

4. Анспок, П.И. Микроудобрения / П.И. Анспок. – Л: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
5. Агрохимия / Под ред. Б.А.Ягодина. – М.: Колос, 1982. – 574 с.
6. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: реком. / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2006. – 28 с.
7. Справочник агрохимика / В.В.Лапа [и др.]; под ред. В.В. Лапа. – Минск: Белорус. наука, 2007. – 390 с.
8. Методика определения агрономической и экономической эффективности удобрений и прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2010. – 24 с.

EFFICIENCY OF BORON FERTILIZER ETIDOT-67 IN CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS ON SOD-PODZOLIC SOILS

M.V. Rak, S.A. Titova, T.G. Nikolaeva

Summary

The efficiency of the use of boron fertilizer ETIDOT-67 in the cultivation of winter wheat, sugar beet, winter rape, maize, potato and apple in the production experiments was studied. It is established that foliar application of boron fertilizer ETIDOT-67 during the growing period increased yield and quality of the crops.

УДК 631.445.2:631.859.424:631.465

ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ БОРОМ НА ЕЕ ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ И УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ

Н.А. Михайловская, М.В. Рак, Е.Н. Пукалова С.В. Дюсова,

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Определение активности почвенных ферментов представляет интерес как способ биологической диагностики, позволяющий решать разные задачи – по оценке качества и плодородия почвы [1, 3, 4, 5, 21], нормирования нагрузки по удобрениям [3, 5], оценке степени эродированности почв [5, 13, 14], разных видов техногенного загрязнения почв [3] и других антропогенных факторов. Возможности ферментативной диагностики обусловлены функциями ферментов, которые катализируют разнонаправленные почвенные процессы как минерализационные, так и гумификационные. В целом экологические функции почвы зависят от сложного комплекса биохимических реакций, катализируемых ферментами. Изменение их

активности оказывает непосредственное влияние на условия питания растений, плодородие и экологию почвы [2, 3, 4].

При использовании ферментативной активности для диагностических целей сложно ограничиться одним энзиматическим показателем. Объективные данные даёт определение активности ряда ключевых биохимических процессов, ответственных за основные экологические функции почвы – минерализацию и гумификацию органических остатков [5].

Преимуществами ферментативной диагностики являются более высокая стабильность по сравнению с другими показателями биологической активности [2, 4, 5], относительная простота измерения и быстрый отклик на антропогенное воздействие. Статистически достоверные изменения ферментативной активности, вызванные антропогенными факторами, регистрируются на более ранних этапах и в большей степени подходят для ранней диагностики неблагоприятных экологических тенденций [9, 10].

В настоящее время актуальны исследования по влиянию микроэлементов на почвенные биохимические процессы и определение биологически обоснованных уровней обеспеченности почв микроэлементами. При возделывании зерновых культур по интенсивным технологиям роль микроудобрений существенно возрастает [16].

Микроэлементы играют важную роль в физиологических и биохимических процессах на клеточном уровне. Они входят в состав основных биологически активных соединений – ферментов, витаминов, гормонов, участвуют в биосинтезе и метаболизме углеводов, белков, жиров [15]. Бор – один из незаменимых микроэлементов, необходимых для нормального функционирования растительной клетки. Его роль в метаболизме растительной клетки очень важна. Бор необходим для стабилизации структуры клеточных стенок растений [17]. Дефицит бора, как правило, проявляется в нарушении механизма построения и роста клеточных стенок, что останавливает прирост и образования молодых листьев и корней [18]. Известно также, что бор регулирует текучесть плазмалеммы и является основой физиологического механизма устойчивости растений к световому и низкотемпературному стрессу [20]. Дефицит бора, незаменимого для формирования меристемы, приводит к щуплости зерна и ухудшению посевных качеств семян [19].

