

Сырчина Н.В., Козвонин В.А., Фадеева А.С.  
Вятский государственный университет, г. Киров

### **Сравнительная оценка различных хелатных цинковых микроудобрений методом биотестирования**

**Аннотация:** Одной из тенденций современной агрохимии является применение микроудобрений в форме хелатов. Для получения хелатов используется широкий спектр различных по химической природе хелатирующих агентов, которые должны оказывать определенное влияние на агрохимическую эффективность соответствующих удобрений, однако данных, позволяющих получить сравнительную информацию об особенностях и эффективности различных комплексонатов в литературных источниках недостаточно. Цель исследования состояла в выявлении влияния различных хелатных комплексов цинка на прорастание семян однодольных и двудольных тест-культур. Для проведения исследований использовались полученные в лабораторных условиях хелатные комплексы цинка с оксиэтилидендифосфоновой кислотой, динатриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилоном Б) и гуминовыми веществами (ГВ). В качестве неорганической формы цинка использовался сульфат цинка гептагидрат ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ). Дозировка, вносимых в субстрат добавок, составляла 60 мг цинка на 100 г субстрата. В качестве тест-культур использовались семена ячменя (сорт родник Прикамья) и редиса (сорт розово-красный с белым кончиком). Согласно полученным данным, наилучшие результаты достигаются при внесении в субстрат сульфата цинка и хелатного комплекса состава  $C_2H_3P_2O_2(OK)_2O_2Zn$ . Самые низкие результаты по большинству показателей получены для хелата Zn-ЭДТА. Высокая эффективность  $C_2H_3P_2O_2(OK)_2O_2Zn$  может быть обусловлена наличием в данном удобрении калия. Полученные результаты могут быть использованы в практике современного земледелия при выборе наиболее эффективных форм микроудобрений.

**Ключевые слова:** хелаты цинка, микроудобрения, биотестирование, цинковые удобрения

В условиях современных интенсивных технологий земледелия важнейшим средством поддержания почвенного плодородия и высокой урожайности возделываемых культур является применение широкого спектра удобрений. Кроме сбалансированного комплекса основных элементов минерального питания (NPK) растениям необходимы микроэлементы, к числу которых относятся молибден, цинк, медь, бор, марганец и др. Выраженная биологическая актив-

ность микроэлементов обусловлена их участием в процессах фотосинтеза и дыхания, азотного, фосфорного и нуклеинового обменов. Микроэлементы способствуют повышению устойчивости растений к действию неблагоприятных условий внешней среды, влиянию почвенных фитопатогенов, болезням и другим стресс-факторам. Дефицит микроэлементов или их несбалансированное поступление в организм растений приводит к нарушению нормального течения физиологических и биохимических процессов, снижает общую урожайность и качество получаемой продукции.

Одной из ведущих тенденций современной агрохимии является применение микроудобрений в форме хелатов. Использование растворов хелатных микроудобрений для предпосевной обработки семян повышает энергию прорастания, способствует развитию корневой системы, устраняет признаки дефицита микроэлементов в период вегетации [1, с. 43]. В настоящее время наиболее широкое применение находят хелаты, образованные микроэлементами и такими лигандами, как этилендиаминдиантарная кислота (ЭДДЯК), диэтилентриаминпентауксусная кислота (ДТПА), этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) и натриевые соли этой кислоты, оксиэтилидендифосфовая кислота (ОЭДФК) [2, с. 49]. В качестве микроэлементов в состав хелатных удобрений наиболее часто включают медь, цинк, марганец, железо, кобальт, молибден. В ряде исследований показана более высокая агрохимическая эффективность хелатных микроудобрений по сравнению с растворами соответствующих неорганических солей [3, с. 29]. И только в некоторых работах приводятся данные о том, что связывание микроэлементов в высокоустойчивые комплексы может привести к затруднению их усвоения растениями [4, с. 460]. Широкий спектр хелатирующих агентов позволяет получать разнообразные по устойчивости комплексы. Микроэлементы, входящие в состав таких комплексов, должны обладать разной биодоступностью, однако данных, посвященных сравнительной оценке влияния различных комплексонатов на растительные организмы в литературных источниках недостаточно. Выполнение исследований в этом направлении может иметь большое практическое значение.

**Цель исследования:** выявить влияние различных хелатных комплексов цинка на прорастание семян однодольных и двудольных тест-культур.

