

5. Влияние эмистима С на формирование саженцев хмеля / Б.Ф. Кормильцев [и др.] // Регуляторы роста и развитие растений в биотехнологиях. – 2001. – С. 248-249.

## INFLUENCE OF DOSES OF INTRODUCTION OF ECOSIL ON EFFICIENCY OF HOP OF ORDINARY (HUMULUS LUPULUS)

A.A. Regilevich

### Summary

The field researches which have been carried out in 2010-2011 on the sod-podzol sandy soil of spread by easy by thin loam in a farm of «Magnum-Chmel» of the Pruzhansky region of the Brest area established optimum doses of introduction ecosil and its influence on productivity, and quality of cones of hop. The maximum productivity of cones of hop of 17,2 c/ha at the content of alpha acids in them 12,5% and collecting them from unit of area of 2,15 c/ha is received as a result of application ecosil 40 ml/ha in two steps: 1 – in the second decade of May at the beginning of intensive growth of hop at height of plants of 1,5-2,0 m; 2 – in the second decade of June at the beginning of education and growth of lateral escapes at height of plants of 4,5-5,0 m, against 30 t/ha of organic fertilizers +  $N_{180}P_{120}K_{160}$ .

*Поступила 2 апреля 2012 г.*

УДК 631.847.22:633.16:631.445.2

## ВЛИЯНИЕ ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ, УРОЖАЙНОСТЬ И ФИТОСАНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОСЕВОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ

Н.А. Михайловская<sup>1</sup>, И.М. Богдевич<sup>1</sup>, О. Миканова<sup>2</sup>, Е.Г. Тарасюк<sup>1</sup>,  
Т.Б. Барашенко<sup>1</sup>, С.В. Дюсова<sup>1</sup>, Т.В. Погирницкая<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт растениеводства, Прага-Рузыня, Чехия

### ВВЕДЕНИЕ

Применение микробных инокулянтов с полезными свойствами оказывает разностороннее положительное влияние на растения. Среди основных факторов, приводящих к повышению урожайности при внесении микробных удобрений, рассматриваются следующие: стимуляция ростовых процессов (гормональный эффект), повышение доступности элементов минерального питания, улучшение водного питания, антистрессовое действие, повышение иммунитета растений, фунгистатическое действие на развитие патогенных грибов.

Многие исследователи считают гормональный эффект доминирующим механизмом действия микробных удобрений на инокулированные растения. Такие

эффекты, обычно наблюдающиеся при инокуляции, как изменение морфологии корней и корневых волосков [1-4], увеличение массы корней, числа и массы побегов [5, 6], не сопровождающиеся повышением концентрации элементов питания [7, 8], чаще всего объясняются действием ростовых веществ, продуцируемых микроорганизмами. Стимуляция развития корневой системы повышает способность инокулированных растений использовать элементы минерального питания и воду. Улучшение водного питания часто является одним из основных положительных факторов инокуляции [9, 10].

Такие процессы, как азотфиксация, мобилизация труднодоступных форм фосфора или калия активизируются в определенных экологических условиях, как правило, при дефиците этих элементов в почве [5, 6, 11-13] и не всегда являются преобладающим механизмом действия микробных удобрений. Вопрос о доминирующем механизме зависит от генотипа растения, свойств используемого штамма и экологических условий. Высокая потенциальная активность фосфатмобилизации или азотфиксации у интродуцируемого штамма не всегда гарантирует, что именно эти процессы будут преобладающими. Несмотря на то, что повышение урожайности является результатом действия комплекса полезных свойств штаммов-инокулянтов, при определенных условиях азотфиксация, фосфат- или калиймобилизация могут играть значительную роль.

Антистрессовое действие микробных инокулянтов на растения также считается одним из важных механизмов их взаимодействия. В литературе имеются сообщения, подтверждающие, что в стрессовых условиях инокуляция улучшает развитие растений благодаря продуцированию биологически активных веществ внесенными микроорганизмами [14]. Установлено, что инокуляция ячменя повышает его устойчивость к засухе и экстремальным температурам [15].

Одним из факторов положительного действия микробных инокулянтов, приводящих к повышению урожайности сельскохозяйственных культур, может быть также их фунгистатическое действие на корневые гнили [16, 17, 18].

Наиболее вероятно, что повышение урожайности, наблюдаемое при использовании микробных удобрений, обусловлено совместным действием вышеперечисленных факторов.

Цель исследований – установить влияние фосфатмобилизирующих бактерий на ростовые процессы, урожайность зерновых культур и пораженность посевов корневыми гнилями на дерново-подзолистых супесчаных почвах.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служили фосфатмобилизирующие бактерии, изолированные из ризоплана и ризосферы злаковых культур на дерново-подзолистых почвах разных регионов республики. Для оценки потенциальной способности Р-мобилизирующих бактерий стимулировать рост растений проведены лабораторные эксперименты.

**Лабораторный эксперимент по изучению влияния Р-мобилизирующих бактерий на развитие яровой пшеницы.** В лабораторном эксперименте оценивали действие фосфатмобилизирующих бактерий на развитие яровой пшеницы. Растения выращивали в водной культуре на модифицированной питательной смеси Кнопа, разведенной водой в соотношении 1:10 [19]. Для эксперимента от-

бирали неповрежденные и откалиброванные по размеру семена, проводили их поверхностную стерилизацию 10%-перекисью водорода в течение 30 мин, затем парами хлороформа в течение 5 мин. После этого семена тщательно промывали стерильной водой и помещали в чашки Петри для проращивания в термостате при температуре 28°C. Через 24 часа проросшие семена пшеницы в стерильных условиях помещали на пластинки из фольги с отверстиями, фольгу располагали на поверхности питательной смеси в стеклянных сосудах. Количество питательной смеси в одном сосуде – 150 мл, количество растений в сосуде – 2. Повторность в опыте шестикратная.

