РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ. РАДИОЭКОЛОГИЯ, 2019, том 59, № 1, с. 68–74

РАДИОБИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 581.1:57.084.2:539.1.047

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗНОЙ МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННЫХ ДОЗ ПРИРОДНОЙ РАДИАЦИИ НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЯДА ВИДОВ РАСТЕНИЙ ЯКУТИИ

© 2019 г. Е. С. Хлебный[1,*], И. В. Слепцов[1], А. Н. Журавская[1]

[1]*Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения РАН, Якутск, Россия*

**E-mail: chicloon@gmail.com*

Поступила в редакцию 21.04.2017 г.

Исследовано влияние разных мощностей экспозиционных доз (МЭД) хронического облучения природной радиации (20–3000 мкР/ч) на физиологические и биохимические характеристики семенного потомства однолетних травянистых растений: мятлика узколистного (*Póa angustifólia*), иван-чая узколистного (*Chamérion angustifólium*) и лапчатки норвежской (*Potentílla norvégica*), длительное время произрастающих в условиях разных мощностей экспозиционных доз природной радиации, при одинаковых почвенных условиях. Показано, что по мере увеличения МЭД повышенного естественного радиационного фона (ПЕРФ) физиологические характеристики проростков исследованных растений повышаются в 1.2–3.3 раза при всех МЭД произрастания материнских растений. Установлено, что у семенного потомства наблюдалось увеличение суммы низкомолекулярных антиоксидантов (ΣНМАО), на фоне повышения уровня перекисного окисления липидов в зависимости от МЭД природной радиации. Прослеживается видоспецифическая ответная реакция по содержанию жирных кислот (ΣFA) в зависимости от величины МЭД в проростках семенного потомства, произрастающих в условиях ПЕРФ.

Ключевые слова: мощность экспозиционной дозы, повышенный естественный радиационный фон, растения, антиоксиданты, жирные кислоты

DOI: 10.1134/S0869803118060061

Известно, что проблема малых доз ионизирующих излучений была и остается наиболее сложной и актуальной, имеющей не только радиобиологическое, но и социально-экономическое значение. Понятие “малые дозы” не имеет единого определения. Поэтому Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) рекомендовал дозы в 200 мГр и ниже относить к малым дозам, а мощность дозы 0.1 мГр/мин и ниже – к малым мощностям доз, относительно человека [1]. В настоящее время имеются обширные данные о негативном и позитивном действии малых доз ионизирующей радиации на биоту [2]. С одной стороны – это стимулирующее действие на метаболические процессы растительных и животных организмов, за счет активации клеточных систем восстановления, приводящее к повышению радиоустойчивости к острому облучению (радиоадаптация). С другой – к значительному повышению радиочувствительности, за счет накопления в геноме организмов хромосомных перестроек, приводящих к образованию аберрантных клеток, отличающихся пониженной устойчивостью к вторичному воздействию γ-излучений в высоких дозах. В Южной Якутии находится Эльконский ураново-рудный район, расположенный в центральной части Алданского щита. Проведенная γ-сьемка показала, что мощность экспозиционной дозы (МЭД) горных пород по γ-компоненте варьирует от 20 до 3000 мкР/ч и более [3, 4].

Ранее установлено, что повышенный естественный радиационный фон (ПЕРФ) может выступать в качестве “мягкого, тренирующего” стресс-фактора по отношению к растительным и животным организмам, что выражается в изменении морфологических, физиологических и биохимических стандартов биоты [5–7]. Известно, что одним из механизмов адаптации к изменяющимся условиям обитания является активация антиоксидантных систем [8]. Ранее проведенные нами исследования позволили выявить ряд механизмов биохимических адаптаций ольховника кустарникового к разным МЭД ПЕРФ. Установлено, что при значениях МЭД от 50 до 500 мкР/ч

увеличение жизнеспособности проростков обеспечивается за счет повышения суммарной антиоксидантной защиты, сформированной как адаптация к ПЕРФ [9].

