

УДК 631.4; 631.8

АЛЛЕЛОТОКСИЧНОСТЬ ТЕПЛИЧНЫХ СУБСТРАТОВ ПОСЛЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩЕЙ

© 2023 г. Член-корреспондент РАН С. А. Шоба¹, Т. А. Грачева^{1,*}, Г. Н. Федотов¹,
Г. Э. Тер-Петросянц², Т. М. Джанчаров², И. В. Горепекин¹, Д. А. Ушкова¹

Поступило 20.11.2022 г.

После доработки 20.01.2023 г.

Принято к публикации 21.01.2023 г.

Известно, что стрессы при выращивании сельскохозяйственных растений снижают урожайность, а возникновение стрессовых воздействий приводит к выделению растениями в почву аллелотоксинов. Было выдвинуто предположение, что данный фактор может оказывать заметное влияние на вегетацию овощей в тепличных хозяйствах, а снижение концентрации аллелотоксинов в тепличных субстратах может улучшать вегетацию растений. Для проверки выдвинутых предположений были определены аллелотоксичность тепличных субстратов и содержание в них микроорганизмов под хорошо и плохо вегетирующими растениями огурцов, томатов и перцев. Установлено, что в субстратах под плохо вегетирующими растениями значительно больше аллелотоксинов и меньше численность прокариот, что подтвердило предположение о значимости влияния аллелотоксинов на выращивание овощей в тепличных хозяйствах. Внесение в зону корнеобитания растений растворов гуматов, обладающих высокой сорбционной способностью по отношению к аллелотоксинам, позволяет заметно улучшить вегетацию огурцов и может явиться перспективным направлением для повышения урожайности овощей в тепличных хозяйствах.

Ключевые слова: аллелопатия в теплицах, автотоксичность тепличных растений, фитотоксичность, микроорганизмы, фотосинтетическая активность растений, аллеловоздействие почв и вегетация растений

DOI: 10.31857/S268673892370021X, **EDN:** QIDFPT

Хорошо известно влияние стресс-факторов на вегетацию растений. Во-первых, стресс-воздействия на растения приводят к снижению их урожайности [1–3]. Во-вторых, аллелотоксичность почв выше под растениями, подвергавшимися воздействиям стрессов [4–6]. Все это позволило сделать вывод о выделении аллелотоксинов (фитотоксинов) растениями и микроорганизмами при действии на них стресс-факторов. Отметим, что данная информация была получена для открытого грунта, а для тепличных хозяйств было обнаружено небольшое число работ [7, 8].

При рассмотрении возможности проявления аллелотоксичности и ее влияния на растения в тепличных субстратах необходимо учитывать, что активация ростовых процессов¹ приводит к тому,

¹ Продуктивность в закрытом грунте в десятки раз превышает продуктивность в открытом грунте.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

*e-mail: tanyadunaeva12@mail.ru

что растениям труднее переносить экстремальные условия [7–9]. В связи с этим можно ожидать, что при выращивании растений в теплицах влияние аллелотоксичности может быть более значительным.

Технические приемы позволяют поддерживать влажность тепличных субстратов и воздуха в теплицах, содержание питательных веществ в субстратах, температурный режим и интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР)², содержание в воздухе теплиц углекислоты на близких к оптимальным уровням. Однако в силу точного термопериодизма растений, изменения оптимумов температурных режимов в процессе вегетации растений, варьирования температурных режимов от растения к растению, а также из-за действия случайных факторов, отклонения перечисленных выше параметров от оптимальных значений неизбежны, а значит неизбежно существование стресс-факторов в теплицах. Можно ожидать, что все эти отклонения условий произрастания от оптимальных и ускоренная вегетация

² Зашторивание и вентиляция при перегреве теплиц и изменение досветки при недостатке ФАР.

