

УДК 633.1: 504. 054

РАЗНОУРОВНЕВАЯ БИОИНДИКАЦИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ УСИЛЕННОГО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

О.В. ЧИЖИК, О.П. БУЛКО, В.Н. РЕШЕТНИКОВ

ГНУ “Центральный ботанический сад НАН Беларуси”

Беларусь, 220012, г. Минск, ул. Сурганова, 2В

e-mail: alisa67@hotmail.ru

В статье исследована возможность использования физиолого-биохимических изменений в растительных объектах, вызванных радиоэкологическим воздействием, для разработки системы биоиндикации территорий с повышенной радиоэкологической нагрузкой.

Ключевые слова: радиация, полидезоксирибонуклеотид, радионуклиды, гель, хлорофилл, ДНК

Введение. В результате аварии на Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению подверглись обширные территории бывших республик Советского Союза (Белоруссии, России, Украины) и ряда других стран Европы. Хронический режим облучения, сложившийся на территории 30-километровой зоны ЧАЭС после острого периода облучения, затрудняет понимание природы лучевого поражения многолетних растительных организмов, так как радиочувствительность всех их компонентов претерпевает существенные изменения в течение годового цикла развития. Интерпретация результатов осложняется и тем обстоятельством, что большинство видов растений обладает более высокой, по сравнению с млекопитающими, радиоактивной устойчивостью, так как, наряду с развитием эффектов поражения, протекают восстановительные процессы. Растениям отводится роль переносчиков радионуклидов по пищевой цепочке “почва – растение – животное – человек”. Тем не менее, все данные относительно повреждающего действия ионизирующего излучения на молекулу ДНК и геном в целом, а также биологической роли этих повреждений, получены, в основном, на клетках животных и микроорганизмов. Что касается высших растений, то такие сведения малочисленны. Существующие на сегодня данные имеются в отношении влияния на отдельные морфофизиологиче-

ские и биохимические параметры растений, преимущественно, дикорастущих видов. Исследования показали, что виды растений существенно отличаются по радиочувствительности, которая в той или иной мере связана с различными морфологическими, физиолого-биохимическими и цитогенетическими характеристиками. Если у одно-двухлетних растений за сравнительно короткий период вегетации не всегда успевают сложиться явно проявляющиеся ответные реакции, то у многолетних растений в течение десятков лет могут накопиться значительные изменения. Более того, подавляющее количество видов многолетних растений, как правило, чувствительнее к действию радиации, чем одно-двухлетние травянистые виды [1,2]. Установлено, что гамма-излучающие радионуклиды вызывают ускорение онтогенеза, активность пероксидазы в клеточных мембранах листьев, повышение фотохимической активности изолированных хлоропластов и содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла), ускорение прорастания [3]. Особенно чувствительны к воздействию ионизирующих излучений дезоксирибонуклеиновая (ДНК) и рибонуклеиновая (РНК) кислоты. Известно, что ионизирующее излучение вызывает в ДНК разнообразный спектр повреждений. Это одно- и двуниевые разрывы, внутри- и межмолекулярные сшивки ДНК-ДНК, ДНК-белок, повреждения ДНК-мембранного комплекса, оснований, изменения суперспирализации молекулы ДНК [4-9]. О повреждении структур может свидетельствовать увеличение числа разрывов в молекулах ДНК [10], что приводит к задержке и блокированию репликации и транскрипции [11], увеличению частоты генных мутаций, злокаче-

ственной трансформации, нарушению функций генома (репликации, транскрипции), гибели облученных клеток. Однако одновременно функционирует система репарации, восстанавливающая часть повреждений. Изучение типов повреждений ДНК, а также изучение явления генетической адаптации к радиационному воздействию, должны оставаться основными проблемами биологии после аварии на ЧАЭС. Так как радионуклиды, поступая из растений в организм животных и человека, могут накапливаться и оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье, изучение данной проблемы, выработка рекомендаций по устранению их негативного воздействия на растения, а также увеличение числа чувствительных тест-объектов на заражение территорий радионуклидами является весьма актуальной задачей, позволяющей более полно определять степень влияния радиации на геном организмов и проводить мониторинг загрязненных территорий с целью их рационального использования.

