

УДК 633.322/.2: 631.531

**ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИДОВ МНОГОЛЕТНИХ
МЯТЛИКОВЫХ ТРАВ (*Poaceae*) С КЛЕВЕРОМ ПОЛЗУЧИМ
(*Trifolium repens* L.) В СМЕШАННЫХ АГРОФИТОЦЕНОЗАХ
В КОНТЕКСТЕ БИОЛОГИЗАЦИИ СЕМЕНОВОДСТВА**

В.Н. Золотарев, кандидат сельскохозяйственных наук

ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»

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

vnii.kormov@yandex.ru

**TO ASSESS THE INTERACTION OF THE SPECIES OF PERENNIAL
BLUEGRASS GRASS (*Poaceae*) WITH WHITE CLOVER
(*Trifolium repens* L.) IN MIXED AGROPHYTOCENOSES
IN THE CONTEXT OF SEED BIOLOGIZATION**

V.N. Zolotarev, Candidate of Agricultural Sciences

Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology

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

vnii.kormov@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2020-4-46-66>

Потребление азота является одним из наиболее важных факторов и необходимых условий для роста и развития растений. Вклад от биологической фиксации N₂ бобовыми культурами в травосмесях может уменьшить или полностью заменить потребность в промышленных азотных удобрениях многолетних мятликовых трав. При возделывании клевера ползучего в травосмесях чистый прирост азота в экосистему из атмосферы за вегетационный сезон в результате биологической фиксации может варьировать от 100 до 300 кг/га и более, что по прибавке урожайности на злаковом травостое эквивалентно внесению минеральных азотных удобрений в дозах от 150 до 350 кг/га. Виды и сорта многолетних трав обладают разной конкурентоспособностью и компонентарностью при их совместном возделывании в смешанных посевах. Использование мятликовых трав для создания менее полегающих травостоев позволяет повысить сборы семян клевера ползучего. При возделывании клевера ползучего в травосмесях отмечалось снижение биологической урожайности семян по сравнению с одновидовым посевом на 15–38% вследствие уменьшения количества генеративных органов. Однако потери семян при уборке снизились, в зависимости от вида сопутствующей злаковой культуры и способа уборки, до 9–23%. Минимальными они были в смешанных посевах клевера с райграсом пастбищным и овсяницей тростниковой и составили соответственно 9–11% и 12–13% от биологической урожайности семян. С травостоев второго года пользования без использования азотных удобрений наиболее высокие сборы семян были получены с посевов райграса пастбищного, овсяницы тростниковой и овсяницы луговой: 761, 402 и 373 кг/га соответственно. Наряду с видами злаковых компонентов характер взаимодействия растений в травосмесях, их реакция на антропогенные стрессы зависят и от генотипов сортов клевера ползучего. Сравнительная оценка эффективности возделывания сортов клевера ползучего в смеси

с овсяницей тростниковой показала, что наиболее высокий сбор семян бобовой культуры, 188 кг/га, с травостоев первого года пользования обеспечил сорт Луговик сенокосно-пастбищного типа — на 36–68% больше по сравнению с травосмесями сорта Волат разновидности *f. giganteum* и ВИК 70 разновидности *f. hollandicum* пастбищного назначения.

Ключевые слова: клевер ползучий, многолетние мятликовые травы, травосмеси, биологический азот, семеноводство, урожайность, семена.

Nitrogen consumption is one of the most important factors and necessary conditions for plant growth and development. The contribution from the biological fixation of N₂ by legumes in grass mixtures can reduce or completely replace the need for industrial nitrogen fertilizers for perennial bluegrass grasses. When white clover is cultivated in grass mixtures, the net nitrogen gain to the ecosystem from the atmosphere during the growing season as a result of biological fixation can vary from 100 to 300 kg/ha or more. This is equivalent in effect to the application of mineral nitrogen fertilizers on grass in doses from 150 to 350 kg/ha. Types and varieties of perennial grasses have different competitiveness and complementarity when they are jointly cultivated in mixed crops. The use of grasses to create less lying grass stands allows you to increase the collection of white clover seeds. When cultivating white clover in grass mixtures, there was a decrease in the biological yield of seeds compared to mono-crop by 15–38% due to a decrease in the number of generative shoots. However, seed losses during harvesting decreased by up to 9–23% depending on the type of accompanying cereal crop and the method of harvesting. They were minimal in mixed crops of clover with pasture ryegrass or reed fescue and accounted for 9–11% and 12–13% of the biological yield of seeds, respectively. The highest seed collections were obtained from grass stands of the second year of use without the use of nitrogen fertilizers from crops of pasture ryegrass, reed fescue and meadow fescue: 761, 402 and 373 kg/ha, respectively. Along with the types of cereal components, the nature of plant interaction in grass mixtures and their response to anthropogenic stresses also depend on the genotypes of white clover varieties. A comparative assessment of the effectiveness of cultivating clover varieties mixed with reed fescue showed that the highest collection of legume seeds 188 kg/ha from grass stands of the first year of use was provided by the 'Lugovik' variety – 36–68% more than with grass mixtures of the cv. 'Volat' variety *f. giganteum* and cv. 'VIK 70' of the *f. hollandicum* variety.

Keywords: white clover, perennial bluegrass grasses, grass mixtures, biological nitrogen, seed production, yield, seeds.

Возрастающие потребности животноводства в высокобелковых и энергонасыщенных кормах, из года в год увеличивающиеся темпы деградации плодородного слоя почв под давлением антропогенных и техногенных факторов, с одной стороны, и зонально-региональное устройство сельскохозяйственной территории Российской Федерации, наличие огромных земельных угодий с дестабилизированной экологической средой, а также необходимость создания малоэнергоёмких технологий — с другой [1], требуют смены приоритетов не только в стратегии использования кор-

мовых культур, но и ориентации семеноводства многолетних трав на хозяйственную мобилизацию природных ресурсов среды и формирование агрофитоценозов, устойчивых к комплексу абиотического, биотического и эксплуатационного стресса.

В этой связи одним из перспективных направлений повышения эффективности возделывания многолетних трав на семена, предусматривающего снижение затрат при одновременной экологизации производства — хозяйственное использование симбиотического азота бобовых культур.

С ростом интереса к органическому сельскому хозяйству возможность использования биологического азота бобовых растений в кормопроизводстве можно рассматривать как альтернативу стандартному производству на основе интенсивных технологий с широким применением средств химизации. В странах Западной Европы, характеризующихся высоким уровнем интенсификации и достигнутыми показателями производства продукции сельского хозяйства, для обеспечения молочного животноводства качественными объемистыми кормами практикуется широкое применение достаточно высоких доз минеральных удобрений, в первую очередь азотных. Однако в последние десятилетия в связи с ростом стоимости ресурсов, а также экологических требований, обусловленных риском непроизводительных потерь минерального азота из удобрений через выщелачивание из корнеобитаемого слоя почвы и возможного загрязнения ими окружающей среды, все большее внимание уделяется разработке технологий возделывания культур на основе повышения эффективности использования биологического азота бобовых многолетних трав. Бобовые культуры обладают многочисленными ценными свойствами, которые могут давать положительный эффект на различных стадиях производства в системе «почва – растение – животное – атмосфера», и они наиболее эффективны в смешанных посевах с долей бобовых 30–50%. Полученные преимущества включают снижение зависимости от ископаемой энергии и промышленных N-удобрений, что влечет за собой уменьшение количества вредных выбросов в окружающую среду

(парниковых газов и нитратов), снижение производственных затрат, повышение производительности и самообеспеченности кормов растительным белком. Некоторые виды бобовых трав при их использовании благодаря наличию биологически активных вторичных метаболитов улучшают здоровье животных, что снижает необходимость применения лекарств. Бобовые культуры генерируют эти преимущества на уровне управляемой единицы площади, а также на уровне единицы конечного продукта [2].

