

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 295-308.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 4. P. 295-308.

КОРМОПРОИЗВОДСТВО И КОРМА

Научная статья
УДК 633.31:631.559(470.22)
doi:10.33284/2658-3135-107-4-295

Продуктивность люцерны изменчивой в зависимости от инокуляции *Sinorhizobium meliloti* в условиях Республики Карелия

Александра Игоревна Камова¹, Татьяна Валерьевна Степанова², Анна Георгиевна Орлова³

¹Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук», Петрозаводск, Республика Карелия, Россия

^{2,3}Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Пушкин, Россия

¹avesikkamova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9113-1031>

²zimtv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9520-9549>

³yanevich-2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6580-8890>

Аннотация. В последние годы за счёт продвижения в северные районы перспективной кормовой культуры люцерны изменчивой (*Medicago varia* Mart.) расширяется ареал её распространения. Для повышения эффективности возделывания которой необходимо внедрять сорта нового поколения, обладающие устойчивостью к абиотическим факторам среды и способные произрастать в условиях длинного светового дня, ограниченных ресурсов тепла, повышенной кислотности почв. Учитывая, что ранее в условиях Карелии люцерна не произрастала, и в почве нет аборигенных штаммов клубеньковых бактерий, способных вступать в продуктивные взаимоотношения с данной бобовой культурой, необходимо обязательно проводить инокуляцию семян *Sinorhizobium meliloti*, при этом подобрать наиболее адаптивные к условиям региона сорто-микробные системы. В связи с этим проведены трёхлетние исследования по экологическому сортоиспытанию люцерны изменчивой сортов Таисия, Агния ВИК, Пастбищная 88 и сортообразцов СГП-387 и 506 (Люся) при инокуляции штаммами клубеньковых бактерий *Sinorhizobium meliloti* (СХМ-1-105, 415, А-1, А-5 и вариант без применения). Выявили, что среди изучаемых сорто-микробных систем наиболее адаптивными к условиям Северо-Западного региона являются сортообразец 506 (сорт Люся), инокулированный штаммом СХМ-1-105, способный в среднем за два года пользования обеспечить урожайность до 7,45 т/га сухой массы, а также Агния ВИК в сочетании с этим же штаммом (7,25 т/га), штаммы А-1 и А-5 также обеспечивали прибавку урожая к контролю в 1,8-2,2 раза. По отношению к сортам данные штаммы можно характеризовать как универсальные.

Ключевые слова: люцерна изменчивая, сорт, сорто-микробные системы, клубеньковые бактерии, штаммы, урожайность

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2022-2026 гг. ФГБНУ КарНЦ (№ 122031000202-1).

Для цитирования: Камова А.И., Степанова Т.В., Орлова А.Г. Продуктивность люцерны изменчивой в зависимости от инокуляции *Sinorhizobium meliloti* в условиях Республики Карелия // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 295-308. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-295>

FODDER PRODUCTION AND FODDERS

Original article

Productivity of alfalfa depending on inoculation of *Sinorhizobium meliloti* in conditions of the Republic of Karelia

Alexandra I Kamova¹, Tatyana V Stepanova², Anna G Orlova³

¹Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Karelia, Russia

^{2,3}St. Petersburg State Agrarian University. St. Petersburg. Russian Federation

¹avesikkamova@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9113-1031>

²zimtv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9520-9549>

³yanevich-2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6580-8890>

Abstract. In recent years in connection with the extension of Alfalfa (*Medicago*) spreading area and promotion to the northern regions. It is necessary to introduce new generation varieties that are re-

sistant to abiotic environmental factors and capable of growing in conditions of long daylight hours, limited heat resources, and increased soil acidity to increase the efficiency of its cultivation. Considering that previously alfalfa did not grow in the conditions of Karelia, there are no native strains of nodule bacteria in the soil that can enter into productive relationships with this legume crop, it is necessary to inoculate seeds with *Sinorhizobium meliloti* and at the same time select the most adaptive variety-microbial systems to the conditions of the region. In this regard, three-year studies were carried out on the ecological variety testing of variable alfalfa varieties Taisiya, Agniya VIK, Pastbischnaya 88 and variety samples SGP-387 and 506 (Lyusya variety), and when inoculated with strains of nodule bacteria *Sinorhizobium meliloti* (SKhM-1-105, 415, A-1, A-5, and variant without application). It was found that among the studied varietal-microbial systems the most adapted to the conditions of the North-West region are variety 506 (Lyusya variety) inoculated with strain SKhM-1-105, capable of providing yield on average for two years of use up to 7.45 tonnes/ha dry weight, as well as Agniya VIK in combination with the same strain (7.25 tonnes/ha), strains A-1 and A-5 also provided yield increase over the control in 1.8-2.2 times. In terms of varieties, these strains can be characterised as universal.

Keywords: alfalfa, variety, varietal-microbial systems, nodule bacteria, strains, yields

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2022-2026 of KarRC RAS (No. 122031000202-1).

For citation: Kamova AI, Stepanova TV, Orlova AG. Productivity of alfalfa depending on inoculation of *Sinorhizobium meliloti* in conditions of the Republic of Karelia. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):295-308. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-295>

Введение.

В Карелии в течение многих лет основой для сенокосного использования являлся клевер луговой (*Trifolium pratense* L.). Но возделывание его ограничено малым долголетием: уже к третьему году он сильно изреживается и выпадает из травостоев, что приводит к снижению урожайности и влияет на качество получаемых кормов, обеспечивая экономические потери (Евсеева Г.В. и Смирнов С.Н., 2016; Лазарев Н.Н. и др., 2017).

Избежать дополнительных материальных затрат можно путём внедрения перспективной для республики культуры, люцерны изменчивой (Гончаров П.Л. и Лубенец П.А., 1985), на урожайность которой влияет формирование растительно-микробных симбиотических систем с клубеньковыми бактериями (ризобиями) (Румянцева М.Л. и др., 2019; Козырева М.Ю. и Басиева Л.Ж., 2020; Алферов А.А., 2020).

Сорта нового поколения данной культуры способны формировать продуктивные травостои в условиях длинного светового дня и ограниченных ресурсов тепла при повышенной кислотности почв (Донских Н.А. и Владимирова В.В., 2018; Степанова Г.В. и др., 2023). Она отличается долголетием и многоукосностью, обеспечивая хорошее качество получаемых кормов и снижение себестоимости сельскохозяйственной продукции (Донских Н.А. и Ашим Д., 2011). Также Румянцева М.Л. с соавторами (2019) в своей работе отмечает, что полученные на основе новых сортов сорто-микробные системы обладают повышенной адаптивностью, что в условиях Севера является актуальным преимуществом.

