

УДК 541.49:581.1

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ (II) НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ ТОМАТОВ

**Смирнова Т.И.**, кандидат химических наук, доцент,

**Тумасьева И.Г.**, кандидат химических наук, доцент,

**Шилова О.В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

*ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА», г. Тверь, Россия*

Соединения меди (II) в микроколичествах входят в состав практически всех живых организмов, преимущественно, в форме комплексов с различными органическими лигандами, т.е. медь в живой природе выполняет функции необходимого для жизнедеятельности микроэлемента [1]. Особенностью меди, содержащейся в растениях в количестве 5-20 мкг/г сухой массы, является способность легко переходить из восстановленной формы  $\text{Cu}^+$  в окисленную  $\text{Cu}^{2+}$ , участвуя в окислительно-восстановительных процессах растительного организма. Более 50% меди в растениях находится в хлоропластах. Медь вместе с железом входит в состав терминальной оксидазы электрон-транспортной цепи – цитохромоксидазы. Cu-Zn-супероксиддисмутаза присутствует в хлоропластах, митохондриях, пероксисомах и цитозоле, где участвует в детоксикации супероксидов. Содержащая  $\text{Cu}^+$  аскорбатоксидаза участвует в одной из важнейших реакций процесса фотосинтеза: восстановлении  $\text{O}_2$  до  $\text{H}_2\text{O}$  [1].

В сельском хозяйстве препараты, содержащие медь широко применяются в качестве фунгицидов и микроудобрений. Почвы Тверской области, как мелиорированные, так и немелиорированные, характеризуются дефицитом большинства микроэлементов и меди в том числе. Уже более полувека известно, что микроэлементы-металлы наиболее доступны для

растений в форме хелатных комплексов с полидентатными органическими лигандами – комплексонами [2]. Однако далеко не все широко применяемые и достаточно давно известные комплексоны характеризуются значительной биологической активностью и экологической безопасностью. По этой причине актуальным остаётся исследование агрохимической эффективности различных комплексонов на основе новых экологически безопасных комплексонов. К числу таких лигандов относятся иминодиуксусная и иминодиантарная кислоты, ИДУК и ИДЯК, соответственно [3-5].

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

### **Экспериментальная часть**

В полевом опыте было изучено влияние внекорневой обработки растений томата растворами меди (II), хелатированной ИДУК и ИДЯК, а также взятыми для сравнения растворами  $\text{CuSO}_4$ , ИДУК и ИДЯК, на содержание растительных пигментов в листьях, поскольку высокий уровень хлорофилла служит одной из важнейших предпосылок повышения урожайности сельскохозяйственных растений. В плодах томата определяли содержание преобладающих по массе каротиноидов: ликопина и  $\beta$ -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  $\text{CuSO}_4$ , Cu-ИДУК, Cu-ИДЯК, ИДУК ИДЯК с концентрацией  $7,0 \times 10^{-4}$  моль/л из расчёта 0,1 л/м<sup>2</sup>. Контрольные растения опрыскивали дистиллированной водой в таком же объёме. Повторность вариантов четырёхкратная. Площадь каждой делянки 2 м<sup>2</sup>, расположение

рендомизированное. Определение содержания фотосинтетических пигментов в листьях и каротиноидов в плодах осуществляли спектрофотометрическим методом в ацетоновом [6] и гексановом экстрактах, соответственно (спектрофотометр СФ-56) [7].

### 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), а при созревании плодов негативно сказалась на содержании каротиноидов, вызвав понижение содержания ликопина на 44% и  $\beta$ -каротина на 31% (табл. 2).

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				Хлорофилл <i>a/b</i>
		Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Хлорофилл <i>a+b</i>	Каротиноиды	
1	–	100	44	144	86	2,3
2	CuSO <sub>4</sub>	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

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 <sub>4</sub>	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 CuSO<sub>4</sub>, но ниже, чем в контрольных растениях. Это даёт основания полагать, что при внутриклеточной деструкции Cu-ИДЯК в растении фрагменты лиганда могут использоваться при биосинтезе каротиноидов. Некоординированные комплексоны приблизительно одинаково увеличивают содержание фотосинтетических пигментов в листьях, но несколько по-разному – на 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. Обработка растворами ИДЯК и ИДУК не повлияла на устойчивость растений к этому заболеванию.

По результатам осуществлённого полевого опыта можно сделать вывод о том, что из пяти использованных препаратов наибольшую биологическую эффективность обнаружил иминодисукцинат меди (II), улучшающий пигментный состав листьев и плодов томата и повышающий устойчивость растений к фитофторозу.

### Список литературы

1. Физиология растений (под ред. И.П. Ермакова). М. «Академия», 2007 – 640 с.
2. Дятлова Н.М., Тёмкина В.Я., Попов К.И. / Комплексоны и комплексонаты металлов. М.: Химия, 1988. – 544 с.
3. Smirnova T.I., Khizhnyak S.D., Nikol'skii V.M., Khalyapina Y.M., Rakhomov P.M. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2017. Vol. 90. No. 4. P. 406-411. DOI: 10.1134/S1070427217040024.
4. Смирнова Т.И., Дроздов И.А., Павлов М.Н. // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 6. С.49-53.
5. Усанова З.И., Смирнова Т.И., Иванютина Н.Н., Павлов М.Н., Булюкина О.А. // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». 2017. № 3. С. 139-147.
6. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М. «Академия». 2003. 256 с.
7. Голубинан А., Молчанов А.В, Тареева М.М. и др.// Физиология и биохимия растений. 2017. № 5. С. 96-99.

*Дата поступления рукописи в редакцию: 09.07.2022 г.  
Дата подписания в печать: 17.09.2022 г.*