

УДК 633.318:631.847.211

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2022-3-25-37>

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИМБИОЗА ЛЮЦЕРНЫ ХМЕЛЕВИДНОЙ С НОВЫМИ ШТАММАМИ РИЗОБИЙ*

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

EFFICIENCY OF SYMBIOSIS OF HOP ALFALFA WITH NEW RHIZOBIA STRAINS

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

Новые штаммы *Sinorhizobium meliloti* выделены из клубеньков дикорастущей люцерны хмелевидной, произраставшей в разных районах Московской области. Штамм ЛХ1 — из дикорастущей люцерны хмелевидной, на основе которой был создан сорт Мира. Штамм ЛХ6 — из люцерны, обитающей в условиях очень низкого плодородия и промывного водного режима на дамбе Ивановского водохранилища. Штаммы ЛХ2 и ЛХ5 — на железнодорожной насыпи, ЛХ3 и ЛХ4 — на сравнительно плодородном участке луга. В полевом опыте наиболее высокую эффективность симбиоза с сортом люцерны хмелевидной Мира обеспечил штамм ЛХ1. Прибавка продуктивности по сухому веществу достигла 81%, по семенам — 87%. Штамм ЛХ6 повысил сбор семян на 86%. Лучшие результаты по селекционному номеру ВИК 32-28 получены при инокуляции штаммами ЛХ4 и ЛХ6. Продуктивность по сухому веществу возросла на 26 и 21%, семенам — на 112 и 150%. В вегетационном опыте провели оптимизацию ускоренного метода отбора высокоэффективных макро- и микросимбионтов в нестерильных условиях. На 35-е сутки после появления всходов по мощности травостоя визуально выделялись симбиотические системы, сформированные инокуляцией сорта Мира штаммами ЛХ3, ЛХ6, ЛХ2 и ЛХ1. Высота удлинённых побегов составляла $11,8 \pm 1,5 \dots 15,3 \pm 1,6$ см, кустистость — $3,7 \pm 0,5 \dots 4,0 \pm 0,6$ стеблей, эффективность симбиоза — 18–102%. Выявлены положительные корреляционные зависимости между продуктивностью и высотой растений ($r = 0,42 \pm 0,40$), кустистостью ($r = 0,57 \pm 0,36$), количеством клубеньков ($r = 0,62 \pm 0,35$).

Ключевые слова: люцерна хмелевидная, клубеньковые бактерии, штаммы, эффективность симбиоза.

*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».

New strains of *Sinorhizobium meliloti* were isolated from nodules of wild hop alfalfa growing in different districts of the Moscow region. Strain LX1 was isolated from the nodules of wild hop alfalfa, on the basis of which the Mira variety was created. Strain LX6 was isolated from alfalfa living in conditions of very low fertility and moisture deficiency at the Ivankovo reservoir dam. Strains LX2 and LX5 — on the railway embankment, LX3 and LX4 — on a relatively fertile area of the meadow. In the field experiment, LX1 strains provided the highest efficiency of symbiosis with the hop-shaped alfalfa variety. The increase in productivity for dry matter reached 81%, for seeds 87%. The LX6 strain increased seed yield by 86%. The best results for the selection number VIK 32-28 were obtained by inoculation with strains LX4 and LX6. Productivity for dry matter increased by 26 and 21%, for seeds — by 112 and 150%. In the vegetation experiment, an accelerated method of selecting highly effective macro- and micro symbionts in non-sterile conditions was optimized. On the 35th day after the emergence of seedlings, the herbage capacity was visually determined. The most powerful were the plant-microbial systems "variety of the Mira + strains LX3, LX6, LX2 and LX1". The height of elongated shoots was $11.8 \pm 1.5 \dots 15.3 \pm 1.6$ cm, bushiness of $3.7 \pm 0.5 \dots 4.0 \pm 0.6$ stems, symbiosis efficiency of 18–102%. Positive correlations were revealed between productivity and plant height ($r = 0.42 \pm 0.40$), bushiness ($r = 0.57 \pm 0.36$), number of nodules ($r = 0.62 \pm 0.35$).

Keywords: hop alfalfa, nodule bacteria, strains, symbiosis efficiency.