В эксперименте тестировали шесть штаммов (изолятов), которые проявляли наиболее высокую активность в отношении фосфатмобилизации. В сосуды с питательной смесью вносили по 0,5 мл стандартизованной по мутности суспензии соответствующих штаммов бактерий. Контроль – чистая питательная смесь. Длительность эксперимента – 30 суток.

Объем и массу корней, высоту и биомассу надземной части растений определяли в соответствии с общепринятыми методами [19].

Для оценки эффективности фосфатмобилизующих бактерий проведены полевые опыты на дерново-подзолистых рыхло- и связносупесчаной почвах.

**Эффективность фосфатмобилизующих бактерий на посевах ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве.** Исследования проведены на дерново-подзолистой связносупесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,5-0,6 м моренным суглинком (КСУП «Стреличево», Хойникский р-н). Агрохимические показатели пахотного слоя почвы до закладки опыта: гумус – 2,2%,  $P_2O_5$  – 180 мг/кг,  $K_2O$  – 200 мг/кг,  $CaO$  – 1100,  $Mg$  – 350 мг/кг почвы.

В стационарном опыте сформированы три уровня внесения органических удобрений: 0 (без навоза), 8 и 16 т солоमистого навоза на 1 га севооборотной площади. Соломистый навоз вносили под кукурузу (0, 40 и 80 т/га) в 2004 и 2009 гг. На каждом уровне органики изучали следующие варианты внесения минеральных удобрений: Контроль (без удобрений),  $N_1PK_1$ ,  $N_1PK_2$ ,  $N_1PK_3$ ,  $N_2PK_2$ . Минеральные удобрения вносили под предпосевную культивацию. Формы удобрений – хлористый калий, аммофос и мочеви́на. Доза фосфорных удобрений – 60 кг/га ( $P_2O_5$ ). Калийные удобрения вносят в следующих дозах: 60 ( $K_1$ ), 120 ( $K_2$ ) и 180 ( $K_3$ ) кг/га ( $K_2O$ ). Дозы азотных удобрений – 80( $N_1$ ) и 60( $N_2$ ). Общая площадь делянки – 18 м<sup>2</sup>, учетная – 15 м<sup>2</sup>. Повторность в опыте – четырехкратная, размещение делянок – рендомизированное. В 2009 г. возделывали озимое тритикале, в 2010 г. – кукурузу на зеленую массу, в 2011 г. опытная культура – ячмень Атаман. Бактериальное удобрение на основе фосфатмобилизующих бактерий (*Bacillus* sp.) в жидкой препаративной форме вносили путем обработки посевов в фазе всходы – начало кущения. Титр жизнеспособных клеток  $1,8 \times 10^8$  КОЕ/мл.

**Эффективность фосфатмобилизующих бактерий на посевах озимого тритикале на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве.** Исследования проведены на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве с мощной прослойкой песка (60-80 см) на контакте с размытой мореной (СПК «Хотляны», Узденский р-н). Возделываемая культура – озимое тритикале Вольтарио. В эксперименте созданы четыре уровня обеспеченности почвы подвижными формами фосфора. В 2009 г. содержание подвижного фосфора составило: первый уровень – 207, второй – 244, третий – 286 и четвертый – 394 мг/кг  $P_2O_5$ . На каждом уровне насыщения

фосфором изучали 4 варианта внесения удобрений в четырех повторениях. Схема опыта: 1. NK – Фон; 2. Фон + P<sub>1</sub>; 3. Фон + P<sub>2</sub>; 4. Фон + P<sub>3</sub>.

Агрохимические свойства почвы близки к оптимальным: pH – (KCl) 6,0-6,2, содержание подвижного калия (по Кирсанову) – 300-350 мг/кг, гумус – 2,64-2,71 %, обменный кальций (CaO) – 800-850 г/кг, обменный магний (MgO) – 140-150 мг/кг. Чередование культур в севообороте: кукуруза, яровая пшеница, однолетние травы на зеленую массу, озимая рожь, яровая пшеница, горох, озимое тритикале, горох, озимое тритикале. Под кукурузу внесен навоз – 60 т/га. Дозы NK-удобрений – N<sub>120</sub>K<sub>90</sub>, дозы фосфорных удобрений – 10, 30 и 60 кг/га (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Общая площадь делянок – 45 м<sup>2</sup>.

Способ внесения бактериального удобрения на основе фосфатмобилизирующих бактерий (P-16) под озимые культуры – обработка посевов весной в фазе кущения. Для обработки посевов озимого тритикале использована жидкая препаративная форма бактериального удобрения, титр жизнеспособных клеток 2,1х10<sup>8</sup> КОЕ/мл.

Учет развития и распространения корневых гнилей проводили в фазу молочно-восковой спелости зерновых культур на 100 растениях, отобранных в 5 точках каждого варианта опыта. Выемку вместе с почвой раскладывали на бумаге, растения отряхивали, отмывали от почвы и помещали на 30 минут в воду, подсушивали и затем проводили учет. Интенсивность поражения отобранных растений корневыми гнилями оценивали в баллах по шкале ВИЗР [20].

Для оценки распространения корневых гнилей и степени поражения растений использовали следующие формулы:

$$P = (a \times 100) / N,$$

где P – распространение болезни, %; a – количество больных растений;

N – общее число исследуемых растений.

$$R = [\Sigma(ab) \times 100] / NK,$$

где R – развитие болезни, %;

a – число пораженных растений;

b – балл поражения;

N – общее количество исследованных растений;

K – высший балл шкалы степени развития болезни.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Лабораторный эксперимент по изучению влияния P-мобилизирующих бактерий на развитие яровой пшеницы.** Эксперименты по выращиванию растений в водных культурах – удобный инструмент для изучения влияния инокуляции на развитие растений на ранних этапах онтогенеза и установления таких количественных параметров развития инокулированных и неинокулированных растений, как масса и объем корней, масса надземной части, соотношение надземная масса:корни и т.д. Результаты данных исследований можно расценивать как первичный скрининг перспективности ризобактерий в качестве основы бактериальных удобрений.

Известно, что ризобактерии способны к биосинтезу физиологически активных веществ, которые могут как стимулировать, так и ингибировать рост растений [1, 2, 3, 9].

