

УДК 541.49:581.1
DOI 10.26456/vtchem2024.1.11

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСОНОВ, ПРОИЗВОДНЫХ ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ

К.Н. Хомякова¹, М.Н. Павлов², А.Ю. Чесноков¹,
Л.Н. Толкачева¹, В.М. Никольский¹

¹ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь
²ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Тверь

В работе исследовано воздействие комплексов бора и кобальта с комплексонами N-(карбоксиметил)аспарагиновая кислота и иминодиянтарная кислота на увеличение биомассы растений, содержание хлорофиллов и каротиноидов в шпинате и в укропе. Рассмотрена возможность применения этих экологически безопасных комплексонатов в сельском хозяйстве для предпосевной обработки семян.

Ключевые слова: N-(карбоксиметил)аспарагиновая кислота, иминодиянтарная кислота, комплексонаты, биостимулирующее действие, зеленые пигменты.

Известно, что стабильность и высокие потребительские качества аминокислотных соединений обеспечивают им широкое применение во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства, в частности, с каждым днем растет использование комплексонов, типичным представителем которых является этилендиаминтетрауксусная кислота. Однако, применение таких комплексонов в сельскохозяйственном производстве имеет и оборотную сторону. Во многих случаях они оказываются экологически опасными, так как практически не поддаются быстрому разрушению, оказавшись в окружающей среде [1]. В указанных обстоятельствах предпочтительными являются комплексоны, способные к быстрому разложению в условиях окружающей среды и поэтому не загрязняющие природу. Такими свойствами обладают комплексоны, производные янтарной кислоты, физико-химические свойства которых изучаются около полувека [2-5]. Установлено, что они предпочтительны для использования в качестве транспортного средства при доставке биологически активных ионов металлов, а также различных генных конструкций в клетки живого организма [6].

В предыдущей работе [7] было установлено, что обработка семян растений растворами комплексонов, производных янтарной кислоты, а именно, N-(карбоксиметил)аспарагиновой кислотой (КМАК) и

иминодиянтарной кислотой (ИДЯК) оказывает существенное влияние на содержание зеленых пигментов в растениях.

В продолжение исследования биологической активности этих комплексонов нами представлены результаты применения в качестве реагентов для предпосевной обработки семян уже не просто комплексонов, а их комплексонатов с бором [8, 9] и кобальтом.

Комплексы бора с органическими веществами, как правило, заряжены отрицательно, что оказывает положительное влияние на формирование связей клеточной стенки с катионами, например, кальция. Тесное взаимодействие между бором и кальцием имеет важное значение для роста растительных клеток и транспорта кальция в побеги растений [10].

Кобальт же, увеличивает урожайность различных сельскохозяйственных культур. Внесение расчетных доз кобальтовых микроудобрений вызывает улучшение использования растениями азота и усвоения кальция. Большое значение имеет применение кобальтовых микроудобрений для повышения диетической ценности пищевой продукции растительного происхождения [11].

Экспериментальная часть

Оборудование и реактивы:

- весы теххимические;
- цилиндр мерный на 100 мл;
- стаканы химические на 150 мл - по числу навесок семян;
- $1,5 \cdot 10^{-4}$ М водные растворы комплексонатов бора или кобальта с ИДЯК;
- $2 \cdot 10^{-4}$ М водные растворы комплексонатов бора или кобальта с КМАК (что по массовому содержанию в единице объема равно $1,5 \cdot 10^{-4}$ М концентрации ИДЯК или её комплексонатов, т.к. $M_{ИДЯК}:M_{КМАК} \times 1,5 \cdot 10^{-4} = 249:191 \times 1,5 \cdot 10^{-4} = 1,96 \cdot 10^{-4}$ или $\approx 2 \cdot 10^{-4}$);
- фильтровальная бумага.

На теххимических весах готовили навески семян массой ≈ 5 г, переносили в химический стакан, приливали отмеренные с помощью мерных цилиндров по 50 мл 0,0002 М растворы комплексонатов бора или кобальта с КМАК или последовательно, 0,00015 М растворы комплексонатов ИДЯК с бором и кобальтом и оставляли для замачивания при комнатной температуре 22°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) на 24 часа. После этого растворы сливали (декантировали), семена слегка осушали фильтровальной бумагой и высевали в грунт. Вторую обработку проводили через 10 дней после появления всходов культивируемых зеленных растений однократно с нормой расхода исходных водных растворов комплексонатов по 100 мл/м².

Данным способом были обработаны образцы семян шпината огородного (*Spinacea oleraced*) и укропа (*Triticum aestivum*). Семена были посеяны на делянках опытного поля Тверской государственной

сельскохозяйственной академии. Опыт был заложен в двукратной повторности. Образцы растений для анализа на содержание хлорофиллов и каротиноидов отбирали через 30 дней после посева.

Определение пигментов проводили из ацетоновых вытяжек по стандартным методикам [12].

Результаты и их обсуждение

При практически одинаковой основности аминного азота обоих комплексонов (10,12 у ИДЯК и 9,68 у КМАК), определяющей идентичность комплексообразующих свойств комплексонов (табл. 1) [13], содержание азота у В-КМАК составляет 7% ($14:200,8 \times 100 = 6,97\%$ или $\approx 7\%$), что на 1,56% выше, чем у В-ИДЯК и содержание азота у Со-КМАК составляет 5,62% ($14:249 \times 100 = 5,62\%$), что на 1,07% выше, чем у Со-ИДЯК ($14:308 \times 100 = 4,55\%$).

Таблица 1

Логарифмы констант диссоциации комплексонов

Комплексон	pk ₁	pk ₂	pk ₃	pk ₄
ИДЯК	2,96	3,84	4,83	10,12
КМАК	2,73	3,86	9,68	-

Экспериментальным путем установлено положительное и эффективное влияние микроэлементов, источником которых являются боратные и кобальтовые комплексы иминодиянтарной кислоты (В-ИДЯК или Со-ИДЯК), а также боратные и кобальтовые комплексы N-(карбоксиметил)аспарагиновой кислоты (В-КМАК или Со-КМАК), на увеличение биомассы растений, содержание хлорофиллов и каротиноидов в шпинате (табл. 2) и в укропе (табл. 3).

Таблица 2

Биомасса и пигментный состав растений шпината

Состав раствора	Фотосинтетические пигменты в сырой массе листьев, мг/100 г				Биомасса растений, % от контроля
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Хлорофиллы <i>a</i> и <i>b</i>	Каротиноиды	
Н ₂ O, контроль	85 ± 2	43 ± 1	128 ± 2	42 ± 1	100 ± 2
В-ИДЯК	98 ± 2	51 ± 1	149 ± 2	49 ± 1	184 ± 2
В-КМАК	101 ± 2	53 ± 1	154 ± 2	51 ± 1	187 ± 2
Со-ИДЯК	141 ± 2	56 ± 1	197 ± 2	47 ± 1	190 ± 2
Со-КМАК	145 ± 2	58 ± 1	203 ± 2	49 ± 2	194 ± 2

Таблица 3

Биомасса и пигментный состав растений укропа

Состав раствора для обработки	Фотосинтетические пигменты в сырой массе листьев, мг/100 г				Биомасса растений, % от контроля
	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Хлорофиллы <i>a</i> и <i>b</i>	Каротиноиды	
H ₂ O, контроль	101 ± 2	33 ± 1	134 ± 2	30 ± 1	100 ± 2
В-ИДЯК	136 ± 2	107 ± 2	243 ± 2	39 ± 1	189 ± 2
В-КМАК	139 ± 2	110 ± 2	248 ± 2	41 ± 1	193 ± 2
Со-ИДЯК	141 ± 2	112 ± 2	253 ± 2	40 ± 1	194 ± 2
Со-КМАК	144 ± 2	115 ± 2	259 ± 2	42 ± 1	198 ± 2

Как свидетельствуют результаты эксперимента, обработка семян и растений растворами В-КМАК или Со-КМАК оказалась более эффективной по сравнению с В-ИДЯК или Со-ИДЯК по причине большего процентного содержания в составе В-КМАК и Со-КМАК доступного аммонийного азота. Предлагаемый заявителями способ предпосевной обработки семян 0,2 мМ растворами В-КМАК или Со-КМАК в таком же расходном количестве по массе, как и 0,15 мМ раствором В-ИДЯК или Со-ИДЯК прототипа (≈ 14 мг действующего вещества на одну учетную делянку $3,5 \text{ м}^2$), при практически одинаковой трудоемкости оказывается более эффективным благодаря большему процентному содержанию в составе В-КМАК (7%) или Со-КМАК (5,62%) доступного аммонийного азота, чем в составе, соответственно, В-ИДЯК (5,41%) или Со-ИДЯК (4,55%).

По результатам опытов подана заявка на изобретение [14].

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-76-01058.

