

УДК 633.37:631.584.5 (571.1)

ФОРМИРОВАНИЕ СИМБИОТИЧЕСКОГО АППАРАТА ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР В ОДНОВИДОВЫХ И ПОЛИВИДОВЫХ ПОСЕВАХ

Н. С. Елисеева, ассистент

А. В. Банкрутенко, кандидат сельскохозяйственных наук
Тарский филиал Омского государственного
аграрного университета им. П. А. Столыпина
E-mail: skatova-ns@mail.ru

Ключевые слова: клубеньковые бактерии, азотфиксация, горох, кормовые бобы, овес, урожайность, подтаежная зона

Реферат. Результаты исследований свидетельствуют о целесообразности применения отвальной обработки почвы с боронованием до и после появления всходов на серых лесных почвах подтаежной зоны Западной Сибири для формирования симбиотического аппарата зернобобовых культур. При этом сохраняются благоприятные агрофизические свойства пахотного слоя, а именно меньшая плотность и, как следствие, более поздний переход почвы в естественное равновесное состояние. Ростостимулирующие препараты и минеральные удобрения обеспечивают лучшее образование и развитие клубеньковых бактерий и способствуют получению наибольшей урожайности зеленой массы зернобобовых культур в одновидовых и поливидовых посевах. В результате проведенных исследований установлено, что в поливидовых посевах наблюдалось положительное взаимодействие компонентов смеси по азотфиксирующей активности и усвоению азота растениями, что сказалось на увеличении темпов формирования биомассы и росте продуктивности посевов. Так, наибольшая урожайность зеленой массы получена в трехкомпонентной смеси овса с горохом и кормовыми бобами, которая составила по лучшему варианту в среднем около 33,2–34,5 т/га, сбор сухого вещества – 9,51–9,87, кормовых единиц – 8,10–8,89 т/га, переваримого протеина – 960–1045 кг/га и обменной энергии – 105–126 МДж/га. Отвальная обработка почвы с боронованием посевов до и после появления всходов с одновременным применением ростостимулирующих препаратов и минеральных удобрений обеспечила лучшее образование и развитие клубеньковых бактерий во всех вариантах посева. Так, в одновидовом посеве гороха количество и масса клубеньков составили 54,6 млн шт./га и 131,1 кг/га соответственно; в поливидовых посевах: в двухкомпонентной смеси – 34,7 млн шт./га и 88,6 кг/га и в трехкомпонентной – 47,6 млн шт./га и 134,0 кг/га.

Возделывание зернобобовых культур является одним из важных элементов биологизации и экологизации земледелия. За счет симбиотической азотфиксации бобовые культуры приобретают существенную независимость от почвенного азота, способствуют сохранению его запасов и создают благоприятный агрохимический и фитосанитарный фон для последующих культур.

Посевные площади зернобобовых культур в подтаежной зоне Омской области в последние годы непрерывно сокращаются, что связано, прежде всего, с низкой урожайностью, которая в сельскохозяйственном производстве ограничивается низким плодородием почвы, недостаточным сортиментом, слабой материально-технической обеспеченностью. Однако одним из основных факторов, влияющих на продуктивность культур, является усовершенствование технологии их возделывания. Для увеличения урожайности требуется проведение комплекса мероприятий, направленных на создание оптимальных условий для

роста растений и активного симбиоза их с клубеньковыми бактериями [1–3].

Поэтому целью исследований в настоящее время остается разработка и совершенствование комплекса агротехнических мероприятий, направленных на активизацию азотфиксирующей способности зернобобовых культур в одновидовых и поливидовых посевах в условиях подтаежной зоны Западной Сибири посредством применения различных обработок почвы и средств химизации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевой опыт был заложен в 2010–2012 гг. на полях отдела северного земледелия ГНУ СибНИИСХ в подтаежной зоне Омской области. Почва опытного участка серая лесная средне-суглинистая с содержанием гумуса 2,7–3,0%; содержание азота – низкое, фосфора и калия –

среднее. Мощность гумусового горизонта 18–20 см. Реакция почвенного раствора слабокислая. Погодные условия в годы исследований различались по метеоусловиям: 2010 г. был теплым и увлажненным (ГТК 1,03), 2011 г. – теплым и влажным (ГТК 1,2), 2012 г. – жарким и недостаточно увлажненным (ГТК 0,8).