В Ирландии сравнивалась рентабельность молочного животноводства на минеральной системе использования пастбищного злакового травостоя с применением азотных удобрений в дозах N от 173 до 353 кг/га (FN) и биологизированной — на бобово-злаковом фитоценозе на основе клевера ползучего (WC) с внесением азотных удобрений в пониженных дозах N от 79 до 105 кг/га [3]. В сценариях с высокой ценой азотного удобрения в сочетании со средними или низкими ценами на молоко при выпасе на бобово-злаковом травостое производство было более прибыльным, чем при использовании стандартных рекомендуемых доз минеральных удобрений на злаковом пастбище. Исходя из более низких цен на молоко и азотные удобрения (период с 1990 по 2005 гг.), производство на злаковом травостое было явно более прибыльным, чем на основе выпаса на клеверо-злаковом пастбище. Однако при неуклонном росте цен на азотные удобрения относительно цен на молоко разница между технологиями FN и WC в период с 2006 по 2010 гг. была уже менее четко выраженной [3]. По сравнению с травостоями из мятликовых

или бобовых монокультур бобово-злаковые смеси обладают такими хозяйственными преимуществами, как более сбалансированная кормовая ценность, повышенная эффективность использования ресурсов и увеличение продуктивности. Однако достижение оптимального содержания бобовых (до 40–60% сухого вещества травостоя) и поддержание этого соотношения для сохранения потребительских достоинств таких кормов остается серьезной проблемой на фермах. По сравнению с кормлением жвачных животных, основанном на получении кормов преимущественно из злаковых культур, выращиваемых с применением азотных удобрений, система кормления на основе использования кормовых бобовых трав в смесях, как правило, оказывает меньшее негативное воздействие на природное биоразнообразие, потери воды и сохраняет плодородие почв. Экономически основным преимуществом сырья из бобовых культур перед другими кормами является их способность снижать затраты на удобрения, а их основной недостаток обычно заключается в более низкой интенсивности животноводства в расчете на гектар земли. Несмотря на многочисленные достоинства кормовых многолетних бобовых трав для жвачных животных (для окружающей среды, непосредственно фермера и социума в целом), их использование, как сообщается, в Евросоюзе и странах других районов с высокоразвитым сельским хозяйством является еще ограниченным или сокращается по сравнению с более технологичным производством кормов из мятликовых культур [4]. Это, скорее всего, является результатом того, что большая трудоемкость возделывания бо-

бово-злаковых травосмесей воспринимается как фактор, перевешивающий их преимущества на уровне отдельной фермы в складывающихся текущих экономических условиях. Такой подход может измениться, если соотношение цен на азотные удобрения к продукту (мясо/молоко) будет продолжать расти, как это было в некоторых регионах в последние годы [4]. Прогнозируя будущие перспективы на основе учета тенденций в ценах на минеральные удобрения и продукцию животноводства и их соотношение за последние десятилетия, анализ показывает, что использование бобово-злаковых травостоев станет все более выгодной альтернативой минеральной системы возделывания злаковых трав для производства молока на пастбищах [3]. В целом же в Европе растет интерес к кормовым бобовым культурам для жвачных животных в качестве альтернативы использованию минеральных азотных удобрений на краткосрочных злаковых пастбищах [5].

За рубежом вследствие более мягких климатических условий с продолжительным вегетационным периодом и принятых систем земледелия наиболее распространены пастбища на основе райграса пастбищного (*Lolium perenne* L.) с ежегодным внесением до 90 кг/га N под каждый цикл стравливания [6] или бинарные травосмеси райграса с клевером ползучим (*Trifolium repens* L.) [7–12]. Использование таких пастбищ является эффективным, так как за счет высококачественного кормового сырья за пять–шесть циклов стравливания в сезон позволяет получать максимальный выход животноводческой продукции при краткосрочном, от двух до пяти лет, пе-

риоде интенсивного использования таких ценозов. Для получения максимального эффекта при создании райграсо-клеверных агроценозов основная проблема состоит в управлении такими травостоями за счет поддержания постоянного баланса между бобовым и мятликовым компонентами, использовании биологических особенностей каждого из них [13]. Райграс имеет конкурентное преимущество, связанное с его лучше развитой корневой системой, способной более эффективно контролировать транспирационные потери влаги, и возможностью активно усваивать биологически фиксированный клевером азот [14].

Биологической особенностью клевера ползучего является его высокая азотфиксирующая способность. Благодаря использованию нового метода сопряженной сорто-микробной селекции созданы более продуктивные сорта клевера ползучего с коэффициентом азотфиксации от 80 до 87%, способные ежегодно фиксировать биологический азот в объемах до 300 кг/га и более [15–18]. Зарегистрированные показатели продуктивности фиксации N_2 в надземных тканях растений клевера ползучего в зависимости от биологических особенностей сортов, почвенно-климатических и погодных условий, способа возделывания (монокультура или травосмесь) в умеренных бореальных районах Северного полушария варьируют от 150 до 545 кг на 1 га в год [19–22]. При этом около 80–90% от потребности в азоте растения клевера получали за счет его биологической фиксации из атмосферы, независимо от режима использования травостоя, выхода сухого вещества и почвенно-климатических условий возделывания.

По другим данным, доля фиксированного азота в клевере может варьировать от 70 до 99% [23].

Анализ показывает, что при возделывании клевера ползучего в травосмесьх возможны три механизма использования мятликовыми травами продуцируемого бобовой культурой биологического азота: первый — прямой перенос между растениями в ризосфере при его депонировании (корневая экссудация); второй — высвобождение азота при обороте (старении и возобновлении) в процессе отмирания и минерализации органического вещества корней, клубеньков; третий — локальный, или отсроченный перенос за счет остаточного разложения надземной биомассы клевера. Кроме указанных источников поступления биологического азота клевера в экосистему на действующих пастбищах, дополнительно происходит пространственно диффузный локальный перенос этого элемента через экскременты пасущихся животных [24–26]. Оценка ризодепозиции показала, что в общем балансе биологического азота в агроэкосистеме ризосодержащие соединения N , включая мелкие корни, составляли более 80% от общего количества N растительного происхождения в почве [27]. При доле клевера в фитоценозе от 30 до 60% чистый прирост азота в экосистеме из атмосферы за счет биологической фиксации составляет от 100 до 387 кг/га, что обеспечивает продуктивность бобово-злаковой травосмеси, эквивалентную внесению минеральных удобрений на злаковом пастбище в дозах от 150 до 350 кг/га N [2; 21; 28]. Перенос азота из клевера в злаковые травы варьировал от 55 до 113 кг/га N в год. При этом чистая скорость минерализации N

была ниже в монокультурах, чем в смесях. Минерализация углерода (С) и количество С и N в активных фракциях органического вещества почвы были одинаковыми для монокультур и смесей, но соотношение С : N активных фракций органического вещества почвы было выше под одновидовыми травостоями, чем под смесями. Это объясняет более низкую минерализацию N под моновидовыми посевами [20]. Количество и качество (соотношение С : N) надземной и подземной биомассы растений в бобово-злаковой травосмеси уже при наличии 20–30% клевера ползучего в структуре фитомассы было сопоставимо с урожайностью со злакового травостоя, полученной при внесении 150 кг/га минерального азотного удобрения [29].

Важная особенность бобовых культур — повышение их симбиотической активности (в 1,7–2,5 раза) при возделывании со злаками, являющимися потребителями азота. Причиной усиления симбиотрофного типа азотного питания бобовой культуры в травосмесях является то, что злак, интенсивно поглощая доступный азот почвы, стимулирует активность клубеньковых бактерий. Оценка содержания азота в клевере ползучем с использованием изотопного мечения, полученного в результате фиксации N₂, выявила наличие этого элемента в одновидовом посеве в размере 75–94%, а в смеси большее значение — 85–97% [25]. Это указывает на повышение эффективности симбиотического взаимодействия клевера ползучего с ризосферной микрофлорой, включая клубеньковые бактерии, при возделывании в смесях и может интерпретироваться как микроэволюционный ответ на условия произрастания.

Следует отметить, что потери азота в клеверо-райграсовых травостоях за счет выщелачивания нитратов не превышали 10 кг/га в год [30].

Наряду с симбиотической способностью к биологической фиксации и размерам накопления азота для сопутствующих мятликовых компонентов травосмесей важна скорость высвобождения и поступления этого элемента в экосистему. Исследования показали, что между видами бобовых трав имеются существенные различия в способности к скорости и размеру переноса азота. Так, например, по сравнению с клевером ползучим люцерна, при накоплении в два раза большей биомассы и количества биологически фиксированного азота, переносила меньшее содержание N — 59 против 147 кг/га в течение трех лет в полевых условиях и при более замедленной динамике. Количество и интенсивность переносимого азота были связаны с отличиями в структуре строения корневой ткани; у клевера ползучего была более высокая доля тонких корней с низким содержанием С : N и лигнина. В результате этой морфобиологической особенности отмечалось более быстрое высвобождение N из отмирающих корневой системы клевера [31]. По сравнению с клевером луговым и люцерной клевер ползучий является более эффективным, на 54–77%, донором поступления биологического азота в экосистему, даже несмотря на значительные колебания пропорций его содержания в травосмесях [32; 33]. При этом межвидовой перенос биологического азота из растений клевера и его ризосферы в сопутствующие виды злаковых трав происходит в течение всего вегетационного сезона.

