

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШТАММОВ *SINORHIZOBIUM MELILOTY* ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ В УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

¹Е.П. Иванова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

²А.Г. Клыков, доктор биологических наук, академик РАН

¹Сахалинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Южно-Сахалинск, Россия

²Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, пос. Тимирязевский Приморского края, Россия

E-mail: kirena2010@yandex.ru

Ключевые слова: люцерна изменчивая, инокуляция, штаммы, урожайность, питательность.

Реферат. Методами полевых и лабораторных исследований в 2009–2012 и 2018–2020 гг. на лугово-бурой отбеленной почве Приморского края изучено влияние инокуляции семян различными штаммами клубеньковых бактерий *Synorhizobium meliloty* на урожайность и кормовую продуктивность люцерны изменчивой. Исследования в опыте, учеты и наблюдения осуществляли согласно действующим методическим указаниям. Штаммы клубеньковых бактерий *Synorhizobium meliloty* предоставлены лабораторией экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий ФГБНУ ВНИИСХМ. В ходе проведенных семи-летних исследований установлена положительная роль изучаемого фактора в повышении урожайности, питательной и энергетической ценности люцерны. Суммарный сбор зеленой массы по трём опытам в вариантах с инокуляцией семян люцерны штаммами ризобий увеличился на 4,0–15,2 %, а сбор сухого вещества – на 6,8–21,7 %. Наибольшую прибавку урожайности зеленой массы и сухого вещества в опытах 1 и 2 обеспечил основной производственный штамм 425а, а в опыте 3 – производственный штамм 415б. По качественным показателям в опытах 1 и 2 преимущество имел производственный инокулянт 425а, а в опыте 3 – перспективный штамм А₁ и производственный штамм 415б. С целью адаптивной интенсификации кормопроизводства показано создание устойчивых агрофитоценозов с люцерной изменчивой с проведением инокуляции семян вирулентными активными штаммами ризобий (преимущественно основными производственными штаммами 425а и 415б).

PROSPECTS FOR THE USE OF *SINORHIZOBIUM MELILOTY* STRAINS TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF VARIEGATED ALFALFA IN THE CONDITIONS OF THE PRIMORSKY TERRITORY

¹E.P. Ivanova, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

²A.G. Klykov, Doctor of Biological Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences

¹Sakhalin Research Institute of Agriculture, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Federal State Budget Scientific Institution "Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chaiki", village Timiryazevsky Primorsky Krai, Russia

E-mail: kirena2010@yandex.ru

Keywords: variable alfalfa, inoculation, strains, yield, nutritional value.

Abstract. Abstract. The authors used the field and laboratory research methods in 2009–2012 and 2018–2020. On the meadow-brown bleached soil of the Primorsky Territory, the effect of seed inoculation with various strains of nodule bacteria *Synorhizobium meliloty* on the yield and feed productivity of alfalfa was studied. According to current guidelines, experimental research, records, and observations were carried out. Strains of nodule bacteria *Synorhizobium meliloty* were provided by the Laboratory of Ecology of Symbiotic and Associative Rhizobacteria of the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology". In seven years of research, the positive role of the studied factor in increasing the yield, nutritional, and energy value of alfalfa was established. The total collection of green mass in three experiments in variants with inoculation of alfalfa seeds with rhizobia strains increased by 4.0–15.2%, and the collection of dry matter increased by 6.8–21.7%. The most significant increase in the yield of green mass and dry matter in experiments 1 and 2 was provided by the primary production strain 425a and experiment 3 – by production strain 415b.

Regarding quality indicators, in experiments 1 and 2, production inoculant 425a had an advantage, and in experiment 3, the promising strain A1 and production strain 415b had an advantage. For adaptive intensification of forage production, the creation of stable agrophytocenoses with alfalfa with inoculation of seeds with virulent active strains of rhizobia (mainly the main production strains 425a and 415b) is shown.

Сохранение плодородия почв возможно при создании благоприятных условий для почвообразования и развития почвенной биоты, обеспечения жизнедеятельности главных почвообразователей – многолетних трав и микроорганизмов.

В последние годы повысился интерес к биологическим способам защиты и питания растений, снижающим применение пестицидов и агрохимикатов. Ведется поиск и подбор высокоэффективных и конкурентоспособных препаратов, которые в технологиях выращивания повышали бы урожайность и качество продукции [1]. Понимание эффективности и механизма действия биологических препаратов на различных почвенных профилях и культурах позволяет дать практические рекомендации по их применению, что приводит к увеличению урожайности сельскохозяйственных культур [2].

Бобовые образуют уникальные симбиотические отношения с бактериями, известными как ризобии [3–5]. Люцерна является ведущей в мире кормовой бобовой и биоэнергетической культурой с низким потреблением энергии [6–7].

