

УДК 582:539.1.047

## ВЛИЯНИЕ ПРЕПОСЕВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН НА СОЛЕУСТОЙЧИВОСТЬ НУТА БАРАНЬЕГО

Э. С. ДЖАФАРОВ, М. З. ВЕЛИДЖАНОВА, Дж. Р. ОРУДЖЕВА

Институт Радиационных Проблем Национальной Академии Наук Азербайджана  
Азербайджан, AZ 1143, Баку, ул. Б. Вагабзаде, 9,  
e-mail: e\_dzhafarov@rambler.ru

**Цель.** Цель работы — исследование функционирования антиоксидантной системы защиты растений нута бараньего, выращенных из  $\gamma$ -облученных семян в условиях солевого стресса. **Методы.** Используются методы определения активности антиоксидантных ферментов. **Результаты.** Получено, что в условиях солевого стресса антиоксидантные ферменты функционируют взаимосвязанно и координированно. **Выводы.** Выживание проростков нута бараньего в солевых условиях обеспечивается слаженной работой системы антиоксидантной защиты.

**Ключевые слова:** нут бараний (*Cicer arietinum* L.), предпосевное облучение семян, солевой стресс, антиоксидантные ферменты.

**Введение.** Значительные успехи в радиобиологии, направленные на выяснение физических и биологических процессов, протекающих в растительном организме под влиянием радиоактивного излучения являются предпосылками для использования  $\gamma$ -облучения и для предпосевной подготовки семян (Чурюкин, Гераськин, 2013). В частности, показано, что предпосевное  $\gamma$ -облучение семян открывает возможности для решения таких важных агроэкологических и социально-экономических проблем, как увеличение продуктивности растений, предотвращение загрязнения окружающей среды, снижение себестоимости продукции и т. д. (Левин, 2000а). Установлено, что такая обработка семян дает результаты сравнимые с обработкой химическими препаратами (Левин, 2000б). Исследование стимулирующего действия относительно малых доз радиации показало, что после  $\gamma$ -облучения семян растение становится более устойчивым как к действию больших доз радиации (Куликов и др., 1971), так и к действию химических агентов (Wolff et al., 1988).

Несмотря на очевидную значимость  $\gamma$ -облучения семян, много вопросов еще остаются нерешенными. В частности, в литературе имеется мало данных о влиянии  $\gamma$ -обработки семян на функционирование антиоксидантной защиты растений в условиях разных стрессов (в том числе, солевого).

Целью данной работы было исследование функционирования антиоксидантной системы защиты растений нута бараньего, выращенных из  $\gamma$ -облученных семян, в условиях солевого стресса. Актуальность изучения солевого стресса обусловлена тем, что немалая часть почв нашей республики являются неплодородными из-за засоленности. Кроме того, засоление почв характерно не только для нашей республики, оно является проблемой глобального масштаба (Ashraf, Harris, 2013).

Исходя из таких соображений, в этой работе представлены результаты изучения влияния солевого стресса на рост и развитие нута бараньего, семена которого перед посевом подверглись разным дозам  $\gamma$ -облучения. Физиологическое состояние исследуемых растений оценивали на основе оценки активности антиоксидантных ферментов.

## Материалы и методы

**Объект исследования** — Нут бараний (*Cicer arietinum* L.) — однолетнее растение, относится к семейству бобовые (Fabace). Выбран местный сорт нута «Ucu nepе», выведенный в Азербайджане. Семена перед посевом подвергали воздействию  $\gamma$ -облучения в дозах 1, 5, 10, 50 и 100 Гр. Мощность дозы во всех случаях составляла 0,048 Гр/сек.

**Оборудование** — Источник  $\gamma$ -излучения —  $^{60}\text{Co}$ , центрифуга типа *HIMAC-ST 15 RE* (United Kingdom), спектрофотометр типа *JENWAY — 67 Series* (United Kingdom), диэлектрический сепаратор СДЛ-1, **влагомер зерна Фауна-М**, термостат, камера (фитотрон) для выращивания проростков.

**Условия выращивания растения.** Пробы семян нута бараньего сепарировали электросепаратором и влажность пробы семян измеряли диэлькометром. Для экспериментов отобраны семена, влажность которых составляла 16–17 %.

Отобранные семена нута выращивали в темноте (в термостате, в чашках Петри). Далее 4-х дневные проростки вместе с его контрольным образцом переносили в посуду с раствором NaCl в концентрациях 1, 5, 10, 50, 100 мМ и помещали в камеру (фитотрон) с 12-ти часовой продолжительностью дня и ночи. Температура в камере днем составляла  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ , а ночью  $15 \pm 1^\circ\text{C}$ . С помощью люминесцентной лампы создавали необходимые условия освещения ( $37,6 \text{ Вт/м}^2$ ). Влажность в камере днем была 55 %, а ночью 70 %.

В каждом сосуде было по двенадцать растений.

**Определение активности аскорбатпероксидазы (АПО).** Активность АПО (КФ 1.11.1.11) определяли согласно Накано и Асада с использованием коэффициента молекулярной экстинкции, равной  $\epsilon = 2,8 \text{ мМ}^{-1} \text{ см}^{-1}$  (в ммоль/(г·мин)) (Nakano, Asada, 1981).

