

7. *Абрамов Н.В.* Формирование профиля черноземов выщелоченных Северного Зауралья в условиях длительной распашки/Н.В. Абрамов, Д.И. Еремин //Достижения науки и техники АПК. - 2012. - №3. - С. 7-9.
8. *Еремин Д. И.* Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральной системы удобрения под зерновые культуры в Северном Зауралье/Д. И. Еремин//Аграрный Вестник Урала. - 2010. - № 8(74). - С. 35-37.
9. *Eremin D.I.* Changes in the content and quality of humus in leached chernozems of the Trans-Ural forest-steppe zone under the impact of their agricultural use /D.I. Eremin //Eurasian soil science. 2016. Т.49. No 5. pp. 538-545. DOI: 10.1134/S1064229316050033
10. *Каретин Л.Н.* Почвы Тюменской области/Л.Н. Каретин. - Новосибирск: Наука, 1990. - 285 с.
11. *Еремин Д.И.* Биологическая активность и нитратный режим выщелоченных черноземов и луговых почв Тобол-Ишимского междуречья /Д.И. Еремин, С.В. Абрамова //Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2008. - № 2. - С. 67-71.
12. *Красницкий В.М.* Влияние гидротермических факторов на подвижность фосфора в черноземных почвах/В.М. Красницкий, О.Т. Ермолаев //Плодородие. - 2012. - № 3 (66). - С. 19-22.
13. *Еремин Д.И.* Скорость высвобождения питательных веществ из соломы яровой пшеницы на поверхности пахотного чернозема /Д.И. Еремин, А.А. Ахтямова //Молодой ученый. - 2015. - № 6-5(86). - С. 22-26.
14. *Еремин Д.И.* Влияние длительного использования органоминеральной системы удобрения зернового севооборота на динамику подвижного калия чернозема выщелоченного /Д.И. Еремин //Плодородие. - 2016. - №2(89). - С. 28-31.

DYNAMICS OF THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF OLD-ARABLE CHERNOZEM IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF TRANSURALS

S.G. Kotchenko¹, N.A. Gruzdeva², D.I. Eremin²

¹*Tyumenskaya State Station of Agrochemical Service Roshchinskoe sh. 2/10, Tyumen, 625041 Russia*

²*State Agrarian University of Northern Transurals ul. Respubliki 7, Tyumen, 625002 Russia E-mail: soil-tyumen@yandex.ru*

Results of long-term monitoring of old-arable leached chernozem in the forest-steppe zone of Transurals are presented. It is found, that, in the absence of organic fertilizers for 15 years, the content of humus gradually decreased from 5.2 to 4.0%. Annual plowback of cereal straw promoted the stabilization of the humus status in arable chernozem, but the additional introduction of organic fertilizers at a rate of no lower than 40 t/ha is required for the expanded reproduction of fertility. Old-arable chernozems of Northern Transurals are characterized by high potential acidity, which can cause a strong acidification under varying external conditions. Application of 4.0 t/ha rapidly (during 10 years) improves the chemical properties of chernozem; however, the initial level will restore later on. Cultivation of grain crops without corresponding compensatory fertilizer rates leads to deterioration of potassium–phosphorus status. Annual plowback of straw partially completes the reserves of mobile potassium but not phosphorus, which is necessary to be applied annually to obtain the planned productivity of grain crops.

Keywords: leached chernozem, plowland, Western Siberia, fertility, humus, exchangeable and total acidity, base saturation, total exchangeable bases, potassium–phosphorus status, Tyumenskaya agrochemical station

УДК 633.2:631.82:581.557

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ И КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЛЮЦЕРНО- И КЛЕВЕРОЗЛАКОВЫХ ТРАВΟΣМЕСЕЙ

Н.Н. Лазарев, д.с.-х.н., РГАУ-МСХА, А.М. Стародубцева, Всероссийский центр карантина растений 127550 г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, E-mail: lazarevnick2012@gmail.com

*Установлено в трехлетних исследованиях, что инокуляция препаратами клубеньковых бактерий способствовала повышению урожайности бобово-злаковых травосмесей на 20%. При предпосевной инокуляции злаковых трав ассоциативными бактериями *Klebsiella planticola* урожайность возрастала с 2,33 до 2,93 т/га сухого вещества. При внесении калийных удобрений в дозе K_{180} урожайность бобово-злаковых травосмесей увеличилась с 3,31 до 4,35 т/га. За три года пользования люцерно-злаковые травостои наибольшее количество биологического азота фиксировали при совместном применении калия и инокуляции – 176,7 кг/га, а клеверозлаковые травостои – в варианте с инокуляцией – 188,2 кг/га. Инокуляция не оказала значительного влияния на химический состав злаковых и бобово-злаковых травосмесей.*

Ключевые слова: люцерна, клевер, инокуляция, калийные удобрения, урожайность, азотфиксация.

