



DOI: 10.26898/0370-8799-2017-6-10

УДК 632.122:632.937

ВЛИЯНИЕ *TRICHODERMA* НА БИОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТОМАТОВ

А.Ф. ВАЛИУЛИНА, преподаватель,
Т.И. ГОЛОВАНОВА, доктор биологических наук, профессор,
А.В. ИВАНОВА, старший преподаватель

Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79
e-mail: valiulina1988@mail.ru

Изучено влияние предпосевной обработки семян микроскопическими грибами для нейтрализации отрицательного воздействия тяжелых металлов на рост и развитие томатов. В качестве тест-объекта использовали растения томатов (*Solanum lycopersicum*) – высокоурожайный раннеспелый сорт Лакомка, растение детерминантное высотой 55–60 см. Исследовано влияние грибов штамма МГ-97 *Trichoderma asperellum* на биофизические показатели томатов, выращенных при различных концентрациях цинка. Опыт проводили при естественном освещении в течение 60 сут при температуре воздуха 25 ± 2 °С, освещенность на уровне проростков составляла 300 мкмоль фотонов /м²/с, относительная влажность воздуха 75 ± 3 %. Семена проращивали на водопроводной воде и на растворах с концентрациями цинка $1 \cdot 10^{-5}$ и $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Функциональную активность фотосинтетического аппарата растений оценивали Pulse-Amplitude-Modulation-флуориметром. Показано, что цинк подавляюще действовал на скорость электронного транспорта и квантовый выход фотосинтеза растений, при этом зафиксирована критическая концентрация цинка – $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Внесение *T. asperellum* снимало ингибирующее действие цинка и повышало физиолого-морфологические и биофизические параметры растений. Положительный эффект проявился уже на первом этапе развития растений – на 25-е сутки микромицеты увеличили скорость электронного транспорта в растениях в опыте с контролем на 40 %, в растворе с концентрацией цинка $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л на 50 % и при концентрации цинка $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л – на 70 %. Предпосевная обработка семян томатов микроскопическими грибами снизила губительное воздействие цинка на рост и развитие растений, однако эффект действия зависил от возраста томата и времени воздействия тяжелого металла.

Ключевые слова: томаты, штамм МГ-97 *Trichoderma asperellum*, цинк, тяжелые металлы, скорость электронного транспорта.

Растения находятся в постоянных условиях стресса, на их рост и развитие оказывает влияние целый ряд как абиотических, так и биотических факторов. Во многих случаях эти условия складываются неблагоприятно, что приводит к резкому снижению урожая и даже гибели посевов [1]. Среди многочисленных абиотических факторов особое место занимают тяжелые металлы [2]. Поступающие из различных источников тяжелые металлы аккумулируются в почве, которая является участником всех процессов транс-

формации и миграции веществ, протекающих в биосфере. Дальнейшее влияние металлов зависит от их химической природы и свойств почвы [3]. Действие металлов на растительный организм зависит от природы элемента, содержания его в окружающей среде, от формы его химического соединения, вида загрязнения, срока с момента загрязнения. Одним из таких элементов, оказывающих существенное влияние на рост и развитие растений, является цинк [4].

Основные функции цинка в растениях связаны с метаболизмом углеводов, протеинов и фосфатов, а также с образованием ДНК и рибосом. В растениях цинк наряду с его участием в дыхании, белковом и нуклеиновом обменах регулирует рост и развитие растений. Однако цинк проявляет высокую степень не только биологической активности, но и токсичности. Накапливаясь в почве, он может достичь критической концентрации и привести не только к снижению урожайности растений, но и к их гибели [5]. На то как цинк действует на растения, могут оказывать влияние микроорганизмы, совместно обитающие с растениями. Они положительно влияют на целый комплекс физиолого-биохимических программ, протекающих в растительном организме, обеспечивают их необходимыми элементами питания и регуляторами роста, защищают растения от патогенных микроорганизмов, способствуют повышению устойчивости к различным стрессовым факторам [1]. К таким микроорганизмам-антагонистам патогенов относятся грибы рода *Trichoderma*, которые являются продуцентами комплекса антибиотических веществ, обладающих высокой физиологической активностью, и подавляют рост и развитие целого ряда фитопатогенных микроорганизмов путем индукции системной и локальной резистентности растений [6, 7]. Под действием метаболитов, выделяемых грибом-антагонистом, происходит изменение транспорта электронов и распределение ассимилятов в растении, изменяется биохимическая направленность, увеличиваются рост и развитие корневой системы и масса хозяйственно ценных органов. Накопление сухой массы растением может быть связано с интенсивностью фотосинтеза, протекание которого зависит от состояния фотосинтетического аппарата, на формирование и функционирование которого, вероятно, оказывают влияние микроорганизмы-антагонисты.