**Определение активности каталазы (КАТ).** Для определения активности КАТ (КФ 1.11.1.6) использовали методику, разработанную в работе Кумар и Кновлес (Kumar, Knowles, 1993). Активность рассчитывали в ммоль/(г·мин) на основе коэффициента молярной экстинкции, равной  $\epsilon = 39,4 \text{ мМ}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ .

**Определение активности супероксиддисмутазы (СОД).** Активность СОД (КФ 1.15.1.1) определяли фотовосстановлением нитротетразолиевого синего на свету в присутствии рибофлавина и метионина. За единицу активности

принимали 50 %-ное ингибирование образования формазана (Kumar, Knowles, 1993).

Опыты проводили в трехкратной биологической повторности. Другими словами, все опыты по выращиванию растений в идентичных условиях проводили в три раза (в разное время). Статистическую обработку проводили с помощью методов вариационной статистики. Значимость различий контрольных и экспериментальных результатов оценивали при помощи *t*-критерия Стьюдента (Лакин, 1990). Различия считали достоверными при  $|t| > 2$  ( $p < 0.05$ ).

Кроме того, каждый опыт проводили в трехкратной аналитической повторности: активность ферментов определяли для трех параллельных образцов, взятых из одного и того же супернатанта. Указанные на рисунках отклонения являются среднеквадратическими.

## Результаты и обсуждение

### Исследование влияния $\gamma$ -облучения семян на рост и развитие нута бараньего.

Для двухнедельных растений нута бараньего, полученных из облученных семян, установлены дозозависимые различия в росте и развитии (рис. 1). При дозе облучения равной 1 Гр имело место стимулирование развития растений, а в дозах 50 и 100 Гр, напротив,  $\gamma$ -облучение приводило к ингибированию развития: при дозе 50 Гр рост и масса сухого вещества растения уменьшались на 40 %, в сравнении с контрольным вариантом, 100 Гр — соотв., на 78–80 % (табл. 1). При дозе облучения 5 и 10 Гр рост и развитие растения мало отличались от контрольного образца.

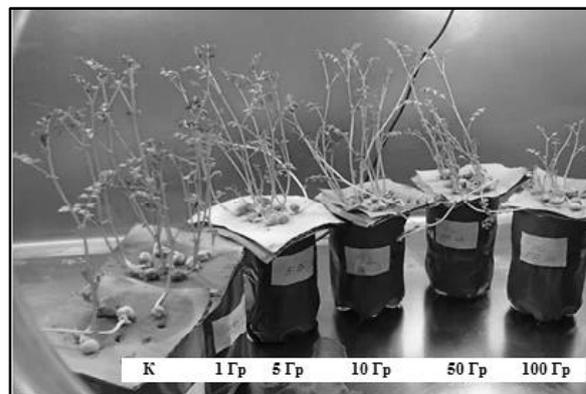


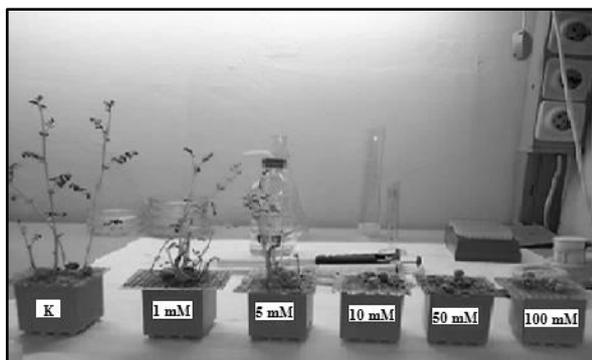
Рис. 1. Двухнедельные растения облученных семян нута бараньего.

**Таблица 1.** Влияние облучения и засоления на рост и массу сухого вещества двухнедельных растений нута

Доза облучения, Гр	В условиях облучения семян		Концентрация соли, мМ	В условиях солевого стресса	
	Рост, %	Масса, %		Рост, %	Масса, %
К	100	100	К	100	100
1	115	110	1	70	70
5	98	98	5	40	40
10	98	101	10	10	10
50	60	60	50	-	-
100	22	20	100	-	-

**Исследование влияния солевого стресса на рост и развитие нута бараньего.**

Замедление роста и развития растений в условиях солевого стресса показано для разных растений (Alwan et al., 2015; Kaholi et al., 2014; Tsegay, Gebreslassie, 2014). Аналогичное влияние действия солевого стресса при всех исследуемых концентрациях (от 1 до 100 мМ NaCl) получено нами для двухнедельных растений необлученных семян нута (табл. 1, рис. 2).



