

АКТИВНОСТЬ ОКСИДАЗ В ВЫСОКО ОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ ПРИ РАЗНЫХ УРОВНЯХ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В.В. Лапа, Н.А. Михайловская, С.А. Касьянчик, Т.В. Погирницкая

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

ВВЕДЕНИЕ

Показатели биологической активности тесно коррелируют с содержанием органического вещества [1, 3, 4, 5] и считаются надежными критериями оценки плодородия почв и нормирования антропогенной нагрузки [1, 2, 3, 4, 7]. Высоко окультуренные дерново-подзолистые почвы республики недостаточно исследованы в биологическом отношении [8]. В настоящее время для оценки биологического состояния почв используется широкий спектр показателей: численность и биомасса бактерий, актиномицетов, грибов, физиологических и систематических групп микроорганизмов; ферментативная активность почв; аммонифицирующая, нитрифицирующая и денитрифицирующая активность почв; аппликационные методы; газовый анализ и т.д. [1].

При решении задач по установлению скорости и направленности трансформации органического вещества под влиянием антропогенных факторов целесообразно использовать показатели ферментативной активности. Превращения органического вещества осуществляются при прямом участии микроорганизмов, за счет их метаболитов или за счет действия внеклеточных почвенных ферментов, иммобилизованных на минеральные или органические компоненты почвы. Внеклеточные ферменты составляют значительную часть ферментного запаса почвы и характеризуются более высокой устойчивостью к денатурирующим факторам, длительно сохраняют свои каталитические свойства [5, 6]. Стабилизация абиотических ферментов обусловлена их прочными связями с минеральными и органическими компонентами почвы (органо-минерально-ферментные комплексы) [9].

Окислительные ферменты привлекают внимание исследователей благодаря их роли в процессах гумификации. По современным представлениям катализаторами гумификации (окисления и полимеризации) разлагающихся лигнинов растительных остатков считаются микробные оксидазы – полифенолоксидазы и пероксидазы. Их активность служит биохимическим показателем интенсивности процессов гумификации [4, 5, 8, 9, 10, 11] – одной из важнейших экологических функций почвы, имеющей значение для поддержания ее плодородия. Интенсивность гумификационных процессов в значительной степени зависит от уровня антропогенной нагрузки [2, 5, 6, 10].

В настоящее время приоритетной экологической задачей является оценка влияния систем удобрения, применяемых на высоко окультуренных дерново-под-

золистых почвах на скорость и направленность трансформации органического вещества.

Цель исследований – провести количественную оценку активности гумификационных процессов, протекающих под действием полифенолоксидаз и пероксидаз, и установить биохимические показатели гумификации в высоко окультуренных дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах при разных уровнях минерального питания сельскохозяйственных культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в полевом опыте на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское», Минский р-н). Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: pH_{KCl} 6,2–6,8, содержание подвижных P_2O_5 – 650–750, K_2O – 400–500 мг/кг почвы, гумуса – 2,03–2,57 %. Опыт развернут в пространстве в трех полях. Схема полевого опыта содержит 16 вариантов в 4-кратной повторности (схема представлена в таблицах). Общий размер делянки 36,0 м². Биохимические исследования проведены в звене севооборота кукуруза – яровая пшеница – яровой ячмень (поля 3 и 4).

В 2014–2015 гг. в поле 3 возделывали яровую пшеницу Василиса и яровой ячмень Стратус, в поле 4 – кукурузу Дельфин и яровую пшеницу Василиса. Дозы удобрений под зерновые культуры: $P_1K_1 - P_{20}K_{45}$; $P_2K_2 - P_{40}K_{90}$; $N_1 - 60$; $N_2 - 60+30$; $N_3 - 90+30$; микроэлементы (МЭ) – $Cu_{50} + Mn_{50}$, под кукурузу: $P_1K_1 - P_{15}K_{40}$; $P_2K_2 - P_{30}K_{80}$; $N_1 - 90$; $N_2 - 90+30$; $N_3 - 120+30$; МЭ – Zn_{100} . Некорневую подкормку микроэлементами проводили в фазе одного узла на зерновых культурах и в фазе 6–7 листьев на кукурузе. Органические удобрения (60 т/га солоमистого навоза) вносили под осеннюю вспашку; фосфорные и калийные удобрения (аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили весной под предпосевную культивацию, азотные – в форме карбамида под предпосевную культивацию и в подкормку. Агротехника возделывания зерновых культур и кукурузы – общепринятая для Республики Беларусь.

