

УДК 541.49:581.1:577.115
DOI 10.26456/vtchem2021.3.19

ВОЗДЕЙСТВИЕ КОМПЛЕКСОНОВ, ПРОИЗВОДНЫХ ЯНТАРНОЙ КИСЛОТЫ, НА ОБРАЗОВАНИЕ КАРОТИНОИДОВ В ЗЕЛЁНЫХ РАСТЕНИЯХ

Т.И. Смирнова¹, И.Г. Тумасьева¹, Л.Н. Толкачева¹,
В.М. Никольский²

¹Тверская государственная сельскохозяйственная академия, г.Тверь

²Тверской государственный университет, . Тверь

На основании обобщения результатов многолетних лабораторных и полевых опытов обнаружена зависимость уровня содержания жёлтых фотосинтетических пигментов в растениях от внекорневой обработки растворами комплексонов. Комплексоны, производные янтарной кислоты (иминодиянтарная кислота, этилендиаминдиянтарная кислота, диаминоциклогександиянтарная кислота) способствуют накоплению каротиноидов в зелёных растениях, а этилендиаминтетрауксусная кислота существенно не влияет на их содержание.

Ключевые слова: комплексоны, производные янтарной кислоты; хелатирующее действие; каротиноиды; биологическая активность.

Биологическая активность химических соединений, в том числе и комплексонов, определяется способностью воздействовать на динамическое биохимическое равновесие в органах и системах живых организмов. Наиболее эффективными хелатирующими веществами, отличающимися экологической безопасностью, зарекомендовали себя комплексоны, производные янтарной кислоты (КПЯК), например, иминодиянтарная кислота (ИДЯК), этилендиаминдиянтарная кислота (ЭДДЯК), диаминоциклогександиянтарная кислота (ДЦГДЯК) [1]. В сельскохозяйственном производстве комплексоны используются в качестве микроудобрений и добавок к кормам животных. Среди выпускаемых промышленностью комплексонов преобладают хелаты на основе этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТУК). Этот комплексон, наряду с высокой хелатирующей способностью, обладает и высокой химической устойчивостью. Из-за этого, попадая в окружающую среду, ЭДТУК и её соединения накапливаются в мировом океане, т.к. практически не разлагаются в окружающей среде и поэтому являются одними из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды [2,3]. В противовес указанному классическому комплексону, создан новый класс комплексонов, производных дикарбоновых кислот [4-6], которые в природных условиях быстро подвергаются физико-химической и биологической деструкции [7-9] не загрязняя окружающую среду, что делает их привлекательными в плане

практического использования. При поступлении в растительный организм комплексоны вызывают количественные изменения биохимического состава, что можно проследить по изменению содержания растительных пигментов, например, каротиноидов. Каротиноиды, наравне с хлорофиллами и антоцианами, являются наиболее распространенным классом растительных пигментов. Молекулы каротиноидов содержат до 40 атомов углерода и построены из 8-ми изопреновых фрагментов, образующих полиизопреноидную цепь с системой сопряжённых связей. В зависимости от длины цепи сопряжения окраска каротиноидов изменяется от жёлтой до оранжевой или интенсивно красной [10].

В организмах человека и животных α - и β - каротины присутствуют как предшественники витамина А. В растениях функции каротиноидов весьма многообразны. Основные из них – участие в процессах фотосинтеза и исполнение фотозащитной функции. Кроме того, каротиноиды выполняют и роль антиоксидантов. На организм человека они оказывают антиканцерогенное, иммуномодулирующее, радиопротекторное, фотозащитное действие, способствуют укреплению зрения.

Структурные формулы типичных каротиноидов приведены на рис.1 .

