

УДК 582:539.1.047

ВЛИЯНИЕ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЯХ ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БАКИНСКОГО ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЙОДА

Э.С. ДЖАФАРОВ¹, А.К. ДЖАФАРЛЫ¹, ДЖ.Р. ОРУДЖЕВА¹, Г.Г. БАБАЕВ²

¹Институт радиационных проблем НАН Азербайджана
АЗ 1143, Азербайджан, Баку, ул. Б.Вагабзаде, 9

²Институт ботаники НАН Азербайджана
Азербайджан, АЗ 1143, г. Баку, ул. Б.Вагабзаде, 9
e-mail: jamala.orujova@gmail.com

Цель. В результате изучения динамики концентраций и соотношения фотосинтетических пигментов в листьях сделана попытка выявить некоторые особенности влияния ионизирующей радиации в малых дозах на фотосинтез у растений, произрастающих в зоне повышенного радиационного фона. Концентрация пигментов в листьях исследуемых растений была определена в разных фазах вегетационного периода.

Методы. Были использованы радиодозиметрические, γ -спектрометрические и спектрофотометрические методы исследования. **Результаты.** В некоторых случаях между концентрациями фотосинтетических пигментов опытных и контрольных растений были обнаружены определенные различия. Показано, что если влияние ионизирующей радиации для одного растения в определенной фазе приводит к активации фотосинтетического аппарата, вызывая ускорение синтеза хлорофиллов, то в другой фазе, подавляя образование пигментов, неблагоприятно действует на фотосинтез. **Выводы.** Стимулирующий эффект ионизирующей радиации при этом для разных растений проявляется в разных фазах их развития.

Ключевые слова: повышенный радиационный фон, природные радионуклиды, фотосинтез, хлорофиллы, каротиноиды.

Введение. В связи с возрастающим радиоактивным загрязнением окружающей среды изучение воздействия радиации в малых дозах на живые организмы, которые эволюционно не были приспособлены к подобному роду стрессовых нагрузок среды, приобретает чрезвычайно важное значение.

В настоящее время стало очевидным, что биологическое действие ионизирующей радиации весьма многообразно. По всей вероятности, это связано с тем, что существует много механизмов ее воздействия на клетку. Например, в ряде работ, проведенных на клеточном уровне, установлено повышение радиоустойчивости самых различных организмов (в том числе и растений) при их облучении в малых дозах радиации [1]. Высказано предположение, что под действием ионизирующей радиации в растениях формируется так называемый адаптивный ответ и они своеобразно сопротивляются этому воздействию [2]. Предполагается, что адаптивный ответ обусловлен функционирова-

нием индуцибельных систем репарации ДНК, восстанавливающих повреждение клетки [3], или вступлением в митотический цикл клеток, в норме неделящихся, что приводит к быстрой замене поврежденных клеток неповрежденными [2].

Другим проявлением влияния малых доз ионизирующей радиации является ускорение роста и развития растений [4]. Это явление широко и давно известно, тем не менее, все еще нуждается во всесторонних исследованиях. Известно, что стимулирующее действие ионизирующей радиации на растения и их общая продуктивность тесно связаны с фотосинтезом – процессом, характеризующимся тонко слаженной работой отдельных компонентов, аккумулирующих и трансформирующих световую энергию, поглощенную хлорофиллом, в макроэргические соединения АТФ [5].

Несмотря на большое количество работ, посвященных изучению зависимости радиочувствительности от морфогенетических и физиолого-биохимических свойств организма, много вопросов, связанных с выяснением механизма действия малых доз ионизирующего излучения, все еще остается без ответа. В связи с этим в представленной работе мы попытались оценить влияние хронического облучения на метаболические процессы в листьях растений, произрастающих в зоне повышенного радиационного фона. Действие ионизирующей радиации на тонкую структуру фотосинтетического аппарата мы изучали на основе сравнительного анализа данных концентрации содержания зеленых пигментов и каротиноидов в листьях.

Материалы и методы

Объектами исследования были интактные листья верблюжьей колючки обыкновенной – *Alhagi pseudalhagi* (Bieb), парнолистника – *Zygophyllum* L. и аргусии сибирской – *Argusia sibirica* L.

Выбор растений связан с тем, что эти растения являются наиболее распростра-

ненными на выбранном нами участке, почва которого загрязнена разными природными радионуклидами.

Следует отметить, что сложившаяся на данном участке радиационная обстановка обусловлена деятельностью Бакинского завода по производству йода. В качестве сырья при производстве йода на заводе были использованы буровые воды, сопутствующие добыче нефти, а в качестве адсорбента – активированный уголь. Радиоспектрометрический анализ показал, что буровые воды содержат определенное количество долгоживущих природных радионуклидов [6]. Поэтому активированный уголь при прохождении через него воды, кроме йода, адсорбировал и природные радионуклиды. После распада Советского Союза завод был остановлен, и на его территории осталось «горка» из использованного активированного угля (площадью примерно 600 м² и высотой около 3 м), создающая в окрестности мощность экспозиционной дозы от 50 до 750 мкР/час.

