

УДК 633.313:579.64

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2022-3-50-62>

## ИНТЕНСИВНОСТЬ РОСТА И РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ ЛЮЦЕРНЫ ИЗМЕНЧИВОЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИНОКУЛЯЦИИ АКТИВНЫМИ ШТАММАМИ РИЗОБИЙ\*

**А.В. Пьянков**, младший научный сотрудник

*ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»*

*141055, Россия, Московская область, г. Лобня, ул. Научный городок, корп. 1*

[Aleks2483@bk.ru](mailto:Aleks2483@bk.ru)

## INTENSITY OF GROWTH AND DEVELOPMENT OF PLANTS ALFALFA VARIABLE UNDER THE INFLUENCE OF INOCULATION WITH ACTIVE RHISOBIAL STRAINS

**A.V. Pyankov**, Junior Researcher

*Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology*

*141055, Russia, Moscow region, Lobnya, Nauchnyi gorodok str., k. 1*

[Aleks2483@bk.ru](mailto:Aleks2483@bk.ru)

Изучили влияние предпосевной инокуляции сортов люцерны изменчивой Лада и Луговая 67 штаммами клубеньковых бактерий СХМ 404б и Т 15. Установили, что инокуляция штаммом СХМ 404б ускорила весеннее отрастание растений люцерны обоих сортов на трое суток, а штаммом Т 15 — на шесть суток. Период от начала отрастания до начала цветения под влиянием инокуляции штаммом СХМ 404б сорта Лада сократился на трое суток, а сорта Луговая 67 — на шесть суток. Инокуляция штаммом Т 15 ускорила наступление фазы начала цветения на семь суток по обоим сортам. Штамм СХМ 404б увеличил высоту растений сорта Луговая 67 в первый год пользования на 7 см, во второй — на 11 см по сравнению с контролем, а сорта Лада — на 10 и 7 см. Под влиянием штамма Т 15 высота растений сорта Луговая 67 возросла в первый год пользования на 7 см, во второй — на 13 см, а сорта Лада — на 16 и 12 см.

**Ключевые слова:** люцерна изменчивая, штаммы, клубеньковые бактерии, высота растений, интенсивность развития.

We studied the effect of presowing inoculation of alfalfa varieties Lada and Lugovaya 67 with strains of nodule bacteria СХМ 404b and Т 15. It was found that inoculation with strain СХМ 404b accelerated the spring regrowth of alfalfa plants of both varieties by 3 days, and by strain Т 15 by 6 days. The period from the beginning of regrowth to the beginning of flowering under the influence of inoculation with strain СХМ 404b of Lada variety was reduced by 3 days, and Lugovaya 67 variety — by 6 days. Inoculation with strain Т 15 accelerated the onset of the beginning of flowering phase by 7 days for both varieties. The strain СХМ 404b increased the plant height of the Lugovaya 67 variety in the first year of use by

\*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».

7 cm, in the second year by 11 cm compared to the control, and the Lada variety by 10 and 7 cm. Under the influence of the T 15 strain, the plant height of the Lugovaya 67 variety increased the first year of use by 7 cm, in the second by 13 cm, and the Lada varieties — by 16 and 12 cm.

**Keywords:** variable alfalfa, strains, nodule bacteria, plant height, intensity of development.

**Введение.** Люцерна — кормовая культура, которая дает высокобелковый, богатый витаминами, углеводами, минеральными солями и микроэлементами корм для скота и птицы, а его переваримость достигает 70–80% [1].

Люцерна обладает очень важным общебиологическим и хозяйственным свойством — способностью фиксировать молекулярный азот воздуха и обогащать им почву фитоценозов.

Урожайность люцерны в значительной степени зависит от успешности формирования растительно-микробной симбиотической системы с клубеньковыми бактериями (ризобиями), которая становится способной фиксировать азот атмосферы. Согласно современным исследованиям по симбиогенетике, эффективность симбиотических систем определяется комплементарностью взаимодействия геномов растения и его микросимбионта [2].

При взаимодействии с бобовым растением-хозяином клетки бактерий претерпевают глобальные изменения на всех уровнях реализации генетической информации, приводящие к формированию в корневых клубеньках, так называемых бактериоидов, функционирующих в качестве «фабрик» для азотфиксации. Молекулярные механизмы, лежащие в основе микробно-растительного симбиоза, активно изучаются, и одним из наиболее интересных и малоизученных аспектов данной проблемы является видоспецифичность взаимодействия клубеньковых бактерий с растением-хозяином [3].

Известно, что симбиотические отношения клубеньковых бактерий и растений находятся под сложным генетическим контролем. Начало симбиоза индуцируется секретией комплекса флавоноидов бобовым растением, в ответ на которые клубеньковые бактерии начинают продуцировать транскрипционные регуляторы семейства *LysR*, кодируемые опероном *nod* и опосредующие синтез липохитоолигосахаридов, называемых факторами *Nod* (от *nodulation* — клубенькообразование). Белки, кодируемые опероном *nod*, играют ключевую роль в выборе хозяина клубеньковыми бактериями [4].

Симбиотическая азотфиксация, осуществляемая при взаимодействии клубеньковых бактерий с бобовыми растениями, — основной источник «биологического» азота, определяющий высокую продуктивность и экологическую безопасность агроценозов при дефиците трофических ресурсов почвы. Несмотря на хорошую генетическую изученность бобово-ризобияльного симбиоза, знания о механизмах детерминации его эффективности мало используются для конструирования хозяйственно ценных азотфиксирующих систем. Это связано со сложностью контроля количественных признаков симбиоза, которые определяются большим числом функционально разнородных бактериальных генов, а также зависят от генетически полиморфных растений-хозяев и от широкого комплекса неконтролируемых экологических факторов [5].