Материалы и методы

Объектами исследования служили семена и проростки злаковых (тритикале), семена и проростки бобовых растений (люпин) на разных стадиях развития, а также листья березы, произрастающие на экспериментальных участках Полесского радиозоологического заповедника (г. Хойники, р-н дер. Бабчин) с радиационным фоном почвы 1750 кБк/м²) и условно чистой зоны – территории Центрального ботанического сада НАН Беларуси.

Исследование морфолого-цитологических характеристик клеток и ядер зародышей и проростков представителей злаковых и бобовых растений проводили следующим образом: про-

мытые семена культивировали при 20 °С под люминесцентными лампами (6 тыс. лк, фотопериод 16 часов). Осевые части проростков без эндосперма взвешивали и их 1-сантиметровые верхние части мацерировали по методике [12] и получали суспензии разделенных клеток с четко выраженными ядрами для цитометрического определения размера клеток и ядер в клетке. Ядра проростков выделяли по [11].

Изучение морфологии клеток проводили по [13]. Измерения проводили в камере Фукса-Розенталя. Площадь сечения клетки в фокальной плоскости оценивали как произведение её длины на ширину, которые измеряли с помощью объекта – микрометра МОВ-1-15^x под микроскопом МБИ-6 (ЛОМО). Объём рабочей выборки для статистической обработки был одинаков (n=30) для всех определений. Различия параметров по вариантам принимали как достоверные при уровне значимости $p < 0,05$. Результаты наблюдений обрабатывали в системах Statistica 5.0 и Statgraphics Plus.

Раствор красителя готовили из 0,25% йода и 0,50% йодистого калия в 50% этаноле.

Контрольный раствор красителя имел 1,0 оптическую единицу плотности при толщине кюветы 1,0 см. Окулярная шкала микроскопа давала возможность определять размеры клеток и ядер.

Содержание хлорофиллов а и в у бобовых (люпин узколистный, сорт Першцацвет), злаковых (тритикале, сорт Инесса) и древесных растений (береза повислая) определяли в полученной вытяжке пигментов в 96 % этаноле без предварительного их разделения (Wintermans J.F., Demots A., 1965). Для этого измеряли оптическую плотность экстракта (Е) на спектрофо-

тометре Agilent (США). Концентрацию пигментов рассчитывали по уравнениям:

$$C \text{ хл.а} = 13,70 \cdot E_{665} - 5,76 \cdot E_{649};$$

$$C \text{ хл.в} = 25,80 \cdot E_{649} - 7,60 \cdot E_{665};$$

$$C \text{ а+в} = 6,10 \cdot E_{665} + 20,04 \cdot E_{649}.$$

Экстракцию фракции легкорастворимых белков вели по методу Сафоновых [14]. Полученный гомогенат центрифугировали 15000 г в течение 20 мин. Белки из надосадочной жидкости осаждали 6-ю объемами холодного ацетона, высушивали и использовали для анализа. Непосредственно перед проведением электрофореза исследуемые образцы растворяли в буфере (в соотношении 1:1), содержащем трис-НСI, рН 6,8 до 0,625 М, β-меркаптоэтанол до 5 %, ДСН до 2 %, глицерин до 10 % и бромфеноловый синий до 0,001 %, прогревали на водяной кипящей бане 3 мин, центрифугировали при 8000 об/мин (ELMI, Литва) 5–7 мин и супернатант использовали для электрофореза.

Электрофоретическое разделение белков проводили в полиакриламидном геле (ПААГ) в щелочной системе с додецилсульфатом Na (SDS) по методу Laemmli [15]. Для линейного электрофореза использовали 5 % концентрирующий и 12 % разделяющий ПААГ. Электрофорез проводили при силе тока 20–30 мА на гель и начальном напряжении 155 В. После разделения белковых фракций гели фиксировали 20 % ТХУ, окрашивали 0,1 % Coomassie Blue R-250, отмывали и фотографировали. Цифровое изображение обрабатывали с использованием компьютерной программы “Sigma Gel”, представленной фирмой Amersham-Biotech.