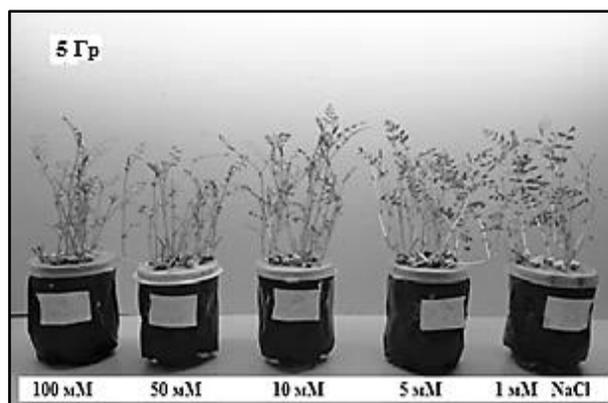
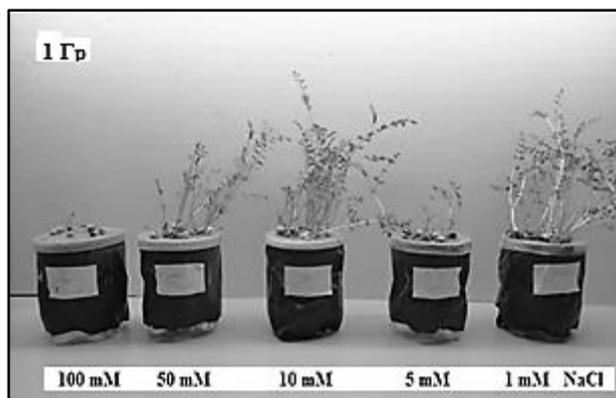
**Рис. 2.** Двухнедельные растения необлученных семян нута бараньего, произрастающие в солевых растворах NaCl разной концентрации.

Видно, что солевой стресс во всех концентрациях (от 1 до 100 мМ NaCl) приводит к изменению роста и развития нута. При этом с увеличением концентрации соли рост и развитие проростков заметно замедляется. Привлекает внимание тот факт, что соль при концентрации 1 мМ заметно влияет на рост и развитие нута бараньего. Однако дальнейшее увеличение концентрации соли от 1 до 10 мМ приводит к сильному ингибированию роста и развития растения, а при 50 и 100 мМ солевых растворах развитие растения почти останавливается.

Результаты по определению роста и массы сухого вещества для двухнедельных проростков нута представлены в таблице.

Исследование влияния солевого стресса на рост и развитие нута бараньего, семена которого перед посевом подверглись  $\gamma$ -облучению.

Результаты исследования влияния облучения семян в дозах 1, 5, 10, 50 и 100 Гр на рост и развитие нута, произрастающего в 1, 5, 10, 50, 100 мМ солевых растворах представлены на рис. 3.



### Влияние предпосевого облучения семян на солеустойчивость нута бараньего

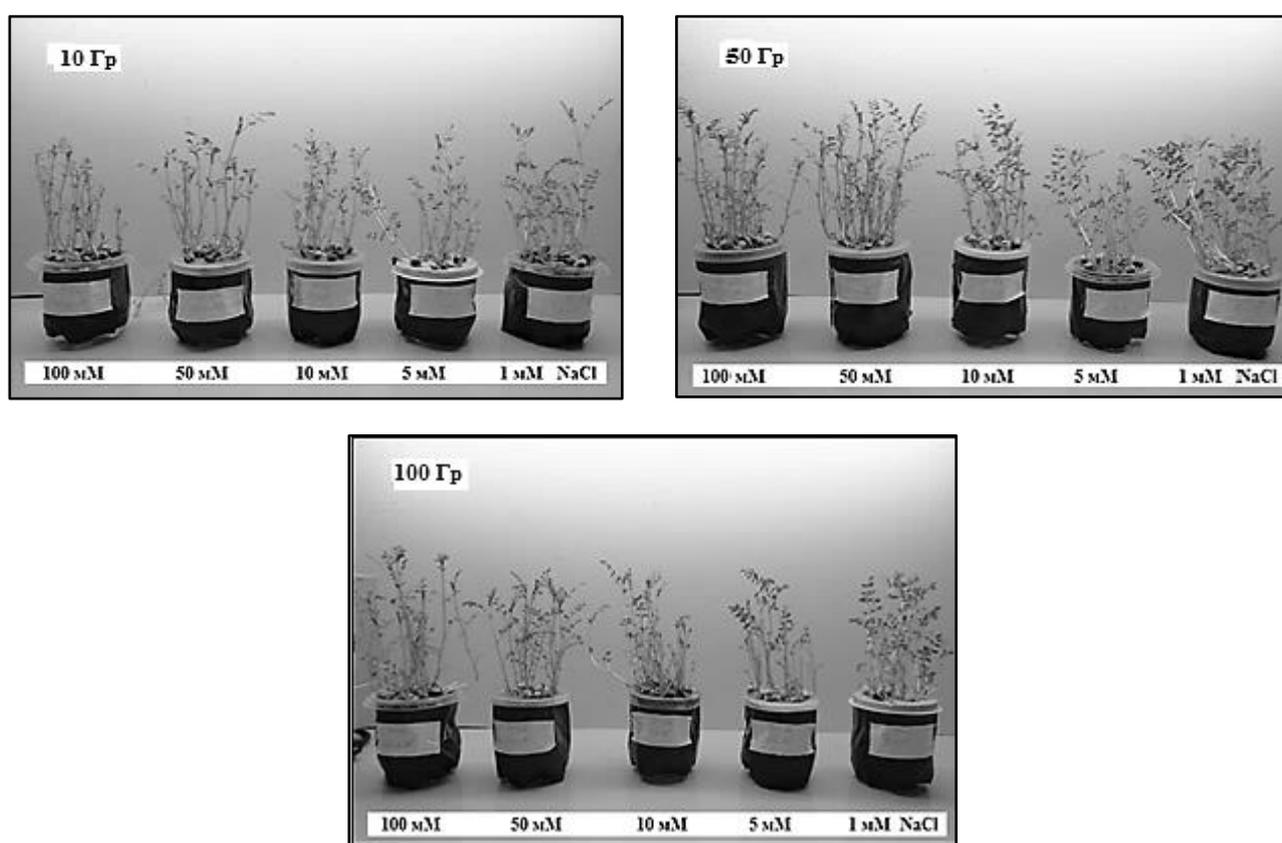


Рис. 3. Двухнедельные растения облученных семян нута бараньего, произрастающие в солевых растворах NaCl.

