

**ИНСТИТУТ ФИЗИОЛОГИИ
РАСТЕНИЙ им. К.А.ТИМИРЯЗЕВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**



МАТЕРИАЛЫ

**Всероссийской научной конференции
с международным участием,
школы для молодых ученых**

«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И БИОТЕХНОЛОГИЯ: ИСТОРИЯ И ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ»

**и Годичного собрания Общества
физиологов растений России**

(27 сентября – 1 октября 2021 г.)

Москва 2021г.

**Министерство науки и высшего образования РФ
Российская академия наук
Отделение биологических наук РАН
Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН
Общество физиологов растений России
Совет по экспериментальной биологии растений РАН
Биологический факультет Московского государственного
университета имени М.В. Ломоносова**

МАТЕРИАЛЫ

**Всероссийской научной конференции
с международным участием,
школы для молодых ученых**

«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ БИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ И БИОТЕХНОЛОГИЯ: ИСТОРИЯ И ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ»

**и Годичного собрания Общества
физиологов растений России**

(27 сентября – 1 октября 2021 г.)

Москва 2021г.

УДК 581.1
ББК 28.57

Всероссийская научная конференция с международным участием и школа для молодых ученых «Экспериментальная биология растений и биотехнология: история и взгляд в будущее». Годичное собрание общества физиологов растений России. Материалы докладов. (Москва, 27 сентября – 1 октября 2021г.) – Москва, 2021г. - 370 с.

В материалах Всероссийской научной конференции с международным участием и школы для молодых ученых «Экспериментальная биология растений и биотехнология: история и взгляд в будущее», посвященных 130-летию ИФР РАН и 100-летию со дня рождения выдающегося ученого Р.Г. Бутенко, а так же годичного собрания общества физиологов растений России обсуждаются последние достижения в области физиологии, биохимии и экологии фотосинтеза, дыхания и фиксации азота, как теоретической основы продукционного процесса, а также вопросы регуляции экспрессии генома и трансдукции сигналов в процессах клеточной дифференцировки и онтогенеза растений. Рассматриваются адаптационные стратегии растений в связи с экологическими стрессами и глобальными биосферными явлениями. Особое место на конференции отводится биологии фототрофных и гетеротрофных клеток растений как основе развития инновационных биотехнологий. Для биохимиков, физиологов и молекулярных биологов растений, специалистов различных областей экспериментальной ботаники, фитобиологии и экологии.

Конференция проводится при поддержке гранта РНФ № 21-74-30003 и Мегагранта Правительства Российской Федерации, соглашение № 075-15-2019-1882.

Редакционная коллегия:

Д.А. Лось (отв. редактор), Вл. В. Кузнецов, А.В. Носов,
О.В. Антипина (отв. секретарь)

ISBN 978-5-4465-3388-6

Роль фуллеренола C₆₀ в повышении устойчивости растений огурца к дефициту цинка и марганца

Панова Г.Г. , Удалова О.Р.* , Хомяков Ю.В.* , Вертебный В.Е.* , Аникина Л.М.* , Журавлева А.С.* , Семенов К.Н.** , Подольский Н.Е.** , Якконен К.Л.*** , Битюцкий Н.П.****

* ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт». Гражданский пр., 14, Санкт-Петербург, Россия.

** ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский Государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова». ул. Льва Толстого, д. 6-8, Санкт-Петербург, Россия.

*** ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет». Университетская наб., д. 7/9. Россия.
gaiane@inbox.ru

Цинк (Zn) и марганец (Mn) относятся к группе необходимых для роста и развития растений микроэлементов. В связи с низкой подвижностью соединений цинка и марганца в почвах (особенно карбонатных и известкованных) разработка новых подходов к оптимизации питания растений этими микроэлементами является актуальной задачей. На ее решение направлены усилия многих исследовательских лабораторий мира. В этом отношении перспективно применение различных наноматериалов, в частности, водорастворимых производных легких фуллеренов C₆₀. Молекулы этого вещества обладают высокой химической активностью, благодаря которой фуллерены могут присоединять различные радикалы, проявлять антиоксидантную активность, проникать через клеточные мембраны и модулировать транспорт ионов. Однако к настоящему времени роль фуллеренов в регуляции питания растений микроэлементами и устойчивости растений к дефициту микроэлементов практически не изучена. В связи с этим цель настоящей работы состояла в изучении роли некорневой обработки растворами фуллеренола C₆₀ в повышении устойчивости растений к дефициту цинка и марганца.

