

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТЕНИЙ ОГУРЦА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАНОЧАСТИЦ ZnO

А.А. Буренина, Т.П. Астафурова, Е.Н. Сурнина

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск, Россия, baa888@mail.ru, garden-tsu@mail.ru, agronomia@mail.tsu.ru

Аннотация. Изучено влияние суспензии наночастиц ZnO на морфометрические и функциональные параметры огурца (*Cucumis sativus* L.). Обнаружено, что обработка субстрата наночастицами ZnO в концентрации 5 мг/кг почвы привела к ускорению роста и развития растений огурца, увеличению площади ассимилирующей поверхности и содержания суммы хлорофиллов в листьях, сухой массы надземной части и корневой системы растений. Общая урожайность огурца в опытном варианте превышала контрольный на 36%.

Ключевые слова: *Cucumis sativus* L., наночастицы ZnO, интенсивность фотосинтеза, хлорофилл, флавоноиды

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-1199-1202

Последние десятилетия характеризуются интенсивным использованием наноматериалов в различных сферах народного хозяйства. Повышенный интерес исследователей к наночастицам вызван их необычными физическими и химическими свойствами, а также особенностями биологического действия. Наночастицы металлов обладают пролонгированным действием, что выражается в их продолжительном влиянии на регуляцию минерального питания растений, углеводный обмен, синтез аминокислот, реакции фотосинтеза и дыхание клеток [Чурилов, Амплеева, 2010]. Наночастицы оксида цинка (НЧ ZnO) относятся к числу наиболее распространенных наночастиц, поэтому их влияние на растения в настоящее время интенсивно изучается [Rico et al., 2011].

Целью данной работы являлось выявление воздействия НЧ ZnO на морфологические и физиолого-биохимические показатели растений огурца.

Суспензию НЧ ZnO получали методом лазерной абляции ZnO в дистиллированной воде, средний размер (Δ_{50}) НЧ ZnO составлял 20 нм. Объектом исследования являлся огурец (*Cucumis sativus* L.), сорт Маша. Растения выращивали в теплице учебно-экспериментального хозяйства Сибирского ботанического сада (СибБС) ТГУ (г. Томск). Площадь делянок 1 м², каждый вариант опыта заложен в трех повторностях. Почвогрунт опытных вариантов поливали суспензией наночастиц ZnO в концентрации 5 мг на 1 кг почвы перед посевом семян и через 55 дней после посева. Содержание суммы хлорофиллов и флавоноидов определяли на портативном приборе Dualex 4 (Франция). Для измерения интенсивности фотосинтеза и транспирации использовали портативный инфракрасный газоанализатор Li-6400, LI-COR (USA) с открытой системой. Статистическая обработка данных проведена с помощью пакета Statistica 8.0. На рисунке представлены средние арифметические значения и их стандартные ошибки. Достоверными считали различия с вероятностью ошибки p , не превышающей 0,05.

Проведенные исследования показали, что всходы появлялись одновременно во всех вариантах эксперимента на 6-й день после посева. Затем растения в варианте с НЧ ZnO опережали в росте и развитии контрольные. Через месяц выращивания у контрольных растений было сформировано 4 листа, в варианте с НЧ ZnO – 6. Опытные растения раньше вступили в фазу плодоношения (56 дней), а в то время как контрольные еще находились в фазе цветения.

Внесение НЧ ZnO в субстрат для выращивания положительно влияло на высоту растений, в начале вегетации на 50% и более (рис. 1 а). К концу вегетации различия не наблюдались, что связано, по-видимому, с предельными ростовыми параметрами сорта, заложенными генетически.

Суммарная площадь ассимилирующей поверхности листьев на растениях в опыте с НЧ ZnO во все сроки исследования была значительно больше, чем у контрольного варианта. Максимальное превышение было у 29-дневных растений – более чем на 100%, а у 56-дневных различий выявлено не было (рис. 1 б).

