beet was cultivated according to intensive technology. It was established that the double foliar feeding of sugar beet with these preparation resulted in the enhance of crop yield by 23-42 c/ha, sugar yield by 3,0-7,2 c/ha at profitability 80-112 %.

Поступила 5 декабря 2011 г.

УДК 631.461.5:631.445.2:631.836

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ РЫХЛОСУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОДВИЖНЫМ КАЛИЕМ

Н. А. Михайловская, И. М. Богдевич, Т. В. Погирницкая, О. В. Василевская
Институт почвоведения и агрохимии, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее значимым антропогенным фактором, оказывающим влияние на ферментативную активность почв, являются удобрения. Повышенная нагрузка по минеральным удобрениям или их несбалансированное применение могут негативно воздействовать на интенсивность и направленность биохимической трансформации органического вещества [1]. В связи с этим возрастает экологическая актуальность диагностики биологического состояния почв в зависимости от их обеспеченности элементами минерального питания.

Калий является одним из основных биогенных элементов, необходимых для питания растений, он выполняет важнейшие физиологические и биохимические функции в метаболизме растительной клетки. Дефицит калия или его избыточное содержание в почве негативно влияют на развитие растений [2-4]. Содержание калия в почве и калийные удобрения являются значимыми факторами, регулирующими биологическое состояние почвы.

Актуальность биологических исследований обусловлена как экологическими, так и экономическими соображениями. Возрастающая стоимость калийных удобрений также требует биологической оценки избыточного накопления подвижного калия в почве, чтобы избежать нерациональных экономических затрат. При очень высоком содержании калия в почве прибавки урожая резко снижаются, а применение калийных удобрений становится нерентабельным или убыточным [2].

Несмотря на ведущую роль биологических показателей в качестве диагностических критериев изменений, вызываемых антропогенной деятельностью, в настоящее время они используются недостаточно. Научная информация по влиянию обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных почв республики подвижным калием на ее ферментативную активность очень ограничена [5]. Недостаток информации по этой проблеме вызывает необходимость проведения исследований по расширенному спектру биохимических показателей.

Наиболее целесообразно проводить такие исследования в модельных полевых экспериментах, где сформирован широкий диапазон различий по содержанию подвижного калия. Это позволяет получить значительный объем информации для сравнительного анализа и установления биологически обоснованных уровней обеспеченности почвы калием.

Цель исследований – в модельном полевом эксперименте установить влияние обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы подвижным калием на ее ферментативную активность по следующим показателям – дегидрогеназной, полифенолоксидазной, инвертазной и уреазной активности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в многолетнем стационарном опыте на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве с мощной прослойкой песка (60-80 см) на контакте с размытой мореной в СПК «Хотляны» (Узденский р-н Минская обл.) в 2008-2010 гг. Агрохимические свойства почвы: pH (KCl) – 6,0-6,2, содержание подвижного фосфора (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 обменным калием. В период исследований содержание K_2O составило: первый уровень – 102 мг/кг, второй – 196, третий – 288 и четвертый – 390 мг/кг почвы. На каждом уровне насыщения калием изучали 4 варианта внесения удобрений (карбамид, аммофос, хлористый калий): NP – фон, фон + K_{60}, фон + K_{90}, фон + K_{120}. Доза фосфорных удобрений 30 кг/га (P_2O_5). Дозы азотных удобрений дифференцируются в зависимости от возделываемой культуры. Общая площадь делянок – 45 м^2. В годы исследований в опыте возделывали горох WSB 1.132128 и озимое тритикале Вольтарио.