Цель исследований – в модельном полевом эксперименте определить влияние обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы водорастворимым бором (диапазон содержания бора от 0,3 до 1,5–1,7 мг/кг) на ее ферментативную активность и урожайность сельскохозяйственных культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование эффективности борного удобрения при различной обеспеченности почвы водорастворимым бором проведены в 2010–2011 гг. в РУП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, сменяемых с глубины около 0,5 м связной супесью. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH в KCl – 5,7–6,4, содержание гумуса – 2,4–2,9%, содержание P_2O_5 (0,2 M HCl) – 205–280, K_2O (0,2 M HCl) – 255–312 мг/кг почвы. Исходное содержание подвижного бора в пахотном слое 0,28–0,35 мг/кг почвы. Изучение

действия некорневых подкормок картофеля борным удобрением проводилось на фоне органических и минеральных удобрений.

Схема полевого опыта включала 3 варианта некорневых подкормок растений различными дозами борного удобрения и была развернута на пяти уровнях насыщения почвы водорастворимым бором (0,3 – низкий; 0,6–0,7 – средний; 0,9–1,0 – высокий; 1,2–1,3 избыточный и 1,5–1,7 избыточный мг/кг). Уровни насыщения пахотного слоя почвы водорастворимым бором были созданы внесением борной кислоты в виде водного раствора.

Некорневые подкормки картофеля проводили в фазу начало бутонизации. В качестве борного удобрения использовалось микроудобрение с биостимулятором МикроСтим-Бор, содержащее 150 г/л бора в органо-минеральной форме.

Методы исследований. Активность инвертазы определяли по методу Т.А. Щербаковой [4, 22], основанному на колориметрическом определении количества редуцирующих сахаров в результате реакции с 3,5-динитросалициловой кислотой. В качестве ферментного субстрата используется сахароза, активность инвертазы рассчитывается по количеству глюкозы, образовавшейся в результате ферментативной реакции.

Уреазную активность почвы определяли по методу Т.А. Щербаковой [4]. В качестве ферментного субстрата используется мочевины, активность фермента рассчитывается по количеству образующегося аммонийного азота. Для определения полифенолоксидазной и пероксидазной активности почвы применяли колориметрический метод Л.А. Карягиной, Н.А. Михайловской [22], включающий использование гидрохинона в качестве субстрата ферментов. Активность рассчитывается по количеству продукта ферментативной реакции 1,4-р- бензохинона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В почвах обнаружены представители всех шести известных классов ферментов, выполняющих различные функции. Большинство исследователей в области почвенной энзимологии считают, что наиболее существенную роль играют два класса – гидролитические и окислительные ферменты [1, 2, 9].

Гидролитические ферменты обеспечивают ускоренное протекание многостадийных процессов минерализации разнообразных по химическому составу органических соединений и высвобождение доступных элементов питания [2, 8, 9]. По значимости можно выделить ключевые гидролитические ферменты, ответственные за разложение наиболее распространенных в почве форм нахождения основных биогенных элементов – углерода и азота.

Установлено, что преобладающие формы органического углерода в почвах – поли- и олигосахариды, а наиболее распространенные формы органического азота – амидные [23]. Естественно, что процессы их минерализации являются наиболее масштабными деструкционными процессами [1, 23], по интенсивности которых можно судить о минерализующей способности почвы.

Влияние бора на минерализацию углеводов в дерново-подзолистой супесчаной почве. Ферментативный гидролиз поли- и олигосахаридов представляет собой многостадийный процесс, катализируемый на разных этапах специфическими группами ферментов [2, 4]. Известно, что для объективной оценки интенсивности многостадийных процессов целесообразно определять активность ферментов завершаю-

щих стадий гидролиза, когда в почву поступают конечные продукты – моносахариды и аммонийный азот [24]. Выбор инвертазной и уреазной активности в качестве диагностических показателей минерализации был обусловлен их критической ролью в высвобождении низкомолекулярных сахаров и минерального азота.

По средним данным на всех изученных уровнях содержания водорастворимого бора в дерново-подзолистой супесчаной почве инвертазная активность на вариантах NPK варьировала в пределах 1772–2176 мг глюкозы/кг почвы. На вариантах с некорневым внесением бора на фоне полного минерального удобрения, NPK + B₅₀, отмечена более высокая активность фермента, в диапазоне 1983–2463 мг глюкозы/кг почвы (табл. 1). В целом дополнительное некорневое внесение бора стимулировало инвертазную активность почвы.