Важные направления современного экологического растениеводства - не только подбор условий и режимов использования растительных сообществ, но и регуляция их взаимоотношений с микроорганизмами.

Путём селекции и совершенствования технологий применения биопрепаратов интенсивность симбиотической азотфиксации может быть увеличена не менее чем в 3 раза [1].

Применение инокуляции на бобовых травах даёт прибавку урожая до 15% [4]. При использовании комбинированных заводских штаммов накопление азота в почве под ними может увеличиваться более чем на 100 кг/га [5]. Высокой азотфиксирующей способностью обладает люцерна. На третий год пользования люцерно-злаковые травостои накапливают в надземной массе на 56-86% больше биологического азота, чем клеверозлаковые [2]. Повышение эффективности кормопроизводства за счёт микробиологических препаратов комплексного действия подразумевает использование не только традиционных инокулятов *Rhizobium* и *Sinorhizobium*, но и других перспективных видов [3]. Неизученным является вопрос о взаимовлиянии сочетания инокуляции симбиотическими и тем более ассоциативными азотфиксаторами с внесением минерального калия, стимулирующего экссудацию корневой системы.

Методика. Полевой опыт по изучению отзывчивости травосмесей с участием клевера лугового и люцерны изменчивой на применение инокуляции и калийного удобрения заложен в 2009 г. на полевой опытной станции РГАУ-МСХА. Для инокуляции бобовых трав использовали следующие симбиотические микроорганизмы: на клевере луговом – *Rhizobium leguminosarum subsp. trifolii*, штамм 344 а, на люцерне изменчивой – *Sinorhizobium meliloti*, штамм 425. Для инокуляции тра-

восмеси из тимофеевки луговой и костреца безостого использовали бактерии *Klebsiella planticola*. Штамм был выведен ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии и размножен на кафедре микробиологии РГАУ-МСХА, ранее он успешно применялся на овсянице красной.

В опыте изучали влияние инокуляции, калийных удобрений в дозе K_{180} и совместного действия инокуляции и калия на урожайность трех травосмесей: 1. Злаки (timoфеевка луговая + костреца безостый). 2. Люцерна изменчивая Пастбищная 88 + злаки. 3. Клевер луговой Марс + злаки.

Почва опытного участка - дерново-подзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке. Обеспеченность почвы подвижным фосфором повышенная (140 мг/кг), обменным калием – средняя (100 мг/кг), $pH_{\text{сол}}$ 5,63. Площадь опытных делянок 16 м², повторность – четырёхкратная. Vegetационные периоды 2010 и 2011 гг. были экстремально засушливыми.

Результаты и их обсуждение. Урожайность многолетних трав при инокуляции и внесении калийных удобрений. В 1-й год использования травостоев применение инокуляции положительно сказалось на урожайности бобово-злаковых травосмесей. Клеверозлаковая травосмесь увеличила урожайность на 1,16 т/га и люцерно-злаковая – на 0,48 т/га сухого вещества. Продуктивность травостоев второго года пользования с участием клевера лугового также возросла на 28-30% в вариантах с обработкой семян культурой клубеньковых бактерий и при совместном применении инокуляции и калийного удобрения (табл. 1). На 3-й год пользования в этих вариантах большей отзывчивостью на применение инокуляции отличалась более долгодетная люцерна изменчивая. Урожайность люцерно-злаковой травосмеси при

инокуляции составила 5,53 т/га, при дополнительном внесении калийных удобрений – 6,06 т/га сухой массы.

В среднем за три года при инокуляции урожайность клеверозлаковой травосмеси возросла на 20,3%, а люцерно-злаковой – на 20,2%. На внесение калийных удобрений более отзывчивой была люцерно-злаковая травосмесь. При совместном применении инокуляции и калия в дозе 180 кг/га люцерна в смеси с тимофеевкой луговой и кострецом безостым обеспечила наибольшую урожайность – 4,61 т/га. При инокуляции злаковых трав ассоциативными бактериями урожайность также возросла на 0,28-0,6 т/га. В среднем во всех вариантах опыта бобово-злаковые травосмеси превосходили по продуктивности злаковые в 1,6 раза.

