

## ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ Al НА СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА В ЛИСТЯХ ХЛОПЧАТНИКА

**Аннотация.** Роль нанотехнологий в решении экологических проблем возрастает, и появляется необходимость в дополнительных исследованиях в этой области. Одной из экологических проблем является проблема засоления почв. Во время солевого стресса процент прорастания рассады, рост и развитие растений замедляются, а количество пигментов, хлорофилла и каротиноидов в листьях уменьшается. Уменьшается также активность важных физиологических процессов – фотосинтеза, дыхательных процессов и активность ферментов. Существует несколько способов улучшить солеустойчивость хлопчатника. В первую очередь, это генетическое улучшение сортов. Другой способ – повышение устойчивости семян или рассады химическим, биологическим или физическим методами. На ранних стадиях развития рассады хлопчатник очень чувствителен к солёности и другим стрессовым факторам. В ходе исследования было изучено влияние наночастиц Al на пигментный состав листьев рассады хлопчатника и на активность ферментов (аскорбатпероксидазы, полифенолоксидазы, гваякол-зависимой пероксидазы) в пробах почвы, собранных из разных районов Муганской степи. Установлено, что семена хлопчатника хорошо развиваются в засоленных почвах при обработке наночастицами Al. Значительные изменения происходят в его развитии и в кинетике физиологических процессов. Отмечено увеличение количества хлорофилла пигментов а и b в ростках хлопка (в основном на 3-листных стадиях). Наблюдается изменение активности ферментов. Так, активность аскорбиновой пероксидазы во время стрессовых факторов в ростках возрастает, а в листьях хлопчатника – снижается. Отмечено и незначительное снижение активности ферментов полифенолоксидазы и гваякол-зависимой пероксидазы.

**Ключевые слова:** наночастицы; хлопчатник; засоленные почвы; хлорофилл; ферментативная активность.

**Сведения об авторе:** Фариде Васиф гызы Гасанова, докторант.

**Место работы:** Бакинский государственный университет.

**Контактная информация:** AZ 1148, Азербайджан, г. Баку, ул. Захид Халилова, д. 23, тел. +994 51 435 5158, e-mail: faride.hasanli90@gmail.com.

### Введение

Исторически, начиная с XVIII в., земли Ширванской, Мильской и Муганской степей, входящие в Кура-Аразскую низменность, использовались для культивирования хлопчатника (под насаждения), чему способствовали благоприятные почвенно-климатические условия региона. Особенно активное использование этих земель под посевы началось с середины XX в. Позже в оборот были вовлечены и почвы Карабахской степи и Нахичевани Азербайджана.

В Муганской степи производилось более 30% хлопка-сырца. Муганская степь расположена на стыке двух основных водных артерий Азербайджана – рр. Кура и Араз. Данное положение способствовало интенсивному использованию этих земель, и итогом стало нарушение экологического равновесия, поднятие уровня грунтовых вод и вторичное засоление плодородных земель (Basal 2010).

Абиотические стрессы, такие как заболачивание, засуха, жара и засоление, являются основными ограничениями для успешного выращивания сельскохозяйственных культур (Khan et al. 2017).

Большая часть современных сортов хлопка являются солеустойчивыми. Хлопчатник

среди многих сельскохозяйственных растений по отношению к солям, независимо от их типа, классифицируется как толерантный к засоленному виду. Даже при высоком содержании солей в почве хлопчатник по физиологическим свойствам может нормально развиваться и быть продуктивной культурой. Но при этом следует отметить, что концентрация солей в почве может быть и выше допустимой нормы, а это угнетает рост растений, замедляет их развитие, понижает их продуктивность и качество (Higbie et al. 2010; Нечитайло и др. 2018).

Но солевая толерантность хлопчатника крайне ограничена, и проведение исследований по определению и возможному расширению границ угнетения вида является актуальным для сельского хозяйства Азербайджана и экологии вида в целом (Ashraf 2002).

Имеются различные пути повышения толерантности солеустойчивости хлопчатника, одним из которых является генетическое улучшение сортов. Иной путь увеличения солеустойчивости семян и рассады хлопчатника – химическими, биологическими и физическими методами.

Хлопчатник, как и многие растения, крайне чувствителен к стрессовым факторам

внешней среды в фазах всхода и цветения. Растения, успешно преодолевшие все негативные (природные и антропогенные) условия воздействия в период своей вегетации, даже в засоленных почвах, способны дать хороший урожай (Cavalcanti et al. 2007).

У большинства возделываемых растений, в частности у хлопчатника, при солевом стрессе наблюдается замедление развития, резкое уменьшение количества пигментов, хлорофиллов и каротинов в листьях, снижается активность фотосинтеза и ферментов (Basal 2010).

W.Chen, Z.Hou, L.Wu, Y.Liang, C.Weil (2010) установили, что хлопчатник в начальной фазе развития наиболее чувствителен к солевым стрессам, нежели в других фазах своего вегетационного периода. В своей работе «Влияние солености и азота на рост хлопка в аридной среде» они отмечают, что рост хлопка, измеренный как высота растения, значительно зависел от засоления почвы и взаимодействия N-солености, но не только от N. При более высокой солености поглощение N не зависит от уровня N и в основном зависит от засоленности почвы. Поглощение K уменьшалось с засолением почвы. Концентрация Na, Cl и Ca в растительных тканях увеличивалась с засолением почвы с самыми высокими концентрациями в хлопковом листе.

Высокое содержание солей в почве, замедляя интенсивность развития хлопчатника, угнетает его всходы, значительно уменьшает фитомассу (как надземную, так и подземную), листья изменяют свой цвет – чернеют (Gouia et al. 1994).

