

## Накопление АФК и Фотохимическая Эффективность Хлоропластов Растений, Выросших При Фоновой Радиации

С.Ю. Сулейманов, К.Г. Гасумова\*, И.М. Гусейнова, Д.А. Алиев

Институт ботаники НАНА, Бадамдарское шоссе, 40, Баку AZ1073, Азербайджан;

\*E-mail: konulbayramova29@gmail.com

В данной работе исследованы уровень генерации перекиси водорода и супероксидного радикала, а также некоторые фотосинтетические параметры у хронически облученных растений парнолистник обыкновенный (*Zygophyllum fabago* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis*) (Cav.), сибирская аргузия (*Argusia sibirica* (L.) Dandy) и лох каспийский (*Eleagnus caspica*) (Sosn.) Grossh. Обнаружено, что с исключением *Eleagnus caspica*, под действием ионизирующего излучения общее содержание хлорофилла увеличивается. Фохи-мическая активность ФС II также значительно увеличивается у *Phragmites australis*, *Zygophyllum fabago*, *Elaeagnus caspica* растений и снижается у аргузии сибирской. Гисто-химическим анализом обнаружено усиление генерации перекиси водорода в листьях растений парнолистника обыкновенного, лоха каспийского и аргузии сибирской, подверженных облучению, тогда как в стрессовых растениях *Zygophyllum fabago* и *Argusia sibirica* значительно накапливаются супероксидные радикалы.

**Ключевые слова:** Хроническое ионизирующее излучение, активные формы кислорода, фотосинтетические пигменты, антоцианы, фотосистемы, растения

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время антропогенное воздействие на биоту стало одним из наиболее значимых экологических факторов. В связи с этим оценка адаптивных возможностей живых организмов, обитающих в радиационных биоценозах, приобретает особую актуальность. Каждому виду присущи определенные границы адаптивной нормы к ионизирующим излучениям. Биологический эффект ионизирующего излучения основан на взаимодействии с атомами и молекулами в клетке, в частности воды, для производства свободных радикалов. К этим эффектам относятся изменения в клеточной структуре и обмене веществ растения, например расширение тилакоидных мембран, изменения в фотосинтезе, модуляция антиоксидантной системы и накопление производных фенола (Kova'cs and Keresztes, 2002; Kim et al., 2004; Wi et al., 2007; Ashraf, 2009).

В высших растениях ответные фотосинтетические реакции на ионизирующее облучение зависят от чувствительности вида, жизненного цикла растения и типа дозы. Ионизирующее излучение является причиной повышения уровня первичных свободных радикалов в клетках растений (Calucci et al., 2003, Lee et al., 2009). Главная мишень активных формы кислорода (АФК) в клетке, эта макромолекулы – белки, нуклеиновые кислоты (ДНК, РНК) и мембранные липи-

ды. Нити ДНК подвергаются разрушению, а мембраны теряют проницаемость и организацию, главным образом из-за перекисидации мембранных липидов, вызванных свободными радикалами, а также из-за белковых модификаций (Leyko and Bartosz, 2000). По-видимому, в фотосинтезирующих организмах окислительный стресс вызывает фотоингибирование фотосинтетического аппарата. Известно, что активный фотосинтез требует непрерывный синтез определенных белков, вовлеченных в электрон-транспортной цепи. Более того, биогенез дефектной тилакоидной мембраны может привести к пост-иррадиационному снижению фотосинтеза (Agarwal et al., 2008). Дефектные хлоропласты были найдены и в растениях из облученных семян, у которых эти модификации сопровождалась также снижением соотношения хлорофилла а/б, потерей фотосинтетических комплексов и появлением белых полос на листьях (Abe et al., 2002; Cheng and Chandlee, 1999; Palamine et al., 2005; Mei et al., 1994, 1998). В общем, ионизирующее излучение отвечает за повреждение фотосистем и сокращает эффективность выделения O<sub>2</sub> фотосинтетического аппарата (Angelini et al., 2001).

Согласно исследованиям электронной микроскопии, хлоропласты в сравнении с другими клеточными компонентами (в частности, с тилакоидными мембранами), являются более чувствительными к ионизирующему излучению

(Wi et al., 2007). При влиянии низких доз гамма-излучения на фотосинтетический аппарат проростков семян, смоченных в воде, наблюдается прирост в составе и стабильности пигментов хлоропластов, повышение содержание хлорофиллов а и b и каротиноидов; более того, они увеличивают и количество белков (Ahmed et al., 1976). Таким образом, низкая доза облучения не являются причиной этих изменений в ультраструктурах хлоропластов. Облучение семян высокими дозами гамма лучей нарушает синтез белков, гормональный баланс, газообмен в листьях, водообмен и ферментативную активность (Hammed et al., 2008).