Цель исследования – изучить влияние *Trichoderma asperellum* на биофизические показатели *Solanum lycopersicum*, выращенных при различных концентрациях цинка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве тест-объекта использовали растения томатов (*Solanum lycopersicum*) сорта Лакомка. Это высокоурожайный раннеспелый сорт. Растение детерминантное высотой 55–60 см. В качестве микроорганизмов-антагонистов использовали грибы *Trichoderma asperellum* штамма МГ-97.

Растения выращивали в условиях естественного освещения в течение 60 сут, освещенность на уровне проростков 300 мкмоль фотонов /м²/с, относительная влажность воздуха $75 \pm 3 \%$, температура воздуха колебалась в пределах $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Число растений в каждом варианте 50. Перед посевом семян проводили их поверхностную стерилизацию. Часть семян опудривали спорами *Trichoderma asperellum*. Семена проращивали рулонным методом [8]. Проросшие семена помещали в емкости с отстоянной водопроводной водой. На 8-е сутки часть проростков оставляли в емкостях с отстоянной водопроводной водой, а другую помещали в отстоянную водопроводную воду, содержащую цинк в различных концентрациях ($1 \cdot 10^{-5}$ и $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л).

В качестве контроля использовали растения, семена которых не обработаны спорами *Trichoderma* и выращены на водопроводной воде.

Функциональную активность фотосинтетического аппарата ассимилирующих тканей оценивали по показателям индукции флуоресценции хлорофилла РАМ-флуориметром (Heinz Walz GmbH, Германия) [9].

Определяли реальный квантовый выход фотосистемы II ($Y(II)$) (квантовый выход обозначается $Y(II)$) в адаптированном к свету состоянии, учитывали относительную скорость транспорта электронов фотосистемой II (ETR, electron transport rate). Для этого проводили регистрацию изме-

нений показателей флуоресценции хлорофилла при фотосинтетической активной радиации (ФАР) в диапазоне от 0 до 800 мкмоль фотонов /м²/с. Скорость электронного транспорта (ETR) рассчитывали по формуле

$$ETR = I_{PAR} \cdot (ETR-Factor) \times Y(II),$$

где I_{PAR} – интенсивность света, $ETR-Factor$ равен 0,84, который отражает эффективность поглощения фотонов пигментами; $Y(II)$ – эффективность квантового выхода ФС II рассчитывали на основе нулевого F_0 и максимального F_m уровней [10]:

$$Y(II)_m = (F_m - F_0) / F_m.$$

Для статистической обработки экспериментальных результатов использовали пакет программы Microsoft Excel 2007. Оценку достоверности различий средних проводили на основе критерия Стьюдента при уровне вероятности не менее 95 %. Достоверность действия фактора проводили с использованием дисперсионного анализа. Средние арифметические значения с двухсторонним доверительным интервалом из 3–5 независимых экспериментов, каждый из которых проведен в 50 биологических повторностях (табл. 1, 2).