растений в теплицах должны приводить к росту аллелотоксичности тепличных субстратов и угнетению ими вегетации растений большему, чем для открытого грунта. Данный вопрос является весьма актуальным, так как известно небольшое число работ по попыткам повышения урожайности в теплицах путем снижения негативного влияния почвенных аллелотоксинов на растения [8, 9].

Целью работы было выяснение существования взаимосвязи между повышением аллелотоксичности тепличных субстратов, снижением урожайности овощей в теплицах и численностью микроорганизмов в тепличных субстратах.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

1. Провести сравнение аллелотоксичности образцов тепличных субстратов, отобранных в конце сезона из-под хорошо и плохо вегетирующих растений огурцов, томатов и перцев.
2. Определить численность прокариотных организмов в этих образцах субстратов.
3. Проверить влияние добавок в тепличные субстраты, способных сорбировать аллелотоксины, на вегетацию овощей.

Испытания проводили в теплицах РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, в которых выращивали огурцы сортов “Мамлюк” и “Эстафета”, томат сорт “Алькасар” и перец сорт “Самсон” на тепличном субстрате Велторф, находящемся в горизонтально расположенных 10 л пластиковых мешках (2 растения на мешок).

Отбирали образцы тепличного субстрата из мешков и проводили выделение из них вытяжки аллелотоксинов. Для этого тепличный субстрат увлажняли до содержания воды 478%³, выдерживали сутки и затем отжимали почвенный раствор из тепличного субстрата.

Аллелотоксичность тепличных субстратов определяли экспресс-методом биотестирования, основанном на существовании линейной зависимости между насыпным объемом семян с проростками в воде и длиной их проростков [10]. Оценивали изменение интегральной длины проростков 7.5 г семян (~200 шт.) под влиянием аллелотоксинов, выделяющихся из тепличного субстрата в воду. При проведении экспериментов на дно чашки диаметром 95 мм помещали 30 г сухого песка, затем ровным слоем размещали 7.5 г семян, а сверху еще 30 г песка. После этого в чашку из мерной пипетки равномерно добавляли воду или вытяжку из тепличного субстрата. Проросшие семена отмывали от песка и помещали порциями в мерный цилиндр объемом 100 мл с водой, размещенный на вибростоле, колеблющемся с частотой 50 Гц. После внесения всех проросших

семян на них клали грузик (8 г), что приводило к уплотнению структуры. Эти операции позволяли создать однородную структуру, а нижняя граница груза позволяла определять насыпной объем с точностью до 0.5 мл.

Применяли шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. Использование в одном опыте 1000–1200 семян позволяло рассчитывать достоверные интервалы с величиной, не превышающей 15%.

Численность микроорганизмов в образцах тепличного субстрата определяли методами посева и люминесцентной микроскопии [11, 12].

Исследование образцов люминесцентно-микроскопическим методом (для получения данных относительно численности и длины актиномицетного мицелия), включало следующие этапы:

1. Пробоподготовка образцов.
2. Приготовление препаратов (для одного образца готовили 12 препаратов на четырех предметных стеклах).
3. Фиксация препаратов (приготовленные препараты высушивали на воздухе при комнатной температуре, а затем фиксировали легким нагреванием над пламенем газовой горелки).
4. Окрашивание препаратов для учета актиномицетного мицелия акридином оранжевым.
5. Просмотр препаратов. Готовые препараты для учета актиномицетного мицелия просматривали на микроскопе “ЛЮМАМ-ИЗ” (Россия). На каждом препарате в 50 полях зрения измеряли с помощью окулярной линейки длину актиномицетного мицелия.

Для посевов бактерий и актиномицетов использовали ту же суспензию, что и для приготовления препаратов для люминесцентной микроскопии. Чашки с посевами инкубировали в термостате при 28°C в течение 7–10 сут, затем вели общий подсчет выросших колоний.