Современная наука ориентирована на параллельную селекцию всех компонентов симбиотического взаимодействия – растений и микроорганизмов [8, 9]. При искусственной инокуляции уровень симбиотической азотфиксации бобово-ризобияльного комплекса, как правило, имеет максимальное значение в первый год пользования. Чем выше комплементарность сорто-микробной пары, тем длительнее (3–4 года) сохраняется высокий уровень азотфиксации [10]. Лабораторией экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий ФГБНУ ВНИИСХМ на основе микроорганизмов созданы инокулянты для бобовых культур на основе клубеньковых бактерий – группа Ризоторфин. Биопрепараты содержат живые культуры специально отобранных полезных микроорганизмов с заданными контролируемыми свойствами.

Интродуцируемые микроорганизмы, используемые для инокуляции, стимулируют развитие растений, повышают их устойчивость к

неблагоприятным факторам внешней среды, подавляют развитие патогенной микрофлоры [11]. Для усиления симбиотических взаимодействий формируется сорто-микробная симбиотическая система, состоящая из сорта и генетически комплементарного штамма почвоудобрительных микроорганизмов (с люцерной используют препараты клубеньковых бактерий *Sinorhizobium meliloti* [12].

Эффективность инокуляции подтверждается отечественными и зарубежными исследованиями. Применение ризобияльных инокулянтов важно для повышения урожайности люцерны в устойчивом сельском хозяйстве [13]. В опытах с люцерной синегибридной в условиях предгорной зоны Республики Северная Осетия–Алания установлен положительный эффект инокуляции семян активными штаммами клубеньковых бактерий, в особенности высокогорными штаммами ризобий (увеличение фотосинтетического потенциала на 18,2 %) [14]. В условиях Нижнего Поволжья урожайность трав в зависимости от биопрепаратов увеличивалась на 29,6–32,2 % [15], а содержание химических элементов в растительной и корневой массе бобовых трав выше на 0,35–0,85 и 0,10–0,68 % по сравнению с контрольными вариантами [16].

Результаты симбиотической селекции люцерны, представленные Г.В. Степановой, показывают, что продуктивность сорто-микробных систем в основном определяется штаммом клубеньковых бактерий (влияние инокуляции 60–62%). Предпосевная инокуляция активными штаммами ризобий сортов люцерны, созданных симбиотическими методами селекции, повысила урожайность в первый год пользования на 46–128% на участках, где люцерну прежде не выращивали, и на 32–35% в севообороте с высоким насыщением посевами люцерны [17].

Анализ симбиотической эффективности клубеньковых бактерий в различных регионах России показал, что прибавка урожая бобовых культур при использовании биопрепаратов варьирует в широких пределах – от 7,0 до 108,6 % и зависит от агрохимических показателей почв, сорта, степени окультуренности почв и

др. Рекомендуется применение Ризоторфина, особенно для инокуляции люцерны изменчивой (*Medicago varia*) [18]. Исходя из того, что полученные прибавки в опытах составляют 10–40 % и более, необходимо шире внедрять биопрепараты в практику растениеводства; замена минеральных удобрений и химических средств защиты растений на биологические снизит затраты и обеспечит получение продукции высокого качества [19, 20].

Эффективность биопрепаратов возрастает при использовании на средне- и малоплодородных почвах, где растения испытывают недостаток минерального питания.

Цель исследований – изучить влияние инокуляции семян вирулентными активными штаммами ризобий *Synorhizobium meliloty* на урожайность и качество люцерны изменчивой.

Задачи исследований: установить влияние предпосевной обработки семян штаммами *Synorhizobium meliloty* на урожайность и питательную ценность фитомассы люцерны изменчивой.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методами полевых и лабораторных исследований в 2009–2012 и 2018–2020 гг. изучено влияние инокуляции семян различными штаммами клубеньковых бактерий *Synorhizobium meliloty* на развитие и продуктивность люцерны изменчивой. Исследования в опыте, учеты и наблюдения осуществляли согласно действующим методическим указаниям [21]. Экспериментальные данные обработаны методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1985).

Схема опыта 1 (2009–2012 гг., сорт Вега 87): 1. Без инокуляции – контроль. 2. Штамм A_4 . 3. Штамм A_3 . 4. Штамм 425а. Место проведения исследований – коллекционный питомник отдела кормопроизводства Приморского НИИСХ (ныне ФГБНУ «ФНИЦ агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки»).

Схема опыта 2 (2018–2020 гг., сорт Находка): 1. Без инокуляции – контроль. 2. Штамм 425а. 3. Штамм 415. 4. Штамм A_1 . 5. Штамм A_2 . Место проведения исследований – коллекционный участок ФГБОУ ВО Приморская ГСХА.