Изучение жирных кислот в растительных клетках в адаптационном процессе представляет большой интерес вследствие их значительной роли в функционировании клеточных мембран и в биоэнергетических реакциях. Известно, что непредельные жирные кислоты регулируют вязкость липидного слоя клеточной мембраны, способствуя адаптации растений к низкотемпературному стрессу, за счет активации (или ингибирования) синтеза фермента десатуразы, который участвует в процессе образования ЖК [10–12]. В исследованиях ряда авторов было показано, что при адаптации организмов к холодному климату Якутии происходит повышение содержания полиненасыщенных ЖК, что способствует увеличению их резистентности к низкотемпературному стрессу [13, 14]. Вместе с тем крайне мало исследований, посвященных влиянию радиации на содержание жирных кислот, их взаимосвязи с низкомолекулярными антиоксидантами и продуктом перекисного окисления липидов – малоновым диальдегидом.

Целью исследования было изучение влияния мощности разных экспозиционных доз облучения в условиях повышенного естественного радиационного фона на ряд физиологических и биохимических характеристик проростков семенного потомства травянистых растений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

На территории уранового месторождения в Южной Якутии были собраны семена однолетних травянистых растений: мятлика узколистного (*Póa angustifólia*), иван-чая узколистного (*Chamérion angustifólium*) и лапчатки норвежской (*Potentílla norvégica*), длительное время произрастающих в условиях разных мощностей экспозиционных доз природной радиации (40, 50, 80, 100, 150, 350, 400, 700, 2000 и 3000 мкР/ч). Определение мощности экспозиционной дозы повышенного естественного радиационного фона проводили радиометром-дозиметром МКС-14ЭЦ (Россия), имеющего детекторы на определение γ-β-компонентов ионизирующего излучения. Контролем служили семена, собранные у растений, выросших в условиях 20 мкР/ч. В этих же точках сбора были взяты образцы почвы. В почвенных пробах с применением стандартных методик определили pH водной вытяжки, содержание гумуса, ионов K^+ и P_2O_5, а также ^{238}U в грунте в расчете г/т [15, 16].

Проращивание семян и проростков проводили в условиях климатокамеры (“BINDER”, Германия) при $t = 24°C$, в чашках Петри, при длине светового дня – 18 ч. Критериями оценки физиологических признаков были: энергия прорастания семян на 7-й день (%), всхожесть семян – на 15-й день (%), появление настоящего листа у проростков – на 30-й день наблюдения (%). Антиоксидантный статус клеток проростков определяли по суммарному содержанию низкомолекулярных антиоксидантов (НМАО) и уровню перекисного окисления липидов (ПОЛ) [17, 18].

Определение ЖК в проростках проводили методом кислотного гидролиза на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором (ГХ-МС, Россия) [19]. Сумму ненасыщенных жирных кислот (ΣUSFA) вычисляли путем сложения всех идентифицированных ненасыщенных ЖК, сумму насыщенных жирных кислот (ΣSFA) суммированием всех насыщенных ЖК, сумму жирных кислот (ΣFA) – сложением ΣSFA и ΣUSFA.

Эксперименты выполняли в четырех биологических и аналитических повторностях. Результаты представлены в виде средней арифметической величины. Анализ и оценку достоверности результатов определяли согласно описанию [20]. При определении биохимических параметров статистический разброс вычисляли путем введения 5%-ной ошибки на метод, для физиологических параметров – 10%-ной ошибки на измерение.

Сравнение средних значений выборок проводили методом однократного дисперсионного анализа (ANOVA). Значимость отличий между средними значениями определяли, используя критерий Ньюмена–Кейлса для множественных сравнений при уровне $p \leq 0.05$. Рассчитывали с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus – программа статистического анализа, v. 2007.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 показаны агрохимические характеристики почвы в точках сбора семян растений, которые статистически значимо не отличались. Приведены также МЭД в точках сбора, которые напрямую зависят от содержания урана в почве ($r = 0.99$ при $p \leq 0.05$). То есть растения произрастали в одинаковых почвенных условиях, но при разных мощностях γ-фона.