Большую роль в защите растений от радиации играют флаваноиды, в особенности антоциан и фенольные соединения.

Присутствие этих соединений в тканях эпидермиса и вокруг хлоропластов в мезофилле листьев снижает вероятность возникновения радиационно-индуцированных повреждений (Robberecht, 1989). Исходя из этого можно прийти к выводу, что изменения количества флаваноидов, в особенности, антоцианов, в клетках растений может быть связано с уровнем загрязненности растений радионуклидами и со степенью приспособленности растений к ионизирующему и УФ-излучению (Гуща и др., 2002).

Целью данной работы является изучение влияния ионизирующей радиации на накопления АФК, содержание пигментов и фотохимической эффективности фотосистем хлоропластов растений.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили растения парнолистник обыкновенный (*Zygophyllum fabago*), тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), сибирская аргусия (*Argusia sibirica*) и лох каспийский (*Eleagnus caspica*), распространенные на территории, загрязненной нефтью в поселке Романы (Азербайджан) на месте бывшего йодного завода. С этой целью были использованы растения, выросшие при фоновой радиации в 250 мкР/ч, а также в естественных условиях (4-8 мкР/ч), и было проведено сравнительное исследование. Дозы излучения радиации измеряли с помощью дозиметра МКС-АТ1125 ("Atomtex" Беларусь).

Листья измельчали с помощью гомогенизатора типа Waring Laboratory Blender (Великобритания) на полной скорости четыре раза в течение 20 сек в охлажденной среде для выделения хлоропластов, содержащей 0,4 М сахарозу, 20 мМ Трис, 10 мМ NaCl, 1 мМ ЭДТА-Na, 5 мМ

аскорбат натрия и 0,1% ПЭГ, pH 7,8 как описано в работе (Гусейнова и др. 2009). На каждый грамм листьев добавляли 10 мл буфера для выделения хлоропластов. Гомогенат был дважды отфильтрован через четыре слоя марли. Фильтрат центрифугировали 5 мин при 200 g и затем в течение 10 мин при 1000 g в центрифуге K-70 (Германия). Полученный осадок хлоропластов гомогенизировали в небольшом объеме среды суспендирования, предложенной Акоюноглу (Argyroudi-Akoynoglou and Akoynoglou G, 1979), содержащей 10 мМ MgCl<sub>2</sub> × 6H<sub>2</sub>O, 50 мМ трис-HCl буфер, pH 7,2.

Фотохимическую активность хлоропластов, изолированных из контрольных и подвергнутых стрессу растений, определяли полярографической методом в замкнутой амперометрической ячейке с платиновым электродом типа Кларка по поглощению или выделению кислорода (Guseinova et al., 2001) Концентрация хлорофилла в хлоропластах во всех опытах была эквивалентна 100 мкг. Активность ФС II (H<sub>2</sub>O → K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub>) определяли в реакционной среде, содержащей 330 мМ сорбитол, 40 мМ Hepes-NaOH, pH 7,6, 10 мМ NaCl, 5 мМ MgCl<sub>2</sub> и 0,5 мМ K<sub>3</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> в качестве конечного акцептора электронов. Реакционная среда, объемом 2 мл для определения активности ФС I (ДХФИФ•H<sub>2</sub> → MB) содержала 80 мМ сахарозу, 30 мМ трис-HCl, pH 8,0, 10 мМ NaCl, 10 мМ MgCl<sub>2</sub>, 1 мМ аскорбат натрия, 2 μМ 3-(3,4-дихлорфенил)-1,1-диметилмочевину (для блокирования электронного транспорта из ФС II) и 0,3 мМ 2,6-дихлорфенол-индофенол как донор электронов и 50 μМ метилвиологен в качестве акцептора электронов.

Листья растений были срезаны и взвешены, а затем измельчены в метаноле с 1%-ным раствором HCl. Экстракцию проводили в течение 24 часов при температуре 24°C. Затем полученную гомогенную массу центрифугировали и измеряли спектр поглощения полученного экстракта на спектрофотометре ULTROSPEC 3300 PRO ("AMERSHAM", США) при длинах волн 530 и 657 нм. Поглощение антоциана рассчитывали по формуле  $A_{529} - (0.25 \times A_{657})$ , описанной Манчинелли (Mancinelli, 1990) с помощью коэффициента поглощения (Jonsson et al., 1984).