Схема опыта 3 (2019–2020 гг., сорт Находка): 1. Без инокуляции – контроль. 2. Штамм 415б. 3. Штамм A_1 . 4. Штамм A_2 . 5. Штамм М-II. 6. Штамм М-VII. Место проведения исследований – коллекционный участок ФГБОУ ВО Приморская ГСХА.

В год посева люцерны производили однократное скашивание растительной массы, в последующие годы жизни – трехкратное. Штаммы клубеньковых бактерий *Synorhizobium meliloty* были предоставлены лабораторией экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий ФГБНУ ВНИИСХМ (г. Санкт-Петербург). Штаммы серии А выделены из засоленных почв Арала, характеризуются высокой эффективностью и устойчивостью к стрессам, это перспективные штаммы *Synorhizobium meliloty*. Штаммы клубеньковых бактерий *Synorhizobium meliloty* 425а, 415б – основные производственные штаммы.

Химический анализ почвенных и растительных образцов, дефеката сахарного завода проводился в агрохимической лаборатории ПримНИИСХ, в Уссурийском филиале ФГБУ «Приморская межобластная ветеринарная лаборатория» и в агрохимической лаборатории ФГБОУ ВО Приморская ГСХА.

Почва участков коллекционного питомника Приморского НИИСХ лугово-бурая оподзоленная, тяжелый суглинок по гранулометрическому составу, $pH_{\text{кол}}$ – 4,9–5,2, Нг – 2,94–3,12 мг-экв/100 г почвы, содержание P_2O_5 и K_2O – 5,4–6,1 и 8,0–8,7 мг/100 г почвы соответственно, гумуса – 4,16–4,25 %. Почва коллекционного участка ФГБОУ ВО ПГСХА лугово-бурая отбеленная, $pH_{\text{кол}}$ – 5,0–5,1, содержание P_2O_5 и K_2O – 3,2–4,5 и 10,0–11,0 мг/100 г почвы соответственно (среднеобеспеченные), общего азота – 0,15–0,23 мг/100 г почвы, органического вещества – 2,5–3,0 %.

Согласно агроклиматическому районированию Приморского края, район проведения исследований (Уссурийский район) располагается в западной степной зоне с суммой температур воздуха выше 10°C 2600–2400 °C и годовой суммой осадков 500–600 мм (из них зимние осадки 8–13%). Продолжительность безморозного периода составляет 148–160 дней. Наиболее засушливыми были 2009 и 2010 гг., самым дождливым – 2018 г., самыми жаркими – 2010 и 2012 гг. По ГТК годы исследова-

ний характеризовались следующим образом: 2009–2011 гг. – умеренно влажные; 2012 и 2019 гг. – влажные; 2018 и 2020 гг. – избыточно влажные (табл. 1).

В целом метеоусловия в годы проведения исследований были благоприятными для возделывания люцерны.

Таблица 1

Метеорологические условия в годы проведения исследований (по данным агрометеостанции пос. Тимирязевский)

Meteorological conditions during the years of research (according to data from the agrometeorological station in the village of Timiryazevsky)

Показатель	Годы исследований							Средне много-летнее
	2009	2010	2011	2012	2018	2019	2020	
Сумма активных температур, °С	2570,8	2859,4	2597,2	2811,7	2625	2746	2684	2533
Количество осадков, мм	339,7	323,8	402,3	490,8	714,1	472	590,5	457,0
Гидротермический коэффициент (ГТК)	1,32	1,13	1,55	1,75	2,72	1,72	2,2	1,84

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

zobium meliloty способствовала более активному накоплению зеленой массы и сухого вещества люцерны 1–4-го годов жизни (табл. 2).

Проведенные исследования показали, что инокуляция семян люцерны штаммами *Synorhi-*

Таблица 2

Влияние инокуляции различными штаммами ризобий *Synorhizobium meliloty* на урожайность зеленой массы и сухого вещества люцерны изменчивой

Effect of vaccination with various strains of rhizobia *Synorhizobium meliloty* on the yield of green mass and dry matter of alfalfa

