

УДК 633.318:631.847.211

**СИМБИОТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛЮЦЕРНЫ ХМЕЛЕВИДНОЙ
СОРТА МИРА*****Г.В. Степанова**, кандидат сельскохозяйственных наук

ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»
141055, Россия, Московская область, г. Лобня, ул. Научный городок, корп. 1
gvstep@yandex.ru

SYMBIOTIC PROPERTIES OF BLACK MEDIC OF THE MIRA VARIETY**G.V. Stepanova**, Candidate of Agricultural Sciences

Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology
141055, Russia, Moscow region, Lobnya, Nauchnyi gorodok str., k. 1
gvstep@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-16-28>

Создан и включен в Государственный реестр селекционных достижений первый в России сорт люцерны хмелевидной Мира. Изучение симбиотических свойств этого сорта показало, что наиболее перспективными для предпосевной инокуляции оказались штаммы ЛХ1 и 4126, первый увеличил сбор сухого вещества и семян на 96 и 115%, второй — на 81 и 73% соответственно. Оба штамма можно использовать при возделывании данного сорта на корм и семена. Инокуляция штаммом ЛХ6 на 84% повысила сбор семян. Штаммы ЛХ2, ЛХ5 и ЛХ6 повышают адаптивную способность люцерны сорта Мира, сдвигая метаболизм люцерно-ризобиальной системы в сторону увеличения количества семян, которые способствуют расширению ареала данной популяции. Доля семян у растений, инокулированных вышеназванными штаммами, возрастает до 24–31% от массы всего растения, а в других симбиотических системах этот показатель составлял 19–22%. Штамм ЛХ1 выделен из клубеньков растений, относящихся к той же популяции, на основе которой создан сорт Мира, и является наиболее генетически комплементарным этому сорту. При посеве люцерны хмелевидной сорта Мира без инокуляции за два года пользования получили 3,3 т/га сухого вещества, 0,67 т/га семян. Предпосевная инокуляция семян штаммом ЛХ1 повысила сбор сухого вещества до 6,48 т/га (+96%), семян — до 1,44 т/га (+115%). В вегетационном опыте инокуляция штаммом ризобий ЛХ1 существенно увеличила: высоту растений на 4,2 см, площадь листьев на 0,69 см² (+49%), продуктивность на 176%; содержание общего азота в надземной части растений достигло 3,63%, в корнях — 3,31%, показатели контроля были 3,02 и 2,77% соответственно.

Ключевые слова: люцерна хмелевидная, сорт Мира, штаммы клубеньковых бактерий, урожайность, сухое вещество, семена.

*Работа частично выполнена при финансовой поддержке гранта № 2021-0291-ФП5-0001 «Создание селекционно-семеноводческих и селекционно-племенных центров в области сельского хозяйства для создания и внедрения в агропромышленный комплекс современных технологий на основе собственных разработок научных и образовательных организаций».

The first Russian variety of black medic of the Mira was created and included in the State Register of Breeding Achievements. The study of the symbiotic properties of this variety showed that the most promising strains for pre-sowing inoculation were LX1 and 412b, the first increased the collection of dry matter and seeds by 96 and 115%, and the second – by 81 and 73%, respectively. Both strains can be used when cultivating this variety for feed and seeds. Inoculation with the LX6 strain increased seed productivity by 84%. Strains LX2, LX5 and LX6 increase the adaptive ability of varieties of the Mira, shifting the metabolism of the alfalfa-rhizobial system towards increasing seed productivity. The proportion of seeds in plants inoculated with the above-mentioned strains increases to 24–31% of the total plant weight, and in other symbiotic systems this indicator was 19–22%. Strain LX1 was isolated from nodules of plants belonging to the same population on the basis of which the Mira variety was created and it is the most genetically complementary to this variety. The yield of black medic of the Mira variety without inoculation for two years of use was 3.3 t/ha of dry matter, 0.67 t/ha of seeds. Pre-sowing inoculation of seeds with the LX1 strain increased the yield of this variety to 6.48 t/ha (+96%) of dry matter and seeds – to 1.44 t/ha (+115%). In the vegetation experiment, inoculation with the rhizobium strain LX1 significantly increased the height of plants by 4.2 cm, the leaf area by 0.69 cm² (+49%), productivity by 176%. The total nitrogen content in the aboveground part of the plants reached 3.63%, the roots 3.31%, the control indicators were 3.02 and 2.77%, respectively.

Keywords: black medic, Mira variety, nodule bacteria strains, yield, dry matter, seeds.

Введение. Люцерна хмелевидная (*Medicago lupulina* L.) — наиболее широко распространенный полиморфный вид рода *Medicago*, относится к подроду *Lupularia* Grossh., включает разновидности: *vulgaris*, растения которой имеют однолетний жизненный цикл, и разновидность *perennans*, которая включает дву- и многолетние монокарпические и бикарпические формы озимого и интермедиального типа. Люцерна хмелевидная — облигатный самоопылитель. В естественных условиях встречаются диплоидные и тетраплоидные формы ($2n = 16, 32$) [1].

