

17. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. Л. Бабьева, Г. М. Зенова – М.: МГУ, 2005. – 445 с.

ENZYMATIC ACTIVITY OF LUVISOL LOAMY SAND SOIL UNDER DIFFERENT MOBILE POTASSIUM SUPPLY

N. A. Mikhailouskaya, I. M. Bogdevitch, T. V. Pogiritskaya, O. V. Vasilevskaya

Summary

It was found that optimal parameters of soil dehydrogenase, polyphenoloxidase, invertase, urease activities and high crop productivity were observed under Luvisol loamy sand soil supply by mobile potassium at the level of $196 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ and K_{90-120} application as well as at the level of $288 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ and K_{60-120} application. Excess of mobile potassium content in soil resulted in reliable depression of soil enzymatic activity, stabilization or reduction of crop productivity.

Поступила 1 сентября 2011 г.

УДК 631.461.73:631.559:631.445.2

СВОЙСТВА ФОСФАТМОБИЛИЗУЮЩИХ БАКТЕРИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ

Н. А. Михайловская, О. Миканова, Т. Б. Барашенко,
Е. Г. Тарасюк, С. В. Дюсова

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор – один из основных элементов питания растений, регулирующих формирование урожая и его качество [1, 2]. В связи с тем, что запасы фосфатного сырья ограничены, а производство фосфорных удобрений требует высоких экономических затрат, возникает необходимость поисков дополнительных источников фосфатного питания. Одним из альтернативных способов улучшения фосфатного питания растений является мобилизация труднодоступных минеральных форм фосфора за счет деятельности ризосферных микроорганизмов [3-9]. Разработка и внедрение современных достижений сельскохозяйственной биотехнологии может обеспечить экологическую безопасность и экономию ресурсов.

В странах с развитым сельским хозяйством активно проводятся исследования по микробной фосфатмобилизации, что свидетельствует об актуальности и перспективности этого направления. Разрабатываются микробные инокулянты для улучшения фосфатного питания сельскохозяйственных культур [10, 11]. К настоящему времени наиболее изучена фосфатрастворяющая активность клубеньковых бактерий [12-15].

В Институте почвоведения и агрохимии также проводятся исследования по этой проблеме. Фосфатмобилизующие бактерии выделены из ризоплана и ризосферы злаковых культур, изучаются их свойства и эффективность.

Одной из актуальных задач в рамках проблемы оптимизации фосфатного питания растений является эффективное использование остаточных количеств фосфатов, накапливающихся в почве при внесении фосфорных удобрений [1]. Источником накопления фосфатов в почве является относительно невысокая эффективность использования фосфорных удобрений. Известно, что коэффициент использования фосфорных удобрений не превышает 25 % [1]. Большая часть этих фосфатов представлена нерастворимыми трехкальциевыми фосфатами, недоступными для питания растений. Внесенный в почву суперфосфат достаточно быстро переходит в длительно сохраняющийся в почве трехкальциевый фосфат, который не может быть непосредственно использован растениями [2].

Цель исследований – изучить потенциальную активность фосфатмобилизации и стимуляции роста изолятов фосфатмобилизующих бактерий в лабораторных экспериментах, а также их влияние на урожайность яровой пшеницы в полевых экспериментах на дерново-подзолистых супесчаных почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований служили фосфатмобилизующие бактерии, изолированные нами из ризоплана и ризосферы злаковых культур. Для оценки потенциальной активности фосфатмобилизации у изолятов бактерий и их способности стимулировать рост растений проведены лабораторные эксперименты.

Лабораторные эксперименты по изучению действия фосфатмобилизующих бактерий на проростки пшеницы. В лабораторном эксперименте изучено действие фосфатмобилизующих бактерий на развитие проростков пшеницы. Семена были предварительно простерилизованы, отмыты стерильной водопроводной водой и пророщены. В стерильных условиях проростки (10 шт.) помещали на бумажные фильтры в чашки Петри, увлажняли водой (3 мл) и инокулировали 3-х суточными культурами фосфатмобилизующих бактерий (1 мл). В контрольные чашки добавляли стерильную воду (4 мл) [18].