Из рисунков, в первую очередь, привлекает на себя внимание тот факт, что увеличение дозы облучения положительно влияет на рост и развитие нута, произрастающего в условиях солевого стресса. При этом облучение семян в дозе 1 Гр составляет исключение, так как в случаях 5 мМ и 100 мМ солевого раствора развитие семян при этой дозе в первом случае подавляется частично, а во втором — останавливается полностью. А в 10 и 50 мМ солевых растворах наблюдается незначительное ингибирование роста и развития нута. В противоположность этому, облучение семян перед посевом в дозе 5 Гр способствует нормальному развитию растения во всех солевых концентрациях. При этой дозе рост и развитие растения не отличается от контрольного даже в 5 мМ и 100 мМ растворах, что не имело место для дозы облучения в 1 Гр.

Почти такая же картина наблюдается и при дозе облучения в 10 Гр. При этом во всех концентрациях соли (и в 5 мМ) рост и развитие

проростков нута почти не отличаются от контрольного.

Интересно, что и в случае облучения семян в больших дозах (50 и 100 Гр) солевой стресс не замедляет рост и развитие растения. При этих дозах в экстремальных солевых условиях развитие нута не только не отличается от его нормального развития, но и в случаях 50 и 100 мМ засоленности развитие растения даже заметно ускоряется.

Эти результаты вызывают определенный интерес. Так как, увеличение дозы облучения семян для растений, произрастающих в нормальных условиях, также и усиление солевого стресса для необлученных семян приводили к ингибированию роста и развития проростков.

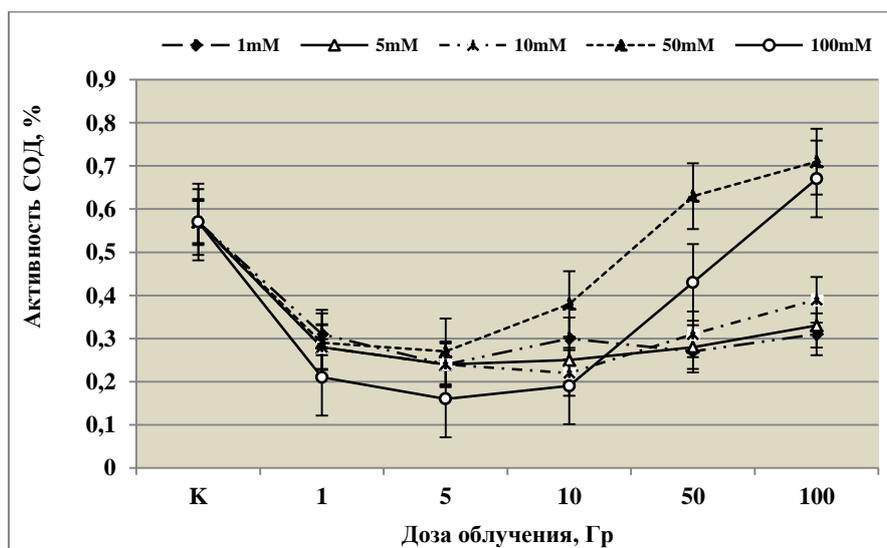
Отметим, что в последние годы в научной литературе обсуждается явление, получившее название «кросс-адаптация». Согласно этому явлению, в результате адаптации к одному фактору, повышается устойчивость растений к другому (Обозный и др., 2012). Предполагают, что при кросс-адаптации растений основная

роль принадлежит антиоксидантной защитной системе (Zhong–Guang, Ming, 2011). Исходя из данных, полученных нами, также можно предположить, что  $\gamma$ -излучение в определенных дозах способствует активации антиоксидантной системы защиты (АОСЗ) клеток, что обеспечивает развитие растения в условиях солевого стресса. Учитывая, что основными антиоксидантами АОСЗ растений являются ферменты СОД, КАТ и АПО (Mostafa et al., 2011), мы исследовали активности этих ферментов для облученных семян нута, произрастающих в растворах NaCl при разных его концентрациях, тем самым, попытались выяснить роль облучения

семян в этом процессе и получить информацию о функционировании антиоксидантных ферментов системы защиты в условиях солевого стресса.

**СОД.** Результаты работ, полученных разными авторами, показывают, что активность СОД увеличивается в растениях, подверженных различным воздействиям окружающей среды (Обозный и др., 2012; Mishra et al., 2011).

Полученные нами данные по активности СОД для облученных семян нута, произрастающих в солевом растворе, представлены на рис. 4.



**Рис. 4.** Зависимость активности СОД от дозы облучения семян нута бараньего, произрастающего в солевом растворе при разных концентрациях.

Из результатов, представленных на этом рисунке видно, что для проростков семян, облученных до 5 Гр с увеличением дозы облучения активность этого ключевого фермента антиоксидантной системы защиты постепенно уменьшается. При этом уменьшение имеет место во всех концентрациях соли. Однако, начиная с 5 Гр динамика изменения активности СОД меняется. При этом увеличение дозы облучения приводит, наоборот, к увеличению активности этого фермента.