Для оценки дегидрогеназной активности почвы использовали модифицированный метод А. Ш. Галстяна [6], активность фермента выражали в мг трифенилформазана (ТФФ)/кг почвы. Активность полифенолоксидазы оценивали колориметрическим методом по трансформации гидрохинона в почве, разработанной Л. А. Карягиной, Н. А. Михайловской [7]. Активность инвертазы определяли по методу, предложенному Т. А. Щербаковой, с использованием динитросалициловой кислоты в качестве индикатора редуцирующих сахаров, активность фермента выражали в мг глюкозы/кг почвы [8]. Уреазную активность почвы определяли по методу Т. А. Щербаковой с использованием реактива Несслера для количественного определения $N\text{-}NH_4^+$ (мг/кг почвы за 4 часа при t = 37ºС) [6]. Отбор почвенных образцов для биологических исследований проводили ежегодно весной до внесения удобрений [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Биологическое состояние почвы является одним из основных критериев оценки уровня антропогенной нагрузки. Для объективной и разносторонней оценки антропогенного воздействия важно изучение биохимического статуса почв. По ряду причин традиционные микробиологические показатели не нашли широкого практического применения для диагностических целей, в том числе из-за их высокой вариабельности, трудоемкости и длительности лабораторных исследований. В этом отношении ферментативная диагностика имеет очевидные преимущества. Почвенные ферменты играют ключевую роль в процессах трансформации органического вещества. Ферментативная активность количественно отражает уровень заселенности почвы микроорганизмами, так как основными источниками поступающих в почву ферментов являются микроорганизмы. Каталитические свойства

почвы в значительной мере обусловлены действием внеклеточных ферментов микробного происхождения, которые адсорбируются глинистыми минералами, гуминовыми и нуклеиновыми кислотами, полисахаридами. Стабилизированные за счет связи с минеральными и органическими компонентами почвы внеклеточные ферменты функционируют, в том числе и при неблагоприятных условиях дефицита влаги и элементов питания, когда численность многих групп микроорганизмов резко снижается, а некоторые виды погибают. Стабилизированные внеклеточные ферменты устойчивы к протеолизу и защищены от инактивации [10, 11]. Перечисленные факторы обусловливают значительно большую стабильность ферментативных показателей по сравнению с традиционными микробиологическими. Аргументами в пользу ферментативной диагностики являются также относительная простота измерения и быстрый отклик на антропогенное воздействие.

Автоморфные дерново-подзолистые супесчаные почвы, подстилаемые моренными суглинками, на которых проведены биологические исследования, широко распространены на территории Беларуси и занимают в составе пашни 48,5 %. В длительном модельном полевом эксперименте с искусственно сформированной дифференциацией по содержанию подвижного калия в диапазоне 102-390 мг/кг K_2O получены данные по ферментативной активности почвы, сравнительный анализ которых с показателями продуктивности сельскохозяйственных культур позволил определить биологически обоснованные уровни обеспеченности почвы подвижным калием.

Для оценки общего уровня биогенности почвы использована ее дегидрогеназная активность. Дегидрогеназы имеются у абсолютного большинства микроорганизмов. Этот показатель позволяет получать информацию о живом микробном населении почвы. Процессы дегидрирования органического субстрата происходят при участии дегидрогеназ живых клеток почвенных микроорганизмов. Установлено повышение численности микробных сообществ почвы по мере насыщения почвы подвижным калием от 102 до 288 мг/кг. При повышении содержания калия в почве до 390 мг/кг отмечено снижение численности микробных сообществ почвы (рис. 1).

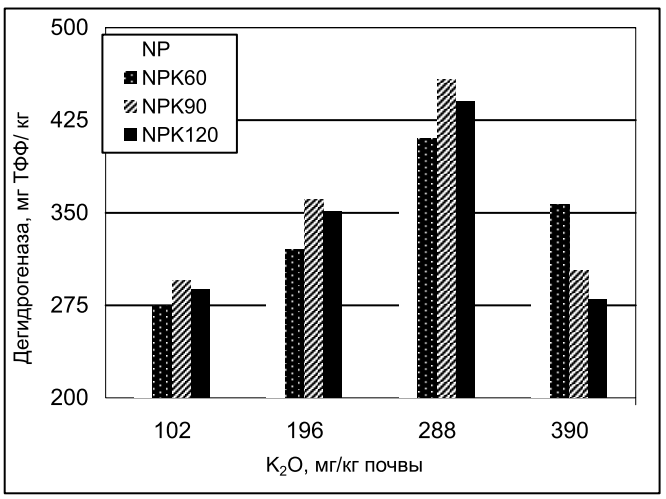

Рис. 1. Дегидрогеназная активность при разном содержании подвижного калия в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (2008-2010 гг.)