Для определения однонитевой ДНК и ПДН (полидезоксирибонуклеотидов) использовали суспензию клеток и ядер [16]. Количество однонитевой

ДНК находили методом хроматографии на гидроксипатите (ГАп) [17]. Время лизиса для клеточных ядер подбирали экспериментально. При оптимальном подборе времени лизиса денатурация ДНК успеваает пройти только в местах щелочно-лабильных повреждений ДНК, после чего лизат быстро нейтрализовали. Доля однопонитовой ДНК в общем содержании биополимера отражала число разрывов и была выражена в процентах. ПДН экстрагировали на холоде из препаратов клеточных ядер или клеток раствором, содержащим 0,15 М NaCl и 0,7 мМ ЭДТА (рН 7,0). О количестве экстрагированных ПДН судили по их процентной доле в экстракте относительно суммарной ДНК ядер или клеток.

Поскольку метод определения однопонитовых разрывов ДНК на колонке является трудоемким и требует многих повторностей, мы попытались разработать экспресс-метод для тестирования образцов. Из изолированных клеточных ядер раствором 0,14 М NaCl на 10 мМ трис-буфером экстрагировали суммарный экстракт ДНК различной степени целостности, а также полинуклеотиды, которые тестировали на спектрофотометре (Amersham) против буфера. Затем из экстракта 96% этанолом осаждали неповрежденную высокополимерную ДНК и снова спектрофотометрировали (диапазон длин волны 220 – 350 нм). Считали, что после осаждения ДНК в растворе оставались полидезоксинуклеотиды и нуклеотиды (ПДН). О количестве экстрагированных ПДН судили по их процентной доле в экстракте относительно суммарного поглощения до осаждения ДНК. Однопонитовые разрывы ДНК также способствуют ее фрагментации и экстракции 0,14 М NaCl.

Оценку количественного содержания (концентрацию) геномной ДНК определяли по величине поглощения раствором УФ-света с длиной волны 260 нм; чистоту образца – по отношению величин поглощения при 260 и 280 нм. Измерения проводили в кварцевых кюветках на спектрофотометре Agilent 8453.

Все анализы проводились в трехкратной повторности. Приведенные в таблицах цифровые данные являются средними из трех повторностей и характеризуют всю выборку. Статистическая обработка аналитических данных проводилась по Рокицкому.

Результаты и обсуждение

Развивающиеся органы, ткани и клетки различных видов растений могут по-разному реагировать на факторы внешней среды и быть индуктором неблагоприятного воздействия. С этой целью проводилось определение морфологической структуры зародышей, их клеток и ядер у представителей семейств злаковых и бобовых растений (тритикале и люпина).

Измерения показали, что в зоне с увеличенным радиационным фоном средний вес одного зародыша семени тритикале близок к таковому в контроле ($4,03 \pm 0,60$ мг и $3,93 \pm 0,74$ мг соответственно), однако количество клеток в одном зародыше в радиационной зоне было на 11% больше. Т.е. этот показатель может свидетельствовать об уменьшении размеров клеток или изменении соотношения доли мелких и крупных клеток. Микроскопический контроль не подтвердил последнее предположение и показал, что заметного изменения процента клеток, отличающихся от среднего показателя, не произошло.

Измерения площади клетки зародыша тритикале (средний показатель) выявили, что клетки зародыша, сформировавшиеся в загрязненной зоне, значительно меньше по размерам (контроль – 740 мкм², опыт – 471 мкм²). Характерно, что площадь ядра этих клеток показала противоположную картину – ядра облученных растений были значительно крупнее (контроль – 8,54 мкм², опыт – 15,88 мкм²). Соотношение “площадь клетки зародыша тритикале/площадь ядра” у контроля было равным 66,1, а в опыте – 28,6. Подобная зависимость наблюдалась при исследовании представителя семейства бобовых – люпина. Средняя площадь клетки зародыша люпина контрольных растений составила 854 мкм², а опытных – 686 мкм². Соответственно средняя площадь ядра была 11,33 мкм² и 14,91 мкм². Т.е. соотношение “площадь клетки/площадь ядра” снижалась с 75,3 до 46,0. Как и в опытах с тритикале, форма клеток зародыша люпина видимых существенных изменений не претерпевала.