Общую численность актиномицетов в субстратах определяли путем посева на твердую питательную среду Гаузе I (минеральный агар 1) (г/л): K_2HPO_4 – 0.5; $MgSO_4$ – 0.5; KNO_3 – 1; $NaCl$ – 0.5; $FeSO_4$ – следы; крахмал – 20; агар – 20; pH – 7.2–7.4 [11, 12].

Влияние на вегетацию растений препаратов, вносимых в тепличный субстрат, оценивали по изменению фотосинтетической активности (ФСА) испытуемых растений огурцов сортов “Мамлюк” и “Эстафета” в сравнении с контрольными растениями при помощи измерителя содержания хлорофилла ССМ-200 (США). Данный метод можно применять для оценки вегетации, так как для фотосинтетической активности растений установлена корреляция с урожайностью [13]. Кроме того, метод обладал рядом дополнительных преимуществ по сравнению с оценкой

³ Максимальное содержание воды в одном из исследуемых тепличных субстратов.

Таблица 1. Аллелотоксичность образцов тепличного субстрата и численность в них бактерий

Предыстория почвенных образцов	Аллелотоксичность, %	Численность бактерий ($\times 10^9$ кл/г)
Тепличный субстрат, контроль	0 ± 3	2.0 ± 0.2
Тепличный субстрат после хорошо растущих огурцов	-11 ± 3	5.4 ± 0.4
Тепличный субстрат после плохо растущих огурцов	-48 ± 5	2.7 ± 0.2
Тепличный субстрат после хорошо растущих томатов	-57 ± 6	2.4 ± 0.2
Тепличный субстрат после плохо растущих томатов	-92 ± 9	1.3 ± 0.1
Тепличный субстрат после хорошо растущих перцев	0 ± 3	3.9 ± 0.3
Тепличный субстрат после плохо растущих перцев	-71 ± 8	0.52 ± 0.05

Таблица 2. Численность актиномицетов в субстратах под различными овощами

Показатель	Культуры, произраставшие на субстрате						Фон
	Томаты		Огурцы		Перец		
	Хорошо растущие	Плохо растущие	Хорошо растущие	Плохо растущие	Хорошо растущие	Плохо растущие	
Общая численность прокариот, тыс. КОЕ/г	738	311	1170	270	2817	354	502
Доля актиномицетов в прокариотном комплексе, %	16	10	28	4	31	8	9
Количество выделенных для исследования культур	7	8	10	6	6	7	11

влияния обработки растений препаратами по урожайности:

1. Можно было оценивать влияние обработки на вегетацию растений до сбора урожая.

2. Снимались организационные сложности по сбору и учету урожая отдельно с контрольных и опытных групп растений в производственных теплицах.

3. Значительно возростала производительность труда при получении результатов по влиянию обработки растений.

Измеряли фотосинтетическую активность раз в неделю 5 листьев каждого растения в группах. В группы входило по 12 растений. Всего 60 точек для каждой группы. Отклонение от среднего значения при 95% уровне значимости не превышало 15%.

В зону корнеобитания каждого растения вносили по 500 мл нейтрализованного раствора гумата калия (натрия) "Агротехнологии" (Россия) разных концентраций (2–15 г/л).

На первом этапе исследования были отобраны образцы тепличного субстрата из-под хорошо и плохо⁴ вегетирующих овощей – огурцов, томатов

⁴ Разница в относительных величинах, измеренная в единицах ФСА, между хорошо и плохо вегетирующими растениями составляла 20–30%.

и перца. Были определены аллелотоксичность в этих образцах и содержание в них бактерий (табл. 1, 2).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для всех изученных культур (огурцы, перец, томаты) замедление развития растений аллелотоксинами сопровождается снижением численности бактерий и уменьшением доли актиномицетов в структуре бактериального сообщества, что согласуется с имеющимися в литературе данными по влиянию аллелотоксинов на изменение состава ризосферного сообщества растений [14].