Количественная оценка активности фосфатмобилизации у ризобактерий. В стерильных условиях жидкую питательную среду, не содержащую растворимого фосфора, инокулировали фосфатмобилизующими бактериями. После инкубации в термостате при 28°C в течение 7 дней при постоянном перемешивании (на качалке) суспензию центрифугировали, супернатант фильтровали, в фильтрате определяли содержание подвижного фосфора [7, 16]. Состав питательной среды (г/л): глюкоза 10,0 г, аспарагин 1,0 г, K_2SO_4 , $MgSO_4 \times 7H_2O$ 0,4 г, дрожжевой автолизат 0,2 г. В качестве единственного источника фосфора использовали $Ca_3(PO_4)_2$. В конце эксперимента проведен контроль pH среды.

Эффективность фосфатмобилизующих бактерий на посевах озимого триликале в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы подвижным фосфором. Исследования проведены в многолетнем стационарном опыте (СПК «Хотляны» Узденского района) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве с мощной прослойкой песка (60-80 см) на контакте с размытой мореной. 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 мг/кг, обменный магний (MgO)

140-150 мг/кг. В эксперименте созданы четыре уровня обеспеченности почвы подвижными формами фосфора. В годы исследований содержание подвижного фосфора составило: первый уровень – 207, второй – 244, третий – 286 и четвертый – 394 мг/кг P_2O_5 . На каждом уровне насыщения фосфором изучают 5 вариантов внесения фосфорных удобрений в четырех повторениях: контроль (без удобрений), NK – фон, фон + P_1 , фон + P_2 , фон + P_3 .

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 азотных удобрений дифференцируются в зависимости от возделываемой культуры. Общая площадь делянок – 45 м². Жидкий препарат фосфатмобилизующих бактерий внесен весной путем некорневой обработки посевов. Титр жизнеспособных клеток – $1,8 \times 10^8$ КОЕ/мл.

Эффективность фосфатмобилизующих бактерий на посевах яровой пшеницы в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой связносупесчаной почвы подвижным фосфором. Исследования проведены в стационарном полевом опыте на дерново-подзолистой связносупесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком (КСУП «Стреличево» Хойникского района Гомельской области). В эксперименте созданы четыре уровня обеспеченности почвы подвижными формами фосфора, в период исследований (2002, 2004 гг.) содержание подвижного фосфора (P_2O_5) составило: 200, 400, 600, 800 мг/кг. На каждом уровне насыщения подвижным фосфором изучены следующие варианты удобрения в четырех повторениях: $N_{60}K_{90}$ и $N_{60}P_{30}K_{90}$.

Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} – 6,2, содержание гумуса – 2,0 %. Содержание подвижного калия – 194 мг/кг, обменных форм CaO и MgO – 1207 и 435 мг/кг почвы соответственно.

Минеральные удобрения вносили в формах аммиачной селитры, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия. Для бактеризации посевов яровой пшеницы сорта Банти использовали торфяной препарат (10^8 – 10^9 КОЕ/г), который вносили в виде водной суспензии в фазе всходы – начало кущения (из расчета на 1 га: 1 кг Калипланта + 150-200 л воды).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Лабораторные эксперименты по изучению действия фосфатмобилизующих бактерий на проростки пшеницы. В лабораторном эксперименте было показано, что проростки пшеницы, инокулированные фосфатмобилизующими бактериями, отличались более развитой корневой системой, большей опушенностью корневыми волосками, что свидетельствует об улучшении развитии зоны всасывания. У инокулированных проростков корешки утолщены, более развит coleoptиль по сравнению с вариантами без инокуляции. Фотографии 7-суточных проростков представлены на рис. 1-2.

Эксперимент показал, что за счет стимуляции развития корней фосфатмобилизующие бактерии повышают адаптивные возможности инокулированных растений. Стимуляция развития корневой системы на ранних стадиях развития растений способствует улучшению минерального и водного питания, определяя положительное влияние бактеризации на урожай.