Известно, что действие малых доз ионизирующего излучения способствует повышению энергии прорастания, всхожести семян, ускорению появления первых настоящих листьев, более раннему цветению и созреванию, повышению ветвления, увеличению урожайности [21, 22].

В табл. 2 показаны энергия прорастания и всхожесть семян, количество проростков с настоящими листьями, суммарное содержание НМАО, уровень ПОЛ в проростках, выросших из семян родительских форм, произраставших в условиях разных МЭД природного ПЕРФ.

Таблица 1. Мощность экспозиционной дозы, содержание ^{238}U в грунте и агрохимическая характеристика почвы в точках сбора семян растений

МЭД, мкР/ч	pH водной вытяжки	Гумус, %	Содержание в водной вытяжке		Содержание ^{238}U в грунте, г/т (ПДК – до 10)
			K^+	P_2O_5	
20	7.9 ± 0.8	6.7 ± 0.7	5.6 ± 0.6	0.2 ± 0.1	1.9 ± 0.2
50	7.7 ± 0.8	7.4 ± 0.7	5.9 ± 0.6	0.1 ± 0.1	27.0 ± 0.3*
100	7.0 ± 0.7	8.4 ± 0.8	6.6 ± 0.6	0.2 ± 0.1	40.0 ± 0.4*
150	7.3 ± 0.7	7.2 ± 0.7	7.2 ± 0.7	0.1 ± 0.1	–
250	7.1 ± 0.7	6.4 ± 0.6	3.8 ± 0.4	0.1 ± 0.1	128.0 ± 1.3*
700	7.4 ± 0.7	7.1 ± 0.7	6.2 ± 0.6	0.1 ± 0.1	696.0 ± 7.0*
2000	7.5 ± 0.7	6.4 ± 0.6	4.6 ± 0.5	0.2 ± 0.1	1800.0 ± 18.0*
3000	7.0 ± 0.7	6.8 ± 0.7	5.6 ± 0.6	0.1 ± 0.1	3066.0 ± 30.0*

* Различия статистически значимы по сравнению с контролем при $p \leq 0.05$.

Установлено, что энергия прорастания и всхожесть семян мятлика узколистного и лапчатки норвежской повысились в 1.2–3.3 раза при всех МЭД произрастания материнских растений относительно контроля. У иван-чая узколистного наблюдалось снижение этих показателей на 20% при МЭД 200 и 350 мкР/ч.

Наиболее информативен показатель – “образование настоящего листа” на 30-й день наблюдения, так как функционирование меристематической ткани является подтверждением дальнейшей жизнеспособности проростка и растения в целом. Следует отдельно выделить физиологические и биохимические характеристики проростков дочернего поколения мятлика узколистного, выросшего из семян материнских растений, произраставших в условиях МЭД ПЕРФ 3000 мкР/ч. При данных условиях произрастания, при равных микроклиматических и почвенных условиях сформировалось поколение семян, проростки которых имели исследованные нами показатели значительно ниже контрольных. Энергия прорастания и всхожесть семян были снижены на 75–50% соответственно. Количество проростков с настоящими листьями к концу срока наблюдения было на 30% меньше, чем в контроле, тогда как содержание НМАО и интенсивность ПОЛ повышены на 40 и 60% относительно контрольного значения.

При действии ионизирующего излучения на организм значительный вклад оказывают радиотоксины, которые образуются в результате радиолиза воды и окисления ненасыщенных жирных кислот [23]. Как следствие, наблюдается повышение в клетках облученных организмов содержания малонового диальдегида, являющегося продуктом перекисного окисления липидов.

Суммарное содержание НМАО в клетках проростков исследуемых растений также повысилось на 10–30% во всех точках отбора, а ПОЛ – на 10–60%. Интенсивность процессов ПОЛ (по содержанию МДА) в проростках мятлика узколистного, иван-чая узколистного и лапчатки норвежской, сформированных при МЭД произрастания родительских форм от 50 до 3000 мкР/ч, статистически достоверно увеличивалась, что может свидетельствовать о неспособности внутриклеточных систем элиминировать последствия оксидативного стресса [24].