Вариант	Урожайность люцерны, т/га					
	1-го года жизни*	2-го года жизни**	3-го года жизни***	4-го года жизни****	в сумме	прибавка, %
1	2	3	4	5	6	7
<i>Опыт 1</i>						
Без инокуляции (контроль)	8,25/1,98	56,87/13,73	46,65/12,67	30,47/6,74	142,24/35,12	-
A ₄	9,54/2,32	60,39/15,41	49,37/13,68	34,12/7,78	153,42/39,19	7,9/11,6
A ₃	9,87/2,53	60,52/15,11	52,40/13,88	33,29/8,77	156,08/40,29	9,7/14,7
425a	9,99/2,49	63,28/16,11	52,65/14,14	32,72/8,41	158,64/41,15	11,5/17,2
НСР ₀₅ (ЗМ)	0,71	1,15	1,31	0,82		
<i>Опыт 2a</i>						
Без инокуляции (контроль)	4,81/1,19	42,37/9,93	26,97/7,19	-	74,15/18,31	-
425a	5,75/1,52	49,86/12,60	28,71/8,17	-	84,32/22,29	13,7/21,7
415	5,34/1,40	48,50/11,51	28,20/7,77	-	82,04/20,68	10,6/12,9
A ₁	4,96/1,30	47,08/11,96	28,26/7,91	-	80,30/21,17	8,3/15,6
A ₉	5,45/1,42	45,60/11,36	28,13/7,83	-	79,18/20,61	6,8/12,6
НСР ₀₅ (ЗМ)	0,48	2,99	0,67			
<i>Опыт 3б</i>						
Без инокуляции (контроль)	10,12/2,56	80,33/18,39	-	-	90,45/20,95	-
415б	12,70/3,36	91,50/21,71	-	-	104,20/25,07	15,2/19,7

1	2	3	4	5	6	7
A ₁	12,90/3,37	84,00/20,00	-	-	96,90/23,37	7,1/11,6
A ₉	12,80/3,40	84,17/19,03	-	-	96,97/22,43	7,2/7,1
M-II	11,90/3,09	82,17/19,29	-	-	94,07/22,38	4,0/6,8
M-VII	11,80/3,11	84,17/20,12	-	-	95,97/23,23	6,1/10,9
НСР ₀₅ (3М)	1,11	4,41				

Примечания. 1. В числителе – зеленая масса, т/га; в знаменателе – сухое вещество, т/га. 2. а – данные по однократной закладке опыта (закладка опыта 2018 г., данные за 2018–2020 гг.); б – данные по однократной закладке опыта (закладка опыта 2019 г., данные за 2019–2020 гг.).

* В среднем за три закладки опыта (2009–2011 гг.); ** в среднем за три года исследований (2010–2012 гг.); *** в среднем за два года исследований (2011–2012 гг.); **** за один год исследований (2012 г.).

Notes 1. Numerator – green mass, t/ha; The denominator is dry matter, t/ha. 2. a – data on a one-time laying of experience (laying of experience in 2018, data for 2018–2020); b – data on a one-time laying of experience (laying of experience in 2019, data for 2019–2020).

* Average for three bookmarks of experience (2009–2011); ** average for three years of research (2010–2012); *** average for two years of study (2011–2012); **** for one year of research (2012).

В среднем по опыту 1 по трём закладкам опыта (2009–2011 гг.) установлено, что предпосевная обработка семян штаммами *Synorhizobium meliloty* достоверно увеличивает урожайность зеленой массы люцерны в год посева на 15,6–21,1 %, люцерны второго года жизни – на 6,2–11,3, третьего – на 5,8–12,9, четвертого – на 7,4–12,0 %. Сбор сухого вещества люцерны сорта Вега 87 первого года жизни в вариантах с инокуляцией *Synorhizobium meliloty* увеличился на 17,2–27,8 %, второго – на 10,1–17,3, третьего – на 8,0–11,6 и четвертого – на 15,4–30,1 % в сравнении с контролем. Суммарный сбор зеленой массы люцерны за четыре года жизни (10 укосов) составил 142,2–148,6 т/га, прибавка урожайности от изучаемого фактора – 11,2–16,4 т/га, или 7,9–11,5 %, а сбор сухого вещества увеличился на 4,1–6,0 т/га, или 11,6–17,2 %. Наибольшая урожайность зеленой массы и сухого вещества получена в варианте с инокуляцией штаммом 425а.

По опыту 2 (однократная закладка опыта в 2018 г., три года жизни люцерны) в год посева прибавка зеленой массы в опытных вариантах составила 3,1–19,5 % по сравнению с контрольным вариантом, во второй год жизни – 7,6–17,7, третий – 4,3–6,4 %. Прибавка суммарной урожайности зеленой массы за три года (пять укосов) составила 5,0–10,2 т/га, или 6,8–13,7 %. Положительное влияние инокуляции вирулентными активными штаммами ризобий на суммарный сбор сухого вещества выразилось в его увеличении в год посева на 9,2–27,7 %, во

второй год жизни – на 14,4–26,9, в третий – на 8,1–13,6 %. Суммарный сбор сухого вещества за три года жизни люцерны возрос в вариантах с инокуляцией на 12,6–21,7 %. Наибольшую прибавку урожайности зеленой массы и сухого вещества обеспечил основной производственный инокулянт 425а.