Дикорастущая люцерна хмелевидная распространена по всей территории Европы (кроме Арктики), в Центральной и Малой Азии, Северной Африке. Люцерна хмелевидная встречается на всей европейской части России, в Сибири и на Дальнем Востоке. Вторичные центры распространения находятся в Северной Америке и Австралии [1–3].

Этот вид люцерны произрастает в различных экологических условиях, преимущественно на легких почвах с рН

5,5–7,5. Растет на склонах, насыпях вдоль железнодорожных путей, шоссе и полевых дорог, на галечниках, в долине рек, лугах и пастбищах. На рыхлой, хорошо увлажненной почве образует заросли, иногда вытесняя из травостоя даже верховые злаки. Люцерна хмелевидная отличается холодостойкостью и устойчивостью к заморозкам весной и осенью. Активная вегетация весной начинается при среднесуточной температуре воздуха +5 °С и продолжается осенью до перехода среднесуточной температуры воздуха через +5 °С и наступления устойчивых заморозков [1; 4].

По данным И.В. Ларина с соавторами (1937), начиная с середины 19 века, люцерна хмелевидная считается одним из лучших пастбищных растений. Выращивали ее в тех местностях, где выращивание клевера лугового или люцерны посевной плохо удавалось из-за климатических и других причин, например, на известковой почве [4].

В последнее время в условиях аридизации климата значение приобретает

способность сельскохозяйственных культур противостоять засухе. Установлено, что люцерна хмелевидная отличается высокой устойчивостью к засухе по сравнению с большинством видов бобовых трав. Показано, что дефицит влаги в весенний период снижал накопление сухого вещества надземной части растений люцерны хмелевидной в среднем на 13% по сравнению с вариантом с достаточным увлажнением, а летом — на 5%. По засухоустойчивости люцерну хмелевидную превосходит только эспарцет. В модельных условиях засухи выявлено снижение накопления сырого протеина и повышение содержания растворимых углеводов в сухом веществе люцерны хмелевидной. При достаточном увлажнении в фазу цветения содержание сырого протеина было 25,3% весной и 26,1% летом, а растворимых углеводов — 5,6 и 6,3% соответственно. В условиях дефицита влаги содержание сырого протеина снизилось до 24,9 и 23,0%, а содержание растворимых углеводов возросло до 6,8 и 7,8% [5].

Люцерна хмелевидная характеризуется хорошим отрастанием после скашивания и стравливания, хорошей поедаемостью, высоким содержанием протеина (превосходит люцерну посевную), витаминов, микроэлементов, устойчивостью к вытаптыванию, длительным периодом вегетации, повышает плодородие почвы, является прекрасным почвопокровным растением. Небольшая долговечность на пастбищах компенсируется хорошим самосевом, что постоянно обновляет травостой [1; 2; 4; 6; 7].

В последнее время уделяется значительное внимание проблеме микотоксинов жвачных животных и лошадей, в

рационах которых зерновые и травяные корма дополняют друг друга. Получены многочисленные подтверждения обширной сочетанной загрязненности микотоксинами укосных трав на полях длительного использования, а также сухих, сенажированных и силосованных кормов [8; 9]. Установлено, что по сравнению с другими видами люцерны и клеверов люцерна хмелевидная имеет низкий уровень накопления грибных метаболитов (микотоксинов), что повышает ее кормовую ценность [10; 11].

Люцерна хмелевидная считается одной из лучших культур для использования в качестве зеленого удобрения из-за ее пластичности по отношению к почвенной микрофлоре. Согласно исследованиям, проведенным в Новгородской области, люцерна хмелевидная по накоплению азота (480 кг/га за сезон) превосходила люцерну посевную (329 кг/га) и другие бобовые травы, уступая только козлятнику восточному (550 кг/га). В почве при этом аккумулировалось за сезон 172, 118 и 196 кг/га азота в случае люцерны хмелевидной, посевной и козлятника соответственно [12]. В Московской области (ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса») использование люцерны хмелевидной сорта Мира в качестве сидерата и запахивание травостоя в фазу бутонизации обеспечило накопление в почве 10,35 т/га сухого вещества, 373 кг/га азота, 39 кг/га фосфора, 275 кг/га калия и 148 кг/га кальция [2].

Данный вид люцерны активно формирует симбиоз с эндомикоризным грибом *Glomus intraradices*, образующим микоризу везикулярно-арбускулярного типа (ВАМ). ВАМ-грибы улучшают фосфорное питание растений, поглоще-

ние корнями воды и питательных веществ из почвы, усиливают фотосинтез и повышают устойчивость растений к стрессам. В результате растения люцерны хмелевидной за сравнительно короткий срок накапливают значительное количество сухого вещества с высоким содержанием фосфора. Микоризация растений в зоне умеренного климата повышает на 10–15% урожай зерновых культур, выращиваемых вслед за люцерной [13; 14].

Установлено, что урожайность и средообразующая способность люцерны хмелевидной возрастает при инокуляции семян препаратами клубеньковых бактерий.