Таблица 1

Влияние цинка на скорость транспорта электронов у *Solanum lycopersicum*

ФАР, мкмоль фотонов /м ² /с	1	2	3	4	5	6
	Скорость транспорта электронов, мкмоль электронов /м ² /с					
На 25-е сутки развития						
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	2,30 ± 0,1	2,80 ± 0,1	2,39 ± 0,1	3,18 ± 0,2	2,06 ± 0,1	2,24 ± 0,1
55	4,42 ± 0,3	5,96 ± 0,5	4,56 ± 0,3	6,41 ± 0,3	3,80 ± 0,5	4,60 ± 0,3
110	6,30 ± 0,7	8,56 ± 1,1	6,84 ± 0,6	10,67 ± 0,8	5,62 ± 0,9	7,62 ± 0,4
185	8,70 ± 1,0	12,08 ± 1,3	9,70 ± 0,7	15,98 ± 1,2	8,16 ± 1,1	10,36 ± 0,8
280	11,04 ± 1,0	16,32 ± 2,0	11,74 ± 0,8	20,72 ± 1,7	10,08 ± 1,2	12,54 ± 0,9
335	15,36 ± 0,5	21,28 ± 2,5	14,83 ± 1,3	23,51 ± 1,4	9,94 ± 2,9	15,42 ± 1,3
395	16,16 ± 0,5	23,44 ± 2,4	18,43 ± 0,8	27,78 ± 2,0	8,44 ± 3,5	14,28 ± 4,0
На 45-е сутки развития						
0	0	0	0	0	0	0
20	4,30 ± 1,4	2,87 ± 0,4	2,21 ± 0,4	2,85 ± 0,2	2,30 ± 0,2	2,46 ± 0,1
55	8,82 ± 3,8	6,27 ± 1,0	2,86 ± 1,2	5,66 ± 0,7	3,80 ± 0,4	3,76 ± 0,2
110	15,37 ± 5,3	12,26 ± 1,4	4,91 ± 1,9	10,57 ± 1,4	6,30 ± 0,6	5,78 ± 0,3
185	23,35 ± 4,2	22,54 ± 1,4	10,16 ± 2,1	18,40 ± 1,8	10,0 ± 1,1	10,26 ± 0,4
280	27,22 ± 2,2	34,68 ± 2,3	15,91 ± 2,8	25,20 ± 1,4	13,87 ± 1,0	13,84 ± 1,2
335	37,17 ± 2,2	42,65 ± 3,4	24,98 ± 2,5	32,38 ± 0,9	18,55 ± 1,2	19,98 ± 2,3
395	40,45 ± 4,1	48,08 ± 2,4	29,65 ± 0,7	34,96 ± 0,8	17,13 ± 1,8	22,44 ± 2,5
На 60-е сутки развития						
0	0	0	0	0	—	0
20	3,57 ± 0,6	2,76 ± 0,8	2,45 ± 0,6	2,48 ± 0,4	—	2,26 ± 0,4
55	7,12 ± 0,6	6,10 ± 0,5	5,79 ± 0,6	5,29 ± 0,4	—	3,90 ± 0,7
110	11,35 ± 0,9	10,09 ± 1,1	7,85 ± 0,6	8,52 ± 0,8	—	4,85 ± 0,9
185	16,95 ± 1,4	17,13 ± 2,0	10,44 ± 0,9	12,63 ± 1,5	—	5,72 ± 1,3
280	24,16 ± 2,0	26,26 ± 2,9	13,51 ± 1,6	18,35 ± 2,3	—	7,22 ± 1,9
335	31,54 ± 2,4	38,00 ± 3,5	18,51 ± 2,3	24,83 ± 3,0	—	10,02 ± 2,6
395	38,61 ± 2,2	45,20 ± 3,9	25,47 ± 2,9	30,94 ± 3,5	—	12,76 ± 3,1

Примечание. Здесь и в табл. 2 – опыт с растениями, выращенными на: 1 – водопроводной воде; 2 – водопроводной воде и обработанными микромицетами; 3 – растворе, содержащем цинк ($1 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и не обработанными микромицетами; 4 – растворе, содержащем цинк ($1 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и обработанными микромицетами; 5 – растворе, содержащем цинк ($5 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и не обработанными *T. asperellum*; 6 – растворе, содержащем цинк ($5 \cdot 10^{-5}$ моль/л) и обработанными *T. asperellum*.