Концентрацию хлорофилла и соотношение Хл<sub>a</sub>/Хл<sub>b</sub> определяли спектрофотометрически в 80%-ном ацетоновом экстракте (Arnon, 1949). Для определения каротиноидов в суммарной вытяжке пигментов использовали формулу Ветштейна (Wettstein, 1957).

Гистохимический анализ для определения супероксид-анионного радикала и перекиси водорода был осуществлен согласно (Kariola et al,

2005). Для определения супероксида в образцах листья погружали в раствор 6 мМ NBT (nitrobluetetrazolium), содержащий 50 мМ фосфатный буфер (pH 7,5) и держали 12 часов в темноте при комнатной температуре. Для определения перекиси водорода в образцах листья погружали в раствор 5мМ DAB, содержащий 10 мМ MES (pH 3,8) и держали 12 часов в темноте при комнатной температуре. В обоих случаях реакцию останавливали, опрыскивая листья раствором лакто-глицерин-этилового спирта в 1:1:4 отношениях. Затем листья кипятили в обыкновенной воде на водяной бане в течение 5 минут, чистые листья выдерживали в 50 %-м этаноле. Результаты фотографировали обычным цифровым фотоаппаратом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что световая энергия поглощается пигментами и возбуждает электроны к переходу на более высокий энергетический уровень. Когда фотосинтез насыщен светом, каротиноиды защищают хлорофилл от повреждений путем приема энергии возбуждения электронов от триплетного хлорофилла.

При изучении фотосинтетических пигментов нами выявлено, что общее содержание хлорофилла под действием ионизирующего излучения заметно увеличилось у исследованных растений. Это значение в контрольном образце *Argusia sibirica* равнялось 0,17 мг/г, а у растений, подверженных стрессу - 0,24 мг/г сырой массы (Рис.1). Это показывает, что в *Argusia sibirica* оно увеличилось на 41%. В растениях *Phragmites australis* и *Zygophyllum fabago* общее содержание Хл *a+b* под действием ионизирующего излучения по сравнению с контрольными растениями также увеличилось. Общее количество хлорофилла в контрольном образце *Phragmites australis* составляло 0,25 мг/г, а в образцах, подверженных стрессу – 0,32 мг/г; у *Zygophyllum fabago* эти значения равнялись на 0,14 мг/г и 0,18 мг/г сырой массы, соответственно. Ким и сотрудники (2004) обнаружили увеличение содержания хлорофилла в облученных растениях красного перца и объяснили этот процесс стимулированием развития. Однако, у облученного образца *Eleagnus caspica* содержание общего хлорофилла остается почти на уровне контроля.

Количество каротиноидов значительно повышается у тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) под действием ионизирующего излучения (250 мкР/час) (Рис. 2). Так, в контрольном варианте содержание каротиноидов

было 0,045 мг/г, а у растений, находившихся под воздействием стресса, оно составило 0.07 мг/г сырой массы. У аргусии (*Argusia sibirica*) количество каротиноидов под действием стресса также увеличилось. В контрольных вариантах увеличение составляет почти 33%. Количество каротиноидов как у контрольных, так и стрессовых растений парнолистника (*Zygophyllum fabago*) и лоха каспийский (*Eleagnus caspica*) оказалось почти одинаковым.

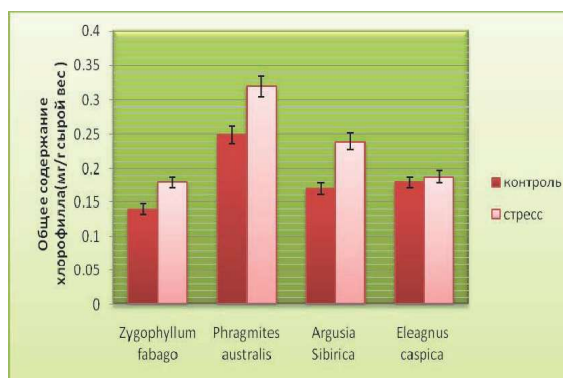


Рис. 1. Влияние хронического ионизирующего излучения (250 мкР/час) на содержание хлорофилла (Хл *a+b*) в растениях *Zygophyllum fabago*, *Phragmites australis*, *Argusia sibirica* и *Elaeagnus caspica*.