Все протестированные штаммы улучшали развитие растений и оказывали стимулирующее действие на объем и массу корневой системы, а также на высоту и массу надземной части растений яровой пшеницы. За счет инокуляции линейные размеры надземной части растений увеличивались на 5-16% (табл. 1), биомасса надземной части – на 6-19% по сравнению с контролем без инокуляции (табл. 2). Наибольшие показатели стимуляции роста надземной части отмечены при бактериализации яровой пшеницы штаммами Р-7, Р-12 и Р-25 (табл. 1, 2).

Установлено, что все протестированные штаммы улучшали развитие корневой системы растений. Под действием инокуляции отмечено усиление ветвления. Биомасса корней инокулированных растений на 11-32% превышала биомассу корней контрольных растений яровой пшеницы (табл. 2).

Наибольший гормональный эффект в отношении развития корневой системы яровой пшеницы отмечен при инокуляции проростков штаммами Р-7, Р-12, Р-16 и Р-25. Стимулирующее действие перечисленных штаммов выражалось в увеличении биомассы корней на 30-32 % по сравнению с контролем (табл. 2).

Объем корней растений является важным показателем повышения их адаптивных возможностей. По показателям объема корней инокулированные фосфатмобилизующими бактериями растения на 14-30% превосходили контрольные варианты (табл. 1).

Показателем для характеристики развития растения может служить отношение надземной массы к массе корней. Наибольшее значение этого показателя отмечено на контроле без инокуляции. На вариантах с внесением фосфатмобилизующих бактерий показатели снижались, указывая на лучшее развитие корневой системы бактеризованных растений яровой пшеницы. Наименьший показатель соотношения надземной массы к массе корней получен для штамма Р-7, что свидетельствует о его перспективности в качестве микробного инокулянта (табл. 1).

Эксперимент с водными культурами яровой пшеницы показал преимущества развития корневой системы бактеризованных растений (рис. 1, 2) и их надземной части (табл. 1, 2) по сравнению с контрольными. Применение микробных инокулянтов с высокой стимулирующей активностью повышает адаптивные возможности инокулированных растений и улучшает их минеральное и водное питание. Более интенсивное потребление элементов минерального питания и воды обеспечивается за счет увеличения общей поглощающей поверхности корневой системы.

Анализ литературы показывает, что изменение морфологии корней, увеличение числа латеральных корней и корневых волосков, массы и объема корней, отмечающееся в результате инокуляции, улучшает способность инокулированных растений использовать элементы минерального питания, воду и указывает на продукцию регуляторов роста интродуцированными микроорганизмами [1-6].

Таблица 1

**Влияние Р-мобилизующих бактерий на показатели роста яровой пшеницы (абсолютно сухое вещество/растение)**

| Варианты опыта | Соотношение надземной биомассы и корней | Высота растения |     | Объем корней    |     |
|----------------|-----------------------------------------|-----------------|-----|-----------------|-----|
|                |                                         | см              | %   | см <sup>3</sup> | %   |
| Контроль       | 2,9                                     | 27,03 ± 3,45    | 100 | 0,099 ± 0,005   | 100 |
| Штамм Р-28     | 2,7                                     | 29,72 ± 4,25    | 110 | 0,127 ± 0,018   | 128 |
| Штамм Р-7      | 2,5                                     | 30,52 ± 3,10    | 113 | 0,129 ± 0,015   | 130 |

Окончание табл. 1

| Варианты опыта | Соотношение надземной биомассы и корней | Высота растения |     | Объем корней    |     |
|----------------|-----------------------------------------|-----------------|-----|-----------------|-----|
|                |                                         | см              | %   | см <sup>3</sup> | %   |
| Штамм P-25     | 2,6                                     | 30,98 ± 3,20    | 115 | 0,130 ± 0,011   | 131 |
| Штамм P-12     | 2,8                                     | 31,22 ± 3,35    | 116 | 0,126 ± 0,011   | 127 |
| Штамм P-2      | 2,8                                     | 28,26 ± 3,90    | 105 | 0,113 ± 0,012   | 114 |
| Штамм P-16     | 2,6                                     | 28,94 ± 3,55    | 107 | 0,124 ± 0,013   | 125 |

Таблица 2

**Влияние P-мобилизирующих бактерий на биомассу растений яровой пшеницы (абсолютно сухое вещество/растение)**

| Варианты опыта | Биомасса надземной части |     | Биомасса корневой системы |     | Биомасса растения |     |
|----------------|--------------------------|-----|---------------------------|-----|-------------------|-----|
|                | мг                       | %   | мг                        | %   | мг                | %   |
| Контроль       | 18,20 ± 3,00             | 100 | 6,30 ± 1,20               | 100 | 24,50 ± 3,00      | 100 |
| Штамм P-28     | 20,20 ± 4,00             | 111 | 7,50 ± 1,20               | 119 | 27,70 ± 4,00      | 113 |
| Штамм P-7      | 20,80 ± 3,00             | 114 | 8,30 ± 1,20               | 132 | 29,10 ± 3,00      | 119 |
| Штамм P-25     | 21,70 ± 2,85             | 119 | 8,20 ± 1,15               | 130 | 29,90 ± 3,85      | 122 |
| Штамм P-12     | 21,50 ± 2,55             | 118 | 7,80 ± 1,00               | 124 | 29,30 ± 2,55      | 120 |
| Штамм P-2      | 19,30 ± 3,05             | 106 | 7,00 ± 1,25               | 111 | 26,30 ± 3,05      | 107 |
| Штамм P-16     | 19,90 ± 2,30             | 109 | 7,78 ± 1,00               | 123 | 27,68 ± 2,30      | 113 |