Подготовка почвы для биохимических анализов включала: высушивание, просеивание, отбор корешков. В образцах почвы определена активность окислительных ферментов – полифенолоксидазы и пероксидазы. Для определения их активности использованы колориметрические методы, в которых ферментными субстратами служит гидрохинон, активность ферментов определяется по количеству окрашенного продукта ферментативной реакции бензохинона, активность ферментов рассчитывается в мг бензохинона /кг почвы [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее универсальным и масштабным процессом, приводящим к синтезу органических веществ, является гумификация ароматических соединений, входящих в состав лигнинов и представляющих, наряду с полисахаридами, основные формы органического углерода в почве [1, 3, 4]. В соответствии с представлениями И.В.Тюрина, W. Flaig, Л.Н. Александровой, Т.К. Kirk and R.L. Ferrell., M. Schnitzer, Н.А. Туева, А.Е. Гулько, Ф.Х. Хазиева и других исследователей разложение и гумификация лигнина являются окислительными процессами с обя-

зательным участием оксидаз, катализирующих окисление ароматических полифенолов с образованием хиноидных структур (хинонов и семихинонов), без которых невозможны реакции конденсации с органическими аминосоединениями и образование молекул гуминовых кислот [4, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Большинство исследователей считает, что окислительная конденсация (полимеризация) идет вне живой клетки за счет внеклеточных оксидаз.

Окислительная гумификация лигнина в почве может идти разными путями: с участием кислорода воздуха и за счет кислорода перекиси водорода, которая образуется в почве за счет деятельности микроорганизмов, а также в результате некоторых химических и биохимических реакций.

Процессы окислительной полимеризации ароматических соединений за счет кислорода воздуха. Полифенолоксидазы (ПФО) – преимущественно микробного происхождения, имеются у многих почвенных грибов. Эти ферменты могут находиться в почве как в свободном, так и в связанном состоянии. Основная функция полифенолоксидаз – участие в биосинтезе гумусовых кислот за счет катализа реакций окислительной полимеризации ароматических соединений с участием кислорода воздуха [13–18].

В почвенных образцах определена активность ПФО при возделывании яровой пшеницы и кукурузы (поля 3 и 4) в 2014 г. Установлены сравнимые показатели активности полифенолоксидаз в почве под яровой пшеницей и кукурузой. Внесение солоमистого навоза (60 т/га), его сочетания с разными дозами фосфорных и калийных удобрений, а также возрастающие дозы азотных удобрений и их сочетание с микроэлементами приводили к повышению активности ПФО в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (табл. 1).

Таблица 1

Полифенолоксидазная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (ОАО «Гастелловское», поля 3 и 4, 2014 г.)

Вариант	Полифенолоксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Контроль б/у	23,5	26,0	100	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	25,7	26,8	109	103
Фон 1 + N ₁	27,1	28,6	115	110
Фон 1 + N ₂	26,5	27,9	113	107
Фон 1 + N ₂ + МЭ	29,4	29,6	125	114
Фон 1 + N ₃ + МЭ	30,1	32,2	128	124
Навоз, 60 т/га +P ₁ K ₁ – фон 2	24,2	27,1	103	104
Фон 2 + N ₁	27,1	29,3	115	113
Фон 2 + N ₂	26,4	28,2	112	108
Фон 2 + N ₂ + МЭ	27,7	30,2	118	116
Фон 2 + N ₃ + МЭ	30,3	32,2	129	124
Навоз, 60 т/га +P ₂ K ₂ – фон 3	25,7	28,2	109	108
Фон 3 + N ₁	29,0	30,1	123	116
Фон 3 + N ₂	28,6	33,0	122	127

Вариант	Полифенолоксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Фон 3 + N ₂ + МЭ	29,4	33,5	125	129
Фон 3 + N ₃ + МЭ	30,3	34,3	129	132
НСР ₀₅	1,76	2,02		

Яровая пшеница (поле 3): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; кукуруза (поле 4): P₁K₁ – P₁₅K₄₀; P₂K₂ – P₃₀K₈₀; N₁ – 90; N₂ – 90+30; N₃ – 120+30; МЭ – Zn₁₀₀.