Известно, что биологическая мембрана является очень чувствительной к окислению, в том числе и свободными радикалами, которые вызывают перекисное окисление липидов, что в свою очередь отражается на содержании жирных кислот в организме [17]. Выявлено, что при всех МЭД ПЕРФ сумма общих ЖК статистически значимо не отличалась от контрольного значения, за исключением МЭД 350 мкР/ч, где сумма общих ЖК была увеличена на 19% в клетках проростков иван-чая узколистного. При МЭД 350 мкР/ч сумма ненасыщенных жирных кислот также была повышена на 13%. Длительное произрастание материнских растений в условиях других вариантов МЭД статистически достоверного отличия у клеток проростков дочернего поколения от контроля не выявило. Сумма насыщенных ЖК повышалась на 18–31% при МЭД 200 и 350 мкР/ч, а в других вариантах исследованных мощностей доз статистически достоверного отличия не наблюдалось (рис. 1, А).

Таблица 2. Физиологические и биохимические характеристики проростков мятлика узколистного, иван-чая узколистного и лапчатки норвежской, выросших из семян растений, сформированных в условиях разных МЭД

Критерии оценки	Мощность экспозиционной дозы произрастания, мкР/ч											
	20	40	50	80	100	150	200	350	400	700	2000	3000
Мятлик узколистный												
Энергия прорастания семян, %	10.0 ± 1.0	18.0 ± 1.8*	11.5 ± 1.5	30.0 ± 3.0*	32.5 ± 3.2*	–	–	–	–	–	23.0 ± 2.3*	2.5 ± 0.2*
Всхожесть семян, %	12.0 ± 1.2	25.5 ± 2.5*	30.5 ± 3.0*	40.0 ± 4.0*	34.5 ± 3.4*	–	–	–	–	–	31.0 ± 3.0*	6.0 ± 0.6*
Настоящий лист, %	3.0 ± 0.3	11.5 ± 1.1*	12.0 ± 1.2*	33.0 ± 3.3*	25.0 ± 2.2*	–	–	–	–	–	29.5 ± 0.3*	2.0 ± 0.2*
НМАО, мкг-экв/$г_{пр}$	9.8 ± 0.01	9.4 ± 0.01	10.2 ± 0.02	10.5 ± 0.02*	10.8 ± 0.02*	–	–	–	–	–	10.8 ± 0.02*	14.0 ± 0.2*
ПОЛ, ммоль/$г_{сут}$	0.7 ± 0.01	0.7 ± 0.01	0.8 ± 0.01*	1.1 ± 0.01*	0.9 ± 0.01*	–	–	–	–	–	0.9 ± 0.1*	1.1 ± 0.1*
Иван-чай узколистный												
Энергия прорастания семян, %	40.0 ± 4.0	–	–	48.5 ± 4.8	–	–	32.0 ± 3.2*	32.7 ± 3.3*	–	43.5 ± 4.4	–	–
Всхожесть семян, %	54.5 ± 5.4	–	–	62.5 ± 6.2	–	–	65.8 ± 6.5	74.0 ± 7.4	–	66.8 ± 6.7	–	–
Настоящий лист, %	9.0 ± 0.9	–	–	62.0 ± 6.0*	–	–	65.0 ± 6.5*	56.3 ± 5.6*	–	42.3 ± 4.2*		–
НМАО, мкг-экв/$г_{пр}$	9.0 ± 0.01	–	–	8.8 ± 0.01	–	–	9.6 ± 0.01*	9.8 ± 0.01*	–	10.5 ± 0.02*	–	–
ПОЛ, ммоль/$г_{сут}$	0.8 ± 0.01	–	–	1.0 ± 0.01*	–	–	0.9 ± 0.01*	0.9 ± 0.01*	–	1.3 ± 0.01*	–	–
Лапчатка норвежская												
Энергия прорастания семян, %	57.7 ± 5.8	–	–	72.0 ± 7.2*	–	77.8 ± 7.8*	–	–	72.2 ± 7.2*	80.0 ± 8.0*	–	–
Всхожесть семян, %	64.5 ± 6.5	–	–	89.5 ± 8.9*	–	82.0 ± 8.2*	–	–	77.0 ± 7.7	86.5 ± 8.5*	–	–
Настоящий лист, %	56.0 ± 5.6	–	–	82.0 ± 8.2*	–	88.0 ± 8.8*	–	–	69.0 ± 6.9*	81.3 ± 8.1*	–	–
НМАО, мкг-экв/$г_{пр}$	7.1 ± 0.02	–	–	8.0 ± 0.01*	–	8.0 ± 0.01*	–	–	8.4 ± 0.01*	9.0 ± 0.01*	–	–
ПОЛ, ммоль/$г_{сут}$	0.7 ± 0.01	–	–	0.8 ± 0.01*	–	0.8 ± 0.01*	–	–	0.9 ± 0.01*	1.0 ± 0.01*	–	–

