

Роль типа почвы и генотипа макросимбионта в последствии биологического азота

В. М. НАЗАРЮК, М. И. КЛЕНОВА, Ф. Р. КАЛИМУЛЛИНА

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18
E-mail: nazaryuk@issa.nsc.ru

АННОТАЦИЯ

Изучено последствие биологического азота, созданного различными генотипами растений, на серой лесной и черноземно-луговой почвах. Обнаружена высокая эффективность усвоения фиксированного азота овсом после суперклубеньковой формы гороха. На второй год последствия на серой лесной почве прибавка урожая зерна относительно сорта составила 11 и на черноземно-луговой – 49 %.

Ключевые слова: почва, генотип макросимбионта, последствие, предшественник, биологический азот.

Экологически безопасное использование пахотных почв требует рационального использования биологического азота, созданного за счет процессов несимбиотической, ассоциативной и симбиотической азотфиксации. Основной вклад в пул доступных для растений соединений азота составляет симбиотическая азотфиксация [1, 2]. Величина фиксированного азота зависит от состояния почвенного плодородия, влияющего на функционирование клубеньков [3, 4], условий возделывания растений [5] и биологических особенностей культуры [6]. Среди семейства бобовых горох (*Pisum sativum* L.) занимает важное место в земледелии, он может за сезон фиксировать азота до 45 кг/га и более [7]. Эта культура в состоянии обеспечить за счет последствия биологического азота высокую интенсивность продукционного процесса растений и хорошее качество продукции [8]. Выявлено, что при создании зеленого конвейера, когда бобовая культура вы-

рачивается до полного цветения (период интенсивного развития симбиотического аппарата), а затем возделывается овес, почва, обогащенная фиксированным азотом, сравнивается на следующий год с контролем [9]. При полном цикле развития бобовой культуры эффективность последствия биологического азота повышается, особенно в первый год [10]. Во второй год потенциал последствия фиксированного азота после гороха снижается до невысокого значения, и поэтому возможности его мало исследуют. Менее изученной в данной проблеме остается также роль типа почвы и разных генотипов макросимбионта в качестве предшественника, поэтому необходимость проведения такой работы очевидна.

Цель работы – выяснить эффективность последствия биологического азота, созданного генотипами гороха, на разных типах почв во второй год выращивания злаковой культуры.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Эффективность последствия биологического азота, накопленного различными генотипами растений гороха, изучали на двух контрастных по гидротермическому режиму типах почв: серой лесной и черноземно-луговой. Содержание гумуса в них составило соответственно 3 и 3,5 %, общего азота – 0,13 и 0,19 %, подвижного фосфора (по Чирикову) – 20 и 15 мг и обменного калия (по Масловой) – 12 мг/100 г, рН водной вытяжки 7,2 и 6,8. Опыты проводили на делянках размером 30 × 50 см в трехкратной повторности. Азот плазмы микроорганизмов определяли методом фумигации-экстракции [11], нитратный азот – с помощью ионоселективного электрода, аммонийный азот – колориметрическим методом с реактивом Неслера. Почвенные образцы для анализа отбирали перед посевом семян овса. В качестве предшественников использовали исходный сорт Рондо и его мутанты: суперклубеньковый К-10а, бесклубеньковый К-14а, сорт Рамонский-77 и его бесклубеньковый мутант К-20а. В качестве контроля взяты мутанты К-14а и К-20а. По этим предшественникам высевали семена овса сорта Ровесник.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что во второй год последствия содержание микробного и нитратного азота после выращивания растений гороха различных генотипов на черноземно-луговой почве существенно выше, чем на серой лесной (табл. 1). Это связано с тем, что черноземно-луговая почва более холодная, поэтому темп минерализации органических соединений ниже, и он повлиял на содержание как микробного, так и аммонийного азота. Меньше всего этого элемента обнаружено в серой лесной почве в аммонийной форме, что объясняется значительной активностью процессов нитрификации и частичным усвоением азота растениями в предыдущее время. Общее количество минерального и микробного азота выше на черноземно-луговой почве, а на серой лесной больше азота в этих формах накапливалось по предшественнику суперклубеньковому мутанту К-10а. Сорт Рамонский-77 по способности к нитратонакоплению в почве почти не уступал сорту Рондо.