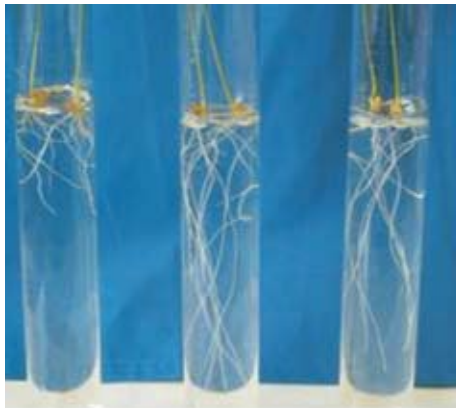


Рис. 1. Влияние штамма P-7 на развитие корневой системы яровой пшеницы (слева – контроль, справа – 2 пробирки с инокуляцией)

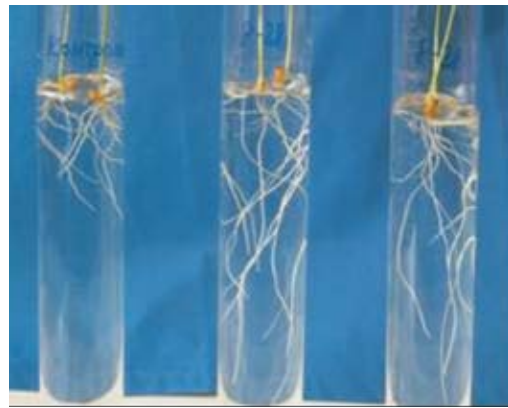


Рис. 2. Влияние штамма P-28 на развитие корневой системы яровой пшеницы (слева – контроль, справа – 2 пробирки с инокуляцией)

Высокая активность стимуляции развития корневой системы в сочетании со способностью к фосфатмобилизации определяет перспективность изученных ризобактерий для использования в качестве инокулянтов зерновых культур. Применение таких инокулянтов может существенно повысить адаптивный потенциал зерновых культур на ранних стадиях развития как за счет гормонального эффекта, так и за счет процесса фосфатмобилизации. При дефиците фосфора в начальные

фазы вегетации корневая система развивается слабо и не обеспечивает хорошего питания из почвы, а подкормки фосфорными удобрениями в более поздние сроки не эффективны [20].

Для испытаний в полевых опытах были выбраны штаммы ризобактерий, сочетающие высокую активность стимуляции роста с высокой потенциальной способностью растворять труднодоступные фосфаты [13].

**Эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах озимого тритикале на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве.** В 2009 г. изучена эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах озимого тритикале Вольтарио в зависимости от доз фосфорных удобрений и уровня обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы фосфором.

На первом уровне обеспеченности почвы  $P_2O_5$  (207 мг/кг) достоверные прибавки от применения бактериального удобрения получены на фонах НК,  $NKP_{10}$  (табл. 3). Наиболее высокая прибавка от бактериального препарата, 3,3 ц/га зерна, отмечена на фоне НК при содержании подвижного фосфора в почве – 207 мг/кг. При внесении  $P_{10}$  на фонах НК прибавка от бактериализации снижалась, и составила 3,0 ц/га зерна. Наиболее высокая урожайность озимого тритикале, 52,6 ц/га, получена при внесении  $NKP_{60}$ , но в этих условиях применение фосфатмобилизирующих бактерий не оказывало влияния на урожайность возделываемой культуры (табл. 3). При содержании в почве 207 мг/кг  $P_2O_5$  наиболее обосновано применение Р-мобилизирующих бактерий на фонах НК и  $NKP_{10}$ , так как это обеспечивает урожайность 46,5–48,0 ц/га зерна озимого тритикале и достоверные прибавки урожайности 3,0–3,3 ц/га.

Таблица 3

**Эффективность Р-мобилизирующих бактерий на посевах озимого тритикале Вольтарио на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (СПК «Хотляны», 2009 г.)**

| Вариант                                           | Урожайность, ц/га |            |            |            |
|---------------------------------------------------|-------------------|------------|------------|------------|
|                                                   | НК                | $NKP_{10}$ | $NKP_{30}$ | $NKP_{60}$ |
| <b>1-й уровень, 207 мг/кг <math>P_2O_5</math></b> |                   |            |            |            |
| Контроль                                          | 43,2              | 45,0       | 48,7       | 51,8       |
| Бактеризация                                      | 46,5              | 48,0       | 50,0       | 52,6       |
| Прибавка                                          | 3,3               | 3,0        | 1,3        | 0,8        |
| <b>2-й уровень, 244 мг/кг <math>P_2O_5</math></b> |                   |            |            |            |
| Контроль                                          | 52,6              | 55,3       | 55,7       | 57,9       |
| Бактеризация                                      | 54,9              | 56,8       | 56,7       | 58,0       |
| Прибавка                                          | 2,3               | 1,5        | 1,0        | 0,1        |
| <b>3-й уровень, 286 мг/кг <math>P_2O_5</math></b> |                   |            |            |            |
| Контроль                                          | 51,4              | 51,7       | 53,4       | 55,7       |
| Бактеризация                                      | 53,2              | 52,7       | 54,0       | 55,5       |
| Прибавка                                          | 1,8               | 1,0        | 0,6        | -0,2       |
| <b>4-й уровень, 394 мг/кг <math>P_2O_5</math></b> |                   |            |            |            |
| Контроль                                          | 51,0              | 50,2       | 53,8       | 53,1       |
| Бактеризация                                      | 51,9              | 50,9       | 53,3       | 51,9       |
| Прибавка                                          | 0,9               | 0,7        | -0,5       | -1,2       |
| Фактор А ( $P_2O_5$ )                             | 2,9               |            |            |            |
| Фактор В (бакт.)                                  | 2,1               |            |            |            |

На втором уровне обеспеченности почвы  $P_2O_5$  (244 мг/кг) статистически достоверная прибавка от бактеризации посевов, 2,3 ц/га зерна, получена на фоне НК (табл. 3). При внесении  $P_{10}-P_{60}$  прибавки от бактеризации снижались и были не достоверны. На третьем и четвертом уровнях обеспеченности почвы  $P_2O_5$  (286-394 мг/кг) прибавки от внесения фосфатмобилизирующих бактерий не достоверны (табл. 3).

**Эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве.** В 2011 г. изучена эффективность некорневого внесения фосфатмобилизирующих бактерий на посевах ячменя Атаман в зависимости от системы удобрения.

Внесение фосфатмобилизирующих бактерий также приводило к повышению урожайности ячменя Атаман: прибавки составили 2,2-3,9 ц/га в зависимости от системы удобрения. Наиболее высокая урожайность ячменя получена по последствию 16 т/га органических удобрений: на вариантах НРК-удобрений урожайность зерна составила 31,0-39,2 ц/га. По последствию 8 т/га навоза с НРК-удобрениями урожайность была в пределах 28,0-31,9 ц/га, при минеральной системе удобрения – 20,0-28,0 ц/га (табл. 4).

Наиболее существенный эффект от применения фосфатмобилизирующих бактерий отмечен при внесении  $N_{80}P_{60}K_{60}$  и  $N_{80}P_{60}K_{120}$  на обоих фонах последствия органических удобрений (8 и 16 т/га навоза), а также на фоне без органических удобрений. Прибавки от бактеризации были статистически достоверны и составили 3,0-3,1 ц/га (при урожайности 23,1-28,0 ц/га) на фоне без навоза, 3,2-3,9 ц/га (при урожайности 30,2-31,9 ц/га) на фоне последствия 8 т/га навоза и 3,2-3,4 ц/га (при урожайности 35,4-38,2 ц/га) на фоне последствия 16 т/га органических удобрений (табл. 4).

Таблица 4

**Эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве (КСУП «Стреличево», 2011 г.)**

| Вариант               | Урожайность, ц/га |                      |                       |                       |                       |
|-----------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                       | Без удобрений     | $N_{80}P_{60}K_{60}$ | $N_{80}P_{60}K_{120}$ | $N_{80}P_{60}K_{180}$ | $N_{60}P_{60}K_{120}$ |
| <b>0 т/га навоза</b>  |                   |                      |                       |                       |                       |
| Контроль              | 18,0              | 20,0                 | 25,0                  | 24,0                  | 24,0                  |
| Бактеризация          | 20,2              | 23,1                 | 28,0                  | 26,4                  | 26,9                  |
| Прибавка              | 2,2               | 3,1                  | 3,0                   | 2,4                   | 2,9                   |
| <b>8 т/га навоза</b>  |                   |                      |                       |                       |                       |
| Контроль              | 19,0              | 28,0                 | 27,0                  | 28,0                  | 28,0                  |
| Бактеризация          | 21,8              | 31,9                 | 30,2                  | 30,9                  | 31,1                  |
| Прибавка              | 2,8               | 3,9                  | 3,2                   | 2,9                   | 3,1                   |
| <b>16 т/га навоза</b> |                   |                      |                       |                       |                       |
| Контроль              | 23,0              | 32,0                 | 35,0                  | 37,0                  | 31,0                  |
| Бактеризация          | 25,5              | 35,4                 | 38,2                  | 39,2                  | 33,7                  |
| Прибавка              | 2,5               | 3,4                  | 3,2                   | 2,2                   | 2,7                   |
| Фактор А (ОУ)         | 1,3               |                      |                       |                       |                       |
| Фактор В (БУ)         | 1,5               |                      |                       |                       |                       |

ОУ – органические удобрения.

БУ – бактериальные удобрения.



Анализ литературы показывает, что одним из факторов положительного действия микробных инокулянтов на урожайность сельскохозяйственных культур может быть их защитное действие на инокулированные растения. Выживание интродуцированных микроорганизмов в конкурентных условиях ризоплана и ризосферы связано с биосинтезом метаболитов антагонистического действия, способных ингибировать или подавлять рост конкурентов, в том числе фитопатогенных грибов. Антагонизм в ризоплане и ризосфере играет очень важную роль. Некоторые микробные инокулянты проявляют выраженную фунгистатическую активность. Например, при проращивании семян яровой пшеницы, на которых отсутствовали эпифитные азоспириллы, проростки сильно поражались грибами, а при наличии азоспирилл на семенах развитие грибов существенно ингибировалось [22]. При использовании некоторых фосфатмобилизующих инокулянтов установлены аналогичные фунгистатические эффекты [16-18]. Как правило, под действием микробных инокулянтов отмечается не полное уничтожение популяции фитопатогена, а существенное ограничение ее развития и, следовательно, значительное снижение вредоносности. В связи с этим представляло интерес оценить фунгистатическое действие протестированных фосфатмобилизующих бактерий на посевах ячменя и озимого тритикале.

Среди основных болезней зерновых культур корневые гнили занимают особое место, главным образом, из-за широкой распространенности и высокой вредоносности [23]. Возбудители корневых гнилей, сохраняющиеся как на семенах, так и в почве, могут поражать растения в течение всего периода их вегетации. Болезнь вызывает поражение первичных и вторичных корней, подземного междоузлия и основания стебля, гибель растений может отмечаться в период прорастания семян, появления всходов, трубкования и цветения, может отмечаться также отмирание продуктивных стеблей. Поражение прикорневой части стеблей в период формирования семян и молочной спелости приводит к образованию щуплого зерна и нередко является причиной пустоколосости [24].

Анализ экспериментальных данных показал, что применение бактериальных удобрений на основе фосфатмобилизующих бактерий достоверно снижало степень поражения зерновых культур корневыми гнилями.

На посевах озимого тритикале наибольший фунгистатический эффект от применения бактериального удобрения на основе фосфатмобилизующих бактерий отмечен при обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы подвижным фосфором в диапазоне 207-244 мг/кг  $P_2O_5$  на фоне внесения  $NKP_{10}$ . При этом под влиянием весенней инокуляции посевов в фазе кущения распространение корневых гнилей при содержании в почве 207 мг/кг  $P_2O_5$  снижалось с 23,2% до 19,8%. При содержании подвижных фосфатов в почве равном 244 мг/кг распространение корневых гнилей снижалось с 26,2 до 23,4% (табл. 5). При высокой обеспеченности почвы фосфором (286 и 394 мг/кг  $P_2O_5$ ) и повышении дозы фосфорных удобрений ( $NKP_{30}$  и  $NKP_{60}$ ) фунгистатическое действие инокуляции посевов от применения бактерий не превышает 0,2-2,2% (табл. 5).