При развитии тканей (прорастающие семена опытных и контрольных растений) происходит уменьшение разницы как в площади ядер контрольных и опытных растений, так и клеток, что характеризуют значения

“соотношение площадь клетки/площадь ядра” (табл. 1).

Проведенные исследования показали, что соотношение “площадь клетки зародыша/площадь ядра” может явиться биоиндикационным показателем внешней среды.

Исследования других авторов (Колломнец, Гродзинский, Гапоненко) свидетельствует о преимущественной локализации отдельных радионуклидов в проводящих пучках и клеточных стенках, что является барьером для проникновения и уменьшения локальных доз облучения в области ядра, предотвращения нестабильности генетического аппарата и повышения уровня мутирования. Поэтому увеличение количества клеток и уменьшение их размеров может уменьшать инкорпорацию радионуклидов в ядро.

Проведенные исследования подтверждают способность растений к адаптации и появлению репарационных систем под воздействием малых доз радиации.

Содержание хлорофиллов а и b у бобовых (люпин узколистный, сорт Першацвет), злаковых (тритикале, сорт Инесса) и древесных растений (береза повислая) определяли в полученной вытяжке пигментов. Все процедуры количественного определения

Таблица 1. Морфологические показатели проростков тритикале “чистой” и загрязненной радионуклидами зон

Морфологические показатели	Контроль	Опыт
Площадь клетки 96-час проростка (первый лист)	1456 мкм ²	725 мкм ²
Площадь ядра проростка (первый лист)	113 мкм ²	113 мкм ²
Соотношение Склетки/Сядра	1456/113=12,8	725/113=6,4
Площадь клетки 96-час проростков тритикале	11040 мкм ²	7360 мкм ²
Площадь ядра	459,6 мкм ²	373,0 мкм ²
Соотношение Склетки/Сядра	1104/459,6=24,0	7360/373,0=19,7

* Измерения проводились в 30 повторностях.

Таблица 2. Содержание хлорофиллов а и в в 10-дневных проростках люпина узколистного (с. Першацвет) (мкг/мл и мкг/мг сырого веса)

Образец	Хлорофилл а (мкг/мл)	Хлорофилл b (мкг/мл)	Хлорофилл а+ b (мкг/мл)	Хл.а / хл. b (мкг/мл)
опыт (эпикотиль)	28,279	13,921	42,200	2,031
опыт (семядоли)	11,588	04,317	16,041	2,684
контроль (эпикотиль)	28,711	16,911	49,645	1,698
контроль (семядоли)	11,273	04,179	15,614	2,697
Образец	Хлорофилл а (мкг/мг)	Хлорофилл b (мкг/мг)	Хлорофилл а+ b (мкг/мг)	Хл.а / хл. b (мкг/мг)
опыт (эпикотиль)	1,188	0,584	1,773	0,085
опыт (семядоли)	0,450	0,168	0,624	0,104
контроль (эпикотиль)	1,060	0,624	1,832	0,063
контроль (семядоли)	0,407	0,151	0,564	0,097

Таблица 3. Содержание хлорофиллов а и в в 72-часовых проростках тритикале (мкг/мл и мкг/мг сырого веса)

Образец	Хлорофилл а (мкг/мл)	Хлорофилл b (мкг/мл)	Хлорофилл а+ b (мкг/мл)	Хл.а / хл. b (мкг/мл)
опыт	26,516	13,374	40,078	1,983
контроль	16,058	10,504	26,562	1,529
Образец	Хлорофилл а (мкг/мг)	Хлорофилл b (мкг/мг)	Хлорофилл а+ b (мкг/мг)	Хл.а / хл. b (мкг/мг)
опыт	0,435±0,01	0,219±0,02	0,657	0,041
контроль	0,334±0,02	0,219±0,01	0,553	0,032