Оптимальный уровень биогенности почвы по показателям дегидрогеназной активности регистрируется на втором и третьем уровнях обеспеченности калием 196 и 288 мг/кг, активность фермента составляет 320-440 мг ТФФ/кг. Внесение K_{90} и K_{120} при содержании в почве 196 мг/кг K_2O, а также внесение K_{60}, K_{90} и K_{120} при содержании в почве 288 мг/кг K_2O поддерживает оптимальный уровень дегидрогеназной активности; при этом обеспечивается продуктивность севооборота – 54-57 ц/га к. ед. окупаемость калийных удобрений в пределах 6,2-9,4 к. ед. на 1 кг K_2O (табл., рис. 1). При содержании в почве 390 мг/кг K_2O намечается тенденция к снижению дегидрогеназной активности. Снижение этого показателя свидетельствует об ухудшении условий для жизнедеятельности микроорганизмов, выделяющих дегидрогеназы.

Выполнены анализы почвенных образцов по определению активности полифенолоксидазы. Значимость этого биохимического показателя обусловлена тем, что микробные фенолоксидазы являются основными агентами гумификации лигнинов растительных остатков в почве. Растительные остатки, служащие основным источником гумусовых веществ в почве, на 15-30 % состоят из лигнинов. Наряду с белками, лигнины являются основными поставщиками структурных единиц для гумификации и рассматриваются как основные гумусообразователи [12, 13, 14]. Несмотря на то, что лигнины отличаются устойчивостью к разложению по сравнению с другими компонентами растительных остатков, они быстро гумифицируются в почве под действием микробных оксидаз [13, 14]. Эти ферменты катализируют процессы окисления ароматических соединений и их производных до хинонов, которые в соответствующих условиях конденсируются с аминокислотами и пептидами с образованием первичных молекул гуминовых кислот [13, 14].

Таблица

Продуктивность севооборота и окупаемость калийных удобрений в зависимости от содержания подвижных форм калия в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (2001-2008 гг.)

Варианты	Продуктивность, к. ед. ц/га				Прибавка к. ед. на 1 кг K_2O			
	Содержание K_2O, мг /кг почвы							
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Контроль	22,8	32,3	34,6	34,1	-	-	-	-
$N_{80}P_{30}$ – фон	35,9	46,5	49,6	50,2	-	-	-	-
Фон + K_{60}	40,7	50,8	54,1	52,9	7,9	7,2	7,6	4,6
Фон + K_{90}	44,1	55,0	56,1	54,4	9,1	9,4	7,3	4,7
Фон + K_{120}	47,4	56,6	57,0	53,6	9,6	8,4	6,2	2,9
$НСР_{05}$ (K_2O) (варианты)	1,5 1,7							

Хорошая корреляция с продуктивностью сельскохозяйственных культур позволяет использовать полифенолоксидазную активность почвы при оценке оптимальной нагрузки по калию. Оптимальный интервал активности фермента – 42-49 мг хинона/кг почвы отмечен при внесении K_{90} и K_{120} при содержании в почве 196 мг/кг K_2O, а также при внесении K_{60}, K_{90} и K_{120} при содержании 288 мг/кг K_2O, что соответствовало и высокой продуктивности культур севооборота 54-57 ц/га к. ед. (табл. 1, рис. 2).