* Различия статистически значимы по сравнению с контролем при $p \leq 0.05$.

Произрастание материнских растений лапчатки норвежской в условиях разных МЭД ПЕРФ привело к снижению на 23–36% суммы общих ЖК, ΣUSFA – на 19–42%, ΣSFA – на 16–36% у проростков дочернего поколения во всем диапазоне мощностей исследованных доз относительно контроля (рис. 1, Б).

Показано, что сумма общих ЖК у проростков мятлика узколистного изменялась немонотонно (рис. 1, В): при МЭД 40 и 50 мкР/ч – уменьшалась на 10–16%, при МЭД 100 и 2000 мкР/ч – увеличивалась на 11–28%, а при МЭД 80 и 3000 мкР/ч – не отличалась от контрольного значения. Содержание ΣSFA при МЭД, близких к контрольному значению (40 и 50 мкР/ч), и при МЭД 3000 мкР/ч уменьшалось на 10–24%. В диапазоне МЭД от 80 до 2000 мкР/ч содержание статистически значимо не отличалось от контроля, но наблюдалось увеличение на 23–44% суммы ненасыщенных ЖК в диапазоне МЭД от 80 до 2000 мкР/ч, а при остальных мощностях экспозиционных доз не отличалась от контрольного значения.

Ингибирование процессов синтеза ЖК может быть вызвано повышением количества свободных радикалов, которые в свою очередь инициируют окисление жирных кислот, что, скорее всего, свидетельствует о неэффективной работе антиоксидантной защиты проростков. Рост содержания доли ненасыщенных ЖК в проростках на фоне повышения перекисного окисления липидов может быть связан с адаптацией растений к действию МЭД ПЕРФ и более активным синтезом ненасыщенных ЖК вследствие увеличения активности ферментов десатураз.

Сравнение изменения суммарного содержания НМАО, активности ПОЛ и ΣFA в проростках в зависимости от МЭД произрастания материнских растений позволило выявить статистически достоверную отрицательную корреляцию между ΣFA и активностью ПОЛ у проростков иван-чая узколистного и лапчатки норвежской ($r = -0.43$ и $-0{,}83$ при $p \leq 0.05$ соответственно; рис. 2). Это может свидетельствовать об истощении пула ЖК при повышении уровня ПОЛ, которое создается за счет увеличения МЭД ПЕРФ. Эффект особенно заметен у иван-чая узколистного (рис. 2, А), где при МЭД 350 мкР/ч (lg 2.5) происходит снижение активности ПОЛ на фоне повышения ΣFA, а при МЭД 700 мкР/ч (lg 2.8) наблюдается обратный процесс. При этом увеличение суммарного содержания НМАО никак не повлияло на ΣFA. При хроническом действии различных МЭД ПЕРФ на материнские растения лапчатки норвежской (рис. 2, Б) у проростков семенного потомства отмечена не только отрицательная корреляция между ΣFA и активностью ПОЛ, но и между ΣFA и содержанием НМАО ($r = -0{,}92$ при $p \leq 0.05$). Это свидетельствует о недостаточной эффективности НМАО в отношении снижения уровня ПОЛ и, как следствие, еще большего истощения пула ЖК в клетках проростков дочернего поколения. При действии различных МЭД ПЕРФ на мятлик узколистный наблюдается схожая закономерность. Различие заключается в том, что этот вид растения произрастает в условиях более высоких МЭД, необходимых для проявления эффекта снижения ΣFA и повышения активности ПОЛ, что может указывать на высокую радиоустойчивость данного вида.