Введение. Люцерна хмелевидная (*Medicago lupulina* L.) — широко распространенный в умеренной и субтропической зонах всех континентов, малотребовательный к условиям произрастания вид, который обладает морфологическим разнообразием и пластичностью жизненного цикла. Всё морфологическое разнообразие вида можно разделить на две группы. Монокарпики — не образуют прикорневую розетку и характеризуются индетерминантным ростом генеративных побегов. К этой группе относится селекционный номер ВИК 32-28, разновидность *vulgaris*. Вторая группа представлена поликарпиками с двулетним и многолетним жизненным циклом, разновидность *perennans*.

Сорт люцерны хмелевидной Мира относится к этой группе. Поликарпики (двулетники и многолетники) в иматурный период в первый год жизни формируют прикорневую розетку из облиственных укороченных побегов. Генеративные побеги с детерминантным типом роста иногда образуют сложные со-

цветия из двух или более простых соцветий на верхушке [1–5].

Люцерна хмелевидная отличается ранним отрастанием весной, длительным периодом вегетации, хорошей поедаемостью всеми видами животных, в том числе и птицы, высоким качеством корма, высокой почвообразовательной способностью. Небольшая долговечность компенсируется хорошим самосевом, что постоянно обновляет травостой [6–8].

Люцерна хмелевидная активно формирует симбиоз с эндомикоризным грибом *Glomus intraradices*, образующим микоризу везикулярно-арбускулярного типа (ВАМ), а также клубеньковыми бактериями. В результате растения люцерны хмелевидной за сравнительно короткий срок накапливают значительное количество сухого вещества с высоким содержанием фосфора и биологического азота. Микоризация растений люцерны хмелевидной повышает урожайность по зеленой массе на 10–15%, семенам — на 7–108%. Инокуляция клубеньковыми бактериями люцерны хмелевидной сорта

Мира повышала урожайность по сухому веществу на 6–96% [9–12].

Об уникальных свойствах некоторых генотипов люцерны хмелевидной сообщили А.К. Simonsen and J.R. Stinchcombe (2014). Они установили, что в дикорастущих популяциях люцерны хмелевидной встречаются комплексы симбиогенов, которые из смеси спонтанных рас клубеньковых бактерий, находящихся в почве, отбирают только те генотипы, которые обладают высоким уровнем азотфиксации, этот признак наследуется по доминантному типу [13].

В ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» в последние годы идет активное создание новых сортов кормовых культур и разработка новых биотехнологий селекции и семеноводства. Заметное внимание уделяется симбиотической селекции клевера и люцерны [14].

В рамках программы по симбиотической селекции и с учетом исследований американских ученых в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» создана серия новых штаммов клубеньковых бактерий, выделенных из клубеньков дикорастущей люцерны хмелевидной разновидности *perennans*, произрастающей в Московской области. Испытание эффективности этих штаммов при инокуляции люцерны хмелевидной сорта Мира проводили в 2017–2020 гг. [5]. Исследования, представленные в данной статье, являются продолжением работ 2017–2020 гг.

Цель исследований. В полевых опытах цель исследований состояла в оценке эффективности растительно-микробного симбиоза новых штаммов клубеньковых бактерий, выделенных из клубеньков дикорастущей люцерны хмелевидной Московской области, при инокуляции люцерны хмелевидной раз-

новидностей *perennans* и *vulgaris*. В вегетационном опыте — установить минимальную продолжительность выращивания растений люцерны хмелевидной в нестерильных условиях с целью ускоренной предварительной оценки эффективности симбиоза новых штаммов клубеньковых бактерий.

Материал и методика.

Исследования проводили в 2021 и 2022 гг. на опытном поле ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», расположенном в 30 км севернее Москвы.

Полевой опыт был заложен 6 мая 2021 г. на среднеокультуренном участке. Показатели почвенного плодородия: содержание гумуса по Тюрину — 1,31%, рН солевой вытяжки — 5,31, содержание общего азота — 0,158%, подвижного фосфора — 280,37 мг и калия — 160,0 мг на 1 кг почвы.