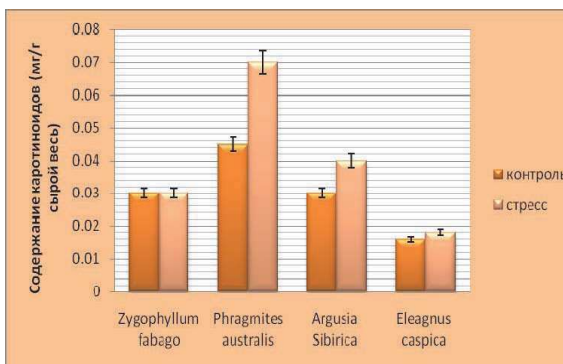


Рис. 2. Влияние хронического ионизирующего излучения (250 мкР/час) на содержание каротиноидов в растениях *Zygophyllum fabago*, *Phragmites australis*, *Argusia sibirica*, *Elaeagnus caspica*.

Результаты наших экспериментов показывают, что под воздействием излучения 250 мкР/час у тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) содержание нефотосинтетического пигмента – антоциана значительно возросло по сравнению с контрольным образцом. Его значение в тростнике составляло 2,90 мкМ/г, а при стрессовом варианте – 4,40 мкМ/г, что показывает увеличение на 152% (Таблица 1).

У *Elaeagnus caspica* (Лох каспийский) также под воздействием облучения 250 мкР/час со-

держание антоциана возросло: в контрольном и в излучённых образцах составили 3,50  $\mu\text{M}/\text{г}$  и 4,10  $\mu\text{M}/\text{г}$  соответственно (увеличились до 117%). Согласно литературе, загрязнение почвы железодорожными поллютантами и нефтью способствует накоплению антоциановых пигментов у различных видов растений (Гуща и др., 2002). Однако у парнолистника (*Zygophyllum fabago*) и сибирской аргузии (*Argusia sibirica*) под воздействием хронической радиации в содержании нефотосинтетического пигмента антоциана значительное изменение не наблюдается.

**Таблица 1.** Содержание антоциана у растений *Zygophyllum fabago*, *Phragmites australis*, *Argusia sibirica*, *Elaeagnus caspica* при воздействии хронического ионизирующего излучения (250  $\mu\text{P}/\text{час}$ ).

Растения	Неизлученные растения ( $\mu\text{M}/\text{г}$ )	Излученные растения ( $\mu\text{M}/\text{г}$ )	в %
Тростник обыкновенный ( <i>Phragmites australis</i> )	2,90 $\pm$ 0,12	4,40 $\pm$ 0,25	152
Лох каспийский ( <i>Elaeagnus caspica</i> )	3,50 $\pm$ 0,18	4,10 $\pm$ 0,22	117
Аргузия сибирская ( <i>Argusia sibirica</i> )	1,40 $\pm$ 0,05	1,30 $\pm$ 0,05	93
Парнолистник обыкновенный ( <i>Zygophyllum fabago</i> )	3,20 $\pm$ 0,15	2,80 $\pm$ 0,12	88

При сравнительном исследовании различных видов растений, подвергнутых излучению обнаружены также существенные различия в функциональной активности фотосинтетического аппарата на уровне фотохимических реакций хлоропластов. Активность электронного транспорта у всех подвергнутых стрессу растений (кроме *Argusia sibirica*) была выше, чем у контрольных растений. Самая высокая активность ФС II в неизлученных растениях была обнаружена у *Elaeagnus caspica* (58  $\mu\text{mol O}_2 \cdot \text{мг}^{-1} \text{Хл} \cdot \text{час}^{-1}$ ) (Табл. 2). Под влиянием радиации у тростника обыкновенного (*Phragmites australis*) фотохими-

ческая активность ФС II значительно увеличивалась (контроль – 26  $\mu\text{mol O}_2 \cdot \text{мг}^{-1} \text{Хл} \cdot \text{час}^{-1}$ , стресс- 47 ( $\mu\text{mol O}_2 \cdot \text{мг}^{-1} \text{Хл} \cdot \text{час}^{-1}$ ) и составляла 181% от значения контроля. Наблюдается также повышение активности ФС I у этого растения и составляет 128% от такого значения у контроля. Однако фотохимическая активность ФС II и ФС I в хлоропластах из аргузии сибирской заметно снизилась и составляла 68% и 74% соответственно от значения неизлученных растений (таблица 2). Причиной инактивации ФС II в этом случае может быть нарушение переноса электронов от феофитина – промежуточного переносчика электрона на первичный хиноновый акцептор ( $Q_A$ ) в нециклическом транспорте электронов. Возможно, что излучение ингибирует перенос энергии от молекул Хл через ядерные комплексы ФС II. Однако, как явствует из табл. 2, при этом активность ФС I меньше затрагивается, что может быть более высокая способность ФС I к адаптации при излучении.