С использованием изотопов меченого ^{15}N было установлено, что при обработке азотом листьев клевера ползучего в травосмеси большая часть этого элемента была перенесена в растения мятлика лугового (*Poa pratensis*) уже в течение 20 дней [34].

Следовательно, клевер ползучий является продуктивным донором поступления биологического азота в агроэкосистему. Однако для получения максимального эффекта при возделывании этой культуры в травосмесях необходим подбор сопутствующих видов злаковых трав, учитывающих наряду с конкуренцией, также возможность проявления комплементарных и стимулирующих взаимодействий между растениями [35]. Многочисленные хозяйственные эффекты как положительного, так и негативного характера при использовании клевера ползучего объясняются продуцированием его растениями в том числе биологически активных вторичных метаболитов. До сих пор присутствию в почве биологически активных вторичных метаболитов клевера уделялось ограниченное внимание. Так, например, в процессе вегетации растений клевера ползучего образуются и высвобождаются флавоноиды, среди которых доминирующими флавоноидными агликонами были формонетин, медикарпин и кемпферол. Корневая система клевера ползучего вырабатывала высокие концентрации гликозидов кемпферол и кверцетин. Значительное количество кемпферола сохранялось в почве в течение нескольких дней, в то время как другие соединения разлагались и утилизировались почвенной микробиотой быстрее [36]. Наличие этих соединений следует учитывать при

проявлении эффекта «усталости, или клевероутомления почвы», аллелопатической активности на растения других видов и возможных экологических рисках от длительного культивирования клевера на одном месте. Так, например, в результате исследования в лабораторных условиях и в ряде высокогорных ландшафтов было установлено влияние аллелопатической активности клевера ползучего сорта 'Huia' на прорастание и развитие пастбищных видов трав, часто используемых при посеве с ним. В лабораторных условиях экстракты побегов клевера оказались способны снижать всхожесть семян других видов. Их семена, прорастающие в присутствии материала побегов клевера ползучего, часто развивались ненормально, причем у бобовых культур снижался рост корней, корневых волосков и побегов, а у злаковых трав — рост корней [37].

Ключом к устойчивой продуктивности злаково-клеверных плантаций является поддержание удовлетворительного уровня содержания клевера ползучего. Это не всегда легко, учитывая динамику соотношения в ассоциации злаковые травы / клевер ползучий и взаимодействие компонентов, особенно в свете потоков N. Несмотря на их высокую эффективность и природоохранное значение, количество таких травостоев в Европе пока ограничено [38]. Прогнозируется, что их использование увеличится в ближайшем будущем по различным причинам, включая политические шаги в сторону стимулирования расширения, возрастающей потребности во все более экологически чистых системах ведения сельского хозяйства и росте потребительского спроса на производственные

системы, воспринимаемые как «естественные».

Органическое производство семян клевера ползучего представляется чрезвычайно трудным делом. В Европе начаты исследования по выявлению основных препятствий внедрения такого способа ведения семеноводства, и предварительные результаты показывают, что только от вредителей, в первую очередь от клеверных долгоносиков, в результате сильного повреждения корневой системы, клубеньков и листьев клевера ползучего ежегодно урожайность семян снижается на 10–60% [39]. В Европе, Новой Зеландии, Австралии посевы клевера ползучего в силу более благоприятных для развития вредителей климатических условий, в зависимости от географического расположения региона повреждаются представителями комплекса насекомых-вредителей — долгоносиками из рода *Sitona* трех видов: *S. lepidus Gyllenhal* (syn. *S. flavescens* (Marshall)), *S. lineatus* L., *S. hispidulus* F., семеедами из рода *Apion*, а также сине-зеленой люцерновой тлём (*BGA*, *Acyrtosiphon kondoi* Shinji.), африканским черным тараканом, или черным газонным жуком (*Heteronychus arator* Fabricius), личинками тасманийского жука (*Aphodius tasmaniae*), картофельными миридами (*Calocoris norvegicus* [Gmelin]) (семейство настоящих клопов, принадлежащих к подотряду *Heteroptera*), брюхоногими моллюсками из группы стебельчатоглазых (*Stylommatophora*) (виды слизней) и другими полифагами [40; 41 и др.]. Полученные урожаи семян клевера ползучего без применения пестицидов и минеральных удобрений составляют лишь 20–30% от обычной величины сбора при

производстве по интенсивным промышленным технологиям [41]. В этой связи с целью экологизации более целесообразным является изучение возможности возделывания клевера ползучего в травосмесях для получения семян не только бобовой культуры, но и мятликовых трав без применения азотных удобрений.

Виды и сорта многолетних трав обладают разной конкурентоспособностью и комплементарностью при их совместном возделывании в смешанных посевах, что может сказываться на их росте и развитии, продуктивности. Изучение влияния четырех контрастных сопутствующих трав — мятлика лугового (*Poa pratensis* L., cv. 'Fylking'), тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L., cv. 'Adda'), райграса пастбищного (*Lolium perenne* L., cv. 'Svea') и овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds., cv. 'Salten') на протяжении четырех лет в бинарных смесях с клевером ползучим (*Trifolium repens* L., cv. 'Norstar') выявило различное влияние сопутствующих трав-компаньонов на рост и развитие клевера [42]. Райграс пастбищный вследствие интенсивного побегообразования и формирования большого количества листьев в первый год наиболее сильно угнетал клевер. Тетраплоидный райграс пастбищный проявляет себя как менее агрессивный, чем диплоидные сорта [43]. Мятлик оказывал наименьшее конкурентное давление на клевер вследствие подземного типа побегообразования [42].

В Дании практикуется посев клевера ползучего на семена в смеси с мятликом луговым сорта Кентукки ('Kentucky') под покров ячменя. В первый год получают урожай зерновой культуры, затем — семена клевера, а на третий–четвертый го-

ды — мятлика. При этом клевер высевают при очень низких нормах посева (не более 1 кг/га), что дает возможность сформироваться растениям мятлика. Иначе в условиях продолжительного вегетационного сезона этой страны при достаточной влагообеспеченности после уборки ячменя клевер может развиваться настолько интенсивно, что мятлик, особенно в благоприятные годы, может быть сильно подавлен. Установлено, что дефолиация (подкашивание) травостоя клевера в год производства его семян, в период, когда у него появляются первые цветочные почки, способствует увеличению на следующий год урожайности семян мятлика [39].

Сравнительная оценка эффективности возделывания в условиях Западной Европы овсяницы тростниковой (*Festuca arundinacea* Schreb.), райграса пастбищного (*Lolium perenne* L.) и клевера ползучего в разных комбинациях показала, что на третий год овсяница тростниковая преобладала во всех смесях с ее участием и сильно угнетала сопутствующие виды [44].

В условиях Беларуси получен положительный опыт совмещенного посева клевера ползучего с райграсом однолетним, обеспечивающего значительное повышение экономической эффективности семеноводства [45].

Наряду со злаковыми компонентами характер взаимодействия растений в травосмесях, их реакция на антропогенные стрессы находятся в той или иной степени зависимости и от генотипов (сортов) клевера ползучего [46]. В этой связи при подборе компонентов смесей особую агрономическую ценность приобретают исследования по хозяйствен-

ной оценке реализации продукционного потенциала используемых сортов при их возделывании на семена в конкретных почвенно-климатических и агротехнических условиях. Реакции растений разных видов и сортов на действие комплекса фитоценологических факторов в смешанных агрофитоценозах, включая фактор конкуренции, весьма специфичны и генетически детерминированы. Генетически обусловленная биосовместимость биопартнеров в агрофитоценозах, созданных по принципу хозяйственной целесообразности, предопределяет необходимость поиска наиболее пригодных видов и сортов для их использования в смешанных посевах. Несмотря на рукотворно созданные составы травосмесей, культуры и сорта, участвующие в формировании таких посевов, должны обеспечивать комплементарный или хотя бы компенсирующий характер взаимоотношений с другими компонентами смешанного агрофитоценоза (от бинарных до поливидовых), который выражается в получении хозяйственно выраженного эффекта в виде увеличения урожайности [47; 48]. Так, сравнительная оценка клевера ползучего из разных ботанических групп при посеве в смесях с райграсом пастбищным показала, что крупнолистный сорт 'Alice' формировал большую биомассу и фиксировал больше N_2 по сравнению с мелколистным 'Gwenda' или среднелистным 'Retor' [20; 30]. Однако самый большой перенос биологического азота в райграс пастбищный был зарегистрирован у сорта 'Gwenda' [49].