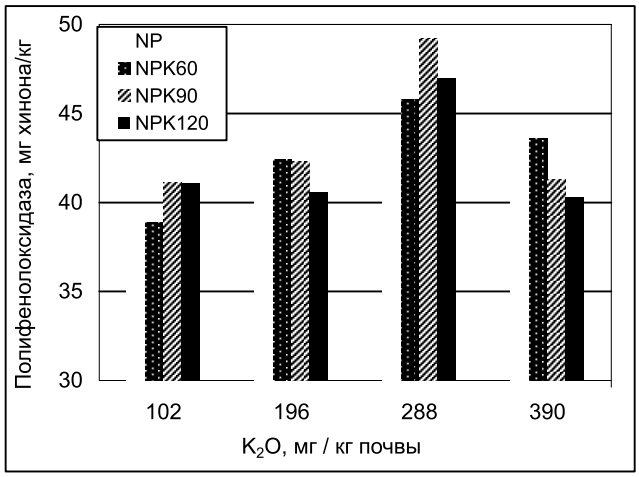

Рис. 2. Полифенолоксидазная активность в зависимости от содержания подвижного калия в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (2008-2010 гг.)

Важнейшей функцией почвы, тесно связанной с биохимической деятельностью микроорганизмов, является ее способность трансформировать сложные высокомолекулярные органические соединения в усвояемые структурные единицы. Динамика и мобилизация элементов питания связана с действием стабилизированных в почве гидролитических ферментов.

В состав растительных тканей входят углеводы, существенно различающиеся по скорости разложения – моно-, олиго- и полисахариды. Количество растворимых моносахаридов относительно невелико, по сравнению с трудно разлагаемыми полисахаридами, к которым относятся гемицеллюлозы, крахмал и целлюлоза. Медленно разлагаемая целлюлоза составляет около 40-70 % сухого вещества растительных остатков и является наиболее значимым полисахаридом, поступающим в почву. Ферментативный гидролиз полисахаридов до мономеров представляет собой сложный многоступенчатый процесс, который на разных стадиях катализируется специфическими группами ферментов.

Инвертазы осуществляют гидролитическое разложение сахарозы, их активность является показателем скорости накопления глюкозы и фруктозы в почве. В цикле углерода почвы инвертазы также играют важную роль, высвобождая легко растворимые низкомолекулярные сахара, которые представляют источник питания для микроорганизмов [12, 15, 16]. Высокий уровень активности инвертаз способствует развитию микробной биомассы и поддерживает определенный уровень биогенности почвы.

В эксперименте установлено, что оптимальные показатели инвертазной активности – 3290-3760 мг глюкозы/кг почвы отмечены при внесении K_{90} и K_{120} при содержании в почве 196 мг/кг K_2O, а также при дозах K_{60}, K_{90} и K_{120} при содержании в почве 288 мг/кг K_2O, что соответствовало и высокой продуктивности культур севооборота 54-57 ц/га к. ед. (табл., рис. 3). При содержании в почве 390 мг/кг K_2O, уровень активности инвертазы существенно понижен, что указывает на снижение интенсивности минерализации органического вещества почвы. Дальнейшее насыщение подвижным калием свыше 288 мг/кг почвы не улучшает биологическую

ситуацию в почве и нецелесообразно, так как отмечается депрессия активности фермента и снижение продуктивности сельскохозяйственных культур (табл.). Соотнесение показателей инвертазной активности с показателями продуктивности севооборота показывает, что они являются надежными ферментативными показателями для нормирования нагрузки по калию на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (рис. 3).

Важная роль принадлежит гидролитическим ферментам цикла азота. Как известно, основная часть азота находится в почве в виде сложных органических соединений (94-95 %). Азот, входящий в состав белков и их производных, становится доступным для растений в результате аммонификации. На разных ступенях аммонификации действуют специфические группы гидролитических ферментов. В результате последовательного протеолитического разложения до полипептидов и аминокислот, и далее под действием амидогидролаз и дезаминаз, азот органических соединений переходит в минеральную форму [17]. Таким образом, действие гидролитических ферментов – протеаз, пептидаз, дезаминаз и амидогидролаз определяет динамику азота в почве. На завершающих стадиях аммонификации, обеспечивающих образование аммония, действуют амидогидролазы, к которым относится уреаза.