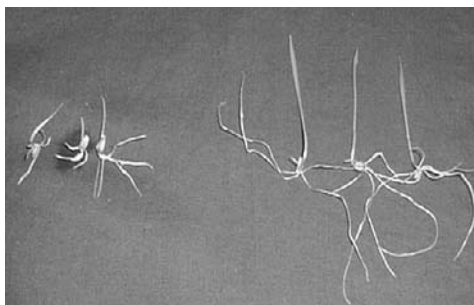


Рис. 1. Влияние изолята Р-7 на развитие проростков пшеницы

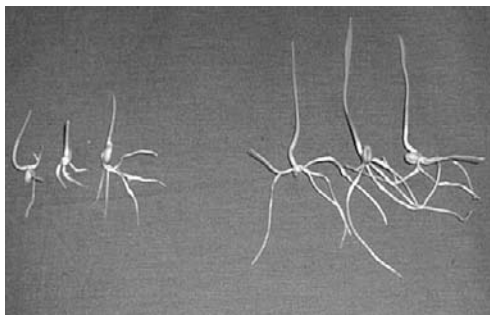


Рис. 2. Влияние изолята Р-28 на развитие проростков пшеницы

Лабораторные эксперименты по количественной оценке фосфатмобилизующей активности бактерий в жидких культурах. В исследованиях, проведенных нами ранее [17], была установлена потенциальная способность ряда изолятов фосфатмобилизующих бактерий к растворению ортофосфата кальция, которую определяли по времени появления и величине зон просветления питательной среды с $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, что позволило получить качественные характеристики активности. В настоящей работе приводятся экспериментальные данные по количественной оценке фосфатмобилизующей активности ризобактерий с использованием современной методики культивирования в жидкой среде, содержащей ортофосфат кальция [7, 16]. В ходе экспериментов поддерживали оптимальные условия для жизнедеятельности бактерий (термостатирование при 28°C в течение 7 суток), что позволило получить характеристики потенциальной активности мобилизации фосфора из трикальцийфосфата.

Установлено, что активность фосфатмобилизации коллекционных штаммов варьировала в достаточно широких пределах 65-620 мг/л фосфора (табл. 1). Наиболее высокая потенциальная способность к фосфатмобилизации, на уровне 500-600 мг/л фосфора, отмечена у двух изолятов – Р-25 (620 мг/л фосфора) и Р-12 (505 мг/л фосфора). Высокий уровень активности, превышающий 300 мг/мл фосфора, отмечен у изолятов Р-2 (370 мг/л фосфора) и Р-15 (406 мг/л фосфора). Изоляты Р-16 (257 мг/л фосфора) и Р-10 (288 мг/л фосфора) характеризовались средним уровнем активности, превышающим 200 мг/мл фосфора. Далее в убывающем порядке – изоляты Р-48, Р-61 и Р-91, проявляющие активность выше 100 мг/л фосфора. Активность остальных исследованных изолятов была ниже 100 мг/л фосфора (табл. 1).

В большинстве случаев высокая активность мобилизации фосфора была связана со значительным снижением величины рН среды, что свидетельствует об образовании кислых метаболитов, способных к растворению $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Для изолятов, характеризующихся высокой активностью фосфатмобилизации, отмечено и наиболее значительное подкисление среды: для изолята Р-25 – до 3,13, для изолятов Р-12 и Р-15 – до 3,94 и 4,23 соответственно (табл. 1).

Отмечено, что при культивировании изолята Р-16, характеризующегося средним уровнем активности, рН среды снизился максимально – до 2,67. В то же время для изолята Р-91, который по активности сравним с Р-61, не отмечено подкисления среды в процессе эксперимента (табл. 1). Наблюдаемые различия могут указывать на наличие других специфических механизмов фосфатмобилизации у ризобактерий разной таксономической принадлежности.