Для решения поставленной задачи на территории завода мы выбрали один контрольный и три опытных участка. На момент проведения исследований средняя мощность экспозиционной дозы на контрольном и на опытных участках составляла (15,5±2,1) и (350±58) мкР/час, соответственно. Выбранный на территории же завода в качестве контрольного участок имел мощность дозы, равную природному радиационному фону, характерному для данной местности. С выбором контрольного участка на территории завода мы добились, в какой-то мере, идентичности почвенно-климатических характеристик как импактных, так и контрольных участков.

Качественное и количественное содержание радионуклидов в пробах почв и растений определяли при помощи радиоспектрометра «PROGRESS-BG» фирмы «Доза» (Россия) с применением пакета программ к данной установке, который не

позволил выделить гамма-спектр урана. Поэтому в исследуемых пробах этот радионуклид не присутствует.

Микроэлементный анализ проведен при помощи прибора XRF – OMEGA 4000 (X-Ray rentgen fluoress.) американской фирмы «INNOV-X».

Пробы листьев для фиксации и извлечения пигментов брали в трех фазах: в фазе всходов, развития и созревания растений.

Извлечение пигментов производили центрифугированием в затемненном помещении с помощью охлажденного 80% ацетона [7].

Хлорофиллы **a** и **b**, а также каротиноиды определяли спектрофотометрически с применением общепринятых методов [8]. Их концентрацию рассчитывали по спектрам поглощения, зарегистрированным на спектрофотометре «Specord UV VIS» (Германия), применяя при этом уравнения двухволнового метода [7].

Опыты проводили в двукратной биологической и трехкратной аналитической повторности, которые давали результаты с погрешностью от 0 до ±20%. В таблице и

на рисунках представлены среднеарифметические значения измеряемых величин.

Статистическую обработку проводили с помощью стандартных методов вариационной статистики. Значимость различий контрольных и экспериментальных результатов оценивали при помощи t-критерия Стьюдента [9]. Различия стали достоверными при $|t| > 2$ ($p < 0.05$).

Результаты и обсуждение

Радиоэкологические исследования, проведенные нами, показали, что основными радионуклидами, загрязняющими опытные участки, являются ^{40}K , ^{232}Th и ^{226}Ra . Данные по удельным радиоактивностям почв и растений, а также коэффициенты накопления радионуклидов разными органами исследуемых растений представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, растения преимущественно накапливают ^{40}K , по степени накопления второе место занимает ^{226}Ra , а ^{232}Th практически не переходит из почвы в растения. Следует отметить, что биологическая доступность этих радионуклидов

Таблица 1. Значение удельных радиоактивностей и коэффициентов накопления радионуклидов

Вид растения	Органы растения	Удельная радиоактивность (Бк/кг)			Коэффициенты накопления		
		^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{226}Ra	^{232}Th
Верблюжья колючка	корень	253 ± 90	275 ± 57	–	0,18	0,03	0
	стебель	597 ± 186	33 ± 14	–	0,41	0	0
	листья	295 ± 23	–	–	0,20	0	0
	почва	1440 ± 419	9143 ± 946	139 ± 33			
Парнолистник	корень	339 ± 155	80 ± 20	–	0,10	0,07	0
	стебель	703 ± 474	47 ± 19	–	2,27	0,04	0
	листья	13 ± 9,9	–	–	0,04	0	0
	почва	309 ± 111	1074 ± 118	28 ± 9			
Аргусия сибирская	корень	342 ± 120	14 ± 4	–	2,50	0,05	0
	стебель	247 ± 80	10 ± 3,5	–	1,80	0,03	0
	листья	160 ± 50	58 ± 15	–	1,17	0,19	0
	почва	137 ± 66	302 ± 37	21 ± 7			

Примечание: Удельные радиоактивности почвы в контрольных участках для ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th равны соответственно (126 ± 21), (72 ± 19) и (37 ± 11) Бк/кг.

при переходе из почвы в растения зависит как от вида растений, так и от свойств радионуклидов, и аккумулирующая способность разных органов растений по отношению к радионуклидам заметно отличается.

Несмотря на то, что источником загрязнения является уголь, создающий мощность дозы (260±48) мкР/час, почва близлежащего участка, на котором были выбраны опытные участки, по сравнению с углем характеризуется более высоким ((370±72) мкР/час) радиационным фоном [10]. По всей вероятности, это связано с тем, что под действием природных факторов, в частности дождей, со временем произошел переход (вымывание) радионуклидов из угля в почву. А более высокая активность радионуклидов на этом участке по сравнению с углем, видимо, связана с меньшей скоростью перемещения данных радионуклидов в почве, чем в угле.