Из рисунка также видно, что если при относительно малых дозах облучения (до 5 Гр) зависимости активности СОД от концентрации NaCl не существенны, то при больших дозах (от 10–100 Гр) существует явная концентрационная

зависимость. При этом в этой области дозы при концентрациях соли 1, 5, 10 мМ фермент демонстрирует низкую, а при концентрациях 50 и 100 мМ — более высокую активность.

Эти данные позволяют предположить, что предпосевная обработка семян в дозах больше 10 Гр снижает повреждающий эффект соли даже при ее больших концентрациях (100 мМ). Так как при предпосевной обработке в дозах от 10 до 100 Гр активность СОД заметно увеличивается, что, по-видимому, является следствием уменьшения повреждающего действия NaCl.

**КАТ.** Несмотря на то, что ключевым ферментом антиоксидантной защиты является СОД, роль КАТ при этом тоже существенна. Изменение активности КАТ в разных стрес-

совых условиях доказано во многих работах (Обозный и др., 2012; Saglama et al., 2011). Результаты наших исследований по изучению активности КАТ в условиях солевого стресса для нута, семена которого перед посевом подверглись  $\gamma$ -облучению при разных дозах, представлены на рис.5.

Из рисунка видно, что в случае облучения семян в дозе от 1 до 5 Гр при всех концентрациях соли (1, 5, 10, 50 и 100 мМ) активность КАТ мало отличается от ее активности в контроле. При этом КАТ проявляет неярко выра-

женную активность, как от дозы облучения, так и от концентрации соли. Однако, начиная с 5 до 10 Гр при концентрациях соли 1, 5, и 10 мМ в активности КАТ отмечается тенденция к существенному увеличению. В этой области доз (так же и в области 1–10 Гр) активность КАТ в 50 мМ солевом растворе остается почти постоянной, а в 100 мМ — значительно уменьшается. Дальнейшее увеличение дозы облучения от 10 до 100 Гр во всех концентрациях соли приводит не к увеличению, а к значительному уменьшению ферментной активности.

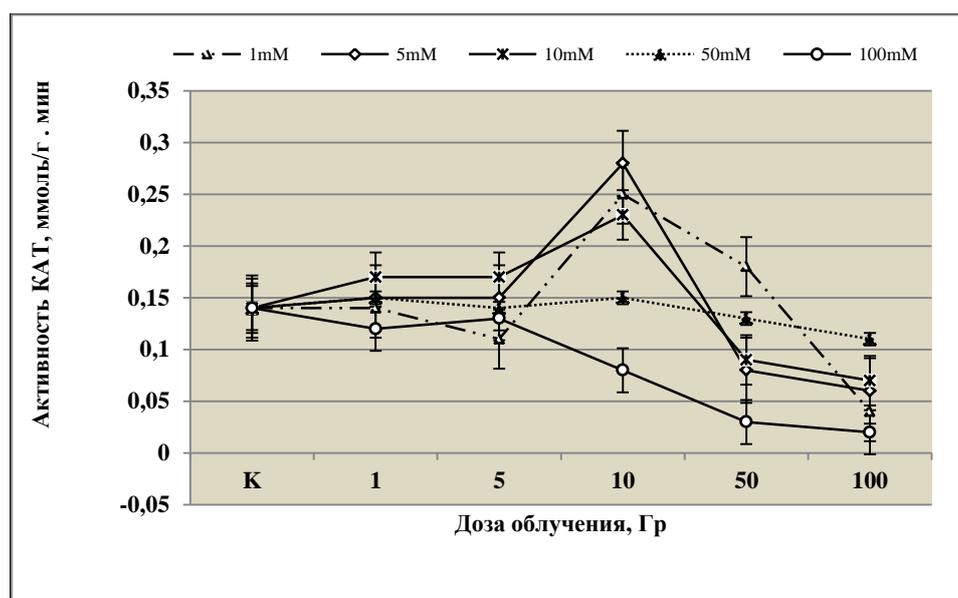


Рис. 5. Зависимость активности КАТ от дозы облучения семян нута бараньего, произрастающего в солевом растворе при разных концентрациях.

Следует предположить, что повышение активности КАТ после повреждающих воздействий ионизирующей радиации в малых дозах могло компенсироваться весьма низкой активностью СОД, наблюдаемой нами в этой же области дозы облучения. Таким образом, на отдельных стадиях наблюдений проявляется своеобразная «взаимозаменяемость» каталазы и СОД: при повышенных значениях активности каталазы отмечается пониженная активность СОД и наоборот.

**АПО.** Накопленный на сегодняшний день экспериментальный материал указывает, что АПО также играет важную и прямую защитную роль в неблагоприятных для растений условиях (Caverzan et al., 2012).

Данные по активности АПО, полученные нами в условиях солевого стресса представлены на рис. 6.

Из результатов видно, что если в дозе 1 Гр при всех концентрациях соли не замечаются значительные изменения в активности АПО по сравнению с контролем, то увеличение дозы облучения семян от 1 до 10 Гр при этом приводит к существенному увеличению активности АПО в листьях проростков нута. А дальнейшее увеличение дозы от 10 до 100 Гр приводит не к увеличению активности фермента а, наоборот, к заметному понижению ферментной активности. Отметим, что примерно такая же динамика изменения активности наблюдали и для КАТ (рис. 5).