Погодные условия вегетационного периода 2021 г. были благоприятные для роста и развития люцерны хмелевидной. Средняя температура воздуха (+15,6 и +21,1 °С) и влагообеспеченность (64 и 95 мм) мая и июня способствовали быстрому появлению всходов и интенсивному росту и развитию растений люцерны. Сравнительно высокая температура воздуха (+22,7 °С) и дефицит влаги в июле (11 мм) приостановили отрастание растений люцерны хмелевидной после первого укоса и способствовали быстрому созреванию семян селекционного номера ВИК 32-28. Средняя температура воздуха в первой и второй декадах августа оставалась высокой (+24,2 °С), а осадков было недостаточно (22 мм), что также задержало рост растений люцерны сорта Мира и номера ВИК 32-28. В результате сбор сухого вещества кормовой массы второго укоса был низким. Весна

2022 г. была затяжной и прохладной. В третьей декаде апреля и первой декаде мая температура воздуха в отдельные дни опускалась до -3 °С. Начало весеннего отрастания отмечено 6 мая. Июнь и июль были сравнительно засушливые, ливневые дожди 7 и 14 июля (15,0 и 15,4 мм) не исправили положения. Растения люцерны сорта Мира второго года жизни развивались быстро, а надземная биомасса была небольшой, семена созрели рано (16 июля).

В качестве макросимбионтов использовали сорт люцерны хмелевидной Мира, разновидность *perennans*, созданный в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» (патент на селекционное достижение № 4107) [15] и селекционный номер ВИК 32-28, разновидность *vulgaris*, созданный путем отбора кислотоустойчивых генотипов из дикорастущего киргизского образца (25376). Сорт Мира создан с применением химического мутагенеза (колхицин) и последующего отбора генотипов люцерны с крупными листьями, цветками и соцветиями [16]. Сорт Мира относится к озимому, а образец ВИК 32-28 — к яровому типу развития.

Микросимбионты: природные штаммы ЛХ1, ЛХ2, ЛХ3, ЛХ4, ЛХ5 и ЛХ6, выделенные из клубеньков дикорастущей люцерны хмелевидной, произраставшей в разных районах Московской области. Штамм ЛХ1 выделен из клубеньков дикорастущей популяции люцерны хмелевидной, на основе которой был создан сорт Мира. Штамм ЛХ6 выделен из растений, произраставших в жестких эдафических условиях (очень низкое плодородие, дефицит влаги из-за промывного водного режима) на дамбе Иваньковского водохранилища. Штаммы ЛХ2 и ЛХ5 выделены из растений,

произраставших на железнодорожной насыпи, ЛХ3 и ЛХ4 — на сравнительно плодородном участке луга вдоль реки Раздерихи [5].

Закладка полевых опытов, наблюдения и учеты проводили по общепринятым методикам [17; 18].

Полевой опыт с сортом Мира заложен в одном питомнике, травостой которого в 2021 г. использовали для оценки кормовой продуктивности, а в 2022 г. — семенной. Посев сплошной рядовой, площадь делянок — 5 м^2 , повторность трехкратная. Учет зеленой массы проводили в фазу розетки и начала формирования единичных генеративных побегов. За сезон было проведено два укоса. Семена убрали 16 июля 2022 г.

Полевой опыт по оценке селекционного номера ВИК 32-28 был заложен в двух питомниках. Один — для изучения кормовой продуктивности, второй — семенной. Все учеты и наблюдения проведены в год посева. В первом опыте посев сплошной рядовой, площадь делянок — 5 м^2 , повторность трехкратная. За сезон проведено два укоса в фазу цветения растений люцерны. В опыте по изучению влияния инокуляции на семенную продуктивность — посев широкорядный, ширина междурядий — 0,45 м, длина рядков — 4 м, делянки трехрядковые, учетная площадь делянок — $5,4 \text{ м}^2$. Перед посевом семена обрабатывали суспензией изучаемых штаммов. Контроль — вариант без инокуляции. Уборку семян провели 5 августа 2021 г.

Вегетационный опыт заложен 17 августа 2022 г. Семена люцерны, обработанные суспензией испытываемых штаммов клубеньковых бактерий (КБ), высевали в сосуды емкостью 0,4 литра, наполненные речным песком. Содержа-

ние гумуса в песке — 0,86%, рН солевой вытяжки = 8,09, содержание общего азота — 0,156%, подвижного фосфора — 28,97 мг, калия — 30,0 мг на 1 кг почвы. Повторность четырехкратная, контроль — вариант без инокуляции. Учет провели на 35-й день после появления всходов, 27 сентября, когда стали хорошо заметны различия вариантов опыта по мощности растений. Измерили высоту надземной части растений, срезали их, высушили до постоянной массы, взвесили. Корни извлекли из субстрата, отмыли песок, измерили длину, подсчитали количество клубеньков, высушили до постоянной массы и взвесили.

Статистическую обработку экспериментального материала проводили об-

щепринятыми методами (дисперсионный анализ, корреляционно-регрессионный анализ) [19].

