связано с эффектом действия рецессивного гена *sbr*. Этот ген обуславливает формирование в пазухах листьев верхней части стебля (цимозной) цветочных почек вместо вегетативных. Соответственно, в момент появления на верхушке стебля бутона кисти

(стадия ВВСН 50) эти цветочные почки пробуждаются, а затем расцветают, начиная с пазухи самого верхнего листа, а потом предпоследнего и так далее в нисходящем (базилетальном) направлении (от 5 до 10 пазух листьев). Чуть позже (стадия ВВСН 60) на верхушке стебля начинает цвести рацемозная часть сложного соцветия. Ее цветки распускаются снизу (от основания почки) вверх (акропетально). Таким образом, цветение сложного колосовидного соцветия осуществляется последовательно и дружно, при этом его цимозная часть зацветает чуть раньше рацемозной.

Апикально-вертикальное расположение сложной колосовидной кисти на стебле растения обуславливает как концентрированное и близкое размещение на ней цветков, а затем и бобов, так и их хорошее освещение. Все это вместе способствует повышению эффективности аттракции ассимилятов генеративной сферой, дружному качественному созреванию семян.

Бобы у люпина желтого колосовидного типа нерастрескивающиеся, темно-коричневого или черного цвета, слабоопушенные. Семена шаровидные или округло-почковидные, черные или черные с серпиком, красновато-коричневые или красновато-коричневые с серпиком.

Как видно из изложенного выше, колосовидный люпин желтый представляет собой высокобелковый тип растения, который обладает высоким коэффициентом утилизации солнечной радиации, а также четко выраженной азотфиксацией и фосфатмобилизацией. Его зеленая масса в период «конец бутонизации–начало цветения», а также семена являются биологически полноценным высококачественным сырьем для приготовления продуктов питания и кормов с высоким содержанием белка и антоцианов, наиболее ценного класса флавоноидов. На стадиях сизого и блестящего боба зеленая масса колосовидного люпина желтого может эффективно использоваться для приготовления консервированных кормов.

Заключение

С целью повышения потенциала семенной продуктивности люпина желтого разработана модель (идеатип) интенсивного колосовидного сорта, в основу которой положены параметры ключевых признаков и свойств высокогетерозисного гибрида данной культуры. Габитус растений этой модели компактный, что обеспечивает их толерантность к условиям плотного ценоза (130–150 растений/м²). Надземная часть растения представляет собой побег без ветвей, состоящий только из листьев и стебля, заканчивающегося сложной колосовидной кистью. Растения модели характеризуются быстрым темпом начального роста, а также высокой скоростью образования и развертывания листьев (0,4–0,5 шт./сут.). Потенциальная урожайность сухой биомассы созревшего ценоза – 14–16 т/га, семян – 6–7 т/га.

Современный генофонд люпина желтого позволяет успешно реализовать идеатип в натуральные колосовидные сорта многоцелевого использования (кормового, пищевого, лекарственного).

Литература

1. Козловский, А.А. Эволюция биоморфофизиологии растений люпина узколистного в ходе domestikации и селекции / А.А. Козловский, Н.С. Купцов // Земледелие и селекция в Беларуси: сб. науч. тр.; редкол.: Ф.И. Привалов (гл. ред.) [и др.] / Научно-прак. центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск: УП «ИВЦ Минфина», 2020. – Вып. 56. – С. 367–379.
2. Кузнецова, Т.В. Соцветие: морфология, эволюция, таксономическое значение (применение комплементарных подходов) / Т.В. Кузнецова, А.К. Тимонин. – М.: Товарищество научных изданий, КМК, 2017. – 183 с.
3. Купцов, Н.С. Ксероморфность растений как биологический фактор повышения семенной продуктивности моноценозов желтого кормового люпина / Н.С. Купцов // Пути повышения урожайности полевых культур: межвед. темат. сб.; редкол.: В.П. Самсонов (отв. ред.) [и др.] / Госагропром БССР, БелНИИЗ. – Минск: Ураджай, 1987. – Вып. 18. – С. 33–35.
4. Купцов, Н.С. Люпин – генетика, селекция, гетерогенные посевы / Н.С. Купцов, И.П. Такунов. – Брянск, Клиницы: КРТ, 2006. – 576 с.
5. Майсурия, Н.А. Люпин / Н.А. Майсурия, А.И. Атабекова. – М.: Колос, 1974. – 463 с.
6. Такунов, И.П. Люпин – настоящее и будущее / И.П. Такунов // 20 лет Всероссийскому научно-исследовательскому институту люпина: сб. науч. тр. Всероссийского НИИ люпина. – Брянск: ЗАО «Издательство «Читай-город», 2007. – С. 15–41.
7. Шор, В.Ч. Люпин желтый: преимущества и особенности возделывания / В.Ч. Шор [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2020. – №1. – С. 20–23.
8. Joernsgaard, B. Adaptation of Lupins for Northern European Maritime Conditions / B. Joernsgaard, J. Christiansen, N. Kuptsov // Wild and Cultivated Lupins from the Tropics to the Poles.: proceedings of the 10th International Lupin Conference, Laugarvatn, Iceland, 19-24 June 2002 / I.L.A., Canterbury, New Zealand, van santen and G.D. Hill (eds). – 2004. – P. 105-110.

MODEL PARAMETERS OF SPIKE-TYPE YELLOW LUPINE VARIETY

V.Ch. Shor, M.N. Kritsky, V.N. Kuptsov, V.N. Voitova, A.A. Kozlovsky,
N.S. Kuptsov

The parameters of a spike-type yellow lupine variety model which is based on the main characteristics of traits and properties of highly heterosis hybrid of this crop are highlighted in the paper. It is pointed out that the available gene pool allows for the development of intensive spike-type yellow lupine varieties with potential yield of total dry biomass of 14-16 t/ha and seeds of 6-7 t/ha in the near future. Varieties of this model are suitable for cultivation both for grain and for green mass on all types of soils.

УДК 633.171:631[526.32+527]

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ПРОСА ПОСЕВНОГО БЕЛОРУССКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В.Н. Куделко, кандидат с.-х. наук, **П.О. Кошевой**, мл. научный сотрудник,
Н.А. Лужинская, кандидат с.-х. наук

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»
(Поступила 28.03.2022 г.)

Рецензент: Халецкий С.П., кандидат с.-х. наук

Аннотация. В статье представлены результаты изучения образцов проса посевного белорусского происхождения из мировой коллекции ВИР для даль-