

УДК 541.49:631.46

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСОНОВ, ПРОИЗВОДНЫХ ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ, И ИХ БОРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ПОЧВЕННУЮ МИКРОФЛОРУ

Т.И. Смирнова, О.В. Смирнова

Тверская государственная сельскохозяйственная академия
Кафедра агрохимии и земледелия

В условиях полевого опыта изучено влияние внекорневых обработок культивируемых растений растворами этилендиаминдиантарной кислоты (ЭДДЯК), иминодиантарной кислоты (ИДЯК), взятой для сравнения этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТУК), их боратных комплексов: В-ЭДДЯК, В-ИДЯК и В-ЭДТУК соответственно. По уровню содержания микробного углерода в почве обнаружено, что растворы с концентрацией $1.5 \cdot 10^{-3}$ моль/л ЭДДЯК и ЭДТУК, взятые из расчёта 100 мл/м², оказывают на микроорганизмы угнетающее действие, а растворы с такой же концентрацией ИДЯК и боратных комплексов всех трёх комплексонов оказывают стимулирующий эффект.

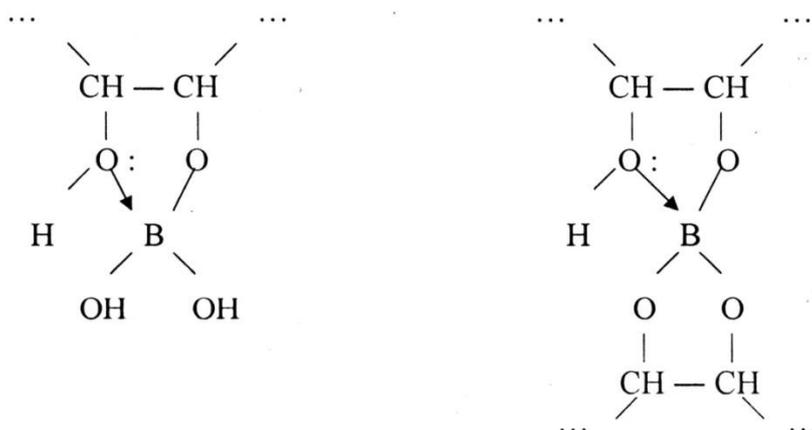
Ключевые слова: *этилендиаминдиантарная кислота, иминодиантарная кислота, этилендиаминтетрауксусная кислота, боратные комплексы, почвенная микрофлора.*

При использовании не только микро-, но и макроудобрений их воздействие на почвенную микрофлору, как правило, не учитывается. Однако живые организмы почвы (почвенная биота), и почвенные бактерии (микрофлора) в том числе, выполняют важнейшую биогеохимическую функцию – разложение органического вещества преимущественно растительных остатков (опада) на простейшие химические соединения – и тем самым участвуют в процессе почвообразования и формировании почвенного плодородия [1]. Уже несколько десятилетий известно, что микроэлементы легче усваиваются растениями в составе хелатных комплексов с органическими лигандами, чаще всего – комплексонами [2; 3]. И если превращения микроэлементов в растительных и бактериальных организмах в определённой степени исследованы, то пути метаболизма комплексонов в живых организмах и окружающей среде изучены слабо и преимущественно фрагментарно [2; 4 – 6]. К началу XXI века мировое промышленное производство комплексонов достигло 200000 т. Значительную часть производимых комплексонов (около 80000 т) составила этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТУК) [4; 5], используемая как в свободном состоянии, так и форме простых или

комплексных солей в технике, пищевой промышленности, фармации, сельском хозяйстве и других областях практической деятельности. Около 70 – 80% производимой ЭДТУК попадает в окружающую среду, и в этом немалый вклад принадлежит используемым в растениеводстве этилендиаминтетраацетатам микроэлементов.