Специфика адаптивных реакций сортов в определенных почвенно-климатических и агротехнических условиях зависит от биологических особенностей и,

в конечном итоге, проявляется в величине урожайности. Сравнительная оценка эффективности возделывания сортов клевера ползучего разного типа хозяйственного использования в смеси с овсяницей тростниковой в наших исследованиях показала, что наиболее высокий сбор семян бобовой культуры (188 кг/га с травостоев первого года пользования) обеспечил новый сорт пастбищно-сенокосного назначения разновидности *f. hollandicum* Луговик — на 36–68% больше по сравнению с травосмесями сорта разновидности *f. giganteum* Волат сенокосного типа и ВИК 70 пастбищного назначения разновидности *f. hollandicum*. Преимущества сорта Луговик наиболее выражены проявились и на второй год — фактический сбор семян с его смешанных травостоев составил 126 кг/га, что в 2,1 и 9,0 раза превысило урожайность сортов ВИК 70 и Волат [47].

Актуальная задача практической агрономии при возделывании трав на семена в смешанных посевах в контексте биологизации семеноводства — найти технологические пути формирования такой пространственной структуры агроценозов путем оптимизации соотношения компонентов и подбора режимов использования, при которых возможно снижение напряженности конкурентных взаимодействий, способствующее повышению семенной продуктивности растений без дополнительного привлечения ресурсов в виде минеральных азотных удобрений [50]. Установлено, что одним из наиболее фитоценотически комплементарных видов для возделывания в смеси с клевером ползучим с целью ограничения его вегетативного роста является овсяница тростниковая [51].

При этом оптимальными нормами овсяницы тростниковой (сорт Ли́ра) для смешанных посевов с клевером ползучим являются 4–6 кг/га, обеспечивающие формирование бинарных агроценозов с наличием большего количества головок бобовой культуры.

Клевер ползучий обладает высокой аттрагирующей способностью вегетативных почек. Уже начиная с первого года жизни у клевера происходит закладка и развитие боковых побегов второго и третьего порядков, которые со второго года выполняют функцию вегетативного размножения [52]. Вследствие направленности донорно-акцепторных связей на приоритетное обеспечение ростовых процессов пластическими веществами вегетативные органы растения клевера ползучего продолжают активный рост и образование новых побегов в течение всего вегетационного сезона, что приводит к формированию и накоплению большого объема листовой массы, препятствующего закладке соцветий [53]. Развитие растений второго года жизни должно быть «управляемым» (редуцированным) для создания пространства для роста первичных столонов, которые производят наибольшее количество семенных головок [54]. Побеги второго и третьего порядков в основном формируют вегетативные органы. Установлено, что подкашивание семенных травостоев клевера ползучего ограничивает вегетативный рост его побегов и способствует повышению урожайности семян [39; 55; 56]. Исследования показали, что к периоду весеннего подкашивания (25 мая — 5 июня) смешанных семенных посевов клевера ползучего первого года пользования злаковые травы, имея более

быстрые темпы развития, занимали в общей структуре надземной фитомассы долю в 50–69%. При этом многолетние мятликовые травы сильнее угнетали клевер и доминировали в агрофитоцено-

зе. Подкашивание травостоя создает лучшие условия для развития генеративных органов клевера и сохраняет репродуктивный потенциал злаковых видов (рисунок).



Рисунок. Травосмесь клевера ползучего сорта Луговик и овсяницы тростниковой сорта Лира второго года пользования: на ближнем плане — с подкашиванием травостоя, на дальнем плане — без подкашивания (2015 г.)

Исследования показали, что подкашивание травостоя в оптимальные сроки в период формирования первых бутонов клевера стимулировало образование соцветий, отмечалось увеличение их количества до 842 шт./м² в одновидовом посеве клевера. В бинарных бобово-злаковых фитоценозах конкурентное взаимодействие и ограничение ресурсов приводило к образованию меньшего числа соцветий: на 17–49% по отношению к его монопосеву. Вместе с тем в смешанных травостоях, несмотря на снижение общего количества соцветий

клевера ползучего, их доля в верхнем ярусе в общей структуре одновременно увеличивалась с 17 до 30–44%. Наиболее высокая биологическая урожайность семян клевера ползучего была получена в его моновидовом посеве и составила 248 кг/га. Однако более трети сформированного урожая семян (36%) в одновидовых травостоях находилось в головках, расположенных в ярусе травостоя 0–10 см от поверхности почвы. Эти соцветия при обмолоте в большинстве случаев оставались ниже уровня среза жатки комбайна, в результате чего 36–

42% от биологической урожайности терялось с нескошенными головками. Кроме того, из-за неравномерного поступления на обмолот небольшого объема надземной массы и мелкосемянности клевера потери за комбайном вследствие этих причин еще дополнительно увеличивались на 25%. Суммарно недобор семян клевера ползучего в монопосевах достигал 68–69% от сформировавшейся биологической урожайности [51; 57].

Включение в семенной травостой мятликовых культур приводило к уменьшению биологической урожайности семян клевера ползучего по сравнению с его одновидовым посевом на 15–38% вследствие уменьшения количества генеративных органов. Однако при этом, благодаря удлинению клеверных цветоносов в травосмесях, основная масса сформировавшегося урожая (до 95%) находилась уже в ярусах выше 10 см от поверхности почвы, при уборке попадала в жатку и обмолачивалась комбайном. Поэтому потери семян с нескошенными и неподбранными комбайном головками уменьшались в зависимости от вида сопутствующей культуры и способа уборки до 9–23%. Причем минимальными они были в смешанных посевах клевера с райграсом пастбищным и овсяницей тростниковой и составили соответственно 9–11 и 12–13% от сформировавшейся биологической урожайности семян. Максимальные сборы семян (121–127 кг/га) были получены с бинарных фитоценозов клевера ползучего с райграсом пастбищным.

Ежа, полевица и овсяница луговая формировали более густой травостой и сильнее подавляли клевер, семенная продуктивность которого уменьшалась

по сравнению с травосмесью с райграсом пастбищным на 28–39%.

Результаты исследований свидетельствуют, что оптимальными нормами высева райграса пастбищного и овсяницы тростниковой для создания смешанных посевов с клевером ползучим являются 4–6 кг/га, способствующие формированию после весеннего подкашивания травостоев с наибольшим количеством соцветий бобовой культуры (685–742 шт. на 1 м²). При этом 81–86% головок располагалось в ярусе выше 10 см, что объясняется закономерным ($r = 0,918$) удлинением цветоносов на 5,1–7,2 см, или на 14–31%. Благоприятное для уборки ярусное перераспределение головок обеспечивало максимальную полноту сбора семян. Урожайность составила 129–142 кг/га (71–73% от биологической урожайности), или на 26–39% выше, чем в моновидовом посеве клевера ползучего [57].

На второй год использования травостоя мятликовые травы за счет симбиотического азота клевера развиваются более интенсивно, быстро кустятся и формируют большую вегетативную массу, в результате чего долевое участие клевера в структуре фитомассы по сравнению с предыдущим годом уменьшается с 33–60% до 14–41%. Поэтому весеннее подкашивание необходимо рассматривать как обязательный агроприем регулирования процессов формирования смешанных агрофитоценозов при использовании их для получения семян клевера ползучего. Об этом свидетельствуют и результаты структурного анализа нескошенных весной семенных травостоев второго года пользования, где клевер ползучий занимал в структуре фитомас-

сы травостоя всего 8–39%. После весеннего подкашивания, по мере отрастания травостоя первого года пользования, во втором укосе доленое участие клевера увеличивалось до 46–71%, а в травостое третьего года жизни — до 45–51% [58]. С учетом динамики семенной продуктивности клевера ползучего сорта ВИК 70 пастбищного экотипа, когда даже в одновидовых травостоях урожайность его семян на второй год пользования снижалась на 17–55%, а на третий — в 4 раза по сравнению с первым [56], наиболее целесообразным, начиная со второго года, является уборка на семена злаковых трав (с первого укоса). На второй год использования травостоя при его уборке для получения урожая мятликовых культур наиболее высокий сбор семян, 761 кг/га, обеспечил райграс пастбищный. Также высокие для этих культур урожаи семян (373 и 402 кг/га) были получены с травостоя овсяницы луговой и овсяницы тростниковой без внесения минеральных азотных удобрений.