Влияние цинка на квантовый выход $Y(II)$ у *Solbnum lycopersicum*

ФАР, мкмоль фотонов /м²/с	1	2	3	4	5	6
Квантовый выход Y(II)						
На 25-е сутки развития						
0	0,67 ± 0,02	0,63 ± 0,02	0,57 ± 0,02	0,59 ± 0,01	0,53 ± 0,04	0,55 ± 0,06
20	0,28 ± 0,01	0,33 ± 0,07	0,28 ± 0,01	0,38 ± 0,01	0,25 ± 0,03	0,54 ± 0,05
55	0,19 ± 0,01	0,24 ± 0,02	0,20 ± 0,01	0,28 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,28 ± 0,03
110	0,14 ± 0,01	0,19 ± 0,04	0,15 ± 0,01	0,23 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,23 ± 0,03
185	0,11 ± 0,01	0,16 ± 0,04	0,12 ± 0,01	0,21 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,19 ± 0,02
280	0,09 ± 0,01	0,13 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,18 ± 0,02	0,05 ± 0,03	0,16 ± 0,02
335	0,11 ± 0,01	0,14 ± 0,03	0,10 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,08 ± 0,02	0,13 ± 0,02
395	0,09 ± 0,00	0,13 ± 0,03	0,11 ± 0,02	0,17 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,13 ± 0,01
На 45-е сутки развития						
0	0,72 ± 0,02	0,74 ± 0,03	0,74 ± 0,03	0,74 ± 0,02	0,70 ± 0,04	0,69 ± 0,05
20	0,55 ± 0,07	0,70 ± 0,03	0,70 ± 0,03	0,74 ± 0,04	0,67 ± 0,02	0,65 ± 0,06
55	0,43 ± 0,07	0,34 ± 0,04	0,24 ± 0,04	0,30 ± 0,04	0,25 ± 0,03	0,29 ± 0,04
110	0,33 ± 0,05	0,30 ± 0,03	0,13 ± 0,04	0,21 ± 0,06	0,15 ± 0,03	0,16 ± 0,02
185	0,29 ± 0,02	0,29 ± 0,02	0,11 ± 0,04	0,19 ± 0,06	0,13 ± 0,03	0,13 ± 0,02
280	0,25 ± 0,02	0,30 ± 0,01	0,13 ± 0,03	0,20 ± 0,05	0,12 ± 0,04	0,13 ± 0,01
335	0,19 ± 0,02	0,29 ± 0,02	0,13 ± 0,03	0,19 ± 0,03	0,11 ± 0,02	0,12 ± 0,02
395	0,18 ± 0,02	0,28 ± 0,02	0,17 ± 0,03	0,20 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,14 ± 0,04
0	0,72 ± 0,02	0,74 ± 0,03	0,74 ± 0,03	0,74 ± 0,02	0,70 ± 0,04	0,69 ± 0,05
На 60-е сутки развития						
0	0,59 ± 0,05	0,61 ± 0,06	0,47 ± 0,09	0,61 ± 0,06	—	0,50 ± 0,07
20	0,56 ± 0,03	0,53 ± 0,04	0,42 ± 0,03	0,53 ± 0,04	—	0,49 ± 0,06
55	0,41 ± 0,03	0,36 ± 0,03	0,34 ± 0,02	0,38 ± 0,03	—	0,36 ± 0,05
110	0,30 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,25 ± 0,02	—	0,22 ± 0,03
185	0,24 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,16 ± 0,00	0,21 ± 0,02	—	0,13 ± 0,02
280	0,22 ± 0,01	0,22 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,18 ± 0,02	—	0,09 ± 0,02
335	0,20 ± 0,01	0,22 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,17 ± 0,02	—	0,07 ± 0,02
395	0,22 ± 0,01	0,27 ± 0,02	0,12 ± 0,01	0,19 ± 0,02	—	0,08 ± 0,02

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показателем, который характеризует состояние растений в условиях стресса, является содержание пигментов в листьях растений. Оптимальное соотношение пигментов обеспечивает работу фотосинтетического аппарата и позволяет создавать большой запас ассимилятов для формирования урожая. Пигменты являются фотоакцепторами, от их количества и эффективности работы зависит продуктивность растений.

Исследования, проведенные ранее, показали, что на содержания пигментов большое влияние оказывал цинк в концентрациях $1 \cdot 10^{-5}$ и $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Под его влиянием происходило снижение зеленых пигментов и отношения хлорофилла a к b [10], вероятно, это связано с влиянием цинка на деградацию как хлорофилла a , так и хлорофилла b , что экспериментально было доказано [11]. Существенное влияние цинка на содержание каротиноидов проявлялось на более поздних стадиях развития растений.

Увеличение его концентрации сопровождалось уменьшением содержания желтых пигментов [10]. Показателем напряженности энергетических процессов в хлоропластах является соотношение пулов зеленых и желтых пигментов [12]. Данные соотношения в листьях контрольных растений находили в пределах от 5,1 до 5,6 и от 4,9 до 5,1 у растений, семена которых обработаны спорами исследуемого микромицета, что типично для здоровых хорошо функционирующих зеленых растений. Однако у растений, произрастающих в условиях стресса, величина данного показателя уменьшалась. Негативное действие цинка частично снималось под действием *Trichoderma*. Наибольший эффект воздействия *Trichoderma* отмечен при больших концентрациях тяжелого металла [13], так как в условиях стресса данный гриб проявляет наибольшую активность в отношении растений.