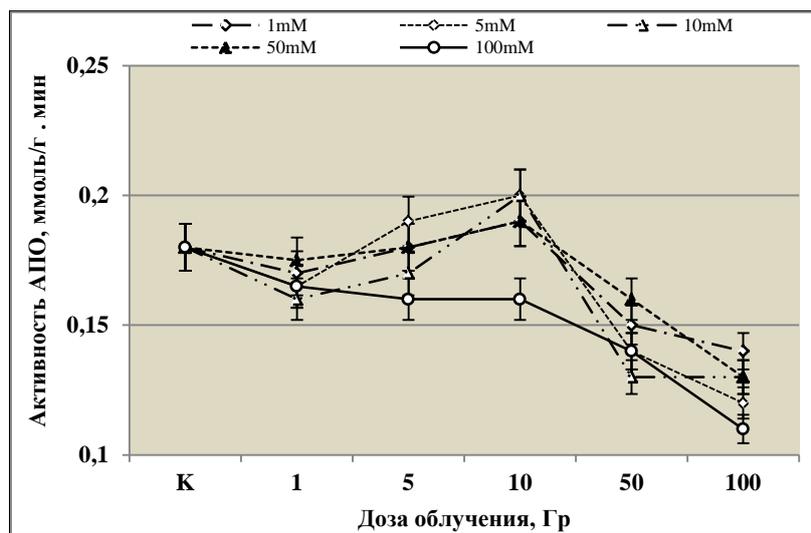


Рис. 6. Зависимость активности АПО от дозы облучения семян нута бараньего, произрастающего в солевом растворе при разных концентрациях.

Основываясь на эти данные, можно предположить, что низкие дозы облучения (до 1 Гр) не способствуют повышению активности АПО в зародыше семян нута при их облучении. А при более высоких дозах облучения (1–10 Гр) за счет активации защитной системы активность этого фермента увеличивается. Отметим, что увеличение активности АПО в области дозы от 1 до 10 Гр сопровождается уменьшением активности СОД в этой области дозы, а уменьшение ее активности при дозах больше 10 Гр происходит на фоне увеличения активности СОД.

### Заключение

Полученные нами данные относительно активностей антиоксидантных ферментов позволяют предположить, что выживание проростков нута в условиях солевого стресса обеспечивается слаженной работой системы защиты. При этом функционирование антиоксидантных ферментов в условиях солевого стресса является процессом взаимосвязанным и координированным.

Отметим, что своеобразная «взаимозаменяемость» антиоксидантных ферментов на отдельных стадиях наблюдений проявлялось также в экспериментах Обозного и др. (Обозный и др., 2012). В этом случае при пониженных значениях активности каталазы отмечалась повышенная активность пероксидазы и наоборот. Выявленный этим автором эффект согласуется и результатами работы Мика и др. (Mika et al., 2004).

Взаимосвязанное функционирование было обнаружено не только для антиоксидантных ферментов, это имело место также между низко- и высоко-молекулярными компонентами системы антиоксидантной защиты. Например, в работах Радюкиной и др. (Радюкина и др., 2007) и Шевяковой и др. (Шевякова и др., 2009) у ряда дикорастущих растений низкая активность СОД коррелировала с более высоким содержанием в них антиоксидантного пролина.

Факт взаимозаменяемости СОД и КАТ (при повышенных значениях активности каталазы отмечается пониженная активность СОД и наоборот) впервые был установлен нами.

### Список литературы

1. Куликов Н. В., Альшиц Л. К., Позолотин А. А. и др. Изменение радиочувствительности растений в результате предварительного лучевого воздействия. *Радиобиология*. 1971. Т. 11, Вып. 4. С. 630–632.
2. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Наука, 1990. 352 с.
3. Левин В. И. Агрэкологические эффекты воздействия на семена растений электромагнитных полей различной модальности: Автореф. дисс. докт. биол. наук. Москва, 2000а. 36 с.
4. Левин В. И. Агрэкологические аспекты предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур гамма лучами (под ред. Н. П. Кузнецов). М.: ВНИИ «Агрэкоинформ». 2000б. 221 с.
5. Обозный А. И., Колупаев Ю. Е., Швиденко Н. В., Вайнер А. А. Динамика активности антиоксидантных ферментов при кросс-адаптации проростков пшеницы к гипертермии и осмотическому