Таким образом, продуктивность бобово-злаковых травосмесей можно рассматривать как хозяйственное отражение результата фитоценологического и биологического взаимодействия растений разных видов. Особенностью клевера ползучего является его высокая азотфикси-

рующая способность и комплементарность при возделывании в травосмесях с мятликовыми видами многолетних трав. Фитоценологически сбалансированные клеверо-злаковые агрофитоценозы могут быть созданы на основе технологического формирования пространственной структуры путем оптимизации соотношения компонентов и подбора режимов использования, при которых возможно снижение напряженности конкурентных взаимодействий, способствующее повышению семенной продуктивности растений без дополнительного привлечения ресурсов в виде минеральных азотных удобрений. Генотипы клевера ползучего характеризуются различной реакцией на антропогенные и фитоценологические факторы. Вследствие этого необходим дифференцированный подход при выборе соответствующих сортов клевера ползучего из разных ботанических групп для создания адаптивно эффективных конструкций бобово-злаковых семенных агрофитоценозов для сбора в первый год пользования семян клевера и на основе использования симбиотически продуцированного им биологического азота — получения урожая семян злаковых трав на второй год без применения минеральных удобрений.

Литература

1. Косолапов В.М., Шамсутдинов З.Ш. Использование генетических ресурсов для селекции инновационных сортов кормовых культур // Вестник Российской академии наук. – 2015. – Т. 85, № 3. – С. 224–232.
2. Lüscher A., Mueller-Harvey I., Soussana J.F. et al. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*. 2014. Vol. 69. N 2. Pp. 206–228 (URL: <https://doi.org/10.1111/gfs.12124>).
3. Humphreys J., Mihailescu E., Casey I.A. An economic comparison of systems of dairy production based on N-fertilized grass and grass–white clover grassland in a moist maritime environment. *Grass and Forage Science*. 2012. Vol. 67. N 4. Pp. 519–525 (URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00871.x>).

4. Phelan P., Moloney A.P., McGeough E.J. et al. Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2015. Vol. 34. N 1–3. Pp. 281–326 (URL: <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.898455>).
5. Gierus M., Kleen J., Loges R., & Taube F. Forage legume species determine the nutritional quality of binary mixtures with perennial ryegrass in the first production year. *Animal feed science and technology*. 2012. Vol. 172. N 3–4. Pp. 150–161 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.026>).
6. Phelan P., Casey I. A., Humphreys J. The effect of target postgrazing height on sward clover content, herbage yield, and dairy production from grass-white clover pasture. *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. N 3. Pp. 1598–1611 (URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5936>).
7. Connolly J., Finn J.A., Black A.D. et al. Effects of multi-species swards on dry matter production and the incidence of unsown species at three Irish sites. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2009. N 48. Pp. 243–260 (URL: <https://www.jstor.org/stable/20720371>).
8. Cranston L.M., Kenyon P.R., Morris S.T., & Kemp P.D. A review of the use of chicory, plantain, red clover and white clover in a sward mix for increased sheep and beef production. *Journal of New Zealand Grasslands*. 2015. Vol. 77. Pp. 89–94.
9. Kleen J., Taube F., Gierus M. Agronomic performance and nutritive value of forage legumes in binary mixtures with perennial ryegrass under different defoliation systems. *The Journal of Agricultural Science*. 2011. Vol. 149. N 1. Pp. 73–84. DOI:10.1017/S0021859610000456.
10. Soegaard K. Nitrogen fertilization of grass/clover swards under cutting or grazing by dairy cows. *Acta Agriculturae Scandinavica: Section B – Soil and Plant Science*. 2009. Vol. 59. N 2. Pp. 139–150. (URL: <https://doi.org/10.1080/09064710802022911>).
11. Woodfield D.R., Clark D.A. Do forage legumes have a role in modern dairy farming systems? *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2009. N 48. Pp. 137–147 (URL: <https://www.jstor.org/stable/20720365>).
12. Schils R.L.M., Boxem T.J., Sikkema K., & André G. The performance of a white clover based dairy system in comparison with a grass/fertiliser-N system. I. Botanical composition and sward utilization. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*. 2000. Vol. 48. N 3. Pp. 291–303 (URL: [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(00\)80019-6](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(00)80019-6)).
13. Chapman D.F., Parsons A.J., Schwinning S. Management of clover in grazed pastures: expectations limitations and opportunities. In: Woodfield D.R. (ed.) *White Clover: New Zealand's Competitive Edge. Grassland Research and Practice Series*. 1996. N 6. Pp. 55–64.
14. Lucero D.W., Grieu P., Guckert A. Effects of water deficit and plant interaction on morphological growth parameters and yield of white clover (*Trifolium repens* L.) and ryegrass (*Lolium perenne* L.) mixtures. *European Journal of Agronomy*. 1999. Vol. 11. N 3–4. Pp. 167–177 (URL: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(99\)00028-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00028-3)).
15. Кутузова А.А., Седова Е.Г. Эффективность создания клеверо-райграсовых пастбищ // Земледелие. – 2008. – № 6. – С. 39–40.
16. Кутузова А.А., Проворная Е.Е., Седова Е.Г., Цыбенко Н.С. Эффективность бобово-злаковых травостоев при использовании новых сортов для создания культурных пастбищ в Нечерноземной зоне // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. тр., выпуск 22 (70). – М. : Угреша Т, 2020. – С. 5–13.
17. Зятчина Г.П., Дробышева Л.В., Шматкова А.А. Влияние штаммов клубеньковых бактерий *Rhizobium trifolii* на кормовую и семенную продуктивность клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) // Научное обеспечение кормопроизводства и его роль в сельском хозяйстве, экономике, экологии и рациональном природопользовании России. – М. : Угрешская типография, 2013. – С. 69–77.
18. Humphreys M.O. Genetic improvement of forage crops – past, present and future. *Journal of Agricultural Science*. 2005. Vol. 30. Pp. 288–296.