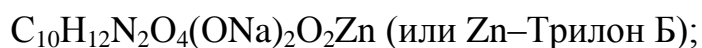
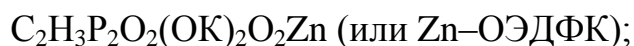
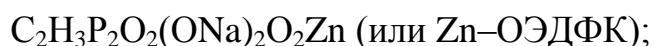
**Задачи исследования:**

- синтезировать хелатные комплексы цинка с различными хелатирующими агентами, используемыми для производства микроудобрений;
- выполнить сравнительную количественную оценку влияния полученных комплексов на прорастание семян однодольных и двудольных тест-культур методом биотестирования;
- выявить наиболее эффективную форму цинкового микроудобрения.

**Объекты и методы**

Для проведения исследований использовались полученные в лабораторных условиях хелатные комплексы цинка с ОЭДФК, динатриевой солью этилендиаминтетрауксусной кислоты (Трилоном Б) и гуминовыми веществами (ГВ). В качестве источника гуматов использовался агропрепарат «Торфогель» – продукт механоактивации торфа, содержащий  $50 \pm 5$  г/дм<sup>3</sup> ГВ, преимущественно в форме фульватов [5, с. 153]. В качестве неорганической формы цинка использовался сульфат цинка гептагидрат ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ). Для синтеза всех хелатных комплексов применялись реактивы квалификации ХЧ.

Химический состав полученных хелатов может быть выражен формулами:



ОЭДФК широко используется для получения хелатных комплексов различных микроэлементов. Особое распространение этот хелатирующий агент получил в нашей стране. Хелаты на основе ОЭДФК устойчивы в диапазоне pH от 4 до 11, что позволяет применять их на различных типах почв и использовать для приготовления многокомпонентных питательных растворов. На основе ОЭДФК могут быть получены не только индивидуальные комплексоны ме-

таллов, применяемых в сельском хозяйстве, но и сложные композиции различного состава и соотношения действующих веществ.

Трилон Б достаточно широко применяется в качестве хелатирующего агента в производстве микроудобрений за рубежом (Голландия, Германия, Израиль, Финляндия). Это в основном обусловлено его относительно низкой стоимостью, доступностью, нетоксичностью и простотой получения соответствующих комплексонов. ЭДТА характеризуется достаточной стабильностью в субстрате и способствует повышению биодоступности меди и цинка, а также накоплению этих элементов растениями [6, с. 23].

**Гуминовые вещества** (в форме фульвокислот) можно рассматривать в качестве натуральных хелатирующих агентов, способных связывать микроэлементы в устойчивые растворимые комплексы. ГВ проявляют выраженную физиологическую активность и широко используются в сельском хозяйстве для повышения плодородия почв и обеспечения стрессоустойчивости растений. При взаимодействии ГВ с катионами металлов образуются комплексы состава 1 : 1 и 1 : 2. При отношении  $Me : ГВ = 1 : 2$  катион металла может быть полностью координирован функциональными группами ГВ в устойчивый хелатный комплекс [7, с.53].

**Сульфат цинка.** Применяется для повышения плодородия почвы в качестве удобрения, содержащего цинк и серу. Обычно используется для основного внесения, внекорневой подкормки и при предпосевной обработке семян.

Для синтеза всех хелатных комплексов использовались реактивы квалификации ХЧ.

Оценка влияния хелатов цинка на прорастание семян тест-культур проводилась по таким показателям, как всхожесть (за 5 суток), энергия прорастания (за 3 суток), дружность прорастания (доля семян проросших за первые сутки прорастания), скорость прорастания (сумма средних чисел семян, прорастающих ежедневно), интенсивность начального роста проростков [8, с. 27]. Эксперимент проводился в лабораторных условиях. В качестве субстрата для проращивания семян использовался промытый речной песок, в который вносились

добавки хелатов цинка или сульфат цинка. Добавки вносились в виде растворов и тщательно перемешивались с субстратом. Доза, вносимых в субстрат добавок, составляла 60 мг цинка на 100 г субстрата. В качестве тест-культур использовались семена ячменя (сорт родник Прикамья) и редиса (сорт розово-красный с белым кончиком). Экспериментальные исследования выполнялись в трех повторностях. Полученные результаты подвергались статистической обработке в программе «Microsoft Excel» по общепринятым методикам.

### Результаты эксперимента и их обсуждение

В Табл. представлены результаты биотестирования различных хелатных комплексов цинка.