Более быстрый рост растений в опыте с НЧ ZnO определил увеличение сухой массы как надземной части, так и корневой системы растений в различные сроки выращивания. У 29-дневных растений огурца в варианте с НЧ ZnO сухая масса надземной части превышала контроль в 2,4 раза, а корня в 2,3 раза, у 36-дневных – в 2 и в 1,5 раза соответственно (рис. 1 в, г). В последний срок измерений достоверных отличий весовых параметров между вариантом с НЧ ZnO и контролем обнаружено не было. Полученные результаты согласуются с литературными данными о действии наночастиц ZnO на морфометрические параметры растений. Так, L. Zhao с соавт. [2013] установили, что НЧ ZnO в концентрации 400 и 800 мг/кг почвы не оказали отрицательного влияния на ростовые параметры растений огурца, кроме того, сухая масса корня была увеличена на обеих концентрациях на 10,5% и 63% соответственно. Аналогичный результат получен для сои, где под влиянием НЧ ZnO в концентрации 0,5 г/кг почвы увеличилась сухая биомасса растений [Priester et al., 2012].

Известно, что изменение условий выращивания оказывает влияние на физиолого-биохимические показатели растений, связанные, прежде всего, с фотосинтезом. Показано, что НЧ ZnO вызывают неоднозначное влияние на содержание хлорофилла в листьях растений. Например, Prasad с соавт. [2012] сообщили о повышении содержания хлорофилла в листьях арахиса на 42% при воздействии НЧ ZnO (25 нм) в концентрации 1000 ppm. Zhao с соавт. [2013] выявили тенденцию к увеличению суммы хлорофиллов в листьях огурца при воздействии НЧ ZnO в концентрации 400 и 800 мг/кг почвы. В то же время Mukherjee с соавт. [2014] отметили снижение относительного содержания хлорофилла в листьях гороха после 25 дней культивирования растений при воздействии ZnO NP (10 нм) в концентрации 125, 250 и 500 мг/кг почвы. Dimkra с соавт. [2012] также сообщили об уменьшении содержания хлорофилла в листьях пшеницы на 37% по сравнению с контролем при воздействии НЧ ZnO (<100 нм) в концентрации 500 мг Zn/кг песка. Нами было обнаружено, что почвенное внесение НЧ ZnO практически не оказывало влияния на содержание хлорофилла (данные не представлены) и снижало интенсивность фотосинтеза 19–25% по сравнению с контрольным вариантом в расчете на единицу площади листа (рис. 1 д). Но при пересчете этих параметров на суммарную площадь ассимилирующей поверхности растений содержание хлорофилла и интенсивность фотосинтеза достоверно увеличивались.

В ответ на воздействие тяжелых металлов в растениях обычно происходит накопление вторичных веществ фенольной природы, которые образуют комплексы с тяжелыми металлами, инактивируя их действие. В условиях нашего эксперимента количество флавоноидов во все сроки анализа снижалось в опытных вариантах по сравнению с контролем от 15 до 27% (рис. 1 е). Полученные результаты могут свидетельствовать о том, что воздействие наночастиц ZnO в концентрации 5 мг/кг почвы не вызывают оксидативный стресс и деструктивные изменения в листьях огурца, а наоборот, способствуют усилению синтетических процессов и накоплению биомассы.