Химический состав многолетних трав. Инокуляция злаковых трав, а также клевера и люцерны, высеванных в составе травосмесей со злаками, не оказала значительного влияния на химический состав получаемых кормов. В среднем за 3 года содержание сырого протеина в бобово-злаковых травосмесях изменялось от 13,9 до 16,0% (см. табл. 1).

Сочетание калийного удобрения с инокуляцией способствовало увеличению содержания сырого протеина лишь в клеверозлаковой травосмеси с 14,14 до 15,98%. В условиях засухи ускорялось прохождение травяными фазами вегетации, снижалась их облиственность, поэтому получаемые корма имели повышенную концентрацию сырой клетчатки – 33-36%. Также из-за острого дефицита влаги травы потребляли мало фосфора – от 0,13 до 0,24%. В бобово-злаковых травосмесях содержалось больше протеина и кальция, чем в злаковой травосмеси, соответственно, в 1,3-1,5 и 1,2 раза. Люцерно-злаковая травосмесь превосходила клеверозлаковую по содержанию кальция.

1. Урожайность и химический состав краткосрочных злаковых и бобово-злаковых травостоев

Вариант опыта	Урожайность, т/га сухого вещества				Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	P	Ca
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	среднее					
% сухой массы									
<i>Без инокуляции</i>									
Злаки	1,94	2,64	2,4	2,33	10,8	33,0	2,12	0,13	0,8
Злаки + люцерна изменчивая Пастбищная 88	1,78	4,31	3,84	3,31	14,4	35,3	2,74	0,16	0,87
Злаки + клевер луговой Марс	2,4	3,55	5,13	3,69	14,4	35,3	2,72	0,18	0,83
<i>При инокуляции</i>									
Злаки	1,84	3,07	3,89	2,93	10,2	34,4	1,89	0,13	0,7
Злаки + люцерна изменчивая Пастбищная 88	2,26	4,14	5,53	3,98	14,4	35,7	2,9	0,2	0,91
Злаки + клевер луговой Марс	3,56	4,63	5,14	4,44	15,1	36	2,63	0,16	0,85
<i>При внесении K_{180}</i>									
Злаки	1,94	2,11	3,16	2,40	11,0	35,1	2,24	0,14	0,65
Злаки + люцерна изменчивая Пастбищная 88	2,77	5,26	4,92	4,32	13,9	36,2	2,26	0,17	1,01
Злаки + клевер луговой Марс	3,49	3,44	5,08	4,00	14,1	36	2,46	0,21	0,83
<i>При инокуляции и внесении K_{180}</i>									
Злаки	2,11	2,27	3,66	2,68	10,7	34,1	2,43	0,16	0,75
Злаки + люцерна изменчивая Пастбищная 88	3,33	4,43	6,06	4,61	14,2	36,0	2,34	0,24	1,23
Злаки + клевер луговой Марс	3,10	4,42	4,97	4,16	16,0	36,4	1,87	0,21	0,76
НСР ₀₅ : для частных различий	0,26	0,29	0,47	0,20					
травосмесей	0,15	0,17	0,27	0,12					
инокуляции и удобрений	0,14	0,15	0,24	0,10					

Биологическая азотфиксация различными травосмесями. Проведённые на второй год жизни трав перед первым укосом учёты показали успешность инокуляции. Масса клубеньков при инокуляции у люцерны и клевера была в 2,8 и 5,5 раза больше, чем в контрольном варианте. Среди клубеньков, обнаруженных на главном корне растений, преобладали овальная и ок-

руглая формы, что характерно для культурных штаммов: при заражении растений дикими штаммами ризобий клубеньки имеют продолговатую, заострённую и неправильную форму, связанную с неравномерностью роста и размножения бактерий внутри колонизируемого растения.

Посев вытяжки из корней злаковых трав на питательной среде LB показал успешность колонизации растений ассоциативными азотфиксаторами рода *Klebsiella*.

Инокуляция способствовала увеличению количества выноса общего азота с урожаем трав. За три года при инокуляции он достигал 269,2 кг/га у люцерно-злаковой травосмеси и 328,1 кг/га у клеверозлаковой (табл. 2).

В сумме за три года люцерно-злаковые травостои фиксировали наибольшее количество биологического азота, определяемого разностным методом: при внесении калийных удобрений – 161,9 кг/га, а при совместном применении калия и инокуляции – 176,7 кг/га. Клеверозлаковые травостои не отзывались на внесение калия и обеспечивали максимальное количество азота в варианте с инокуляцией – 188,2 кг/га.