Исследования, посвященные конструированию хозяйственно ценных азотфиксирующих растительно-микробных (сорто-микробных) симбиотических систем, проводятся в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». В лаборатории селекционных симбиотических технологий в период с 1990 по 2015 гг. была разработана методика создания сорто-микробных систем люцерны изменчивой с высокой активностью и эффективностью симбиоза. Г.В. Степанова (2013) пишет: «Под сорто-микробной системой подразумевается генетически близкие (комплементарные) сорт люцерны и штамм полезных микроорганизмов. К последним относятся клубеньковые бактерии (*Sinorhizobium meliloti*), эндомикоризные грибы везикулярно-арбускулярного типа (*Glomus* sp.), ассоциативные бактерии родов *Klebsiella*, *Arthrobacter*, *Azospirillum* и др. В настоящее время наиболее распространены сорто-микробные системы бобовых растений (клевер, люцерна, горох, вика) и клубеньковых бактерий» [6].

В ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» проведена оценка урожайности сортов люцерны изменчивой Вега 87 и Пастбищная 88 при разном способе азотного питания. При заблокированной симбиотической азотфиксации (инокуляция мутантным штаммом  $Nod^{+}fix^{-}$ ) растения люцерны были переведены на автотрофное питание азотом почвы. Урожайность сорта Вега 87 составила 3,6 т/га сухого вещества, а сорта Пастбищная 88 — 3,0 т/га. В варианте при традиционном способе выращивания урожайность возросла до 4,3 и 5,6 т/га сухого вещества соответственно. За счет симбиоза с местными расами клубеньковых бактерий, присутствующих в почве, урожайность

сорта Вега 87 увеличилась на 19%, а сорта Пастбищная 88 — на 87 %. Предпосевная инокуляция семян сорта Пастбищная 88 штаммами 4046, 4126 и 4156 повысила урожайность до 7,5–9,9 т/га сухого вещества (+150–230%), а сорта Вега 87 — до 5,2–5,3 т/га (+44–47%) [7].

Чтобы существенно повысить активность симбиоза (накопление биологического азота) и его эффективность (ускорение роста и развития растений, накопление биомассы) была разработана методика сопряженной селекции сортов люцерны с повышенной симбиотрофностью. Г.В. Степанова (2013) пишет: «Селекционный процесс создания сорто-микробных систем включает создание сорта люцерны с заданными хозяйственными свойствами и высоким уровнем симбиотрофности, а также комплементарный этому сорту штамм ризобий, обеспечивающий высокую эффективность симбиоза при предпосевной инокуляции семян люцерны этим штаммом» [6].

В ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» разработаны «Новые способы сопряженной растительно-микробной селекции люцерны и овсяницы красной. С их использованием созданы новые сорта люцерны изменчивой (*Medicago varia* Mart.), которые обладают повышенной урожайностью, устойчивостью к стрессовым факторам, высокой эффективностью симбиоза с активными штаммами клубеньковых бактерий (*Sinorhizobium meliloti*)» [8; 9].

С целью продвижения возделывания люцерны на север разработана биотехнология сопряженной растительно-микробной симбиотической селекции для создания сортов с повышенной эффективностью симбиоза и адаптивной

способностью, способных расти на не-окультуренных и среднеокультуренных кислых почвах. С использованием этой биотехнологии был создан сорт люцерны изменчивой Таисия. Сорт рекомендован для возделывания в Северо-Западном, Центральном и Волго-Вятском регионах. При выращивании традиционным методом (без предпосев-ной инокуляции семян) на среднеокуль-туренной почве урожайность сорта Таи-сия в Северо-Западном регионе была в пределах 6,8–16,0 т/га, в Центральном — 5,6–14,2 т/га, Волго-Вятском — 8,4–20,0 т/га. Предпосевная инокуляция се-мян комплементарными штаммами клу-беньковых бактерий повышала урожай-ность зеленой массы в Северо-Западном регионе на 30–177%, в Центральном — на 45–102% [10].

В исследованиях Горского универси-тета показано: «...чем активнее азотфик-сирующий процесс, тем интенсивнее происходит фотосинтетическая деятель-ность и, в результате, улучшаются пока-затели линейного роста растений люцер-ны. Во все годы исследований варианты опыта с более активными процессами азотфиксации (штаммы 1000; 1600 и 2000) имели наибольшую высоту расте-ний. Растения контрольного варианта в год посева имели высоту от 47 до 52 см, которая варьировала в зависимости от укоса. Промышленный штамм ризотор-фина (штамм 425а) прибавил к росту растений 2–4 см, что, на наш взгляд, свя-зано с лучшей обеспеченностью расте-ний биологически связанным азотом. В вариантах со штаммами 1000, 1600 и 2000 растения были выше контрольных посевов на 7–10 см» [11].

Анализируя вышесказанное, можно прийти к заключению, что симбиоз рас-тений люцерны с местными расами клу-беньковых бактерий и, особенно, с ак-тивными штаммами клубеньковых бак-терий существенно, на 30–230%, повы-шает продуктивность растений люцерны (эффективность симбиоза). Вступление растений люцерны в эффективные сим-биотические взаимодействия с клубень-ковыми бактериями оказывает заметное влияние и на многие другие количест-венные признаки, в том числе на рост и развитие растений.