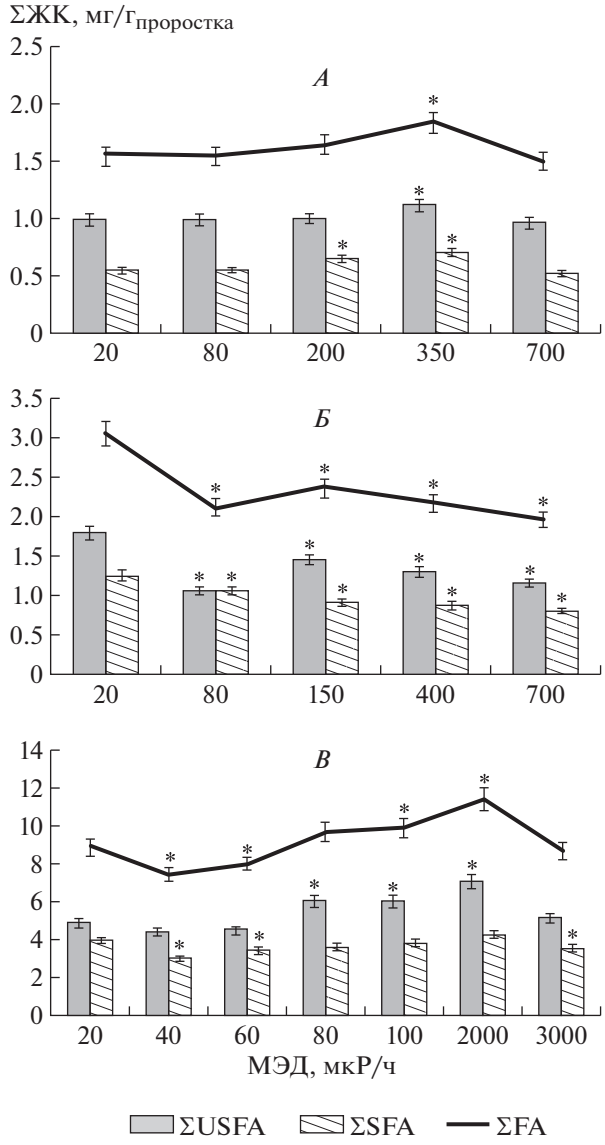

Рис. 1. Изменение концентрации жирных кислот в проростках исследованных видов растений (А – иван-чай узколистный; Б – лапчатка норвежская; В – мятлик узколистный) в зависимости от мощности экспозиционной дозы.