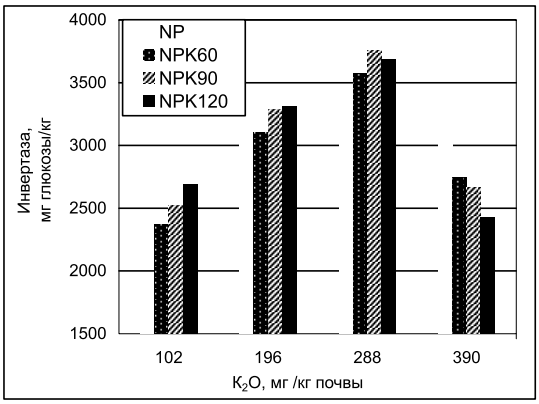

Рис. 3. Инвертазная активность при разном содержании подвижного кали в дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (2008-2010 гг.)

В наших исследованиях установлено, что наиболее оптимальный диапазон уреазной активности – 250-270 мг $N\text{-}NH^+_4$/кг почвы обеспечивает внесение K_{90} и K_{120} при содержании в почве 196 мг/кг K_2O, а также при внесение K_{60}, K_{90} и K_{120} при содержании в почве 288 мг/кг K_2O, что соответствовало и высокой продуктивности культур севооборота 54-57 ц/га к. ед. (табл., рис. 4). При повышенном содержании K_2O в почве 390 мг/кг, отмечается снижение активности уреазы, свидетельствующее о снижении интенсивности накопления минерального азота в почве. Насыщение почвы подвижным калием свыше 288 мг/кг почвы представляется нецелесообразным, так как отмечается депрессия аммонификации и снижение продуктивности культур севооборота. Сравнительный анализ данных по уреазной активности и продуктивности севооборота (табл., рис. 4) показывает, что уреазную активность можно рекомендовать в качестве объективного ферментативного критерия для нормирования нагрузки по калию на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве.

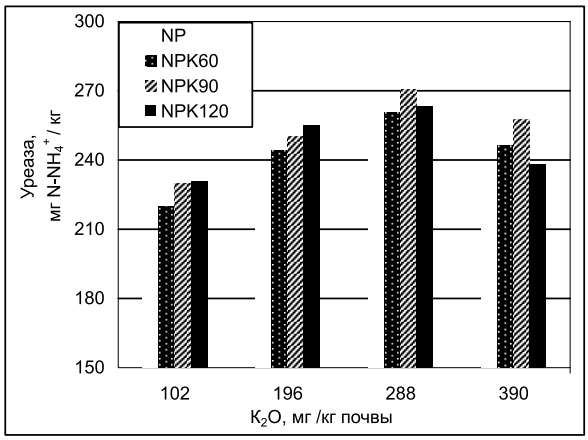

Рис. 4. Уреазная активность дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы при разной обеспеченности подвижным калием

Таким образом, проведение биологических исследований в модельном полевом эксперименте на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы с искусственно сформированной дифференциацией по содержанию подвижного калия в диапазоне 102-390 мг/кг K_2O позволило получить данные по активности ряда ключевых почвенных ферментов – дегидрогеназной, полифенолоксидазной, инвертазной и уреазной. Сравнительный анализ ферментативной активности и продуктивности сельскохозяйственных культур позволил определить биологически обоснованные уровни обеспеченности дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы подвижным калием.