Таблица 4. Содержание пигментов в листьях березы повислой (мкг/мл и мкг/мг сырого веса)

Образец	Хлорофилл (мкг/мл)			
	а	b	а+ b	а/b
контроль	22,231	14,496	36,726	0,154
опыт	27,882	14,112	41,994	1,976
Образец	Хлорофилл (мкг/мг)			
	а	b	а+ b	а/b
контроль	1,830	1,193	3,022	0,013
опыт	2,006	1,015	3,021	0,142

пигментов проводили не менее чем в трех биологических пробах. Средние значения содержания зеленых пигментов представлены в табл. 2 – 4.

Показатели содержания пигментов у представителя семейства бобовых (проростков семян люпина), полученные у контрольных и опытных расте-

ний, не выявили существенных отличий между контролем и опытом, что, вероятно, объясняется высокой активностью систем репарации у молодых растений. У растений семейства злаковых (тритикале) наблюдалось увеличение содержания хлорофилла а в опытных растениях, как и у березы повислой

(табл. 3,4). Полученные данные показавшие изменения в содержании хлорофилла а как в листьях березы повислой, так и в проростках тритикале, в определенной мере позволяет отнести эти объекты к ряду биоиндикаторов данного техногенного фактора.

Следующим этапом исследований было подтверждение гипотезы, что одонитевые и двунитевые разрывы, внутри- и межмолекулярные сшивки ДНК – ДНК, ДНК – белок, а также изменения суперспирализации молекулы ДНК являются результатом влияния радиационного воздействия на геном растений.

Так как степень повреждения ДНК оценивается по процентному содержанию одонитевой ДНК, образованию одонитевой ДНК, образующейся при денатурации в щелочных условиях, и по накоплению в клеточных ядрах и цитоплазме растворимых полидезоксирибонуклеотидов (ПДН), наличие которых указывает на степень деградации хроматина, измеряли количество одонитевой ДНК и ПДН. Результаты исследований показали снижение количества одонитевой ДНК (на 17,8 %) и экстрагируемых ПДН (на 28,3 %) у проростков тритикале, выращенного из семян, полученных в зоне Радиационно-экологического заповедника.

Продолжение работ по исследованию клеточного ядра на основе определения одонитевых разрывов и растворимых полидезоксирибонуклеотидов (ПДН), привело к необходимости отработки более быстрого метода анализа для целей биоиндикации, поскольку существующий метод включает использование колонки с гидроксилатитом, что очень трудоемко и требует многих повторностей. Указанный

метод применили для исследования проростков люпина.

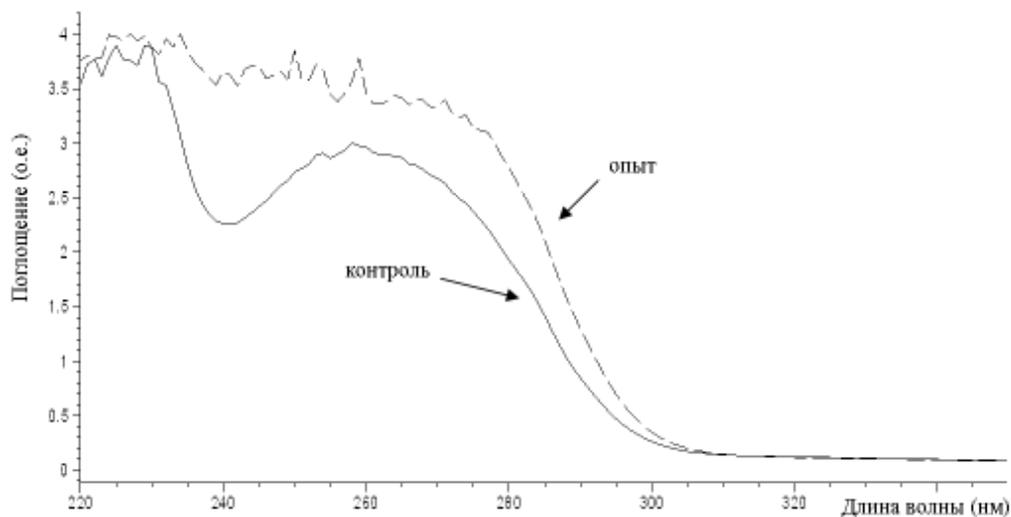
Результаты показали увеличение количества экстрагируемых ПДН и ДНК у проростков люпина, выращенного в зоне Радиационно-экологического заповедника по сравнению с контролем на 25 % (рис.).