Список литературы

1. М. Е. Т. Sillanpaa, Т. А. Kurniawan, W.H. Lo, Chemosphere, 2011, 83, 1443, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.01.007
2. Горелов И.П., Никольский В.М. // Журнал неорганической химии, 1975, №6, С. 1722.
3. Горелов И.П., Никольский В.М. // Журнал общей химии, 1977, № 7, С.1606.
4. Tolkacheva L. N. and Nikol'skii V. M. // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2012, Vol. 86, No. 3, P. 396, DOI: 10.1134/S0036024412030314.
5. L. N. Tolkacheva and V. M. Nikol'skii, // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2013, Vol. 87, No. 9, P. 1498, DOI:10.1134/S0036024413080256.
6. Смирнова Т.И., Никольский В.М., Кудряшова Н.В., Иванютина Н.Н., Усанова З.И. // Вестник ТвГУ. Серия: Химия, 2008, № 7, С. 8.

7. Толкачева Л.Н., Павлов М.Н., Хомякова К.Н., Суворов А.А., Никольский В.М. // Вестник ТвГУ. Серия: Химия, 2023, № 3 (53), С. 115, DOI 10.26456/vtchem2023.3.13
8. Патент РФ №2567190, опубл. 10.11.2015, Способ увеличения биомассы культивируемых зеленых растений / Авторы: Смирнова Т.И., Малахаев Е.Д., Никольский В.М., Толкачева Л.Н., Барановский И.Н., Жигалова Ю.Э.
9. Петрова А.А., Смирнова Т.И., Павлов М.Н., Варламова А.А., Никольский В.М. // Вестник ТвГУ. Серия: Химия. 2020. № 2(40). С. 143, DOI 10.26456/vtchem2020.2.18
10. Пашкевич Е.Б., Суворова Е.Е., Верховцева Н.В. // Агрехимия, 2011, № 11, С. 85.
11. Никольский В.М., Смирнова Т.И., Шилова О.В., Варламова А.А. / Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения. Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции, посвященной Году науки и технологий. Краснодар, 2021. С. 120.
12. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков, Т.В. Карнауков, Л.А. Паничкин [и др.]; под общ. ред. Н.Н. Третьякова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
13. Loginova E.S., Nikol'skii V. M. // Russian Journal of Physical Chemistry B, 2017, Vol. 11, No. 4, P. 708, DOI: 10.1134/S1990793117040200
14. Заявка на изобретение №2023121096 от 11.08.2023, Способ увеличения биомассы культивируемых зеленых растений с помощью предпосевной обработки семян и обработки всходов / Авторы: Саламатина Е.В., Крюков Т.В., Никольский В.М., Толкачева Л.Н., Гридчин С.Н., Смирнова Т.И.

Об авторах:

ХОМЯКОВА Карина Николаевна – студентка 1-го курса магистратуры химико-технологического факультета ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д. 35); e-mail: karinakazaza@gmail.ru.

ПАВЛОВ Максим Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии, земледелия и лесопользования ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия» (170904, г. Тверь, ул. Маршала Василевского, д. 7); e-mail: maxnipav@gmail.com.

ЧЕСНОКОВ Андрей Юрьевич – аспирант кафедры неорганической и аналитической химии химико-технологического факультета ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д. 35); e-mail: tehnolog@ecoingredients.ru.

ТОЛКАЧЕВА Людмила Николаевна – кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической и аналитической химии химико-технологического факультета ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д. 35); e-mail: Tolkacheva.LN@tversu.ru.

НИКОЛЬСКИЙ Виктор Михайлович – профессор, доктор химических наук, профессор кафедры неорганической и аналитической химии ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170002, г. Тверь, Садовый пер., д. 35);, e-mail: p000797@tversu.ru.

STUDYING THE EFFECTIVENESS OF COMPLEX MICROFERTILIZERS BASED ON COMPLEXONES DERIVATIVES OF SUCCINIC ACID

**K.N. Khomyakova¹, M.N. Pavlov², A.Yu. Chesnokov¹, L.N. Tolkacheva¹,
V.M. Nikolskiy¹**

¹Tver State University, Tver

²Tver State Agricultural Academy, Tver

The work investigated the effect of boron and cobalt complexes with complexones N-(carboxymethyl)aspartic acid and iminodisuccinic acid on the increase in plant biomass, the content of chlorophylls and carotenoids in spinach and dill. The possibility of using these environmentally friendly complexonates in agriculture for pre-sowing seed treatment has been considered.

Keywords: *N-(carboxymethyl)aspartic acid, iminodisuccinic acid, complexonates, biostimulating effect, green pigments.*

Дата поступления в редакцию: 18.11.2023.

Дата принятия в печать: 12.01.2024.