ВЫВОДЫ

При оценке биохимического статуса дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почвы с дифференциацией по содержанию подвижных форм калия установлено, что наиболее адекватными ферментативными показателями для нормирования нагрузки по калию являются дегидрогеназная, инвертазная, уреазная и полифенолоксидазная активность почвы. Установлены количественные изменения ферментативной активности дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от содержания K_2O в почве и возрастающих доз калийных удобрений. Насыщение почвы K_2O и внесение калийных удобрений приводит к повышению заселенности почвы микроорганизмами, интенсификации процессов гумификации лигнинов растительных остатков и аммонификации органических азотсодержащих соединений с выделением неорганического азота, а также повышает скорость минерализации сахарозы в почве. Оптимальные показатели ферментативной активности почвы (дегидрогеназной – 320-440 мг ТФФ/кг, инвертазной – 3290-3760 мг глюкозы/кг, полифенолоксидазной – 42-49 мг хинона/кг и уреазной активности – 250-270 мг $N\text{-}NH_4$/кг) отмечаются при содержании 196-288 мг K_2O на кг почвы. Внесение повышенных доз $K_{90\text{-}120}$ при содержании 196 мг K_2O/кг почвы или $K_{60\text{-}90}$ при содержании 288 мг K_2O/кг почвы, поддерживает оптимальный уровень ферментативной активности почвы. В этих агрохимических вариантах

и обеспечивается наибольшая продуктивность севооборота 54-57 ц к. ед. с гектара. При содержании подвижного калия около 390 мг/кг и более отмечается существенное снижение ферментативной активности и снижение продуктивности сельскохозяйственных культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туев, Н. А. Экологические проблемы интенсивного земледелия / Н. А. Туев // Вестн. с.-х. науки. – 1988. – №6. – С. 91–95.

2. Оптимизация и поддержание агрохимических свойств дерново-подзолистых почв, обеспечивающих стабильно высокую урожайность и качество продукции основных сельскохозяйственных культур: рекомендации / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2011. – 48с.

3. Синягин, И. И. Превращения фосфорных и калийных удобрений в почве и повышение их усвояемости / И. И. Синягин // МСХ СССР, ВНИИНТИ. – 1969. – С. 6-24.

4. Агрохимия: учеб. издание / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Ураджай, 1995. – 480 с.

5. Михайловская, Н. А. Влияние возрастающей обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы подвижными формами фосфора и калия на биологические показатели плодородия / Н. А. Михайловская, Г. В. Мороз // Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических условиях: материалы I съезда Белорусского общества почвоведов. – Минск-Гомель, 1995. – С. 206.

6. Хазиев, Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф. Х. Хазиев. – М.: Наука, 1990. – 189 с.

7. Карагіна, Л. А. Вызначэнне актыунасці поліфенолаксідазы і пераксідазы у глебе / Л. А. Карагіна, Н. А. Міхайлоуская // Весці АН БССР. Сер. с.-г. навук. – 1986. – №2. – С. 40-41.

8. Щербакова, Т. А. К методике определения активности инвертазы и амилазы в почве / Т. А. Щербакова // Сборник докладов по ферментам почвы. – Минск, 1968. – С. 453-455.

9. Михайловская, Н. А. Влияние системы удобрения на ферментативную активность дерново-подзолистой супесчаной почвы / Н. А. Михайловская, О. Миканова, О. В. Рудько // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – №2(39). – С. 186-195.

10. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т. А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 221 с.

11. Boyd, S. A. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes / S. A. Boyd, M. M. Mortland // *Soil Biochemistry* / Editors J. M. Bollag, G. Stotzky. – New York: Marcel Dekker, 1990. – P. 1-28.

12. Туев, Н. А. Микробиологические процессы гумусообразования / Н. А. Туев. – М.: ВО Агропромиздат, 1989. – 237 с.

13. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы / М. М. Кононова. – М.: АН СССР, 1963. – 315 с.

14. Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – С. 122–133.

15. Звягинцев, Д. Г. Почва и микроорганизмы / Д. Г. Звягинцев. – М.: МГУ, 1987. – 256 с.

16. Карягина, Л. А. Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л. А. Карягина. – Минск: Наука и техника, 1983. – 182 с.

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. Pogirnitskaya, 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 mg kg^{-1} K_2O and $K_{90–120}$ application as well as at the level of 288 mg kg^{-1} K_2O 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.