В последние годы создаются сорта нового поколения, адаптированные к местным почвенно-климатическим условиям, способные произрастать в условиях Республики Карелия (Краснова Л.И., 2007; Агротехника возделывания..., 2008; Сорта кормовых культур..., 2019; Gao R et al., 2021; Мордвинцев М.П. и Байсиитова М.С., 2022).

Наряду с подбором сортов, рекомендованных для региона, немаловажна инокуляция семян, она способствует увеличению диазотрофии, повышению адаптивных свойств, а следовательно, и увеличению урожайности зелёной массы (Баринов В.Н. и Новиков М.Н., 2021). Инокуляция семян рассматривается как один из факторов повышения продуктивности люцерны в сравнении с вариантом без инокуляции, подробно этим вопросом занимаются учёные во ВНИИСХМ (Румянцева М.Л. и др., 2019). Фиксация молекулярного азота клубеньковыми бактериями – важный процесс, обеспечивающий питание растений связанным азотом и накоплением его в почве (Атласова Л.Г., 2015).

Включение люцерны изменчивой в конвейер в полной мере отвечает принципам биологизации и технологиям ресурсосбережения (Гребенников В.Г. и др., 2019; Косолапов В.М. и др., 2022). Использование биологического азота – это единственный экологически безопасный путь снабжения растений связанным азотом, при котором исключается загрязнение нитратами почвы, водоёмов, продукции (Новиков М.Н., 2020). Кроме того, микробная азотфиксация осуществляется, главным образом, за счёт энергии солнца и позволяет избежать больших затрат энергетического сырья (Тихонович И.А. и др., 2011).

На урожайность бобовых культур, в том числе и люцерны, влияет формирование растительно-микробной симбиотической системы с клубеньковыми бактериями. Эффективность любого микробно-растительного симбиоза зависит от обоих партнёров (Тихонович И.А. и Проворов Н.А., 2009).

Исследования микробно-растительных систем с люцерной изменчивой в сложных условиях Республики Карелия ранее не проводились, изучение влияния микробных препаратов на основе клубеньковых бактерий на развитие симбиотического аппарата люцерны в задачи наших исследований не входило.

Цель исследования.

Изучение сорто-микробных систем и подбор наиболее адаптивных партнёров, учитывая особенности роста и развития люцерны в условиях северного земледелия.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. 3 сорта люцерны изменчивой (Пастбищная 88, Агния ВИК, Таисия) и 2 сортообразца СГП-387 и 506 (сейчас он упоминается как сорт Люся).

Характеристика территорий, природно-климатические условия. На участке, расположенном на базе опытных полей КарНЦ РАН в Пряжинском районе Республики Карелия, почва хорошо окультуренная, по гранулометрическому составу – среднесуглинистая, по типу – дерново-подзолистая, реакция почвенного раствора – слабокислая ($\text{pH}_{\text{сол}}=5,8$). Содержание P_2O_5 очень высокое (859 мг/кг) и K_2O – высокое (412 мг/кг). Почва участка по параметрам подходит для выращивания многолетних кормовых культур.

Полевые сезоны 2021-2023 гг. различались по тепло- и влагообеспеченности. Вегетационный период 2021 г. отмечен резким дефицитом влаги в июне и июле (на 12 и 55 мм меньше среднесезонной), на фоне температуры, превышающей среднесезонную на 7,2 и 4 °С соответственно, характеризуя месяцы как очень засушливые, что оказало влияние на всходы и формирование урожая в первый год жизни травостоя. 17 августа проведено подкашивание сорной растительности. Укос проведён 23 сентября на его формирование потребовалось 79 дней, к этому времени была накоплена сумма активных температур выше 10 °С – 1035 °С. ГТК укоса составил 1,86.

Весной 2022 г. отрастание трав началось 4 мая, при переходе среднесуточных температур через +5 °С. Для формирования первого укоса потребовалось 59 дней и 602 °С сумма активных температур выше 10 °С, ГТК укоса – 1,55. В целом 2022 г. характеризовался как теплообеспеченный и избыточно увлажнённый. Второй укос сформировался через 79 дней (19.09.2022) при высоте растений 27,2-84,1 см и наступлении фазы повторной бутонизации, для формирования второго укоса потребовалось 1159,43 °С сумма активных температур выше 10 °С. ГТК укоса, как и в 2021 году, составил 1,86.

2023 г. отмечен неравномерным распределением осадков по месяцам, с колебанием температур на фоне недостатка осадков, что характеризовало год как засушливый на начальном этапе развития растений. Отрастание началось 21 апреля, полноценный укос сформировался через 66 дней (26.06.2023) и сумме активных температур 580°С, ГТК – 0,49, второй укос – через 58 дней (24.08.2023) и сумме активных температур 976°С, ГТК – 2,3 (рис. 1).

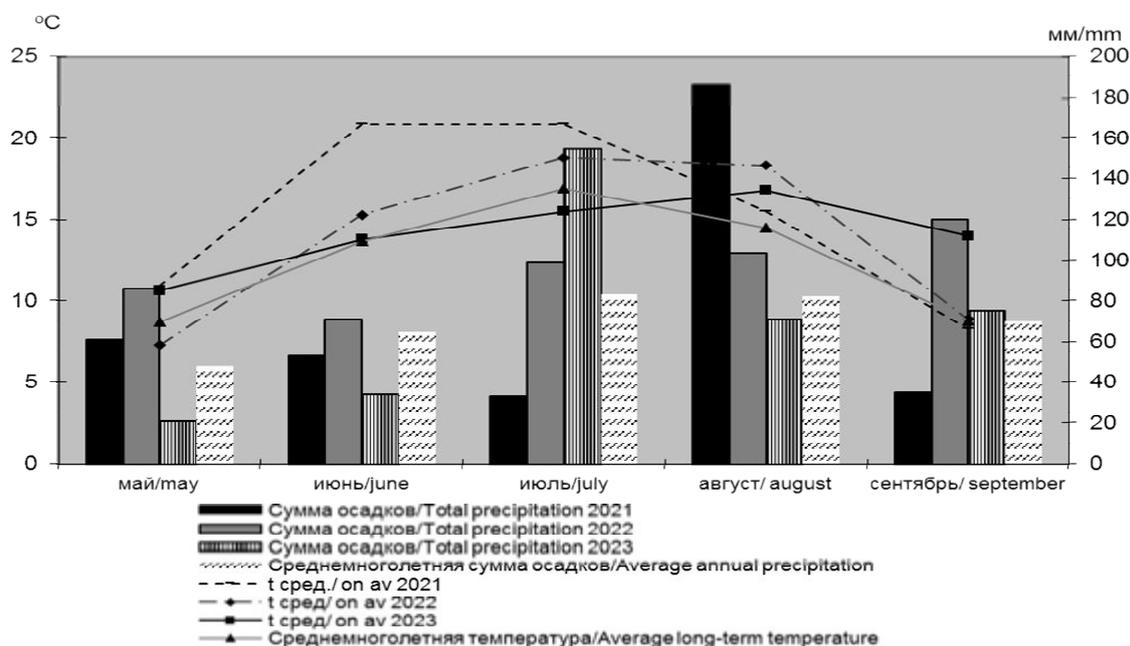


Рисунок 1. Метеорологические условия в годы исследований 2021-2023 гг.

