

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕЗОНАНСНЫХ
НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЯ В БОРЬБЕ С АБИОТИЧЕСКОМ СТРЕССОМ
SOLANUM LYCOPERSICUM И RAPHANUS SATIVUS**

**Корсаков А. Н. (ФТШ), Образцов Е. М. (ЕНЛ), Костанда А. Г. (Лицей
№533), Бакумов А. С. (Лицей №299)**

Научный руководитель Сенникова Д.В. (ИТМО)

Введение. В современном агропромышленном комплексе одной из ключевых проблем является снижение урожайности сельскохозяйственных культур под воздействием абиотических стрессов, таких как засоление почв и экстремальные температуры. Эти факторы приводят к окислительному стрессу, нарушению фотосинтеза и деградации клеточных мембран. Перспективным направлением для решения этой проблемы является использование наноудобрений, в частности, на основе кремния [1], которые способны повышать стрессоустойчивость растений [2]. В отличие от применяемых в агроанотехнологиях металлических наночастиц, которые могут быть токсичны или вызывать окислительный стресс при превышении концентраций, кремниевые наночастицы обладают высокой биосовместимостью и безопасностью [3]. Однако механизмы влияния кремниевых наночастиц на метаболизм конкретных растений в условиях комбинированного стресса изучены недостаточно. Целью работы является определение наиболее перспективных направлений воздействия кремниевых наночастиц (в условиях солевого или теплового стресса) на томаты с использованием методов определения содержания хлорофилла и липидов в качестве первичных индикаторов.

Основная часть. Общий план работы выглядит следующим образом: на первом этапе проводится скрининг влияния наночастиц на ключевые физиологические параметры растений в условиях различных стрессоров для выявления наиболее перспективного направления изучения. На втором этапе планируется углубленное изучение выявленных закономерностей с помощью детектирования изменения содержания конкретных веществ.

На данный момент проделана следующая работа:

1. Подготовительный этап и высадка: Произведена высадка сорта томатов «Санька». Выбор сорта обусловлен его исходной высокой устойчивостью к осмотическому и тепловому стрессу, что делает любые положительные сдвиги в метаболизме под действием наночастиц особенно значимыми для реального сектора сельского хозяйства.
2. Создание стрессовых условий: Проведено контролируемое засоление почвы опытных образцов для моделирования осмотического стресса. Условия теплового стресса будут смоделированы на следующем этапе.
3. Методическая работа: Проведены пробные замеры содержания хлорофилла и липидов. Установлена корректность и воспроизводимость выбранных методов. Для определения количества хлорофилла используется метод спектрофотометрии спиртовых вытяжек листьев на длинах волн 400–700 нм, а также флуориметрии на длинах возбуждения 440 нм и диапазоном эмиссии 600–800 нм. Содержание хлорофилла в пробных образцах: 1.088 мг/г - образец без засоления, 0.914 мг/г - засоление раствором 0.1% NaCl, 0.625 мг/г - засоление 0.26% NaCl. Для определения липидов применяется упрощенный метод Фолча. Ключевая особенность подобных методов — экстракция липидов и хлорофилла вместе, что требует введения математической поправки. Поскольку содержание хлорофилла независимо измеряется спектрофотометрически, мы можем рассчитать «чистую» массу липидов, вычитая вклад хлорофилла из общего экстракта.

4. Подготовка действующего вещества: Изготовлен коллоидный раствор кремниевых наночастиц методом импульсной лазерной абляции в жидкости. Параметры абляции: длительность импульса 220 нс, длина волны: 1064 нм, флюенс: 1.5 Дж/см², частота: 100 кГц, среда: питьевая вода. Параметры абляции были подобраны теоретически, на основе анализа литературных данных.[4]

Вывод. На текущем этапе работы полностью сформирована экспериментальная база для проведения исследований образцов растений. Созданы модельные системы (растения в условиях солевого стресса), проверены методы первичной диагностики состояния растений (хлорофилл и липиды) и подготовлен рабочий раствор наночастиц. Таким образом, текущие условия позволяют перейти к основной фазе исследований первого года — внесению кремниевых наночастиц в опытные группы и сравнительному анализу их влияния на накопление хлорофилла и динамику липидного обмена при солевом и тепловом стрессе. Полученные данные позволят определить, какой из стрессов дает наиболее выраженный и воспроизводимый отклик на обработку наночастицами, и, следовательно, выбрать вектор для углубленных исследований во второй части проекта.

Список источников:

1. G. Yan, Q. Huang, S. Zhao, Y. Xu, Y. He, M. Nikolic, N. Nikolic, Y. Liang, Z. Zhu, *Frontiers in Plant Science*, 15, 1393458 (2024). DOI: 10.3389/fpls.2024.1393458.
2. H. Naaz, K. Rawat, P. Saffeullah, S. Umar, *Environmental Chemistry Letters*, 21, 539 (2023). DOI: 10.1007/s10311-022-01515-9.
3. J. A. Bhat, N. Rajora, G. Raturi, S. Sharma, P. Dhiman, S. Sanand, S. M. Shivaraj, H. Sonah, R. Deshmukh, *Nanoscale Advances*, 3 (14), 4019 (2021). DOI: 10.1039/D1NA00233C.
4. M. R. Marks, K. Y. Cheong, Z. Hassan, *Precision Engineering*, 74, 263 (2022). DOI: 10.1016/j.precisioneng.2021.10.001.