Таблица 1

Инвертазная активность дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от насыщения бором и его некорневого внесения, (2010–2011 гг.)

Вариант	Активность, мг глюкозы/кг		
	2010 г.	2011 г.	2010–2011 гг.
I уровень 0,3 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	1865	1579	1722
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	2332	1635	1983
II уровень 0,6–0,7 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	2266	1722	1994
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	2801	1993	2397
III уровень 0,9–1,0 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	2511	1842	2176
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	3046	1880	2463
IV уровень 1,2–1,3 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	2301	1598	1949
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	2331	1730	2030
V уровень 1,5–1,7 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	2200	1692	1946
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	2236	1786	2011
НСП ₀₅ А (удобрения)		69,6	
В (уровни В)		109,5	

B_{0,05} кг/га – некорневое внесение бора.

Установлена зависимость инвертазной активности от содержания микроэлемента в почве. Увеличение содержания бора в почве от 0,3 до 0,9–1,0 мг/кг повышало интенсивность трансформации углеводов, наиболее высокий уровень активности инвертазы отмечен при содержании бора в почве 0,9–1,0 мг/кг. Повышение его содержания до 1,2–1,3 мг/кг почвы уже вызывало достоверное снижение активности фермента на фонах NPK и NPK + B₅₀. На вариантах NPK и NPK + B₅₀ закономерности варьирования инвертазной активности в зависимости от содержания бора в почве были аналогичны (табл. 1).

Таким образом, в диапазоне содержания водорастворимого бора в дерново-подзолистой супесчаной почве в пределах от 0,3 до 0,9–1,0 мг/кг отмечалось повышение способности почвы к минерализации поли- и олигосахаридов и обес-

печению микробных сообществ источниками энергии, а дальнейшее насыщение почвы бором нецелесообразно, так как приводило к снижению (или стабилизации) этой способности. Снижение активности фермента на IV и V уровнях указывает, что более высокое содержание бора является избыточным и замедляет минерализацию углеводов в почве (табл. 1).

Влияние бора на трансформацию азотсодержащих органических соединений почвы. Важная роль в обеспечении растений минеральным азотом принадлежит гидролитическим ферментам цикла азота, так как основной запас азота почвы составляют сложные органические соединения. В результате универсального микробиологического процесса аммонификации азот белков и их производных переходит в доступные для растений формы. Последовательное действие ряда гидролитических ферментов – протеаз, пептидаз, дезаминаз и амидогидролаз определяет динамику азота в почве [2–5]. На завершающих стадиях аммонификации, обеспечивающих собственно образование аммония, действуют амидогидролазы, к которым относится изученный фермент уреазы.

Для уреазной и инвертазной активности установлены сходные зависимости от уровня обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы бором. Насыщение почвы микроэлементом в диапазоне от 0,3 до 0,9–1,0 мг/кг стимулировало уреазную активность дерново-подзолистой супесчаной почвы от 170 до 196 мг N-NH_4^+ /кг на фонах NPK и от 181 до 203 мг N-NH_4^+ /кг на фонах NPK + B_{50} , указывая на активизацию процессов аммонификации и рост обеспеченности почвы минеральными формами азота. При отмеченных уровнях содержания микроэлемента в почве замедление аммонификации не наблюдали. Депрессия уреазной активности установлена на IV и V уровнях обеспеченности, при содержании бора в почве 1,2–1,3 и 1,5–1,7 мг/кг. Данные по активности уреазы показали, что насыщение дерново-подзолистой супесчаной почвы бором свыше 0,9–1,0 мг/кг и тем более до 1,5–1,7 мг/кг является избыточным и тормозит процессы аммонификации, нарушая баланс микробиологических процессов (табл. 2).