Figure 1. Meteorological conditions during the 2021-2023 research years

Схема опыта. В Республике Карелия на базе лаборатории агротехнологий «Вилга» ФГБНУ Карельского научного центра РАН 26 июня 2021 года заложен двухфакторный полевой опыт по изучению продуктивности сортов и сортообразцов люцерны изменчивой при инокуляции семян штаммами *Sinorhizobium meliloti* для выявления лучших растительно-микробных систем (Методика государственного сортоиспытания..., 1989). Исследования проводились по методике проведения исследований с многолетними травами (Методика опытов на сенокосах и пастбищах, 1971), разработанной во ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса.

Семена люцерны предоставлены ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». В качестве контроля выбран сорт Таисия из-за его адаптивной способности к абиотическим стрессовым факторам: высокая холодостойкость, засухоустойчивость, устойчивость к переувлажнению почвы в весенний период (Степанова Г.В. и др., 2023).

Фактор В – инокуляция штаммами *Sinorhizobium meliloti*: А-1, А-5, 415, СХМ-1-105, предоставленными ФГБНУ ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии. Семена контрольных вариантов (без инокуляции) обрабатывали водой.

Площадь учётной делянки – 10 кв. м, повторность – 4-кратная, размещение вариантов – систематическое. Норма высева 2,6 млн всхожих семян на гектар, способ посева – рядовой с шириной междурядий 0,3 м. Норма расхода инокулянта – 250 мл жидкого препарата для обработки 1 гектарной нормы семян. Учёт урожайности проводили в фазу начала бутонизации со всей делянки сплошным способом. Режим использования травостоя – двуукосный, в первый год жизни проведён один укос.

Оборудование и технические средства. Исследования проведены с использованием сельскохозяйственной техники и приборной базы лаборатории агротехнологий «Вилга» и на научном оборудовании Центра коллективного пользования ФИЦ КарНЦ РАН. Потенциометр «Анион 4100» (Россия), спектрофотометр «СФ-2000» (Россия), атомно-абсорбционный спектрофотометр «АА-7000» (Shimadzu, Япония).

Статистическая обработка. Обработка полученных экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа (Доспехов Б.А., 1985) и с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США).

Результаты исследования.

Побегообразовательная способность напрямую влияет на урожайность и продуктивность травостоев и находится в прямой зависимости от климатических, почвенных условий выращиваемого сорта люцерны изменчивой, а также от инокуляции (рис. 2). В течение трёх лет исследований наблюдали увеличение побегообразовательной способности люцерны изменчивой от первого года к третьему.

Недостаток влаги в июне и июле 2021 г. оказал влияние на всхожесть и образование побегов. В первый год жизни количество побегов варьировало от 120 шт./м² сорт Агния ВИК в сочетании с производственным штаммом 415 до 336 шт./м² сортообразец 506 (сорт Люся), обработанный штаммом А-1. Практически со всеми штаммами (кроме А-5), включая контрольный вариант, сорт Агния ВИК формировал минимальное количество побегов в 2021 году, от 120 до 184 шт./м².

В 2022 году, на второй год жизни растений, плотность травостоев варьировала от 106 шт./м² (Агния ВИК+415 штамм) и до 247 шт./м² (сортообразец 506 (сорт Люся)+штамм А-5). Плотность травостоев сортообразца 506 (сорт Люся) при обработке штаммом А-1 была на 12 % меньше, чем при обработке штаммом А-5.

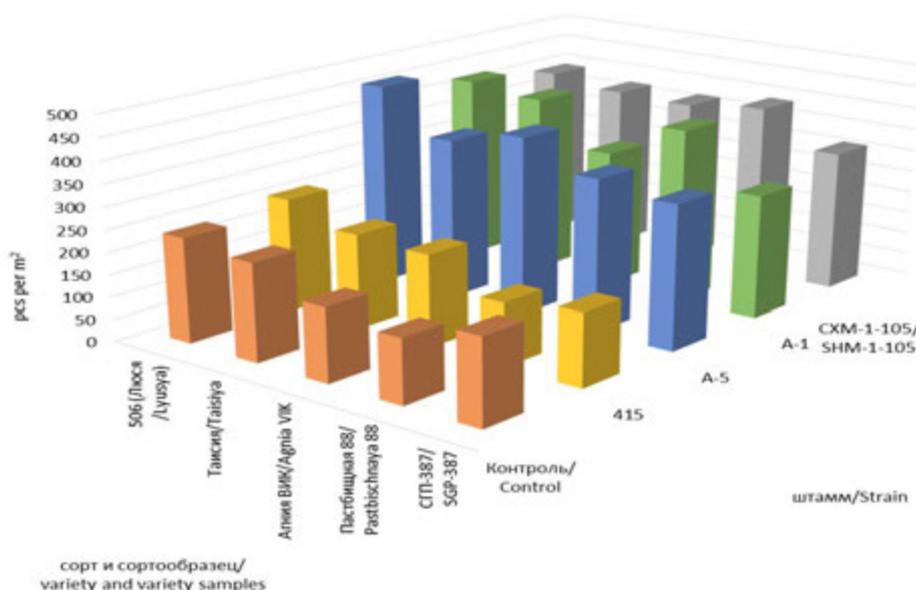


Рисунок 2. Плотность травостоев люцерны изменчивой (в среднем за 2022-2023), шт./м²
Figure 2. Density of alfalfa grass stands (average for 2022-2023), pcs. per m²

Поздняя уборка трав в 2022 году повлияла на отрастание и дальнейшее развитие травостоев третьего года жизни растений в 2023 году. Вариация количества побегов составила от 348 шт./м² (сорто-микробная система сорт Пастбищная 88+производственный штамм 415) до 1352 шт./м² (сортообразец 506 (сорт Люся)+штамм А-5). Как и в 2022 г. побегообразовательная способность сортообразца 506 (сорт Люся) при обработке штаммом А-1 отставал по количеству побегов по сравнению с вариантом при обработке штаммом А-5.