Опыт по изучению формирования симбиотического аппарата зернобобовых культур – трехфакторный: фактор А – основная обработка почвы: 1) отвальная (вспашка на глубину 18–20 см); 2) отвальная (вспашка на глубину 18–20 см) + боронование, проводимое до и после появления всходов; 3) безотвальная (плоскорезная обработка на глубину 16–18 см); 4) поверхностная обработка (дискование на глубину 8–9 см); фактор В – посевы: 1) горох; 2) овес + горох; 3) овес + +горох + кормовые бобы; фактор С – химизация: 1) контроль (без средств химизации); 2) стимулятор роста (СР); 3) минеральные удобрения; 4) стимулятор роста + минеральные удобрения (комплексная химизация). В исследованиях использовались следующие сорта: овес (норма высева в смесях 3,0 млн шт./га) – Иртыш 21, горох (полная норма высева 1,2, в двухкомпонентной смеси – 0,6, в трехкомпонентной – 0,3 млн шт./га) – Благовест, кормовые бобы (норма высева в трехкомпонентной смеси – 0,2 млн шт./га) – Сибирские. Удобрения вносили в дозе $N_{40}P_{60}$. В качестве стимулятора роста применяли препарат гумимакс 0,5 л/га. Площадь делянки 35 м² (учетная площадь – 24 м²), размещение – систематическое, повторность – четырехкратная. Уборку посевов проводили на корм в период молочно-восковой спелости овса, что соответствовало периоду налива и образования бобов у зернобобовых культур. Учеты и наблюдения вели согласно «Методическим указаниям по проведению полевых опытов с кормовыми культурами» [4]. Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов в изложении Б. А. Доспехова, а также с помощью прикладных программ Microsoft Excel [5, 6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одним из основных показателей, характеризующих агрофизическое состояние почв, является плотность их сложения. Для каждой почвы характерна своя равновесная (естественная) плотность, которая формируется под воздействием природных факторов. Разницей между значениями оптимальной и равновесной плотности обусловлена целесообразность и интенсивность проведения обработки почвы [7]. Многие авторы отмечают, что естественная равновесная плотность сложения серых лесных почв близка к оптимальной для зерновых культур, что определяет возможность минимализации основной обработки [8].

Отсутствие значительной разницы между различными вариантами основной обработки почвы (отвальной, безотвальной, комбинированной, минимальной) по их влиянию на плотность и соответствие ее значений перед посевом оптимальным для зерновых культур и гороха отмечено в опытах Е.Х. Нечаевой [9]. В то же время исследованиями Г.И. Казакова [10] установлено, что под бобовые во влажные годы необходимо глубоко рыхлить почву в связи с увеличением в этих условиях равновесной плотности до границы оптимальных значений и выше.

Общий объем и соотношение пор различного размера в почве, непосредственно определяемые ее плотностью, очень важны для активной жизнедеятельности корней и симбиотического аппарата зернобобовых. В связи с аэробностью клубеньковых бактерий прямое влияние на их функционирование оказывает некапиллярная пористость, т.е. сумма пор аэрации, которая находится в обратной зависимости от плотности почвы.

Результаты наших исследований показали, что различные варианты основной обработки почвы оказывают неоднозначное влияние на формирующееся к посеву сложение пахотного слоя (табл. 1).

Таблица 1

Плотность почвы до посева (г/см³) в зависимости от основной обработки почвы
(в среднем за 2010–2012 гг.)

Основная обработка почвы	Слой почвы, см			
	0–10	10–20	20–30	0–30
Отвальная	1,07	1,17	1,20	1,15
Безотвальная	1,05	1,20	1,28	1,18
Поверхностная	1,06	1,22	1,26	1,18
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	0,02	0,04	0,03

Наибольшая плотность почвы наблюдалась практически во всех изучаемых слоях в вариантах с безотвальной и поверхностной обработками почвы. Более благоприятное для возделывания сельскохозяйственных культур агрофизическое состояние горизонта 0–30 см по данному показателю ($1,15 \text{ г/см}^3$) отмечено по отвальной обработке. В дальнейших исследованиях этот вариант был поделен нами на две части: первая — без боронования, а вторая — с проведением до- и послевсходового боронования. Боронования не только сократили численность сорняков, но и освободили дополнительное пространство для роста и развития культурных растений, а также улучшили водно-воздушный режим в почве, при этом плотность почвы в период всходов в слое 0–10 см составила $1,07 \text{ г/см}^3$. Это положительно повлияло на формирование клубеньковых бактерий у гороха и кормовых бобов.