Таблица 1

**Фосфатмобилизующая активность ризобактерий
(лабораторный эксперимент, 2011 г.)**

Изолят	Содержание фосфора, мг/л	рН среды
Р-1	72	3,79
Р-2	370	3,75
Р-7	93	5,78
Р-10	288	4,00
Р-12	505	3,94
Р-15	406	4,23
Р-16	257	2,67
Р-21	65	4,90
Р-25	620	3,13
Р-28	67	5,66
Р-48	108	5,20
Р-61	177	3,68
Р-91	152	6,52
НСР ₀₅	22	

Механизмы процессов растворения фосфатов под влиянием микроорганизмов остаются дискуссионными до настоящего времени. Большинство исследователей связывает этот процесс со способностью микроорганизмов продуцировать кислые метаболиты [3, 4, 8, 9, 12, 13]. Однако известно, что обычные аммонифицирующие бактерии активно переводят фосфор в раствор и при этом не подкисляют, а подщелачивают питательные среды [4, 5]. Анализ литературных данных позволяет предполагать разные биохимические пути фосфатмобилизации, так как при близких показателях интенсивности мобилизации фосфатов существенно различается рН среды [19].

К настоящему времени факт увеличения подвижности минеральных фосфатов под влиянием микроорганизмов не вызывает сомнения. Многие микроорганизмы способны растворять минеральные фосфаты, в том числе бактерии [5, 10, 12-15] и микоризные грибы [11]. Подкисление питательной среды не является обязательным условием для растворения трехкальциевого фосфата. Повышение раствори-

мости минеральных фосфатов может быть связано как с увеличением кислотности среды, так и с биологическим поглощением и последующей минерализацией бактериальной плазмы с выделением фосфора в усвояемой форме.

Таким образом, эксперимент позволил определить наиболее активные по способности к фосфатмобилизации изоляты ризосферных бактерий, которые целесообразно испытать в полевых опытах в качестве действующей основы бактериальных удобрений.

Для оценки влияния фосфатмобилизирующих бактерий на урожайность яровой пшеницы проведены полевые эксперименты на дерново-подзолистых супесчаных почвах.

Эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах озимого тритикале в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы подвижным фосфором. Изучена эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах озимого тритикале Вольтарио в зависимости от уровня обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы фосфором и доз фосфорных удобрений.

На первом уровне обеспеченности почвы P_2O_5 (207 мг/кг) достоверные прибавки от применения фосфатмобилизирующих бактерий получены на фонах НК, NKP_{10} (табл. 2). Наиболее высокая прибавка от бактериализации, 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. 2). При содержании в почве 207 мг/кг P_2O_5 наиболее обосновано применение фосфатмобилизирующих 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.

На втором уровне обеспеченности почвы P_2O_5 (244 мг/кг) статистически достоверная прибавка от бактериализации посевов, 2,3 ц/га зерна, получена на фоне НК (табл. 2). При внесении P_{10} - P_{60} прибавки от бактериализации 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. 2).

Эффективность фосфатмобилизирующих бактерий на посевах яровой пшеницы в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой связносупесчаной почвы подвижным фосфором. Стационарный полевой опыт проводили на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком (КСУП «Стреличево» Хойникский р-н Гомельская обл.). На посевах яровой пшеницы сорта Банти изучена эффективность фосфатмобилизирующих бактерий в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы фосфором и дозы фосфорных удобрений.

Установлена зависимость урожайности яровой пшеницы от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой связносупесчаной почве. В диапазоне обеспеченности почвы 200, 400 и 600 мг P_2O_5 /кг отмечено повышение урожайности зерна от первого к третьему уровню насыщения – на фонах $N_{60}K_{90}$ урожайность составила 28,1, 33,2 и 36,8 ц/га соответственно (табл. 3). При дальнейшем повышении содер-

жания подвижного фосфора в почве до 800 мг P_2O_5 /кг отмечено снижение урожайности зерна, связанное с нарушением баланса элементов питания.

Таблица 2

Влияние фосфатмобилизирующих бактерий на урожайность озимого тритикале в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы фосфором (СПК «Хотляны», 2009 г.)