Таким образом, стоит отметить, что за три года жизни люцерны наиболее высокие показатели плотности травостоев отмечали у сорто-микробных систем сортообразца 506 (сорт Люся) со штаммами А-1 и А-5.

Скорость роста растений отражает конкурентоспособность трав в агроценозе (рис. 3). В 2021 году, в год посева трав, высота травостоев варьировала от 12,5 см (сорт Пастбищная 88+штамм 415) до 40,4 см (сортообразец 506 (сорт Люся)+штамм А-1). Инокуляция семян штаммом А-1 оказала положительное влияние на скорость роста растений в первый год жизни на всех изучаемых сортах люцерны и сортообразцах (кроме сорта Агния ВИК) – высота растений варьировала от 24,8 до 40,4 см.

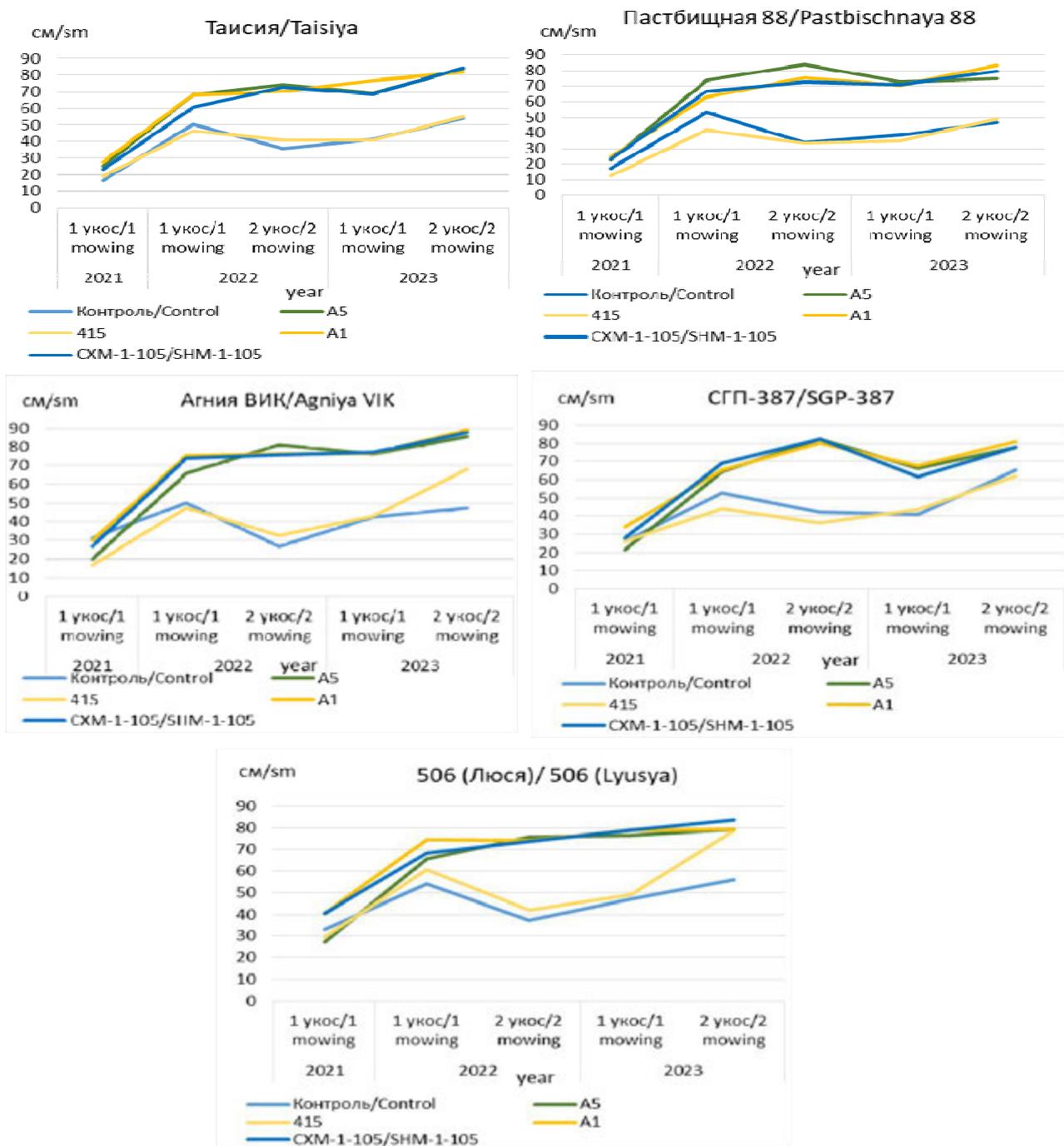


Рисунок 3. Высота растений люцерны изменчивой различных сортов и сортообразцов в 2021-2023 гг.

Figure 3. The height of alfalfa plants of various varieties and varietals in 2021-2023

В 2022 году максимальные ростовые показатели отмечены при инокуляции штаммами А-5 и А-1, минимальные – штаммом 415 и в контроле. Подобная тенденция сохранилась на протяжении следующего года. При этом растения люцерны в вариантах инокуляции семян штаммом СХМ-1-105 догнали растения в вариантах со штаммами А-1 и А-5 на третий год жизни по высоте травостоя.

Как и максимальные значения плотности, так и максимальные значения высоты травостоев в течение всего периода исследований обеспечила инокуляция семян штаммами А-1 и А-5.

В процессе исследований оценивали влияние инокуляции клубеньковыми бактериями на способность растений люцерны противостоять заселению агрофитоценоза сорной растительностью. Анализ видового состава травостоев показывает адаптированность и устойчивость изучаемых видов к данным экологическим условиям (рис. 4).