Результаты исследований.

В полевом опыте в год посева оба образца люцерны хмелевидной испытывали по продуктивности. Было проведено два укоса зеленой массы.

Продуктивность сорто-микробных систем с сортом Мира, относящимся к разновидности *perennans* — озимо-ярового типа, в год посева была 356–645 г/м² сухого вещества, причем в контроле получили 356 г/м² сухого вещества, а инокуляция штаммами ЛХ2 и ЛХ1 высоко существенно, на 235 и 289 г/м² (НСР₀₁ = 89 г/м²), увеличила сбор сухого вещества. Эффективность симбиоза достигла 66 и 81% (табл. 1; рис. 1).

1. Эффективность симбиоза новых штаммов ризобий с люцерной хмелевидной. Посев 2021 г.

Штамм	Мира				ВИК 32-28			
	2021 г.		2022 г.		2021 г.			
	Сухое вещество		Семена		Сухое вещество		Семена	
	г/м ²	%						
**Контроль	356	0	77	0	378	0	57,5	0
ЛХ1	645	+81	144	+87	440	+16	108,0	+88
ЛХ2	591	+66	116	+51	444	+17	106,5	+85
ЛХ3	—	—	—	—	423	+12	100,5	+75
ЛХ4	—	—	—	—	478	+26	122,0	+112
ЛХ5	359	+1	89	+16	396	+5	120,0	+109
ЛХ6	412	+16	143	+86	457	+21	143,9	+150
НСР ₀₅	63		24		41		12,1	
НСР ₀₁	89		34		58		17,1	

*эффективность симбиоза — прибавка урожайности за счет симбиотических взаимодействий;

**вариант без предпосевной инокуляции.



Рис. 1. Общий вид цветущих растений (слева) и полностью сформировавшиеся соплодия (справа) люцерны хмелевидной сорта Мира

Селекционный образец люцерны хмелевидной ВИК 32-28, разновидность *vulgaris*, имеет монокарпический однолетний тип развития (рис. 2). В год посева растения образца ВИК 32-28 росли и развивались быстрее растений сорта Мира. Укосы зеленой массы образца ВИК 32-28 были проведены в фазу полного цветения, а сорта Мира — в фазу розетки. В варианте без инокуляции сбор

сухого вещества образца ВИК 32-28 за два укоса достиг 378 г/м^2 , у сорта Мира — только 356 г/м^2 . Предпосевная инокуляция семян образца ВИК 32-28 повысила продуктивность на $18\text{--}100 \text{ г/м}^2$. Высоко существенную прибавку сухого вещества обеспечили штаммы ЛХ1, ЛХ2, ЛХ6 и ЛХ4 (+12...26%). Штаммы ЛХ1 и ЛХ2 были высокоэффективны и с сортом Мира (табл. 1).



Рис. 2. Внешний вид цветущих растений люцерны хмелевидной селекционного номера ВИК 32-28, разновидность *vulgaris*

Следует отметить, что все штаммы ризобий были выделены из клубеньков дикорастущей люцерны хмелевидной разновидности *perennans*, произрастающей в Московской области. Сорт Мира был создан методом химического мутагенеза на основе дикорастущей популяции, из которой был выделен штамм ЛХ1. Таким образом, все штаммы группы ЛХ, особенно ЛХ1, генетически близки растениям люцерны сорта Мира. Образец ВИК 32-28 создан из дикорастущего киргизского образца, полученного из ВИР (25376), разновидности *vulgaris*, поэтому он менее комплементарен испытываемым штаммам КБ.

Травостой люцерны хмелевидной сорта Мира в год посева использовали для получения зеленой массы, а на второй год — семян. Семена селекционного номера ВИК 32-28 получены в год посева (табл. 1).

При посеве без инокуляции собрали в среднем 77 г/м^2 семян сорта Мира. Инокуляция штаммами ЛХ2, ЛХ6 и ЛХ1 повысила сбор семян на 51–87%. Семенная продуктивность селекционного номера ВИК 32-28 при традиционном способе выращивания была $57,5 \text{ г/м}^2$, инокуляция штаммами ЛХ5, ЛХ4 и ЛХ6 увеличила сбор семян на 109–150%. Причем штаммы ЛХ4 и ЛХ6 оказались наиболее комплементарны селекционному номеру ВИК 32-28. Эффективность симбиоза с этими штаммами составила по сухому веществу 26 и 21%, по семенам — 112 и 150% (табл. 1).