В настоящее время общепризнанно, что агрономически ценными являются почвенные структурные отдельные размеры в пределах от 0,25 до 10 мм. Исследования показали, что в зависимости от основной обработки почвы существенной разницы в содержании почвенных агрегатов различных размеров по слоям пахотного горизонта не наблюдалось (рис. 1).

Наиболее благоприятные условия для формирования и активного функционирования клубеньков на корнях гороха и кормовых бобов складывались по отвальной обработке с проведением до- и послевсходового боронования (рис. 2).

В одновидовом посеве гороха наблюдалось наибольшее количество активных клубеньков во всех вариантах. При этом максимальной масса клубеньков ($131,1 \text{ кг/га}$) была на фоне отвальной обработки с боронованием до и после появления всходов при применении ростостимулирующих препаратов с внесением минеральных удобрений, на этом же фоне в контроле масса составила $72,1 \text{ кг/га}$ (см. рис. 2, а). По остальным фонам обработок и вариантам химизации количество и масса клубеньков снижались. Наименьшее количество и масса клубеньков на корнях гороха наблюдались на фоне с поверхностной обработкой почвы во всех вариантах химизации, как в одновидовом, так и в поливидовом посеве (см. рис. 2, б, в).

При использовании гороха в поливидовом посеве с уменьшением нормы высева количество растений на 1 га также уменьшалось, при этом снижались общее содержание клубеньков и их масса, но в то же время образовалось больше под-

почвенного пространства для их развития. В связи с этим шло увеличение массы активных клубеньков на одном растении в среднем по фонам и средствам химизации на 5–7% в двухкомпонентной смеси и на 11–15% в трехкомпонентной по сравнению с одновидовым посевом.

В трехкомпонентную смесь помимо гороха включали кормовые бобы, у которых также шла активная симбиотическая деятельность (об этом свидетельствует ярко-розовая окраска клубеньков). Содержание клубеньков на корнях кормовых бобов по изучаемым вариантам колебалось от 15,5 до 24,9 млн шт./га, это больше на 3–4 млн шт./га по сравнению с горохом в этой же смеси. Масса клубеньковых бактерий на отдельном растении также была больше на 6–11%. Суммарное содержание клубеньков у гороха и кормовых бобов превосходило содержание в двухкомпонентной смеси, но уступало одновидовому посеву гороха. Суммарная масса клубеньков в лучшем варианте (отвальная обработка с боронованием до и после появления всходов с комплексной химизацией) составляла $134,0 \text{ кг/га}$, что выше на $3,9 \text{ кг/га}$, чем в одновидовом посеве гороха, и на $45,4 \text{ кг/га}$, чем в смеси гороха с овсом (см. рис. 2, г).

В одновидовом посеве гороха конкуренция растений за условия произрастания происходит только с сорняками и между собой. При обработке посевов стимулятором роста существенных различий в формировании симбиотического аппарата, а также биомассы не наблюдалось. В варианте с применением минеральных удобрений шло увеличение зеленой массы гороха, а также активнее функционировали клубеньковые бактерии. Максимальное количество бактерий отмечено в период бутонизации — начала цветения.

В поливидовых посевах наблюдалось положительное взаимодействие компонентов смеси по азотфиксирующей активности и усвоению азота растениями, что сказалось на увеличении темпов формирования биомассы и росте продуктивности посевов. Так, наибольшая урожайность зеленой массы получена в трехкомпонентной смеси овса с горохом и кормовыми бобами, которая составила по лучшему варианту в среднем около $33,2\text{--}34,5 \text{ т/га}$, сбор сухого вещества – $9,51\text{--}9,87$, кормовых единиц – $8,10\text{--}8,89 \text{ т/га}$, переваримого протеина – $960\text{--}1045 \text{ кг/га}$ и обменной энергии – $105\text{--}126 \text{ МДж/га}$. При этом существенных различий с вариантом применения удобрений по всем показателям продуктивности не наблюдалось. Если анализировать урожайность и продуктив-