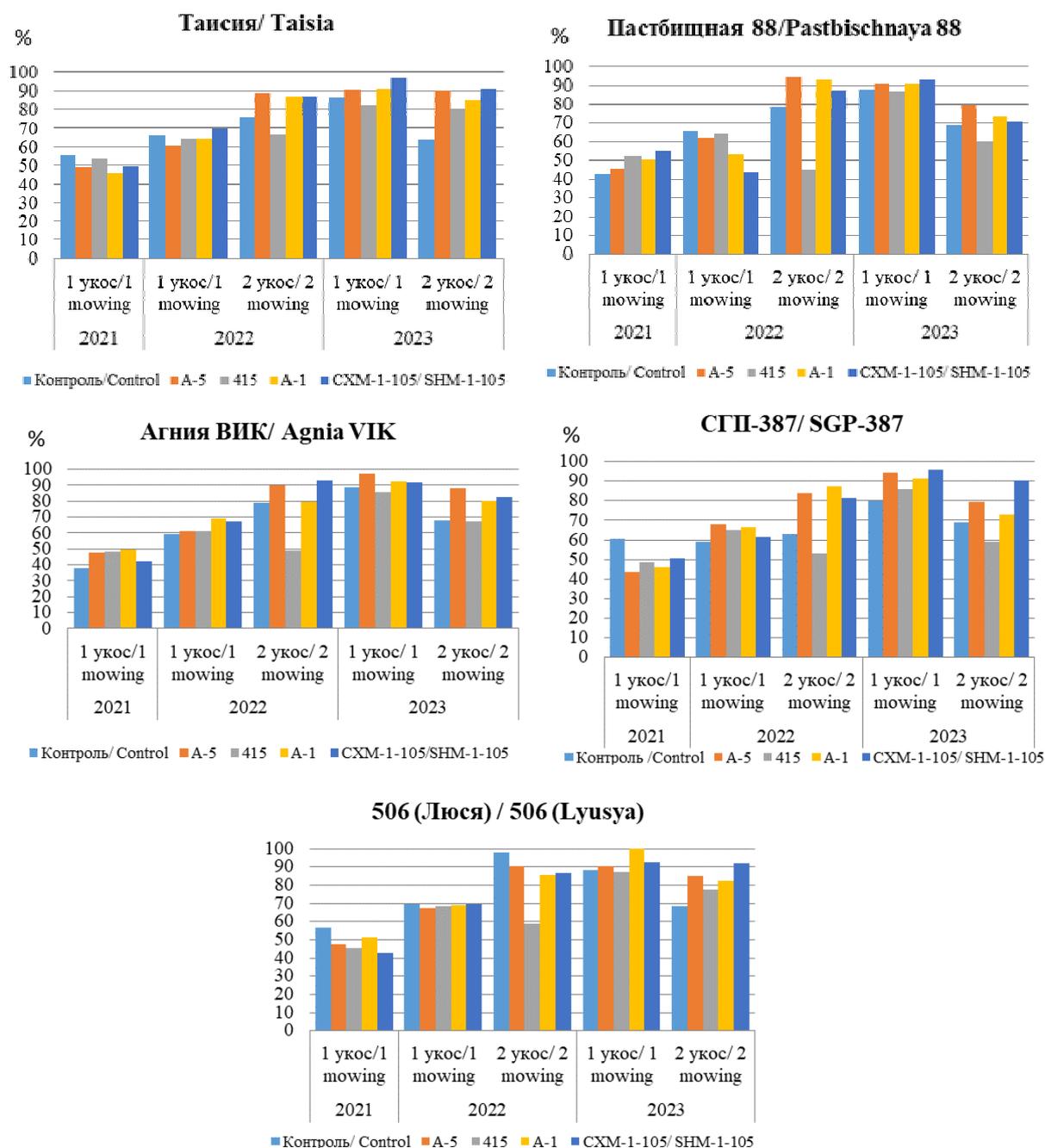


Рисунок 4. Долевое содержание люцерны изменчивой различных сортов и сортообразцов в урожае в 2021-2023 гг.

Figure 4. The proportion of alfalfa of variable varieties and varietal types in the harvest in 2021-2023

Продолжение таблицы 1									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А-5	Таисия / <i>Taisiya</i>	1,2	1,5	3,2	4,8	3,1	6,4	9,5	7,1
	Агния ВИК / <i>Agniya VIK</i>	1,2	1,6	3,0	4,6	2,7	6,0	8,7	6,7
	Пастбищная 88 / <i>Pastbischnaya 88</i>	1,1	2,4	2,2	4,6	3,0	6,9	9,9	7,2
	СГП-387 / <i>SGP-387</i>	1,0	1,4	2,9	4,2	2,5	6,6	9,1	6,7
	506 (Люся) / <i>506 (Lusyа)</i>	1,0	1,7	3,0	4,7	2,8	6,0	8,7	6,7
415	Таисия / <i>Taisiya</i>	1,3	1,0	0,9	1,9	1,3	3,0	4,3	3,1
	Агния ВИК / <i>Agniya VIK</i>	0,9	0,9	0,9	1,8	1,7	2,5	4,2	3,0
	Пастбищная 88 / <i>Pastbischnaya 88</i>	1,2	0,9	1,3	2,2	1,8	3,0	4,8	3,5
	СГП-387 / <i>SGP-387</i>	1,2	1,7	1,1	2,8	1,3	3,5	4,7	3,8
	506 (Люся) / <i>506 (Lusyа)</i>	1,2	0,8	1,3	2,2	2,0	4,8	6,7	4,4
А-1	Таисия / <i>Taisiya</i>	1,0	1,1	2,2	3,3	3,2	6,6	9,8	6,6
	Агния ВИК / <i>Agniya VIK</i>	1,1	1,6	1,8	3,4	2,8	5,3	8,1	5,7
	Пастбищная 88 / <i>Pastbischnaya 88</i>	1,1	2,0	3,2	5,3	3,7	5,5	9,2	7,2
	СГП-387 / <i>SGP-387</i>	1,1	1,9	2,0	3,9	2,5	5,1	7,6	5,8
	506 (Люся) / <i>506 (Lusyа)</i>	1,4	2,3	2,8	5,2	3,8	5,4	9,2	7,2
СХМ-1-105 / SHM-1-105	Таисия / <i>Taisiya</i>	1,0	1,2	2,3	3,6	3,0	6,0	9,0	6,3
	Агния ВИК / <i>Agniya VIK</i>	0,9	1,6	1,6	3,3	2,6	6,0	8,6	5,9
	Пастбищная 88 / <i>Pastbischnaya 88</i>	1,1	2,3	2,4	4,6	4,0	5,9	9,9	7,3
	СГП-387 / <i>SGP-387</i>	0,9	1,8	1,9	3,8	2,1	5,0	7,1	5,4
	506 (Люся) / <i>506 (Lusyа)</i>	1,2	1,8	2,9	4,6	3,8	6,4	10,3	7,5
	НСР ₀₅	0,4	1,0	0,9	1,5	1,1	1,8	2,3	0,8
	НСР _{А и АВ}	0,2	0,5	0,4	0,7	0,5	0,8	1,0	0,4

Обсуждение полученных результатов.

Проведённые исследования показали, что среди испытываемых сортов и сортообразцов наиболее продуктивным себя показал сортообразец 506 (Люся), что подтверждает данные о потенциале сорта (Степанова Г.В. и др., 2023).

Различия в увеличении урожайности при инокуляции семян разными штаммами клубеньковых бактерий доказывают избирательность сортов люцерны изменчивой и их положительную реакцию на инокуляцию по ряду хозяйственно полезных признаков (Тихонович И.А. и Проворов Н.А., 2009; (Румянцева М.Л. и др., 2019). Однако, 415 производственный штамм в исследованиях не обеспечил прибавок, подобная тенденция отмечена и в работе Рапиной О.Г. (2019). Что объясняется снижением эффективности и генетической стабильности штамма с годами (Проворов и др., 2002; Arrighi JF et al., 2006; Тихонович И.А. и Проворов Н.А., 2008).