Как было отмечено выше, наиболее генетически близким сорту Мира явля-

ется штамм ЛХ1. Эффективность симбиоза этого штамма с сортом Мира была 81% по сухому веществу и 87% по семенам. Следует также обратить внимание на штамм ЛХ6, который повысил сбор семян сорта Мира на 86%, а селекционного номера ВИК 32-28 — на 150% (табл. 1).

В таблице 2 показаны изменения некоторых биологических и морфологических особенностей растений люцерны хмелевидной сорта Мира под влиянием инокуляции новыми штаммами КБ. Люцерну выращивали в селекционно-тепличном комплексе в течение 35 суток от появления всходов до начала кущения и появления первых удлиненных побегов. (Растения люцерны хмелевидной сорта Мира относятся к озимо-яровому типу развития, и в год посева после появления всходов формируется розетка (рис. 3), затем, через 20–25 дней, начинают появляться удлиненные побеги, но не на всех побегах образуются соцветия).

По высоте удлиненных побегов большинство вариантов опыта различались между собой незначительно ($11,5 \pm 1,2 \dots 14,1 \pm 0,1 \text{ см}$). Выше других оказались растения люцерны, инокулированные штаммом ЛХ1 ($15,3 \pm 1,6 \text{ см}$). Изменчивость данного признака была средней, коэффициенты вариации находились в пределах 12–16%. На таком же уровне была изменчивость признака «длина корней» (8–15%). Причем длина корней всех сорто-микробных систем ($12,1 \pm 1,2 \dots 14,8 \pm 0,8 \text{ см}$) превышала длину корней в варианте без инокуляции ($10,0 \pm 0,9 \text{ см}$) (табл. 2).

2. Эффективность симбиоза новых штаммов КБ с люцерной хмелевидной сорта Мира.
Вегетационный опыт, посев 17.08.2022 г., учет 27.09. 2022 г.

Штамм / V, %	Длина, см		Кустистость, шт./растение	Количество клубень- ков, шт./растение		Сухое вещество, г	
	стебли	корни		всего	> 2 мм	стебли	корни
Контроль V, %	14 ± 1,4	10 ± 0,9	2,0 ± 0,6	34 ± 17	4,5 ± 3,2	0,89 ± 0,08	0,23 ± 0,02
	12	14	45	44	86	11	13
ЛХ1 V, %	15,3 ± 1,6	12,1 ± 1,2	3,8 ± 1,3	71 ± 9,2	5,2 ± 3,7	1,80 ± 0,19	0,24 ± 0,03
	14	13	47	39	97	15	12
ЛХ2 V, %	13,7 ± 1,3	12,5 ± 1,1	3,9 ± 1,1	71 ± 22	1,9 ± 0,7	1,05 ± 0,10	0,18 ± 0,01
	15	14	46	47	68	16	12
ЛХ3 V, %	12,1 ± 1,1	13,7 ± 0,6	3,7 ± 0,5	76,5 ± 15,5	2,2 ± 1,1	1,15 ± 0,10	0,20 ± 0,01
	16	8	26	35	86	17	7
ЛХ4 V, %	11,5 ± 1,2	13,1 ± 1,6	2,6 ± 1,4	50,6 ± 15,6	2,0 ± 0,9	1,0 ± 0,12	0,21 ± 0,02
	13	15	64	33	60	16	12
ЛХ5 V, %	14,1 ± 1,0	14,8 ± 0,8	2,5 ± 0,5	43,1 ± 8,6	8,3 ± 1,4	0,82 ± 0,06	0,29 ± 0,02
	13	10	28	39	33	11	12
ЛХ6 V, %	11,8 ± 1,5	13,9 ± 1,5	4,0 ± 0,6	51,7 ± 6,8	4,8 ± 2,9	1,09 ± 0,12	0,28 ± 0,04
	16	14	22	17	81	13	17

Примечание. V, % — коэффициент вариации.



Рис. 3. Люцерна хмелевидная, сорт Мира, разновидность *perennans*. Вегетационный опыт.

Слева растения в фазе розетки, 17 сентября 2022 г.,
справа корневая система растений люцерны, 27 сентября 2022 г.