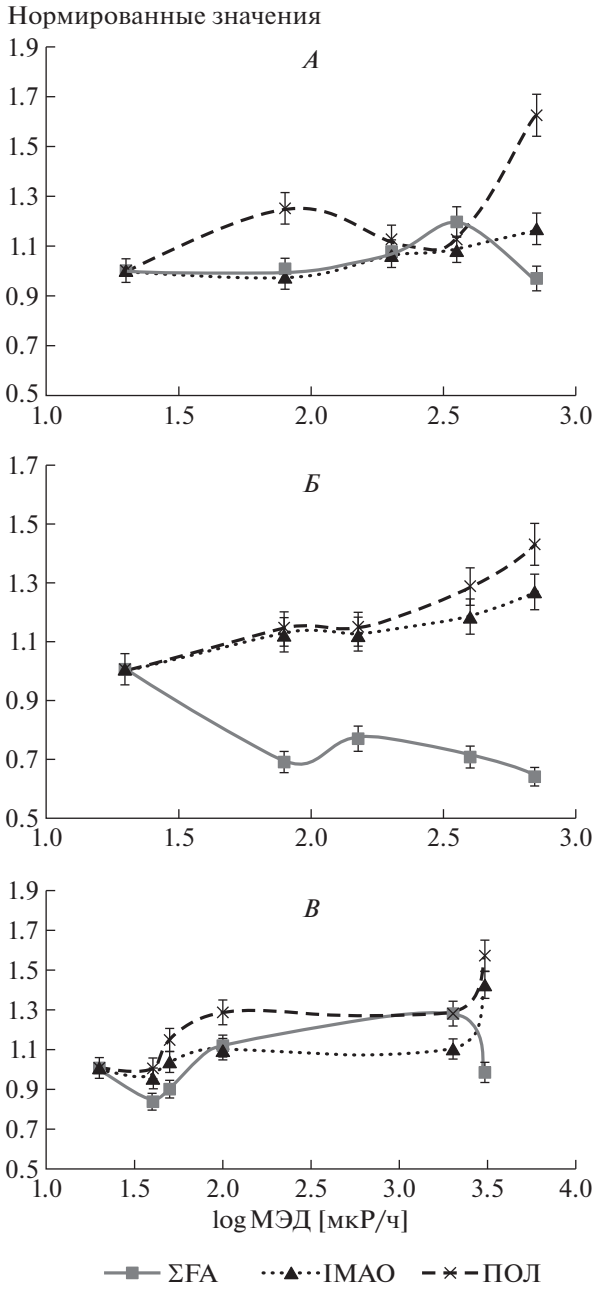

Рис. 2. Изменение биохимических показателей проростков исследованных видов растений (А – иван-чай узколистный; Б – лапчатка норвежская; В – мятлик узколистный) в зависимости от мощности экспозиционной дозы.

ВЫВОДЫ

Установлено, что МЭД ПЕРФ по γ-компоненте зависит от содержания урана в почве. Показано, что изученные материнские растения произрастали в одинаковых почвенно-климатических условиях и физиологические и биохимические характеристики их семенного потомства зависели, в первую очередь, от мощности экспозиционной дозы природной радиации.

Малые дозы радиации оказали стимулирующее воздействие на энергию прорастания, всхожесть семян и образование настоящего листа у проростков дочернего поколения во всем диапазоне МЭД. Следует отметить, что МЭД более 2000 мкР/ч для мятлика узколистного была лимитирующей. То есть при равных микроклиматических и почвенных условиях сформировалось поколение семян, проростки которых имели исследованные нами показатели ниже контрольных.

Интенсивность процессов ПОЛ (по содержанию МДА) в проростках мятлика узколистного, иван-чая узколистного и лапчатки норвежской, сформированных при МЭД произрастания родительских форм от 40 до 3000 мкР/ч, увеличивалась, что может свидетельствовать о нестабильной работе внутриклеточных систем антиоксидантной защиты.

Установлено, что проростки семенного потомства мятлика узколистного, иван-чая узколистного и лапчатки норвежской, родительских форм, длительное время произрастающих в условиях действия МЭД ПЕРФ, проявляют видоспецифичную ответную реакцию по содержанию ЖК, что может быть обусловлено различной стратегией адаптации исследуемых растений к радиации.