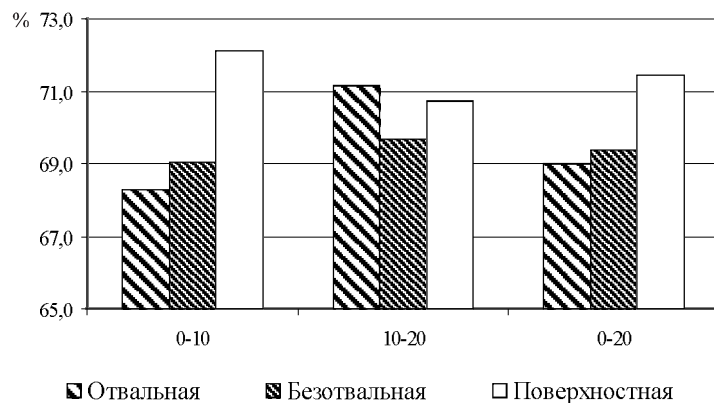


Рис. 1. Содержание агрономически ценных агрегатов (фракций 0,25–10,0 мм) до посева в слое 0–20 см в зависимости от основной обработки почвы

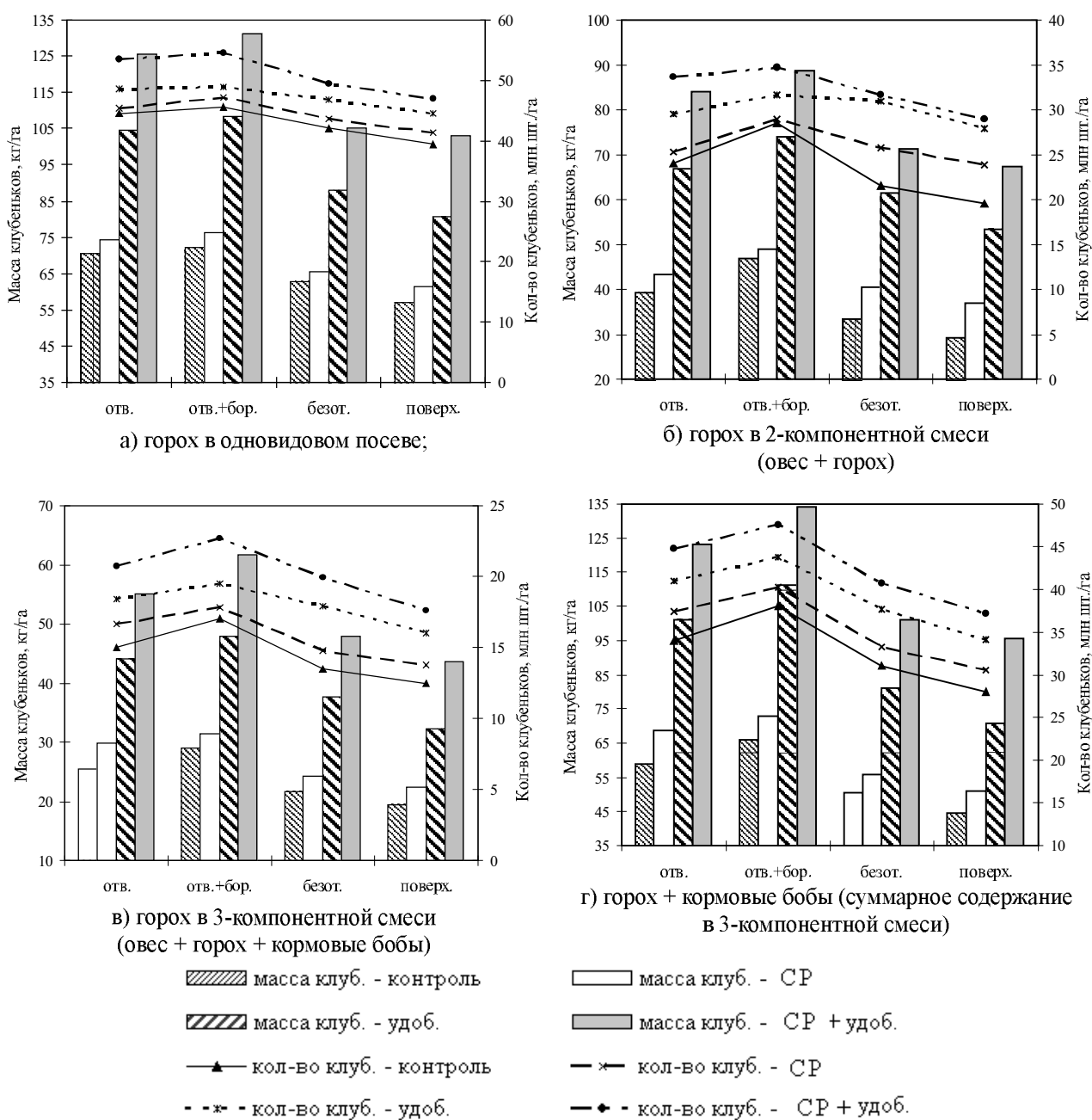


Рис. 2. Количество и масса клубеньков на корнях гороха в одновидовом и поливидовых посевах

ность зеленой массы по видам обработки почвы, то по отвальной обработке с последующим боронованием они существенно превосходили аналогичные показатели, полученные по безотвальной и плоскорезной обработкам.

Одной из особенностей однолетних бобовых культур и их смесей является их азотфиксиру-

ющая способность. Основываясь на этом, по результатам наших исследований мы установили корреляционно-регрессионную связь между сбором кормовых единиц и количеством, а также массой клубеньковых бактерий у лучшего варианта (овес + горох + кормовые бобы) в зависимости от средств химизации (табл. 2).

Таблица 2

Корреляционно-регрессионная связь между сбором кормовых единиц (у) и количеством и массой клубеньковых бактерий (х) в зависимости от средств химизации

Вариант	Прямолинейная зависимость		Криволинейная зависимость	
	уравнения	R ²	уравнения	R ²
<i>Количество клубеньков с растения, млн шт./га</i>				
Контроль	$y = 0,0117x + 7,66$	0,76	$y = 0,0014x^2 - 0,0792x + 9,14$	0,84
Стимулятор роста (СР)	$y = 0,0138x + 7,60$	0,79	$y = 0,0004x^2 - 0,0144x + 8,10$	0,86
Минеральные удобрения (У)	$y = 0,0768x + 5,91$	0,82	$y = 0,0028x^2 - 0,1422x + 10,14$	0,89
СР + У	$y = 0,0652x + 6,34$	0,81	$y = 0,0056x^2 - 0,4131x + 16,39$	0,88
<i>Масса клубеньков, кг/га</i>				
Контроль	$y = 0,0053x + 7,75$	0,77	$y = 0,0004x^2 - 0,0367x + 8,88$	0,91
Стимулятор роста (СР)	$y = 0,0059x + 7,72$	0,80	$y = 0,0002x^2 - 0,0161x + 8,39$	0,92
Минеральные удобрения (У)	$y = 0,0182x + 7,26$	0,84	$y = 0,00007x^2 + 0,006x + 7,80$	0,95
СР + У	$y = 0,0176x + 7,13$	0,83	$y = 0,00002x^2 + 0,0118x + 7,45$	0,94

Полученные уравнения позволяют проследить увеличение и уменьшение темпов сбора кормовых единиц в зависимости от массы и количества клубеньковых бактерий на растениях бобовых культур в смеси в разных вариантах химизации. Причём уравнения криволинейной зависимости позволяют сделать это более точно, так как они подобраны адекватно, т.е. критерий детерминации у них наиболее приближен к 1. При совместном действии массы (М) и количества клубеньковых (К) бактерий на сбор кормовых единиц зависимость выражается следующими уравнениями:

1. Для варианта с минеральными удобрениями:

$$K.ед. = 10,05 - 0,15K + 0,05M \quad (r = 0,97 \pm 0,04). \quad (1)$$

2. Для варианта стимулятор роста + минеральные удобрения:

$$K.ед. = 8,50 - 0,09K + 0,04M \quad (r = 0,95 \pm 0,09). \quad (2)$$

Если сравнивать сбор кормовых единиц на разных видах обработки почвы, то более сильная зависимость наблюдается в варианте с отвальной обработкой почвы с до- и послеваходовым боронованием. Это подтверждается уравнениями регрессии и коэффициентами корреляции:

1. Для варианта отвальная обработка + боронование:

$$K.ед. = 11,65 + 0,04M - 0,17K \quad (r = 0,97 \pm 0,03). \quad (3)$$

2. Для варианта с безотвальной обработкой:

$$K.ед. = 6,29 + 0,01M + 0,04K \quad (r = 0,91 \pm 0,11). \quad (4)$$

Таким образом, корреляционно-регрессионная зависимость подтверждает полученные агрономические результаты, т.е. наибольший сбор кормовых единиц (а также урожайность зеленой массы) в смеси получены в вариантах с применением минеральных удобрений и комплексной химизацией (СР+У) на фоне с отвальной обработкой почвы с последующим боронованием, где были отмечены наибольшая масса и количество клубеньковых бактерий на корнях гороха и кормовых бобов.

ВЫВОДЫ

1. Формированию симбиотического аппарата зернобобовых, а также активному и длительному его функционированию более благоприятствовал вариант с отвальной обработкой почвы с боронованием до и после появления всходов. Это связано с относительно длительным сохранением благоприятных для гороха

и кормовых бобов агрофизических свойств пахотного слоя, а именно меньшей плотностью и, как следствие, более поздним переходом почвы в естественное равновесное состояние.

2. Отвальная обработка почвы с боронованием посевов до и после появления всходов с одновременным применением ростостимулирующих препаратов и минеральных удобрений

обеспечила лучшее образование и развитие клубеньковых бактерий во всех вариантах посева. Так, в одновидовом посеве гороха количество и масса клубеньков составили 54,6 млн шт./га и 131,1 кг/га соответственно; в поливидовых посевах: в двухкомпонентной смеси – 34,7 млн шт./га и 88,6 кг/га и в трехкомпонентной – 47,6 млн шт./га и 134,0 кг/га.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мильто Н. И. Клубеньковые бактерии и продуктивность бобовых растений. – Минск: Наука и техника, 1982. – 296 с.
2. Мишустин Е. Н., Шильникова В. К. Биологическая фиксация атмосферного азота. – М.: Наука, 1968. – 532 с.
3. Посыпанов Г. С. Биологический азот – проблемы экологии и растительного белка. – М.: Агропромиздат, 1993. – 462 с.
4. Методика полевых опытов с кормовыми культурами / Всесоюз. НИИ кормов им. В. Р. Вильямса. – М., 1983. – 197 с.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Колос, 1979. – 416 с.
6. Казанцев В. П., Банкрутенко А. В. Полевой опыт и основные методы статистического анализа. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2010. – 209 с.
7. Ягодин Б. А. Теоретические основы фиксации молекулярного азота и роль биологического азота в земледелии СССР. – М., 1981. – 639 с.
8. Данилов Г. Г., Каргин И. Ф., Немцев Н. С. Система обработки почвы. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 270 с.
9. Нечаева Е. Х. Плодородие почвы и симбиотическая активность гороха при биологизации его возделывания в лесостепи Заволжья: дис. ... канд. с.-х. наук. – Кинель, 2003. – 166 с.
10. Казаков Г. И. Обработка почвы в Среднем Поволжье. – Самара, 1997. – 200 с.

SYMBIOTIC APPARATUS DEVELOPMENT OF LEGUMINOUS CROPS IN UNI-AND POLYSPECIES SOWINGS

N. S. Eliseeva, A. V. Bankrutenko

Key words: nodule bacteria, nitrogen-fixation, peas, broad beans, oat, productivity, subtaiga zone

Abstract. Research data testify to the expediency of moldboard soil cultivation with harrowing before and after shoots emergence in forest grey soils of West Siberia's subtaiga zone for the symbiotic apparatus of grain legumes to develop. Herewith favorable agrophysical properties of soil plow layer are preserved, particularly less compactness and hence, later soil transmission to natural balanced conditions. Growth stimulating preparations and mineral fertilizers encourage better formation and development of nodule bacteria and facilitate the highest productivity of green mass in leguminous crops in uni- and polyspecies sowings. As a result of the research conducted it was identified that in polyspecies sowings, there was observed positive interaction of the mixture components for nitrogen fixing activity and nitrogen consumption by plants, which added to higher rates of biomass formation and sowings productivity. Thus, the highest yield of green mass was obtained in the three-component mixture of oat x pea x broad beans, its best option averaged roughly 33.2–34.5 t/ha, dry matter obtained was 9.51–9.87, feed units made up 8.10–8.89 t/ha, digestible protein and exchangeable energy were 960–1045 kg/ha and 105–126 MJoule/ha, respectively. Moldboard soil cultivation with crops harrowing before and after shoots emergence with concurrent application of growth stimulating preparations and mineral fertilizers encouraged better formation and development of nodule bacteria in all the sowing options. Thus, in pea sowing as a unispecies the quantity and weight of nodules made up 54.6 mln. units/ha and 131.1 kg/ha, respectively. As for polysowings, nodules quantity and weight were 34.7 mln. units/ha and 88.6 kg/ha in a two-component mixture, 47.6 mln. units/ha and 134.0 kg/ha in a three-component mixture, respectively.