2. Вынос азота и биологическая азотфиксация урожаем бобово-злаковых травостоев за 3 года использования, кг/га

Вариант опыта	Вынос азота с урожаем				Биологически фиксированный азот			
	2010 г.	2011 г.	2012 г.	всего	2010 г.	2011 г.	2012 г.	всего
<i>Без инокуляции</i>								
Злаки	36,4	44,4	38,9	119,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Злаки + люцерна	43,9	94,8	81,5	220,2	7,5	50,4	42,6	100,5
Злаки + клевер	47,3	86,3	130,2	263,8	10,9	41,9	91,3	144,1
<i>При инокуляции</i>								
Злаки	32,5	50,1	57,3	139,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Злаки + люцерна	56,3	92,5	120,4	269,2	23,8	42,4	63,1	129,3
Злаки + клевер	69,4	121,0	137,7	328,1	36,9	70,9	80,4	188,2
<i>При внесении K₁₈₀</i>								
Злаки	35,0	38,1	52,7	125,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Злаки + люцерна	60,9	118,2	108,6	287,7	25,9	80,1	55,9	161,9
Злаки + клевер	69,6	80,4	124,0	274	34,6	42,3	71,3	148,2
<i>При инокуляции и внесении K₁₈₀</i>								
Злаки	34,1	41,4	61,2	136,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Злаки + люцерна	77,7	96,8	138,9	313,4	43,6	55,4	77,7	176,7
Злаки + клевер	79,2	111,8	128,6	319,6	45,1	70,4	67,4	182,9

Заключение. Исследования показали, что, несмотря на засушливые условия, инокуляция люцерны изменчивой сорта Пастбищная 88 и клевера лугового сорта Марс препаратами клубеньковых бактерий, а также многолетних злаковых трав (костреца безостого и тимфеевки луговой) ассоциативными азотфиксаторами рода *Klebsiella* оказала положительное влияние на урожайность бобово-злаковых и злаковых травосмесей и их азотфиксирующую способность.

Литература

1. Вэнс К. Симбиотическая азотфиксация у бобовых: сельскохозяйственные аспекты // Rhizobiaceae. Молекулярная биология бактерий,

взаимодействующих с растениями / Под. ред. Г. Спайнка и др. - СПб.: Бионт, 2002. – С. 541-564.

2. Лазарев Н.Н., Формирование урожаев многолетними бобовыми и злаковыми травами в засушливых условиях / Н.Н. Лазарев, А.В. Кольцов, С.М. Авдеев // Докл. ТСХА. – 2003. – Вып. 275. – С. 196-199.

3. Попов А.А. Биотехнология повышения продуктивности кормовых культур без минеральных удобрений / А.А. Попов, Г.П. Федорова // Кормопроизводство. – 2012. – №2. – С. 20-21.

4. Проворная Е.Е. Повышение эффективности использования биологического источника азота на пастбищах и сенокосах в луговодстве / Е.Е. Проворная, И.А. Селиверстов // Кормопроизводство: проблемы и пути решения. – М., 2007. – С. 38-46.

5. Тихонович И.А. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений / И.А. Тихонович, А.А. Завалин, Г.Г. Благовещенская, А.П. Кожемяков // Плодородие. – 2011. – №3. – 9-13.

EFFECT OF INOCULATION AND POTASSIUM FERTILIZERS ON THE PRODUCTIVITY OF ALFALFA- AND CLOVER-GRASS MIXTURES

N.N. Lazarev¹, A.M. Starodubtseva²

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy

ul. Timiryazevskaya 49, Moscow, 127550 Russia

E-mail: lazarevnick2012@gmail.com

²All-Russian Center for Plant Quarantine

ul. Pogranichnaya 32, Bykovo, Ramenki raion, Moscow oblast, 140150 Russia

*In a three-year-long study, it was found that inoculation with nodule bacteria preparations contributed to increase in the yield of legume-grass mixtures by 20%. After the preplanting inoculation of grasses with associative bacteria *Klebsiella planticola*, the yield increased from 2.33 to 2.93 t dry matter/ha. After the application of potassium fertilizer at a rate of K₁₈₀, the yield of legume-grass mixtures increased from 3.31 to 4.35 t/ha. During the three years of alfalfa-grass mixture cultivation, the largest content of biological nitrogen was recorded at the joint application of potassium and inoculation: 176.7 kg/ha; for clover-grass mixture, the highest nitrogen content was found in the treatment with inoculation: 188.2 kg/ha. Inoculation had no significant effect on the chemical composition of grasses and legume-grass mixtures.*

Keywords: alfalfa, clover, inoculation, potassium fertilizers, crop yield, nitrogen fixation.