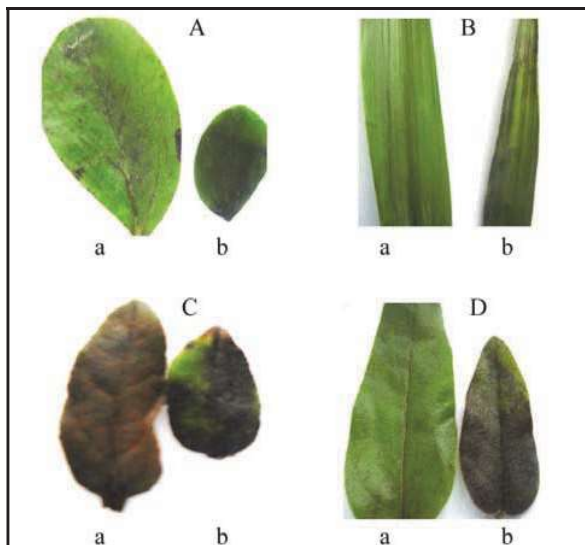
Известно, что почти все стрессоры, независимо от природы, вызывают образования в клетке активных форм кислорода, которые являются высоким реактивом в живых организмах ( $\text{H}^+$ : ион водорода,  $\text{H}\cdot$ : радикал водорода,  $\text{H}_2\text{O}_2$  - пероксид водорода,  $\text{OH}\cdot$ : гидроксильный радикал). Вместе с тем, в аэробных организмах образуются другие активные виды кислорода  $\text{O}_2^{\cdot-}$  (супероксид аниона) и  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Эти виды считаются менее вредными, однако они, вступая в реакции Фентона, катализируемые ионами металла ( $\text{Fe}^{2+}$ ), образуют гидроксильный радикал  $\text{OH}\cdot$ , являющийся высоким реактивом (Wardman and Candeias, 1996). Пероксид водорода образуется, в основном, в пероксисомах (Del Rio et al., 2006) и митохондриях (Rhoads et al., 2006), а также в результате дисмутации супероксида. Он не является радикалом и с легкостью может проходить через мембраны, распространяющиеся по всей клетке; обладает полуциклом примерно 2-4 мкс (Garg and Manchanda, 2009).

**Таблица 2.** Фотохимическая активность ФС II и ФС I в хлоропластах растений под влиянием хронического ионизирующего излучения ( $\mu\text{mol O}_2 \cdot \text{мг}^{-1} \text{Хл} \cdot \text{час}^{-1}$ ).

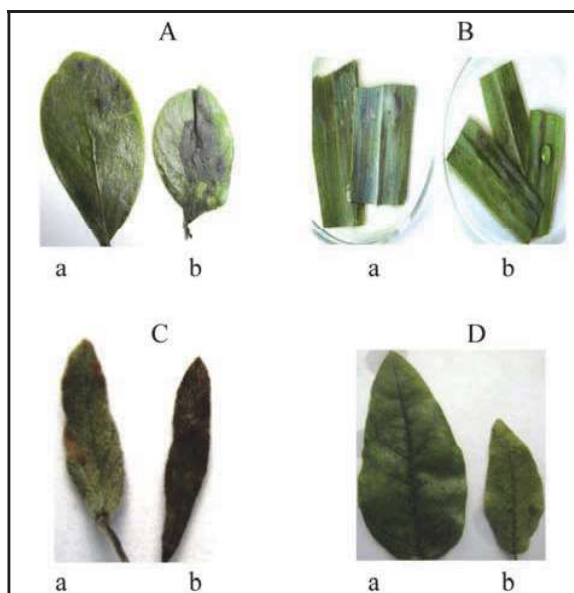
Образцы растений	Фотосистем II		Фотосистем I	
	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	в %	ДСРIP. $\text{H} \rightarrow \text{MV}$	в %
<i>Zygophyllum fabago</i> (контроль),	38,0 $\pm$ 1,7	100	124,0 $\pm$ 4,7	100
<i>Zygophyllum fabago</i> (стресс),	49,0 $\pm$ 2,3	129	156,0 $\pm$ 6,3	126
<i>Phragmites australis</i> (контроль)	26,0 $\pm$ 1,6	100	132,0 $\pm$ 4,8	100
<i>Phragmites australis</i> (стресс)	47,0 $\pm$ 3,2	181	169,0 $\pm$ 7,6	128
<i>Argusia sibirica</i> (контроль)	44,0 $\pm$ 3,1	100	161,0 $\pm$ 7,4	100
<i>Argusia sibirica</i> (стресс)	30,0 $\pm$ 2,4	68	120,0 $\pm$ 3,9	74
<i>Elaeagnus caspica</i> (контроль)	58,0 $\pm$ 3,2	100	123,0 $\pm$ 4,8	100
<i>Elaeagnus caspica</i> (стресс)	65,0 $\pm$ 4,0	112	136,0 $\pm$ 5,2	111