Вариант	Урожайность, ц/га			
	НК	НКР ₁₀	НКР ₃₀	НКР ₆₀
1-й уровень, 207 мг/кг P_2O_5				
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
2-й уровень, 244 мг/кг P_2O_5				
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
3-й уровень, 286 мг/кг P_2O_5				
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
4-й уровень, 394 мг/кг P_2O_5				
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			

Дозы НК-удобрений – $N_{120}K_{90}$.

Внесение фосфатмобилизирующих бактерий на фонах $N_{60}K_{90}$ позволило получить достоверные прибавки урожайности на первом (200 мг/кг) и втором (400 мг/кг) уровнях обеспеченности почвы фосфором – 4,7 и 4,3 ц/га зерна соответственно. Отмечена также тенденция повышения содержания фосфора в зерне, что свидетельствует о повышении доступности почвенных фосфатов для растений. При насыщении почвы подвижным фосфором до 600 мг/кг эффект от бактеризации яровой пшеницы снижался, прибавка зерна составляла 1,5 ц/га (табл. 3). Внесение фосфатмобилизирующих бактерий при очень высокой обеспеченности почвы подвижными фосфатами (800 мг P_2O_5 /кг) было не эффективно.

Схема опыта включала варианты с внесением фосфорных удобрений (P_{30}) на фонах $N_{60}K_{90}$. На этих вариантах отмечена тенденция повышения урожайности яровой пшеницы на трех уровнях обеспеченности фосфором – 200, 400 и 600 мг/кг почвы, урожайность зерна составила 29,8, 35,4 и 38,9 ц/га по сравнению с 28,1, 33,2 и 36,8 ц/га на фонах $N_{60}K_{90}$ соответственно (табл. 3). Повышение содержания P_2O_5 до 800 мг/кг не приводило к росту урожайности. Применение фосфатмобилизирующих бактерий было эффективным только на первом (200 мг/кг) уровне обес-

2. Плодородие почв и применение удобрений

печенности почвы подвижными фосфатами, прибавка от бактеризации составила в среднем 3,6 ц/га зерна, на втором и третьем уровнях – отмечена тенденция повышения урожайности (табл. 3).

Таким образом, установлена эффективность применения фосфатмобилизующих бактерий на посевах яровой пшеницы в зависимости от содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистой связносупесчаной почве. Наиболее эффективно внесение фосфатмобилизующих бактерий на фонах $N_{60}K_{90}$ при обеспеченности почвы подвижными фосфатами в диапазоне 200-400 мг/кг, прибавки зерна на уровне 4,3-4,7 ц/га. Применение фосфатмобилизующих бактерий на фонах $N_{60}P_{30}K_{90}$ эффективно только при содержании 200 мг/кг подвижного фосфора в почве, прибавка зерна на уровне 3,6 ц/га. Внесение фосфатмобилизующих бактерий при высокой обеспеченности почвы подвижными фосфатами нецелесообразно.

Таблица 3

Влияние фосфатмобилизующих бактерий на урожайность яровой пшеницы при разной обеспеченности дерново-подзолистой связносупесчаной почвы подвижным фосфором (КСУП «Стреличево», в среднем за 2002, 2004 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га	
	$N_{60}K_{90}$	$N_{60}P_{30}K_{90}$
1-й уровень, 200 мг/кг P_2O_5		
Контроль	28,1	29,8
Бактеризация	32,8	33,4
Прибавка	4,7	3,6
2-й уровень, 400 мг/кг P_2O_5		
Контроль	33,2	35,4
Бактеризация	37,5	36,4
Прибавка	4,3	1,0
3-й уровень, 600 мг/кг P_2O_5		
Контроль	36,8	38,9
Бактеризация	38,3	37,2
Прибавка	1,5	1,7
Фактор А (P_2O_5)	3,56	
Фактор в (бакт.)		