Помимо высоты растений для визуальной оценки эффективности симбиоза важна кустистость — количество побе-

гов, образовавшихся в зоне кущения. Кустистость сорто-микробных систем со штаммами ЛХ3, ЛХ1, ЛХ2 и ЛХ6 была в

пределах $3,7 \pm 0,5 \dots 4,0 \pm 0,6$ стеблей на растение. Перечисленные симбиотические системы визуально заметно отличались от контроля и вариантов со штаммами ЛХ4 и ЛХ5. Они были мощнее. Известно, что визуально по мощности растений можно достоверно определить различия продуктивности начиная от 20–25% и выше. Продуктивность визуально выделившихся по мощности растений была $1,05 \pm 0,10 \dots 1,80 \pm 0,08$ г сухого вещества на растение, превышение над контролем (эффективность симбиоза) составило 18–102%. Средняя продуктивность растений с кустистостью $2,0 \pm 0,6 \dots 2,6 \pm 1,4$ побегов была $0,82 \pm 0,06$ и $1,0 \pm 0,12$ г, эффективность симбиоза оказалась –8 и +12% (табл. 2).

Одним из самых важных показателей растительно-микробного симбиоза является степень нодуляции. Для ускоренного метода оценки симбиотических свойств макро- и микросимбионтов важно знать, на какой день после появления всходов начинается процесс формирования клубеньков и через сколько дней появляются хорошо заметные различия продуктивности, то есть когда можно с высокой степенью достоверности сделать заключение об эффективности симбиоза испытываемого материала и провести необходимые отборы. В нашем опыте на 35-й день после появления всходов среднее количество клубеньков по разным люцерно-ризобияльным системам варьировало от $34,0 \pm 17,0$ штук в контроле до $76,5 \pm 15,5$ штук в варианте инокуляции штаммом ЛХ3. В эффективных симбиотических системах со штаммами ЛХ6, ЛХ2, ЛХ3 и ЛХ1 среднее количество клубеньков было в пределах $51,7 \pm 6,8 \dots 71,0 \pm 9,2$ штуки на расте-

ние. В основном встречались мелкие округлые клубеньки розоватого цвета. В небольшом количестве ($1,9 \pm 0,7 \dots 8,3 \pm 1,4$ штуки) присутствовали сравнительно крупные (больше 2 мм) клубеньки цилиндрической формы. Клубеньки дикого типа (пальчатые) не обнаружены. Все клубеньки были активные, с чистой, яркой поверхностью, розоватого цвета.

Заметных различий по средней массе корней не выявлено. Изменчивость данного признака была средней, коэффициенты вариации — в пределах 7–17% (табл. 2).

Главным показателем эффективности симбиоза является изменение продуктивности сухого вещества растительно-микробных систем по сравнению с вариантом без инокуляции. Следующей задачей нашего исследования было выяснение зависимости продуктивности сортомикробных систем от проявления некоторых других симбиотических признаков. Для этого посчитали корреляционные связи продуктивности с изменением высоты, кустистости, количества клубеньков и других признаков, которые можно визуально учитывать (табл. 3).

Выявлены положительные корреляционные зависимости между продуктивностью и высотой растений ($r = 0,42 \pm 0,40$), кустистостью ($r = 0,57 \pm 0,36$), количеством клубеньков ($r = 0,62 \pm 0,35$). Коэффициенты регрессии (b_{yx}) показывают, что при увеличении высоты растений в вегетационном опыте на 1 см продуктивность растений возрастает в среднем на 0,1 г сухого вещества, при образовании каждого дополнительного стебля продуктивность повышается на 0,22 г, а добавлением клубенька — на 0,01 г сухого вещества.

3. Корреляционная связь продуктивности растений сорто-микробных систем «сорт Мира + новый штамм КБ» (Y) с некоторыми количественными признаками этих систем (X). Вегетационный опыт, посев 17.08.2022 г., учет 27.09.2022 г.

Показатель	Среднее значение		Коэффициенты		t _r
	X	Y, г/растение	r	b _{yx}	
Высота растений, см	13,2	1,11	0,42 ± 0,40	0,1 ± 0,09	1,03
Длина корней, см	12,9	1,11	-0,15 ± 0,44	-0,03 ± 0,09	0,04
Кустистость, шт. стеблей на растение	3,4	1,11	0,57 ± 0,36	0,22 ± 0,17	1,56
Количество клубеньков, шт. на растение	57,0	1,11	0,62 ± 0,35	0,01 ± 0,007	1,78
Количество крупных клубеньков, шт. на растение	4,1	1,11	-0,06 ± 0,44	-0,008	-0,14
Масса корней, г на растение	0,23	1,11	-0,10 ± 0,45	-0,76 ± 0,35	-0,22

Примечание. r — коэффициент корреляции, b_{yx} — коэффициент регрессии, t_r — фактический критерий существенности; t₀₅ = 2,57 — теоретический критерий значимости.