Гистохимический анализ накопления активных форм кислорода был проведен в *Zygophyllum fabago*, *Phragmites australis*, *Argusia sibirica*, *Eleagnus caspica* растениях, подверженных облучению в 250 мР/ч и в обычной фоновой дозе. Из-за накопления перекиси водорода, значительные различия наблюдались в подверженных излучению листьях растений парнолистника обыкновенного (*Zygophyllum fabago*), лоха каспийского (*Eleagnus caspica*) и аргузии сибирской (*Argusia sibirica* L.). В растениях *Phragmites australis* не обнаруживались заметные изменения в излученных листьях по сравнению с контрольными листьями (Рис. 3).

Супероксидные радикалы ( $O_2^{\cdot-}$ ), в основном, образуются в хлоропластах в реакционных центрах фотосистемы I и II, митохондриях и пероксисомах (del Rio et al., 2006; Moller et al., 2007; Rhoads et al., 2006) в качестве вспомогательных средств, обладающих полувременем 2-4 мс (микросекунды) и не могут перейти в фосфолипиды. Поэтому важно, чтобы клетка обладала соответствующим механизмом для очищения этого АФК (Garg and Manchanda, 2009). Супероксидные радикалы в значительной степени накапливаются в листьях парнолистника обыкновенного (*Zygophyllum fabago*), и аргузии сибирской (*Argusia sibirica* L.), подверженных излучению по сравнению со здоровыми листьями и менее заметны в листьях *Phragmites australis* и *Eleagnus caspica* растений (Рис. 4).



**Рис. 3.** Гистохимический анализ накопления перекиси водорода ( $H_2O_2$ ) в растениях: (А) *Zygophyllum fabago*, (а – контроль, б – стресс), (В) *Phragmites australis* (а – контроль, б – стресс), (С) *Argusia sibirica* (а – контроль, б – стресс), (D) *Eleagnus caspica* (а – контроль, б – стресс).



**Рис. 4.** Гистохимический анализ накопления супероксидных анион радикалов ( $O_2^{\cdot-}$ ) в растениях: (А) *Zygophyllum fabago*, (а – контроль, б – стресс), (В) *Phragmites australis* (а – контроль, б – стресс), (С) *Argusia sibirica* (а – контроль, б – стресс), (D) *Eleagnus caspica* (а – контроль, б – стресс).

Таким образом, ионизирующее излучение является причиной возникновения различных физиологических и биохимических изменений в клетках растений. Хроническая радиация вызывает увеличение содержания фотосинтетических (хлорофиллы, каротиноиды) и нефотосинтетических (антоцианы) пигментов, фотохимической эффективности фотосистем хлоропластов и генерацию активных форм кислорода у различных видов исследованных растений. Судя по полученным результатам можно полагать, что эти изменения в фотосинтетическом аппарате позволяют растениям приспосабливаться к существованию загрязненных радионуклидами условиями.

## ЛИТЕРАТУРА

- Гусейнова И.М., Сулейманов С.Ю., Алиев Д.А. (2009) Индуцированные засухой изменения в фотосинтетических мембранах различных генотипов пшеницы *Triticum aestivum* L. *Биохимия*, **74**(вып. 8): 1109-1116.
- Гуца Н.И., Перковская Г.Ю., Дмитриев А.П., Гродзинский Д.М. (2002) Влияние хронического облучения на адаптивный потенциал растений. *Радиационная биология. Радиозэкология*, **42**(2): 155-158.