Так как из буровых вод активированным углем, кроме йода, адсорбируются и радиоактивные элементы, мы сочли целесообразным провести эксперименты по определению химических элементов, ко-

торые могли бы быть наиболее вероятными загрязнителями почв опытных участков.

Данные об элементном составе почвы представлены в табл. 2.

Как видно из этой таблицы, по элементному составу почвы опытного и контрольного участков отличаются незначительно. Кроме того, содержание обнаруженных химических элементов не превышает их допустимой концентрации. Исключение составляют Са и Fe, для которых концентрации по сравнению с ПДК, соответственно, на 16 и 26% больше. Однако и в этих случаях опытный участок имеет примерно такое же количество Са и Fe, какое имеет контрольный. Поэтому говорить о каком-то загрязнении исследуемых участков химическими элементами не имеет смысла.

Изучение структуры почв показало, что они на обоих участках относятся к типу серо-бурых солончаковато-солонцеватых (слегка глинистых), их влажность примерно одинакова и составляет в среднем 18%, в верхней части (0–15 см) почв рН нейтральный, а их гумустность составляет 1–2%. Как на загрязненном, так и на конт-

Таблица 2. Количество химических элементов почв контрольного и опытного участков

Количество элементов (мг/кг)							
Элементы	Опытный участок	Контрольный участок	ПДК *	Элементы	Опытный участок	Контрольный участок	ПДК *
P	–	–		Ag	–	–	
S	–	13906	6500	Cd	–	–	
Cl	–	–		Sn	–	–	
K	18647	4569	19000	Cr	70	–	180
Ca	63931	66069	50000	Mn	530	155	1300
Ti	3550	–		Fe	29324	19998	25000
Se	–	–		Co	–	–	
Rb	66	–	20	Ni	–	–	
Sr	995	9773	750	Cu	–	–	
Zr	116	–	200	Zn	97	51	210
Mo	–	–		As	20	68	35

Примечания: «–» – не обнаружены следы; * – данные установлены Министерством Экологии и Природных Ресурсов Азербайджана.

рольном участках сульфатные и хлоридные натриевые соли присутствуют в большем количестве. Исследуемые почвы по отношению к Ca/Mg и по емкости поглощенных катионов также значительно не отличались. Эти параметры почв на обоих участках были примерно 0,5 и 20–25 мг/экв соответственно (табл. 3).

В качестве критериев воздействия ионизирующей радиации использовали всхожесть, показатели роста и увеличение биомассы растений.

Учитывая, что состояние растительных популяций на загрязненных участках оценивается, в первую очередь, по их морфологическим признакам, мы проводили еженедельные наблюдения за хронически облучаемыми популяциями дикорастущих растений. Эти наблюдения показали, что на опытном участке, где мощность доз ионизирующего излучения в несколько десятков раз превосходит естественный ра-

диационный фон, существуют определенные различия как в биометрических показателях, так и в течение вегетационных фаз по сравнению с контрольными растениями [11].

При оценке биологических последствий радиоактивного загрязнения следует учесть тот факт, что на внутривидовой изменчивости исследуемых показателей могут влиять также факторы нерадиационной природы (в частности, неизбежная в полевых условиях пространственная и временная изменчивость экологических условий). Тем не менее, полученные в полевых исследованиях данные и обнаруженные при этом закономерности могут помочь пониманию механизмов действия малых доз радиации на растения.

Исходя из этих соображений, мы попытались выявить некоторые особенности влияния ионизирующей радиации на фотосинтез в полевых условиях путем изуче-

Таблица 3. Основные физико-химические характеристики исследуемых почв

Основные параметры	Почва		Основные параметры	Почва	
	контрольная	опытная		конт-рольная	опытная
Тип	Серо-бурый (примитивный)	Серо-бурый (примитивный)	Минерализация грунтовых вод, г/л	10,4	10,4
Мощность, см	0–15	0–15	Плотный остаток, %	0,18	0,21
Структура	комковатый	комковатый	Водопрочные агрегаты (>0.25 мм), %	45	43
Плотность, г/см ³	1,18	1,26	Гранулометрический состав (<0.001 мм), %	43	45
Удельный вес, г/см ³	2,63	2,74	Содержание гумуса, %	1,6	1,6
Запас гумуса, тон/га	24	24	Соотношение Ca к Mg	0,5	0,5
Емкость поглощения, мг-экв.	20	25	Содержание азота, %	0,08	0,11
Общая порозность, %	47	45	Запас азота, тон/га	1,5	1,8
Степень илистости, %	31	32	Поглощенный натрий, %	9,4	9,1
Глубина грунтовых вод, м	1,7	1,5	Содержание CaCO ₃ , %	11	11
pH водный	7,2	7,4	Соотношение C к N	6,8	6,8

ния изменения количества и соотношения фотосинтетических пигментов в листьях.