Результаты исследований показали снижение количества экстрагируемых ПДН у проростков тритикале, выращенного в зоне заражения, в то время как в клеточных ядрах люпина наблюдалось увеличение этих показателей, т.е. разные виды растений по-разному реагируют на данный уровень радиационного воздействия. Полученные данные объясняются резкой активацией систем репарации вследствие облучения у представителей семейства злаковых, значительной компактизацией нуклеопротеидного комплекса и изменением взаимодействия ДНК-белок у облученных растений, вследствие чего доступность ДНК для экстракции уменьшается – все эти факторы приводят к повышенным показателям у опытных растений по сравнению с контролем, что аналогично процессам, происходящим при старении клетки.

У исследованных бобовых растений такие реакции выражены слабее, вследствие чего доля ПДН возрастает при облучении. Полученные данные позволяют использовать количественное содержание одонитевых разрывов ДНК и ПДН как возможные показатели индуцированных радиацией изменений в хроматине ядер исследуемых объектов.

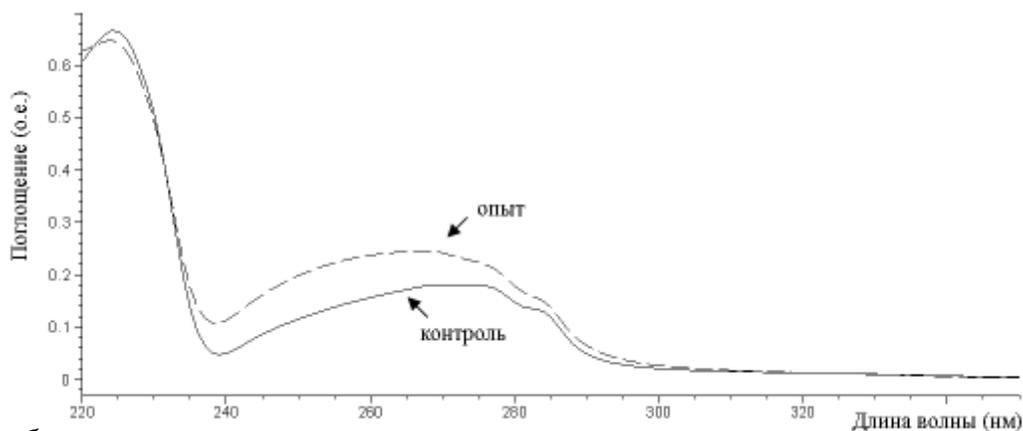
Одновременно проводился электрофоретический анализ с целью исследования влияния радиации на белковый состав растений. Изучали изме-

№	Образец	Фактор разведения	Соотношение длин волн 260/280нм	Длина волны <260нм>	Длина волны <280нм>
1	К	1.00000	1.53510	2.96180	1.92940
2	О	1.00000	1.25000	3.46350	2.77070



а

№	образец	Фактор разведения	Соотношение длин волн 260/280нм	Длина волны <260нм>	Длина волны <280нм>
1	К	1.00000	1.06340	0.15664	0.14730
2	О	1.00000	0.23759	0.17833	