При возделывании яровой пшеницы и ярового ячменя в 2015 г. (поля 3 и 4) были также отмечены близкие показатели активности полифенолоксидаз. Как и в 2014 г. применение возрастающих доз азота и их сочетаний с микроэлементами на фонах 60 т/га навоза и его сочетаний с P₁K₁ и P₂K₂ оказывали сравнимое действие на полифенолоксидазную активность высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Как и в 2014 г. наибольшую активность ПФО наблюдали на фоне 3 – навоз, 60 т/га + P₂K₂ (табл. 2).

Таблица 2

Полифенолоксидазная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (ОАО «Гастелловское», поля 3 и 4, 2015 г.)

Вариант	Полифенолоксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Контроль б/у	25,1	30,9	100	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	28,9	31,5	115	102
Фон 1 + N ₁	32,0	33,4	127	108
Фон 1 + N ₂	31,7	32,4	126	105
Фон 1 + N ₂ + МЭ	34,6	34,4	138	111
Фон 1 + N ₃ + МЭ	35,0	37,0	139	120
Навоз, 60 т/га + P ₁ K ₁ – фон 2	29,0	32,3	116	104
Фон 2 + N ₁	32,3	34,5	129	112
Фон 2 + N ₂	31,6	33,4	126	108
Фон 2 + N ₂ + МЭ	32,8	35,3	131	114
Фон 2 + N ₃ + МЭ	35,6	37,0	142	120
Навоз, 60 т/га + P ₂ K ₂ – фон 3	30,5	33,5	122	108
Фон 3 + N ₁	34,2	35,2	136	114
Фон 3 + N ₂	33,7	38,2	134	124
Фон 3 + N ₂ + МЭ	34,6	38,5	138	125
Фон 3 + N ₃ + МЭ	35,8	39,2	143	127
НСР ₀₅	1,82	2,20		

Яровой ячмень (поле 3): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; яровая пшеница (поле 4): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀.

По данным ферментативной диагностики получены усредненные биохимические показатели активности гумификации – окислительной полимеризации под действием кислорода воздуха – в цикле углерода по двум полям полевого опыта (табл. 3).

Таблица 3

Биохимические показатели активности гумификации в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при разных системах удобрения (окислительная полимеризация за счет кислорода воздуха, 2014–2015 гг.)

Вариант	Активность ПФО, мг 1,4 – бензохинона/кг			Активность, %
	2014 г.	2015 г.	среднее	
Контроль б/у	24,8	21,8	23,3	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	26,2	24,0	25,1	108
Фон 1 + N ₁	27,8	25,6	26,7	114
Фон 1 + N ₂	27,2	25,2	26,2	112
Фон 1 + N ₂ + МЭ	29,5	26,2	27,8	119
Фон 1 + N ₃ + МЭ	31,1	26,5	28,8	124
Навоз, 60 т/га + P ₁ K ₁ – фон 2	25,6	25,4	25,5	109
Фон 2 + N ₁	28,2	27,1	27,6	119
Фон 2 + N ₂	27,3	26,4	26,8	115
Фон 2 + N ₂ + МЭ	28,9	27,3	28,1	121
Фон 2 + N ₃ + МЭ	31,2	27,8	29,5	127
Навоз, 60 т/га + P ₂ K ₂ – фон 3	26,9	26,6	26,7	115
Фон 3 + N ₁	29,5	27,7	28,6	123
Фон 3 + N ₂	30,8	28,6	29,7	127
Фон 3 + N ₂ + МЭ	31,4	29,3	30,3	130
Фон 3 + N ₃ + МЭ	32,3	30,2	31,2	134
НСР ₀₅	1,89	1,34		

Яровой ячмень и яровая пшеница: P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; кукуруза – P₁K₁ – P₁₅K₄₀; P₂K₂ – P₃₀K₈₀; N₁ – 90; N₂ – 90+30; N₃ – 120+30; МЭ – Zn₁₀₀.