Обеспеченность почвы подвижным фосфором оказывала существенное влияние не только на распространение, но и на развитие корневых гнилей в посевах озимого тритикале. Бактеризация посевов приводила к снижению распространения корневых гнилей. Наибольший положительный эффект от бактеризации также

## 2. Плодородие почв и применение удобрений

отмечен при содержании в почве 207-244 мг/кг  $P_2O_5$  на фонах внесения  $NKP_{10}$  и  $NKP_{30}$ . При этом показатель развития корневых гнилей снижался в 1,3 раза по сравнению с контрольным вариантом. При высокой обеспеченности почвы подвижными фосфатами эффективность инокуляции посевов фосфатмобилизующими бактериями ниже (табл. 6).

На посевах ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве фунгистатическое действие фосфатмобилизующих бактерий было более выраженным, в особенности при органоминеральной системе удобрения по последдействию 8 т/га навоза. Показатели распространения корневых гнилей по площади и их развитие на отдельных растениях ячменя при этом снижались на 10,4-13,2% (табл. 7) и на 3,0-7,4% (табл. 8) соответственно. Наибольший положительный эффект от инокуляции посевов на распространение и развитие болезней отмечен на варианте с внесением  $N_{80}P_{60}K_{60}$ : распространение корневых гнилей снижалось на 13,2%, а развитие – на 7,4% (табл. 7, 8).

При минеральной системе удобрения показатели распространения и развития корневых гнилей на вариантах с инокуляцией посевов были ниже по сравнению с контролем на 2,7-3,3% и 1,6-3,2% соответственно (табл. 7, 8).

На фоне последствия 16 т/га навоза снижение показателей распространения и развития болезней на вариантах с применением фосфатмобилизующих бактерий и NPK составило 2,9-4,7% и 1,6-3,1% соответственно (табл. 7, 8). Лучшие показатели также были отмечены на варианте  $N_{80}P_{60}K_{60}$ .

Таблица 5

### Влияние фосфатмобилизующих бактерий на распространение корневых гнилей озимого тритикале на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, % (СПК «Хотляны», 2009 г.)

| Вариант                                           | НК   | $NKP_{10}$ | $NKP_{30}$ | $NKP_{60}$ |
|---------------------------------------------------|------|------------|------------|------------|
| <b>1-й уровень, 207 мг/кг <math>P_2O_5</math></b> |      |            |            |            |
| Контроль                                          | 20,4 | 23,2       | 24,5       | 27,5       |
| Бактеризация                                      | 18,2 | 19,8       | 22,3       | 26,2       |
| Снижение                                          | 2,2  | 3,4        | 2,2        | 1,3        |
| <b>2-й уровень, 244 мг/кг <math>P_2O_5</math></b> |      |            |            |            |
| Контроль                                          | 25,8 | 26,2       | 28,8       | 29,4       |
| Бактеризация                                      | 24,0 | 23,4       | 26,7       | 28,1       |
| Снижение                                          | 1,8  | 2,8        | 2,1        | 1,3        |
| <b>3-й уровень, 286 мг/кг <math>P_2O_5</math></b> |      |            |            |            |
| Контроль                                          | 30,2 | 32,4       | 32,3       | 32,5       |
| Бактеризация                                      | 28,9 | 30,1       | 30,3       | 31,5       |
| Снижение                                          | 1,3  | 2,3        | 2,0        | 1,0        |
| <b>4-й уровень, 394 мг/кг <math>P_2O_5</math></b> |      |            |            |            |
| Контроль                                          | 33,3 | 34,2       | 34,4       | 35,2       |
| Бактеризация                                      | 32,4 | 33,2       | 34,0       | 35,0       |
| Снижение                                          | 0,9  | 1,0        | 0,4        | 0,2        |
| $HCP_{05}$                                        | 1,4  |            |            |            |

Таблица 6

**Влияние фосфатмобилизующих бактерий на развитие корневых гнилей озимого тритикале на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, % (СПК «Хотляны», 2009 г.)**

| Вариант                                                  | НК   | НКР <sub>10</sub> | НКР <sub>30</sub> | НКР <sub>60</sub> |
|----------------------------------------------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>1-й уровень, 207 мг/кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> |      |                   |                   |                   |
| Контроль                                                 | 10,2 | 10,5              | 11,3              | 14,8              |
| Бактеризация                                             | 8,3  | 8,3               | 8,9               | 13,0              |
| Снижение                                                 | 1,9  | 2,2               | 2,4               | 1,8               |
| <b>2-й уровень, 244 мг/кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> |      |                   |                   |                   |
| Контроль                                                 | 12,3 | 12,8              | 15,3              | 17,2              |
| Бактеризация                                             | 10,4 | 9,5               | 11,8              | 15,8              |
| Снижение                                                 | 1,9  | 3,3               | 3,5               | 1,4               |
| <b>3-й уровень, 286 мг/кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> |      |                   |                   |                   |
| Контроль                                                 | 12,5 | 14,2              | 16,4              | 17,9              |
| Бактеризация                                             | 11,0 | 12,5              | 15,3              | 17,2              |
| Снижение                                                 | 1,5  | 1,7               | 1,1               | 0,7               |
| <b>4-й уровень, 394 мг/кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b> |      |                   |                   |                   |
| Контроль                                                 | 13,8 | 14,8              | 18,6              | 18,9              |
| Бактеризация                                             | 12,5 | 13,3              | 17,3              | 18,0              |
| Снижение                                                 | 1,3  | 1,5               | 1,3               | 0,9               |
| НСР <sub>05</sub>                                        | 0,6  |                   |                   |                   |