19. Carlsson G., Huss-Danell K. Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and soil*. 2003. Vol. 253. N 2. Pp. 353–372.
20. Elgersma A., Hassink J. Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and soil organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Plant and soil*. 1997. Vol. 197. N 2. Pp. 177–186.
21. Kumar K., Goh K. M. Biological nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for white clover (*Trifolium repens* L.) and field pea (*Pisum sativum* L.) grown for seed. *Field Crops Research*. 2000. Vol. 68. N 1. Pp. 49–59 (URL: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00109-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00109-X)).
22. Peyraud J.L., Le Gall A., Lüscher A. Potential food production from forage legume-based-systems in Europe: an overview. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2009. N 48. Pp. 115–135.
23. Vinther F.P., Jensen E.S. Estimating legume N₂ fixation in grass-clover mixtures of a grazed organic cropping system using two ¹⁵N methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2000. Vol. 78. N 2. Pp. 139–147 (URL: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00124-3)).
24. Auerswald K., Schäufele R., Schnyder H. Paths of nitrogen transfer from *Trifolium repens* to non-legume plants in unfertilised pastures. *Grassland Science of Europe*. 2010. Vol. 15. Pp. 752–754.
25. Jorgensen F.V., Jensen E.S., Schjoerring J.K. Dinitrogen fixation in white clover grown in pure stand and mixture with ryegrass estimated by the immobilized ¹⁵N isotope dilution method. *Plant and Soil*. 1999. Vol. 208. N 2. Pp. 293–305.
26. Lesuffleur F., Salon C., Jeudy C., & Cliquet J.B. Use of a ¹⁵N₂ labelling technique to estimate exudation by white clover and transfer to companion ryegrass of symbiotically fixed N. *Plant and soil*. 2013. Vol. 369. N 1–2. Pp. 187–197. DOI: 10.1007/s11104-012-1562-3.
27. Høgh-Jensen H., Schjørring J.K. Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology and Biochemistry*. 2001. Vol. 33. N 4–5. Pp. 439–448 (URL: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00183-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00183-8)).
28. Nyfeler D., Huguenin-Elie O., Suter M. et al. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2011. Vol. 140. N 1–2. Pp. 155–163 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.022>).
29. Van Eekeren N., van Lieere D., de Vries F. et al. A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota. *Applied Soil Ecology*. 2009. Vol. 42. N. 3. Pp. 254–263 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.04.006>).
30. Elgersma A., Schleepers H. Performance of white clover/perennial ryegrass mixtures under cutting. *Grass and Forage Science*. 1997. Vol. 52. N 2. Pp. 134–146 (URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1997.tb02344.x>).
31. Louarn G., Pereira-Lopès E., Fustec J. et al. The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality. *Plant and Soil*. 2015. Vol. 389. N 1–2. Pp. 289–305 (URL: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2354-8>).
32. Pirhofer-Walzl K., Rasmussen J., Høgh-Jensen H. et al. Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. *Plant and soil*. 2012. Vol. 350. N. 1–2. Pp. 71–84. DOI: 10.1007/s11104-011-0882-z.
33. Rasmussen J., Soegaard K., Pirhofer-Walzl K., & Eriksen J. N₂-fixation and residual N effect of four legume species and four companion grass species. *European Journal of Agronomy*. 2012. Vol. 36. N 1. Pp. 66–74 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.09.003>).
34. Gylfadóttir T., Helgadóttir Á., Høgh-Jensen H. Consequences of including adapted white clover in northern European grassland: transfer and deposition of nitrogen. *Plant and Soil*. 2007. Vol. 297. N 1–2. Pp. 93–104 (URL: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9323-4>).

35. Schipanski M.E., Drinkwater L.E. Nitrogen fixation in annual and perennial legume-grass mixtures across a fertility gradient. *Plant and Soil*. 2012. Vol. 357. N 1–2. Pp. 147–159 (URL: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1137-3>).
36. Carlsen S.C., Pedersen H.A., Spliid N.H., & Fomsgaard I.S. Fate in soil of flavonoids released from white clover (*Trifolium repens* L.). *Applied and Environmental Soil Science*. 2012. Article ID 743413. 10 p. DOI: 10.1155/2012/743413.
37. Macfarlane M.J. Allelopathic effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on pasture species in high country environments: thesis. Lincoln College, University of Canterbury, 1980 (URL: <https://hdl.handle.net/10182/2634>).
38. Frame J., Laidlaw A.S. Managing white clover in mixed swards principles and practice. *Pastos*. 2011. Vol. 28. N 1. Pp. 5–33.
39. Boelt B. Legume seed production and research in Europe. *Forage Seed*. 2002. Vol. 9. N 1. Pp. 33–34.
40. Humphries A.W., Robinson S.S., Hawkey D. et al. Diversity for resistance to a moderately virulent bluegreen aphid (*Acyrtosiphon kondoi* Shinji) population in *Trifolium* species. *Crop and Pasture Science*. 2016. Vol. 67. N 9. Pp. 1009–1018.
41. Lane P.M.S. Observations and insights on pasture persistence in New Zealand. *Pasture Persistence – Grassland Research and Practice Series*. 2011. Vol. 15. Pp. 47–52.
42. Helgadóttir Á., Gylfadóttir T.Ó., & Kristjánsdóttir T.A. The effects of grass species and nitrogen fertilizer on white clover growth and mixture yield in a northern maritime environment. *Icelandic Agricultural Sciences*. 2005. Vol. 18–19. Pp. 75–84.
43. Gooding R.F., Frame J. Effects of continuous sheep stocking and strategic restperiods on the sward characteristics of binary perennial ryegrass/white clover associations. *Grass and Forage Science*. 1997. Vol. 52. N 4. Pp. 350–359 (URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1997.tb02367.x>).
44. Cougnon M., Baert J., Van Waes C., & Reheul D. Performance and quality of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and mixtures of both species grown with or without white clover (*Trifolium repens* L.) under cutting management. *Grass and Forage Science*. 2014. Vol. 69. N. 4. Pp. 666–677 (URL: <https://doi.org/10.1111/gfs.12102>).
45. Зеленый Ю.М. Особенности формирования и перезимовки травостоя клевера ползучего в одновидовых и совместных посевах с райграсом однолетним при возделывании на семена // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2020. – № 3 (79). – С. 120–126.
46. Li Z., Peng Y., Ma X. Different response on drought tolerance and post-drought recovery between the small-leafed and the large-leafed white clover (*Trifolium repens* L.) associated with antioxidative enzyme protection and lignin metabolism. *Acta physiologiae plantarum*. 2013. Vol. 35. N. 1. Pp. 213–222 (URL: <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1066-z>).
47. Золотарев В.Н., Переprawo Н.И. Агробиологическая оценка сортов клевера ползучего различных экотипов при возделывании на семена // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. тр., выпуск 2 (69) / ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса». – М. : Угреша Т, 2019. – С. 57–61. DOI: 10.33814/МАК-2019-21-69-57-61.
48. Жученко А.А. Взаимосвязь систем селекции, сортоиспытания и семеноводства // Овощи России. – 2008. – № 1–2. – С. 6–10.
49. Elgersma A., Schlepers H., Nassiri M. Interactions between perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.) under contrasting nitrogen availability: productivity, seasonal patterns of species composition, N₂ fixation, N transfer and N recovery. *Plant and Soil*. 2000. Vol. 221. N 2. Pp. 281–299 (URL: <https://doi.org/10.1023/A:1004797106981>).
50. Zolotarev V.N. Ecocenotic Factors in Regulating Plant Productivity in Legume-Grass Seed Agrophytocenoses. *Russian Agricultural Sciences*. 2003. Vol. 29. N 6. Pp. 5–8.
51. Переprawo Н.И., Шергина О.В. О семенной продуктивности клевера ползучего в одновидовых и смешанных посевах // Селекция и семеноводство. – 1993. – № 3. – С. 57–60.
52. Сагирова Р.А., Панина О.С. Изучение онтогенетического морфогенеза клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) в связи с его интродукцией в условиях лесостепной зоны Предбайкалья //

- Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2016. – № 2 (43). – С. 25–30.
53. Золотарев В.Н. Десикация семенных травостоев клевера ползучего – залог получения высоких урожаев семян // Растениеводство и луговое хозяйство : материалы Всероссийской научной конференции с международным участием / под ред. А.В. Шитиковой. – М. : Изд-во РГАУ–МСХА, 2020. – С. 591–595. DOI: 10.26897/978-5-9675-1762-4-2020-131.
54. Sullivan C.S., Roerig K.C., Hulting A.G. Investigating the impact of row spraying on established white clover. *Seed Production Research. Department of Crop and Soil Science*. 2016. Pp. 52–54.
55. Geng W.C., Zhang Y.J., Shao X.F., & Tie Y.H. Effects of Different Cutting Regimes on Herbage Production and Seed Yields of White Clover. *Acta Agrestia Sinica*. 2007. Issue 3. Pp. 248–253.
56. Золотарев В.Н. Разработка технологических приемов выращивания клевера ползучего на семена в условиях Центрального района Нечерноземной зоны РСФСР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Всероссийский НИИ кормов им. В.Р. Вильямса. – Москва, 1989. – 16 с.
57. Золотарев В.Н., Перепрраво Н.И. Эффективность возделывания многолетних бобовых трав на семена в смесях с мятликовыми культурами // Совмещенные посевы полевых культур в севообороте агроландшафта : Международная научная экологическая конференция. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – С. 313–319.