Результаты анализов почвенных образцов за 2014–2015 гг. показали, что при возделывании яровой пшеницы, кукурузы и ярового ячменя получены сходные закономерности изменения активности полифенолоксидаз по вариантам опыта с разными системами удобрения. При равных дозах солоमистого навоза (60 т/га) увеличение доз фосфорных и калийных удобрений, а также возрастающие дозы азота и их сочетание с микроэлементами последовательно активизировали процессы гумификации, регулируемые микробными полифенолоксидазами. Как правило, на всех трех фонах полевого опыта наиболее активное протекание окислительной полимеризации с участием кислорода воздуха отмечали при сочетании азотных удобрений с микроэлементами (табл. 3).

По результатам 3-летнего эксперимента получены усредненные биохимические показатели гумификации по процессу окислительной полимеризации ароматических соединений – за счет кислорода воздуха:

- в почве без удобрений активность полифенолоксидазы составила – 23,3 мг бензохинона/кг почвы (100%);
- внесение 60 т/га солоमистого навоза усиливало гумификацию на 8%, сочетание навоза с P_1K_1 – на 9 %; с P_2K_2 – на 15 % до 25,1, 25,5 и 26,7 мг бензохинона/кг почвы соответственно;
- внесение возрастающих доз азота N_1 и N_2 на 12–14 % усиливало гумификацию на фонах 60 т/га навоза; на 15–19 % на фонах 60 т/га навоза+ P_1K_1 ; на 23–27 % на фонах 60 т/га навоза + P_2K_2 , что составило 26,2–26,7, 26,8–27,6 и 28,6–29,7 мг бензохинона/кг почвы соответственно;
- наибольшее усиление активности гумификации на изученных фонах удобрений отмечено при сочетании доз азота N_2 и N_3 с микроэлементами – на 19–24 % на фонах 60 т/га навоза; на 21–27 % на фонах 60 т/га навоза+ P_1K_1 и на 30–34 % на фонах 60 т/га навоза + P_2K_2 , что составило 27,8–28,8, 28,1–29,5 и 30,3–31,2 мг бензохинона/кг почвы соответственно.

Биохимические показатели активности гумификации позволяют проводить сравнительную оценку влияния удобрений (и других антропогенных факторов) на активность гумификации в цикле углерода, проводить экологическую оценку систем удобрения и на ранних стадиях выявлять негативные экологические процессы.

Процессы окислительной полимеризации ароматических соединений за счет кислорода перекиси водорода. Пероксидазы (ПО) поступают в почву в виде прижизненных выделений корней растений и микроорганизмов. Эти ферменты присутствуют в почве в свободном состоянии, а также могут быть связаны в органо-минерально-ферментные комплексы. Основная функция пероксидаз – регулирование биосинтеза гумусовых кислот за счет катализа реакций окислительной полимеризации ароматических соединений с участием кислорода H_2O_2 [13–18].

По данным экспериментов закономерности изменения активности почвенных пероксидаз были в целом аналогичны закономерностям изменения ПФО. От первого к третьему фону опыта пероксидазная активность почвы возрастала, указывая на повышение активности гумификации при внесении навоза и его сочетании с NPK-удобрениями (табл. 4).

Таблица 4

Пероксидазная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (ОАО «Гастелловское», поля 3 и 4, 2014 г.)

Вариант	Пероксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Контроль б/у	18,1	22,4	100	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	18,6	23,4	103	104
Фон 1 + N_1	19,1	24,8	106	111
Фон 1 + N_2	20,5	25,3	113	113

Вариант	Пероксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Фон 1 + N ₂ + МЭ	21,0	25,7	116	115
Фон 1 + N ₃ + МЭ	23,8	26,2	131	117
Навоз, 60 т/га + P ₁ K ₁ – фон 2	22,9	25,7	127	115
Фон 2 + N ₁	23,8	26,2	131	117
Фон 2 + N ₂	25,3	27,2	140	121
Фон 2 + N ₂ + МЭ	25,7	28,1	142	125
Фон 2 + N ₃ + МЭ	26,2	28,6	145	128
Навоз, 60 т/га + P ₂ K ₂ – фон 3	25,7	28,1	142	125
Фон 3 + N ₁	27,6	30,0	152	134
Фон 3 + N ₂	28,1	31,5	155	141
Фон 3 + N ₂ + МЭ	29,6	31,9	164	142
Фон 3 + N ₃ + МЭ	30,0	32,9	166	147
НСП ₀₅	1,91	2,33		

Яровая пшеница (поле 3): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; кукуруза (поле 4): P₁K₁ – P₁₅K₄₀; P₂K₂ – P₃₀K₈₀; N₁ – 90; N₂ – 90+30; N₃ – 120+30; МЭ – Zn₁₀₀.