- шоку. *Вестн. Харьковського Нац. Аграрного Інст. Сер. Біол.* 2012, Т. 26, Вып. 2. С. 71–84.
6. Радюкина Н. Л., Карташов А. В., Иванов Ю. В. и др. Сравнительный анализ функционирования защитных систем у представителей галофитной и гликофитной флоры в условиях засоления. *Физиология растений*. 2007. Т. 54. С. 902–912.
  7. Чурюкин Р. С., Гераськин С. А. Влияние облучение ( $^{60}\text{Co}$ ) семян ячменя на развитие растений на ранних этапах онтогенеза. *Радиация и риск*. 2013. Т. 22, № 3. С. 80–92.
  8. Шевякова Н. И., Бакулина Е. А., Кузнецов Вл. В. Антиоксидантная роль пролина у галофита *Mesembryanthemum crystallinum* ответ на краткосрочный супероксидный стресс, генерируемый паракватом. *Физиология растений*. 2009. Т. 56. № 5. С. 1–7.
  9. Alwan A., Hussein Kh., Jaddoa Kh. Effect of sodium chloride on response of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) at germination and early seedling stages. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2015. Vol. 1, No 3. P. 60–65.
  10. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*. 2013. Vol. 51, No 2. P. 163–190.
  11. Caverzan A., Passaia G., Rosa S.B., et al. Plant Responses to stresses: role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. *Genetics and Molecular Biology*. 2012. Vol 35, No 4. P. 1011–1019.
  12. Kaholi B., Borgi Z., Hannachi Ch. Effect of sodium chloride on the germination of the seeds of a collection of carrot accessions (*Daucus carota* L.) cultivated in the region of Sidi Bouzid. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2014. Vol. 10, No 3. P. 28–36.
  13. Kumar C. N., Knowles N. Changes in lipid peroxidation and lipolytic and free — radical scavenging enzyme during aging and sprouting of Potato (*Solanum tuberosum* L.) seed tubers. *Plant Physiol*. 1993. Vol 102. P. 115–124.
  14. Mika P., Oberle D., Gandemi A. and Sabou M. Foundations for service Ontologies: Aligning OWL — S to DOLSE, www04.2004.
  15. Mishra S., Jha A. B., Dubey R. S. Arsenite treatment induces oxidative stress, upregulates antioxidant system and causes phytochelatin synthesis in rice seedling. *Protoplasma*. 2011. Vol 248, No 3. P. 565–577.
  16. Mostafa H., Mohammad M. S. A., Mojtaba K., Faezch G. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta Physiol. Plant*. 2011. Vol 33. P. 105–112.
  17. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell. Physiol*. 1981. Vol 22. P. 867–880. doi: 10.1134/S102144371101016X.
  18. Saglama A. N., Saruhan R. T., Kadioglu A. The relations between antioxidant enzymes and chlorophyll fluorescence parameters in common bean cultivars differing in sensitivity to drought stress. *Russ. J. Plant Physiol*. 2011. Vol 58. P. 60–68. doi: 10.1134/S102144371101016X.
  19. Tsegay B., Gebreslassie B. The effect of salinity (NaCl) on germination and early seedling growth of *Lathyrus sativus* and *Pisum sativum* var. abyssinicum. *African Journal of Plant Science*. 2014. Vol. 8, No 5. P. 225–231. doi: 10.5897/AJPS2014.1176
  20. Wolff S., Afzal V., Wiencke J. K., Olivieri G., Michaeli A. Human lymphocytes exposed to low doses of ionizing radiations become refractory to high doses of radiation as well as to chemical mutagens that induce double — strand breaks in DNA. *Int. J. Radiat. Biol. Phys. Chem. Med*. 1988. Vol. 53, No 1. P. 39–48.
  21. Zhong-Guang Li & Ming Gong. Mechanical Stimulation-Induced Cross-Adaptation in Plants: An Overview. *J. Plant Biol*. 2011. Vol 54. P. 358–364. doi.org/10.1007/s12374-011-9178-3.

### References

1. Kulikov N. V., Alshchits L. K., Pozolotin A. A. et al. Changes in the radiosensitivity of plants as a result of prior radiation exposure. *Radiobiology*. 1971. Vol. 11, Ed. 4. P. 630–632.
2. Lakin G. F. *Biometrics*. M.: Science, 1990. 352 p.
3. Levin V. I. Agro ecological effects of exposure to plant seeds of electromagnetic fields of various modalities: author. diss. Dr. biol. sciences. Moscow, 2000a. 36 p.
4. Levin V. I. Agroecological aspects of presowing treatment of seeds of agricultural crops with gamma rays (edited by N. P. Kuznetsov). M.: VNIИ «Agroecoinform». 2000b. 221 p.
5. Obozny A. I., Kolupaev Yu. E., Shvidenko N. V., Weiner A. A. Dynamics of the activity of antioxidant enzymes in the cross-adaptation of wheat germ to hyperthermia and osmotic shock. *Bulletin of the Kharkov National Agrarian Institute. Series Biol*. 2012. Vol. 26, Ed. 2. P. 71–84.
6. Radyukina N. L., Kartashov A. V., Ivanov Yu. V. etc. Comparative analysis of the functioning of protective systems in representatives of halophytic and glycophytic flora under salinization conditions. *Plant physiology*. 2007. Т. 54. S. 902–912.
7. Churyukin R. S., Geraskin S. A. The effect of irradiation ( $^{60}\text{So}$ ) of barley seeds on the development of plants in the early stages of ontogenesis. *Journal «Radiation and Risk»*. 2013. Vol. 22, No. 3. P. 80–92.
8. Shevyakova N. I., Bakulina E. A., Kuznetsov V. B. The antioxidant role of proline in halophytes *Mesembryanthemum crystallinum* is the response to short-term superoxide stress generated by paraquat. *Plant physiology*. 2009. Т. 56. № 5. С. 1–7.
9. Alwan A., Hussein Kh., Jaddoa Kh. Effect of sodium chloride on response of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) at germination and early seedling stages. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*. 2015. Vol. 1, No 3. P. 60–65.
10. Ashraf M., Harris P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*. 2013. Vol. 51, No 2. P. 163–190.