Количественную оценку физиологического состояния растительного организма можно дать не только на основе определения пигментного состава в растении. В качестве показателя состояния и эффективности функционирования фотосинтетического аппарата можно использовать параметры флуоресценции, которые широко используют в фундаментальных и прикладных исследованиях [14].

Показано, что на 25-е сутки развития растения цинк в концентрации $1 \cdot 10^{-5}$ не оказывал существенного воздействия на скорость электронного потока растений, показатели ETR у подверженных и неподверженных стрессу растений совпадали (см. табл. 1).

При увеличении плотности светового потока более 280 мкмоль фотонов /м²/с концентрация цинка $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л скорость ETR существенно снизилась. Особенно сильный ингибирующий эффект цинка независимо от его концентрации проявился на последующих сроках вегетации растений, так, на 45-е сутки во втором и третьем вариантах по сравнению с контролем, ETR снизилась в 1,4 и 2,4 раза соответственно (см. табл. 1). Причиной этого являются структурные изменения в листьях и прежде всего более

длительное время действия стрессового фактора, приводящее к большим изменениям в синтезе пигментов и, как следствие, уменьшению эффективности работы первичных процессов фотосинтеза.

Trichoderma оказывала существенное влияние на скорость электронного потока. Положительный эффект проявлялся уже на первых этапах развития растений: на 25-е сутки микромицеты увеличивали ETR в 1,4; 1,5 и 1,7 раза во всех исследуемых вариантах (см. табл. 1). Максимальное действие *T. asperellum* обнаружено на фоне тяжелого металла. Из проведенного статистического анализа данных на 45-е сутки установлена значимая разница по влиянию гриба штамма МГ-97 на ETR растений (см. табл. 1). На 60-е сутки стимулирующий эффект антагониста не ослабевал и отрицательное воздействие цинка нивелировалось (см. табл. 1).

Параметры кинетики флуоресценции хлорофилла обладают большой информативностью для характеристики состояния первичных процессов фотосинтеза (ППФ). Это связано с тем, что изменения состояния фотосинтетического аппарата сопровождаются изменением вероятности тушения энергии электронного возбуждения молекул хлорофилла, что проявляется в изменении квантового выхода флуоресценции при освещении. Результаты проведенных исследований не выявили достоверных различий по величине квантового выхода на 25-е сутки между растениями контрольного варианта и выращенными на средах, содержащих цинк (см. табл. 2).

На последующие сутки развития растений проявлялись значительные различия квантового выхода. Отмечено, что если первоначальные значения квантового выхода у растений, подверженных действию цинка в концентрации $1 \cdot 10^{-5}$, несколько выше по сравнению с контрольным вариантом, то со вспышки 20 мкмоль фотонов /м²/с происходило резкое снижение квантового выхода у растений, выращенных в условиях стресса (см. табл. 2). Грибы *Trichoderma asperellum* снимали отрицательное действие цинка и увеличивали устойчивость растений к данному фактору.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На взаимодействие грибов *Trichoderma asperellum* штамма МГ-97 и *Solanum lycopersicum* большое влияние оказывали ионы цинка в концентрациях $1 \cdot 10^{-5}$ и $5 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Цинк оказывал ингибирующее действие на квантовый выход фотосинтеза и скорость электронного транспорта. Это отрицательно сказалось на росте томатов, так как первичные процессы фотосинтеза составляют энергетическую основу фотосинтеза, непосредственно связанную с запасанием энергии в виде химических связей конечного восстановленного продукта световой стадии никотинамидадениндинуклеотидфосфата, а также АТФ (аденозинтрифосфат), сопряженного с генерацией трансмембранного электрохимического потенциала ионов водорода – движущей силы синтеза АТФ. Степень влияния данного металла зависела от времени действия и концентрации его ионов в среде. Предпосевная обработка семян *Solanum lycopersicum* микроскопическими грибами снизила губительное воздействие цинка на все исследуемые параметры, однако их действие неоднозначно и зависело от возраста растительного организма и времени воздействия тяжелого металла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. El Komy M.H., Saleh A.A., Eranthodi A., Molan Y.Y. Characterization of Novel *Trichoderma asperellum* Isolates to Select Effective Biocontrol Agents Against Tomato Fusarium Wilt // Plant Pathology J. – 2015. – Vol. 31, N 1. – P. 50–60.
2. Чиркова Т.В. Физиологические основы устойчивости растений: учеб. пособие. – СПб.: изд-во С.-Петерб. ун-та. – 2002. – 244 с.
3. Панин М.С., Калентьева Н.В. Формы соединений цинка в почвах Семипалатинского Прииртышья при полиэлементном и цинковом видах загрязнения // Сиб. экол. журнал. – 2009. – № 1. – С. 9–16.
4. Иванов Ю.В., Савочкин Ю.В., Кузнецов В.В. Хроническое действие высоких концентраций цинка на активность антиоксидантных ферментов в сеянцах сосны обыкновенной // Лесной вестник. – 2012. – С. 105–108.