Изменилось также соотношение между формами азота – природного происхождения и фиксированного из воздуха бобовыми растениями (см. рисунок). На серой лесной поч-

Т а б л и ц а 1

Влияние типа почвы и генотипа макросимбионта на содержание доступных соединений азота в почве на второй год последствия биологического азота (опыт 2005 г.)

Предшественник	N-NO ₃	N-NH ₄	N _{микр}	Всего
	мг/кг			
<i>Серая лесная</i>				
Бесклубеньковый мутант К-14а	7,2	1,1	7,6	15,9
Суперклубеньковый мутант К-10а	11,0	1,3	17,2	29,5
Сорт Рондо	10,7	1,2	9,8	21,7
Бесклубеньковый мутант К-20а	7,3	1,0	7,3	15,6
Сорт Рамонский-77	6,5	1,2	12,7	20,4
НСР _{0,5}	0,6	0,2	1,4	2,7
<i>Черноземно-луговая</i>				
Бесклубеньковый мутант К-14а	12,2	5,2	35	52,4
Суперклубеньковый мутант К-10а	12,3	6,9	50	69,2
Сорт Рондо	14,1	6,0	45	65,1
НСР _{0,5}	0,4	1,1	3,7	4,3



Соотношение между формами азота серой лесной и черноземно-луговой почв при последствии биологического азота.

А – бесклубеньковый мутант К-14а, Б – суперклубеньковый мутант К-10а, В – сорт Рондо, Г – бесклубеньковый мутант К-20а, Д – сорт Рамонский-77

ве больше всего приходилось на микробный и нитратный азот, причем по предшественнику суперклубеньковому мутанту К-10а выделялась доля микробного азота, по предшественникам бесклубеньковому мутанту К-14а и сорту Рондо различия по долевого участию нитратного и микробного азота были невелики. Доля аммонийного азота изменялась мало и была минимальной в варианте с предшественником суперклубеньковым мутантом К-10а. Когда предшественниками были сорт Рамонский-77 и его бесклубеньковый мутант К-20а различия в сравнении с предыдущими генотипами больше всего касались нитратного азота. Его доля опустилась с 47 (мутант К-20а) до 32 % (Рамонский-77). На черноземно-луговой почве по сравнению с серой лесной доля микробного азота значительно возросла, немного увеличилась и доля аммонийного азота, в то же время долевого участие нитратного азота заметно сократилось, особенно по предшественнику суперклубеньковому мутанту К-10а. Повышенная доля микробного азота в черноземно-луговой почве среди других форм азотсодержащих соединений объясняется не только температурными, но и своеобразными водно-физическими условиями, характерными для этого типа почв. Для черноземно-луговой почвы, с одной стороны, характерен промывной водный режим, в результате которого нитраты могут мигрировать по почвенному профилю на большую глубину, вплоть до грунтовых

вод [12, 13], а с другой – наличие повышенной доли микробного азота сокращает потенци азота в результате вертикальной миграции [14], и это способствует улучшению экологической ситуации на черноземно-луговом типе почв.

Неодинаково складывающийся азотный режим в почвах, обусловленный последствием фиксированного азота различными генотипами гороха, отразился на продукционном процессе растений овса и на второй год. Самый высокий урожай зерна получен на серой лесной почве (табл. 2), что связано с более благоприятными тепловым и пищевым режимами. Овес, выращиваемый по предшественнику сорту Рондо на этом типе почвы, развивался довольно активно, прибавка урожая относительно бесклубенькового мутанта К-14а составила 16 %. Максимальный урожай овса получен по предшественнику суперклубеньковому мутанту К-10а, прибавка в этом случае относительно сорта Рондо составила 11 % и относительно бесклубенькового мутанта К-20а – 28 %. На этом же типе почвы прибавка урожая овса по предшественнику сорту Рамонский-77 относительно бесклубенькового мутанта К-20а составила 10 %. В отношении синтеза сухой массы соломы и полowy, а также общей надземной биомассы закономерность сохранилась, как и в случае зерновой продукции. Отметим, что в первый год эффективность использования почвенных запасов фиксированного азота была значительно выше: прибавка урожая овса по предшественнику сорту Рондо относительно бесклубенькового мутанта К-14а составила 40 % и у суперклубенькового мутанта – 54 % [15].