После выяснения вопроса о значимости влияния выделения аллелотоксинов в тепличные субстраты на вегетацию в этих субстратах овощей было решено проверить влияние снижения активности аллелотоксинов в тепличных субстратах на развитие в них растений огурцов.

Для этого решили использовать внесение в зону корнеобитания растений растворов гуматов разных концентраций, так как ранее было показано, что гуматы хорошо закрепляют аллелотоксины [15].

Было установлено, что внесение гуматов стимулирует вегетацию растений, при этом эффект возрастает с ростом концентрации растворов гуматов. Однако по достижении концентрации 15 г/л растворы гуматов начинают вызывать ги-

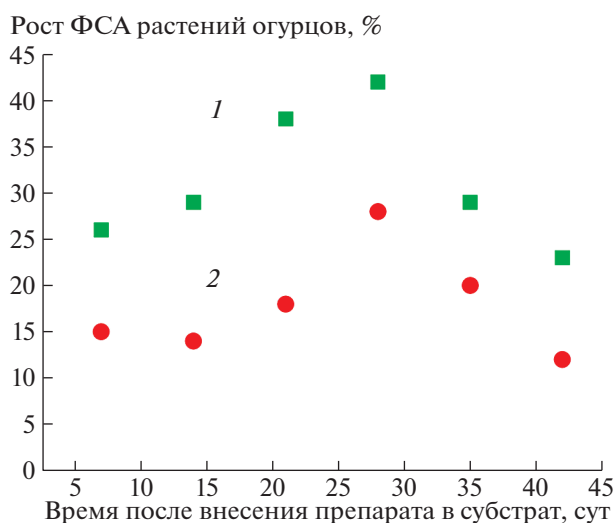


Рис. 1. Влияние внесения в зону корнеобитания растений растворов гуматов (12 г/л) на увеличение фотосинтетической активности (ФСА) огурцов сортов "Эстафета" (1) и "Мамлюк" (2).

бель растений, поэтому дальнейшие исследования проводили, внося в зону корнеобитания растений раствор гумата концентрацией 12 г/л.

Испытания провели на огурцах двух сортов — "Мамлюк" и "Эстафета". Из полученных данных (рис. 1) хорошо видно, что на обоих сортах наблюдается стимуляция вегетации растений, но для сорта "Эстафета" она выражена заметно сильнее. Связано это, по-видимому, с тем, что эти сорта отличаются между собой размерами листьев и их фотосинтетической активностью. Для сорта "Мамлюк" площадь листьев примерно в 1.5 раза меньше, а их фотосинтетическая активность в 1.5 раза выше, чем для сорта "Эстафета". Снижение аллелотоксичности тепличных субстратов при внесении в них гуматов приводит к росту фотосинтетической активности листьев (содержания в них хлорофилла), но концентрация хлорофилла сильнее повышается для того сорта, в котором его содержание ниже.