*Цель исследований* — изучить влия-ние симбиоза сортов люцерны изменчи-вой Лада и Луговая 67 со штаммами ри-зобий СХМ 404б и Т 15 на рост и разви-тие растений люцерны.

**Материал и методика.** Исследова-ния проводили на Центральной экспери-ментальной базе ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, расположенной севернее Москвы на 30 км, в 2007–2009 гг.

Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая. Содер-жание гумуса по Тюрину — 1,85%, рН солевой вытяжки — 5,9, содержание подвижного фосфора — 225 мг, калия — 175 мг, гидролизуемого азота — 40,26 мг на 1 кг почвы.

Погодные условия вегетационных периодов в годы проведения исследова-ний были благоприятными для роста и развития люцерны (табл. 1).

Весна 2008 г. была ранняя, теплая, дружная. Высокая температура воздуха в апреле (средняя +8,4 °С) в сочетании с достаточной влагообеспеченностью вы-звали раннее начало отрастания люцер-ны. Сравнительно прохладная погода в

мае и июне задержала рост и развитие растений люцерны.

Весна 2009 г. была прохладная и затяжная. Отрастание люцерны началось в

начале мая. Теплая погода в мае–июле (на 1,5–1,1 °С выше среднегодовых значений) ускорила развитие и рост растений люцерны (табл. 1).

### 1. Погодные условия вегетационных периодов 2008 и 2009 гг.

Месяц	Среднесуточная температура воздуха, °С			Количество осадков, мм		
	средняя многолетняя	2008 г.	2009 г.	среднее многолетнее	2008 г.	2009 г.
Апрель	4,5	8,4	4,3	36	46	14
Май	11,8	10,9	13,3	55	72	51
Июнь	15,7	15,0	16,2	71	79	49
Июль	17,4	18,7	18,5	88	114	77
Август	15,8	17,0	15,3	73	105	84
Сентябрь	10,2	9,9	13,3	60	63	27
Сумма активных температур воздуха выше +10 °С	1976	2142	2299			
Сумма осадков за вегетационный период, мм				371	524	392

Материалом исследований послужили сорта люцерны изменчивой селекции ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса Луговая 67 и Лада [12] и биопрепарат «ризоторфин» (штаммы клубеньковых бактерий СХМ 404б и Т 15), полученный из ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии (г. С.-Петербург).

Семена люцерны перед посевом обрабатывали биопрепаратом методом опудривания из расчета 20 г препарата на 100 г семян. Посев широкорядный с междурядьями 0,45 м, деланки четырехрядковые, учетная площадь — 7 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная. Наблюдения и учеты проводили согласно общепринятым методикам [13; 14].

**Результаты исследований.** Наиболее ярко проявляются особенности симбиотических взаимодействий растений люцерны со штаммами клубеньковых

бактерий в год посева [14; 15]. Однако мы в своем исследовании начали изучение сорто-микробных взаимодействий между растениями люцерны сортов Луговая 67 и Лада со штаммами клубеньковых бактерий СХМ 404б и Т 15 со второго года жизни травостоя (первого года пользования), как это принято в кормопроизводстве. Травостой люцерны в год посева обычно не имеет хозяйственного значения, использовать его на корм и семена начинают со второго года жизни.

Отрастание люцерны весной 2008 г. началось очень рано — 20–22 апреля; объясняется это ранней весной и теплой погодой в апреле.

Через 5–7 суток наступила фаза полного отрастания. Особенно интенсивным отрастанием отличались растения сорта Лада (табл. 2).

**2. Динамика развития растений люцерны изменчивой первого года пользования  
(данные 2008 г., посев 2007 г.)**

Сорт	Вариант инокуляции	Дата начала отрастания	Продолжительность периода от начала отрастания, сутки			
			полное отрастание	начало бутонизации	бутонизация	начало цветения
Луговая 67	*Контроль	22.04	7	49	56	71
	4046	23.04	6	46	52	65
	T 15	21.04	7	47	51	64
Лада	*Контроль	22.04	5	50	56	69
	4046	21.04	5	46	53	66
	T 15	20.04	5	46	51	62

\*Контроль — вариант без инокуляции.

Фаза начала бутонизации была отмечена через 46–50 суток после начала весеннего отрастания. Спустя еще 5–7 суток после начала бутонизации отметили фазу полной бутонизации. Укосная спелость (фаза начала цветения) разных сорто-микробных систем наступила через 62–71 сутки после начала отрастания. В 2008 г. более ранним оказался сорт Лада. При традиционном способе посева (контроль) начало цветения растений сорта Лада началось через 69 суток после начала отрастания, а сорта Луговая 67 — через 71. Предпосевная инокуляция штаммом ризобий СХМ 4046 сократила период от начала отрастания до начала цветения растений сорта Лада на трое суток, а сорта Луговая 67 — на шесть суток. Инокуляция штаммом T 15 ускорила наступление фазы начала цветения на семь суток по обоим сортам (табл. 2).