Возделывание на слабо окультуренной почве шести образцов люцерны хмелевидной разновидности *perennans* показало, что инокуляция активным штаммом ризобий A1 существенно, в среднем на 17%, сократила гибель растений люцерны, вызванную негативным действием почвенной кислотности (рН 4,49). В варианте без инокуляции в течение 10 дней после появления всходов погибло в среднем 24% растений, в варианте с инокуляцией — только 7% растений. Урожайность люцерны хмелевидной в среднем за три года исследований составила в варианте с инокуляцией штаммом A1 0,30–0,50 кг/м² сухого вещества, в контроле — 0,18–0,43 кг/м², эффективность симбиоза была в пределах 6–96%. Урожайность сорта Мира была 0,45 кг/м² сухого вещества в варианте с инокуляцией и 0,23 кг/м² в контроле, увеличение сбора сухого вещества за счет растительно-ризобиального симбиоза достигло 96% [15].

В заключение обзора литературы считаю необходимым привести резуль-

таты исследования А.К. Simonsen and J.R. Stinchcombe (2014), которые пишут: «Результаты диаллельных скрещиваний показали, что наследуемость признака Нор (Host preference) у люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina*) достаточно высока для того, чтобы в растительных популяциях происходил отбор на усиление этого признака» [16]. Это означает, что в дикорастущих популяциях люцерны хмелевидной встречаются комплексы генов, которые из смеси спонтанных рас клубеньковых бактерий, находящихся в почве, отбирают только те генотипы, которые обладают высоким уровнем азотфиксации, и этот признак наследуется по доминантному типу.

Таким образом, люцерна хмелевидная обладает набором ценных хозяйственных и биологических признаков: высокой адаптивной способностью к климатическим и эдафическим условиям выращивания, хорошей питательностью и поедаемостью зеленой массы, сравнительно высоким накоплением фосфора и биологического азота за счет активных симбиозов с почвенными микроорганизмами, по отношению к которым имеется выраженная хозяйская специфичность.

Цель исследований: изучить симбиотические свойства люцерны хмелевидной сорта Мира при инокуляции производственными штаммами клубеньковых бактерий, созданными во ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии и выделенными из клубеньков дикорастущей люцерны хмелевидной Московской области.

Материал и методы. Исследования проводили в 2017–2020 гг. в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» (Federal Williams Research Center of Forage Production &

Agroecology, Moscow region, Lobnya, Russia), расположенном в 30 км к северу от Москвы, в полевых и вегетационных опытах.

В качестве макросимбионта использовали сорт люцерны хмелевидной разновидности *perennans* Мира, созданный в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» (патент на селекционное достижение № 4107) [17].

Микросимбионты — первая группа: штаммы ризобий 415б, 412б, 408б из коллекции ФГБНУ ВНИИСХМ, вторая группа: природные штаммы ЛХ1, ЛХ2, ЛХ5 и ЛХ6, выделенные из клубеньков дикорастущей люцерны хмелевидной, произраставшей в разных районах Московской области. Штамм ЛХ1 выделен из клубеньков, сформировавшихся на корнях растений дикорастущей популяции люцерны хмелевидной, на основе которой был создан сорт Мира. Штамм ЛХ6 выделен из клубеньков, сформировавшихся на корнях растений люцерны хмелевидной, произраставших в очень жестких эдафических условиях на дамбе Иваньковского водохранилища в городе Дубна Московской области. Насыпь дамбы сооружена из речного песка, смешанного со щебнем и крупными камнями, то есть очень низкое почвенное плодородие сочетается с промывным водным режимом. Растительный покров дамбы состоит в основном из очитка едкого с включением редких растений люцерны хмелевидной, язвенника обыкновенного, овсяницы овечьей. Штаммы ЛХ2 и ЛХ5 выделены из клубеньков, сформировавшихся на корнях растений, произраставших на железнодорожной насыпи.

Полевой опыт проведен на слабо

окультуренной почве с содержанием гумуса 1,60%, рН_{KCl} 4,95, содержание общего азота — 0,140%, подвижного фосфора — 18,78, калия — 8,42 мг/100 г почвы. Посев семян сплошной рядовой. Площадь делянок — 5 м², повторность трехкратная. Опыт заложен 4 мая 2017 г. В год посева провели два укоса зеленой массы, на второй год травостой использовали для получения семян.

Вегетационный опыт заложили 4 августа 2019 г. в селекционно-тепличном комплексе ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». Растения люцерны сорта Мира выращивали в сосудах емкостью 2 л, наполненных песчаной почвой, в каждом сосуде было по пять растений, повторность четырехкратная, подкормок не проводили. Агрохимический состав почвы: гумус по Тюрину — 0,37%, рН_{KCl} 7,73, общий азот — 0,114%, подвижный фосфор — 37,40, калий — 9,03 мг/100 г почвы. Испытывали люцерну в четырех вариантах инокуляции: контроль (без инокуляции) и предпосевная инокуляция активными штаммами ризобий ЛХ1, 412б и 415б.