Заключение.

В полевом опыте наиболее высокую эффективность симбиоза с сортом люцерны хмелевидной Мира обеспечил штаммам ЛХ1. Прибавка продуктивности по сухому веществу достигла 81%, по семенам 87%. Штамм ЛХ6 повысил сбор семян на 86%. Лучшие результаты по селекционному номеру ВИК 32-28 получены при инокуляции штаммами ЛХ4 и ЛХ6. Продуктивность по сухому веществу возросла на 26 и 21%, семенам — на 112 и 150%.

В вегетационном опыте на 35-е сутки

после появления всходов по мощности травостоя визуально выделялись симбиотические системы, сформированные инокуляцией сорта Мира штаммами ЛХ3, ЛХ6, ЛХ2 и ЛХ1. Высота удлиненных побегов составляла 11,8 ± 1,5 ... 15,3 ± 1,6 см, кустистость — 3,7 ± 0,5 ... 4,0 ± 0,6 стеблей, эффективность симбиоза 18–102%.

Выявлены положительные корреляционные зависимости между продуктивностью и высотой растений (r = 0,42 ± 0,40), кустистостью (r = 0,57 ± 0,36), количеством клубеньков (r = 0,62 ± 0,35).

Литература

1. Степанова Г.В. Хозяйственная ценность дикорастущих образцов люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.) различного эколого-географического происхождения // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2009. – Т. 166. – С. 249–255.
2. Ernest Small. Alfalfa and Relatives: Evolution and Classification of *Medicago*. NRC Research press, 2011. 727 p. ISBN 978-1-84593-750-8.

3. Основные виды и сорта кормовых культур: Итоги научной деятельности Центрального селекционного центра / В.М. Косолапов, З.Ш. Шамсутдинов, Г.И. Ившин [и др.]; ФГБНУ ВНИИ кормов им. В.Р.Вильямса. – М. : Наука, 2015. – 545 с. – ISBN 978-5-02-039110-9.
4. Малышева Н.Ю. Биологическое разнообразие люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.) // *Vavilovia*. – 2021. – Т. 4, № 4. – С. 28–37. – DOI: 10.30901/2658-3860-2021-4-28-37.
5. Степанова Г.В. Симбиотические свойства люцерны хмелевидной сорта мира // *Адаптивное кормопроизводство*. – 2021. – № 3. – С. 16–28. – DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-16-28.
6. 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.
7. 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.
8. Leanne C. Wilson, Alden Braul, Martin H. Entz. Characteristics of Black medic seed dormancy loss in Western Canada. *Agronomy Journal*. V. 109, July-August 2017: 1404–1413. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.10.0604>.
9. Анализ симбиотической эффективности бактериальных и грибных препаратов на кормовых культурах по данным урожайности семян / А.П. Юрков, Ю.В. Лактионов, А.П. Кожемяков, Г.В. Степанова // *Кормопроизводство*. – 2017. – № 3. – С. 1–21.
10. 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.
11. 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.
12. Степанова Г.В. Симбиотические свойства люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.) // *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*. – 2016. – № 12. – С. 368–371.
13. Simonsen A.K., Stinchcombe J.R. Standing genetic variation in host preference for mutualist microbial symbionts. *Proc Biol Sci.* 2014; 281 (1797). doi.org/10.1098/rspb.2014.2036.
14. Косолапов В.М., Чернявских В.И., Костенко С.И. Новые сорта кормовых культур и технологии для сельского хозяйства России // *Кормопроизводство*. – 2021. – № 6. – С. 22–26. – DOI: 10.25685/KRM.2021.89.77.001.
15. Патент на селекционное достижение № 4107. Люцерна хмелевидная *Medicago lupulina* L. Мира / Ю.М. Писковацкий, Г.В. Степанова. Выдан по заявке № 9809678 с датой приоритета 23.12.1998. Зарегистрирован в Государственном реестре охраняемых селекционных достижений 17.06.2008 г.
16. Сорта 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.
17. Методические указания по селекции многолетних трав. – М. : ВНИИ кормов, 1985. – 190 с.
18. Селекция люцерны на повышение эффективности симбиоза с клубеньковыми бактериями. Методические рекомендации / ВНИИСХМ. – С.Пб., 1990. – 50 с.
19. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М. : Колос, 1975. – 335 с.