References

1. Kosolapov V.M., Shamsutdinov Z.Sh. Ispol'zovaniye geneticheskikh resursov dlya selektsii innovatsionnykh sortov kormovykh kul'tur [The use of genetic resources for the selection of innovative varieties of forage crops]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk [Herald of the Russian Academy of Sciences]*, 2015, vol. 85, no. 3, pp. 224–232.
2. Lüscher A., Mueller-Harvey I., Soussana J.F. et al. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*. 2014. Vol. 69. N 2. Pp. 206–228 (URL: <https://doi.org/10.1111/gfs.12124>).
3. Humphreys J., Mihailescu E., Casey I.A. An economic comparison of systems of dairy production based on N-fertilized grass and grass–white clover grassland in a moist maritime environment. *Grass and Forage Science*. 2012. Vol. 67. N 4. Pp. 519–525 (URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00871.x>).
4. Phelan P., Moloney A.P., McGeough E.J. et al. Forage legumes for grazing and conserving in ruminant production systems. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2015. Vol. 34. N 1–3. Pp. 281–326 (URL: <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.898455>).
5. Gierus M., Kleen J., Loges R., & Taube F. Forage legume species determine the nutritional quality of binary mixtures with perennial ryegrass in the first production year. *Animal feed science and technology*. 2012. Vol. 172. N 3–4. Pp. 150–161 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.026>).
6. Phelan P., Casey I. A., Humphreys J. The effect of target postgrazing height on sward clover content, herbage yield, and dairy production from grass-white clover pasture. *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. N 3. Pp. 1598–1611 (URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5936>).
7. Connolly J., Finn J.A., Black A.D. et al. Effects of multi-species swards on dry matter production and the incidence of unsown species at three Irish sites. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2009. N 48. Pp. 243–260 (URL: <https://www.jstor.org/stable/20720371>).
8. Cranston L.M., Kenyon P.R., Morris S.T., & Kemp P.D. A review of the use of chicory, plantain, red clover and white clover in a sward mix for increased sheep and beef production. *Journal of New Zealand Grasslands*. 2015. Vol. 77. Pp. 89–94.
9. Kleen J., Taube F., Gierus M. Agronomic performance and nutritive value of forage legumes in binary mixtures with perennial ryegrass under different defoliation systems. *The Journal of Agricultural Science*. 2011. Vol. 149. N 1. Pp. 73–84. DOI:10.1017/S0021859610000456.

10. Soegaard K. Nitrogen fertilization of grass/clover swards under cutting or grazing by dairy cows. *Acta Agriculturae Scandinavica: Section B – Soil and Plant Science*. 2009. Vol. 59. N 2. Pp. 139–150. (URL: <https://doi.org/10.1080/09064710802022911>).
11. Woodfield D.R., Clark D.A. Do forage legumes have a role in modern dairy farming systems? *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2009. N 48. Pp. 137–147 (URL: <https://www.jstor.org/stable/20720365>).
12. Schils R.L.M., Boxem T.J., Sikkema K., & André G. The performance of a white clover based dairy system in comparison with a grass/fertiliser-N system. I. Botanical composition and sward utilization. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*. 2000. Vol. 48. N 3. Pp. 291–303 (URL: [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(00\)80019-6](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(00)80019-6)).
13. Chapman D.F., Parsons A.J., Schwinning S. Management of clover in grazed pastures: expectations limitations and opportunities. In: Woodfield D.R. (ed.) *White Clover: New Zealand's Competitive Edge. Grassland Research and Practice Series*. 1996. N 6. Pp. 55–64.
14. Lucero D.W., Grieu P., Guckert A. Effects of water deficit and plant interaction on morphological growth parameters and yield of white clover (*Trifolium repens* L.) and ryegrass (*Lolium perenne* L.) mixtures. *European Journal of Agronomy*. 1999. Vol. 11. N 3–4. Pp. 167–177 (URL: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(99\)00028-3](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00028-3)).
15. Kutuzova A.A., Sedova E.G. Effektivnost' sozdaniya klevero-raygrasovykh pastbishch [The effectiveness of creating clover-ryegrass pastures]. *Zemledeliye [Agriculture]*, 2008, no. 6, pp. 39–40.
16. Kutuzova A.A., Provornaya E.E., Sedova E.G., Tsybenko N.S. Effektivnost' bobovo-zlakovykh travostoyev pri ispol'zovanii novykh sortov dlya sozdaniya kul'turnykh pastbishch v Nechernozemnoy zone [Efficiency of legume-cereal herbage when using new varieties to create cultivated pastures in the Non-Chernozem zone]. *Mnogofunktsional'noye adaptivnoye kormoproizvodstvo [Multifunctional adaptive forage production: collection of scientific articles]*. Issue 22 (70). Moscow, Ugresha T Publ., 2020, pp. 5–13.
17. Zyatchina G.P., Drobysheva L.V., Shmatkova A.A. Vliyaniye shtammov kluben'kovykh bakteriy Rhizobium trifolii na kormovuyu i semennuyu produktivnost' klevera polzuchego (*Trifolium repens* L.) [Influence of strains of nodule bacteria Rhizobium trifolii on fodder and seed productivity of white clover (*Trifolium repens* L.)]. *Nauchnoye obespecheniye kormoproizvodstva i yego rol' v sel'skom khozyaystve, ekonomike, ekologii i ratsional'nom prirodopol'zovanii Rossii [Scientific support of fodder production and its role in agriculture, economy, ecology and rational use of natural resources in Russia]*. Moscow, Ugreshskaya tipografiya Publ., 2013, pp. 69–77.
18. Humphreys M.O. Genetic improvement of forage crops – past, present and future. *Journal of Agricultural Science*. 2005. Vol. 30. Pp. 288–296.
19. Carlsson G., Huss-Danell K. Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field. *Plant and soil*. 2003. Vol. 253. N 2. Pp. 353–372.
20. Elgersma A., Hassink J. Effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on plant and soil nitrogen and soil organic matter in mixtures with perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Plant and soil*. 1997. Vol. 197. N 2. Pp. 177–186.
21. Kumar K., Goh K. M. Biological nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for white clover (*Trifolium repens* L.) and field pea (*Pisum sativum* L.) grown for seed. *Field Crops Research*. 2000. Vol. 68. N 1. Pp. 49–59 (URL: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00109-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00109-X)).
22. Peyraud J.L., Le Gall A., Lüscher A. Potential food production from forage legume-based-systems in Europe: an overview. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2009. N 48. Pp. 115–135.
23. Vinther F.P., Jensen E.S. Estimating legume N₂ fixation in grass-clover mixtures of a grazed organic cropping system using two ¹⁵N methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2000. Vol. 78. N 2. Pp. 139–147 (URL: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00124-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00124-3)).
24. Auerswald K., Schäufele R., Schnyder H. Paths of nitrogen transfer from *Trifolium repens* to non-legume plants in unfertilised pastures. *Grassland Science of Europe*. 2010. Vol. 15. Pp. 752–754.