Опыты, проведенные на четырех сортах хлопчатника (*Gossypium hirsutum* L.) на нескольких приподнятых участках рельефа, показали, что рост их всходов, длина корней, количество и общая площадь листьев, количество хлорофиллов, осмотический потенциал, сухая фитомасса и др. показатели на засоленных почвах серьезно уступают растениям, возделываемым в нормальных условиях. В зависимости от сорта хлопчатника изменяется и степень подверженности к солевым стрессам. При влиянии стрессовых факторов среды, в частности солей, наличие хлорофиллов непосредственно зависит от генотипа самого растения – хлопчатника. Установлена прямая связь между антиоксидантами и солеустойчивостью хлопчатника (Ashraf 2002; Mittler 2002; Saleh 2012).

После стрессов активность антиоксидантных ферментов, которые значительно уменьшают повреждения при окислении, играет значительную роль после солевого стресса (Cavalcanti et al. 2007).

### Объект и методика исследований

Опыты проведены на сорте хлопчатника «Гянджа-110», который районирован в 2017 г. и получен путем мутагенеза. В экспериментах были использованы наночастицы Al. В настоящее время наиболее используемыми наноматериалами в сельском хозяйстве являются наномембраны, нанопористые полимеры, нанопористые цеолиты, углеродные нанотрубки для наносенсоров и каталитические наночастицы для удаления загрязняющих веществ из окружающей среды (Cásarez-Santiago et al. 2019, Ruotolo R. et al. 2018).

Семена хлопчатника были представлены Институтом генетических ресурсов Национальной Академии наук Азербайджана.

Семена хлопчатника до посадки были очищены от волокон. «Гянджа-110» является скороспелым сортом, высота растения – 90–110 см, кусты компакты, пирамидальной формы, моноподиальные ростки – 1 шт., стебель увядший, зеленого цвета, слабо волокнистый, устойчив к полеганию. Коробочки яйцеобразно-крупные, звездовидные, гладкие с бурыми пятнами и зеленого цвета. Урожай устойчив. Семена средне-крупные, масса 1000 семян – 115–120 г, темно-зеленого цвета, средне-щетиныстые (Гумбатов, Халилов 2012).

Ферментативная активность определялась стандартным биохимическим методом.

Активность аскорбат-пероксидазы определялась уменьшением оптической плотности при 265 нм волн аскорбиновой кислоты, т. к. степень окисления аскорбиновой кислоты напрямую коррелируется количеством ферментов.

Для определения активности фермента аскорбинатоксидазы спектоскопическим методом использован фосфатный буфер (pH 7,3–7,4),  $10^{-3}$ М  $MgSO_4$  на  $10^{-5}$ М раствора аскорбиновой кислоты.

В фазе 3-х листьев хлопчатника с каждого варианта взяты образцы в количестве  $1 \pm 0,001$  г, которые были промыты в дистиллированной воде и растерты в ступке. Полученный гомогенат был растворен в колбе объемом 50 мл в охлажденном буфере фосфата (25 мл). Экстракт осаждался в центрифуге в течение 10 мин (скорость вращения 9 000 об/мин). В кювету (опыт) вносили 1 мл  $MgSO_4$ , 2 мл фосфатного буферного раствора, 0,1 мл фильтрата и 0,7 мл аскорбиновой кислоты.

В другую кювету (контроль) в том же количестве были размещены аналогичные компоненты, но аскорбиновая кислота была заменена 0,7 мл  $H_2O$ .

Для каждой кюветы начальной точкой определений принимался ноль. Продолжитель-

ность первого определения – 30 с, затем через 60 с – 5–6 мин. Активность ферментов (А) определялась по следующей формуле:

$$A = \frac{(D_2 - D_1)60VV_2}{(t_2 - t_1)V_1H}$$

где  $D_1$  – оптическая плотность раствора в начальной стадии (первое определение),  $D_2$  – оптическая плотность раствора в конце опыта,  $t_1$  и  $t_2$  – время в начале и в конце опыта,  $H$  – масса взятых образцов (г),  $V$  – масса экстракта фермента (мл), необходимый объем для проведения реакции (мл).

Для определения активности ферментов полифенолоксидазы и гваякол-зависимой пероксидазы спектрофотометрическим методом был использован метод определения активности фермента аскорбат-пероксидазы. В этих опытах использованы 0,5 г листового материала и 10 мл 0,06 М фосфатного буферного раствора (рН 7,2).

Определителем являлись растворы 0,02% полифенолоксидазы и диэтилпарафенилендиамина (Ермаков и др. 1987). Спектры флуоресценции строились на спектрофотометре Cary Eclipse (Varian Cary).

Степень засоленности и рН почв определялись в лаборатории органических удобрений Института почвоведения и агрохимии НАНА кондуктометром (ЕС-метр).

Почвенные образцы были взяты из различных точек Муганской степи.

Семена хлопчатника были посажены в вегетационные емкости с почвой различной степени засоленности. В каждую вегетационную емкость размещали по 10 семян сорта «Гянджа-110» в 4 вариантах, проращивание проводилось в фитотроне с автоматическим регулированием температуры, света и влажности (рис. 1, 2).