В 2015 г. при возделывании ярового ячменя и яровой пшеницы установлены аналогичные зависимости активности почвенных пероксидаз от уровня минерального питания сельскохозяйственных культур. В целом от первого к третьему фону опыта отмечено усиление пероксидазной активности почвы при внесении навоза и его сочетании с NPK-удобрениями. Наибольшая активность пероксидаз в почве установлена на вариантах фона 3 при возделывании яровой пшеницы и кукурузы. Отмечена тенденция усиления гумификации на вариантах N₃+МЭ (табл. 5).

Таблица 5

**Пероксидазная активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы
(ОАО «Гастелловское», поля 3 и 4, 2015 г.)**

Вариант	Пероксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Контроль б/у	22,0	26,0	100	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	22,5	27,2	102	105
Фон 1 + N ₁	24,3	28,5	110	110
Фон 1 + N ₂	24,6	29,0	112	112
Фон 1 + N ₂ + МЭ	25,3	29,5	115	113
Фон 1 + N ₃ + МЭ	27,5	30,4	125	117
Навоз, 60 т/га + P ₁ K ₁ – фон 2	26,9	29,8	122	115
Фон 2 + N ₁	27,7	30,4	126	117

Вариант	Пероксидаза			
	активность, мг 1,4 – бензохинона/кг		активность, %	
	Поле 3	Поле 4	Поле 3	Поле 4
Фон 2 + N ₂	29,1	31,3	132	120
Фон 2 + N ₂ + МЭ	29,8	32,4	135	125
Фон 2 + N ₃ + МЭ	30,0	32,8	136	126
Навоз, 60 т/га + P ₂ K ₂ – фон 3	29,4	32,3	134	124
Фон 3 + N ₁	31,3	34,2	142	132
Фон 3 + N ₂	32,2	35,5	146	137
Фон 3 + N ₂ + МЭ	33,3	35,9	151	138
Фон 3 + N ₃ + МЭ	34,2	37,0	155	142
НСР ₀₅	1,80	2,22		

Яровой ячмень (поле 3): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀; яровая пшеница (поле 4): P₁K₁ – P₂₀K₄₅; P₂K₂ – P₄₀K₉₀; N₁ – 60; N₂ – 60+30; N₃ – 90+30; МЭ – Cu₅₀ + Mn₅₀.

По данным эксперимента получены усредненные биохимические показатели гумификации (окислительной полимеризации под действием кислорода перекиси водорода) в цикле С по двум полям полевого опыта (табл. 6).

Исследования 2014–2015 гг. показали, что в условиях эксперимента активность микробных пероксидаз в среднем несколько превышала полифенолоксидазную активность почвы. Закономерности варьирования активности обоих окислительных ферментов по вариантам с разными уровнями минерального питания яровой пшеницы, ярового ячменя и кукурузы были сходными.

По результатам 3-летнего эксперимента получены усредненные биохимические показатели гумификации по процессам окислительной полимеризации ароматических соединений – за счет кислорода перекиси водорода:

- в почве без удобрений активность пероксидазы – 26,8 мг бензохинона/кг почвы (100 %);
- внесение 60 т/га солоमистого навоза усиливало гумификацию на 4%, сочетание навоза с P₁K₁ – на 15 %, с P₂K₂ – на 24 % до 28, 30,9 и 33,3 мг бензохинона/кг почвы соответственно;
- внесение возрастающих доз азота N₁ и N₂ на 9–13 % усиливало гумификацию на фонах 60 т/га навоза; на 20–23 % на фонах 60 т/га навоза + P₁K₁; на 25–31 % на фонах 60 т/га навоза + P₂K₂ до 29,3–30,4, 32,1–33 и 33,6–35,1 мг бензохинона/кг почвы соответственно;
- наибольшее усиление активности гумификации на изученных фонах удобрений отмечено при сочетании доз азота N₂ и N₃ с микроэлементами – на 16–26 % на фонах 60 т/га навоза; на 27–29 % на фонах 60 т/га навоза+P₁K₁; на 36–40 % на фонах 60 т/га навоза + P₂K₂ до 31–33,7, 34–34,6 и 36,6–37,6 мг бензохинона/кг почвы соответственно (табл. 6).