По опыту 3 (однократная закладка опыта в 2019 г., два года жизни люцерны) прибавка зеленой массы от изучаемого фактора в год посева составила 1,68–2,78 т/га, или 16,6–27,5 % с максимумом в варианте с перспективным штаммом А₁, во второй год жизни – 1,84–11,17 т/га, или 2,3–13,9 % с наибольшим значением показателя в варианте с инокуляцией штаммом 415б. Прибавка суммарной урожайности зеленой массы за два года составила 3,6–13,8 т/га, или 4,0–15,2 %. Наибольшую прибавку обеспечил основной производственный инокулянт 415б. По сбору сухого вещества отмечаем увеличение в опытных вариантах в год посева на 21,5–32,8 %, во второй год жизни – на 3,5–18,1 %. Суммарный сбор сухого вещества за два года жизни люцерны увеличился в вариантах с предпосевной обработкой семян на 1,48–4,12 т/га, или 6,8–19,7 %. Наибольший сбор зеленой массы и сухого вещества в опыте 3 обеспечил вариант с инокуляцией производственным штаммом 415б.

Суммарный сбор зеленой массы по трём опытам в вариантах с инокуляцией семян люцерны штаммами ризобий увеличился на 4,0–15,2 %, а сбор сухого вещества – на 6,8–21,7

%. Наибольшую прибавку урожайности зеленой массы и сухого вещества в опытах 1 и 2 обеспечил основной производственный штамм 425а, а в опыте 3 – штамм 415б.

Установлена положительная роль вирулентных штаммов ризобий *Synorhizobium meliloty* в увеличении питательной и энергетической ценности люцерны изменчивой (табл. 3).

Таблица 3

Питательная и энергетическая ценность люцерны изменчивой в зависимости от инокуляции штаммами *Synorhizobium meliloty* (среднее за 2009–2012 и 2018–2020 гг.)
Nutritional and energy value of alfalfa variable depending on inoculation with *Synorhizobium meliloty* strains (average for 2009-2012 end 2018-2020)

Вариант	СВ, т/га	Содержание в 1 кг СВ		Выход с 1 га			Обеспеченность 1 к. ед. ПП, г
		Кормовых единиц	ПП, г	Кормовых единиц, тыс.	ПП, т	ОЭ, ГДж	
<i>Опыт 1</i>							
1. Без инокуляции (контроль)	8,78	0,826	149,33	7,25	1,31	97,89	180,79
2. А ₄	9,80	0,824	158,70	8,08	1,56	109,37	192,60
3. А ₃	10,07	0,827	159,08	8,33	1,60	112,48	192,36
4. 425а	10,29	0,820	162,45	8,44	1,67	114,84	198,11
<i>Опыт 2</i>							
1. Без инокуляции (контроль)	6,10	0,771	132,68	4,70	0,81	67,72	172,09
2. 425а	7,43	0,798	150,45	5,93	1,12	82,87	188,53
3. 415	6,89	0,775	143,48	5,34	0,99	76,52	185,14
4. А ₁	7,06	0,786	149,55	5,55	1,06	78,78	190,27
5. А ₉	6,87	0,784	143,10	5,39	0,98	76,39	182,53
<i>Опыт 3</i>							
1. Без инокуляции (контроль)	10,48	0,791	131,03	8,29	1,37	116,11	165,65
2. 415б	12,54	0,825	127,50	10,35	1,60	138,91	154,55
3. А ₁	11,69	0,789	141,79	9,22	1,66	129,16	179,71
4. А ₉	11,22	0,834	130,54	9,36	1,46	124,84	156,52
5. М-II	11,19	0,816	121,92	9,13	1,36	124,01	149,41
6. М-VII	11,62	0,826	117,19	9,60	1,36	128,83	141,88

Примечание. СВ – сухое вещество; ПП – переваримый протеин; ОЭ – обменная энергия.

Анализируя данные табл. 3 по опыту 1, можно отметить, что инокуляция не оказала влияния на содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества. По другим показателям четко прослеживается положительное влияние изучаемого фактора. Так, нами установлено увеличение содержания переваримого протеина в 1 кг сухого вещества на 9,4–13,1 г, или 6,3–8,8 %. На 19,1–27,5 % увеличивается сбор переваримого протеина с 1 га, а концентрация обменной энергии с 1 га в опытных вариантах на 11,7–17,3 % превышает контроль. Максимальное содержание переваримого протеина в 1 кг сухого вещества, максимальный выход

кормовых единиц, перевариваемого протеина, обменной энергии с 1 га и обеспеченность одной кормовой единицы переваримым протеином получены в варианте с предпосевной обработкой штаммом 425а.