References

1. Stepanova G.V. Khozyaystvennaya tsennost' dikorastushchikh obraztsov lyutserny khmelevidnoy (*Medicago lupulina* L.) razlichnogo ekologo-geograficheskogo proiskhozhdeniya [Economic value of wild specimens of hop alfalfa (*Medicago lupulina* L.) of different ecological and geographical origin].

- Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* [Proceedings on applied botany, genetics and breeding], 2009, vol. 166, pp. 249–255.
2. Ernest Small. Alfalfa and Relatives: Evolution and Classification of Medicago. *NRC Research press*, 2011. 727 p. ISBN 978-1-84593-750-8.
 3. Kosolapov V.M., Shamsutdinov Z.Sh., Ivshin G.I. 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.
 4. Malysheva N.Yu. Biologicheskoye raznoobraziye lyutserny khmelevidnoy (*Medicago lupulina* L.) [Biological diversity of black medic (*Medicago lupulina* L.)]. *Vavilovia*, 2021, vol. 4, no. 4, pp. 28–37. DOI: 10.30901/2658-3860-2021-4-28-37.
 5. Stepanova G.V. Simbioticheskiye svoystva lyutserny khmelevidnoy sorta mira [Symbiotic properties of black medic of the Mira variety]. *Adaptivnoye kormoproizvodstvo* [Adaptive fodder production], 2021, no. 3, pp. 16–28. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-3-16-28 (URL: <http://www.adapt-agro.ru>).
 6. 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.
 7. 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.
 8. Wilson L.C., Braul A., Entz M.H. Characteristics of Black Medic seed dormancy loss in Western Canada. *Agronomy Journal*. V. 109, July-August 2017: 1404–1413. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.10.0604>.
 9. Yurkov A.P., Laktionov Yu.V., Kozhemyakov A.P. Stepanova G.V. Analiz simbioticheskoy effektivnosti bakterial'nykh i gribnykh preparatov na kormovykh kul'turakh po dannym urozhaynosti semyan [Analysis of the symbiotic effectiveness of bacterial and fungal preparations on fodder crops according to seed yield data]. *Kormoproizvodstvo* [Fodder production], 2017, no. 3, pp. 1–21.
 10. 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.
 11. 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]. *Mnogofunktsional'noye adaptivnoye kormoproizvodstvo* [The multifunctional adaptive fodder production: collection of articles]. Issue 19 (67). Moscow, Ugreshskaya tipografiya Publ., 2018, pp. 20–29.
 12. 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.
 13. Simonsen A.K., Stinchcombe J.R. Standing genetic variation in host preference for mutualist microbial symbionts. *Proc Biol Sci.* 2014; 281 (1797). doi.org/10.1098/rspb.2014.2036.
 14. Kosolapov V.M., Chernyavskikh V.I., Kostenko S.I. Novyye sorta kormovykh kul'tur i tekhnologii dlya sel'skogo khozyaystva Rossii [New varieties of fodder crops and technologies for Russian agriculture]. *Kormoproizvodstvo* [Fodder production], 2021, no. 6, pp. 22–26. DOI: 10.25685/KRM.2021.89.77.001.
 15. Patent na selektsionnoye dostizheniye № 4107. Lyutserna khmelevidnaya *Medicago lupulina* L. Mira [Patent for selection achievement No. 4107. Black medic *Medicago lupulina* L. Mira]. The authors:

- Yu.M. Piskovatskiy, G.V. Stepanova. Issued under application No. 9809678 with priority date 12/23/1998. Registered in the State Register of Protected Breeding Achievements on June 17, 2008.
16. Sorta kormovykh kul'tur seleksii 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.
 17. Metodicheskiye ukazaniya po seleksii mnogoletnikh trav [Guidelines for breeding perennial grasses]. All-Russian Williams Fodder Research Institute. Moscow, 1985, 190 p.
 18. Seleksiya lyutserny na povysheniye effektivnosti simbioza s kluben'kovymi bakteriyami. Metodicheskiye rekomendatsii [Selection of alfalfa to increase the efficiency of symbiosis with nodule bacteria. Guidelines]. VNIISKhM. St. Petersburg, 1990, 50 p.
 19. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Field experience methodology]. Moscow, Kolos Publ., 1975, 335 p.