Концентрации зеленых пигментов и каротиноидов, а также их соотношение в листьях растений, произрастающих на контрольных и опытных участках, на разных фазах вегетационного периода представлены в табл. 4. Анализ данных, приведенных в этой таблице, показывает, что в некоторых случаях между концентрациями фотосинтетических пигментов в опытных и контрольных растениях имеются определенные различия и эти различия иногда весьма существенны. Кроме того, в конкретных природных условиях фотосинтетическая реакция разных видов растений на облучение также оказывается иной, и для отдельно взятого растения эта реакция имеет сезонный характер. Так, например, на опытном участке концентрация хлорофиллов $a+b$ в листьях парнолистника по сравнению с контролем оказалась примерно в 2 раза больше. Концентрация зеленых пигментов в листьях парнолистника

при этом составляла 0,6–1,5 мг/г сырой массы. Интересно, что высокая концентрация хлорофиллов в листьях этого растения на опытных участках сохранялась на всех фазах развития.

По всей вероятности, эти данные свидетельствуют о выраженном эффекте стимуляции фотосинтеза под действием ионизирующей радиации, обусловленной загрязняющими участками радионуклидами. На основании имеющихся представлений можно предположить, что ионизирующее излучение радионуклидов, воздействуя на клеточные мембраны, интенсифицирует окислительные процессы. В результате такого воздействия изменяется состояние и свойства мембран, что, в свою очередь, приводит к активации фотосинтетических реакций [12].

Анализ динамики исследованных параметров для другого растения – аргусии сибирской в фазе всходов и развития показал, что интенсивность фотосинтеза была практически сходной у опытных и контроль-

Таблица 4. Концентрация и соотношение фотосинтетических пигментов для растений на разных фазах вегетационного периода (мг/г)

Фазы	Пигменты	Растения					
		Аргусия сибирская		Парнолистник		Верблюжья колючка	
		опытный	контрольный	опытный	контрольный	опытный	контрольный
Фаза всходов	хл. a	0,50±0,04	0,60±0,03	0,95±0,12	0,44±0,02	1,12±0,10	1,37±0,12
	хл. b	0,15±0,01	0,16±0,02	0,19±0,01	0,16±0,02	0,40±0,04	0,52±0,03
	карот.	0,20±0,02	0,16±0,02	0,20±0,01	0,10±0,01	0,37±0,01	0,42±0,01
	хл. (a/b)	3,26±0,17	3,74±0,96	4,96±0,37	2,72±0,33	2,84±1,30	2,64±0,13
	хл. (a+b)	0,65±0,01	0,75±0,07	1,14±0,05	0,60±0,01	1,51±0,07	1,89±0,05
	хл. (a+b)/кар.	3,27±0,03	4,07±0,40	5,6±1,02	5,80±0,18	4,07±0,21	4,45±0,14
Фаза развития	хл. a	0,49±0,01	0,59±0,07	0,78±0,08	0,53±0,04	3,21±0,37	2,21±0,13
	хл. b	0,22±0,03	0,18±0,04	0,22±0,03	0,17±0,02	0,34±0,17	0,47±0,02
	карот.	0,14±0,01	0,19±0,02	0,19±0,03	0,15±0,01	0,78±0,06	0,46±0,05
	хл. (a/b)	2,46±0,03	3,29±0,38	3,49±0,32	3,15±0,11	9,54±1,81	4,72±0,39
	хл. (a+b)	0,68±0,10	0,77±0,02	1,00±0,03	0,69±0,04	3,54±0,47	2,68±0,13
	хл. (a+b)/кар.	4,75±0,34	5,21±0,13	5,25±0,81	4,69±0,30	4,52±0,38	5,88±0,19
Фаза созревания	хл. a	0,95±0,03	2,49±0,23	1,12±0,01	0,65±0,01	1,14±0,06	1,89±0,05
	хл. b	0,37±0,01	0,55±0,01	0,35±0,01	0,22±0,01	0,48±0,00	0,75±0,06
	карот.	0,18±0,01	0,20±0,02	0,18±0,01	0,11±0,01	0,31±0,03	0,26±0,01
	хл. (a/b)	2,55±0,01	4,55±0,51	3,25±0,03	3,00±0,15	1,36±0,14	2,51±0,18
	хл. (a+b)	1,32±0,03	3,03±0,23	1,47±0,02	0,86±0,01	1,62±0,05	2,64±0,02
	хл. (a+b)/кар.	7,40±0,25	15,00±2,8	8,30±0,50	7,93±0,18	5,10±0,33	9,93±0,50

Примечание: $p < 0,05$ по сравнению с контролем.