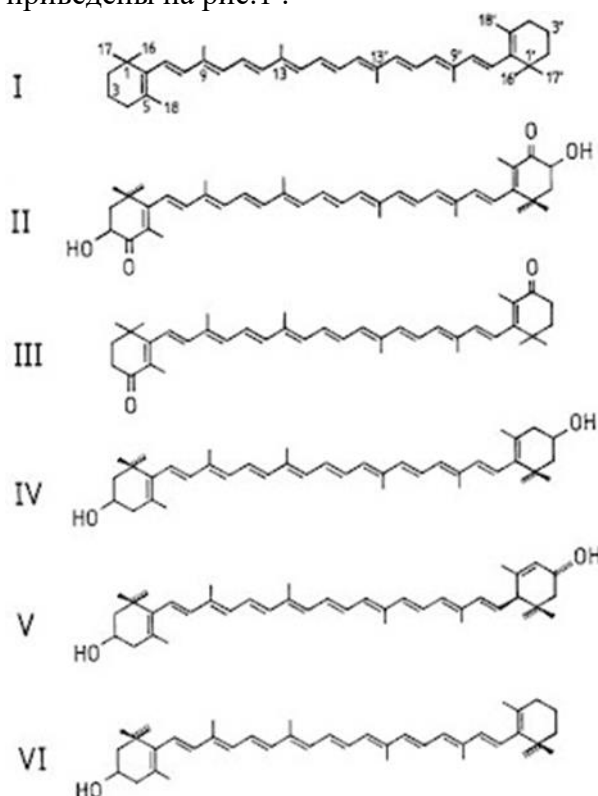


Рис 1. Химическая структура некоторых каротиноидов:

- I - β - каротин;
- II - астаксантин;
- III - кантаксантин;
- IV - зеаксантин;
- V - лютеин;
- VI - β -криптоксантин

Экспериментальная часть

Целью эксперимента было исследование биологической активности некоординированных комплексов: иминодиянтарной кислоты, этилендиаминдиянтарной кислоты и диаминоциклогександиянтарной кислоты в сравнении с биологической активностью эталонного комплекса этилендиаминтетрауксусной кислоты. В контрольных опытах семена испытываемых растений обрабатывались дистиллированной водой.

В лабораторных опытах проращиваемые семена опытных растений (яровой пшеницы, тритикале, льна-долгунца) на сутки замачивали в растворах комплексов с концентрацией 0,0015 моль/л при $t = 22 \pm 1^{\circ} \text{C}$ и проращивали на фильтровальной бумаге в чашках Петри в течение 10 дней.

При выполнении полевых опытов вегетирующие растения однократно (за исключением семян свёклы столовой) обрабатывали растворами комплексов с концентрацией 0,0015 моль/л. Обработку растений свёклы осуществляли дважды с интервалом в три недели. Все опыты выполняли в четырёхкратной повторности. Содержание каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом (спектрофотометр СФ-56) [11].

Результаты и их обсуждение

Судя по результатам опытов разных лет, поставленных на различных растениях (однодольных и двудольных; овощных, злаковых, зеленных и лекарственных), внекорневая обработка растворами ИДЯК и ЭДДЯК способствует увеличению содержания каротиноидов в зелёных частях (листьях) растений, уже начиная с фазы проростков (табл. 1, 2).

Таблица 1

Изменение содержания каротиноидов в листьях зелёных растений под действием внекорневой обработки растворами комплексов, мг/100 г сырого вещества

№ п/п	Растение	Вариант	Комплексы		
			ЭДТУК	ЭДДЯК	ИДЯК
1	Каланхоэ перистое <i>Kalanchoe pinnata L.</i>	контроль		4,8 ± 0,1	
		опыт		12,3 ± 0,1	
2	Капуста белокочанная <i>Brassica oleracea L.</i>	контроль		31,4 ± 0,4	
		опыт		35,6 ± 0,1	