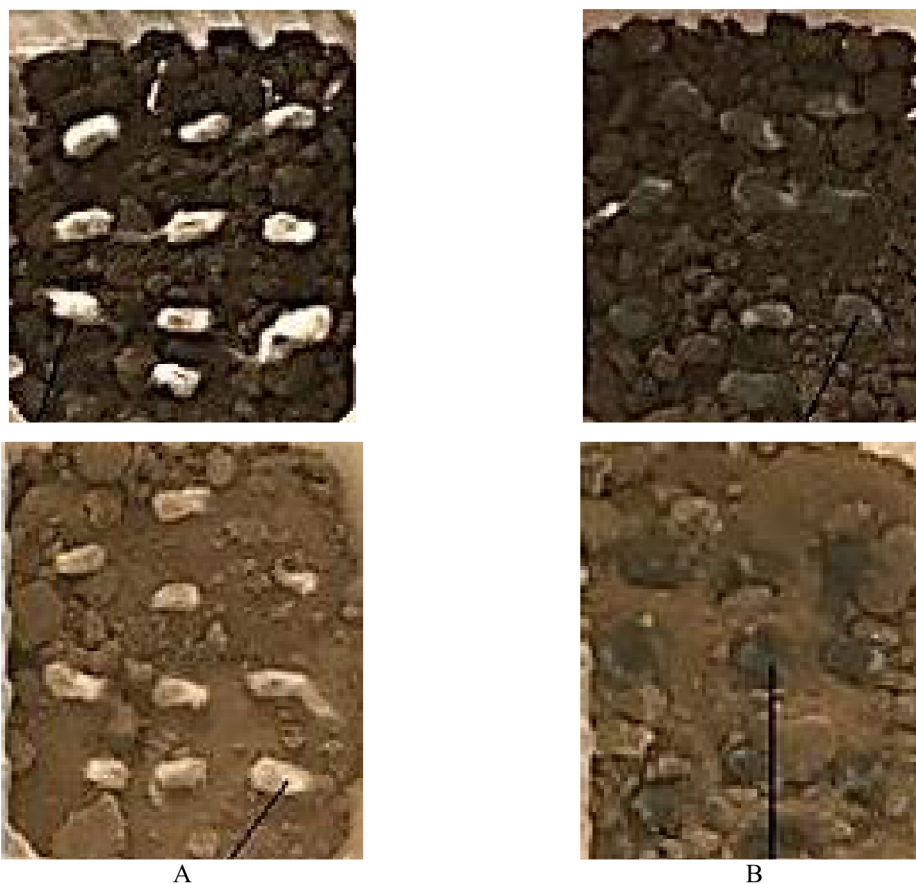


Рис. 1. Посадка семян хлопчатника в вегетационных емкостях: А – вариант, не обработанный наночастицами, В – вариант с Al наночастицами

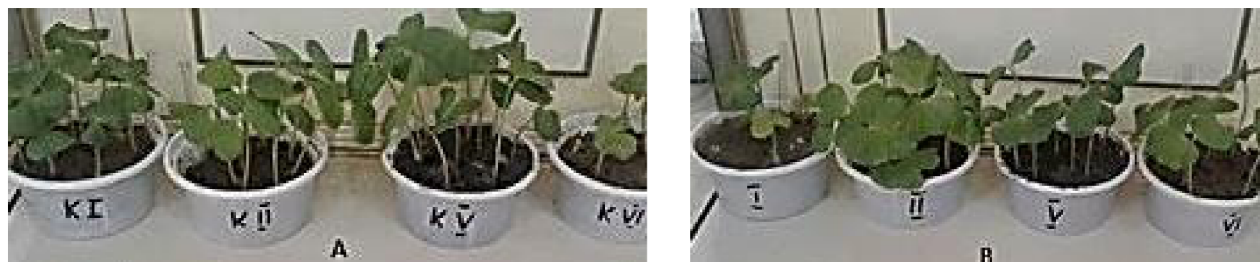


Рис. 2. Всходы семян хлопчатника: А – вариант, не обработанный наночастицами, В – вариант с Al наночастицами

### Результаты и их обсуждение

В проведенных опытах на генетически усовершенствованном сорте хлопчатника определялось влияние наночастиц Al на рост стебля, длину корней, их плотность и биомассу. Выявлено, что при низкой концентрации наночастиц Al существенных изменений в минеральном питании и развитии корневой массы, а также всходов не наблюдалось. Но при этом установлено положительное влияние наночастиц Al на поглощение элементов Fe и Na и ингибирование продуктов некоторых фитогормонов. Под действием наночастиц Al концентрация IPA предотвращает ускоренное старение растений. По мере увеличения концентрации наночастиц в корневой системе рассады увеличивается количество Al.

Анализ образцов корней и листьев свидетельствуют о накоплении в корнях и листьях наночастиц, что подтверждается и работами зарубежных авторов, которые показали, как наночастицы транспортировались от корней к побегам через сок ксилемы (Rui et al. 2014).

Проанализирована фитотоксичная эффективность наночастиц на Bt-трансген хлопчатника и выявлено, что наночастицы Al от корней хлопчатника распространяются по стеблю к листьям, абсорбируются на поверхность хлоропластов, в связи с чем происходит разрушение хлоропластов. С другой стороны наночастицы в массе ксилем способствуют уменьшению количества ростовых гормонов IAA и ABA, таких важных элементов как Zn, Mg, Fe и P. Наночастицы Al не оказывают существенного влияния на активность довольно важного фермента пероксидазы в клетках корней и супероксиддисмутазы в клетках листьев. Но при этом они способны значительно изменить активность фермента каталазы (CAT).

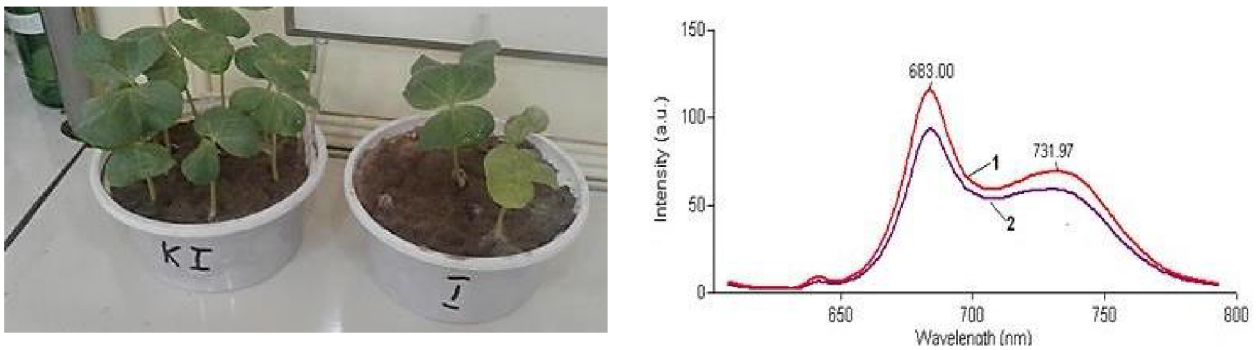
При наличии наночастицы Bt-transgen (биостимулятор, активизирующий развитие листьев растений) в клетках корней и листьев хлопчатника в концентрации 100 mg/l активность фермента каталазы по сравнению с контролем существенно различна. Активность ка-