Таким образом, экспериментальные данные свидетельствуют, что целесообразным или биологически обоснованным является насыщение дерново-подзолистой супесчаной почвы до уровня содержания водорастворимого бора – 0,9–1,0 мг/кг. Это усиливает интенсивность протекания основных минерализационных процессов, регулирующих питание растений, микроорганизмов и почвенное плодородие – аммонификацию и минерализацию углеводов. Насыщение дерново-подзолистой супесчаной почвы бором до 1,2–1,3 мг/кг и выше можно рассматривать как избыточное вследствие наблюдаемого снижения или депрессии активности гидролитических ферментов, уреазы и инвертазы (табл. 1, 2).

Влияние бора на биохимические показатели интенсивности гумификации в дерново-подзолистой супесчаной почве. Значимым классом почвенных ферментов являются оксидазы. Окислительные ферменты катализируют процессы окисления ароматических соединений (лигнинов), также широко распространенной формы почвенного углерода, наряду с поли- и олигосахаридами [23]. Продукты ферментативного окисления, хиноны, в силу высокой реакционной способности вступают в реакции конденсации с аминокислотами и пептидами с образованием гуминовых кислот [11, 12]. Окислительная полимеризация, или гумификация лигнинов, под действием оксидаз рассматривается как наиболее универсальный и масштабный процесс, приводящий к синтезу органических веществ в почве [25, 26].

Таблица 2

**Уреазная активность дерново-подзолистой супесчаной почвы
в зависимости от насыщения бором и его некорневого внесения
(2010–2011 гг.)**

Вариант	Активность, мг N-NH ₄ /кг почвы		
	2010 г.	2011 г.	2010–2011 гг.
I уровень 0,3 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	192	148	170
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	207	155	181
II уровень 0,6–0,7 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	209	153	181
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	218	157	187
III уровень 0,9–1,0 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	237	156	196
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	244	162	203
IV уровень 1,2–1,3 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	209	151	180
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	221	152	186
V уровень 1,5–1,7 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	182	155	168
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ + B _{0,05}	186	155	170
НСП ₀₅ А (удобрения)	5,0		
В (уровни В)	7,9		

По современным представлениям окислительная полимеризация ароматических соединений протекает в почве двумя путями – при участии кислорода воздуха и за счет кислорода перекиси водорода [27]. Полифенолоксидазы окисляют ароматические соединения за счет кислорода воздуха, пероксидазы – за счет кислорода перекиси водорода.

Определение активности окислительных ферментов позволило установить влияние бора на интенсивность гумификационных процессов в дерново-подзолистой супесчаной почве. По средним данным установлено статистически достоверное повышение полифенолоксидазной активности до III уровня насыщения почвы водорастворимым бором (0,9–1,0 мг/кг) от 16,2 до 18,5 мг бензохинона/кг на вариантах NPK и от 17,9 до 19,8 мг бензохинона/кг на вариантах NPK+B₅₀. Тенденция снижения активности полифенолоксидазы регистрируется на IV и V уровнях насыщения дерново-подзолистой супесчаной почвы бором (табл. 3).

Аналогичные закономерности установлены при оценке пероксидазной активности почвы, ведущей окислительную полимеризацию в присутствии кислорода перекиси водорода (анаэробная гумификация). В вариантах с внесением полного минерального удобрения NPK и в сочетании с некорневым внесением бора NPK + B₅₀ отмечено повышение активности пероксидазы до III уровня, дальнейшее насыщение дерново-подзолистой супесчаной почвы бором приводило к снижению активности фермента (табл. 4).