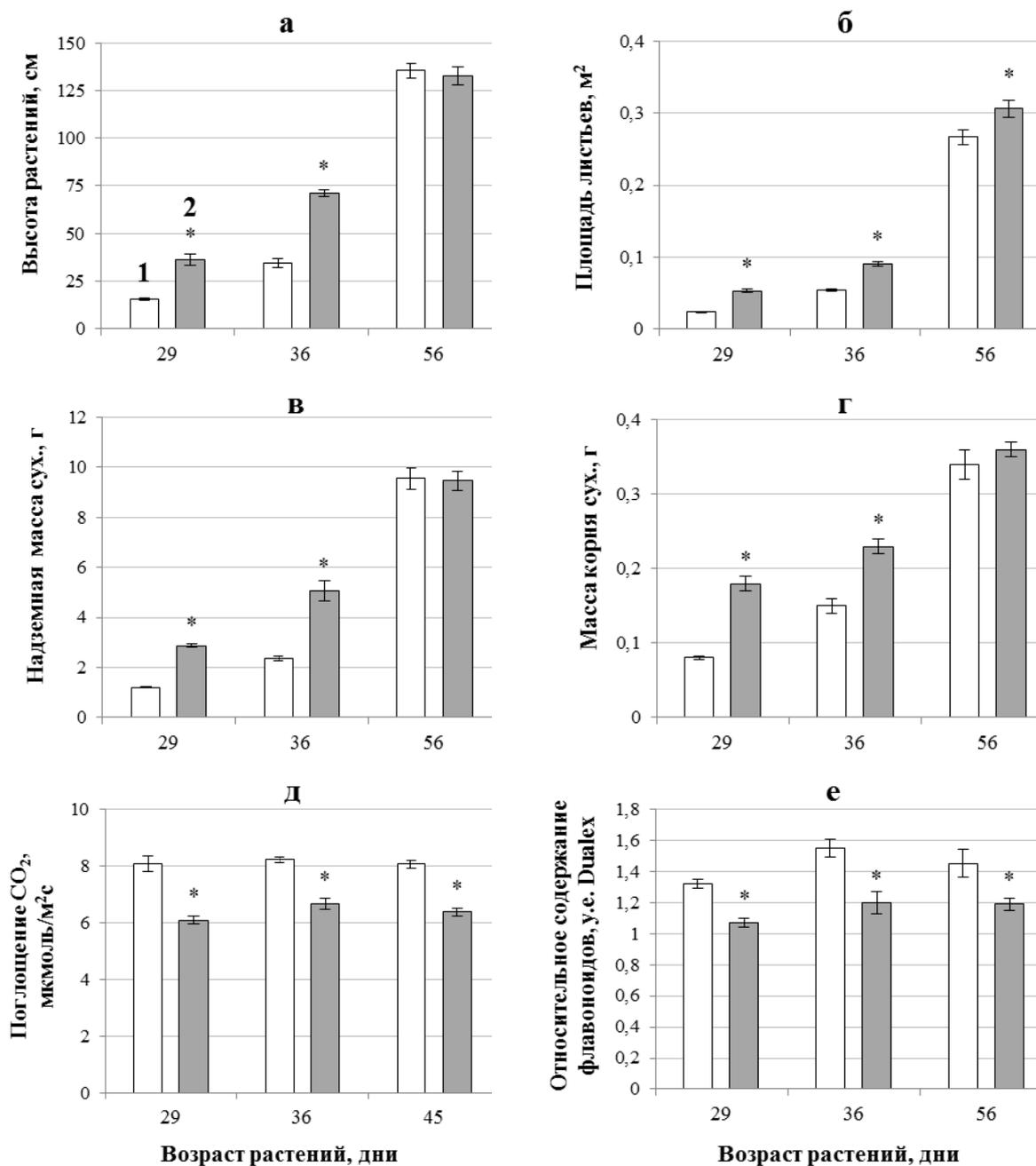


Рис. 1. Влияние наночастиц ZnO на морфометрические и физиологические параметры растений огурца: высоту растений (а), площадь листьев (б), сухая масса надземной части (в), сухая масса корня (г), интенсивность фотосинтеза (д), содержание суммы флавоноидов (е). Обозначения: 1 – контроль; 2 – вариант опыта с внесением наночастиц ZnO в почву; *достоверные отличия между контролем и опытом при $p \leq 0,05$.

Ускоренный рост растений, большая площадь ассимилирующей поверхности и накопление биомассы способствовали тому, что у растений на субстрате, содержащем НЧ ZnO, увеличилась общая урожайность, которая превысила контрольные растения на 36 % [Astafurova et al., 2017].