Таким образом, проведенные исследования показали, что выделение в тепличный субстрат растениями аллелотоксинов оказывает большое влияние на вегетацию овощей в теплицах, в том числе, по-видимому, за счет снижения численности микроорганизмов в тепличных субстратах. При этом использование для закрепления аллелотоксинов гуматов приводит к заметному улучшению вегетации растений огурцов.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-14-00107 "Методологические основы оценки продукционного потенциала почв на федеральном, региональном и локальном уровнях".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Путина О.В., Беседин А.Г.* Абиотические стресс-факторы и их влияние на накопление ассимилятов растениями и урожайность овощного гороха // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. № 2. С. 51–59.
2. *Lipiec J. et al.* Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review // International Agrophysics. 2013. V. 27. № 4. P. 463–477.
3. *Gholinezhad E. et al.* Study of the effect of drought stress on yield, yield components and harvest index of sunflower hybrid Iroflor at different levels of nitrogen and plant population // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2009. V. 37. № 2. P. 85–94.
4. Allelopathy: a physiological process with ecological implications / Eds. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. González. The Netherlands: Springer Science & Business Media. 2006. P. 637.
5. Allelopathy: current trends and future applications / Eds. Cheema Z.A., Farooq M., Wahid A. Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2013. P. 513.
6. *Inderjit, Moral D.R.* Is separating resource competition from allelopathy realistic? // The Botanical Review. 1997. V. 63. № 3. P. 221–230.
7. *Бирюков А.О.* Стимулирующая способность тепличного грунта в условиях применения регуляторов роста растений // Автореф. канд. дисс. М.: РГАУ-МСХА. 2009. С. 20.
8. *Игнатъев Н.Н., Селицкая О.В., Бирюков А.О.* Особенности стимулирующей и ингибирующей активности тепличного грунта при применении регуляторов роста растений / Известия ТСХА. Выпуск 4. 2005. С. 3–10.
9. Овощеводство: учебное пособие. Ч. 1 / сост.: Е.Н. Габибова, В.К. Мухортов; Донской ГАУ. — Персиановский Донской ГАУ. 2019. С. 180.
10. *Федотов Г.Н., Шоба С.А., Федотова М.Ф., Горепекин И.В.* Влияние аллелотоксичности почв на прорастание семян зерновых культур // Почвоведение. 2019. № 4. С. 489–496.
11. *Гаузе Г.Ф., Преображенская Т.П., Свешникова М.А., Терехова Л.П., Максимова Т.С.* Определитель актиномицетов. 1983. М.: Наука. С. 245.
12. *Звягинцев Д.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии. Москва. Изд-во МГУ. 1991. С. 304.
13. *Костин В.И., Смирнов П.В., Епифанов Н.И.* Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую активность растений и урожайность тепличного огурца и томата // Гавриш. 2013. № 4. С. 17–19.
14. *Wang Z. et al.* Changes in rhizosphere microbial communities in potted cucumber seedlings treated with synergistic acid // PLoS One. 2018. V. 13. № 6. P. e0200007.
15. *Шоба С.А., Салимгареева О.А., Горепекин И.В., Федотов Г.Н., Степанов А.Л.* Закрепление аллелотоксинов почв гуминовыми веществами как основа стимуляции прорастания семян // Доклады академии наук. 2019. Т. 487. № 3. С. 108–111.

ALLELOTOXICITY OF GREENHOUSE SUBSTRATES AFTER VEGETABLE CULTIVATION

Corresponding Member of the RAS S. A. Shoba^a, T. A. Gracheva^{a, #}, G. N. Fedotov^a, G. E. Ter-Petrosyants^b,
T. M. Jancharov^b, I. V. Gorepekin^a, and D. A. Ushkova^a

^a *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

^b *RSAU-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation*

[#] *e-mail: tanyadunaeva12@mail.ru*

It is known that stresses during the cultivation of agricultural plants reduce yields, and the occurrence of stressful effects leads to the release of allelotoxins by plants into the soil. It has been suggested that this factor can have a noticeable effect on the vegetation of vegetables in greenhouses, and a decrease in the concentration of allelotoxins in greenhouse substrates can improve the vegetation of plants. To verify these assumptions, the allelotoxicity of greenhouse substrates and the content of microorganisms in them under well and poorly vegetating plants of cucumbers, tomatoes and peppers were determined. It was found that there are significantly more allelotoxins and fewer prokaryotes in the substrates under poorly vegetating plants, which confirmed the assumption about the significance of the allelotoxins influence on the cultivation of vegetables in greenhouses. The introduction of humate solutions with a high sorption capacity in relation to allelotoxins into the root zone of plants makes it possible to significantly improve the vegetation of cucumbers and may be a promising direction for increasing vegetable yields in greenhouses.

Keywords: allelopathy in greenhouses, autotoxicity of greenhouse plants, phytotoxicity, microorganisms, photosynthetic activity of plants, alleloeffect of soils and vegetation of plants