ных растений. При этом фаза созревания аргусии сибирской характеризовалась снижением интенсивности фотосинтеза. В этой фазе имела место также задержка роста листьев у растений [11]. Можно предположить, что ионизирующая радиация при действии на аргусию сибирскую приводила к ингибированию скорости синтеза зеленых пигментов. Возможно, причиной этого является то, что ионизирующее излучение в сочетании с другим неблагоприятным фактором – засухой, характерной для данной местности, негативно повлияло на развитие этого растения. Более того, известно, что изменения радиочувствительности организмов вследствие их приспособления к экологическим нерадиационным условиям неспецифичны, и физиолого-биохимические приспособления вида к условиям стрессовых нагрузок способны изменять присущие интактным популяциям закономерности саморазвития [13].

По результатам исследований можно заметить, что для верблюжьей колючки, как в фазе всходов, так и в фазе созревания вегетационного периода, наблюдается ингибирование синтеза хлорофиллов (по сравнению с контролем сумма пигментов уменьшилась примерно на 20–50%). Однако в фазе развития при сочетании с высокой освещенностью ионизирующая радиация способствовала повышению концентрации фотосинтетических пигментов у этого растения на ~30%. Верблюжья колючка, подвергнутая облучению в этой фазе, отличалась от необлученной также большей биомассой [11].

Сходный характер влияния облучения на ростовые процессы и концентрацию фотосинтетических пигментов отмечен и для парнолистника. Однако радиостимуляция у этих двух растений проявлялась по-разному. Другими словами, если стимулирующий эффект у верблюжьей колючки выражался в кратковременном ускорении ростовых процессов, то у парнолистника эти процессы продолжались вплоть до урожая.

Отметим, что эти результаты согласуются с результатами работ [14–16], авторы которых также пришли к выводу о невоспроизводимости стимуляционных эффектов малых доз. Это объясняется тем, что проявление таких эффектов определяется не только внутренними, но и внешними факторами и зависит от того, насколько потенциал растения удовлетворяется различными условиями их реализации. Правда, в каждой климатической зоне аборигенные виды растений и районированные сорта адаптированы к присущим этой зоне условиям среды. Однако, каким образом растения проявляют свой потенциал (о котором можно судить также по концентрации фотосинтетических пигментов), все же остается загадкой. Поэтому делать вывод о том, как ионизирующая радиация повлияла на фотосинтетический аппарат растений, с интенсивностью работы которого тесно сопряжена скорость ростовых процессов [17], следует с осторожностью.

Из данных таблицы видна определенная разница между изучаемыми группами растений по отношению хлорофиллов a/b . Например, если для аргусии сибирской опытные группы отличаются от контрольных меньшим значением отношения a/b , то у парнолистника во всех фазах развития a/b в опытной группе больше, чем в контрольной, а у верблюжьей колючки только в фазе развития оно существенно больше у опытной группы растений.

Переходя к обсуждению данных по концентрациям каротиноидов, следует отметить, что они существенно отличались в изучаемых группах аргусии сибирской. Учитывая, что каротиноиды рессматриваются как один из факторов, обеспечивающих толерантность растений к различным видам загрязнения, можно предположить, что сохранение их концентрации на постоянном уровне для этого растения связано с их защитной ролью.

Однако при этом верблюжья колючка, так же как и парнолистник, для которого

вегетация и, соответственно, интенсивность процесса фотосинтеза приходится на более раннюю весну, потенциально более обеспечена теми пигментами, которые оберегают фотосинтетический аппарат от фотодинамического разрушения при неблагоприятных условиях.

Сравнение данных по концентрации хлорофиллов и каротиноидов показало, что отношение суммы хлорофиллов **a+b** к сумме каротиноидов выше у парнолистника, чем у аргусии сибирской и верблюжьей колючки.

По-видимому, полученные результаты исследования фотосинтетического аппарата листьев у различных растений позволяют прийти к выводу о том, что фотосинтез является процессом, обладающим специфической адаптационной особенностью. Однако при этом условия среды и потенциал растения также могут играть существенную роль. Подтверждением этого является то, что, если у парнолистника и верблюжьей колючки фотосинтез благодаря высокой доли каротиноидов осуществляется с достаточно высокой интенсивностью, то у аргусии сибирской действие радиации приводит к подавлению его интенсивности.

Для получения более наглядного представления об изменениях, происходящих во всех фазах вегетационного периода в фотосинтетическом аппарате листьев разных растений, мы представили полученные данные в виде диаграмм и тем самым провели сравнение пигментов между разными растениями (рис. 1–3).