Таблица 7

**Влияние фосфатмобилизующих бактерий на распространение корневых гнилей ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве (КСУП «Стреличево», 2011 г.)**

| Вариант               | Контроль | N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> | N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> | N <sub>80</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub> | N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> |
|-----------------------|----------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>0 т/га навоза</b>  |          |                                                 |                                                  |                                                  |                                                  |
| Контроль              | 30,0     | 33,3                                            | 32,2                                             | 34,1                                             | 33,6                                             |
| Бактеризация          | 27,2     | 30,0                                            | 29,2                                             | 31,4                                             | 30,5                                             |
| Снижение              | 2,8      | 3,3                                             | 3,0                                              | 2,7                                              | 3,1                                              |
| <b>8 т/га навоза</b>  |          |                                                 |                                                  |                                                  |                                                  |
| Контроль              | 26,0     | 29,1                                            | 30,0                                             | 29,4                                             | 30,2                                             |
| Бактеризация          | 15,5     | 15,9                                            | 19,2                                             | 19,0                                             | 19,2                                             |
| Снижение              | 10,5     | 13,2                                            | 10,8                                             | 10,4                                             | 11,0                                             |
| <b>16 т/га навоза</b> |          |                                                 |                                                  |                                                  |                                                  |
| Контроль              | 33,5     | 35,2                                            | 35,0                                             | 37,4                                             | 37,5                                             |
| Бактеризация          | 28,9     | 30,5                                            | 31,0                                             | 34,5                                             | 33,4                                             |
| Снижение              | 4,6      | 4,7                                             | 4,0                                              | 2,9                                              | 4,1                                              |
| НСР <sub>05</sub>     | 1,5      |                                                 |                                                  |                                                  |                                                  |

Таблица 8

**Влияние фосфатмобилизующих бактерий на развитие корневых гнилей  
ячменя на дерново-подзолистой связносупесчаной почве  
(КСУП «Стреличево», 2011 г.)**

| Вариант               | Контроль | $N_{80}P_{60}K_{60}$ | $N_{80}P_{60}K_{120}$ | $N_{80}P_{60}K_{180}$ | $N_{60}P_{60}K_{120}$ |
|-----------------------|----------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>0 т/га навоза</b>  |          |                      |                       |                       |                       |
| Контроль              | 8,3      | 9,0                  | 9,8                   | 12,0                  | 11,8                  |
| Бактеризация          | 6,9      | 6,3                  | 8,2                   | 10,0                  | 8,6                   |
| Снижение              | 1,4      | 2,7                  | 1,6                   | 2,0                   | 3,2                   |
| <b>8 т/га навоза</b>  |          |                      |                       |                       |                       |
| Контроль              | 5,3      | 12,9                 | 7,5                   | 12,6                  | 8,3                   |
| Бактеризация          | 3,7      | 5,5                  | 4,5                   | 7,6                   | 4,8                   |
| Снижение              | 1,6      | 7,4                  | 3,0                   | 5,0                   | 3,5                   |
| <b>16 т/га навоза</b> |          |                      |                       |                       |                       |
| Контроль              | 6,3      | 7,2                  | 8,9                   | 13,3                  | 9,6                   |
| Бактеризация          | 5,0      | 5,0                  | 7,3                   | 10,2                  | 7,9                   |
| Снижение              | 1,3      | 2,2                  | 1,6                   | 3,1                   | 1,7                   |
| НСР <sub>05</sub>     | 0,4      |                      |                       |                       |                       |

Таким образом, изучено влияние фосфатмобилизующих бактерий на рост и развитие растений на начальных стадиях онтогенеза, показано их значительное стимулирующее действие на развитие корневой системы и надземной части растений, установлено влияние на урожайность озимого тритикале и ячменя, развитие и распространение корневых гнилей в посевах на дерново-подзолистой супесчаной и связносупесчаной почвах.

Фосфатмобилизующие бактерии оказывают разностороннее положительное влияние на инокулированные растения. Внесение созданных на их основе бактериальных удобрений стимулирует развитие корневой системы растений и улучшает минеральное питание [4, 6]. Способность штаммов к фосфатмобилизации приводит к лучшей их адаптации и приживаемости в конкурентных условиях ризосферы. Разнообразие приспособительных механизмов является важным преимуществом фосфатмобилизующих бактерий и определяет их способность оказывать комплексное положительное влияние на режим питания инокулированных растений.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что протестированные штаммы фосфатмобилизующих бактерий стимулируют развитие растений на ранних этапах онтогенеза, повышая их адаптивные возможности. За счет инокуляции объем корней увеличивается на 14-30%, биомасса корней – на 11-32%, биомасса надземной части растения – на 6-19% по сравнению с контролем без инокуляции.

2. Инокуляция посевов озимого тритикале Вольтарио и ячменя Атаман фосфатмобилизующими инокулянтами обеспечивала снижение показателей распространения корневых гнилей в 1,2-1,3 раза и развития болезней в 1,3-2,3 раза.

3. Применение фосфатмобилизующих инокулянтов приводило к повышению урожайности озимого тритикале и ячменя, обусловленному сочетанием таких факторов, как стимуляция роста, фунгистатический эффект и фосфатмобилизация.