В опыте 2 наибольшее содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества растительной массы люцерны сорта Находка обнаружено в варианте с инокуляцией основным производственным штаммом 425а. Содержание переваримого протеина в 1 кг сухого вещества увеличилось на 7,9–13,4 % по сравнению с контрольным вариантом, выход кормовых единиц с 1 га превысил контроль на 13,6–26,2 %, сбор переваримого

протеина с 1 га – на 21,0–38,3 %, концентрация обменной энергии с 1 га в опыте на 12,8–22,4 % превысила контроль. Обеспеченность одной кормовой единицы переваримым протеином возросла на 6,1–10,6 % (против 6,4–9,6 % в опыте 1). По всем показателям, за исключением обеспеченности кормовой единицы переваримым протеином, преимущество в опыте 2 также имел производственный инокулянт 425а.

В опыте 3 наибольшее содержание кормовых единиц в 1 кг сухого вещества растительной массы люцерны сорта Находка отмечено в варианте с инокуляцией А₉. Содержание переваримого протеина в 1 кг сухого вещества превышало контрольный вариант только в варианте с инокуляцией штаммом А₁, увеличение составило 8,2 %. Выход кормовых единиц с 1 га превзошел контроль на 10,1–4,8 %. Сбор переваримого протеина с 1 га на 6,6–21,2 % превышал контроль, за исключением вариантов с инокуляцией штаммами М-II и М-VII (на уровне контроля). Концентрация обменной энергии с 1 га в опытных вариантах на 6,8–9,6 % была выше, чем в контроле. По выходу кормовых единиц и обменной энергии с 1 га преимущество имел вариант с инокуляцией штаммом 415б, а по содержанию переваримого протеина в 1 кг сухого вещества, выходу переваримого протеина с 1 га и обеспеченности одной кормовой единицы переваримым протеином лидировал вариант с инокуляцией перспективным штаммом А₁.

ВЫВОДЫ

1. В ходе проведенных семилетних исследований по изучению эффективности различных штаммов клубеньковых бактерий *Synorhizobium meliloty* при возделывании люцерны изменчивой установлена их положительная роль в повышении урожайности, питательной и энергетической ценности люцерны.

2. Суммарный сбор зеленой массы по трём опытам в вариантах с инокуляцией семян люцерны штаммами ризобий увеличился на 4,0–15,2 %, а сбор сухого вещества – на 6,8–21,7 %. Наибольшую прибавку урожайности зеленой массы и сухого вещества в опытах 1 и 2 обеспечил основной производственный штамм 425а, а в опыте 3 – производственный штамм 415б. По качественным показателям в опытах 1 и 2 преимущество имел производственный инокулянт 425а, а в опыте 3 – перспективный штамм А₁ и производственный штамм 415б.

3. С целью адаптивной интенсификации кормопроизводства рекомендуется создание устойчивых агрофитоценозов с люцерной изменчивой с проведением инокуляции семян вирулентными активными штаммами ризобий (преимущественно основными производственными штаммами 425а и 415б). Применение штаммов клубеньковых бактерий *Synorhizobium meliloty* для предпосевной обработки семян люцерны изменчивой имеет достаточно высокую эффективность, способствует повышению продуктивности и экологической устойчивости растений к стрессовым условиям Приморского края.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Биологические факторы влияния на производство семян пшеницы озимой в условиях западной лесостепи Украины / А.П. Волошук, И.С. Волошук, В.В. Глива [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2020. – № 1. – С. 7–15. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-54-1-7-15>.
2. Влияние инокуляции клубней картофеля бактериями рода *Bacillus* на популяцию ризосферных микроорганизмов / В.С. Масленникова, В.П. Цветкова, С.М. Нерсесян [и др.] // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2022. – № 1. – С. 46–55. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-62-1-46-55>.
3. *Rhizobia–Legume Symbiosis During Environmental Stress* / S. Shankar, E. Haque, T. Ahmed [et al.] // *Symbiotic Soil Microorganisms*. – 2021. – N 1. – P. 201–220.
4. *Springer Cham. S Saidi, Cherif-Silini H., Bouket A.C.* Improvement of Medicago sativa Crops Productivity by the Co-inoculation of *Sinorhizobium meliloti* –Actinobacteria Under Salt Stress // *Current Microbiology*. – 2021. – Vol. 78. – P. 1344–1357.