Сравнение данных показало, что в фазе всходов концентрация хлорофилла **a** в листьях опытного образца парнолистника примерно в 2 раза больше, чем в контроле, а у аргусии сибирской и верблюжьей колючки, на ~20% меньше в опытных, чем в контрольных растениях (рис. 1). Интересно, что парнолистник характеризуется также повышенной концентрацией хлорофиллов **b** и каротиноидов. Количество этих пигментов соответственно в 1,2 и 2

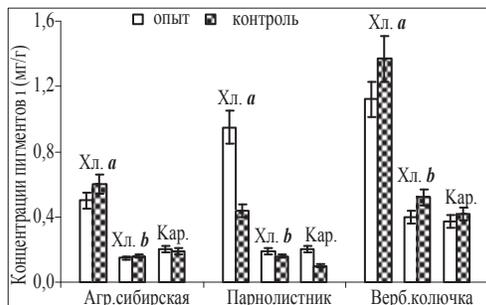


Рис. 1. Концентрации фотосинтетических пигментов в фазе всходов растений

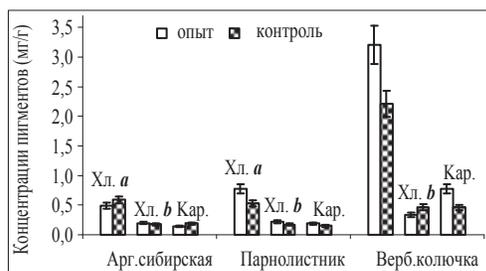


Рис. 2. Концентрации фотосинтетических пигментов в фазе развития растений



Рис. 3. Концентрации фотосинтетических пигментов в фазе созревания растений

раза больше в опытных растениях, чем в контрольных. Можно предположить, что ионизирующее излучение для этого растения играло роль стимулятора в фазе всходов, вызывая ускорение синтеза фотосинтетических пигментов. В противоположность этому у аргусии сибирской и верблюжьей колючки облучение в этой фазе развития угнетало синтез пигментов в листьях.

В фазе развития, когда действие ионизирующей радиации сочеталось с высокой температурой и высокой интенсивностью света, обнаруживали иную картину (рис. 2). Правда, и в этом случае концентрация пигментов у парнолистника с опытных участков была больше, чем с контрольного. Однако облучение в этой фазе ускоряло синтез хлорофилла **a** и каротиноидов в листьях верблюжьей колючки. При этом концентрация хлорофилла **b** у этого растения, также как в первой фазе, в опыте была меньше, чем в контроле. В этой фазе облучение практически не вызывало никаких изменений в структуре фотосинтетического аппарата аргусии сибирской, так как концентрация пигментов у опытных и у контрольных растений отличалась незначительно.

Таким образом, в фазе развития под действием облучения как у парнолистника, так и у верблюжьей колючки увеличивалась не только концентрация хлорофилла **a**, но и наблюдалась тенденция к накоплению каротиноидов. Их концентрация в опытных растениях парнолистника и верблюжьей колючки была соответственно в 1,3 и 1,7 раза больше, чем в контрольных.

Было обнаружено, что у верблюжьей колючки, обладающей в фазе всходов высокой резистентностью к действию радиации, в фазе развития синтез пигментов увеличивался. При проявлении стимулирующего эффекта радиации у верблюжьей колючки, по всей вероятности, играла существенную роль также высокая освещенность. Так как известно, что синтез хлорофилла **a** и хлорофилла **b** у некоторых бобовых растений существенно усиливается при сочетании высокой освещенности с дозой облучения, стимулирующей рост и развитие растений [18].

Среди данных, полученных нами, больше всего привлекает внимание то обстоятельство, что изменение концентрации пигментов под действием ионизирующей радиации зависит от вида растений. Ана-

логичные результаты были получены в работе [19], в которой было показано, что если увеличение концентрации хлорофилла в листьях опытных зернобобовых растений по сравнению с контролем составляет 14–18%, то у клевера при этом наблюдается двукратное их увеличение. Автор объясняет это тем, что процессы радиационной стимуляции биосинтеза пигментов у зернобобовых растений проявляются слабее, чем у клевера.

В конце вегетационного периода у растений происходят своеобразные изменения фотосинтетического аппарата (рис. 3). Понятно, что в этой конечной фазе для большинства травянистых растений вегетационный период подходит к концу и накопление биомассы почти прекращается. Как видно из диаграмм, представленных на рис.3, облучение в этой фазе подавляет синтез пигментов у аргусии сибирской (концентрация хлорофилла **a** и **b** по сравнению с контролем уменьшается соответственно в 2,6 и 1,5 раза). Концентрации этих пигментов уменьшаются также в листьях верблюжьей колючки (соответственно в 1,7 и 1,6 раза). Однако в этой фазе ионизирующая радиация, заметно увеличивая активность фотосинтетического аппарата парнолистника, ускоряет синтез пигментов. При этом оказалось, что концентрация хлорофилла **a** и **b** соответственно в 1,9 и 1,6 раза выше в образцах опытных растений, чем в контрольных.