5. Скочилова Е.А., Закаменская Е.С. Накопление меди и цинка растениями мари белой (*Chenopodium album* L.) на территории Республики Марий Эл // Агрохимия. – 2011. – № 3. – С. 72–75.
6. Голованова Т.И., Аксентьева А.А. Физиолого-морфологические параметры растений при действии спор гриба рода *Trichoderma* // Вестн. Красноярского гос. ун-та. – 2003. – С. 134–139.
7. Голованова Т.И., Логинова Е.А. Реакция фотосинтетического аппарата на обработку растений пшеницы спорами гриба рода *Trichoderma* // Вестн. Красноярского гос. ун-та. – 2005. – С. 210–215.
8. Бенкен А.А., Хацкевич Л.К. Оценка устойчивости растений к почвенным фитопатогенам // Микология и фитопатология. – 1980. – Т. 14, вып. 6. – С. 531–538.
9. IMAGING-PAM M-series Chlorophyll Fluorometer Instrument Description and Information for Users / GmbH: Heinz Walz. – 2006. – 215 p.
10. Голованова Т.И., Валиулина А.Ф. Роль грибов рода *Trichoderma* в адаптации растений томата к воздействию цинка // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2015. – № 6. – С. 57–64.
11. Ayeni O.O., Ndakidemi P.A., Snyman R.G., Odendaal J.P. Chemical biological and physiological indicators of metal pollution in wetlands // Scientific Research and Essays. – 2010. – Vol. 5(15). – P. 1938–1949.
12. Бессонова В.П. Влияние тяжелых металлов на фотосинтез растений: монография. – Днепропетровск: ДГАУ, 2006. – 208 с.
13. Mastouri F., Bjorkman T., Harman G.E. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings // Phytopathology. – 2010. – P. 1213–1221.
14. Schreiber U. Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) Fluorometry and Saturation Pulse Method: An Overview // Advances in Photosynthesis and Respirati. – 2004. – Vol. 19. – P. 279–319.

REFERENCES

1. El Komy M.H., Saleh A.A., Eranthodi A., Molan Y.Y. Characterization of Novel *Trichoderma asperellum* Isolates to Select Effective Biocontrol Agents Against Tomato Fusarium Wilt// Plant Pathology J. – 2015. – Vol. 31, N 1. – P. 50–60.