3	Капуста краснокочан. <i>Brassica oleracea convar. capitata rubra L.</i>	контроль		23,9 ± 0,5	
		опыт		39,2 ± 0,3	
4	Одуванчик лекарствен. <i>Taraxacum officinale Wigg.</i>	контроль		60 ± 0,5	
		опыт		71 ± 0,4	
5	Петрушка обыкновен. <i>Peucedanum petroselinum L.</i>	контроль		76,6 ± 0,2	
		опыт		84,6 ± 0,7	
6	Пшеница яровая <i>Triticum aestivum L.</i>	контроль		78 ± 0,5	
		опыт		85 ± 0,5	
7	Свёкла столовая <i>Beta vulgaris L.</i>	контроль	26,4 ± 0,6	26,4 ± 0,6	26,4 ± 0,6
		опыт	25,7 ± 0,3	90,8 ± 0,2	91,0 ± 0,3
8	Укроп огородный <i>Anethum graveolens L.</i>	контроль			30 ± 1,0
		опыт			39 ± 1,0
9	Фасоль обыкновен. <i>Phaseolus vulgaris L.</i>	контроль	90 ± 2,0		90 ± 2,0
		опыт	89 ± 2,0		111 ± 1,0
10	Шпинат огородный <i>Spinacea oleracea L.</i>	контроль	110 ± 1,0	110 ± 1,0	110 ± 1,0
		опыт	92 ± 1,0	119 ± 1,0	117 ± 1,0

Таблица 2

Изменение содержания каротиноидов в проростках культивируемых растений, мг/100 г сырого вещества

№ п/п	Вид растения	Вариант	Комплексоны		
			ЭДТУК	ЭДДЯК	ДЦГДЯК
1	Пшеница яровая <i>Triticum aestivum L.</i>	контроль		13,1 ± 0,1	
		опыт		20,6 ± 0,2	
2	Тритикале <i>Triticose cale Wittm.</i>	контроль	41 ± 2,0	41 ± 2,0	
		опыт	34 ± 1,0	49 ± 1,0	
3	Лён-долгунец <i>Linum usitatissimum L.</i>	контроль		45,4 ± 1,0	45,4 ± 1,0
		опыт		54,2 ± 0,9	38,0 ± 1,5

Как показал опыт на свёкле столовой, двукратная обработка в значительно большей степени усиливает положительный эффект, Можно полагать, что КПЯК, попадая в растение, подвергаются ферментативной деструкции с образованием продуктов, способных включаться в метаболические процессы растительного организма. ЭДТУК, как можно видеть по результатам исследований, или не поглощается надземной частью растений, или частично проникая в растительные клетки и инактивируя металлоферменты, вызывает нарушение металло-лигандного гомеостаза. Это подтверждается и уменьшением содержания каротиноидов в растениях при данном варианте внекорневой обработки.

Представленный анализ результатов опытов позволяет сделать вывод о том, что в растениях КПЯК подвергаются ферментативной деструкции с образованием продуктов, способных включаться в метаболические процессы растительного организма, что подтверждается увеличением урожайности культивируемых растений и обогащением растительных организмов биологически активными веществами [12,13].

Список литературы

1. Горелов И.П., Самсонов А.П., Никольский В.М. и др. Синтез и комплексообразующие свойства комплексонов, производных дикарбоновых кислот. V. Синтез комплексонов, производных янтарной кислоты // Журнал общей химии, 1979, Т. 49, №3, С. 659–663.
2. Chistyakova T.I., Belikova V.L., Salrouldinov A.D., Dedyukhina E.G., Eroshin V.K. // World J. Microbiol. Biotechnol, 2003, V. 19, No 9, P. 977–980. doi.org/10.1023/B:WIBI.0000007415.50506.3a
3. Loginova, E.S., Nikol'skii V.M., Tolkacheva L.N., Luk'yanova N.I. Synthesis and some properties of complexones, succinic acid derivatives // Russian Chemical Bulletin, 2016, V. 65, No. 9, P. 2206 – 2210. DOI: 10.1007/s11172-016-1569-7
4. Gridchin, S.N., Nikol'skii, V.M., Tolkacheva, L.N. Potentiometric determination of the ionization constants of ethylenediamine-N,N'-diglutamic acid at 298.15 K // Russian Journal of Physical Chemistry A, 2014, V. 88, No. 10, P. 1813–1816. DOI: 10.1134/S0036024414100148
5. Gridchin S.N., Nikol'skii V.M., Tolkacheva L.N. Stability Constants of the Complexes of Ethylenediamine-N,N'-diglutamic Acid with Zinc, Cadmium, Cobalt, and Manganese (II) Ions // Russian Journal of Inorganic Chemistry, 2015, V. 60, No. 3, P. 383–386. DOI: 10.1134/S0036023615030079
6. Biberina E.S., Nikol'skii V.M., Feofanova M. A. Specific properties of 3d metal complexes with optical isomers of complexones derived from dicarboxylic amino acids // Russian Chemical Bulletin, 2020, V. 69, No. 10, P. 1916–1922. Doi.org/10.1007/S11172-020-2978-1