б

Рисунок. Спектры поглощения экстрактов из ядер проростков люпина: а – смесь нуклеиновые кислоты +ПДН, б – неповрежденная ДНК: контроль – растения, выращенные в ЦБС, опыт – растения, выращенные в Радиационно-экологическом заповеднике

нение белкового состава (общие белки) у проростков тритикале и люпина. Общее количество полипептидных компонентов на электрофореграммах варьировало от 39 до 43, а молекулярные массы – от 10 до 120 кДа. Установлено, что под влиянием радиации эти показатели изменяются незначительно. Несмотря на то, что люпин является высокобелковой культурой, на электрофореграммах не обнаружено существенных изменений в количестве зон, однако изменялась интенсивность окрашивания отдельных полос.

Установлено, что, несмотря на различие в белковых спектрах в используемых культурах, не наблюдалось заметного влияния радиации на эти показатели. В отличие от белков, ДНК, полинуклеотиды и нуклеотиды, в отличие от белкового состава, могут являться тестом на экологическую нагрузку.

Выводы

Проведенные исследования подтверждают, что радиоактивное загрязнение влияет на отдельные морфофизиологические и биохимические параметры растений – скорость прорастания семян, размер клеток и ядер, количество клеток на единицу массы ткани, содержание хлорофиллов, экспрессию отдельных полипептидов, что может являться индикатором воздействия среды произрастания.

Исходя из полученных цитолого-морфологических данных можно сделать вывод, что растения, подвергшиеся радиоактивному воздействию, по своим морфологическим показателям отличаются от контроля. Опытные образцы представителей как злаковых, так и бобовых растений характеризовались наличием более мелких клеток и крупных ядер. Количество клеток на

единицу массы ткани увеличивалось, а соотношение Склетки/Сядра у опытных растений была значительно меньше, чем в контроле, что может служить дополнительным тестом на загрязнение среды радионуклидами. Результаты исследований показали снижение количества однопитевой ДНК и экстрагируемых ПДН у проростков тритикале, выращенного в зоне заражения, в то время как в клеточных ядрах люпина наблюдалось увеличение этих показателей, т.е. разные виды растений по-разному реагируют на данный уровень радиационного воздействия. У растений семейства злаковых наблюдалось увеличение содержания хлорофилла *a* в опытных растениях, как и у березы повислой, что в определенной мере позволяет отнести эти объекты к ряду биоиндикаторов данного техногенного фактора. Проанализировав полученные данные можно сделать вывод, что малые дозы радиации могут активировать физиологические процессы растений, что выражается в изменении фотосинтетической активности и интенсивности роста на отдельных этапах онтогенеза. Ответные реакции различных видов растений (особенно далеко отстоящих друг от друга в филогенетическом отношении) на один и тот же режим облучения могут существенно отличаться.

Принимая во внимание тот факт, что адаптогенез к неблагоприятным длительным воздействиям представляет собой общебиологическое явление, проведение исследований по разноразмерной биоиндикации территорий усиленного радиоэкологического контроля сохраняет свою актуальность. Определение показателей и разработка системы биоиндикации территорий с разной степенью радиоэкологической нагрузки позволит более полно

определять степень воздействия радиации на геном организмов и проводить мониторинг загрязненных территорий с целью их рационального использования в сельском и лесном хозяйстве.