талазы в обычном хлопчатнике, по сравнению с Bt-transgen, несколько ниже, а на образцах, семена которых обработаны наночастицами Al, его активность значительно увеличивается.

Для определения кинетики изменения пигментов хлорофилла при помощи спектров флюоресценции использовались почвенные образцы с различной степенью засоления: почва I – 2,32 dS/m, почва II – 0,44 dS/m, почва V – 0,56dS/m и почва VI – 1,10 dS/m. pH водной суспензии во всех образцах – 6,5–7, от слабо кислой до нейтральной.

В контрольном варианте семена хлопчатника не обработаны наночастицами Al, а в экспериментальном варианте – обработаны. На 3-листной стадии развития хлопчатника были взяты образцы листьев шириной 3 мм и длиной 1 см, после удерживания их в течении 1 ч в темноте были сняты спектры флюоресценции. В результате было зафиксировано 2 максимума в спектре флюоресценции хлорофиллов при комнатной температуре в листьях *in vivo*: первый максимум спектра в красной области длиной волны 689 нм относится к II фотосистеме (PSII), второй (720–740 нм) – к I фотосистеме (PSI).

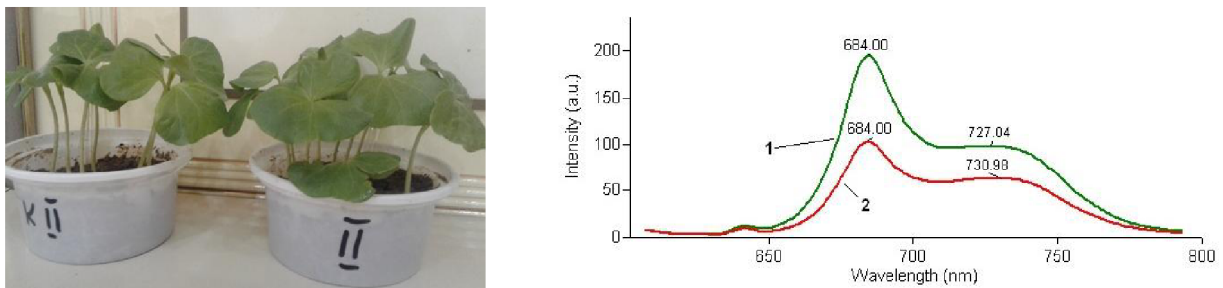
За показатели количества хлорофилла в опытах приняты соотношения F689/F740. Установлена обратная связь между соотношением F685/F740 и количеством хлорофиллов (Nak et al. 1990). Составляя спектры флюоресценции и проводя расчеты максимумов этих соотношений, можно наблюдать те или иные стрессовые факторы, влияющие на кинетику изменения количества хлорофиллов в листьях растений. На основе проведенных исследований были составлены и сопоставлены кривые спектров флюоресценции рассады семян хлопчатника, обработанных наночастицами Al, на засоленных и плодородных почвах (рис. 3). На рисунке представлены спектры флюоресценции всходов семян в почвенных образцах, обработанных наночастицами Al (I сосуд) (кривая 2), и спектры семян на необработанном (KI сосуд) контрольном варианте почв (кривая 1).



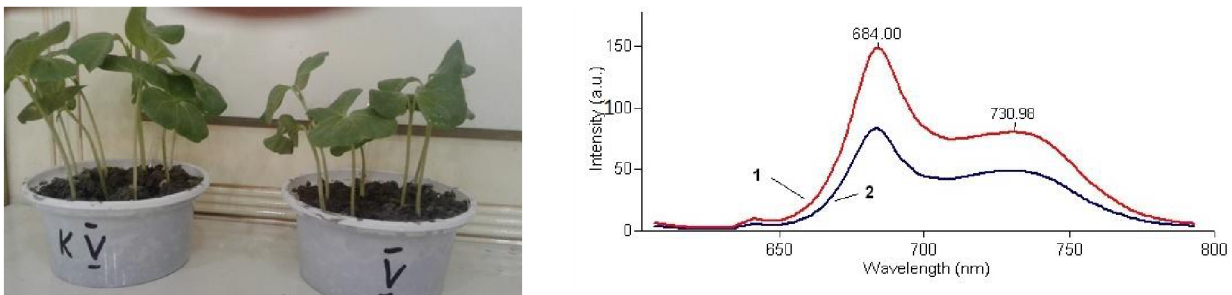
**Рис. 3. Спектр флюоресценции рассады семян, обработанных AI наночастицами (I емкость) (кривая 2), и спектр флюоресценции рассады не обработанных AI наночастицами семян (емкость KI) (кривая 1)**

На рисунке 4 представлены спектры листьев растений из второго образца почв, на рисунке 5 – спектры из пятого образца почв, а на рисунке 6 – из шестого образца почв. В результате проведенных опытов установлено, что на