Многолетние исследования, посвящённые поиску биологических деструкторов комплексонов в окружающей среде, привели к обнаружению всего нескольких достаточно редких штаммов микроорганизмов, способных к утилизации этилендиаминтетраацетатов металлов, за исключением комплексов ртути (II), свинца (II) и кадмия (II) [4]. Проблемы биодеструкции в окружающей среде комплексонов, производных дикарбоновых кислот (КПДК), и в том числе комплексонов, производных янтарной кислоты (КПЯК), характер их воздействия на почвенную микрофлору до последнего времени оставались неизученными. По этой причине представлялось интересным параллельно с исследованием эффективности новых комплексонатов микроэлементов в качестве микроудобрений исследовать и их воздействие на почвенную микрофлору. К числу таких комплексонатов относятся боратные комплексы на основе иминодиянтарной кислоты (ИДЯК) и этилендиаминдиянтарной кислоты (ЭДДЯК) [7].

Бор – микроэлемент, необходимый растениям в течение всей жизни, так как в растительных организмах он не реутилизируется. Среднее содержание бора в растениях около 0.1 мг на 1 кг сырой массы [8]. В живых организмах бор содержится преимущественно в виде борорганических соединений, при этом большая его часть локализована в клеточных стенках в составе комплексов с пектиновыми веществами [9]:



Из борорганических веществ растительных остатков бор высвобождается почвенными микроорганизмами, и в форме борат-

анионов ими частично поглощается, частично – через корневую систему – усваивается растениями.

В растениях бор улучшает углеводный обмен, влияет на обмен белков и нуклеиновых кислот. Считается, что основная физиологическая роль бора заключается в участии в обмене ауксинов и фенольных соединений. Бор не входит в состав ферментов, но активизирует ауксиноксидазу и β - глюкозидазу. При недостатке бора растения поражаются сухой гнилью, дуплистостью (корнеплоды), пожелтением, бактериозом. Особенно чувствительны к недостатку бора лён, рис, подсолнечник, овощные и бобовые культуры.

Целью поставленного опыта было исследование влияния боратных комплексов ЭДДЯК, ИДЯК и ЭДТУК в сравнении с действием традиционного борного микроудобрения H_3BO_3 и свободных лигандов на почвенную микрофлору и урожайность культивируемого растения – столовой свёклы как одной из культур, наиболее требовательных к содержанию бора в почве.

Экспериментальная часть

Исследование проводили на опытном участке кафедры. Почва опытного участка: дерново-подзолистая легкосуглинистая на морене, содержание гумуса – 2,3 %, реакция почвенного раствора 6.0. Схема опыта включала варианты с обработкой семян 0.0015М растворами H_3BO_3 , В-ЭДТУК, В-ЭДДЯК, В-ИДЯК, ЭДТУК, ЭДДЯК, ИДЯК. В контрольном варианте опыта использовали дистиллированную воду. Для приготовления растворов были взяты H_3BO_3 (ос.ч.), ЭДТУК(ч.д.а.); КПЯК, их боратные комплексы и В-ЭДТУК были синтезированы на кафедре агрохимии и земледелия Тверской ГСХА по известным методикам [7; 10].

Семена свёклы сорта «Красный шар», предварительно замоченные на 24 часа в испытуемых растворах, высевали в открытый грунт согласно схеме опыта. После появления третьего настоящего листа растения опрыскивали соответствующими 0.0015М растворами из расчёта 100 мл/м². Растения в контрольном варианте опрыскивали дистиллированной водой. Опрыскивание повторяли дважды с интервалами в 4 недели. В третьей декаде августа отбирали образцы почвы для анализа, а третьей декаде сентября производили уборку корнеплодов. За 4 недели до уборки листья были проанализированы на содержание фотосинтетических пигментов [11], поскольку количество пигментов объективно отражает реакцию растительного организма на условия произрастания. Сравнительную оценку биомассы почвенной микрофлоры производили по количеству углерода микробной биомассы, определённого регидратационным методом по Т.Г. Мирчинк и Н.С Панкову [12]. Принцип метода заключается в мягком высушивании почвы при 65 – 70 С, при этом происходит

нарушение целостности цитоплазматических мембран живых микробных клеток. На мёртвое органическое вещество такие температуры практически не действуют. После регидратации внутриклеточные компоненты высвобождаются и переходят в раствор нейтральной соли, где после окисления дихроматом калия спектрофотометрическим методом ($\lambda=590$ нм) определяют содержание органического углерода.