Таблица 3

**Полифенолоксидазная активность дерново-подзолистой супесчаной почвы
в зависимости от насыщения бором и его некорневого внесения
(весна 2010–2011 гг.)**

Вариант	Активность, мг бензохинона / кг		
	2010 г.	2011 г.	2010–2011 гг.
I уровень 0,3 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	17,4	15,1	16,2
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	22,2	13,7	17,9
II уровень 0,6–0,7 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	20,4	14,1	17,2
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	25,0	11,4	18,2
III уровень 0,9–1,0 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	21,9	15,1	18,5
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	25,9	13,7	19,8
IV уровень 1,2–1,3 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	23,3	12,3	17,8
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	27,0	10,0	18,5
V уровень 1,5–1,7 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	20,4	14,1	17,2
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	23,7	13,7	18,7
НСП ₀₅ А (удобрения)		0,62	
В (уровни В)		0,98	

Таблица 4

**Пероксидазная активность дерново-подзолистой супесчаной почвы
в зависимости от насыщения бором и его некорневого внесения, (2010–2011 гг.)**

Вариант	Активность, мг бензохинона / кг / 1 час		
	2010 г.	2011 г.	2010–2011 гг.
I уровень 0,3 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	13,5	11,3	12,4
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	13,8	10,9	12,3
II уровень 0,6–0,7 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	14,8	12,9	13,8
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	15,4	10,9	13,1
III уровень 0,9–1,0 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	15,3	11,9	13,6
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	16,9	10,2	13,5
IV уровень 1,2–1,3 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	16,6	10,9	13,7
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	18,7	9,9	14,3
V уровень 1,5–1,7 мг/кг			
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀	14,0	11,4	12,7
Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ +B _{0,05}	15,8	9,8	12,8
НСП ₀₅ А (удобрения)		0,54	
В (уровни В)		0,86	

Таким образом, результаты определения активности оксидаз показывают, что насыщение дерново-подзолистой супесчаной почвы до уровней содержания водорастворимого бора от 0,3 до 0,9–1,0 мг/кг в вариантах NPK и NPK + B₅₀ способствовало ускорению процессов гумификации лигнинов органических остатков. Снижение или депрессия полифенолоксидазной и пероксидазной активности отмечается при насыщении дерново-подзолистой супесчаной почвы бором свыше указанного оптимума 0,9–1,0 мг/кг (табл. 1, 2).

Результаты 2-летних исследований свидетельствуют о высокой чувствительности картофеля к различному уровню содержания бора в почве и некорневой подкормке борным удобрением (табл. 5).

Таблица 5

Влияние борных удобрений на урожайность и качество картофеля при различном уровне обеспеченности почвы бором (2010–2011 гг.)

Уровни содержания бора в почве, мг/кг	Вариант		Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Содержание крахмала, %	Сбор крахмала, ц/га
Низкое (0,3)	1. Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ – фон		288	–	15,6	44,9
	2. Фон + B _{0,05}	Микро Стим-Бор	342	54	16,6	56,4
	3. Фон + B _{0,10}		345	57	16,1	55,5
	4. Фон + B _{0,15}		352	64	15,8	55,6
Среднее (0,6–0,7)	1. Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ – фон		354	–	15,5	54,9
	2. Фон + B _{0,05}	Микро Стим-Бор	407	53	15,2	61,9
	3. Фон + B _{0,10}		395	41	15,8	62,4
	4. Фон + B _{0,15}		385	31	15,3	58,9
Высокое (0,9–1,0)	1. Навоз 60 т/га + N ₁₀₀ P ₇₅ K ₁₂₀ – фон		367	–	15,2	55,8
	1. Фон + B _{0,05}	Микро Стим-Бор	413	46	15,2	62,8
	2. Фон + B _{0,10}		402	35	15,8	63,5
	3. Фон + B _{0,15}		360	–	15,9	57,2
НСР ₀₅ вариантов/уровней			28,2/35,5			

При возделывании картофеля на дерново-подзолистой супесчаной почве оптимальным содержанием бора в почве является 0,6–0,7 мг/кг (средний уровень), которое обеспечивает достоверное повышение урожайности клубней с 288 до 354 ц/га и увеличение сбора крахмала с 44,9 до 54,9 ц/га. Последующее повышение концентрации бора в почве до 1,2–1,5 мг/кг не оказывает положительного влияния на урожайность картофеля.