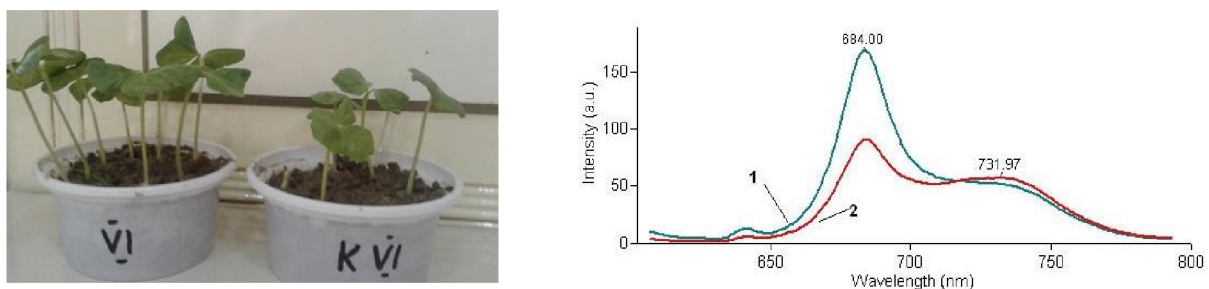
листьях всходов семян, обработанных наночастицами AI, на засоленных почвах (образец I) интенсивность максимумов уменьшилась по сравнению с контролем.



**Рис. 4. Спектр флюоресценции рассады семян, обработанных AI наночастицами (II емкость) (кривая 1), и спектр флюоресценции рассады не обработанных AI наночастицами семян (емкость KI) (кривая 2)**



**Рис. 5. Спектр флюоресценции рассады семян, обработанных AI наночастицами (V емкость) (кривая 2), и спектр флюоресценции рассады не обработанных AI наночастицами семян (емкость KV) (кривая 1)**



**Рис. 6. Спектр флюоресценции рассады семян, обработанных AI наночастицами (VI емкость) (кривая 2), и спектр флюоресценции рассады не обработанных AI наночастицами семян (емкость KVI) (кривая 1)**

Если соотношение максимумов спектров флюоресценции на не обработанных наночастицами семенах составило  $F_{683/732} = 1,58$ , то на обработанных семенах это соотношение соответствует  $F_{683/732} = 1,64$ . Уменьшение данного соотношения свидетельствует, что Al наночастицы на засоленных почвах способствуют увеличению количества хлорофилла. Данное соотношение на слабо засоленных почвах (образец VI) соответствует  $F_{684/732} = 1,78$ , а на контроле  $F_{684/732} = 1,84$ .

В данном варианте также наблюдается уменьшение соотношения  $F_{684/732}$ , что еще раз свидетельствует о том, что при обработке семян наночастицами Al увеличивается количество хлорофиллов на слабо засоленных почвах. В образцах почв II и V происходит увеличение соотношения  $F_{684/732}$ . В контрольном варианте (почва KII) это соотношение составляло 1,8, а в экспериментальном варианте (почва II) – 2,0; в контрольном варианте (почва KV) – 1,6, в экспериментальном (почва V) – 1,88. Следовательно, в образцах опресненных почв Al наночастицы уменьшают наличие хлорофиллов.

Опыты показали, что при засолении (солевой стресс) почв происходит уменьшение

количества хлорофиллов в растениях, что подтверждают и другие исследователи (Taffouo et al. 2010). При увеличении концентрации NaCl в различных сортах сои зафиксировано уменьшение хлорофиллов на 52%. Уменьшение количества хлорофиллов и других пигментов при увеличении засолённости в *Lens calinaris* L. показано в работе (Turan et al. 2007). В наших опытах с обработкой семян хлопчатника наночастицами Al наблюдался обратный процесс, т. е. при увеличении засолённости почв происходило увеличение количества хлорофилла в растениях хлопчатника.

Для определения активности ферментов аскорбат-пероксидазы, полифенолоксидазы, гваякол-зависимой пероксидазы в заложенных опытах были получены кривые спектра флюоресценции (рис. 7). Аскорбат пероксидаза в хлоропластах  $H_2O_2$  является основным ферментом цикла детоксикации аскорбат-квотации (Asada 1992). Данный фермент и система аскорбат-квотации играют важную роль не только в хлоропластах, но также в угасании активных радикалов кислорода в цитоплазме, митохондриях и пероксисомах (Rinderle, Lichtenthaler 1988).

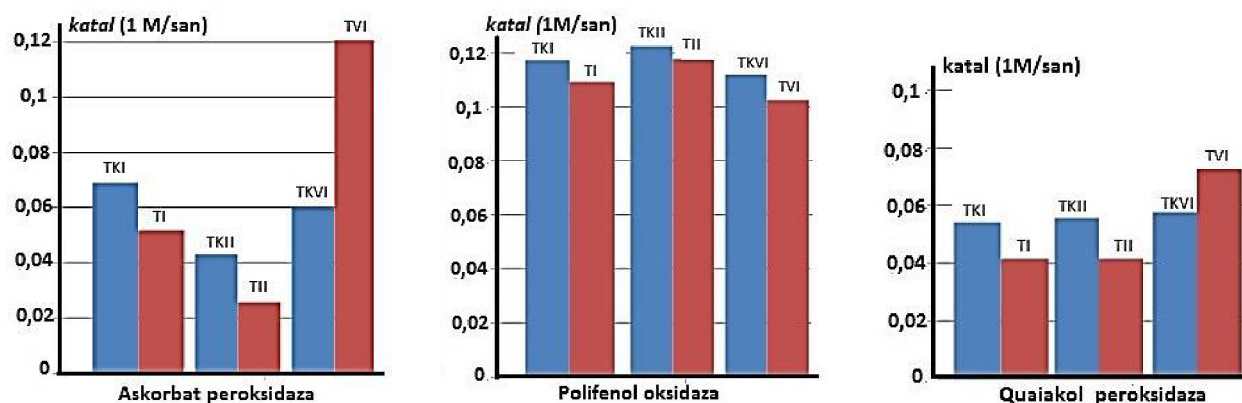


Рис. 7. Ферментативная активность в листьях рассады семян, обработанных Al наночастицами (TI, TII, TVI) и не обработанных Al наночастицами (TKI, TKII, TKVI)

Усиление факторов стресса среды способствует пропорциональному увеличению активности ферментов (Taïbi et al. 2016). В проведенных опытах было выявлено, что в почвах с относительно высокой степенью засолённости (2,32 dS/m) в семенах, обработанных Al наночастицами, происходит уменьшение активности фермента аскорбат-пероксидазы в листьях рассады хлопчатника, а в почвах с относительно низкой засолёностью (1,10 dS/m) их активность увеличивается в два раза.