*Таблица*

#### Влияние различных хелатов цинка на прорастание семян тест-культур

Показатели	Тест культуры	Варианты эксперимента				
		ZnSO <sub>4</sub> + гуматы	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (OK) <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Zn	Zn-ЭДТА	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> P <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (ONa) <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Zn	ZnSO <sub>4</sub>
Всхожесть (5 суток), %	Ячмень	87,8±5,1	92,2±6,9	57,8±10,7	8,9±1,9	77,8±15,0
	Редис	74,4±6,9	68,9±15,7	16,7±3,3	20,0±5,1	85,5±5,0
Дружность прорастания, %	Ячмень	58,8±23,4	71,1±16,7	48,9±13,8	63,3±5,7	73,3±8,8
	Редис	36,6±3,3	42,2±11,7	4,4±1,7	4,4±1,7	51,1±18,3
Энергия прорастания (3 суток), %	Ячмень	70,0±29,0	82,2±5,1	48,9±13,9	68,9±6,9	75,5±11,7
	Редис	58,9±1,9	61,1±15,0	5,6±3,8	6,7±3,3	81,1±7,7
Скорость прорастания семян, дней	Ячмень	2,6±0,4	2,9±0,2	3,0±0,5	2,4±0,1	2,1±0,1
	Редис	3,7±0,1	3,4±0,2	4,3±0,5	3,8±0,4	3,4±0,0
Средняя масса зеленых проростков, г на 30 прорастиваемых семян	Ячмень	0,3±0,1	0,5±0,1	0,3±0,0	0,4±0,1	0,5±0,1
	Редис	0,36±0,02	0,28±0,03	0,07±0,05	0,17±0,14	0,43±0,09
Средняя длина корней, см	Ячмень	7,3±1,5	29,6±8,7	14,6±2,1	6,7±0,6	7,0±1,0
Средняя длина зеленых проростков, см	Ячмень	15,0±3,5	24,7±12,0	11,0±1,7	12,7±6,4	25,3±5,7
	Редис	8,0±1,0	16,3±2,3	5,0±1,0	7,0±5,0	8,7±0,6

Согласно полученным данным, наилучшие результаты достигаются при внесении в субстрат сульфата цинка и хелатного комплекса состава C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>P<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(OK)<sub>2</sub>O<sub>2</sub>Zn. Самые низкие результаты по большинству показателей получены для хелата Zn-ЭДТА. Отличительной особенностью комплекса C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>P<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(OK)<sub>2</sub>O<sub>2</sub>Zn является наличие в его составе подвижного калия – одного из основных элементов минерального питания растений. Потребность растений в калии особенно велика на ранних этапах развития проростков, этот элемент концентрируется преимущественно в молодых органах и тканях. В отличие от

$C_2H_3P_2O_2(OK)_2O_2Zn$  внесение в субстрат хелата состава  $C_2H_3P_2O_2(ONa)_2O_2Zn$  привело к существенному угнетению процессов прорастания семян тест-культур. Исходя из этого, есть основания предположить, что положительное влияние на прорастание семян и развитие проростков оказывает не столько хелатный комплекс цинка, сколько наличие в его составе калия.

Угнетающее действие  $C_2H_3P_2O_2(ONa)_2O_2Zn$  на прорастание семян может быть обусловлено бактерицидными свойствами ОЭДФК. Известно, что многие почвенные микроорганизмы (в том числе азотфиксирующие) оказывают положительное влияние, как на прорастание семян, так и на протекание ростовых и формообразовательных процессов в проростках, а угнетение полезной почвенной микрофлоры приводит к замедлению процессов прорастания [9, с.109].

Замедление процессов прорастания семян тест-культур при внесении в субстрат комплекса Zn-ЭДТА может быть обусловлено связыванием, содержащихся в субстрате катионов магния и других, необходимых для развития растений элементов в прочные хелатные комплексы, что вызывает ингибирование биохимических процессов в клетках. Особенно негативно на внесение в субстрат комплексов ЭДТА реагируют семена редиса.

Внесение в субстрат гуминовых комплексов цинка оказывает менее заметное влияние на прорастание семян, чем использование комплексов Zn-ЭДТА и  $C_2H_3P_2O_2(ONa)_2O_2Zn$ . Однако в присутствии гуминовых комплексов цинка семена прорастают хуже, чем в присутствии сульфата цинка.

### **Выводы:**

В ходе экспериментальной работы были синтезированы 4 различных по составу комплекса цинка с такими хелатирующими агентами, как ОЭДФК, Трилон Б и гуминовые вещества. Полученные комплексы были устойчивы в интервалах pH, благоприятных для подкормки растений.