На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве с разной обеспеченностью подвижными фосфатами наиболее эффективно применение Р-мобилизующих инокулянтов при содержании фосфора в почве равном 207 мг/кг на фоне внесения  $N_{120}P_{90}K_{90}$ : прибавка зерна озимого тритикале составила 3,3 ц/га при урожайности – 46,5 ц/га. На дерново-подзолистой связносупесчаной почве наиболее эффективно применение фосфатмобилизующих инокулянтов при внесении  $N_{80}P_{60}K_{60}$  и  $N_{80}P_{60}K_{120}$ : прибавки зерна ячменя составили 3,0-3,1 ц/га (при урожайности 23,1-28,0 ц/га) на фоне без навоза, 3,2-3,9 ц/га (при урожайности – 30,2-31,9 ц/га) на фоне последействия 8 т/га навоза и 3,2-3,4 ц/га (при урожайности – 35,4-38,2 ц/га) на фоне последействия 16 т/га органических удобрений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Okon, Y. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots / Y. Okon, Y. Kapulnik // Plant Soil. – 1986. – Vol. 90. – P. 3-16.
2. Kapulnik, Y. Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation / Y. Kapulnik, Y. Okon and Y. Henis // Can. J. Microbiol. – 1985. – Vol. 31. – P. 881-887.
3. Patriquin, D.G. Sites and processes of association between diazotrophs and grasses / D.G. Patriquin, J. Dobereiner and D.K. Jain // Can. J. Microbiol. – 1983. – Vol. 29. – P. 900-915.
4. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н.А. Михайловская [и др.]. // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225-231.
5. Reynders, L. Use of *Azospirillum brasilense* as a biofertilizer in intensive wheat cropping / L. Reynders, K.Vlassak // Plant and Soil. – 1982. – Vol. 66. – P. 217-233.
6. Zambre, M.A. Effect of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* inoculation under graded levels of nitrogen on growth and yield of wheat / M.A. Zambre, B.K. Konde and K.R.Sonar // Plant and Soil. – 1984. – Vol. 79. – P. 61-68.
7. Avivi, Y. The response of wheat to bacteria of the genus *Azospirillum* / Y. Avivi, M. Feldman // Israel J. Bot. – 1982. – Vol. 31. – P. 237-245.
8. Rai, S.N. Nitrogen fixation by *Azospirillum* spp. and effect of *Azospirillum lipoferum* on yield and N uptake of wheat crop / S.N. Rai, A.C.Gaur // Plant Soil. – 1982. – Vol. 69. – P. 233-238.
9. Kapulnik, Y. Effect of *Azospirillum* spp. on root development and  $NO_3^-$  uptake in wheat (*Triticum aestivum* cv. Miriam) in hydroponic system / Y. Kapulnik, R. Gafny, Y. Okon // Can. J. Bot. – 1985. – Vol. 63. № 3. – P. 627-631.
10. Gaskins, M.H. Response of non-leguminous plants to root inoculation with free-living diazotrophic bacteria. The soil – root interface / M.H. Gaskins, D.H. Hubbell. – N.Y., 1979. – P.175-182.
11. Михайловская, Н.А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н.А. Михайловская // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2006. – № 3. – С. 41-46.
12. Михайловская, Н.А. Влияние Калипланта на урожайность гороха и потребление калия на дерново-подзолистой супесчаной почве / Н.А. Михайловская, Т.Б. Барашенко, С.В.Дюсова // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № (42). – С. 235-243.
13. Свойства фосфатмобилизующих бактерий и их влияние на урожайность зерновых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах / Н.А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2(47). – С. 120-129.

14. Белимов, А.А. Влияние pH почвы на взаимодействие ассоциативных бактерий с ячменем / А.А. Белимов, А.М. Кунакова, Е.В.Груздева // Микробиология. – 1998. – Т. 67, № 4. – С. 561-568.
15. Приживаемость и эффективность корневых diaзотрофов при инокуляции ячменя в зависимости от температуры и влажности / А.А. Белимов [и др.] // Микробиология. – 1994. – Т. 63, Вып. 5. – С. 900-908.
16. Duffy B., Defago G. Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas fluorescens* biocontrol strain // Appl. Environ. Microbiol. – 1999. – V. 65. – P. 2429–2438.
17. Van Loon L.C., Bakker P.A.H.M., Pieterse C.M.J. Systematic resistance induced by rhizosphere bacteria // Annu. Rev. Phytopathol. – 1998. – V. 36. – P. 452-483.
18. Михайловская, Н.А. Влияние ризобактерий на фитопатологическое состояние посевов яровой пшеницы / Н.А. Михайловская, Е.Г. Тарасюк, С.В. Тарасюк // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 34. – С. 259-262.
19. Алешин, Е.П. Физиология растений / Е.П. Алешин, А.А. Пономарев. – М., 1985.
20. Практикум по защите растений / Н.Г. Берим [и др.]. – Л.: Колос, 1980. – 247с.
21. Богдевич, И.М. Фосфорные удобрения в сельском хозяйстве важны и незаменимы / И.М. Богдевич, В.В. Лапа // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 2. – С. 24-25.
22. Редькина, Т.В. Механизм положительного влияния бактерий рода *Azospirillum* на высшие растения. Биологический азот в сельском хозяйстве СССР / Т.В. Редькина. – М.: Наука, 1989. – С. 132-141.
23. Арешников, Б.А. Защита зерновых культур от вредителей и болезней при интенсивных технологиях; под общ. ред. Б.А. Арешникова. – Киев: Урожай, 1992. – 224 с.
24. Пересыпкин, В.Ф. Болезни сельскохозяйственных культур. Болезни зерновых и зернобобовых культур; под общ. ред. В.Ф. Пересыпкина. – Киев: Урожай, 1989. – Т. 1. – 324 с.

### INFLUENCE OF PHOSPHORUS-MOBILIZING BACTERIA ON GROWTH, YIELD AND PHYTOPATHOLOGY STATE OF CEREAL CROP GROWINGS ON LUVISOL LOAMY SAND SOILS

N.A. Mikhailouskaya, I.M. Bogdevitch, O. Mikanova, E.G. Tarasiuk,  
T.B. Barashenko, S.V. Duysova, T.V. Pogiritskaya

#### Summary

Tested P-mobilizing bacteria were found to promote plant development at earlier stages of ontogenesis that provides the increase of plants adaptive potential. As a result of inoculation with P-mobilizing bacteria the root volume of plants was increased by 14-30%, root biomass – by 11-32%, stem biomass – by 6-19% compared control treatments. Inoculation of winter triticale and spring barley sowings with P-mobilizing bacteria resulted to reduction of indices of spread and development of root rot infection by 1,2-1,3 and 1,3-2,3 times respectively. Application of P-mobilizing inoculants resulted in the yield increase of winter triticale and spring barley due to combination such factors as plant growth promotion, fungi static effect and P-mobilization.

Поступила 17 апреля 2012 г.