ВЫВОДЫ

Изучены свойства фосфатмобилизующих бактерий, установлена их способность стимулировать рост корневой системы и переводить в доступную для растений форму нерастворимый трикальцийфосфат $Ca_3(PO_4)_2$. Способность к фосфатмобилизации и стимуляции роста корневой системы определяет положительное влияние внесения фосфатмобилизующих бактерий на режим питания и урожайность сельскохозяйственных культур. Применение бактерий может способствовать устранению дефицита фосфора в критический период питания, в начале вегетации растений.

Установлена взаимосвязь эффективности фосфатмобилизующих бактерий с содержанием подвижных форм фосфора в дерново-подзолистых рыхло- и связно-

супесчаных почвах. При обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы P_2O_5 на уровне 207 мг/кг наиболее обосновано применение фосфатмобилизующих бактерий на фонах $N_{120}K_{90}$ и $N_{120}K_{90}P_{10}$, что позволяет получить урожайность зерна озимой тритикале 46,5-48,0 ц/га и достоверные прибавки от бактеризации 3,0-3,3 ц/га; при повышении содержания P_2O_5 в почве до 244 мг/кг достоверная прибавка от бактеризации посевов, 2,3 ц/га зерна, получена только на фоне $N_{120}K_{90}$; при содержании P_2O_5 в пределах 286-394 мг/кг прибавки от фосфатмобилизующих бактерий не достоверны. На дерново-подзолистой связносупесчаной почве применение фосфатмобилизующих бактерий наиболее эффективно на фонах $N_{60}K_{90}$ при обеспеченности почвы подвижными фосфатами в диапазоне 200-400 мг/кг, прибавки зерна на уровне 4,3-4,7 ц/га, а на фонах $N_{60}P_{30}K_{90}$ эффект от бактеризации отмечается только при содержании 200 мг/кг подвижного фосфора в почве, прибавка зерна на уровне 3,6 ц/га. Внесение фосфатмобилизующих бактерий при высокой обеспеченности почвы подвижными фосфатами нецелесообразно.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Синягин, И. И. Превращения фосфорных и калийных удобрений в почве и повышение их усвояемости / И. И. Синягин. – М.: МСХ СССР, ВНИИНТИ. – 1969. – С. 6-24.
3. Илялетдинов, А. Н. Биологическая мобилизация минеральных соединений / А. Н. Илялетдинов. – Алма-Ата: Наука, 1966. – С. 63-73.
4. Геллер, И. Т. Мобилизация нерастворимых минеральных соединений почвенными микроорганизмами: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07 / И. Т. Геллер; ТСХА. – М., 1971. – 17с.
5. Goldstein, A. H. Bacterial solubilization of mineral phosphates: Historical perspective and future prospects / A. H. Goldstein // Am. J. Alternative Agric. – 1986. – №1. – P. 51-57.
6. Mikanova, O. Evaluation of the P-solubilizing activity of soil microorganisms and its sensitivity to soluble phosphate / O. Mikanova, J. Novakova // Rostl. Vyr. – 2002. – №48. – P. 397-400.
7. Mikanova, O. Uvolnovani fosforu z tezko rozpustnych sloucenin pudni mikroflorou / O. Mikanova, J. Kubat // Rostlinna vyroba. – 1994. – T. 40. – Vol. 9. – P. 833-840.
8. Mikanová, O. Phosphorus Solubilizing Microorganisms and their Role in Plant Growth Promotion / O. Mikanová, J. Kubát // Microbial Biotechnology in Agriculture and Aquaculture (ISBN: 1-57808-443-1) / Science Publishers; eds. R. C. Ray. – New Hampshire, USA, 2006. – Vol. II. – P. 111-145.
9. Mikanová, O. Practical Use of Phosphate Solubilizing Soil Microorganisms / O. Mikanová, J. Kubát // Phosphate Solubilizing Microbes for Crop Improvement (ISBN: 978-1-60876-112-8). / Nova Science Publishers; eds. M. S. Khan, A. Zaidi. – USA, 2009. – P. 129-143.
10. Gaur, A. C. Phosphate solubilizing microorganisms as biofertilizers / A. C. Gaur. – New Delhi: Omega Sci. Publishers, 1990. – 283 p.
11. Khurana, A. L. Role of vesicular-arbuscular mycorrhizae (VAM) in sustainable agriculture / A. L. Khurana, S. S. Dudeja // Proc. Seminar on National Resource Management. – 1995. – P. 37-45.