25. Jorgensen F.V., Jensen E.S., Schjoerring J.K. Dinitrogen fixation in white clover grown in pure stand and mixture with ryegrass estimated by the immobilized ¹⁵N isotope dilution method. *Plant and Soil*. 1999. Vol. 208. N 2. Pp. 293–305.
26. Lesuffleur F., Salon C., Jeudy C., & Cliquet J.B. Use of a ¹⁵N₂ labelling technique to estimate exudation by white clover and transfer to companion ryegrass of symbiotically fixed N. *Plant and soil*. 2013. Vol. 369. N 1–2. Pp. 187–197. DOI: 10.1007/s11104-012-1562-3.
27. Høgh-Jensen H., Schjørring J.K. Rhizodeposition of nitrogen by red clover, white clover and ryegrass leys. *Soil Biology and Biochemistry*. 2001. Vol. 33. N 4–5. Pp. 439–448 (URL: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00183-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00183-8)).
28. Nyfeler D., Huguenin-Elie O., Suter M. et al. Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources. *Agriculture, ecosystems & environment*. 2011. Vol. 140. N 1–2. Pp. 155–163 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.022>).
29. Van Eekeren N., van Liere D., de Vries F. et al. A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota. *Applied Soil Ecology*. 2009. Vol. 42. N. 3. Pp. 254–263 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.04.006>).
30. Elgersma A., Schlepers H. Performance of white clover/perennial ryegrass mixtures under cutting. *Grass and Forage Science*. 1997. Vol. 52. N 2. Pp. 134–146 (URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1997.tb02344.x>).
31. Louarn G., Pereira-Lopès E., Fustec J. et al. The amounts and dynamics of nitrogen transfer to grasses differ in alfalfa and white clover-based grass-legume mixtures as a result of rooting strategies and rhizodeposit quality. *Plant and Soil*. 2015. Vol. 389. N 1–2. Pp. 289–305 (URL: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2354-8>).
32. Pirhofer-Walzl K., Rasmussen J., Høgh-Jensen H. et al. Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. *Plant and soil*. 2012. Vol. 350. N. 1–2. Pp. 71–84. DOI: 10.1007/s11104-011-0882-z.
33. Rasmussen J., Soegaard K., Pirhofer-Walzl K., & Eriksen J. N₂-fixation and residual N effect of four legume species and four companion grass species. *European Journal of Agronomy*. 2012. Vol. 36. N 1. Pp. 66–74 (URL: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.09.003>).
34. Gylfadóttir T., Helgadóttir Á., Høgh-Jensen H. Consequences of including adapted white clover in northern European grassland: transfer and deposition of nitrogen. *Plant and Soil*. 2007. Vol. 297. N 1–2. Pp. 93–104 (URL: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9323-4>).
35. Schipanski M.E., Drinkwater L.E. Nitrogen fixation in annual and perennial legume-grass mixtures across a fertility gradient. *Plant and Soil*. 2012. Vol. 357. N 1–2. Pp. 147–159 (URL: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1137-3>).
36. Carlsen S.C., Pedersen H.A., Spliid N.H., & Fomsgaard I.S. Fate in soil of flavonoids released from white clover (*Trifolium repens* L.). *Applied and Environmental Soil Science*. 2012. Article ID 743413. 10 p. DOI: 10.1155/2012/743413.
37. Macfarlane M.J. Allelopathic effects of white clover (*Trifolium repens* L.) on pasture species in high country environments: thesis. Lincoln College, University of Canterbury, 1980 (URL: <https://hdl.handle.net/10182/2634>).
38. Frame J., Laidlaw A.S. Managing white clover in mixed swards principles and practice. *Pastos*. 2011. Vol. 28. N 1. Pp. 5–33.
39. Boelt B. Legume seed production and research in Europe. *Forage Seed*. 2002. Vol. 9. N 1. Pp. 33–34.
40. Humphries A.W., Robinson S.S., Hawkey D. et al. Diversity for resistance to a moderately virulent bluegreen aphid (*Acyrtosiphon kondoi* Shinji) population in *Trifolium* species. *Crop and Pasture Science*. 2016. Vol. 67. N 9. Pp. 1009–1018.
41. Lane P.M.S. Observations and insights on pasture persistence in New Zealand. *Pasture Persistence – Grassland Research and Practice Series*. 2011. Vol. 15. Pp. 47–52.

42. Helgadóttir Á., Gylfadóttir T.Ó., & Kristjánsdóttir T.A. The effects of grass species and nitrogen fertilizer on white clover growth and mixture yield in a northern maritime environment. *Icelandic Agricultural Sciences*. 2005. Vol. 18–19. Pp. 75–84.
43. Gooding R.F., Frame J. Effects of continuous sheep stocking and strategic rest periods on the sward characteristics of binary perennial ryegrass/white clover associations. *Grass and Forage Science*. 1997. Vol. 52. N 4. Pp. 350–359 (URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1997.tb02367.x>).
44. Cougnon M., Baert J., Van Waes C., & Reheul D. Performance and quality of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and mixtures of both species grown with or without white clover (*Trifolium repens* L.) under cutting management. *Grass and Forage Science*. 2014. Vol. 69. N. 4. Pp. 666–677 (URL: <https://doi.org/10.1111/gfs.12102>).
45. Zelenyy Yu.M. Osobennosti formirovaniya i perezimovki travostoya klevera polzuchego v odnovidovykh i sovместnykh posevakh s raygrasom odnoletnim pri vozdeleyvaniy na semena [Features of the formation and overwintering of white clover herbage in single-species and joint crops with annual ryegrass when cultivated for seeds]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya* [Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture], 2020, no. 3 (79), pp. 120–126.
46. Li Z., Peng Y., Ma X. Different response on drought tolerance and post-drought recovery between the small-leafed and the large-leafed white clover (*Trifolium repens* L.) associated with antioxidative enzyme protection and lignin metabolism. *Acta physiologiae plantarum*. 2013. Vol. 35. N. 1. Pp. 213–222 (URL: <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1066-z>).
47. Zolotarev V.N., Perepravo N.I. Agrobiologicheskaya otsenka sortov klevera polzuchego razlichnykh ekotipov pri vozdeleyvaniy na semena [Agrobiological evaluation of white clover cultivars of different ecotypes in the cultivation for seeds]. *Mnogofunktsional'noye adaptivnoye kormoproizvodstvo* [Multifunctional adaptive forage production : collection of scientific articles]. Issue 2 (69). Moscow, Ugresha T Publ., 2019, pp. 57–61. DOI: 10.33814/MAK-2019-21-69-57-61.
48. Zhuchenko A.A. Vzaimosvyaz' sistem selektsii, sortoispytaniya i semenovodstva [Interconnection of breeding systems, variety testing and seed production]. *Ovoshchi Rossii* [Vegetables of Russia], 2008, no. 1–2, pp. 6–10.
49. Elgersma A., Schlepers H., Nassiri M. Interactions between perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.) under contrasting nitrogen availability: productivity, seasonal patterns of species composition, N₂ fixation, N transfer and N recovery. *Plant and Soil*. 2000. Vol. 221. N 2. Pp. 281–299 (URL: <https://doi.org/10.1023/A:1004797106981>).
50. Zolotarev V.N. Ecocenotic Factors in Regulating Plant Productivity in Legume-Grass Seed Agrophytocenoses. *Russian Agricultural Sciences*. 2003. Vol. 29. N 6. Pp. 5–8.
51. Perepravo N.I., Shergina O.V. O semennoy produktivnosti klevera polzuchego v odnovidovykh i smeshannykh posevakh [About seed productivity of creeping clover in single-species and mixed crops]. *Selektsiya i semenovodstvo* [Breeding and seed production], 1993, no. 3, pp. 57–60.
52. Sagirova R.A., Panina O.S. Izucheniye ontogeneticheskogo morfogeneza klevera polzuchego (*Trifolium repens* L.) v svyazi s yego introduktsiyey v usloviyakh lesostepnoy zony Predbaykal'ya [Study of ontogenetic morphogenesis of creeping clover (*Trifolium repens* L.) in connection with its introduction in the forest-steppe of Cis-Baikal region]. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V.R. Filippova* [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov], 2016, no. 2 (43), pp. 25–30.
53. Zolotarev V.N. Desikatsiya semennykh travostoyev klevera polzuchego – zalog polucheniya vysokikh urozhayev semyan [Desiccation of creeping clover seed herbage is a guarantee of high seed yields]. *Rasteniyevodstvo i lugovodstvo* [Plant growing and meadow growing : materials of the All-Russian Scientific Conf. Ed.: A.V. Shitikova]. Moscow, RSAU–Moscow Agricultural Academy Publ., 2020, pp. 591–595. DOI: 10.26897/978-5-9675-1762-4-2020-131.
54. Sullivan C.S., Roerig K.C., Hulting A.G. Investigating the impact of row spraying on established white clover. *Seed Production Research. Department of Crop and Soil Science*. 2016. Pp. 52–54.

55. Geng W.C., Zhang Y.J., Shao X.F., & Tie Y.H. Effects of Different Cutting Regimes on Herbage Production and Seed Yields of White Clover. *Acta Agrestia Sinica*. 2007. Issue 3. Pp. 248–253.
56. Zolotarev V.N. Razrabotka tekhnologicheskikh priyemov vyrashchivaniya klevera polzuchego na semena v usloviyakh Tsentral'nogo rayona Nechernozemnoy zony RSFSR [Development of technological methods of cultivation white clover for seeds in conditions of the Central area of the Non-Chernozem zone RSFSR : author's abstract Dis. ... Candidate Agricultural Sciences]. Moscow, 1989, 16 p.
57. Zolotarev V.N., Perepravo N.I. Effektivnost' vozdeleyvaniya mnogoletnikh bobovykh trav na semena v smesyakh s myatlikovymi kul'turami [Efficiency of cultivation of perennial legume grasses for seeds in mixtures with bluegrass cultures]. *Sovmeshchennyye posevy polevykh kul'tur v sevooborote agrolandshafta* [Combined sowing of field crops in crop rotation of the agricultural landscape: International scientific ecological conference]. Krasnodar, KubSAU Publ., 2016, pp. 313–319.