Результаты исследований. Создан и включен в Государственный реестр селекционных достижений первый российский сорт люцерны хмелевидной Мира. Сорт относится к разновидности *perennans*. Исходный материал создан колхичинированием методом вакуум-инfiltrации проростков дикорастущей люцерны хмелевидной (2n = 16) из Дмитровского района Московской области. Из обработанного материала отобрали проростки с крупными листочками, а затем из них — растения с крупными цветками, плотными соцветиями, высокой семенной продуктивностью. Пloidность сорта

не изменилась ($2n = 16$). Сорту предназначен для сенокосно-пастбищного использования, а также в качестве сидератной и парозанимающей культуры; отличается устойчивостью к вытаптыванию, высокой отавностью, длительным периодом

вегетации. Сбор сухого вещества составляет около 6 т/га, протеина — 2 т/га, семян — 400–1200 кг/га [18].

На рисунке 1 показаны цветущие растения люцерны хмелевидной сорта Мира.



Рис. 1. Цветущие растения люцерны хмелевидной сорта Мира

В полевом опыте изучали отзывчивость люцерны хмелевидной сорта Мира на инокуляцию штаммами ризобий различного происхождения.

Сбор сухого вещества надземной биомассы растений при традиционном способе выращивания (без инокуляции) в сумме за два укоса был небольшой (330 г/м^2). Предпосевная инокуляция пятью (ЛХ6, 4156, ЛХ2, 4126 и ЛХ1) из семи штаммов существенно, на 31–96%, повысила сбор сухого вещества, до 436–

648 г/м^2 . Причем лучшие результаты получены при инокуляции производственным штаммом 4126 и штаммом ЛХ1, выделенным из клубеньков на корнях растений дикорастущей люцерны хмелевидной, относящейся к той же популяции, на основе которой был создан сорт Мира. Урожайность сорто-микробной системы «Мира + штамм 4126» возросла на 81%, до 597 г/м^2 , «Мира + ЛХ1» — на 96%, до 648 г/м^2 сухого вещества (табл. 1).

1. Эффективность симбиоза люцерны хмелевидной сорта Мира со штаммами ризобий различного происхождения. Посев 04.05.2017.

Вариант инокуляции	Сухое вещество, данные 2017 г.		Семена, данные 2018 г.		Отношение массы семян к общей биомассе, %
	г/м ²	эффективность симбиоза, ± %	г/м ²	эффективность симбиоза, ± %	
Контроль	330	0	67	0	20
4156	436	32	98	46	22
4126	597	81	116	73	19
4086	342	4	69	3	20
ЛХ1	648	96	144	115	22
ЛХ2	491	49	116	73	24
ЛХ5	252	-24	79	18	31
ЛХ6	433	31	123	84	28
НСР ₀₅	54		23		

Урожайность сорта Мира по семенам в варианте без инокуляции была сравнительно высокой (67 г/м²), а предпосевная инокуляция теми же штаммами, которые повысили сбор сухого вещества, увеличила сбор семян на 46–115%, до 98–144 г/м². Наиболее перспективными для инокуляции сорта Мира оказались штаммы ЛХ1 и 4126, первый увеличил сбор семян на 115%, а второй — на 73%. Оба штамма можно использовать при возделывании данного сорта на корм и семена. Кроме того, установлено, что штамм ЛХ6 подходит для предпосевной инокуляции сорта Мира при возделывании на семена, так как у этой сортомикробной системы существенно, на 84%, возрастает семенная продуктивность (табл. 1).

Следовательно, три вышеназванных штамма наиболее генетически комплементарны сорту Мира и обеспечивают максимальную эффективность симбиоза.

Также следует отметить, что штаммы ЛХ2, ЛХ5 и ЛХ6 повышают адаптивную способность люцерны сорта Мира, сдвигая метаболизм люцерно-ризобиальной

системы в сторону увеличения количества семян, которые способствуют расширению ареала данной популяции. Доля семян у растений, инокулированных вышеназванными штаммами, возрастает до 24–31% от массы всего растения, а в других симбиотических системах этот показатель составлял 19–22% (табл. 1).

По-видимому, объясняется это тем, что штаммы ЛХ2, ЛХ5 и ЛХ6 выделены из клубеньков на корнях растений, произрастающих в сложных экологических условиях, где для сохранения популяции необходимо производить как можно больше семян. Штамм ЛХ1 выделен из клубеньков растений, относящихся к той же популяции, на основе которой создан сорт Мира, и является наиболее генетически комплементарным этому сорту. Дикорастущая популяция люцерны хмелевидной, на основе которой создан сорт Мира, произрастает на участке с достаточно высоким почвенным плодородием и оптимальным увлажнением.

Таким образом, при посеве люцерны хмелевидной сорта Мира без инокуляции за два года пользования получили в

пересчете на гектар 3,3 т сухого вещества и 670 кг семян. Предпосевная инокуляция семян сорта Мира комплементарными штаммами 4126 и ЛХ1 повысила сбор сухого вещества до 5,97 и 6,48 т/га (+81 и 96%), семян — до 1160 и 1440 кг/га (+73 и 115%).

Более детальное изучение симбиотических особенностей люцерны хмелевидной сорта Мира проводили в вегетационном опыте. Через 40 дней после появления всходов, в фазу розетки – начала формирования генеративных побегов, высота растений в контроле составляла в среднем $7,9 \pm 0,5$ см, в вариантах с инокуляцией клубеньковыми бактериями растения были существенно, на 1,8–

4,2 см, выше.