5. *Green Compost Combined with Mycorrhizae and Rhizobia: A Strategy for Improving Alfalfa Growth and Yield Under Field Conditions* / R. Ben-Laouane, M. Ait-El-Mokhtar, M. Anli [et al.] // *Gesunde Pflanzen*. – 2021. – Vol. 73, N 2. – P. 193–207.
6. *Ramos-Ulate K.M., Carmen María*. Biofertilización y nanotecnología en la alfalfa (*Medicago sativa* L.) como alternativas para un cultivo sustentable // *Cultivos Tropicales*. – 2021. – Vol. 42, N 2. – P. 10.
7. *Medicago sativa* L., commonly known as alfalfa or ‘lucerne’, is the world’s leading forage legume and a low-input bioenergy crop Micro RNA 156 as a promising tool for alfalfa improvement / B. Aung, M.Y. Gruber, L. Amyot [et al.] // *Plant Biotechnol. J.* – 2015. – Vol. 13. – P. 779–790.
8. *Биопрепараты в сельском хозяйстве. Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве* / И.А. Тихонович [и др.]; отв. ред. И.А. Тихонович, Ю.В. Круглов. – М.: РАСХН, 2005. – С. 3–10.
9. *Симбиотические биотехнологии создания эффективных сорто-микробных систем кормовых трав* / Г.В. Степанова, Ю.В. Нижник, О.В. Селицкая, Л.С. Антонова // *Кормопроизводство: Проблемы и пути решения*. – Лобня, 2007. – С. 357–364. – 424 с.
10. *Адаптивное кормопроизводство: проблемы и решения (к 80-летию ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса* / под ред. А.С. Шпакова, И.А. Трофимова, А.А. Кутузовой. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2002. – 523 с.
11. *Тихонович И.А., Завалин А.А.* Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в РФ // *Плодородие*. – 2016. – № 5. – С. 28–32.
12. *Научные основы селекции и семеноводства многолетних трав в Центрально-Черноземном регионе России* / С.В. Сапрыкин, В.Н. Золотарев, И.С. Иванов [и др.]. – Воронеж: Воронеж. Обл. тип., 2020. – 496 с.
13. *Alfalfa for a Sustainable Ovine Farming System: Proposed Research for a New Feeding Strategy Based on Alfalfa and Ecological Leftovers in Drought Conditions* / C. Viti, A. Bellabarba, M. Daghigho [et al.] // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13. – P. 3880. – <https://doi.org/10.3390/su13073880>.
14. *Козырева М.Ю., Басиева Л.Ж.* Фотосинтетические показатели посевов люцерны в зависимости от типа азотного питания // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2020. – № 2. – С. 27–33. – <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-27-33>.
15. *Дронова Т.Н., Бурцева Н.И., Кулик Д.К.* Симбиотическая деятельность и продуктивность многолетних бобовых трав при использовании микробиологических препаратов // *Плодородие*. – 2018. – № 5. – С. 61–63. – DOI: 10.25680/S19948603.2018.104.19.
16. *Эффективность использования биопрепаратов при возделывании многолетних бобовых трав* / Т.Н. Дронова, Н.И. Бурцева, О.И. Двойникова [и др.] // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. – 2021. – № 2 (62). – С. 41–50. – DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-04.
17. *Степанова Г.В.* Результаты симбиотической селекции люцерны // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2023. – № 53 (1). – С. 14–22. – <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-1-2>.
18. *Юрков А.П., Лактионов Ю.В., Кожемяков А.П.* Анализ симбиотической эффективности бактериальных и грибных препаратов на кормовых культурах по данным урожайности семян // *Кормопроизводство*. – 2017. – № 3. – С. 16–19.
19. *Эффективность микробных препаратов корневых diaзотрофов при возделывании зерновых культур в условиях Алтайского Приобья* / В.С. Курсакова, Л.А. Новикова, О.О. Кузнецов [и др.] // *Вестник АГАУ*. – 2013. – № 10 (108). – С. 5–7.
20. *Ступина Л.А.* Влияние ризоторфина и карбоксиметилированных препаратов на фотосинтетическую активность и продуктивность сои в условиях умеренно засушливой степи Алтайского края // *Вестник АГАУ*. – 2018. – № 7 (165). – 2018. – С. 16–20.
21. *Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами* / сост.: Ю.К. Новоселов, В.Н. Киреев, Г.П. Кутузов [и др.]. – М.: РАСХН, 1997. – 156 с.