Таким образом, обработка почвы наночастицами ZnO в концентрации 5 мг/кг почвы привела к увеличению основных структурно-функциональных показателей, ускоряющих рост и развитие растений огурца и способствующих повышению урожайности.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России, проект № 37.7810.2017/8.9.

Литература

Чурилов Г.И., Амплеева Л.Е. Биологическое действие наноразмерных металлов на различные группы растений. – Рязань: Изд-во РГАТУ, 2010. – 148 с.

Astafurova T.P., Burenina A.A., Suchkova S.A., Zotikova A.P., Kulizhskiy S.P., Morgalev Y.N. Influence of ZnO and Pt nanoparticles on cucumber yielding capacity and fruit quality // Nano Hybrids and Composites. – 2017. – No. 13. – P. 142–148.

Dimkpa C.O., Mclean J.E., Latta D.E., Managon E., Britt D.W., Johnson W.P., Boyanov M.I., Anderson A.J. CuO and ZnO nanoparticles: phytotoxicity, metal speciation, and induction of oxidative stress in sand-grown wheat // J. Nanopart. Res. – 2012. – No. 14. – P. 1125–1129.

Mukherjee A., Peralta-Videa J.R., Bandyopadhyay S., Rico C.M., Zhaobc L., Gardea-Torresdey J.L. Physiological effects of nanoparticulate ZnO in green peas (*Pisum sativum* L.) cultivated in soil // Metallomics – 2014. – No. 6. – P. 132–138.

Prasad T.N.V.K.V., Sudhakar P., Sreenivasulu Y., Latha P., Munaswamy, V., Reddy K.R., Sreepasad T.S., Sajanlal P.R., Pradeep T. Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut // J. Plant Nutr. – 2012. – No. 35. – P. 905–927.

Priester J.H., Ge, Y., Mielke R.E., Horst A.M., Moritz S.C., Espinosa K., Gelb J., Walker S.L., Nisbet R.M., An Y., Schimel J.P., Palmer R.G., Hernandez-Viezcas J.A., Zhao L., Gardea-Torresdey J.L., Holden P.A. Soybean susceptibility to manufactured nanomaterials with evidence for food quality and soil fertility interruption // PNAS. – 2012. – No. 109. – P. 14734–14735.

Rico C. M., Majumdar S., Duarte-Gardea M.I.O., Peralta-Videa J.R., Gardea-Torresdey J. L. Interaction of nanoparticles with edible plants and their possible implications in the food chain // J. Agric. Food Chem, 2011. – No. 59. – P. 3485–3498.

Zhao L., Sun Y., Hernandez-Viezcas J. A., Servin A., Hong J., Niu G., Peralta-Videa J. R., Duarte-Gardea M., Gardea-Torresdey J.L. Influence of CeO₂ and ZnO nanoparticles on cucumber physiological markers and bioaccumulation of Ce and Zn: a life cycle study // J. Agric. Food Chem. – 2013. – No. 61. – P. 11945–11951.

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF CUCUMBER PLANTS UNDER THE INFLUENCE OF ZnO NANOPARTICLES

A.A. Burenina, T.P. Astafurova, E.N. Surnina

Tomsk State University, Tomsk, Russia, baa888@mail.ru, garden-tsu@mail.ru, agronomia@mail.tsu.ru

Abstract. The influence of a suspension of ZnO nanoparticles on the morphometric and functional parameters of cucumber (*Cucumis sativus* L.) was studied. It was found that the treatment of the substrate with ZnO nanoparticles at a concentration of 5 mg/kg soil led to an acceleration in the growth and development of cucumber plants, an increase in the area of the assimilating surface and the content of chlorophyll in leaves, the dry mass of the aerial part and the root system of plants. The total yield of cucumber in the experimental version exceeded the control by 36%.

Keywords: *Cucumis sativus* L., ZnO nanoparticles, photosynthesis intensity, chlorophyll, flavonoids