В 2008 г. раннее весеннее отрастание растений люцерны и интенсивное развитие в июле и августе были обусловлены высокой температурой воздуха (в апреле на 3,9°C, летом на 1,3–2,2 °C выше среднеголетних показателей) и обильными осадками в течение всего вегетаци-

онного периода. В 2009 г. весна была поздней, но дружной. Начало отрастания растений люцерны в варианте без инокуляции отмечено 4 мая сорта Луговая 67 и 2 мая сорта Лада. Инокуляция штаммом СХМ 4046 ускорила весеннее отрастание растений люцерны обоих сортов на трое суток, а штаммом T 15 — на шесть суток (табл. 3).

Полное отрастание наступило через 6–7 суток. Продолжительность периода от начала отрастания до начала бутонизации растений люцерны сорта Луговая 67 в 2009 г. была такая же, как и в 2008 г., а сорта Лада — короче в среднем на 2 дня. Продолжительность периода от начала весеннего отрастания до начала цветения растений люцерны сорта Луговая 67 в 2009 г. в варианте без инокуляции составила 78 суток, сорта Лада — 73 суток, что на 7 и 4 суток длиннее, чем в 2008 г. Объясняется это, по-видимому, более прохладной и сухой погодой по сравнению с вегетационным периодом 2008 г. Инокуляция штаммом СХМ 4046 сократила период развития до начала цветения растений сорта Луговая 67 на 4 суток, а сорта Лада — на 5 суток, а штаммом T 15 — на 7 и 8 суток (табл. 3).

### 3. Динамика развития растений люцерны изменчивой первого года пользования (данные 2009 г., посев 2007 г.)

Сорт	Вариант инокуляции	Дата начала отрастания	Продолжительность периода от начала отрастания, сутки			
			полное отрастание	начало бутонизации	бутонизация	начало цветения
Луговая 67	Контроль	04.05	6	47	55	78
	4046	01.05	6	48	55	74
	Т 15	29.04	7	47	54	71
Лада	Контроль	02.05	6	48	54	73
	4046	29.04	6	46	53	68
	Т 15	27.04	6	44	50	65

Таким образом, предпосевная инокуляция семян люцерны сортов Лада и Луговая 67 штаммами СХМ 4046 и Т 15 в первые 2 года пользования ускоряет развитие растений, в результате чего фаза начала цветения травостоя сорто-микробных систем со штаммом СХМ 4046 наступает на 3–5 суток, со штаммом Т 15 — на 6–8 суток раньше по сравнению с традиционным способом выращивания.

Важным показателем, характеризующим эффективность симбиоза, является интенсивность роста растений под влиянием растительно-микробных взаи-

модействий. Погодные условия в годы исследований были благоприятными для роста и развития люцерны. Растения люцерны второго года пользования были выше по сравнению с первым из-за естественного роста, развития и увеличения мощности растений люцерны. В варианте с традиционным способом выращивания средняя высота растений сорта Луговая 67 первого года пользования в фазу начала цветения составляла 43 см, сорта Лада — 40 см, на второй год пользования она увеличилась до 59 и 70 см соответственно (рис. 1).