С помощью биотестирования (метод проростков) была выполнена сравнительная оценка влияния полученных хелатов цинка и сульфата цинка на прорастание семян тест-культур. Показано, что метод проростков является доста-

точно чувствительным по отношению к наличию в субстрате различных хелатных комплексов цинка.

Установлено, что различные хелатные формы цинка оказывают различное влияние на прорастание семян. Наилучшие результаты наблюдаются при использовании сульфата цинка и  $C_2H_3P_2O_2(OK)_2O_2Zn$ . Положительное влияние  $C_2H_3P_2O_2(OK)_2O_2Zn$  на процессы прорастания семян тест-культур, скорее всего, связано с наличием в этом комплексе подвижного калия.

Полученные результаты могут быть использованы в практике современного земледелия при выборе наиболее эффективных форм микроудобрений. Результаты работы свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших исследований, направленных на изучение особенностей влияния различных по составу комплексонатов на развитие растений на разных стадиях жизненного цикла.

#### **Ссылки на источники:**

1. Вакуленко В.В. Регуляторы роста и микроудобрения – факторы повышения продуктивности культур // Защита и карантин растений. 2015. № 3. С. 43.
2. Сентемов В.В., Копысова Е.В. Микроудобрения: эффективность минеральных солей и координационных соединений при повышении урожайности и качества зерновых культур // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2012. №3 (32). С. 49–50.
3. Гейгер Е.Ю., Варламова Л.Д., Семенов В.В., Погодина Ю.В., Сиротина Ю.А. Микроудобрения на хелатной основе: опыт и перспективы использования // Агротехнический вестник. 2017. Т. 2, №2. С. 29–32.
4. Занозина О.Д., Шабанова И.В. Способ получения микроудобрения на основе биоактивных кислот // Научный альманах. 2016. № 6–2(19). С. 459–461.
5. Сырчина Н.В., Маркина Е.О. Влияние гуминовых удобрений на фитотоксичные свойства соединений меди // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 04–06 декабря 2017 г. Киров, 2017. С. 152–156.
6. Автухович И.Е., Постников Д.А. Влияние ЭДТА на поведение металлов в субстрате и их накопление растениями // Агротехнический вестник. 2014. №1. С. 23–25.
7. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Адсорбция тяжелых металлов почвами и горными породами /Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2009. 155 с.

8. Чеснокова С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды. Ч.2. Методы биотестирования. Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. 92 с.
9. Халык А.Е., Шырынбек М.К., Жанабай А.Г., Байгелова У.Х. Влияние азотфиксирующих микроорганизмов на всхожесть семян озимой пшеницы Красновоподская 210 при выращивании на суглинисто-сероземных почвах юга Казахстана // Успехи современного естествознания. 2014. № 8.С. 109–110.

© Сырчина Н.В., Козвонин В.А., Фадеева А.С.

Syrchina N.V., Kozvonin V.A., Fadeeva A.S.

Vyatka State University, Kirov

### **Comparative assessment of different chelated zinc microfertilizers by a biotesting method**

**Abstract:** One of the trends of the modern agricultural chemistry is the application of microfertilizers in chelates' form. The wide range of chelating agents of various chemical nature is used for receiving chelates. These agents have to exert particular impact on agrochemical efficiency of the relevant fertilizers. However there are not enough data in references allowing to obtain comparative information on features and effectiveness of various complexates. The aim of the study was to identify the influence of various chelate zinc complexes on seeds' germination of monocotyledonous and dicotyledonous test-cultures. The chelate zinc complexes with etidronic acid, disodium edetate (Trilon B) and humin substances received in lab were used for carrying out researches. Zinc sulfate heptahydrate ( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) was used as an inorganic zinc form. The additives in a dosage of 60 mg of zinc on 100 g of a substratum were brought. The seeds of barley (a cultivar «Rodnik Prikam'ya») and garden radish (a cultivar «Rozovo-krasnyj s belym konchikom») were used as test-cultures. According to the obtained data, the best results are achieved when zinc sulfate and chelate complex composition of  $C_2N_3P_2O_2(OK)_2O_2Zn$  are added to the substrate. The potassium's presence in  $C_2N_3P_2O_2(OK)_2O_2Zn$  causes high efficiency of fertilizer. The lowest results on the majority of indexes are received for chelate Zn-EDTA. The obtained results can be used in the practice of modern agriculture in the selection of the most effective forms of microfertilizers.

**Keywords:** chelate zinc complexes, microfertilizers, biotesting, zinc fertilizers.