Полученные биохимические показатели позволяют оценивать влияние удобрений на активность процессов гумификации и определять оптимальные варианты для сохранения достигнутого уровня окультуренности почвы.

Биохимические показатели активности гумификации в высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при разных системах удобрения (окислительная полимеризация за счет кислорода H_2O_2 , 2014–2015 гг.)

Вариант	Активность ПО, мг бензохинона/кг			Активность, %
	2014 г.	2015 г.	среднее	
Контроль б/у	20,2	33,4	26,8	100
Навоз, 60 т/га – фон 1	21,0	35,0	28,0	104
Фон 1 + N_1	21,9	36,7	29,3	109
Фон 1 + N_2	22,9	37,9	30,4	113
Фон 1 + N_2 + МЭ	23,3	38,8	31,0	116
Фон 1 + N_3 + МЭ	25,0	42,4	33,7	126
Навоз, 60 т/га + P_1K_1 – фон 2	24,3	37,5	30,9	115
Фон 2 + N_1	25,0	39,3	32,1	120
Фон 2 + N_2	26,2	39,8	33,0	123
Фон 2 + N_2 + МЭ	26,9	41,2	34,0	127
Фон 2 + N_3 + МЭ	27,4	41,9	34,6	129
Навоз, 60 т/га + P_2K_2 – фон 3	26,9	39,8	33,3	124
Фон 3 + N_1	28,8	38,4	33,6	125
Фон 3 + N_2	29,8	40,5	35,1	131
Фон 3 + N_2 + МЭ	30,7	42,6	36,6	136
Фон 3 + N_3 + МЭ	31,4	43,8	37,6	140
НСР ₀₅	2,12	2,47		

Яровой ячмень и яровая пшеница – P_1K_1 – $P_{20}K_{45}$; P_2K_2 – $P_{40}K_{90}$; N_1 – 60; N_2 – 60+30; N_3 – 90+30; МЭ – Cu_{50} + Mn_{50} ; кукуруза – P_1K_1 – $P_{15}K_{40}$; P_2K_2 – $P_{30}K_{80}$; N_1 – 90; N_2 – 90+30; N_3 – 120+30; МЭ – Zn_{100} .

ВЫВОДЫ

В полевом опыте на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве изучено влияние систем удобрения на активность гумификации в цикле углерода. Внесение 60 т/га солоमистого навоза, его сочетание с РК-удобрениями, внесение N_{60} и N_{60+30} под яровую пшеницу и яровой ячмень, N_{90} и N_{90+30} под кукурузу, а также сочетание азота с микроэлементами $Cu_{50}+Mn_{50}$ под пшеницу и ячмень и Zn_{100} под кукурузу были факторами усиления гумификации ароматических полифенолов, входящих в состав лигнинов. Установлены биохимические показатели активности гумификации по процессам окислительной полимеризации ароматических соединений – за счет кислорода воздуха (полифенолоксидазы) и за счет кислорода перекиси водорода (пероксидазы).