Список литературы

1. Бандарэнка, Э.У., Ляўкоў І.А., Палякшанава Г.У. Назапашванне цэзію–137 і стронцію–90 рознымі відамі сельскагаспадарчых культур з выкарыстаннем на іх пасевах гербіцыдаў ва ўмовах пауднева–усходняй часткі Беларусі // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 1994. – № 3. – С. 37–42.
2. Мироненко А.В. // Биохимия люпина.– Минск: Наука и техника.– 1975.– С. 300.
3. Тишкевич Т.К. Изменение физиолого-биохимических характеристик растений люпина под влиянием инкорпорированных радионуклидов // Биология.– 1993.– Т.33, №1. – С. 54–57.
4. Гродзинский Д.М. // Радиобиология растений. – Киев: Наук. Думка, 1989.– С. 360.
5. Комар В.Е., Хансон Л.П. Информационные макромолекулы при лучевом поражении клеток. – М.: Атомиздат, 1980.– С. 176.
6. Москалева Е.Ю., Илюшина Н.А. Итоги науки и техники // Сер. радиац. Биология.– 1990.–Т.9. – С. 3–113.
7. Сынзыныс В.И., Саенко А.С., Пелевина И.И. Итоги науки и техники // Сер. радиац. Биология. – 1990.– Т.9. – С. 114–213.
8. Гудков И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии. – Киев: УСХА, 1991.– С. 328.
9. Hagen V. Radiat. Environm. // Biophys. – 1990.– Vol. 29, № 4.– P. 315–322.
10. Абрамов В.И. и др. Генетические эффекты и репарация одностранных разрывов ДНК в популяциях *Arabidopsis thaliana*, произрастающего в окрестностях Чернобыльской АЭС // Генетика. – 1992.– Т.28, № 6. – С. 69–73.
11. Datta N., Schell M.B., Roux S.J. Spermine Stimulation of a Nuclear NII Kinase from Pea Plumules and Its Role in the Phosphorylation of a Nuclear Polypeptides // Plant Physiol. – 1987. –Vol. 84. – P. 1397–1401.
12. Grigory L. Dianov and Jason L Parsons. Coordination of DNA single strand break repair // DNA Repair (Amst). – 2007. – Vol. 6, № 4.– P. 454–460.
13. Datta N. Spermine Stimulation of a Nuclear NII Kinase from Pea Plumules and Its Role in the Phosphorylation of a Nuclear Polypeptides // Plant Physiol. – 1987. –Vol. 84. – P. 1397–1401.
14. Вечер А.С. Количественное определение содержания субклеточных структур в растительной клетке / Вес. Нац. Акад.наук. Сер.біял. навук. – 1985. – № 3. – С.104–105.
15. Сафонов В.И. Исследование белков и ферментов растений методом электрофореза в полиакриламидном геле / Биохимические методы в физиологии растений: Сб. ст. под ред. Ю.Г. Молотковского – М.:Наука. – 1971.– С.113–119.
16. Laemmli U.K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage / Nature.–1970.– V.227.– P.680–685.
17. Вечер А.С. Техника биохимического исследования субклеточных структур и биополимеров растительной клетки // Минск: Наука и техника. – 1986. – С. 197.

Представлена И.Р. Бариляком
Поступила 09.07.2008

РІЗНОРІВНЕВА БІОІНДИКАЦІЯ ОКРЕМИХ
ТЕРИТОРІЙ ПОСИЛЕНОГО
РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ
РЕСПУБЛІКИ БІЛОРУСЬ

О.В. Чижик, О.П. Булко, В.Н. Решетников

ДНУ “Центральний ботанічний сад НАН
Білорусі”
Білорусь, 220012, м. Мінськ, вул. Сурганова, 2В
e-mail: alisa67@hotmail.com

У статті досліджена можливість використання фізіолого-біохімічних змін у рослинних об'єктах, викликаних радіоекологічним впливом, для розробки системи біоіндикації територій з підвищеним радіоекологічним навантаженням.

Ключові слова: радіація, полідезоксирибонуклеотид, радіонукліди, гель, хлорофіл, ДНК.

DIFFERENT LEVEL BIOINDICATION OF
INDIVIDUAL TERRITORIES UNDER
INTENSIVE RADIO-ECOLOGICAL
MONITORING IN BELARUS

O.V. Chizhyk, O.P. Bulko, V.N. Reshetnikov

Central Botanical Garden of the NAS of
Belarus

Belarus, 220012, Minsk, Surganova str., 2B

e-mail: alisa67@hotmail.ru

The aim of this work is to study the possibility of physiology-biochemical changes in plants, caused by radio-ecological effect, for elaboration a system of bioindication of territories with heightened radio-ecological capacity.

Key words: Radiation, polydeoxyribonucleotide, radionuclide, gel, chlorophyll, DNA.