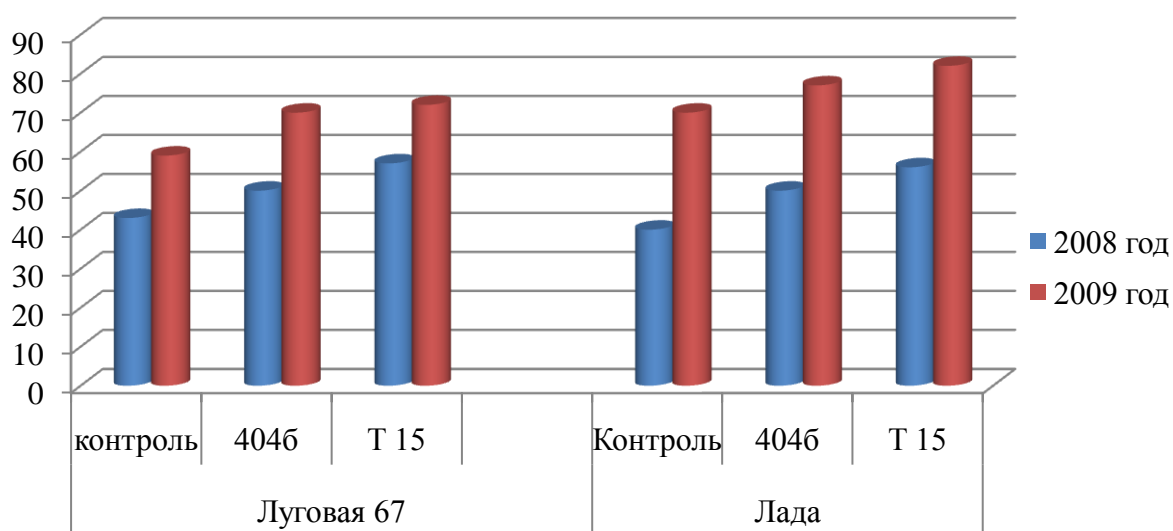


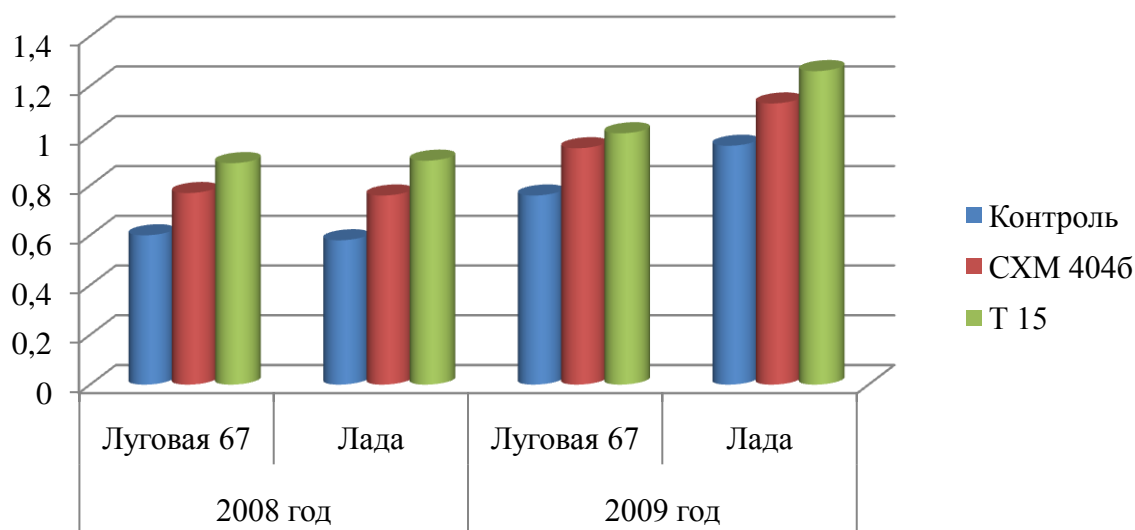
Рис. 1. Средняя высота растений люцерны в фазу начала цветения, см. Посев 2007 г.

Инокуляция препаратом штамма СХМ 4046 увеличила высоту растений сорта Луговая 67 в первый год пользования на 7 см, во второй — на 11 см по сравнению с контролем, а сорта Лада — на 10 и 7 см. Под влиянием инокуляции штаммом Т 15 высота растений сорта Луговая 67 возросла в первый год пользования на 7 см, во второй — на 13 см, а сорта Лада — на 16 и 12 см соответственно (рис. 1).

Таким образом, предпосевная инокуляция семян люцерны изменчивой сортов Луговая 67 и Лада штаммами СХМ 4046 и Т 15 формировала эффективные

люцерно-ризобийные симбиотические системы, в результате чего ускорялось развитие растений люцерны и сокращался период от начала весеннего отрастания до начала цветения на 3–6 суток. Кроме ускорения развития растений люцерны, ускорялся их рост, высота растений люцерны возрастала на 7–16 см по сравнению с вариантом без инокуляции.

В варианте без инокуляции средняя скорость роста растений сорта Луговая 67 составляла в 2008 г. 0,60 см/сутки, в 2009 г. — 0,76 см/сутки. Показатели сорта Лада были 0,58 и 0,96 см/сутки (рис. 2).



**Рис. 2.** Средняя скорость роста растений люцерны в период от начала отрастания до начала цветения, см/сутки. Посев 2007 г.

Инокуляция штаммом СХМ 4046 повысила скорость роста растений люцерны сорта Луговая 67 до 0,77 и 0,95 см/сутки, сорта Лада — до 0,76 и 1,13 см/сутки. Наиболее высокую скорость роста обеспечил штамм Т 15: средняя скорость роста растений люцерны сорта Луговая 67 достигала 0,89 и 1,01 см/сутки, сорта Лада — 0,90 и

1,26 см/сутки (рис. 2). Таким образом, сорт Лада отличается более высоким уровнем симбиотрофности по сравнению с сортом Луговая 67.

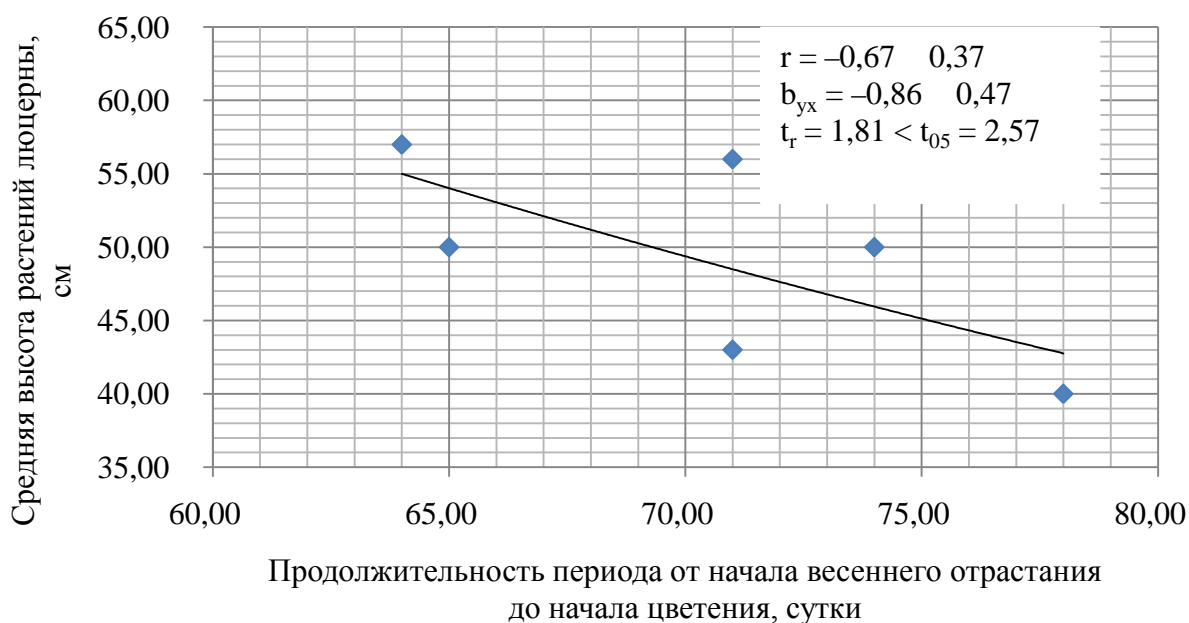
Схожие результаты получены в системе Географической сети оценки биопрепаратов. Сорта люцерны Луговая 67 и Лада изучали в течение 2002–2009 гг. в Брянской области и в 2005–2018 гг. в



Новгородской области.