Анализ результатов поэтапного изменения концентраций пигментов показывает, что для аргусии сибирской характерна тенденция увеличения концентраций как хлорофилла **a**, так и хлорофилла **b**. В фазе созревания растений концентрации этих пигментов соответственно в 1,9 и 2,4 раза больше, чем в предыдущих.

Интересно, что в этом отношении не было существенной разницы между аргусией сибирской и парнолистником, для которого также во всех фазах развития в концентрации каротиноидов не было значи-

тельных изменений, а концентрация хлорофилла **a** и **b** в последней фазе были больше (соответственно в 1,4 и 1,6 раза), чем в первых двух фазах.

Особый интерес вызывает сезонное изменение концентраций фотосинтетических пигментов у верблюжьей колючки. У этого растения изменение концентрации хлорофилла **a** имеет максимум в определенной фазе развития. В фазе развития растений, когда среда характеризовалась как высокой температурой, так и высокой освещенностью, в отличие от двух других исследованных растений концентрации хлорофилла **a** и каротиноидов по сравнению с фазой всходов увеличивались соответственно в 2,9 и 2,1 раза. А в фазе созревания растений концентрации этих пигментов резко уменьшались, приравняваясь при этом к концентрациям пигментов в фазе развития. Следует отметить, что в этой фазе аргусия и парнолистник отличались также и большей биомассой [11].

Выводы

Обобщая эти результаты, трудно высказать какое-то мнение о механизме действия ионизирующего излучения радионуклидов, загрязняющих участки, на процесс фотосинтеза. Однако можно сделать вывод о том, что если влияние ионизирующей радиации на одно растение в данной фазе приводит к активации фотосинтетического аппарата, вызывая ускорение синтеза хлорофиллов, то в другой фазе, подавляя образование пигментов, неблагоприятно действует на фотосинтез. Другими словами, стимулирующий эффект малых доз ионизирующей радиации для разных растений может проявляться на разных фазах их развития.

Список литературы

1. Куликов Н.В., Альшиц Л.К., Позолотин А.А. Исследование радиорезистентности некоторых растений // Радиобиология. – 1991. – Т. 31, вып.4. – С. 441–446.

2. Серебряный А.М., Зоз Н.Н. Радиационный адаптивный ответ у пшеницы. Феноменология и вероятный механизм // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2001. – Т. 41, №5. – С. 589–598.

3. Wolff S., Afzal V., Wiencke J.K. et. al. Human lymphocytes exposed to low doses of ionizing radiation become refractory to high doses of radiation as well as to chemical mutagens that induce doublestrand breaks in DNA // Int. J. Radiat. Biol. – 1988. – Vol. 53, №1. – P. 39–48.

4. Кузин А.М., Суркенова Г.Н., Ревин А.Ф. Нативный белок, возбужденный γ -радиацией в малых дозах, как источник вторичных биогенных излучений // Радиационная биология. Радиозэкология. – 1996. – Т. 36, Вып.2. – С. 284–290.

5. Лебедев С.И. Физиология растений. – М.: Агропромиздат, 1988. – 544 с.

6. Jafarov E.S. The radioecological problems created in the Absheron peninsula by the oil extracriion and production // NATO Advansed Research Workshop «Radiation safety problems in the Caspian region». – 2003. – P. 50.

7. Шлык А.А. О спектрофотометрическом определении хлорофиллов **a** и **b** // Биохимия. – 1968. – Т. 33, Вып.2. – С. 275–285.

8. Гапоненко В.И., Николаева Г.Н., Шевчук С.Н. Обновление хлорофилла и продуктивность растений. – Мн.: Навука і тэхніка, 1996. – 247с.

9. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Наука, 1990. – 352 с.

10. Оруджева Дж.Р., Джафаров Э.С. Некоторые особенности распределения природных радионуклидов в разных органах растений, произрастающих в зоне повышенного радиационного фона // Радиационная биология. Радиозэкология. – 2007. – Т. 47, № 2. – С. 267–272.

11. Джафаров Э.С., Оруджева Дж.Р., Джафарлы А.К. Исследование влияния малых доз радиации на биоморфологическую, репродуктивную и резистентную особенности растений // Известия НАНАз. Серия биологических наук. – 2005. – № 3-4. – С. 168–173.

12. Заболотный А.И., Гончарова Н.В., Домаш В.И. и др. Влияние аккумуляции радионуклидов аварийных выпадений Чернобыльской АЭС на фотосинтетические процессы и азотный обмен люпина желтого // Физиология и биохимия культур растений. – 1995. – Т.27, № 3. – С. 216–227.