Значительно, до $1,83\text{--}2,10$ см² против $1,41 \pm 0,25$ см² на растение в контроле, возросла площадь листьев.

Биомасса надземной части растений в вариантах с инокуляцией достигла 216–318 мг/растение сухого вещества, что высоко существенно, на 88–176%, больше, чем в контроле. Особенно заметное положительное влияние на высоту растений, площадь листьев, продуктивность сухого вещества оказала инокуляция штаммом ризобий ЛХ1. Высота растений по сравнению с контролем увеличилась на 4,2 см, площадь листьев — на $0,69$ см² (+49%), продуктивность — на 176% (табл. 2).

2. Морфологические и биологические особенности растений люцерны хмелевидной сорта Мира в фазу розетки. Вегетационный опыт, посев 04.08.2019, учет 25.09.2019.

Показатель	Вариант инокуляции			
	контроль	ЛХ1	4126	4156
Высота растений, см	$7,9 \pm 0,5$	12,1	9,7	10,7
Количество генеративных побегов, шт.	$6,5 \pm 0,5$	6,2	5,9	6,1
Площадь листьев, см ² /растение	$1,41 \pm 0,25$	2,10	1,87	1,83
Масса надземной части растений, сухое вещество, мг/растение	115 ± 93	318	247	216
Масса корней, сухое вещество, мг/растение	71 ± 15	75	59	61
Содержание азота, %:				
надземная часть	3,02	3,63	3,57	3,57
корни	2,77	3,31	3,23	3,09
Доля корней по отношению к общей биомассе растения, %	38	19	19	22
Средний размер клубеньков:				
длина, мм	2,86	2,44	1,85	2,29
ширина, мм	2,59	1,46	0,85	1,41
Степень нодуляции, балл	2,0	5,0	3,5	4,0
Частота встречаемости клубеньков, %:				
мелких	10	10	30	10
средних	20	80	60	70
крупных	70	10	10	20

Инокуляция не оказала статистически значимого влияния на количество

генеративных побегов и массу корней. В контроле было в среднем $6,5 \pm 0,5$ штук

генеративных побегов на растение, а у растительно-микробных систем 5,9–6,2 штуки на растение.

Средняя масса корней в варианте без инокуляции и с инокуляцией штаммом ЛХ1 была близкой: 71 и 75 мг сухого вещества на растение, а в вариантах с инокуляцией штаммами 4156 и 4126 незначительно снизилась до 59 и 61 мг/растение. Доля корней к общей биомассе растений в вариантах с высокоэффективными штаммами 4126 и ЛХ1 составила 19%, а в варианте с инокуляцией менее эффективным штаммом — 4156, в контроле она достигала 22 и 38%. По-видимому, поглотительная способность корней в высокоэффективных растительно-микробных системах выше, поэтому их относительная доля биомассы ниже (табл. 2).

Инокуляция активными штаммами ризобий увеличила среднее содержание общего азота в надземной части растений люцерны хмелевидной до 3,57–

3,63%, в корнях — до 3,09–3,31%, в контроле содержание общего азота в надземной части было 3,02, в корнях — 2,77%.

В фазу розетки степень нодуляции в контроле составила 2 балла, в вариантах с активными штаммами — 3,5–5,0 баллов. В контроле спонтанные расы ризобий формировали сравнительно крупные клубеньки (длина 2,86 мм, ширина 2,59 мм), клубеньки активных штаммов были мелкими (длина 1,85–2,44 мм, ширина 0,85–1,41 мм), удлиненной формы.

В контроле доля крупных клубеньков составляла 70% от общего количества, в вариантах с инокуляцией активными штаммами на долю средних клубеньков приходилось 60–80% общего количества, доля крупных клубеньков была в пределах 10–20% (табл. 2).

В таблице 3 показано влияние предпосевной инокуляции активными штаммами клубеньковых бактерий на продуктивность растений сорта Мира.

3. Продуктивность растений люцерны хмелевидной сорта Мира в фазу цветения, вегетационный опыт, среднее за 3 укоса 2019–2020 гг.

Вариант инокуляции	Сухое вещество надземной части		Сбор протеина		Накопление общего азота во всем растении	
	г/растение	%	г/растение	%	г/растение	%
Контроль	15,4	100	2,96	100	0,56	100
4156	17,5	114	3,31	112	0,62	111
4126	22,4	146	4,61	156	0,85	152
ЛХ1	26,6	172	5,62	189	0,98	175
НСР ₀₅	3,1		1,10		0,18	
НСР ₀₁	4,4		1,55		0,25	

За период от посева в августе 2019 г. до 15 мая 2020 г. в условиях селекционно-тепличного комплекса провели три укоса в фазу полного цветения растений люцерны. Средняя масса надземной час-

ти растений люцерны сорта Мира в контроле составила 15,4 г/растение сухого вещества, сбор сырого протеина — 2,96 г/растение, а инокуляция комбинированными штаммами ризобий 4126 и

ЛХ1 высоко существенно, на 46 и 72%, повысила продуктивность растений, сбор протеина возрос на 56 и 89%.