Активность фермента полифенолоксидазы во всех почвенных образцах не существенна, но подвержена уменьшению.

Активность гваякол-зависимой пероксидазы в засоленных почвах (2,32 dS/m) уменьшается, но в относительно слабо засоленных почвах (1,10 dS/m) наблюдается существенное увеличение (рис. 7).

### Заключение

Итак, семена хлопчатника, обработанные Al наночастицами, достаточно успешно произрастают в засоленных почвах. В динамике и кинетике физиологических процессов происходят существенные изменения: увеличение количества хлорофиллов и других пигментов

(особенно в 3-лиственной фазе); изменение активности ферментов.

А при обработке семян Al наночастицами в засоленных почвах в листьях хлопчатника

происходит угасание активности ферментов: уменьшение активности фермента не существенно в полифенолоксидазе и ярко выражено в гваякол-зависимой пероксидазе.

#### ЛИТЕРАТУРА

Гасанова Ф. В. 2019. Влияние наночастиц на физиологические характеристики и активность ферментов растений, выращенных в соленых почвах // Бюллетень науки и практики 5:2, 142–151. DOI:10.33619/2414-2948/39/19.

Гумбатов Х. Г., Халилов Е. И. 2012. Технология волокна хлопчатника. Баку: Нурлап.

Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П., Перуанский Ю. В., Луковникова Г. А., Иконникова М. И. 1987. Методы биохимического исследования растений. Изд. 2-е, перераб. и доп. Ленинград: Колос. Ленингр. отд-ние, 44–45.

Нечитайло Г. С., Богословская О. А., Ольховская И. П., Глуценко Н. Н. 2018. Влияние наночастиц железа, цинка, меди на некоторые показатели роста растений перца // Российские нанотехнологии 13:3-4, 57–63.

Ahmad S., Khan N., Iqbal M. Z., Hussain A., Hassan M. 2002. Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) // Asian Journal of Plant Sciences 1:6, 715–719. DOI: 10.3923/ajps.2002.715.719.

Asada K. 1992. Ascorbate peroxidase—a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants // Physiologia Plantarum 85: 2, 235–241. DOI: 10.1111/j.1399-3054.1992.tb04728.x.

Ashraf M. 2002. Salt Tolerance of Cotton: Some New Advances // Critical Reviews in Plant Sciences 21:1, 1–30. DOI: 10.1080/0735-260291044160.

Basal H. 2010. Response of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes to salt stress // Pakistan Journal of Botany 42, 505–511.

Cásarez-Santiago R. G. et al. 2019. Nanoagriculture and Energy Advances // Plant Nanobionics Springer, Cham, 141–164. DOI: 10.1007/978-3-030-12496-0\_7.

Cavalcanti F. R., Lima J. P. M. S., Ferreira-Silva S. L., Viégas R. A., Silveira J. A. G. 2007. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea // Journal of plant physiology 164(5), 591–600. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.03.04>.

Chen W., Hou Z., Wu L. et al. 2010. Effects of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment // Plant and Soil. Plant Soil 326, 61. URL: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9881-0>.

Gouia H., Ghorbal M. H., Touraine B. 1994. Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and on NO<sub>3</sub>-reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt-tolerant cotton // Plant Physiology 105: 4, 1409–1418.

Hák R., Lichtenthaler H. K., Rinderle U. 1990. Decrease of the chlorophyll fluorescence ratio F690/F730 during greening and development of leaves // Radiation and environmental biophysics 29:4, 329–336. DOI: 10.1007/BF01210413.

Higbie S. M., Wang F., Stewart J. M., Sterling T. M., Lindemann W. C., Hughs E., Zhang J. 2010. Physiological response to salt (NaCl) stress in selected cultivated tetraploid cottons // International Journal of Agronomy. DOI: 10.1155/2010/643475.

Khan A. et al. 2017. Nitrogen fertility and abiotic stresses management in cotton crop: a review // Environmental Science and Pollution Research 24:17, 14551–14566. DOI: 10.1007/s11356-017-8920-x.

Le Van Nhan, Chuanxin Ma, Yukui Rui et al. 2015. Phytotoxic Mechanism of Nanoparticles: Destruction of Chloroplasts and Vascular Bundles and Alteration of Nutrient Absorption // Scientific Reports 5, 11618. DOI: 10.1038/srep11618.

Mittler R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance // Trends in plant science 7:9, 405–410. DOI: 10.1016/S1360-1385(02)02312-9.

Rinderle U., Lichtenthaler H. K. 1988. The chlorophyll fluorescence ratio F690/F735 as a possible stress indicator // Applications of Chlorophyll Fluorescence in Photosynthesis Research, Stress Physiology, Hydrobiology and Remote Sensing Springer, Dordrecht, 189–196. DOI: 10.1007/978-94-009-2823-7\_23.

Rui Y., Gui X., Li X., Liu S., Han Y. 2014. Uptake, transport, distribution and bio-effects of SiO<sub>2</sub> nanoparticles in Bt-transgenic cotton // Journal of nanobiotechnology 12:1, 50. DOI: 10.1186/s12951-014-0050-8.