Заключение.

В южных районах Республики Карелия люцерна изменчивая может успешно произрастать и формировать продуктивные фитоценозы, обеспечивающие урожайность в среднем за два года до 7,45 т/га сухой массы. По итогам трёхгодичных исследований было выявлено, что наиболее продуктивными в условиях Республики Карелия являются растительно-микробные системы: сортообразец 506 (сорт Люся) и сорт Агния ВИК при инокуляции семян штаммом СХМ-1-105, (7,5 и 7,3 т/га соответственно). Штаммы клубеньковых бактерий А-1 и А-5 являются универсальными, так как инокуляция семян изучаемых сортов и сортообразцов привела к увеличению урожайности сухой массы более чем в 1,8-2,2 раза по сравнению с контрольным вариантом.

Список источников

1. Агрономические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия / В.М. Косолапов, А.С. Цыгуткин, Н.В. Алдошин, Н.А. Лылин // Кормопроизводство. 2022. № 3. С. 41-47. [Kosolapov VM, Tsygutkin AS, Aldoshin NV, Lylin NA. Mechanized agronomy as means for arable farming biologization. *Kormoproizvodstvo*. 2022;3:41-47. (*In Russ.*)]. doi: 10.25685/krm.2022.3.2022.007
2. Агротехника возделывания сортов люцерны селекции ВНИИ кормов им. В. Р. Вильямса на семенные и кормовые цели. (Рекомендации). М.: ФГУ РЦСК, 2008. 39 с. [Agrotehnika vozdelevaniya sortov ljucerny selekcii VNIИ kormov im. V.R. Vil'jamsa na semennye i kormovye celi. (Rekomendacii). Moscow: FGU RČSK; 2008:39 p. (*In Russ.*)].
3. Алферов А.А. Ассоциативный азот, урожай и устойчивость агроэкосистемы. М.: РАН, 2020. 184 с. [Alferov AA. Associativnyj azot, urozhaj i ustojchivost' agrojekosistemy. Moscow: RAN; 2020:184 p. (*In Russ.*)]. doi: 10.25680/VNIIA.2019.21.92.152
4. Атласова Л.Г. Симбиотическая деятельность клубеньковых бактерий *Medicago falcata* L. в условиях Центральной Якутии // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 5. С. 77-80. [Atlasova LG. Symbiotic activity of *Medicago falcata* L. root nodule in the conditions of Central Yakutia. *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(5):77-80. (*In Russ.*)].
5. Баринов В.Н., Новиков М.Н. Биологические приемы оптимизации минерального питания и развития козлятника восточного на легких почвах нечерноземной зоны // Агрехимия. 2021. № 9. С. 45-49. [Barinov VN, Novikov MN. Biological methods of optimization of mineral nutrition and development of eastern goat on light soils of the non-chernozem zone. *Agrohimiya*. 2021;9:45-49. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S0002188121090040
6. 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. Веcker, Б.В. Симаров // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54. № 6. С. 1306-1323. [Roumiantseva ML, Vladimirova ME, Muntyan VS, Stepanova GV, Saksaganskaya AS, Kozhemyakov AP, Orlova AG, Becker A, Simarov BV. Highly effective root nodule inoculants of alfalfa (*Medicago varia* L.): molecular-genetic analysis and practical usage in cultivar creation. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*. 2019;54(6):1306-1323. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/Agrobiology.2019.6.1306rus doi: 10.15389/agrobiology.2019.6.1306eng

7. Гончаров П.Л., Лубенец П.А. Биологические аспекты возделывания люцерны. Новосибирск: Наука: Сиб. отд-ние, 1985. 255 с. [Goncharov PL, Lubenets PA. Biologicheskie aspekty vozdel'nyvanija ljucerny. Novosibirsk: Nauka: Sib. otd-nie; 1985:255 p. (*In Russ.*)].
8. Гребенников В.Г., Шипилов И.А., Хонина О.В. Энергосберегающая технология выращивания многолетних трав на деградированных каштановых почвах сухостепной зоны // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 2. С. 163-173. [Grebennikov VG, Shipilov IA, Honina OV. Energy-saving technology of growing perennial herbs on degraded chestnut soils of dry steppe zone. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(2):163-173. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-2-163
9. Донских Н.А., Ашим Д. Кормовая ценность бобовых видов при посеве их в чистом виде и в смеси со злаками // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2011. № 24. С. 14-16. [Donskikh NA, Ashim D. Kormovaja cennost' bobovyh vidov pri poseve ih v chistom vide i v smesi so zlakami. Izvestiya Sankt Petersburg State Agrarian University. 2011;24:14-16. (*In Russ.*)].
10. Донских Н.А., Владимирова В.В. Устойчивость разных сортов люцерны изменчивой в условиях Ленинградской области // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сб. науч. тр. СПб.: СПбГАУ, 2018. Ч. I. С. 11-15. [Donskikh NA, Vladimirova VV. Ustojchivost' raznyh sortov ljucerny izmenchivoj v uslovijah Leningradskoj oblasti. Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v uslovijah importozameshhenija: sb. nauch. tr. Sankt- Petersburg: SPbGAU. 2018;1:11-15. (*In Russ.*)].
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospikhov BA. Metodika polevogo opyta: (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij). 5-e izd., dop. i prererab. Moscow: Agropromizdat; 1985:351 p. (*In Russ.*)].
12. Евсеева Г.В., Смирнов С.Н. Многолетние травы - основа кормопроизводства Карелии. Петрозаводск: Карельская гос. с.-х. опытная станция, 2016. 77 с. [Evseeva GV, Smirnov SN. Mnogoletnie travy - osnova kormoproizvodstva Karelii. Petrozavodsk: Karel'skaja gos. s.-h. opytная stancija; 2016:77 p. (*In Russ.*)].
13. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений / И.А. Тихонович, А.А. Завалин, Г.Г. Благовещенская, А.П. Кожемяков // Плодородие. 2011. № 3(60). С. 9-13. [Tikhonovich IA, Zavalin AA, Blagoveshchenskaya GG, Kozhemyakov AP. The use of biopreparation - an additional source of power plants. Plodorodie. 2011;3(60):9-13. (*In Russ.*)].
14. Козырева М.Ю., Басиева Л.Ж. Формирование симбиотического аппарата люцерны в зависимости от типа азотного питания // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15, № 1. С. 10-16. [Kozyreva MYu, Basieva LZh. Formation of a symbiotic apparatus of alfalfa depending on the nitrogen nutrition type. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2020;15(1):10-16. (*In Russ.*)]. doi: 10.12737/2073-0462-2020-10-16
15. Краснова Л.И. Частная селекция и первичное семеноводство полевых культур в условиях степного и лесостепного Приуралья: учеб. пособие. Оренбург: Изд. Центр ОГАУ, 2007. 219 с. [Krasnova LI. Chastnaja selekcija i pervichnoe semenovodstvo polevyh kul'tur v uslovijah stepnogo i lesostepnogo Priural'ja: ucheb. posobie. Orenburg: Izd. Centr OGAU; 2007:219 p. (*In Russ.*)].
16. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2: Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / подгот. М.А. Федин и др. М., 1989. 194 с. [Fedin MA, et al. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skhozajstvennyh kul'tur. Vyp. 2: Zernovye, krupjanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury. Moscow; 1989:194 p. (*In Russ.*)].
17. Методика опытов на сенокосах и пастбищах / подгот. В.Г. Игловиков и др. М., 1971. Ч. 1. 232 с. [Igl'ovikov VG, et al. Metodika opytov na senokosah i pastbishhah. Moscow. 1971;1:232 p. (*In Russ.*)].
18. Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография / В.М. Косолапов, В.А. Чуйков, Х.К. Худякова, В.Г. Косолапова. М.: ООО «Угрешская типография», 2019. 272 с. [Kosolapov VM, Chuikov VA, Khudyakova HK, Kosolapova VG. Mineral'nye jelementy v kormah