Результаты и их обсуждение

Результаты анализов, проведённых указанным методом, представлены в таблице.

Содержание микробного углерода в образцах почвы

№ п/п	Состав раствора для обработки	С, мкг/г 2011 год	С, мкг/г 2013 год
1	H ₂ O _{dest}	66.9	65.8
2	H ₃ BO ₃	76.4	68.6
3	В-ЭДТУК	68.0	36.9
4	ЭДТУК	44.6	29.3
5	В-ЭДДЯК	80.6	94.5
6	ЭДДЯК	45.4	45.3
7	В-ИДЯК	81.3	97.2
8	ИДЯК	80.6	98.4

Как свидетельствуют данные анализов, использование в опыте свободных лигандов неоднозначно сказалось на общем содержании почвенных микроорганизмов. ЭДДЯК и в большей степени ЭДТУК оказывают выраженное антимикробное, а ИДЯК, напротив, стимулирующее действие. По-видимому, комплексоны, производные этилендиамина, будучи эффективными хелатантами, инактивируют внешнемембранные ферменты почвенных микроорганизмов, вызывая угнетение процессов жизнедеятельности и их гибель [3; 4]. Легче поддающаяся физико-химической деструкции ИДЯК, как можно предполагать, используется некоторыми микроорганизмами почвы в качестве субстрата – источника азота и углерода. Стимулирующее микрофлору действие ИДЯК сравнимо с влиянием комплексов В-ИДЯК и В-ЭДДЯК. Однако на урожайность корнеплодов и увеличение общей биомассы растений обработка раствором ИДЯК, в отличие от боратных комплексов, существенным образом не повлияла. Как выяснено на примере ЭДТУК и комплексов различных металлов с этим лигандом, внутрь клеток микроорганизмов, способных к поглощению этих соединений, комплексон может поступать почти исключительно в составе комплексов. С наибольшей скоростью в бактериальные клетки поступают комплексы, характеризующиеся

невысокой устойчивостью, например комплексы ЦЗМ и Mg^{2+} [4]. Если судить по этому критерию, боратные комплексы В-ИДЯК и В-ЭДДЯК ($\lg K=4.85$ и 3.94 соответственно) [7] должны достаточно легко транспортироваться извне через клеточные мембраны внутрь клеток микроорганизмов и уже там, по-видимому, подвергаться ферментативной деструкции. Эти предположения вполне согласуются с изменением содержания фотосинтетических пигментов в листьях опытных растений, их общей биомассы и урожайности корнеплодов, напрямую зависящих от количества и уровня доступности питательных элементов в почве.

Результаты лабораторных анализов на протяжении двух лет исследований показали, что количество образуемых фотосинтетических пигментов зависит не только от метеорологических особенностей вегетационного периода, но и от состава растворов, взятых для обработки, влияющих не только непосредственно на растения, но и на биологическую активность почвы. В первый год исследований было обнаружено, что H_3BO_3 и В-ЭДДЯК практически одинаково (на 18%) повышают содержание хлорофилла в листьях опытных растений. При этом масса надземной части растений, обработанных раствором H_3BO_3 , увеличилась на 8%, а корнеплодов – на 7%. Обработка раствором В-ЭДДЯК вызвала увеличение массы листьев на 19% и на 37% – корнеплодов. На 2 – 3% меньшие результаты, практически сходные с вариантом, где применяли раствор В-ЭДТУК, получены при использовании раствора В-ИДЯК. Обработка растворами чистых комплексонов (особенно – ЭДТУК) вызывала сокращение уровня содержания фотосинтетических пигментов в листьях (преимущественно за счёт хлорофилла *a* и уменьшения биомассы растений). Такая же зависимость обнаружена и по результатам 2013 года.