Урожайность сорта Лада от инокуляции штаммом А2 в условиях Центрального и Северо-Западного регионов была сходной (средняя эффективность симбиоза 42,5%). Инокуляция растений сорта Луговая 67 сопровождалась формированием эффективной симбиотической системы только в случае использования производственного штамма 425а (прибавка по сухому веществу составила 20,5%). Следовательно, систему Лада-А2 можно рассматривать как эффективную и обладающую широкой адаптивностью, тогда как система Луговая 67-425а дает статистически значимые, но невысокие прибавки [2].

Чтобы выявить зависимость скорости роста растений люцерны сорто-микробных систем от интенсивности развития провели корреляционно-регрессионный анализ. В первый год пользования выявлена обратная корреляционная зависимость между интенсивностью развития (продолжительностью периода от начала отрастания весной до начала цветения) и высотой растений. Коэффициент корреляции  $r = -0,67 \pm 0,37$ ; фактический критерий существенности  $t_r = 1,81 < t_{05} = 2,57$ . Теоретическая линия регрессии, показанная на рисунке 3, имеет экспоненциальное приближение к прямолинейной обратной корреляционной зависимости.

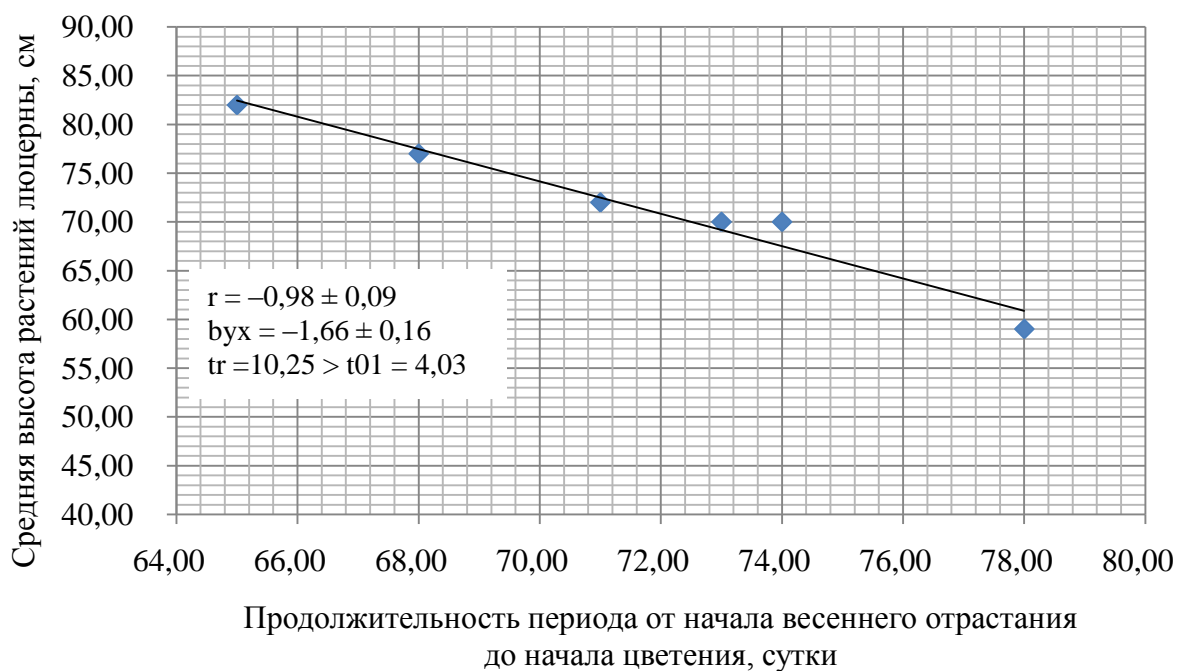


**Рис. 3. Средняя высота растений люцерны сорто-микробных систем в зависимости от продолжительности периода от начала весеннего отрастания до начала цветения, данные 2008 г.**

На второй год пользования прослеживается высоко существенная обратная прямолинейная зависимость между продолжительностью периода от начала весеннего отрастания до начала цветения.

Коэффициент корреляции ( $r$ ) равен  $-0,98 \pm 0,09$ ;  $t_r = 10,25 > t_{01} = 4,03$ .

Зависимость описывается линейным уравнением регрессии  $Y = -1,66 + 190,27$  (рис. 4).



**Рис. 4. Средняя высота растений люцерны сорто-микробных систем в зависимости от продолжительности периода от начала весеннего отрастания до начала цветения, данные 2009 г.**

**Заключение.** Предпосевная инокуляция семян люцерны изменчивой сортов Лада и Луговая 67 штаммами СХМ 4046 и Т 15 позволяла сформировать эффективные люцерно-ризобиальные симбиотические системы, в результате чего ускорялись развитие и рост растений люцерны.