i metody ih analiza: monografija. Moscow: ООО «Ugreshskaja tipografija»; 2019:272 p. (*In Russ.*]). doi: 10.33814/monography_1654

19. Многолетние бобовые травы в Нечерноземье: монография / Н.Н. Лазарев, А.Д. Прудников, Е.М. Куренкова, А.М. Стародубцева. Иркутск: ООО «Мегапринт», 2017. 263 с. [Lazarev NN, Prudnikov AD, Kurenkova EM, Starodubceva AM. Mnogoletnie bobovye travy v Nechernozem'e: monografija. Irkutsk: ООО «Мегапринт»; 2017:263 p. (*In Russ.*)].

20. Мордвинцев М.П., Байсиитова М.С. Сортовой состав и сортовые качества семян яровых зерновых культур в растениеводстве Адамовского района Оренбургской области и их динамика // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 232-245. [Mordvintsev MP, Baysiitova MS. Varietal composition and varietal qualities of spring cereal seeds and their dynamics in crop production of Adamovsky district, Orenburg region. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):232-245. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-232

21. Новиков М.Н. Биологические приемы эффективного использования азота почвы, удобрений, симбиотической азотфиксации в полевых агроценозах // Агрохимия. 2020. № 8. С. 60-69. [Novikov MN. Biological methods of effective use of nitrogen of soil, fertilizers, symbiotic fixation in field agrocenoses. Agrohimia. 2020;8:60-69. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S0002188120080086

22. Проворов Н.А., Борисов А.Ю., Тихонович И.А., Сравнительная генетика и эволюционная морфология симбиозов растений с микробами-азот-фиксаторами и эндомикоризными грибами // Журнал общей биологии. 2002. Т. 63. № 6. С. 451-472. [Provorov NA, Borisov AYu, Tikhonovich IA. Comparative genetics and evolutionary morphology of symbiosis formed by plants with nitrogen-fixing microbes and endomycorrhizal fungi. Journal of General Biology. 2002;63(6):451-472. (*In Russ.*)].

23. Рапина О.Г. Влияние инокуляции семян перспективными штаммами клубеньковых бактерий (*Sinorhizobium meliloti*) на продуктивность люцерны изменчивой в условиях Ленинградской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург, Пушкин, 2019. 20 с. [Rapina OG. Vlijanie inokuljacii semjan perspektivnymi shtammami kluben'kovyh bakterij (*Sinorhizobium meliloti*) na produktivnost' ljucerny izmenchivoj v uslovijah Leningradskoj oblasti: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. Sankt-Peterburg, Pushkin, 2019:20 p. (*In Russ.*)].

24. Сорты кормовых культур селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса»: монография / ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса». М.: ООО «Угрешская Типография», 2019. 92 с. [FNC «VIK im. V. R. Vil'jamsa». Sorta kormovyh kul'tur selekcii FGBNU «Federal'nyj nauchnyj centr kormoproizvodstva i agrojekologii imeni V.R. Vil'jamsa»: monografija. Moscow: ООО «Ugreshskaja Tipografija»; 2019:92 p. (*In Russ.*)].

25. Сорты люцерны для северных регионов возделывания / Г.В. Степанова, А.А. Ионов, Н.М. Барсуков, А.В. Пьянков // Кормопроизводство. 2023. № 11. С. 32-36. [Stepanova GV, Ionov AA, Barsukov NM, Pyankov AV. Cultivating alfalfa varieties in northern regions. Kormoproizvodstvo. 2023;11:32-36. (*In Russ.*)].

26. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2009. 209 с. [Tikhonovich IA, Provorov NA. Simbiozy rastenij i mikroorganizmov: molekularnaja genetika agrosistem budushhego. Sankt-Petersburg: Izd-vo Sankt-Peterb. un-ta; 2009:209 p. (*In Russ.*)].

27. Arrighi JF, Barre A, Ben Amor B, et al. The Medicago truncatula lysin motif-receptor-like kinase gene family includes NFP and new nodule-expressed genes. Plant Physiol. 2006;142(1): 265-279. doi: 10.1104/pp.106.084657

28. Gao R, Wang B, Jia T, Luo Y, Yu Z. Effects of different carbohydrates our ceson alfalfa silage quality at differenten siling days. Agriculture. 2021;11(1):58. doi: 10.3390/agriculture11010058

References

1. Kosolapov VM, Tsygutkin AS, Aldoshin NV, Lylin NA. Mechanized agronomy as means for arable farming biologization. Fodder Production. 2022;3:41-47. doi: 10.25685/krm.2022.3.2022.007