2. **Chirkova T.V.** Fiziologicheskie osnovy ustoychivosti rastenii: ucheb. posobie. – SPb: izd-vo S.-Peterb. un-ta. – 2002. – 244 s.
3. **Panin M.S., Kalent'eva N.V.** Formy soedinenii tsinka v pochvakh Semipalatinskogo Priirtysh'ya pri polielementnom i tsinkovom vidakh zagryazneniya // Sib. ekol. zhurnal. – 2009. – № 1. – S. 9–16.
4. **Ivanov Yu.V., Savochkin Yu.V., Kuznetsov V.V.** Khronicheskoe deistvie vysokikh kontsentratsii tsinka na aktivnost' antioksidantnykh fermentov v seyantsakh sosny obyknovnoy // Lesnoi vestnik. – 2012. – S. 105–108.
5. **Skochilova E.A., Zakamenskaya E.S.** Nakoplenie medi i tsinka rasteniyami mari beloi (*Chenopodium album* L.) na territorii respubliky Marii El // Agrokimiya. – 2011. – № 3. – S. 72–75.
6. **Golovanova T.I., Aksent'eva A.A.** Fiziologo-morfologicheskie parametry rastenii pri deistvii spor griba roda *Trichoderma* // Vestn. Krasnoyarskogo gos. un-ta. – 2003. – S. 134–139.
7. **Golovanova T.I., Loginova E.A.** Reaktsiya fotosinteticheskogo apparata na obrabotku rastenii pshenitsy sporami griba roda *Trichoderma* // Vestn. Krasnoyarskogo gos. un-ta. – 2005. – S. 210–215.
8. **Benken A.A., Khatskevich L.K.** Otsenka us-toichivosti rastenii k pochvennym fitopatogenam // Mikologiya i fitopatologiya. – 1980. – T. 14, vyp. 6. – S. 531–538.
9. **IMAGING-PAM M-series Chlorophyll Fluorometer Instrument Description and Information for Users** / GmbH: Heinz Walz. – 2006. – 215 r.
10. **Golovanova T.I., Valiulina A.F.** Rol' gribov roda *Trichoderma* v adaptatsii rastenii tomata k vozdeistviyu tsinka // Sib. vestn. s.-kh. nauki. – 2015. – № 6. – S. 57–64.
11. **Ayeni O.O., Ndakidemi P.A., Snyman R.G., Odendaal J.P.** Chemical biological and physiological indicators of metal pollution in wetlands // Scientific Research and Essays. – 2010. – Vol. 5(15). – P. 1938–1949.
12. **Bessonova V.P.** Vliyanie tyazhelykh metallov na fotosintez rastenii: monografiya. – Dnepropetrovsk: DGAU, 2006. – 208 s.
13. **Mastouri F., Bjorkman T., Harman G.E.** Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stresses in germinating seeds and seedlings // Phytopathology. – 2010. – P. 1213–1221.
14. **Schreiber U.** Pulse-Amplitude-Modulation (PAM) Fluorometry and Saturation Pulse Method: An Overview // Advances in Photosynthesis and Respirati. – 2004. – Vol. 19. – P. 279–319.

INFLUENCE OF *TRICHODERMA* ON BIOPHYSICAL PARAMETERS OF TOMATO PLANTS

**A.F. VALIULINA, Lecturer,
T.I. GOLOVANOVA, Doctor of Science in Biology, Professor,
A.V. IVANOVA, Senior Lecturer**

*Siberian Federal University
79, Svobodny Ave, Krasnoyarsk, 660041, Russia
e-mail: valiulina1988@mail.ru*

There was studied an effect of pre-sowing treatment of tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds with the microscopic fungi to neutralize the negative influence of heavy metals on the growth and development of tomato plants. The plants of early-ripening, high-yielding tomato cultivar Lakomka of 55–60 cm high were the object of the study. The effect of *Trichoderma asperellum* strain MG-97 on biophysical parameters of tomato plants grown on media with different zinc concentrations was investigated. The experiment was conducted for 60 days at the air temperature of $25 \pm 2^\circ\text{C}$ and in the natural lighting. The luminous intensity at the level of seedlings was $300 \mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$; the relative humidity was $75 \pm 3^\circ\text{C}$. The plants were grown on tap water, and on solutions with Zn concentrations of $1 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ and $5 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$. The activity of the photosynthetic apparatus of assimilating tissues was assessed using fluorescence induction rates with PAM (Pulse-Amplitude-Modulation)-fluorometer. The research has shown that zinc inhibited the quantum yield of photosynthesis and electron transport rate; with that, the critical zinc concentration was found to be $5 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$. Introducing *T. asperellum* removed the inhibiting effect and increased physio-morphological and biophysical parameters of the plants. A positive effect of *T. asperellum* has been observed at the early stages of the plant life cycle: on the 25th day, the micromycetes increased the electron transport rate by 40 percent in the tap water treatment, by 50 in the $1 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ zinc concentration treatment, and by 70 percent in the $5 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ zinc concentration treatment. Pre-sowing tomato seed treatment with the microscopic fungi has reduced the inhibiting action of zinc on the growth and development of the plants; this positive effect, however, has depended on the age of a plant, and on the period of impact of heavy metals.

Keywords: tomato, *Trichoderma asperellum* strain MG-97, zinc, heavy metals, electron transport rate.

Поступила в редакцию 01.10.2017