Период от начала весеннего отрастания до начала цветения сократился в среднем на 3–6 суток, а средняя высота

растений люцерны увеличилась на 7–16 см по сравнению с вариантом без инокуляции. Выявлена статистически значимая обратная корреляционная зависимость между интенсивностью развития (продолжительность периода от начала весеннего отрастания до начала цветения) и средней высотой растений люцерны: коэффициент корреляции ( $r$ ) первого года пользования равен  $-0,67$ , второго —  $-0,98$ .

## Литература

1. Иванов А.И. Люцерна. – М. : Колос, 1980. – 347 с.
2. Высокоэффективные штаммы клубеньковых бактерий люцерны (*Medicago varia* L.): молекулярно-генетическая характеристика и использование в сопряженной селекции / М.Л. Румянцева, М.Е. Владимирова, В.С. Мунтян, Г.В. Степанова, А.С. Саксаганская, А.П. Кожемяков, А.Г. Орлова, А. Becker, Б.В. Симаров // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 6. – С. 1306–1323. (doi: 10.15389/agrobiology.2019.6.1306rus).
3. Протеомный профиль бактерии *Sinorhizobium meliloti* зависит от ее жизненной формы и вида растения-хозяина / К.С. Антонец, О.П. Онищук, О.Н. Курчак, К.В. Волков, А.Н. Лыхолай, Е.А. Андреева, Е.Е. Андронов, А.Г. Пинаев, Н.А. Проворов, А.А. Нижников // Молекулярная биология. – 2018. – Т. 52, № 5. – С. 898–904.

4. Wang D., Yang S., Tang F., Zhu H. (2012) Symbiosis specificity in the legume-rhizobial mutualism. *Cell. Microbiol.* 14, 334–342.
5. Проворов Н.А., Онищук О.П. Эколого-генетические основы конструирования высокоэффективных азотфиксирующих микробно-растительных симбиозов // Экологическая генетика. – 2019. – Т. 17, № 1. – С. 11–18. (<https://doi.org/10.17816/ecogen17111-18>).
6. Степанова Г.В. Создание сортов люцерны изменчивой нового поколения с высокой азотфиксирующей способностью // Материалы XXII международного симпозиума «Охрана биосферы. Эниология. Нетрадиционное растениеводство. Экология и медицина». – Алушта : Форма, 2013. – С. 240–243.
7. Степанова Г.В. Симбиотические свойства сортов люцерны изменчивой Вега 87 и Пастбищная 88 // Интеграция науки и высшего образования, как основа инновационного развития аграрного производства : Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Ярославль : Канцлер, 2019. – С. 145–147.
8. Степанова Г.В. Новые способы и результаты сопряженной селекции кормовых трав // Охрана био-ноосферы. Нетрадиционное растениеводство. Эниология. Экология и здоровье: Материалы XXIV Международного научного симпозиума. – Алушта : Форма, 2015. – С. 308–313.
9. Степанова Г.В. Способы и результаты сопряженной растительно-ризобиальной селекции люцерны // Современные проблемы и стратегия развития аграрной науки европейского севера России : Материалы Международной научной конференции, посвященной 80-летию со дня основания Карельской государственной сельскохозяйственной опытной станции. – Новая Вилга : Издательский дом «ПИН», 2015. – С. 121–126.
10. Степанова Г.В. Сорт люцерны изменчивой Таисия // Адаптивное кормопроизводство. – 2020. – № 2. – С. 21–32. (DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-2-21-32).
11. Козырева З.Ю., Дзарахохов А.В. Рост и развитие растений люцерны в зависимости от активности штамма ризобий // Вестник научных трудов молодых ученых, аспирантов и магистрантов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет» : сб. статей. – Владикавказ, 2021. – С. 5–8.
12. Районированные и перспективные сорта кормовых культур селекции Всероссийского научно-исследовательского института кормов имени В.П. Вильямса. Каталог. – М., 2006. – 66 с.
13. Методические указания по селекции многолетних трав / ВНИИ кормов. – М., 1985. – 190 с.
14. Селекция люцерны на повышение эффективности симбиоза с клубеньковыми бактериями. Методические рекомендации / ВНИИСХМ. – СПб., 1990. – 50 с.
15. Степанова Г.В. Влияние предпосевной инокуляции семян бактериальными препаратами на адаптивную способность люцерны // Образование, наука и производство. – 2015. – № 3 (12). – С. 87–91.

## References

1. Ivanov A.I. Lyutserna [Lucerne]. Moscow, Kolos Publ., 1980, 347 p.
2. Rumyantseva M.L., Vladimirova M.E., Muntyan V.S., Stepanova G.V., Saksaganskaya A.S., Kozhemyakov A.P., Orlova A.G., Becker A., Simarov B.V. Vysokoeffektivnyye shtammy klubenkovykh bakteriy lyutserny (*Medicago varia* L.): molekulyarno-geneticheskaya kharakteristika i ispol'zovaniye v sopryazhennoy selektsii [Highly effective strains of alfalfa nodule bacteria (*Medicago varia* L.): molecular genetic characterization and use in conjugated breeding]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2019, vol. 54, no. 6, pp. 1306–1323. (doi: 10.15389/agrobiology.2019.6.1306rus).
3. Antonets K.S., Onishchuk O.P., Kurchak O.N., Volkov K.V., Lykholay A.N., Andreeva E.A., Andronov E.E., Pinaev A.G., Provorov N.A., Nizhnikov A.A. Proteomnyy profil' bakterii *Sinorhizobium meliloti* zavisit ot yeye zhiznennoy formy i vida rasteniya-khozyaina [The proteomic