11. Caverzan A., Passaia G., Rosa S. B., et al. Plant Responses to stresses: role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. *Genetics and Molecular Biology*. 2012. Vol 35, No 4. P. 1011–1019.
12. Kaholi B., Borgi Z., Hannachi Ch. Effect of sodium chloride on the germination of the seeds of a collection of carrot accessions (*Daucus carota* L.) cultivated in the region of Sidi Bouzid. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*. 2014. Vol. 10, No. 3. P. 28–36.
13. Kumar C. N., Knowles N. Changes in lipid peroxidation and lipolitic and free — radical scavenging enzyme during aging and sprouting of Potato (*Solanum tuberosum* L.) seed tubers. *Plant Physiol*. 1993. Vol 102. P. 115–124.
14. Mika P., Oberle D., Gandemi A. Sabou M. Foundations for service Ontologies: Aligning OWL — S to DOLSE, www04.2004.
15. Mishra S., Jha A. B., Dubey R. S. Arsenite treatment induces oxidative stress, upregulates antioxidant system and causes phytochelatin synthesis in rice seedling. *Protoplasma*. 2011. Vol 248, No 3. P. 565–577.
16. Mostafa H., Mohammad M. S. A., Mojtaba K., Faezch G. Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta Physiol. Plant*. 2011. Vol 33. P. 105–112.
17. Nakano Y., Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant. Cell. Physiol*. 1981. Vol 22. P. 867–880. doi: 10.1134/S102144371101016X.
18. Saglama A. N., Saruhan R. T., Kadioglu A. The relations between antioxidant enzymes and chlorophyll fluorescence parameters in common bean cultivars differing in sensitivity to drought stress. *Russ. J. Plant Physiol*. 2011. Vol 58. P. 60–68. doi: 10.1134/S102144371101016X
19. Tsegay B., Gebreslassie B. The effect of salinity (NaCl) on germination and early seedling growth of *Lathyrus sativus* and *Pisum sativum* var. Abyssinicum. *African Journal of Plant Science*. 2014. Vol. 8, No 5. P. 225–231. doi: 10.5897/AJPS2014.1176.
20. Wolff S., Afzal V., Wiencke J. K., Olivieri G., Michaeli A. Human lymphocytes exposed to low doses of ionizing radiations become refractory to high doses of radiation as well as to chemical mutagens that induce double — strand breaks in DNA. *Int. J. Radiat. Biol. Phys. Chem. Med*. 1988. Vol. 53, No 1. P. 39–48.
21. Zhong-Guang Li, Ming Gong. Mechanical Stimulation-Induced Cross-Adaptation in Plants: An Overview. *J. Plant Biol*. 2011. Vol 54. P. 358–364. doi.org/10.1007/s12374-011-9178-3.

Представлено В. А. Кунахом  
Надійшла 15.08.2018

## ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ НА СОЛЕСТІЙКІСТЬ НУТА БАРАНЯЧОГО

Е. С. Джафаров, М. З. Велиджанова, Дж. Р. Оруджева

Інститут радіаційних проблем  
Національної академії наук Азербайджану  
Азербайджан, AZ 1143, Баку, вул. Б. Вагабзаде, 9,  
e-mail: e\_dzhafarov@rambler.ru

**Мета.** Метою дослідження було вивчення впливу сольового стресу на зростання і розвитку нуту баранячого, насіння якого перед посівом опромінювали  $\gamma$ -опроміненням при різних дозах. Фізіологічний стан досліджуваної рослини при цьому оцінювали на основі функціонування антиоксидантних ферментів системи захисту. **Методи.** Для визначення активності антиоксидантних ферментів використано методику, розроблену в роботах Кумар, Кновлес і Накано, Асада. **Результати.** Виявлено, що в умовах сольового стресу антиоксидантні ферменти, функціонують, в певній мірі, взаємопов'язано і координовано. **Висновки.** Зроблено припущення, що виживання проростків нуту баранячого в солевих умовах забезпечується злагодженою роботою системи антиоксидантного захисту.

**Ключові слова:** *Cicer arietinum* L., передпосівний опромінення насіння, сольовий стрес, антиоксидантні ферменти.

## INFLUENCE OF PRESOWING IRRADIATION OF SEEDS ON THE SALT TOLERANCE OF CHICKPEA

E. S. Jafarov, M. Z. Velijanova, J. R. Orujova

Institute of Radiation Problems  
of the National Academy of Sciences of Azerbaijan  
Azerbaijan, AZ 1143, Baku, B. Vagabzade str, 9  
e-mail: e\_dzhafarov@rambler.ru

**Aim.** The aim of the research was to study the influence of salt stress on the growth and development of chickpea, whose seeds were irradiated at different doses before sowing. The physiological state of the investigated plant is evaluated on the basis of the functioning of the antioxidant enzymes of the protection system. **Methods.** The methods developed by Kumar, Knowles and Nakano, Assad was used to determine the activity of antioxidant enzymes. **Results.** It is shown that under the conditions of salt stress, antioxidant enzymes function, to some extent, interconnected and coordinated. **Conclusions.** It is assumed that the survival of chickpea seedlings in salt conditions is ensured by the coordinated work of the antioxidant defense system.

**Keywords:** *Cicer arietinum* L., presowing seed irradiation, salt stress, antioxidant enzymes.