

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСОНАТОВ МЕДИ (II), ОБРАЗОВАННЫХ С КОМПЛЕКСОНАМИ МОНОАМИННОГО ТИПА

Т.И. Смирнова¹, И.Г. Тумасьева¹, А.А. Петрова², В.М. Никольский³

¹Тверская государственная сельскохозяйственная академия, г. Тверь

²Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь

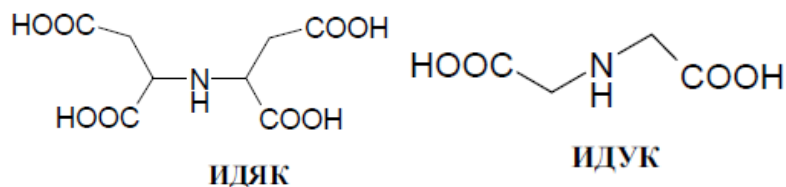
³Тверской государственной университет, г. Тверь

В полевых условиях исследовано влияние внекорневой обработки растворами комплексонов меди (II) на основе иминодиуксусной кислоты (Cu-ИДУК) и иминодиантарной кислоты (Cu-ИДЯК), а также и взятыми для сравнения растворами CuSO_4 и свободных лигандов ИДЯК и ИДУК. Обнаружено, что применение Cu-ИДЯК в наибольшей степени по сравнению с другими вариантами опыта увеличивает содержание хлорофилла в листьях, а ликопина и β -каротина в плодах томата.

Ключевые слова: соединения меди (II), комплексоны, комплексоны, фотосинтетические пигменты, ликопин, β -каротин, растения томата.

В микроколичествах соединения меди (II) входят в состав практически всех живых организмов, преимущественно, в форме комплексов с различными органическими лигандами [1], т.е. медь в живой природе выполняет функции необходимого для жизнедеятельности микроэлемента [2]. Особенностью меди, содержащейся в растениях в количестве 5 – 20 мкг/г сухой массы, является способность легко переходить из восстановленной формы Cu^+ в окисленную Cu^{2+} , участвуя в окислительно-восстановительных процессах растительного организма [3]. Более 50% меди в растениях находится в хлоропластах [4]. Медь вместе с железом [5] входит в состав терминальной оксидазы электроно-транспортной цепи – цитохромоксидазы. В хлоропластах, митохондриях, пероксисомах и цитозоле присутствует Cu-Zn-супероксиддисмутаза, где участвует в детоксикации супероксидов. Содержащая Cu^+ аскорбатоксидаза участвует в одной из важнейших реакций процесса фотосинтеза: восстановлении O_2 до H_2O [2]. В сельском хозяйстве препараты меди широко применяются в качестве фунгицидов и микроудобрений. Почвы Тверской области, особенно супеси и торфяники, характеризуются дефицитом большинства микроэлементов и меди в том числе. Однако, известно, что такие микроэлементы как медь, востребованы растениями [6]. Установлено, что наиболее доступны для растений микроэлементы в форме хелатных комплексов с полидентатными органическими

лигандами – комплексонами [7]. К сожалению, далеко не все широко применяемые известные комплексоны характеризуются экологической безопасностью [8-11]. По этой причине актуальными остаются исследования биологической эффективности различных комплексонов на основе новых экологически безопасных комплексонов [12,13]. К их числу относятся и комплексоны моноаминного типа, а именно иминодиуксусная и иминдиянтарная кислоты, ИДУК и ИДЯК, соответственно [14-16].



Целью представленной работы было исследование воздействия внекорневой обработки вегетирующих растений растворами иминодисукцината и иминодиацетата меди (II) на биохимический состав одной из самых распространённых овощных культур – томата обыкновенного *Solanum lycopersicum* L.