- profile of the bacterium *Sinorhizobium meliloti* depends on its life form and host plant species]. *Molekulyarnaya biologiya [Molecular Biology]*, 2018, vol. 52, no. 5, p. 898–904.
4. Wang D., Yang S., Tang F., Zhu H. (2012) Symbiosis specificity in the legume-rhizobial mutualism. *Cell. Microbiol.* 14, 334–342.
  5. Provorov N.A., Onishchuk O.P. Ekologo-geneticheskiye osnovy konstruirovaniya vysokoeffektivnykh azotfiksiruyushchikh mikrobno-rastitel'nykh simbiozov [Ecological and genetic bases for the design of highly effective nitrogen-fixing microbial-plant symbioses]. *Ekologicheskaya genetika [Ecological genetics]*, 2019, vol. 17, no. 1, pp. 11–18. (<https://doi.org/10.17816/ecogen17111-18>).
  6. Stepanova G.V. Sozdaniye sortov lyutserny izmenchivoy novogo pokoleniya s vysokoy azotfiksiruyushchey sposobnost'yu [Creation of Variable New Generation Alfalfa Varieties with High Nitrogen-Fixing Capacity]. *Materialy XXII mezhdunarodnogo simpoziuma "Okhrana biosfery. Eniologiya. Netraditsionnoye rasteniyevodstvo. Ekologiya i meditsina" [Proceedings of XXII International Symposium "Protection of the Biosphere. Eniology. Non-traditional crop production. Ecology and medicine"]*. Alushta, Forma Publ., 2013, pp. 240–243.
  7. Stepanova G.V. Simbioticheskiye svoystva sortov lyutserny izmenchivoy Vega 87 i Pastbishchnaya 88 [Symbiotic properties of alfalfa varieties Vega 87 and Pastbishchnaya 88]. *Integratsiya nauki i vysshego obrazovaniya, kak osnova innovatsionnogo razvitiya agrarnogo proizvodstva: Materialy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem [Integration of science and higher education as a basis for innovative development of agricultural production: Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation]*. Yaroslavl, Kantsler Publ., 2019, pp. 145–147.
  8. Stepanova G.V. Novyye sposoby i rezul'taty sopryazhennoy selektsii kormovykh trav [New methods and results of conjugated selection of fodder grasses]. *Okhrana bio-noosfery. Netraditsionnoye rasteniyevodstvo. Eniologiya. Ekologiya i zdorov'ye: Materialy XXIV Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma [Protection of the bio-noosphere. Non-traditional crop production. Eniology. Ecology and Health: Proceedings of the XXIV International Scientific Symposium]*. Alushta, Forma Publ., 2015, pp. 308–313.
  9. Stepanova G.V. Sposoby i rezul'taty sopryazhennoy rastitel'no-rizobial'noy selektsii lyutserny [Methods and results of conjugate plant-rhizobial selection of alfalfa]. *Sovremennyye problemy i strategiya razvitiya agrarnoy nauki yevropeyskogo severa Rossii: Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu so dnya osnovaniya Karel'skoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy opytnoy stantsii [Modern problems and strategy for the development of agrarian science in the European North of Russia: Proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Karelian State Agricultural Experimental Station]*. Novaya Vilga, Publishing House "PIN", 2015, pp. 121–126.
  10. Stepanova G.V. Sort lyutserny izmenchivoy Taisiya [Variable alfalfa variety Taisiya]. *Adaptivnoye kormoproizvodstvo [Adaptive fodder production]*, 2020, no. 2, pp. 21–32. (DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-2-21-32).
  11. Kozyreva Z.Yu., Dzarakhokhov A.V. Rost i razvitiye rasteniy lyutserny v zavisimosti ot aktivnosti shtamma rizobiy [Growth and development of alfalfa plants depending on the activity of the rhizobia strain]. *Vestnik nauchnykh trudov molodykh uchenykh, aspirantov i magistrantov FGBOU VO "Gorskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet" [Bulletin of scientific works of young scientists, graduate students and undergraduates of the Gorskiy State Agrarian University: collection of articles]*, 2021, pp. 5–8.
  12. Rayonirovannyye i perspektivnyye sorta kormovykh kul'tur selektsii Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta kormov imeni V.R. Vil'yamsa. Katalog. [Zoned and promising varieties of fodder crops bred at the All-Russian Research Institute of Fodder named after V.R. Williams. Catalogue]. Moscow, 2006, 66 p.

13. Metodicheskiye ukazaniya po seleksii mnogoletnikh trav [Methodological guidelines for the selection of perennial grasses]. All-Russian Research Institute of Fodder. Moscow, 1985, 190 p.
14. 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]. St. Petersburg, 1990, 50 p.
15. Stepanova G.V. Vliyaniye predposevnoy inokulyatsii semyan bakterial'nymi preparatami na adaptivnuyu sposobnost' lyutserny [Influence of presowing inoculation of seeds with bacterial preparations on the adaptive ability of alfalfa]. *Obrazovaniye, nauka i proizvodstvo* [Education, science and production], 2015, no. 3 (12), pp. 87–91.