- Чупахина Г.Н., Масленников П.В.** (2004) Адаптация растений к нефтяному стрессу. *Экология*, №5: 330-335.
- Abu J.O., Muller K., Duodu K.G., Minnar A.** (2005) Gamma irradiation of cowpea (*Vigna* synthesis and accumulation of photosystems during *unguiculata* L. Walp) flours and pastes. *Chem.*, **95(1)**: 138-147.1
- Angelini G., Ragni P., Esposito D., Giardi P., Pompili M.L., Moscardelli R., Giardi M.T.** (2001) A device to study the effect of space radiation on photosynthetic organisms. *Phys. Med.*, **17**: 267-268.
- Ashraf M.** (2009) Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnol. Adv.*, **27**: 84-93.
- Calucci L., Pinzino C., Zandomenighi M., Capocchi A., Ghiringhelli, Saviozzi F., Tozzi S., Gallechi L.,** (2003) Effects of  $\gamma$ -irradiation on the free radical and antioxidant contents in nine aromatic herbs and spices. *J. Agric. Food Chem.*, **51**: 927-934.
- del Rio L.A., Sandalio L.M., Corpas F.J., Palma J.M., Barroso J.B.** (2006) Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes. Production, scavenging, and role in cell signaling. *Plant Physiology*, **41(2)**: 330-335.
- Esposito D., Faraloni C., Margonelli A., Pace E., Torzillo G., Zanini A., Giardi M.T.** (2006) The effect of ionizing radiation on photosynthetic oxygenic microorganisms for survival in space flight revealed by automatic photosystem II-based biosensors. *Bremen Microgravity science technology*, **XVIII-3/4**.
- Fryer M.J., Oxborough K., Mullineaux P.M., Baker N.R.** (2002) Imaging of photo-oxidative stress responses in leaves. *J. Exp Bot.*, **53**: 1249-1254.
- Garg N., Manchanda G.** (2009) ROS generation in plants: Boon or bane? *Plant Biosystems*, **143(1)**: 81 - 96.
- Guseinova I.M., Suleymanov S.Y., Aliyev J.A.** (2001) Regulation of chlorophyll-protein complex formation and assembly in wheat thylakoid membrane. *J. of Biochem. and Mol. Biol.*, **34**: 496-501.
- Hameed A., Mahmud Shah T., Manzoor Atta B., Ahsanul Haq M., Syed H.** (2008) Gamma radiation effects on seed germination and growth, protein content, peroxides and protease activity, lipid per oxidation in desi and kabuli chickpea. *Pak. J. Bot.*, **40**: 1033-1041.
- Hoch W.A., Zeldin E.L., McCown B.H.** (2001) Physiological significance of anthocyanin during autumnal leaf senescence. *Tree Physiology*, **21(1)**: p. 1-8.
- Kariola T., Brader G., Jing L., Palva T.** (2005) Chlorophyllase 1, a damage control enzyme, affects the balance between defense pathways in plants. *The Plant Cell*, **17(1)**: 282-294.
- Kim J.H., Baek M.H., Chung B.Y., Wi S.G., Kim J.S.** (2004) Alterations in the photosynthesis pigments and antioxidant machineries of red pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings from gamma-irradiated seeds. *J. Plant Biotechnol.*, **47**: 314-321.
- Kim J-S., Moon Y.R., Wi S.G., Kim J-S., Lee M.H., Chung B.Y.** (2008) Differential radiation sensitivities of Arabidopsis plants at various developmental stages. In: J.F.Allen, E.Gantt, J.H.Golbeck, D.Osmond (eds.) *Photosynthesis. Energy from the sun*. The Netherlands: Springer, 1491-1495.
- Kovacs E., Keresztes A.** (2002) Effect of gamma and UV-B/C radiation on plant cell. *Micron.*, **33**: 199-210.
- Laemmli V.K.** (1970) Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T<sub>4</sub>. *Nature*, **227**: 680-685.
- Lee M.H., Moon Y.R., Chung B.Y., Kim J-S., Lee K.-S., Cho J.-Y., Kim J.-H.** (2009) Practical use of chemical probes for reactive oxygen species produced in biological systems by  $\gamma$ -irradiation. *Radiat. Phys. Chem.*, **78**: 323-327.
- Mahalingam R., Jambunathan N., Gunjan S.K., Faustini E., Weng H., Ayoubi P.** (2006) Analysis of oxidative signaling induced by ozone in Arabidopsis thaliana. *Plant Cell Environ*, **29**: 1357-1371.
- Mancinelli A.L.** (1990) Interaction between light quality and light quantity in the photoregulation of anthocyanin production. *Plant Physiol.*, **92**: 1191-1195.
- Moller I.M.** (2001) Plant mitochondria and oxidative stress: Electron transport, NADPH turnover, and metabolism of reactive oxygen species. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **52**: 561-591.
- Moller I.M., Jensen P.E., Hansson A.** (2007) Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, **58**: 459-481.
- Rhoads D.M., Umbach A.L., Subbaiah C.C., Siedow J.N.** (2006) Mitochondrial reactive oxygen species. Contribution to oxidative stress and interorganellar signaling. *Plant Physiology*, **141(2)**: 357-366.
- Wardman P., Candeias L.P.** (1996) *Fenton chemistry: Introduction Radiation research*, **145**: 523-531.
- Wi S.G., Chung B.Y., Kim J.S.** Kim J.-H., Baek M.-H., Lee J.-W., Kim Y.S. (2007) Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. *Micron.*, **38**: 553-564.