12. Halder, A. K. Solubilization of inorganic phosphates by Bradyrhizobium / A. K. Halder, A. K. Mishra, P. K. Chakrabartty // Ind. J. Exp. Biol. – 1991. – №29 – P. 28-31.
13. Halder, A. K. Solubilization of inorganic phosphate by Rhizobium. / A. K. Halder, P. K. Chakrabartty // Folia Microbiol. – 1993. – №38. – P. 325-330.
14. Schopnost kmenu Rhizobium leguminosarum zpristupnovat fosfor / O. Mikanova [et al.] // Rostlinna vyroba. – 1995. – T. 41. – S. 423-425.
15. Mikanova, O. The role of P-solubilizing activity of Rhizobium and Bradyrhizobium japonicum strains in the phosphorus nutrition of soybean / O. Mikanova, J. Kubat // International Conference on sustainable crop production in fragile environments. – New Delhi, 1996. – P. 86.
16. Murphy, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters / J. P. Murphy, J. P. Riley // Anal. Chem. Acta. – 1962. – Vol. 27. – P. 31-36.
17. Изучение способности штамма Azospirillum brasilense к мобилизации орто-фосфатов кальция / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – Вып. 27. – С. 325-332.
18. Алешин, Е. П. Физиология растений / Е. П. Алешин, А. А. Пономарев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 153 с.
19. Novel approaches for analysis of biodiversity of phosphate-solubilizing bacteria / M.-H. Ramirez-Bahena [et al.] // Phosphate Solubilizing Microbes for Crop Improvement / Nova Science Publishers; eds. M. S. Khan, A. Zaidi. – 2009. – P. 15-40.

PROPERTIES OF PHOSPHORUS-MOBILIZING BACTERIA AND THEIR EFFECT ON CEREAL CROP YIELDS ON LUVISOL LOAMY SAND SOILS

**N. A. Mikhailouskaya, O. Mikanova, T. B. Barashenko,
E. G. Tarasiuk, S. V. Duysova**

Summary

Some properties of P-mobilizing bacteria were investigated. P-mobilizing bacteria capabilities of transfer the insoluble $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ into accessible form and stimulation of root development determine their positive effect on nutrition regime and crop yields. The efficiency of P-mobilizing bacteria introduction was found to depend on the content of mobile of phosphorus in soil.

Under Luvisol loamy sand (coarse) soil supply by P_2O_5 207 mg/kg⁻¹ most effective was introduction of P-mobilizing bacteria at the backgrounds of $\text{N}_{120}\text{K}_{90}$ and $\text{N}_{120}\text{K}_{90}\text{P}_{10}$ that provided winter triticale yields 46.5-48.0 c/ha⁻¹ and reliable responses to inoculation 3.0-3.3 c/ha⁻¹; under soil supply by P_2O_5 244 mg/kg⁻¹ grain response 2.3 c/ha⁻¹ was obtained only at background of $\text{N}_{120}\text{K}_{90}$; in a range of soil supply by P_2O_5 286-394 mg kg⁻¹ grain responses was not statistically sound.

Application of P-mobilizing bacteria on Luvisol loamy sand (bind) soil was most effective if mobile phosphates contents were in diapason of 200-400 mg kg⁻¹ at the backgrounds of $\text{N}_{60}\text{K}_{90}$ that resulted in spring wheat responses 4.3-4.7 c/ha⁻¹; at the backgrounds of $\text{N}_{60}\text{P}_{30}\text{K}_{90}$ grain response 3.6 c/ha⁻¹ was obtained only if P_2O_5 content in soil not exceed 200 mg/kg⁻¹. Under high soil supply by mobile phosphates the introduction of P-mobilizing bacteria is not profitable.

Поступила 1 сентября 2011 г.