Экспериментальная часть

В условиях полевого опыта было изучено влияние внекорневой обработки растений томата растворами меди (II), хелатированной ИДУК и ИДЯК, а также взятыми для сравнения растворами CuSO_4 , ИДУК и ИДЯК, на содержание растительных пигментов в листьях, поскольку высокой уровень хлорофилла служит одной из важнейших предпосылок повышения урожайности сельскохозяйственных растений. В плодах томата определяли содержание двух преобладающих по массе каротиноидов: ликопина и β -каротина, обуславливающих их пищевую и диетическую ценность. В качестве опытного растения был взят сорт томата «Грот», пригодный для выращивания в открытом грунте. Растения в фазе бутонизации опрыскивали растворами CuSO_4 , Cu-ИДУК, Cu-ИДЯК, ИДУК и ИДЯК с концентрацией $7,0 \cdot 10^{-4}$ моль/л из расчёта $0,1 \text{ л/м}^2$. Контрольные растения опрыскивали дистиллированной водой в таком же объёме. Повторность вариантов опыта четырёхкратная. Площадь каждой делянки 2 м^2 , расположение рандомизированное. Определение содержания фотосинтетических пигментов в листьях и каротиноидов в плодах осуществляли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре СФ-56 в ацетоновом [17] и гексановом [18] экстрактах.

Результаты и их обсуждение

Как показали данные двухлетнего опыта, внекорневая обработка растений томата раствором медного купороса практически не повлияла

на уровень содержания фотосинтетических пигментов в листьях (табл. 1).

Таблица 1

Изменение содержания фотосинтетических пигментов в листьях томата (сорт «Грот») под действием внекорневой обработки, мг на 100 г сырого вещества

№ п/п	Действующее вещество раствора обработки	Фотосинтетические пигменты				Соотношение хлорофиллов <i>a/v</i>
		Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Хлорофилл <i>a+b</i>	Каротиноиды	
1	–	100	44	144	86	2,3
2	CuSO ₄	101	45	146	76	2,2
3	Cu-ИДУК	121	51	172	100	2,4
4	ИДУК	109	60	169	97	1,8
5	Cu-ИДЯК	114	66	180	94	1,7
6	ИДЯК	107	72	179	95	1,5

При созревании плодов внекорневая обработка растений томата раствором медного купороса негативно сказалась на содержании каротиноидов, вызвав понижение содержания ликопина на 44% и β-каротина на 31% (табл. 2).

Таблица 2

Изменение содержания важнейших каротиноидов в плодах томата (сорт «Грот») под действием внекорневой обработки, мг на 100 г сырого вещества

№ п/п	Действующее вещество раствора для обработки	ликопин	β-каротин
1	–	1,36	1,18
2	CuSO ₄	0,76	0,81
3	Cu-ИДУК	1,10	0,94
4	ИДУК	1,09	1,26
5	Cu-ИДЯК	1,71	1,90
6	ИДЯК	0,97	0,98

Комплексонаты меди (II) на основе ИДЯК и ИДУК, напротив, оказали стимулирующее влияние на биосинтез хлорофиллов и каротиноидов в листьях томата. Однако, содержание каротиноидов в плодах значительно возросло только в варианте с обработкой раствором Cu-ИДЯК. При использовании Cu-ИДУК содержание ликопина и β-каротина оказалось выше, чем в варианте с CuSO₄, но ниже, чем в контрольных растениях. Это даёт основания полагать, что при

внутриклеточной деструкции Cu-ИДЯК в растениях фрагменты лиганда могут использоваться при биосинтезе каротиноидов. Некоординированные комплексы приблизительно одинаково увеличивают содержание фотосинтетических пигментов в листьях, но несколько по-разному – содержание каротиноидов в плодах: ИДУК понижает уровень ликопина, но повышает содержание β -каротина; ИДЯК снижает содержание обоих пигментов, по-видимому, быстро включаясь как эффективный лиганд в процессы металло-лигандного обмена растительных клеток и изменяя скорости и направление протекания некоторых обменных реакций.

Все три препарата, содержащие медь, замедляли на 7-10 дней проявление фитофтороза. Первые признаки фитофтороза на контрольных растениях были отмечены 01.08.21 и 18.08.22 на растениях, обработанных медьсодержащими препаратами. Обработка растворами ИДЯК и ИДУК не повлияла на устойчивость растений к этому заболеванию.

По результатам проведённого в течение двух лет полевого опыта можно сделать вывод о том, что из пяти использованных препаратов наибольшую биологическую эффективность обнаружил иминодисулфинат меди (II), улучшающий пигментный состав листьев, пищевую ценность плодов томата и повышающий устойчивость растений к фитофторозу.