На черноземно-луговой почве урожайность овса была примерно в 2–2,5 раза меньше, чем на серой лесной почве. По величине этого показателя выделялся вариант, где в качестве предшественника был суперклубеньковый мутант К-10а. У него по сравнению с предшественником бесклубеньковым мутантом К-14а урожайность овса была выше в 1,7 раза, а у сорта Рондо – несколько меньше, всего в 1,1 раза. На черноземно-луговой почве меньше синтезировано и надземной вегетативной массы. Количество соломы + полowy у суперклубенькового му-

Т а б л и ц а 2

Влияние типа почвы и генотипа макросимбионта на урожайность овса при последствии биологического азота

Предшественник	Урожайность сухой массы, г/м ²		
	Зерно	Солома + полова	Общая биомасса
<i>Серая лесная</i>			
Сорт Рондо	360,0	403,4	763,4
Бесклубеньковый мутант К-14а	310,0	356,5	666,5
Суперклубеньковый мутант К-10а	398,4	421,6	820,0
Сорт Рамонский-77	323,4	350,0	673,4
Бесклубеньковый мутант К-20а	293,4	286,6	580,0
НСР _{0,5}	33,8	37,0	59,5
<i>Черноземно-луговая</i>			
Сорт Рондо	141,0	204,9	345,9
Бесклубеньковый мутант К-14а	123,0	180,6	303,6
Суперклубеньковый мутант К-10а	210,3	256,2	466,5
НСР _{0,5}	10,2	13,7	29,7

танта К-10а было максимальным, сорт Рондо по величине этого показателя занимал промежуточное положение. Полученная закономерность сохранилась и в отношении синтеза органического вещества общей надземной биомассы. Это связано с тем, что соотношение биомассы между вегетативной массой и зерном – консервативный признак для

конкретного генотипа растений и, чтобы изменить его в нужном направлении, необходимо приложить дополнительное экзогенное воздействие.

Роль предшественника отразилась по-разному на содержании питательных элементов в растениях овса (табл. 3). На серой лесной почве содержание азота в зерне несколько

Т а б л и ц а 3

Влияние типа почвы и генотипа макросимбионта на содержание питательных элементов в растениях овса, % на сухое вещество

Предшественник	N		P		K	
	1	2	1	2	1	2
<i>Серая лесная</i>						
Сорт Рондо	1,45	0,59	0,38	0,14	0,37	1,15
Бесклубеньковый мутант К-14а	1,62	0,39	0,34	0,16	0,34	1,24
Суперклубеньковый мутант К-10а	1,51	0,39	0,40	0,15	0,33	1,41
НСР _{0,5}	0,04	0,01	0,02	0,03	0,03	0,30
<i>Черноземно-луговая</i>						
Сорт Рондо	2,06	0,91	0,40	0,19	0,44	1,34
Бесклубеньковый мутант К-14а	2,09	0,78	0,37	0,18	0,34	1,48
Суперклубеньковый мутант К-10а	2,14	0,52	0,35	0,14	0,32	1,27
НСР _{0,5}	0,08	0,04	0,02	0,01	0,09	0,12

П р и м е ч а н и е. 1 – зерно, 2 – побочная продукция.

выше по предшественнику бесклубеньковому мутанту К-14а, чем по другим предшественникам, а в надземной вегетативной массе значительное превышение содержания этого элемента отмечалось после сорта Рондо. Генотип макросимбионта, определяющий процессы фиксации азота у предшественника, мало отразился на содержании фосфора и калия в зерне и побочной продукции. Исключение составил вариант, где предшественником был суперклубеньковый мутант К-10а. В этом варианте содержание калия в надземной вегетативной массе овса было несколько выше, чем после сорта Рондо, что, вероятно, связано с изменением запасов доступных форм калия в почве в процессе его усвоения растениями. Обращает на себя внимание распределение зольных элементов по органам: фосфор больше всего накапливался в зерновой продукции, а калий – в побочной, что характерно для злаковой культуры [16].