Ruotolo R. et al. 2018. Plant response to metal-containing engineered nanomaterials: an omics-based perspective // Environmental science & technology. 52:5, 2451–2467. DOI: 10.1021/acs.est.7b04121.

Saleh B. 2012. Salt stress alters physiological indicators in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) // Soil & Environment 31:2, 113–118.

Taffouo V. D., Wamba O. F., Youmbi E., Nono G. V., Akoa A. 2010. Growth, yield, water status and ionic distribution response of three bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L.) verdc.) landraces grown under saline conditions // International Journal of Botany 6:1, 53–58. DOI: 10.3923/ijb.2010.53.58.

Taïbi K., Taïbi F., Abderrahim L. A., Ennajah A., Belkhdja M., Mulet J. M. 2016. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L // South African Journal of Botany 105, 306–312. DOI: 10.1016/j.sajb.2016.03.011.

Turan M. A., Turkmen N., Taban N. 2007. Effect of NaCl on stomatal resistance and proline, chlorophyll, Na, Cl and K concentrations of lentil plants // Journal of Agronomy 6, 378–381.

## REFERENCES

- Ahmad, S., Khan, N., Iqbal, M.Z., Hussain, A., & Hassan, M. Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). In: Asian Journal of Plant Sciences, 2002 (1), issue6, pp. 715–719. doi: 10.3923/ajps.2002.715.719.
- Asada, K. Ascorbate peroxidase—a hydrogen peroxide scavenging enzyme in plants. In: Physiologia Plantarum, 1992 (85), issue2, pp. 235–241. doi: 10.1111/j.1399-3054.1992.tb04728.x.
- Ashraf, M. Salt tolerance of cotton: Some new advances. Critical Reviews in Plant Sciences, 2002 (21), issue1, pp. 1–30. doi: 10.1080/0735-260291044160.
- Basal, H. Response of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) genotypes to salt stress. In: Pakistan Journal of Botany, 2010 (42), pp. 505–511.
- Cásarez-Santiago, R.G., et al. Nanoagriculture and Energy Advances. In: Plant Nanobionics. Ed. by R. Prasad. Cham: Springer, 2019, pp. 141–164. doi: 10.1007/978-3-030-12496-0\_7.
- Cavalcanti, F.R., Lima, J.P.M.S., Ferreira-Silva, S.L., Viégas, R.A., & Silveira, J.A.G. Roots and leaves display contrasting oxidative response during salt stress and recovery in cowpea. In: Journal of Plant Physiology, 2007 (164), issue 5, pp. 591–600. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.03.004>.
- Chen, W., Hou, Z., Wu, L., et al. Effects of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment. In: Plant and Soil, 2010 (326), pp. 61–73. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9881-0>
- Gasanova, F. Vliyaniye nanochastits na fiziologicheskiye kharakteristiki i aktivnost' fermentov rasteniy, vyrashchennykh v solenyykh pochvakh [Influence of nanoparticles on ferments activity and physiological characters of the ground plants in saline soils]. In: Bulletin nauki i praktiki, 2019 (5), issue 2, pp. 142–151. Retrieved from: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/39/19>. (In Russian).
- Gouia, H., Ghorbal, M.H., & Touraine, B. Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and on NO<sub>3</sub>-reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt-tolerant cotton. In: Plant Physiology, 1994 (105), issue4, pp. 1409–1418. doi: 10.1104/pp.105.4.1409.
- Hák, R., Lichtenthaler, H.K., & Rinderle, U. Decrease of the chlorophyll fluorescence ratio F690/F730 during greening and development of leaves. In: Radiation and Environmental Biophysics, 1990 (29), issue4, pp. 329–336. doi: 10.1007/BF01210413.
- Higbie, S.M., Wang, F., Stewart, J.M., Sterling, T.M., Lindemann, W.C., Hughs, E., & Zhang, J. Physiological response to salt (NaCl) stress in selected cultivated tetraploid cottons. In: International Journal of Agronomy, 2010, Article ID 643475. doi: 10.1155/2010/643475.
- Khan, A., et al. Nitrogen fertility and abiotic stresses management in cotton crop: a review. In: Environmental Science and Pollution Research, 2017 (24), issue17, pp. 14551–14566. doi: 10.1007/s11356-017-8920-x.
- Le Van Nhan, Chuanxin Ma, Yukui Rui, et al., Phytotoxic Mechanism of Nanoparticles: Destruction of Chloroplasts and Vascular Bundles and Alteration of Nutrient Absorption. In: Scientific Reports, 2015 (5), Article Number11618. doi: 10.1038/srep11618
- Mittler, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. In: Trends in Plant Science, 2002 (7), issue 9, pp. 405–410. doi: 10.1016/S1360-1385(02)02312-9.
- Nechitailo, G.S., Bogoslovskaya, O.A., Olkhovskaya, I.P., & Glushchenko, N.N. Vliyaniye nanochastits zheleza, tsinka, medi nanekotoryye pokazateli rosta rasteniy pertsya [Influence of nanoparticles of iron, zinc, copper on some indicators of the growth of pepper plants]. In: Rossijskie nanotehnologii, 2018 (13), issue 3–4, pp. 57–63. (In Russian).
- Rinderle, U., & Lichtenthaler, H.K. The chlorophyll fluorescence ratio F690/F735 as a possible stress indicator. In: Applications of Chlorophyll Fluorescence in Photosynthesis Research, Stress Physiology, Hydrobiology and Remote Sensing. Dordrecht: Springer, 1988, pp. 189–196. doi: 10.1007/978-94-009-2823-7\_23.
- Rui, Y., Gui, X., Li, X., Liu, S., & Han, Y. Uptake, transport, distribution and bio-effects of SiO<sub>2</sub> nanoparticles in Bt-transgenic cotton. In: Journal of Nanobiotechnology, 2014 (12), Article Number 50. doi: 10.1186/s12951-014-0050-8.
- Ruotolo, R., et al. Plant response to metal-containing engineered nanomaterials: an omics-based perspective. In: Environmental Science and Technology, 2018 (52), issue5, pp. 2451–2467. doi: 10.1021/acs.est.7b04121.
- Saleh, B. Salt stress alters physiological indicators in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). In: Soil and Environment, 2012 (31), issue 2, pp. 113–118.
- Taffouo, V.D., Wamba, O.F., Youmbi, E., Nono, G.V., & Akoa, A. Growth, yield, water status and ionic distribution response of three bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L.) verdc.) landraces grown under saline conditions. In: International Journal of Botany, 2010 (6), issue 1, pp. 53–58. doi: 10.3923/ijb.2010.53.58
- Taïbi, K., Taïbi, F., Abderrahim, L.A., Ennajah, A., Belkhodja, M., & Mulet, J.M. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. In: South African Journal of Botany, 2016(105), pp. 306–312. doi: 10.1016/j.sajb.2016.03.011.
- Turan, M.A., Turkmen, N., & Taban, N. Effect of NaCl on stomatal resistance and proline, chlorophyll, Na, Cl and K concentrations of lentil plants. In: Journal of Agronomy, 2007 (6), pp. 378–381.