Накопление общего азота во всем растении люцерны хмелевидной сорта Мира в контроле составило 0,56 г/растение, инокуляция штаммами 412б и ЛХ1 увеличила накопление азота до 0,85–0,98 г/растение, или на 52 и 75%, причем только за счет инокуляции нако-

пление азота возросло на 0,29 и 0,42 г/растение (табл. 3).

Корреляционно-регрессионный анализ проводили по малому объему выборки, испытывали всего 4 растительно-ризобиальные системы, поэтому теоретический критерий значимости t_{05} оказался очень высоким – 3,18, а статистически значимые коэффициенты корреляции выше 0,90 (табл. 4).

4. Корреляционные связи между основными симбиотическими признаками растений сорта Мира при инокуляции штаммами клубеньковых бактерий, вегетационный опыт, среднее за три укоса, 2019–2020 гг.

Показатель	Среднее значение		r	t_r
	X	Y		
Масса всего растения, сухое вещество, г/растение (X) Содержание общего азота, % (Y)	23,7	3,17	$0,97 \pm 0,19$	5,05
Масса всего растения, сухое вещество, г/растение (X) Среднее количество клубеньков, шт./растение (Y)	23,7	331	$0,90 \pm 0,30$	2,96
Среднее количество клубеньков, шт./растение (X) Содержание общего азота, % (Y)	331	3,17	$0,78 \pm 0,44$	1,27
Масса всего растения, сухое вещество, г/растение (X) Средний объем клубеньков, мм ³ /растение (Y)	23,7	1198	$0,11 \pm 0,74$	0,15
Содержание общего азота, % (X) Средний объем клубеньков, мм ³ /растение (Y)	3,17	1190	$0,26 \pm 0,68$	0,38

Примечание: r — коэффициент корреляции; t_r — фактический критерий значимости; $t_{05} = 3,18$ — теоретический критерий значимости.

Корреляционно-регрессионный анализ выявил высоко существенную положительную корреляционную зависимость между содержанием общего азота в сухом веществе и массой растений ($r = 0,97 \pm 0,19$; $t_r = 5,05 > t_{05} = 3,18$).

Установлена близкая существенной положительная корреляционная зависи-

мость между средней массой сухого вещества растения люцерны и средним количеством клубеньков (331 шт.) на растении: ($r = 0,90 \pm 0,30$; $t_r = 2,96 < t_{05} = 3,18$).

Между количеством клубеньков и накоплением общего азота не выявлено тесной корреляционной зависимости ($r =$

0,78). Также установлено, что нет корреляционной связи между средним объемом клубеньков ($1198 \text{ мм}^3/\text{растение}$), массой растений люцерны и удельным содержанием общего азота в растении (табл. 4).

Заключение. Установлено, что сорт Мира высокоотзывчив на искусственную инокуляцию комплементарными штаммами клубеньковых бактерий 412б и ЛХ1, в результате чего сбор сухого веще-

ства возрос на 81–96%, а семян — на 73–115%. В вегетационном опыте инокуляция вышеназванными штаммами увеличила продуктивность надземной биомассы по сухому веществу на 46 и 72%, сбор протеина — на 56 и 89%, накопление азота во всем растении — на 52 и 75%. Выявлена положительная корреляционная связь средней массы растений с количеством клубеньков ($r = 0,90$) и с удельным содержанием общего азота ($r = 0,98$).

Литература

1. Медведев П.Ф., Сметанникова А.И. Кормовые растения европейской части СССР (справочник). – М. : Колос, 1981. – 180 с.
2. Основные виды и сорта кормовых культур: Итоги научной деятельности Центрального селекционного центра / В.М. Косолапов, З.Ш. Шамсутдинов, Г.И. Ившин, Г.Ф. Кулешов, М.Ю. Новоселов [и др.]; ФГБНУ ВНИИ кормов им. В.Р.Вильямса. – М. : Наука, 2015. – 545 с. (ISBN 978-5-02-039110-9).
3. Bakoglu A., Bagci E., Kocak A. and E. Yuce. Fatty Acid Composition of Some *Medicago L.* (*Fabaceae*) Species From Turkey. *Asian Journal of Chemistry* (2010). Vol. 22. No. 1. Pp. 651–656.
4. Кормовые растения естественных сенокосов и пастбищ СССР / И.В. Ларин, Ш.М. Агабабян, В.К. Ларина [и др.]; Под ред. проф. д-ра И.В. Ларина. – Л. : ВАСХНИЛ, 1937. – С. 545–547.
5. Küchenmeister K., Küchenmeister F., Kayser M., Wrage-Mönnig N., Isselstein J. Influence of drought stress on nutritive value of perennial forage legumes. *International Journal of Plant Production*. 2013. 7 (4): 693–710. (ISSN 1735-6814 (Print), 1735-8043 (Online). URL: www.ijpp.info).
6. Entz M.H., Martens J.R., May W. and Lafond G.P. Black medic (*Medicago lupulina*) germplasm screening for use as a self-regenerating cover crop on the Canadian Prairies. *Can. J. Plant Sci.* 2007. 87: 873–878.
7. Wilson L.C., Braul A., Entz M.H. Characteristics of Black Medic seed dormancy loss in Western Canada. *Agronomy Journal*. 2017. 109 (4): 1404–1413. (URL: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.10.0604>).
8. Burkin A.A., Kononenko G.P., Gavriloва O.P., Gagkaeva T.Yu. About zearalenone levels in grass fodders and toxine producing activity of *Fusarium* fungi. *Agricultural Biology*. 2015. 50 (2): 255–262. (DOI: 10.15389/agrobiol.2015.2.255eng).
9. Gallo A., Giuberti G., Frisvad J.C., Bertuzzi T., Nielsen K.F. Review on mycotoxin issues in ruminants: occurrence in forages, effects of mycotoxin ingestion on health status and animal performance and practical strategies to counteract their negative effects. *Toxins*. 2015. 7: 3057–3111. (DOI: 10.3390/toxins7083057).
10. Буркин А.А., Кононенко Г.П. Вторичные метаболиты микромицетов в растениях семейства Fabaceae родов *Galega*, *Glycyrrhiza*, *Lupinus*, *Medicago*, *Melilotus* // Известия РАН. Серия биологическая. – 2018. – № 3. – С. 267–274. (DOI:10.7868/S0002332918030037).
11. Burkin A.A., Kononenko G.P., Gavriloва O.P., Gagkaeva T.Yu. Mycotoxins in the legumes of natural fodder of the European Russia *Agricultural Biology*. 2017. 52 (2): 409–417. (DOI: 10.15389/agrobiol.2017.2.409eng).