На черноземно-луговой почве содержание азота в зерне во всех вариантах существенно выше, чем на серой лесной. Это связано с тем, что на более холодной черноземно-луговой почве в сравнении с относительно теплой серой лесной максимальная интенсивность процессов минерализации азотсодержащих органических соединений падает на более поздний период [17], когда потребность

растений в азоте еще высока. В начале вегетации растения вынуждены существовать на менее обогащенном азотном фоне, а интенсивно потребляют азот во вторую половину вегетации, что и отразилось на содержании этого элемента в растениях. Выявить особенности распределения фосфора и калия в растениях овса не удалось; по всем вариантам опыта зольные элементы распределялись более равномерно, чем азот. Это объясняется тем, что у растений независимо от их обеспечения азотом довольно низкая продуктивность и злаковая культура не испытывала недостатка в фосфоре и калии.

Содержание макроэлементов в растениях и их продуктивность определяют вынос питательных веществ надземной биомассой, который зависел от типа почвы и уровня минерального питания (табл. 4). Максимальный вынос макроэлементов отмечен у растений овса на серой лесной почве и значительно меньше – на черноземно-луговой. Больше всего азота усвоили растения, выращенные по предшественнику суперклубеньковому мутанту К-10а и сорту Рондо, что объясняется лучшей обеспеченностью злаковой культуры азотом. В отношении фосфора и калия закономерность в значительной мере сохраняется, хотя есть определенные отклонения. Например, вынос калия зерном в вариантах, где выращивался овес на серой лесной поч-

Т а б л и ц а 4

Влияние типа почвы и генотипа макросимбионта на вынос питательных элементов растениями овса, г/м²

Предшественник	N			P			K		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<i>Серая лесная</i>									
Сорт Рондо	5,22	2,38	7,60	1,37	0,56	1,93	1,32	4,64	5,96
Бесклубеньковый мутант К-14а	5,02	1,39	6,41	1,05	0,57	1,62	1,05	4,42	5,47
Суперклубеньковый мутант К-10а	6,02	1,64	7,66	1,59	0,63	2,22	1,31	5,94	7,25
НСР _{0,5}	0,13	0,11	0,51	0,06	0,04	0,13	0,08	0,35	0,49
<i>Черноземно-луговая</i>									
Сорт Рондо	2,90	1,86	4,76	0,56	0,39	0,95	0,62	2,74	3,36
Бесклубеньковый мутант К-14а	2,57	1,41	3,98	0,45	0,32	0,77	0,42	2,67	3,09
Суперклубеньковый мутант К-10а	4,50	1,33	5,83	0,74	0,35	1,09	0,67	3,25	3,92
НСР _{0,5}	0,08	0,12	0,29	0,03	0,02	0,06	0,05	0,21	0,28

П р и м е ч а н и е. 1 – зерно, 2 – побочная продукция, 3 – надземная биомасса.

ве после суперклубенькового мутанта К-10а и сорта Рондо, был одинаков, а на черноземно-луговой почве калия больше отчуждено надземной вегетативной массой растений, сформировавшихся по предшественнику мутанту К-10а, нежели по сорту Рондо. В целом вынос питательных элементов растениями овса существенно меньше на черноземно-луговой почве, чем на серой лесной. Минимальный вынос макроэлементов – у растений, выращенных по предшественнику бесклубеньковому мутанту К-14а, в котором азотное питание осуществлялось только за счет природных запасов почвенного азота и отсутствовало обеспечение азотом вследствие процессов симбиотической азотфиксации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биологический азот, созданный различными генотипами макросимбионта (*Pisum sativum* L.), оказывается эффективен даже на второй год последействия, что отражается на азотном режиме почв, продуктивности растений и усвоении ими питательных элементов. Азот в вариантах с суперклубеньковым мутантом аккумулируется в основном в виде микробного азота и в меньшей степени – нитратного; содержание аммонийного азота находится в минимальном количестве независимо от типа почвы. В холодной черноземно-луговой почве по сравнению с относительно теплой серой лесной доля микробного азота возрастает, а нитратного – снижается, и это сказывается на формировании урожая злаковой культуры. Продуктивность растений овса зависит от типа почвы и его гидротермического режима, а также генотипа макросимбионта, выступающего в качестве предшественника. Наиболее высокая урожайность овса формируется на серой лесной почве по предшественникам, обладающим супернодуляцией, для которых характерна высокая активность процессов азотфиксации, хотя относительно сорта прибавка урожая зерна выше на черноземно-луговой почве. Повышенное содержание азота и зольных элементов отмечается в растениях овса, выращенных на черноземно-луговой почве, а более высокий вынос характерен для растений се-