REFERENCES

1. Voloshchuk A.P., Voloshchuk I.S., Gliva V.V. [i dr.], *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 1, pp. 7–15, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-54-1-7-15>. (In Russ.)
2. Maslennikova V.S., Tsvetkova V.P., Nersesyanyan S.M., Bedareva E.V., Kalmykova G.V., Dubovsky I.M., Litvina L.A., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2022, No. 1, pp. 46–55, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-62-1-46-55>. (In Russ.)
3. Shankar S., Haque E., Ahmed T., Kiran G.S., Hassan S., Selvin J., Rhizobia–Legume Symbiosis During Environmental Stress, *Symbiotic Soil Microorganisms*, 2021, No. 1, pp. 201–220.
4. Springer Cham. S Saidi, Cherif-Silini H., Bouket A.C. [et al.], Improvement of Medicago sativa Crops Productivity by the Co-inoculation of Sinorhizobium meliloti – Actinobacteria Under Salt Stress, *Current Microbiology*, 2021, Vol. 78, pp. 1344–1357.
5. Ben-Laouane R., Ait-El-Mokhtar M., Anli M., Boutasknit A., Rahou Y.A., Raklami A., Meddich A., Green Compost Combined with Mycorrhizae and Rhizobia: A Strategy for Improving Alfalfa Growth and Yield Under Field Conditions, *Gesunde Pflanzen*, 2021, Vol. 73, No. 2, pp. 193–207.
6. Ramos-Ulate K.M., Carmen María, Biofertilización y nanotecnología en la alfalfa (Medicago sativa L.) como alternativas para un cultivo sustentable, *Cultivos Tropicales*, 2021, Vol. 42, No. 2, pp. 10.
7. Aung B., Gruber M.Y., Amyot L., Omari K., Bertrand A., Hannoufa A., Medicago sativa L. commonly known as alfalfa or ‘lucerne’, is the world’s leading forage legume and a low-input bioenergy crop Micro RNA 156 as a promising tool for alfalfa improvement, *Plant Biotechnol. J.*, 2015, Vol. 13, pp. 779–790.
8. Tikhonovich I.A. [i dr.], *Biopreparaty v sel'skom khozyaistve. Metodologiya i praktika primeneniya mikroorganizmov v rastenievodstve i kormoproizvodstve*”, (Biological products in agriculture. Methodology and practice of application of microorganisms in crop and feed production), Moscow: RASKhN, 2005, pp. 3–10.
9. Stepanova G.V., Nizhnik Yu.V., Selitskaya O.V., Antonova L.S., *Kormoproizvodstvo: Problemy i puti resheniya*, Lobnya, 2007, pp. 357–364. (In Russ.)
10. Shpakov A.S., Trofimov I.A., Kutuzova A.A., *Adaptivnoe kormoproizvodstvo: problemy i resheniya (k 80-letiyu VNII kormov im. V.R. Vil'yamsa)* (Adaptive fodder production: Problems and Solutions (to the 80th anniversary of the V.R. Williams Institute of Forage production), Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2002, 524 p.
11. Tikhonovich I.A., Zavalin A.A., *Plodorodie*, 2016, No. 5, pp. 28–32. (In Russ.)
12. Saprykin S.V., Zolotarev V.N., Ivanov I.S. [i dr.], *Nauchnye osnovy seleksii i semenovodstva mnogoletnikh trav v Tsentral'no-Chernozemnom regione Rossii* (Scientific bases of breeding and seed production of perennial grasses in the Central Chernozem region of Russia), Voronezh: Voronezhskaya oblastnaya tipografiya, 2020, 496 p.
13. Viti C., Bellabarba A., Daghigho M. [et al.], Alfalfa for a Sustainable Ovine Farming System: Proposed Research for a New Feeding Strategy Based on Alfalfa and Ecological Leftovers in Drought Conditions, *Sustainability*, 2021, Vol. 13, pp. 3880, <https://doi.org/10.3390/su13073880>.
14. Kozyreva M.Yu., Basieva L.Zh., *Vestnik NGAU (Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet)*, 2020, No. 2, pp. 27–33, <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-55-2-27-33>. (In Russ.)
15. Dronova T.N., Burtseva N.I., Kulik D.K., *Plodorodie*, 2018, No. 5, pp. 61–63, DOI: 10.25680/S19948603.2018.104.19. (In Russ.)
16. Dronova T.N., Burtseva N.I., Dvoynikova O.I., Zemtsova I.P., Zemlyanitsina S.V., *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2021, No. 2 (62), pp. 41–50, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-02-04. (In Russ.)
17. Stepanova G.V., *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2023, No. 53 (1), pp. 14–22, <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-1-2> (In Russ.)
18. Yurkov A.P., Laktionov Yu.V., Kojemyakov A.P., Stepanova G.V., *Kormoproizvodstvo*, 2017, No. 3, pp. 16–19. (In Russ.)
19. Kursakova V.S., Novikova L.A., Kuznetsov O.O. [i dr.], *Vestnik AGAU*, 2013, No. 10 (108), pp. 5–7. (In Russ.)
20. Stupina L.A., *Vestnik AGAU*, 2018, No. 7 (165), 2018, pp. 16–20. (In Russ.)
21. Novoselov Yu.K., Kireev V.N., Kutuzov G.P., Karavyansky N.S. [i dr.], *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami* (Guidelines for conducting field experiments with forage crops), Moscow: RASKhN, 1997, 155 p.