Gumbatov, X.G., & Khalilov, Ye.I. Tekhnologiya volokna khlochatnika [Cotton Fiber Technology]. Baku: Nurlan, 2012. (In Russian).

Yermakov, A.I., Arasimovich, V.V., Yarosh, N.P. Peruanskiy, Yu.V., Lukovnikova, G.A., & Ikonnikova, M.I. Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy [Methods of biochemical studies of plants], 2<sup>nd</sup> ed. Leningrad: Kolos, 1987, pp. 44–45. (In Russian).

F.V. Hasanova  
Baku, Azerbaijan

### IMPACT OF AL NANOPARTICLES ON CHLOROPHYLL PIGMENT CONTENT AND ENZYME ACTIVITY IN COTTON LEAVES

**Abstract.** The role of nanotechnology in solving environmental problems is increasing, and there is a need for additional research in this area. One of these environmental problems is soil salinization. During salinity stress, germination, growth and development of plants slow down, and the quantity of pigments, chlorophyll and carotenoids in leaves decreases. So does the activity of such important physiological processes as photosynthesis, respiratory processes and enzyme activity. There are several ways to improve the salt tolerance of cotton. The cotton varieties can be improved genetically, or another way is to increase the stability of seeds or seedlings by chemical, biological or physiological methods. At the early stages of development cotton seedling are very sensitive to salinity and other stress factors. The study investigated the effect of Al nanoparticles on the pigment composition in cotton seedling leaves and on the enzyme activity (ascorbate oxidase, polyphenol peroxidase and guaiacol-dependent peroxidase) in soil samples, collected in different areas of the Mugan plain. It was found that cotton seeds develop well in saline soils if treated with Al nanoparticles. Significant changes were observed in the plant development and in the kinetics of physiological processes. The quantity of chlorophyll pigments *a* and *b* in cotton sprouts (mainly at three leaf stages) increased, and the change in enzyme activity occurred. Thus, during salinity stress the influence of basic enzymes, such as ascorbic peroxidase, increased in sprouts but decreased in leaves if the cotton plants are cultivated in saline soils with Al nanoparticles. The decrease in the activity of polyphenol oxidase and guaiacol-dependent peroxidase was insignificant.

**Keywords:** nanoparticle; cotton; soil salinity; chlorophyll; enzyme activity

**About the author:** Faride Vasif gyzy Hasanova, Doctoral Student.

**Place of employment:** Baku State University.

---

Гасанова Ф.В. Влияние наночастиц Al на содержание хлорофилла в листьях хлопчатника // Вестник Нижнеартовского государственного университета. 2019. № 2. С. 51–59.

Hasanova F.V. Impact of Al nanoparticles on chlorophyll pigment content and enzyme activity in cotton leaves // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2019. No. 2. P. 51–59.

---

УДК 581.1: 615.322

И.Ю. Усманов, Э.Р. Юмагулова, В.В. Александрова,  
И.Г. Гончар, А.В. Щербаков, В.Б. Иванов  
г. Нижнеартовск, г. Уфа, Россия

### КОМПЛЕКСЫ ФЛАВОНОИДОВ *CHAMAEDAPHNE CALYCVLATA* (L.) MOENCH ОЛИГОТРОФНЫХ БОЛОТ СРЕДНЕЙ ОБИ

**Аннотация.** Проведено сравнение спектров высокоэффективной жидкостной хроматографии метаболомов из ценопопуляций *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench олиготрофных болот Средней Оби. Исследованные ценопопуляции *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench различались по числу пиков в хроматограммах – от 21 до 41. Пики также различаются по времени выхода. После суммирования на разных хроматограммах *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench число пиков достигло 108. Полученные результаты свидетельствуют о высокой вероятности участия нейтралистских механизмов в формировании флавоноидных спектров изученных ценопопуляций. Биоразнообразие флавоноидов может формировать региональные (географические) продукты питания в зависимости от экологических условий региона.

**Ключевые слова:** *Chamaedaphne calyculata*; флавоноиды; Среднее Приобье; олиготрофные болота.

**Сведения об авторах:** Вячеслав Борисович Иванов<sup>1</sup>, кандидат педагогических наук, доцент кафедры экологии; Эльвира Рамилевна Юмагулова<sup>2</sup>, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии; Виктория Викторовна Александрова<sup>3</sup>, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии; Иван Геннадьевич Гончар<sup>4</sup>, аспирант кафедры экологии; Аркадий Владимирович Щербаков<sup>5</sup>, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник; Искандер Юсуфович Усманов<sup>6</sup>, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник.