

УДК 631.461.5:631.584.5

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОБНО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В БОБОВО-ЗЛАКОВОМ ПОСЕВЕ

Кононов А.С.

ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,  
Брянск, e-mail: as-kon@yandex.ru

Разработана методика оценки эффективности стимуляции роста и развития растений в бобово-злаковом смешанном посеве. Для проверки методики в микробиологический состав, содержащий бактерии рода *Rhizobium lupini*, дополнительно вводили ассоциативные азотфиксирующие бактерии рода *Flavobacterium*, при весовом соотношении компонентов 1,0–1,5:1,5–2,0. Установлено, что оценку эффективности микробно-растительных взаимодействий необходимо проводить по взаимовлиянию компонентов микробиологической композиции на урожайность зеленой массы смешанных посевов. Показано, что новая методика расчетов взаимодействий позволяет выявить эффект синергизма. Как показал расчет эффективности микробно-растительных взаимодействий в бобово-злаковом посеве, новый состав за счет синергического взаимодействия микробиологических компонентов обеспечивает прибавки урожая зеленой массы 8,7–9,1 т/га или 16–21% к контролю и не оказывает токсического воздействия на культурные растения.

**Ключевые слова:** аддитивные взаимодействия, симбиотические азотфиксаторы, смешанный посев, клубеньковые бактерии, ассоциативные азотфиксаторы, синергизм

## METHOD OF CALCULATION OF EFFICIENCY OF PLANT-MICROBIAL INTERACTIONS IN LEGUME-OR GRASSES SOWN

Kononov A.S.

FGBOU VPO «Bryansk State University of a Name of Academician I.G. Petrovsky»,  
Bryansk, e-mail: as-kon@yandex.ru

The methodology to assess the effectiveness of stimulating the growth and development of plants in legume-or grasses mixed sowing. To test the technique in microbiological composition containing bacteria of the genus *Rhizobium lupini* additionally injected associative nitrogen-fixing bacteria of the genus *Flavobacterium*, in the weight ratio of the components of 1,0–1,5:1,5 to 2,0. It is established that the assessment of the effectiveness of plant-microbial interactions, it is necessary to mutual influence of components of microbiological composition on the yield of green mass of mixed crops. It is shown that the new method of calculation interactions allows to identify synergies. As shown by calculations of the efficiency of plant-microbial interactions in legume-or grasses sown, the new composition due to the synergistic interaction of microbiological components provides increase in the crop yield of green mass of 8,7–9,1 t/ha or 16 to 21% for the control and no toxic effects on cultural plants.

**Keywords:** additive interaction, symbiotic nitrogen-fixing microorganisms enrich mixed sowing, nodule bacteria, associative nitrogen-fixing microorganisms enrich, synergies

Современные интенсивные технологии основываются на внесении больших доз минеральных азотных удобрений. Важно сократить внесение азота в виде минеральных азотных удобрений и восполнить потребность растений в этом элементе путем перехода на использование «биологического азота» [5,6,11].

Среди микроорганизмов, усваивающих азот атмосферы, выделяется группа симбиотических азотфиксаторов рода *Rhizobium* и еще две большие группы не симбиотических анаэробных и аэробных азотфиксаторов – это гетеротрофы из родов *Azotobacter* и *Beijerinckia*, а также микроорганизмы, относящиеся к группе ассоциативных бактерий из рода *Azospirillum*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium* и других, обитающие в ассоциациях на поверхности корневой системы высших растений [1].

Активность клубеньковых бактерий рода *Rhizobium* при микробно-растительных взаимодействиях с бобовыми растени-

ями в значительной степени определяется вирулентностью штамма, его конкурентной способностью в определенных экологических условиях и совместимостью с растением-хозяином, определяющее значение которого состоит в способности вида или сорта обеспечить процесс связывания азоте достаточным количеством энергетических веществ [3, 4, 7, 9, 10, 12]. Отсюда следует, что очень важно изучить потенциальные возможности бобово-ризобияльного симбиоза и найти пути его стимуляции применительно к конкретным смешанным бобово-злаковым посевам и почвенно-климатическим условиям.

Целью исследования являлась разработка методики оценки эффективности микробно-растительных взаимодействий при использовании микробиологического состава на основе клубеньковых бактерий рода *Rhizobium* (симбиотического азотфиксатора), по величине урожайности биомассы смешанного бобово-злакового посева.

Задачей исследования было выяснение эффектов микробно-растительных взаимодействий при различных соотношениях клубеньковых бактерий рода *Rhizobium lupini* и ассоциативных бактерии рода *Flavobacterium* sp. и их влияния на урожайность биомассы двухкомпонентного люпино-злакового посева.

### Материалы и методы исследований

Полевые и лабораторные опыты были проведены в 2006–2009 годах на опытном поле и лаборатории «Азотфиксации и иммунитета растений» БГУ. Объекты исследований: смешанный посев, включающий люпин и ячмень, клубеньковые и ассоциативные бактерии рода *Rhizobium lupini*, штамм 363а получен от Кожемякова А.П. (ВНИИСХМ Россельхозакадемии), и *Flavobacterium* sp., штамм № 30, получен от Кожемякова А.П. (ВНИИСХМ Россельхозакадемии). Предшественник в полевом опыте – яровая пшеница. Размер опытной делянки: общая площадь – 25,8 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 25,0 м<sup>2</sup>. Размещение вариантов рендомизированное в четырехкратной повторности. Почва опытного участка – серая лесная легкосуглинистая на лессовидном карбонатном суглинке с содержанием гумуса по Тюрину 2,4–3,1%, подвижного фосфора P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> по Кирсанову – 22–28 мг и обменного калия K<sub>2</sub>O по Масловой – 14–20 мг на 100 г почвы, рН<sub>сол.</sub> 5,2–5,8. Способ посева – сплошной рядовой сеялкой СН-16 с нормой посева 1,0 млн. всхожих семян люпина и 1,6 млн всхожих семян на гектар ячменя. В день посева семена обрабатывались ризоторфином, штамм 363а, и флавобактерином, штамм № 30, согласно схеме опыта (таблица) полувлажным способом с прилипателем Na КМЦ. Все варианты опыта высевали в один день. В состав, содержащий бактерии рода *Rhizobium lupini*, штамм 363а, не менее 2,5 млрд активных клеток клубеньковых бактерий в 1 грамме препарата дополнительно вводили ассоциативные азотфиксирующие бактерии рода *Flavobacterium* sp., штамм № 30, содержащие не менее 4,0 млрд активных клеток в 1 г препарата. При этом весовое соотношение компонентов составляло 1,0–1,5:1,5–2,0 [6].

Учеты и наблюдения в опыте проводили по методике Госсортосети [8].

Учет урожая – поделяночным методом вручную с взвешиванием всей массы растений.

Расчет показателя взаимодействия компонентов смеси и биопрепаратов по величине прибавки урожая.

Для расчета взаимодействия растений-компонентов гетерогенного посева и биопрепаратов использовали уравнение, которое позволяет рассчитать теоретический показатель микробно-растительного взаимодействия по величине прибавки урожая  $E$ :

для двух компонентов смеси  $E = (X \cdot Y)/100$ ;

для трех компонентов смеси  $E = (X \cdot Y \cdot Z)/10000$ ;

для  $n$  компонентов смеси  $E_n = (X \cdot Y \cdot Z \cdot \dots \cdot n)/100^{n-1}$ ,

где  $X$  – прибавка урожайности после применения соотношения компонентов 1,%;  $Y$  – прибавка урожайности после применения соотношения компонентов 2;  $Z$  – прибавка урожайности после применения соотношения компонентов 3;  $n$  – прибавка урожайности после применения соотношения компонентов  $n$ .

Прибавка урожайности после применения соотношения компонентов определяется как разница с контролем. Если фактически полученное значение ниже рассчитанного по формуле, растения при этом

соотношении компонентов считаются антагонистами, выше – синергистами, при равенстве рассчитанных и полученных величин их действие рассматривается как аддитивное.

Закладку полевых опытов и дисперсионный анализ полученных данных проводили по методике Б.А. Доспехова (1985) [2].

### Результаты исследований и их обсуждение

Изучение микробно-растительных взаимодействий и влияния микробиологических составов на рост и развитие смешанного бобово-злакового посева показало, что применяемые дозы клубеньковых бактерий *Rhizobium lupini* повышали на 6,5–10,1%, а ассоциативные азотфиксаторы рода *Flavobacterium* sp. – на 4,5–7,7% урожайность зеленой массы по сравнению с контролем без обработки посева ризобактериями (таблица). Установлено, что наиболее благоприятно на урожайность люпино-ячменного посева влияли смеси микробиологические препараты, а именно дозы 2 и 3 (таблица). Прибавки зеленой массы от дозы 2 и 3 составили 7,0–9,1 т/га или 15,8–20,6% к контролю соответственно, что статистически достоверно (таблица).

Увеличение урожайности от применения смесевых микробиологических составов по сравнению с их отдельным использованием позволяет сделать предположение о возможности синергического взаимовлияния компонентов микробиологической композиции ризобактерий.

Расчет эффекта синергизма, выполненный по вышеуказанной методике для двухкомпонентной бобово-злаковой смеси, выявил следующую зависимость:

$$E = (X \cdot Y)/100.$$

Доза (1)  $E$  фактическое = 512 – 442 = 70.

$E$  расчетное = (29 · 20)/100 = 5,8.

$E = E_{\text{факт}} > E_{\text{расчет}}$ , можно предположить синергизм, доза (1).

Доза (2)  $E$  фактическое = 529 – 442 = 87.

$E$  расчетное = (41 · 28):100 = 11,5.

$E = E_{\text{факт}} > E_{\text{расчет}}$ , можно предположить синергизм, доза (2).

Доза (3)  $E$  фактическое = 533 – 442 = 91.

$E$  расчетное = (45 · 34)/100 = 15,3.

$E = E_{\text{факт}} > E_{\text{расчет}}$ , можно предположить синергизм, доза (3).

Установлен ряд существенных преимуществ микробно-растительных взаимодействий. Концентрация бактерий рода *Rhizobium* и бактерий рода

Flavobacterium sp. в новом микробиологическом составе на 25–50% выше, чем при внесении отдельно каждого из этих бактериальных препаратов. При обработке семян новым микробиологическим составом среднесуточный прирост стебля у растений люпина к фазе цветения был на 87% больше, чем на контроле. Сумма чистой продуктивности фотосинтеза возросла и составила в смешанном посеве при об-

работке новым составом 9,71 г/дм<sup>2</sup> час сухого вещества компонентов, что на 21,9% больше, чем на контроле. Увеличилось суммарное содержание хлорофилла в листьях с 404,5 мг/л вытяжки на контрольном варианте до 463,8 мг/л (доза 3), или на 14,7%. Исследования показали, что степень угнетения культурных растений или повреждения снижается по сравнению с контролем в 1,4–8 раз (таблица).

Влияние доз препаратов на урожайность зеленой массы и степень угнетения растений люпино-ячменного посева, т/га (среднее за 2006–2009 гг.).

Компоненты состава		Урожайность в смешанном посеве, в т/га		Степень угнетения культурных растений, или повреждения, в %
Бактерии рода Rhizobium lupini – препарат ризоторфин, в г/га	Бактерии рода Flavobacterium sp – препарат флавобактерин, в г/га	Урожайность зеленой массы, т/га	Прибавка к контролю, т/га	
100,0	0	47,1	2,9	0,7
200,0	0	48,3	4,1	0,6
300,0	0	48,7	4,5	0,6
0	200,0	46,2	2,0	0,8
0	300,0	47,0	2,8	0,9
0	400,0	47,6	3,4	0,7
(1)100,0	200,0	51,2	7,0	0,3
(2)200,0	300,0	52,9	8,7	0,2
(3) 300,0	400,0	53,3	9,1	0,3
Контроль – без препаратов НСР <sub>05</sub>	-	44,2 1,59	-	1,6

Расчет экономической эффективности, проведенный по технологической карте с учетом всех совокупных затрат, показал, что доля затрат на приобретение и внесение нового микробиологического состава составляет 16–18% от стоимости прибавки урожая. На рубль затрат чистый доход от прибавки урожая составляет 4–5,5 рубля.

### Выводы

Таким образом, в результате исследований доказана эффективность методики оценки величины стимуляции роста и развития растений в бобово-злаковом смешанном посеве. Установлено, что оценку эффективности микробно-растительных взаимодействий необходимо проводить по взаимовлиянию компонентов микробиологической композиции на урожайность зеленой массы смешанных посевов. Показано, что новая методика расчетов взаимодействий позволяет выявить эффект синергизма. Установлено, что наиболее эффективным является микробиологический состав, содержащий бактерии рода Rhizobium lupini в который дополнительно введены бактерии рода Flavobacterium sp.

при массовом соотношении компонентов 1,0–1,5:1,5–2,0, который обладает эффектом синергизма. Установлено, что совместное действие микробиологических препаратов ризоторфина и флавобактерина на фактические показатели прибавки урожайности выше рассчитанных. Разработанный нами микробиологический состав обладает синергическим взаимодействием компонентов и благоприятно влияет на смешанные двухкомпонентные люпино-ячменные посевы, обеспечивает прибавки урожая зеленой массы 8,7–9,1 т/га или 16–21% к контролю и не оказывает токсического воздействия на культурные растения.

### Список литературы

1. Агрэкология / под ред. В.А. Черникова, А.И. Черкаса. – М.: Колос, 2000. – С. 170.
2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Кононов А.С. Люпин: технология возделывания в России. – Брянск, 2003. – 212 с.
4. Кононов А.С. Агрофитоценоз и методы его исследования. – Брянск. 2009. – 300 с.
5. Кононов А.С. Азотфиксация и интенсивность фотосинтеза в люпино-ячменном агроценозе // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – № 2. – С. 103–107.

6. Кононов А.С., Никитишкина М.Ю. Микробиологический состав для стимуляции роста и развития смешанного бобово-злакового посева // Патент России № 2439880. 2012. Бюл. № 2.
7. Кретович В. Л. Биохимия растений. – М.: Высш. школа, 1986. – 553 с.
8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть / под ред. М.А.Федина. – М., 1985. – 270 с.
9. Тихонович И.А., Филатов А.А. Реализация положений научного наследия Н.И. Вавилова в разработке проблемы эффективности симбиотической азотфиксации // Сельскохозяйственная биология. – 1987. – № 10. – С. 44.
10. Трепачев Е.П. Агрехимические аспекты проблемы биологического азота в земледелии: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – М., 1971. – 46 с.
11. Шумный В.К., Сидорова К.К., Гляненко М.Н. Биологический азот и симбиотическая азотфиксация // Главный агроном. – 2004. – № 10. – С. 27–29.
12. Kononov A.S. Nitrogen-fixing activity of nodule and nitro bacteria microorganisms in lupin and grass Agro-Coenosis // Wild and cultivated lupins from the tropiesto the poles. «10th Intern. Lupin Conf., Laugarvatn Iceland», June, 2002. – P. 173–176.
6. Kononov A.S., Nikitushkina M.Ju. Mikrobiologicheskij sostav dlja stimuljacji rosta i razvitija smeshannogo bobovo-zlakovogo poseva // Patent Rossii no. 2439880. 2012. Bjul. no. 2.
7. Kretovich V.L. Biohimija rastenij. M.: Vyssh. shkola, 1986. 553 p.
8. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skhozajstvennyh kul'tur. Vypusk pervyj. Obshhaja chast' / pod red. M.A.Fedina. M., 1985. 270 p.
9. Tihonovich I.A., Filatov A.A. Realizacija polozhenij nauchnogo nasledija N.I. Vavilova v razrabotke problemy jeffektivnosti simbioticheskoj azotfiksacii // Sel'skhozajstvennaja biologija. 1987. no. 10. pp. 44.
10. Trepachev E.P. Agrohimicheskie aspekty problemy biologicheskogo azota v zemledelii: avtoref. dis. ... d-ra s.-h. nauk. M., 1971. 46 p.
11. Shumnyj V.K., Sidorova K.K., Gljanenko M.N. Biologicheskij azot i simbioticheskaja azotfiksacija // Glavnyj agronom. 2004. no. 10. pp. 27–29.
12. Kononov A.S. Nitrogen-fixing activity of nodule and nitro bacteria microorganisms in lupin and grass Agro-Coenosis // Wild and cultivated lupins from the tropiesto the poles. «10th Intern. Lupin Conf., Laugarvatn Iceland», June, 2002. pp. 173–176.

### References

1. Agrojekologija / pod red. V.A. Chernikova, A.I. Cherkesa. M.: Kolos, 2000. pp. 170.
2. Dospheov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij). M.: Agropromizdat, 1985. 351 p.
3. Kononov A.S. Ljupin: tehnologija vzdelyvanija v Rossii. Brjansk, 2003. 212 p.
4. Kononov A.S. Agrofитocenoz i metody ego issledovanija. Brjansk. 2009. 300 p.
5. Kononov A.S. Azotfiksacija i intensivnost' fotosinteza v ljupino-jachmennom agrocenoze // Sel'skhozajstvennaja biologija. 2013. no. 2. pp. 103–107.

### Рецензенты:

Заякин В.В., д.б.н., профессор кафедры ботаники, ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», г. Брянск;

Ториков В.Е., д.с.-х.н., профессор, проректор БГСХА по научной работе, ФГБОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия», пос. Кокино Брянской области.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.