13. Журавская А.Н., Стогний В.В., Кершенгольц Б.М. Зависимость радиочувствительности семян растений от экологических условий места произрастания // Радиационная биология. Радиозэкология. – 1998. – Т. 38, Вып. 5. – С.706–712.

14. Кузин А.М. Структурно-метаболическая теория в радиобиологии. – М.: Наука, 1986. – 284 с.

15. Гродзинский Д.М. Радиобиология растений. Киев: Наук. думка. – 1989. – 384 с.

16. Гудков И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии. – Киев: Изд.-во: УСХА, 1991. – 328 с.
17. Мокронос А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. – М.: Наука, 1981. – 196 с.
18. Гапоненко В.И., Суховер Л.К., Шамаль Н.В. Повышение чувствительности проростков ржи и ячменя к экстремальным условиям после γ -облучения семян в стимулирующих дозах // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1998. – Т.38, вып.5. – С. 713–719.
19. Гончарова Н.В. Воздействие излучения поглощенных радионуклидов на некоторые метаболические процессы растений семейства бобовых // Физиология и биохимия культ. растений. – 2001. – Т. 33, № 6. – С. 474–479.

Представлена В.А. Кунахом
Поступила 15.11.2012

ВПЛИВ ПІДВИЩЕНОГО РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ НА ВМІСТ ФОТОСИНТЕТИЧНИХ ПІГМЕНТІВ У ЛИСТКАХ ДИКОРОСТУЧИХ РОСЛИН НА ТЕРИТОРІЇ БАКИНСЬКОГО ЗАВОДУ З ВИРОБНИЦТВА ЙОДУ

Е.С. Джафаров¹, А.К. Джафарлы¹,
Дж.Р. Оруджева¹, Г.Г. Бабаев²

¹Інститут радіаційних проблем НАН Азербайджану
Азербайджан, АЗ 1143, Баку, вул. Б.Вагабзаде, 9

²Інститут ботаніки НАН Азербайджану
Азербайджан, АЗ 1143, Баку, вул. Б.Вагабзаде, 9
e-mail: jamala.orujova@gmail.com

Мета. В результаті вивчення динаміки концентрацій і співвідношення фотосинтетичних пігментів у листках зроблено спробу виявити деякі особливості впливу іонізуючої радіації в малих дозах на фотосинтез у рослин, які зростають у зоні підвищеного радіаційного фону. Концентрація пігментів у листках досліджуваних рослин була визначена в різних фазах вегетаційного періоду. **Методи.** Були використані радіодозиметричні, γ -спектрометричні та спектрофотометричні методи дослідження. **Результати.** У деяких випадках між концентраціями фотосинтетичних пігментів дослідних і контрольних рослин були виявлені певні відмінності. Показано, що якщо вплив іонізуючої радіації для однієї рослини у певній фазі приводить до активації фотосинтетичного апарату, викликаючи прискорення синтезу хлорофілів, то в іншій фазі, пригнічуючи утворення пігментів, несприятливо діє

на фотосинтез. **Висновки.** Стимулюючий ефект іонізуючої радіації при цьому для різних рослин проявляється в різних фазах їх розвитку.

Ключові слова: підвищений радіаційний фон, природні радіонукліди, фотосинтез, хлорофіли, каротиноїди.

INFLUENCE OF THE RAISED RADIATION BACKGROUND ON THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN LEAVES OF THE WILD GROWING PLANTS ON THE TERRITORY OF BAKU FACTORY ON IODINE MANUFACTURE

E. S. Dzhabarov¹, A. K. Jafarly¹, J. R. Orujova¹,
H. G. Babayev²

¹Institute of Radiation Problems of NAS Azerbaijan
Azerbaijan, AZ 1143, Baku, B. Vagabzade st., 9

²Institute of Botany of NAS Azerbaijan
Azerbaijan, AZ 1143, Baku, B. Vagabzade st., 9
e-mail: e_dzhafarov@rambler.ru

Aim. As a result of investigation into the dynamics of levels and proportions of photosynthetic pigments in leaves an attempt was made to uncover some details of low dosage ionizing radiation influence on photosynthesis in plants growing within the zone of increased radiation background. Pigment levels in leaves of the plants under study was determined in various phases of vegetation period. **Methods.** There were used radiodosimetric, γ -spectrometric and spectrophotometric methods. **Results.** In some cases densities of photosynthetic pigments in experimental and control plants somewhat differed. It was demonstrated that while ionizing radiation at particular phase of single plant development may result in activation of photosynthetic apparatus promoting accelerated chlorophyll synthesis at another phase it may unfavorably affect photosynthesis inhibiting pigment production. **Conclusions.** Ionizing radiation may affect favorably and unfavorably on plant photosynthesis with stimulating effect being manifested in various plants in different phases of their development.

Key words: increased radiation background, natural radionuclides, photosynthesis, chlorophyll, carotenoids.