Таким образом, полученные за два года исследований результаты показали существенную эффективность применения боратных комплексов по сравнению с традиционным борным микроудобрением H_3BO_3 в качестве стимуляторов биологической активности почвы и фотосинтетических процессов с целью получения оптимального урожая корнеплодов столовой свеклы.

Список литературы

1. Исидоров В.А. Экологическая химия. СПб.: Химиздат, 2001. 304 с.
2. Дятлова Н.М., Тёмкина В.Я., Попов К.И. Комплексоны и комплексонаты металлов. М.: Химия, 1988. 544 с.
3. Островская Л.К. // Физиология и биохимия культ. растений. 1986. Т. 18, № 6. С. 591 – 603.
4. Дедюхина Э.Г., Чистякова Т.И., Минкевич И.К. // Вестн. биотехнол. и физ.-хим. биологии. 2007. Т.3, № 2. С. 40–49.

- Капаруллина Е.Н., Фёдоров Д.Н., Доронина Н.В., Троценко Ю.А. // Прикладная биохимия и микробиология. 2008. Т. 44, № 4. С. 399 – 403.
- Henneken L., Noerlemann B. // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1995. V. 44. P. 190 –197.
- Толкачёва Л.Н. Физико-химическое исследование процессов комплексообразования элементов III-A подгруппы с комплексонами, производными янтарной кислоты: дис. ... кан.хим.наук Тверь: ТвГУ, 2012.
- Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия. М. «Колос». 2002. 585 с.
- Физиология растений (под ред. И.П. Ермакова). М. «Академия». 2007. 640 с.
- Горелов И.П., Самсонов А.П., Никольский В.М., Бабич В.А., Светогоров Ю.Е., Смирнова Т.И., Малахаев Е.Д., Козлов Ю.М., Капустников А.И. // Журн. общей химии. 1979. Т. 49, № 3. С. 659 – 663.
- Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: АCADEMIA. 2009. 256 с.
- Практикум по почвоведению / под ред. Н.Ф. Ганжары. М.: «Агроконсалт». 2002. 280 с.

INFLUENCE OF COMPLEX COMPOUNDS – DERIVATIVES OF SUCCINIC ACID AND THEIR BORATE COMPLEXES ON THE SOIL MICROFLORA

T.I. Smirnova, O.V. Smirnova

Tver State Agricultural Academy
Department of Agrochemistry and Agriculture

In field experiments we have studied the influence of foliar treatment of cultivated plants with solutions of ethylenediaminedisuccinic acid (EDDS), iminodisuccinic acid (IDS), ethylenediaminetetrasuccinic acid (EDTS) taken for comparison, their borate complexes: B-EDDS, B-IDS, B-EDTS respectively. Accordingly to the level of microbial carbon in the soil we have found that solutions of EDDS and EDTS with concentration $1.5 \cdot 10^{-3}$ mol/l taken as 100 ml/m² have a dampening effect on microorganisms. Solutions with the same concentration of IDS and borate complexes of all three complex compounds have a stimulating effect.

Keywords: *ethylenediaminedisuccinic acid, iminodisuccinic acid, ethylenediaminetetrasuccinic acid, borate complexes, soil microflora.*

Об авторах:

СМИРНОВА Татьяна Ивановна – доцент, кандидат химических наук, доцент кафедры агрохимии и земледелия Тверской государственной сельскохозяйственной академии, e-mail: tatsmi2013@mail.ru

СМИРНОВА Ольга Владимировна – доцент, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и земледелия Тверской государственной сельскохозяйственной академии, e-mail: olya.smirnova.00@list.ru