Уровень прибавок картофеля от некорневых подкормок борным удобрением в фазу бутонизации зависел от содержания бора в почве. Самая высокая эффективность от некорневых подкормок борными удобрениями обеспечивается при низком содержании бора в почве (прибавки урожайности картофеля составили 54–64 ц/га). При средней обеспеченности супесчаной почвы бором прибавки

урожайности картофеля от некорневых подкормок борными удобрениями были ниже и составили 31–53 ц/га. При избыточном уровне содержания бора в почве применение различных доз борного удобрения в некорневую подкормку неэффективно.

Применение некорневых подкормок борными удобрениями оказывало положительное влияние на повышение содержания крахмала в клубнях картофеля только при низкой обеспеченности почвы бором. Сбор крахмала зависел от урожайности клубней картофеля и составлял по вариантам опыта от 44,9 до 63,5 ц/га.

ВЫВОДЫ

1. В полевом эксперименте, моделирующем насыщение дерново-подзолистой супесчаной почвы до следующих уровней содержания водорастворимого бора: 0,3; 0,6–0,7; 0,9–1,0; 1,2–1,3 и 1,5–1,7 мг/кг, проведена ферментативная диагностика по гидролитическим (инвертаза и уреазы) и окислительным (полифенолоксидаза и пероксидаза) ферментам.

2. Установлено влияние бора на основные минерализационные (аммонификацию и минерализацию углеводов) и гумификационные (окислительная полимеризация) процессы, регулирующие питание растений, микроорганизмов и почвенное плодородие. Определен биологически обоснованный уровень содержания бора в дерново-подзолистой супесчаной почве – 0,9–1,0 мг/кг, стимулирующий минерализацию и гумификацию на вариантах с внесением органических и минеральных удобрений (NPK) и их сочетании с некорневым внесением бора в дозе 0,05 кг/га.

3. Данные ферментативной диагностики показали, что насыщение дерново-подзолистой супесчаной почвы бором до 1,2–1,3 мг/кг и 1,5–1,7 мг/кг можно рассматривать как избыточное вследствие наблюдаемого снижения активности гидролитических и окислительных ферментов.

4. Повышение обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы бором с 0,3 до 1,0 мг/кг обеспечивало увеличение урожайности клубней картофеля. Эффективность некорневых подкормок картофеля борным удобрением МикроСтим-Бор возрастает при низкой обеспеченности почвы бором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.Л. Бабьева, Г.М. Зенова. – МГУ, 2005. – 445 с.
2. T.W. Speir, D.J. Ross. Hydrolytic enzyme activities to assess soil degradation and recovery. In: R.P. Dick, R.G. Burns, eds. Enzymes in the environment: activity, ecology, and applications. – 2002. – P. 407–431.
3. Микроорганизмы и охрана почв / Под ред. Д.Г. Звягинцева. – М: изд-во МГУ, 1989. – 206 с.
4. Щербакова, Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 221 с.
5. Биохимические и микробиологические критерии оценки плодородия почв и нормирования антропогенной нагрузки: метод. рекомендации / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2015. – 40 с.