7. Smirnova T.I., Khizhnyak S.D., Nikol'skii V.M., Khalyapina Y.M., Pakhomov P.M. // Russian Journal of Applied Chemistry, 2017, V. 90, No. 4, P. 406–411. DOI: 10.1134/S1070427217040024.
8. Loginova E. S., Nikol'skii V. M. Biodegradable Chelating Agents. Effect of Optical Isomerism on the Physicochemical Characteristics // Russian Journal of Physical Chemistry B, 2017, V. 11, No. 4, P. 708–713. DOI: 10.1134/S1990793117040200
9. Смирнова Т.И., Дроздов И.А., Павлов М.Н. // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 6. С. 49–53.
10. Дадали В.А., Тутельян В.А., Дадали Ю.В., Кравченко Л.В. // Вопросы питания, 2011, Т. 80, № 4, С. 4–18. DOI: [10.18412/1816-0395-2021-6-49-53](https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-6-49-53)
11. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. М.: «Академия», 2003, 256 с.
12. Петрова А.А., Смирнова Т.И., Павлов М.Н., Варламова А.А., Никольский В.М. // Вестник ТвГУ. Серия «Химия», 2020, Вып. 2 (40), С. 143–149. DOI 10.26456/vtchem2020.2.18
13. Усанова З.И., Смирнова Т.И., Иванютина Н.Н., Павлов М.Н., Булюкина О.А. // Вестник ТвГУ. Серия «Химия», 2017, № 3, С. 139–147.

Об авторах:

СМИРНОВА Татьяна Ивановна – кандидат химических наук, доцент кафедры агрохимии и земледелия, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Маршала Василевского, д. 7, Сахарово, Тверская обл., e-mail: tatsmi2013@mail.ru

ГУМАСЬЕВА Ирина Геннадьевна – кандидат химических наук, доцент кафедры агрохимии и земледелия, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Маршала Василевского, д. 7, Сахарово, Тверская обл., e-mail: irina200915@mail.ru

ТОЛКАЧЕВА Людмила Николаевна – кандидат химических наук, доцент кафедры агрохимии и земледелия, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Маршала Василевского, д. 7, Сахарово, Тверская обл., e-mail: varlamova.l@mail.ru

НИКОЛЬСКИЙ Виктор Михайлович – доктор химических наук, профессор кафедры неорганической и аналитической химии, Тверской государственный университет, г. Тверь, ул. Желябова, д. 33, e-mail: p000797@tversu.ru

EFFECT OF COMPLEXONS, DERIVATIVES OF SUCCINIC ACID, ON THE FORMATION OF CAROTENOIDS IN GREEN PLANTS

**T.I. Smirnova¹, I.G. Tumaseva¹, L.N. Tolkacheva¹,
V.M. Nikolsky²**

¹Tver State Agricultural Academy, Tver

²Tver State University, Tver

Based on the generalization of the results of many years of laboratory and field experiments, the dependence of the content of yellow photosynthetic pigments in plants on foliar treatment with solutions of complexones was found. Complexones, derivatives of succinic acid (iminodisuccinic acid, ethylenediaminedisuccinic acid, diaminocyclohexanedisuccinic acid) contribute to the accumulation of carotenoids in green plants, and ethylenediaminetetraacetic acid does not significantly affect their content.

Keywords: *complexones, derivatives of succinic acid; chelating action; carotenoids; biological activity.*