рой лесной почвы. В целом можно сказать, что биологический азот, созданный предшественниками исходного сорта гороха и его суперклубеньковым мутантом, эффективен и на второй год последействия на всех типах почв, хотя существенно уступает первому году.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мишустин Е. И. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 343 с.
2. Symbiosis: Mechanisms and Model Systems. J. Seckbach (ed.) Dordrecht etc.: Kluwer Academic Publisher, 2002.
3. Сидорова К. К., Шумный В. К., Назарюк В. М. Симбиотическая азотфиксация: генетические, селекционные и эколого-агрохимические аспекты. Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 2006.
4. Родынюк И. С., Клевенская И. Л. Клубеньковые образования травянистых растений Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 176 с.
5. Назарюк В. М. Почвенно-экологические основы оптимизации питания растений. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
6. Трепачев Е. П. Агрохимические аспекты биологического азота в современной земледелии. М.: Агроконсалт, 1999.
7. Котлярова О. Г., Чернявский А. Н., Чернявский К. Н. Азотфиксация в посевах бобовых культур в зависимости от способов обработки почвы и удобрения // Агрохимия. 2007. № 8. С. 64–70.
8. Шумный В. К., Сидорова К. К., Клевенская И. Л. и др. Биологическая фиксация азота. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 270 с.
9. Назарюк В. М., Калимуллина Ф. Р., Кленова М. И. Эффективность последействия азота, фиксированного различными генотипами макросимбионта // Сиб. экол. журн. 2009. № 2. С. 279–286.
10. Havelka U. D., Boyle M. G., Hardy R. W. F. Biological nitrogen fixation // Nitrogen in Agricultural Soils. Madison: American Society of Agronomy, 1985. P. 365–413.
11. Brookes P. C., Landman A., Pruden G., Jenkinson D. S. Chloroform Fumigation and the Release of Soil Nitrogen: A Rapid Direct extraction method to Measure microbial Biomass Nitrogen in Soil // Soil Biol. & Biochem. 1985. Vol. 17, N 6. P. 837–842.
12. Duynisveld W. H. M., Strebel O. Tiefenverlagerung und Auswaschungsgefahr von Nitrat bei Wasserrungsättigten Böden, Klima und Grundwasserflurabstand // Landwirtschaftlich Forschung: Kongressband, 1984. Frankfurt am Main, 1985. S. 416–424.
13. Кирюшин В. И., Ткаченко Г. И. О нисходящей миграции нитратов в черноземах Западной Сибири при сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1986. № 2. С. 34–44.
14. Schnürer J., Clarholm M., Rosswall T. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with dif-

- ferent organic matter contents // *Soil Biol. Biochem.* 1985. Vol. 17, N 5. P. 611–618.
15. Назарюк В. М., Сидорова К. К., Шумный В. К., Кленова М. И., Калимуллина Ф. Р. Роль генотипа макросимбионта в оптимизации азотного режима почв // Докл. РАН. 2005. Т. 404, № 1. С. 136–138.
16. Stevenson F. J. Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. N.Y. e. a.: John Willey & Sons, 1986. 380 с.
17. Haynes R. J. The decomposition process mineralization, immobilization, humus formation and degradation // *Mineral Nitrogen in the Plant – Soil System*. Orlando, Florida: Akad. Press, INC, 1986. 303–378.

Role of Soil Type and Macrosymbiont Genotype in Aftereffect of Biological Nitrogen

V. M. NAZARYUK, M. I. KLENOVA, F. R. KALIMULLINA

*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18
E-mail: nazaryuk@issa.nsc.ru*

Aftereffect of biological nitrogen produced by different plant genotypes was studied in gray forest and chernozem meadow soils. High efficiency was established for availability of fixed nitrogen by oats after super nodular form of peas. In the second year of aftereffect the yield gain with regard to the breed amounted to 11 % and 49 % on gray forest and chernozem meadow soils, respectively.

Keywords: soil, genotype of macrosymbiont, aftereffect, preceding crop, biological nitrogen.