Список литературы

1. Злобин И.Е. // Вестник Томского госуниверситета. Биология. 2015. № 3 (31). С. 67-83.
2. Физиология растений (под ред. И.П. Ермакова). М. «Академия». 2007. 640 с.
3. Festa R.A., Thiele D.J. // Curr. Biol. 2011. 21. P. R877–R883.
4. Grotz N., Guerinot M.L. // Biochimica et Biophysica Acta. 2006. V. 1763. P. 595– 608.
5. Waters B.M., Armbrust L.C. // Plant Signal Behav. 2013.V. 8. Issue 12; <http://dx.doi.org/10.4161/psb.26611>.
6. Cambrollé J., Mancilla-Leytón J.M., MuñozVallés S. et al. // Environ Sci. Pollut. Res. Int. 2013. 20. P. 8839–8847.
7. Гейгер Е.Ю., Варламова Л.Д., Семенов В.В. и др. // Агрехимический вестник. 2017. № 2. С. 29-32.
8. Капаруллина Е.Н., Доронина Н.В, Ежов В.А. и др. // Прикл. биохим. микробиол. 2012. 48. 437.
9. Kemmei T., Kodama S., Fujishima H. et al. // Anal. Chim. Acta. 2012. 709. 54.
10. Кувичкина Т.Н., Капаруллина Е.Н., Доронина Н.В. и др. // Прикл. биохим. микробиол. 2012. 48. 626.
11. Капаруллина Е.Н., Доронина Н.В., Троценко Ю.А. // Прикл. биохим. микробиол. 2011. 47. 508.

12. Loginova E.S., Nikol'skii V.M., Tolkacheva L.N., Lukryanova N.I. // Russian Chemical Bulletin. 2016. 65. V. 9. P. 2206-2210.
13. Loginova E.S., Nikol'skii V.M. // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2017. V. 11. №4. P. 708 – 713.
14. Smirnova T.I., Khizhnyak S.D., Nikol'skii V.M. et al. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2017. V. 90. №4. P. 406-411.
15. Смирнова Т.И., Дроздов И.А., Павлов М.Н. // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. №6. С. 49-53.
16. Усанова З.И., Смирнова Т.И., Иванютина Н.Н. и др. // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». 2017. №3. С. 139-147.
17. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М. «Академия». 2003. 256 с.
18. Голубкина Н.А., Молчанов А.В, Тареева М.М. и др. // Физиология и биохимия растений. 2017. № 5. С. 96-99.

Об авторах:

СМИРНОВА Татьяна Ивановна – кандидат химических наук, доцент кафедры агрохимии, земледелия и лесопользования ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия» (170904, Тверская область, г. Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), 7); e-mail: tatsmi2013@mail.ru

ТУМАСЬЕВА Ирина Геннадьевна – кандидат химических наук, доцент кафедры агрохимии, земледелия и лесопользования ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия» (170904, Тверская область, г. Тверь, ул. Маршала Василевского (Сахарово), 7); e-mail: irina200915@mail.ru

ПЕТРОВА Алла Анатольевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур, (170041, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56); e-mail: a.petrova@fncl.ru

НИКОЛЬСКИЙ Виктор Михайлович – доктор химических наук, профессор кафедры неорганической и аналитической химии Тверского государственного университета, химико-технологический факультет, (170002, г. Тверь, Садовый переулок, 35); e-mail: p000797@mail.ru

**STUDY OF BIOLOGICAL ACTIVITY OF COPPER (II)
COMPLEXONATES FORMED WITH MONOAMINE-TYPE
COMPLEXONES**

T.I. Smirnova¹, I.G. Tumasieva¹, A.A. Petrova², V.M. Nikolskiy³

¹*Tver State Agricultural Academy, Tver*

²*Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver*

³*Tver State University, Tver*

In the field, the effect of out-of-root treatment with iminodiacetic acid (Cu-IDA) -iminodisuccinic acid (Cu-IDS) -based solutions of copper (II) complexonates and CuSO₄ and free ligand solutions of IDA and IDS were investigated. The use of Cu-IDS has been found to increase the content of chlorophyll in leaves, and lycopene and β -carotene in tomato fruits to the greatest extent compared to other test variants.

Keywords: *copper (II) compounds, complexones, complexonates, photosynthetic pigments, lycopene, β -carotene, tomato plants.*