2. Agrotechnics of alfalfa cultivation of alfalfa varieties selected by All-Russian Research Institute of Forages named after P. Williams for seed and fodder purposes. (Recommendations). Moscow: FGU RCSK; 2008:39 p.
3. Alferov AA. Associative nitrogen, yield and agroecosystem resistance. Moscow: RAS; 2020:184 p. doi: 10.25680/VNIIA.2019.21.92.152
4. Atlasova LG. Symbiotic activity of *Medicago falcata* L. root nodule in the conditions of Central Yakutia. Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2015;17(5):77-80.
5. Barinov VN, Novikov MN. Biological methods of optimization of mineral nutrition and development of eastern goat on light soils of the non-black-soil zone. Agrochemistry. 2021;9:45-49. doi: 10.31857/S0002188121090040
6. Roumiantseva ML, Vladimirova ME, Muntyan VS, Stepanova GV, Saksaganskaya AS, Kozhemyakov AP, Orlova AG, Becker A, Simarov BV. Highly effective root nodule inoculants of alfalfa (*Medicago varia* L.): molecular-genetic analysis and practical usage in cultivar creation. Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]. 2019;54(6):1306-1323. doi: 10.15389/Agrobiology.2019.6.1306rus doi: 10.15389/agrobiology.2019.6.1306eng
7. Goncharov PL, Lubenets PA. Biological aspects of alfalfa cultivation. Novosibirsk: Nauka: Sib. department; 1985:255 p.
8. Grebennikov VG, Shipilov IA, Honina OV. Energy-saving technology of growing perennial herbs on degraded chestnut soils of dry steppe zone. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(2):163-173. doi: 10.33284/2658-3135-102-2-163
9. Donskikh NA, Ashim D. Fodder value of legume species when sown pure and mixed with cereals. Izvestiya Sankt Petersburg State Agrarian University. 2011;24:14-16.
10. Donskikh NA, Vladimirova VV. Stability of different varieties of alfalfa in the conditions of the Leningrad region. Scientific support of agroindustrial complex development in the conditions of import substitution: collection of scientific articles SPb. St-Petersburg: SPbSAU. 2018;1:11-15.
11. Dospekhov BA. Methodology of field experiment: (with the basics of statistical processing of research results). 5th edition, supplement and revision. Moscow: Agropromizdat; 1985:351 p.
12. Evseeva GV, Smirnov SN. Perennial grasses - the basis of fodder production in Karelia. Petrozavodsk: Karelian State Agricultural Experimental Station; 2016: 77 p.
13. Tikhonovich IA, Zavalin AA, Blagoveshchenskaya GG, Kozhemyakov AP. The use of biopreparation - an additional source of power plants. Fertility. 2011;3(60):9-13.
14. Kozyreva MYu, Basieva LZh. Formation of a symbiotic apparatus of alfalfa depending on the nitrogen nutrition type. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2020;15(1):10-16. doi: 10.12737/2073-0462-2020-10-16
15. Krasnova LI. Private selection and primary seed production of field crops in conditions of steppe and forest-steppe Urals: textbook. Orenburg: Publishing Centre OSAU; 2007:219 p.
16. Fedin MA, et al. Methodology of state varietal testing of agricultural crops. Issue. 2: Cereals, legumes, maize and forage crops. Moscow; 1989:194 p.
17. Iglovikov VG, et al. Methods of experiments on hayfields and pastures. Moscow. 1971;1:232 p.
18. Kosolapov VM, Chuikov VA, Khudyakova HK, Kosolapova VG. Mineral elements in forages and methods of their analysis: monograph. Moscow: «Ugreshskaja tipografija» Ltd.; 2019:272 p. doi: 10.33814/monography_1654
19. Lazarev NN, Prudnikov AD, Kurenkova EM, Starodubceva AM. Perennial leguminous grasses in the Non-Black-Soil Region: a monograph. Irkutsk: OOO «Megaprint»; 2017:263 p.
20. Mordvintsev MP, Baysiitova MS. Varietal composition and varietal qualities of spring cereal seeds and their dynamics in crop production of Adamovsky district, Orenburg region. Animal Husbandry and Fodder Production. 2022;105(4):232-245. doi: 10.33284/2658-3135-105-4-232

21. Novikov MN. Biological methods of effective use of nitrogen of soil, fertilizers, symbiotic fixation in field agrocenoses. *Agrochemistry*. 2020;8:60-69. doi: 10.31857/S0002188120080086
22. Provorov NA, Borisov Alu, Tikhonovich IA. Comparative genetics and evolutionary morphology of symbiosis formed by plants with nitrogen-fixing microbes and endomycorrhizal fungi. *Journal of General Biology*. 2002;63(6):451-472.
23. Rapina OG. Effect of seed inoculation with promising strains of nodule bacteria (*Sinorhizobium meliloti*) on the productivity of alfalfa variegated in the conditions of the Leningrad region: diss. abstract ... Candidate of Agricultural Sciences. Sankt-Peterburg, Pushkin, 2019:20 p.
24. Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology. Varieties of forage crops selected by Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology: a monograph. Moscow: «Ugreshskaja Tipografija» Ltd.; 2019:92 p.
25. Stepanova GV, Ionov AA, Barsukov NM, Pyankov AV. Cultivating alfalfa varieties in northern regions. *Fodder Production*. 2023;11:32-36.
26. Tikhonovich IA, Provorov NA. Plant-microorganism symbioses: molecular genetics of agro-systems of the future. St.-Petersburg: Publishing House of St.-Peterb. University; 2009:209 p.
27. Arrighi JF, Barre A, Ben Amor B, et al. The *Medicago truncatula* lysin motif-receptor-like kinase gene family includes NFP and new nodule-expressed genes. *Plant Physiol*. 2006;142(1): 265-279. doi: 10.1104/pp.106.084657
28. Gao R, Wang B, Jia T, Luo Y, Yu Z. Effects of different carbohydrates our ceson alfalfa silage quality at differenten siling days. *Agriculture*. 2021;11(1):58. doi: 10.3390/agriculture11010058

Информация об авторах:

Александра Игоревна Камова, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН), Лаборатория агротехнологий "Вилга", 185011, Россия, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинска, д. 11, тел.: +79602165106.

Татьяна Валерьевна Степанова кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (СПбГАУ), 196601, Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2А, тел.: +79213460961.

Анна Георгиевна Орлова кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (СПбГАУ), 196601, Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2А, тел.: +7911825493.

Information about the authors:

Alexandra I Kamova, Junior Researcher, Federal State Budgetary Institution Karelian Research Center Laboratory of Agricultural Technologies "Vilga" Russia, Republic of Karelia, Petrozavodsk, 11 Pushkinska Street, 185011, tel.: +79602165106.

Tatyana V Stepanova, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg State Agrarian University, Russia, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Ave., 2A, 196601, tel.: +79213460961.

Anna G Orlova, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg State Agrarian University, Russia, St. Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe Ave., 2A, 196601, tel.: +7911825493

Статья поступила в редакцию 11.10.2024; одобрена после рецензирования 06.12.2024; принята к публикации 16.12.2024.

The article was submitted 11.10.2024; approved after reviewing 06.12.2024; accepted for publication 16.12.2024.