12. Абдушаева Я.М., Николаева Т.А., Карбивская У.М. Особенности формирования симбиотического аппарата многолетних бобовых трав в условиях Новгородской области // Наука, бизнес, власть – триада регионального развития : сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф. (Великий Новгород, 14 апреля 2017). – Санкт-Петербург, 2017. – С. 8–12.
13. Взаимосвязь показателей активности и эффективности штаммов грибов арбускулярной микоризы различного происхождения / А.П. Юрков, А.А. Крюков, Л.М. Якоби, А.П. Кожемяков, М.Ф. Шишова // Таврический вестник аграрной науки. – 2017. – № 4 (12). – С. 31–41.
14. Юрков А.П., Кожемяков А.П., Степанова Г.В. Эффективность некоторых микробных биопрепаратов на основе бактерий и грибов арбускулярной микоризы // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сб. науч. тр., выпуск 19 (67) / ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». – М. : Угрешская типография, 2018. – С. 20–29.
15. Степанова Г.В. Симбиотические свойства люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.) // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. – 2016. – № 12. – С. 368–371.
16. Simonsen A.K., Stinchcombe J.R. Standing genetic variation in host preference for mutualist microbial symbionts. *Proc. R. Soc. B.* 2014. 281: 1–9. (URL: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.2036>).
17. Патент на селекционное достижение № 4107. Выдан по заявке № 9809678 с датой приоритета 23.12.1998. Зарегистрирован в Государственном реестре охраняемых селекционных достижений 17.06.2008 г. Люцерна хмелевидная *Medicago lupulina* L. Мира. / Писковацкий Ю.М., Степанова Г.В.
18. Сорты кормовых культур селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса»: монография / ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». – М. : Угрешская типография, 2019. – 92 с.

References

1. Medvedev P.F., Smetannikova A.I. *Kormovyye rasteniya yevropeyskoy chasti SSSR (spravochnik)* [Forage plants of the European part of the USSR (reference book)]. Moscow, Kolos Publ., 1981, 180 p.
2. Kosolapov V.M., Shamsutdinov Z.Sh., Ivshin G.I., Kuleshov G.F., Novoselov M.Yu. et al. *Osnovnyye vidy i sorta kormovykh kul'tur: Itogi nauchnoy deyatel'nosti Tsentral'nogo selektsionnogo tsentra* [The basis species and varieties of forage crops: Results of the scientific activity of the Central Breeding Center]. All-Russian Williams Fodder Research Institute. Moscow, Nauka Publ., 2015, 545 p. (ISBN 978-5-02-039110-9).
3. Bakoglu A., Bagci E., Kocak A. and E. Yuce. Fatty Acid Composition of Some *Medicago* L. (*Fabaceae*) Species From Turkey. *Asian Journal of Chemistry* (2010). Vol. 22. No. 1. Pp. 651–656.
4. Larin I.V., Agababyan Sh.M., Larina V.K. et al. *Kormovyye rasteniya yestestvennykh senokosov i pastbishch SSSR* [Forage plants of natural hayfields and pastures of the USSR]. Ed.: prof. dr. I.V. Larin. Leningrad, VASKhNIL Publ., 1937, pp. 545–547.
5. Küchenmeister K., Küchenmeister F., Kayser M., Wrage-Mönnig N., Isselstein J. Influence of drought stress on nutritive value of perennial forage legumes. *International Journal of Plant Production*. 2013. 7 (4): 693–710. (ISSN 1735-6814 (Print), 1735-8043 (Online). URL: www.ijpp.info).
6. Entz M.H., Martens J.R., May W. and Lafond G.P. Black medic (*Medicago lupulina*) germplasm screening for use as a self-regenerating cover crop on the Canadian Prairies. *Can. J. Plant Sci.* 2007. 87: 873–878.
7. Wilson L.C., Brault A., Entz M.H. Characteristics of Black Medic seed dormancy loss in Western Canada. *Agronomy Journal*. 2017. 109 (4): 1404–1413. (URL: <https://doi.org/10.2134/agronj2016.10.0604>).