В условиях высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы наибольшая стимуляция гумификации на 34 % до 31,2 мг бензохинона/кг почвы (ПФО) и на 40 % до 37,6 мг бензохинона/кг почвы (ПО) отмечена при внесении $N_{90+30}Cu_{50} + Mn_{50}$ под яровую пшеницу и яровой ячмень на фоне внесения 60 т/га соломистого навоза в сочетании с $P_{40}K_{90}$, а также при внесении $N_{120+30}Zn_{100}$ под кукурузу на фоне 60 т/га соломистого навоза в сочетании с $P_{30}K_{80}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.Л. Бабьева, Г.М. Зенова. – МГУ, 2005. – 445 с.
2. Микроорганизмы и охрана почв / под ред. Д.Г. Звягинцева. – М: Изд-во МГУ, 1989. – 206 с.
3. Щербакова, Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т.А. Щербакова. – Минск: Наука и техника, 1983. – 221 с.
4. Туев, Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования / Н.А. Туев. – М.: ВО Агропромиздат. – 1989. – 237 с.
5. Bandick, A.K. Field management effects on soil enzyme activities / A.K. Bandick, R.P. Dick // Soil Biol. Biochem. – 1999. – Vol. 31, № 11. – P. 1471–1479.
6. Caldwell, B.A. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review / B.A. Caldwell // Pedobiologia. – 2005. – Vol. 49. – P. 637–644.
7. Биохимические и микробиологические критерии оценки плодородия почв и нормирования антропогенной нагрузки: методические рекомендации / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии. – 2015. – 40 с.
8. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2007–2010) / И.М. Богдевич [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. – 276 с.
9. 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.
10. Лапа, В.В. Ферментативная активность дерново-подзолистых почв при разных уровнях применения удобрений / В.В. Лапа, Н.А. Михайловская // Доклады НАН Беларуси. – 2015. – Том 59. – № 5. – С. 139–145
11. Карагіна, Л.А. Вызначэнне актынасці поліфенолаксідазы і пераксідазы у глебе / Л.А. Карагіна, Н.А. Міхайлоўская // Весці АН БССР. Сер. с/г навук. – 1986. – № 2. – С. 40–41.
12. 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. – 1997. – Vol. 48. – P. 431–441.
13. Flaig, W. Zur Umwandlung von Lignin in Humusstoffe / W. Flaig // Freiburger Forschungen. – 1962. – Vol. 254.
14. Тюрин, И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии / И.В. Тюрин. – М.: Наука, 1965. – 319 с.
15. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л.: Наука, 1980. – С. 122–133.
16. Kirk, T.K. Enzymatic «combustion»: the microbial degradation of lignin / T.K. Kirk, R.L. Ferrell // Annu. Rev. Microbiol. – 1987. – Vol. 41. – P. 465–505.
17. Schnitzer, M. Soil organic matter. The next 75 years / M. Schnitzer // Soil Sci. – 1991. – Vol. 151. – P. 41–58.
18. Гулько, А.Е. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность / А.Е. Гулько, Ф.Х. Хазиев // Почвоведение. – 1992. – № 11. – С. 55–67.

OXIDASES ACTIVITY IN HIGHLY FERTILE SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL UNDER THE DIFFERENT LEVELS OF CROPS MINERAL NUTRITION

V.V. Lapa, N.A. Mikhailovskaya, S.A. Kasyanchyk, T.V. Pahiritskaya

Summary

In the conditions of a field experiment on highly cultivated sod-podzolic light loamy soil the authors determined biochemical indexes of humification activity in the main processes of aromatics oxidative polymerization. It was realized resulting from atmospheric oxygen (polyphenol oxidase) and peroxide oxygen (peroxidase) depending on the level of mineral nutrition of agricultural crops.

Поступила 27.10.16

УДК 634.74:631.533.3:581.143.6:631.82

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ АРОНИИ ЧЕРНОПЛОДНОЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НА ИСКУССТВЕННЫХ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ

Н.В. Кухарчик

*Институт плодоводства,
пос. Самохваловичи, Минский район, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время арония становится популярной и перспективной культурой благодаря высокому содержанию биологически активных веществ (антиоксиданты, витамины) в плодах и их широкому использованию в промышленности в качестве добавок к сокам и красителя. В то же время, незначительное распространение культуры в промышленном плодоводстве определяет отсутствие информации о некоторых аспектах ее возделывания, в частности о минеральном питании. Культивирование растений *in vitro* может являться удобной моделью для первичного анализа потребности растений в элементах питания, поскольку исходный состав питательных сред четко определен, растения культивируют изолировано в пробирке, после определенного этапа микроразмножения можно оценить остаточное содержание элементов в питательной среде и накопление их растением. В то же время, поглощение элементов питания растениями-регенерантами *in vitro* может быть подвержено изменению в связи с выращиванием растений в условиях искусственного климата – постоянных положительных температур и стабильного освещения без изменения длины дня.

Исследования о минеральном питании плодовых и ягодных растений в культуре *in vitro* немногочисленны и фрагментарны. Интерес представляют работы, показывающие как влияние отдельных элементов так и типа иона на морфогенез растений-регенерантов *in vitro*. Показано, что изменение соотношения нитратной