## **Radiasiya Fonunda Bitən Bitkilərdə OFF-ın Toplanması Və Xloroplastların Fotokimyəvi Effektivliyi**

**S.Y. Süleymanov, K.H.Qasimova, I.M. Hüseynova, C.Ə. Əliyev**

*AMEA Botanika İnstitutu*

Təqdim olunan məqalədə xroniki şüalanmaya məruz qalmış adi qoşayarpaq (*Zygophyllum fabago* L.), adi qamış (*Phragmites australis*) (Cav.), sibir arquziyası (*Argusia sibirica* (L.) Dandy) və xəzər iydəsi (*Eleagnus caspica*) (Sosn.) Grossh. bitkilərində hydrogen-peroksid və superoksid radikallarının yaranma səviyyəsi, eləcə də bəzi fotosintetik parametrlər öyrənilmişdir. Aşkar edilmişdir ki, *Eleagnus caspica* bitkisi istisna olmaqla, bitkilərdə xlorofilin ümumi miqdarı artmışdır. FS II- nin fotokimyəvi fəallığı *Phragmites australis*, *Zygophyllum fabago*, *Elaeagnus caspica* bitkilərində əhəmiyyətli şəkildə artmış, lakin *Argusia sibirica* L. bitkisinə isə azalmışdır. Histokimyəvi analiz nəticəsində müəyyən olundu ki, adi qamış, sibir arquziyası və xəzər iydəsinin şüalanmaya məruz qalmış yarpaqlarında hydrogen-peroksidin toplanması güclənir. Superoksid radikalı isə stresin təsirinə məruz qalmış *Zygophyllum fabago* və *Argusia sibirica* bitkilərində əhəmiyyətli dərəcədə toplanır.

**Açar sözlər:** *Xroniki ionlaşdırıcı şüalanma, oksigenin fəal formaları, fotosintetik piqmentlər, antosianlar, fotosistemlər, bitkilər*

## **ROS Generation And Photochemical Efficiency Of Chloroplasts Of Plants Grown Under Background Radiation**

**S.Y. Suleymanov, K.H.Gasimova, I.M. Huseynova, J.A. Aliyev**

*Institute of Botany, ANAS*

Generation levels of hydrogen peroxide and superoxide radicals, as well as some photosynthetic parameters in chronically irradiated plants of syrian bean-caper (*Zygophyllum fabago* L.), reed (*Phragmites australis*) (Cav.), siberian sea rosemary (*Argusia sibirica* (L.) Dandy), oleaster (*Eleagnus caspica*) (Sosn.) Grossh have been studied. Analysis revealed that total chlorophyll quantity increased under the influence of ionizing radiation in all studied plants besides *Eleagnus caspica*. The photochemical activity of PS II significantly increased in *Phragmites australis*, *Zygophyllum fabago* and *Elaeagnus caspica* plants and decreased in *Argusia sibirica*. Histochemical analysis detected an increase in generation of hydrogen peroxide in irradiated leaves of syrian bean-caper, siberian sea rosemary and oleaster, whereas high levels of superoxide radicals were accumulated in stressed plants of *Zygophyllum fabago* and *Argusia Sibirica* L.

**Key words:** *Chronic ionizing radiation, reactive oxygen species, photosynthetic pigments, anthocyan, photo-systems, plants*