8. Burkin A.A., Kononenko G.P., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu. About zearalenone levels in grass fodders and toxine producing activity of *Fusarium* fungi. *Agricultural Biology*. 2015. 50 (2): 255–262. (DOI: 10.15389/agrobiology.2015.2.255eng).
9. Gallo A., Giuberti G., Frisvad J.C., Bertuzzi T., Nielsen K.F. Review on mycotoxin issues in ruminants: occurrence in forages, effects of mycotoxin ingestion on health status and animal performance and practical strategies to counteract their negative effects. *Toxins*. 2015. 7: 3057–3111. (DOI: 10.3390/toxins7083057).
10. Burkin A.A., Kononenko G.P. Vtorichnyye metabolity mikromitsetov v rasteniyakh semeystva Fabaceae rodov *Galega*, *Glycyrrhiza*, *Lupinus*, *Medicago*, *Melilotus* [Secondary metabolites of micromycetes in plants of the Fabaceae family of the genera *Galega*, *Glycyrrhiza*, *Lupinus*, *Medicago*, *Melilotus*]. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya [News of the Russian Academy of Sciences. Biological series]*, 2018, no. 3, pp. 267–274. (DOI:10.7868/S0002332918030037).
11. Burkin A.A., Kononenko G.P., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu. Mycotoxins in the legumes of natural fodder of the European Russia *Agricultural Biology*. 2017. 52 (2): 409–417. (DOI: 10.15389/agrobiology.2017.2.409eng).
12. Abdushaeva Ya.M., Nikolaeva T.A., Karbivskaya U.M. Osobennosti formirovaniya simbioticheskogo apparata mnogoletnikh bobovykh trav v usloviyakh Novgorodskoy oblasti [Features of the formation of the symbiotic apparatus of perennial legumes in the conditions of the Novgorod region]. *Nauka, biznes, vlast' – triada regional'nogo razvitiya [Science, business, power – the triad of regional development: collection of articles II Int. scientific-practical conf. (Veliky Novgorod, April 14, 2017)]*. St. Petersburg, 2017, pp. 8–12.
13. Yurkov A.P., Kryukov A.A., Yakobi L.M., Kozhemyakov A.P., Shishova M.F. Vzaimosvyaz' pokazateley aktivnosti i effektivnosti shtammov gribov arbuskulyarnoy mikorizy razlichnogo proiskhozhdeniya [The relationship between the indicators of activity and efficiency of fungi strains of arbuscular mycorrhiza of various origins]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki [Tauride Bulletin of Agrarian Science.]*, 2017, no. 4 (12), pp. 31–41.
14. Yurkov A.P., Kozhemyakov A.P., Stepanova G.V. Effektivnost' nekotorykh mikrobykh biopreparatov na osnove bakteriy i gribov arbuskulyarnoy mikorizy [The effectiveness of some microbial biological products based on bacteria and fungi of arbuscular mycorrhiza]. *Mnogofunktional'noye adaptivnoye kormoproizvodstvo [The multifunctional adaptive fodder production: collection of articles]*. Issue 19 (67). Moscow, Ugreshskaya tipografiya Publ., 2018, pp. 20–29.
15. Stepanova G.V. Simbioticheskiye svoystva lyutserny khmelevidnoy (*Medicago lupulina* L.) [Symbiotic properties of black medic (*Medicago lupulina* L.)]. *Novyye i netraditsionnyye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya [New and non-traditional plants and prospects for their use]*, 2016, no. 12, pp. 368–371.
16. Simonsen A.K., Stinchcombe J.R. Standing genetic variation in host preference for mutualist microbial symbionts. *Proc. R. Soc. B*. 2014. 281: 1–9. (URL: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.2036>).
17. Patent na selektsionnoye dostizheniye № 4107. Vydan po zayavke № 9809678 s datoy prioriteta 23.12.1998. Zaregistrovan v Gosudarstvennom reyestre okhranyayemykh selektsionnykh dostizheniy 17.06.2008 g. Lyutserna khmelevidnaya *Medicago lupulina* L. Mira [Patent for selection achievement No. 4107. Issued under application No. 9809678 with priority date 12/23/1998. Registered in the State Register of Protected Breeding Achievements on June 17, 2008. Black medic *Medicago lupulina* L. Mira]. Piskovatskiy Yu.M., Stepanova G.V.
18. Sorta kormovykh kul'tur selektsii FGBNU «Federal'nyy nauchnyy tsentr kormoproizvodstva i agroekologii imeni V.R. Vil'yamsa»: monografiya [Varieties of forage crops selected by the FSBSI "Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology": monograph]. Moscow, Ugreshskaya tipografiya Publ., 2019, 92 p.