6. *Boyd, S.A.* Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes / S.A. Boyd, M.M. Mortland // *Soil Biochemistry*. – New York: Marcel Dekker, 1990. – P. 1–28.
7. *Skujins, J.* History of abiotic soil enzyme research. / J. Skujins // *Soil Enzymes* / Editor R.G. Burns. – Academic Press, New York, 1978. – P. 1–49.
8. *Caldwel, B.A.* Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review / B.A. Caldwell // *Pedobiologia*. – 2005. – Vol. 49, № 6. – P. 637–644.
9. *Dick, R.P.* Enzymes in the Environment: Activity, Ecology & Applications / R.P. Dick // Granada, Spain. – 1999. – P. 164.
10. *Vepsäläinen, M.* Application of soil enzyme activity test kit in a field experiment / M. Vepsäläinen, S. Kukkonen, M. Veestberg et al. // *Soil Biol. Biochem.* – 2001. – Vol. 33. – P. 1665–1672.
11. T.K. Kirk and R.L. Ferrell. Enzymatic «combustion»: the microbial degradation of lignin / T.K. Kirk and R.L. Ferrell. // *Annu. Rev. Microbiol.* – 1987. – V. 41. – P. 465–505.
12. *Martin, J.P.* Comparison of the use of phenolase and peroxidase for the synthesis of model humic acid type polymers / J.P. Martin, K.A. Haider // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* – 1980. – V. 44. – P. 983–988.
- Способ оценки степени эродированности дерново-подзолистых почв на основе ферментативных показателей: пат. 17096 Респ. Беларусь G 01 33/24 / Н.А. Михайловская, В.В. Лапа, А.Ф. Черныш, О.В. Василевская; заяв. ИПА – № а20101465; заявл. 11.10.2010; опубл. 28.01.2013 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2013. – № 2(91). – С. 136.
13. Ферментативная активность эродированных дерново-подзолистых почв на мощных моренных суглинках / Н.А. Михайловская // *Почвоведение и агрохимия*. – 2013. – № 2(51). – С. 123–133.
14. *Анспок, П.И.* Микроудобрения / П.И. Анспок. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 272 с.
15. Система применения микроудобрений под сельскохозяйственные культуры: реком. / Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 28 с.
16. *Matoh, T.* (1997). Boron in plant cell walls / Matoh T // *Plant and Soil* 193: 59
17. *Dell, B.* Physiological response of plants to low boro / Dell B. and Huang L. (1997) // *Plant and Soil* 193: 103–120.
18. *Dell, B., Huang, L. and Bell, R.W.* (2002). Boron in plant reproduction. p. 103–118. In H.E. Goldbach, B. Rerkasem, M. Wimmer, P.H. Brown, M. Th ellier and R.W. Bell (eds.), *Boron in Plant and Animal Nutrition*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
19. *Huang, L., Ye, Z., Bell, R.W. and Dell, B.* (2005). Boron nutrition and chilling tolerance of warm climate crop species. *Annals of Botany* 96: 755–767.
20. *Карягина, Л.А.* Микробиологические основы повышения плодородия почв / Л.А. Карягина. – Минск: Наука и техника. – 1983. – 182 с.
21. *Хазиев, Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М., Наука, 1990. – 189 с.
22. *Knicker, H.* Incorporation studies of NH_4^+ during incubation of organic residues by ^{15}N -CPMAS-NMR-spectroscopy / H. Knicker, H.D. Lüdemann and K. Haider // *Eur. J. Soil Sci.* 48 (1997). – P. 431–441.

23. Звягинцев, Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев. – Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–52.
24. Sariaslani, F.S. Microbial enzymes for oxidation of organic molecules / F.S. Sariaslani // Crit. Rev. Biotechnol. – 1989. – Vol. 9. – P. 171–257.
25. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – С. 122–133.
26. Гулько, А.Е. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность / А.Е. Гулько, Ф.Х. Хазиев, – Почвоведение. – 1992. – № 11. – С. 55–67.

EFFECT OF LUVISOL LOAMY SAND SOIL SUPPLY BY BORON ON ENZYMES ACTIVITY AND POTATO YIELDS

N.F. Mikhailouskaya, M.V. Rak, E.N. Pukalova, S.V. Dyusova

The estimations of hydrolytic (invertase and urease) and oxidation (polyphenoloxidase and peroxidase) enzyme activities were conducted in the field experiment modeling different supply of Luvisol loamy sand soil by water soluble boron (0,3; 0,6–0,7; 0,9–1,0; 1,2–1,3 и 1,5–1,7 mg kg⁻¹). Biologically filled level of Luvisol loamy sand soil supply by water soluble boron was determined – 0,9–1,0 mg kg⁻¹, that stimulate mineralization and humification processes in soil on treatments with organic and mineral fertilization and their combination with foliar sprays by boron (0.05 kg ha⁻¹). The rise of water soluble boron concentration in Luvisol loamy sand soil from 0.3 up to 1.0 mg kg⁻¹ resulted in the increase of potato yields. The efficiency of foliar spray of potato by boron fertilizer MicroStim-Boron was higher under low soil supply by boron.

Поступила 28.04.16