Экспериментальная работа проведена в регулируемых условиях интенсивной светокультуры на базе Агрофизического научно-исследовательского института. Растения огурца гибрида F₁ Нева выращивали в сосудах с аэрируемым питательным раствором Гельригеля. Условия дефицита цинка и марганца создавали путем исключения этих микроэлементов из состава питательного раствора. Опрыскивание растений осуществляли следующими растворами: дистиллированная вода, сульфат марганца или цинка в концентрации 1 ммоль/л, фуллеренол в концентрациях 1 мг/л (Ф1) или 2 мг/л (Ф2), комплексы Ф1 и Ф2 с сульфатом марганца или цинка в указанных выше концентрациях. Растения опрыскивали дважды в течение вегетации: в фазе второго и четвертого листа. Длина светового периода – 14 час/сут, облученность растений 85-90 Вт/м² в области ФАР. Температуру воздуха поддерживали в пределах 22-24 °С днем и 18-20°С ночью; влажность воздуха – 70-80%. Смену растворов в сосудах осуществляли через каждые трое суток. Эксперименты повторены дважды. Реакцию растений на экспериментальные воздействия оценивали на второй и седьмой день после каждого опрыскивания. Контролируемые параметры в листьях: площадь ассимилирующей поверхности, концентрация пигментов (хлорофилла, каротиноидов), железа, цинка и марганца, интенсивность перекисного окисления липидов, активность пероксидазы и каталазы. Кроме того, измеряли сухую массу побегов и корней растений

В ходе проведенных исследований выявлена способность фуллеренола C₆₀ посредством некорневых подкормок активно влиять на доступность растениям и аккумуляцию в них марганца и цинка, восстанавливать площадь листовой ассимилирующей поверхности и содержание пигментов хлорофиллов в листьях следующих ярусов после обработанных, стабилизировать окислительные процессы в листьях, что в итоге положительным образом отразилось на формировании сухой массы растений, особенно побегов в условиях дефицита марганца или цинка в питательном растворе. Выявлено, что степень проявления реакции, направленность и развитие процессов при дефиците марганца зависит от концентрации растворов фуллеренола C₆₀ и времени после обработки ими растений. Так, моно- и смешанные с сульфатом марганца растворы фуллеренола C₆₀ в концентрации 2 мг/л оказывают более выраженное положительное влияние на физиологическое состояние растений в условиях дефицита марганца. При дефиците цинка различий во влиянии фуллеренола в двух испытываемых концентрациях на растения практически не наблюдались. Вероятный механизм действия фуллеренола при некорневых подкормках растений микроэлементами может быть связан со способностью этой наноструктуры повышать проницаемость покровов листьев (кутикулы, плазмалеммы) и тем самым облегчать поступление микроэлементов из нанесенных на поверхность листьев рабочих растворов. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности продолжения исследований по изучению влияния фуллеренола C₆₀ на растения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-016-00003 А.

Фуллеренол повышает устойчивость растений *Cucumis sativus* к недостатку цинка

Битюцкий Н.П. *, Якконен К.Л. *, Семенов К.Н. **

* Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, Россия.

** Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова,
ул. Льва Толстого, 6-8, Санкт-Петербург, Россия.
bityutskii@mail.ru

Цинк (Zn) необходим для роста и развития растений. Этот микроэлемент – компонент или активатор множества ферментов/структур, участвующих в разнообразных метаболических процессах. Цинк вовлечен в интеграцию мембран, белковый синтез, фотосинтез, регуляцию транскрипции и трансляции, передачу сигналов, обмен ауксинов, защиту клеток от окислительного стресса. Заторможенный рост, короткие междоузлия, хлороз и крапчатость листьев – типичные визуальные симптомы недостатка цинка у растений. Дефицит цинка у сельскохозяйственных культур снижает урожай и качество растениеводческой продукции. Заболевание широко распространено, особенно у растений, произрастающих на супесчаных и карбонатных почвах с характерным для них низким содержанием доступных форм цинка. Поэтому разработка способов повышения устойчивости растений к недостатку цинка – актуальная задача физиологии растений и агрохимии.

Фуллеренол (гидроксильированная форма фуллерена) представляет собой углеродный наноматериал с уникальными свойствами. Биологический потенциал фуллеренола обусловлен его способностью присоединять радикалы, проникать через клеточные мембраны и модулировать транспорт ионов. Однако роль фуллеренола в оптимизации минерального питания растений практически не изучена. Цель работы – охарактеризовать влияние фуллеренола на устойчивость растений к дефициту цинка.

Растения огурца (*Cucumis sativus* L.) выращивали в условиях гидропоники при искусственном освещении. Дефицит цинка ($-Zn$) создавали путем исключения его источника (сульфата цинка, 1 мкМ/л) из состава питательного раствора после предварительного выращивания растений в течение 7 дней на растворе с цинком. Обработку растений фуллеренолом [$C_{60}(OH)_{22-24}$] осуществляли двумя способами. Первый способ (оценка последствий): фуллеренол вносили в питательный раствор на этапе предобработки растений цинком и исключали из раствора на этапе моделирования условий дефицита цинка. Второй способ (оценка действия): внесение фуллеренола в питательный раствор на этапе моделирования условий дефицита цинка. Конечные концентрации фуллеренола в растворах – 1 и 2 мг/л. Контролируемые параметры: сухая масса листьев, стеблей и корней; содержание хлорофилла в листьях (SPAD); показатели флуоресценции хлорофилла (F_v/F_m , F_v/F_m' , ETR); концентрация цинка в ксилемном соке, концентрация различных макро- и микроэлементов в органах растений. Интенсивность пероксидного окисления липидов (ПОЛ) в листьях оценивали по концентрации малонового диальдегида (МДА). Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета SPSS (версия 27), апостериорный критерий – SNK, $P < 0,05$.

Исключение цинка из состава питательного раствора вызывало появление у растений типичных симптомов дефицита этого микроэлемента: заторможенный рост, дисбаланс элементов питания, хлороз и пятнистость листьев, снижение в листьях скорости транспорта электронов и увеличение концентрации МДА. После добавления в питательный раствор фуллеренола заболевание протекало в более легкой форме. По сравнению с контролем ($-Zn$) у обработанных фуллеренолом растений ксилемный транспорт цинка из корней в побег усиливался, сухая биомасса побегов возрастала, содержание в молодых листьях хлорофилла увеличивалось, а МДА уменьшалось. Последствие фуллеренола (первый способ внесения) проявлялось в уменьшении вызываемых недостатком цинка окислительных повреждений липидов в листьях. При этом другие показатели растений существенно не менялись, возможно, из-за чрезмерно низкого содержания в корнях остаточных количеств фуллеренола, адсорбированных в период предобработки проростков. С одной стороны, положительные эффекты фуллеренола могут быть обусловлены его стимулирующим влиянием на ремобилизацию цинка в корнях. В водных растворах мы регистрировали образование отрицательно заряженных ассоциатов фуллеренола с цинком. В корнях такая ассоциация с фуллеренолом могла ослаблять связи цинка с клеточными стенками и увеличивать его мобильность до заметного на фоне недостатка этого микроэлемента уровня. С другой стороны, фуллеренол – антиоксидант, он мог прямо или же косвенно через усиление антиоксидантной защиты самого растения уменьшать уровень окислительного стресса, возникавшего у огурца при недостатке цинка.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 19-016-00003а.