Выявлена статистически достоверная отрицательная корреляция между ΣFA и активностью ПОЛ у проростков семян иван-чая узколистного и лапчатки норвежской ($r = -0.43$ и -0.83 при $p \leq 0.05$), что указывает на истощение пула ЖК при повышении уровня ПОЛ, которое создается за счет увеличения МЭД ПЕРФ.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках НИР VI.56.1.5. “Физиолого-биохимические механизмы формирования адаптивного потенциала, устойчивости и продуктивности растительных компонентов экосистем Южной и Центральной Якутии” (№ госрегистрации 01201282194).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН). Ионизирующие излучения: источники и биологические эффекты: Доклад 1982 г. в Генеральной Ассамблее. Т. 1. Нью-Йорк: ООН, 1982. 882 с.
2. *Бурлакова Е.Б., Конрадов А.А., Мальцева Е.Л.* Действие сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов // Хим. физика. 2003. Т. 22. № 2. С. 21–40.
3. *Наумов С.С., Шумилин М.В.* Урановые месторождения Алдана // Отечественная геология. 1994. № 11/12. С. 20–23.
4. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99): 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная без-

опасность СП 2.6.1.799-99. М.: Минздрав России, 2000. 98 с.
5. *Кузин А.М.* Проблема малых доз и идеи гормезиса в радиобиологии // Радиобиология. 1991. Т. 31. Вып. 1. С. 16–21.
6. *Лучник Н.В.* Биофизика цитогенетических поражений и генетический код. Л.: Медицина, 1968. 295 с.
7. *Позолотин А.А., Альшиц Л.К.* К вопросу о влиянии предварительного гамма-облучения на последующую радиочувствительность семян гороха // Радиобиология. 1974. № 14. Вып. 1. С. 154–156.
8. *Журавская А.Н., Филиппов Э.В., Кершенгольц Б.М.* Влияние биохимических адаптаций ольхи кустарниковой (*Duschecia fruticosa* (Rupr) к повышенному естественному радиационному фону на выживаемость проростков и радиочувствительность ее семян // Радиац. биология. Радиоэкология. 2000. Т. 40. № 3. С. 254–260.
9. *Журавская А.Н., Артамонова С.Ю.* Повышенный естественный радиационный фон и растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 153 с.
10. *Ударева Л.В., Коненкина Т.А., Шмаков В.Н., Макаренко С.П.* Жирнокислотный состав липидов каллусов двух видов лиственницы (*Larix gmelinii* и *Larix sibirica*) // Химия растит. сырья. 2014. №. 2. С. 121–127.
11. *Новицкая Г.В., Суворова Т.А., Трунова Т.И.* Липидный состав листьев в связи с холодостойкостью растений томатов // Физиол. растений. 2000. Т. 47. № 6. С. 829–835.
12. *Los D.A., Murata N.* Structure and expression of fatty acid desaturases // Biochem. Biophys. Acta. 1998. V. 1394. P. 3–15.
13. *Нохсоров В.В., Дударева Л.В., Чепалов В.А. и др.* Свободные жирные кислоты и адаптация организмов к холодному климату Якутии // Вестн. Бурятской гос. сельскохоз. акад. им. В.Р. Филиппова. 2015. Т. 38. № 1. С. 127–134.
14. *Петров К.А., Перк А.А., Чепалов В.А., Охлопкова Ж.М.* Особенности жирнокислотного состава некоторых растений Якутии в период формирования криорезистентности // Вестн. Северо-Восточного фед. ун-та им. М.К. Аммосова. 2011. Т. 8. № 2. С. 26–29.
15. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1962. 488 с.
16. *Бобров В.А., Гофман А.М.* Лабораторный гамма-спектрометрический анализ естественных радиоактивных элементов (методические разработки). Новосибирск: Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР, 1971. 67 с.
17. *Владимиров Ю.А., Арчаков А.И.* Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.
18. *Ермаков А.И., Арасимович В.В., Н. П. Ярош Н.П. и др.* Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
19. *Слепцов И.В., Хлебный Е.С., Журавская А.Н.* Динамика изменения жирнокислотного состава щирицы запрокинутой, ярутки полевой и лофанта тибетского // Наука и образование. 2015. № 4 (80). С. 100–105.
20. *Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. шк., 1980. 293 с.
21. *Журавская А.Н.* Адаптация к экстремальным условиям среды и радиочувствительность растений (радиоэкологические исследования) // Радиац. биология. Радиоэкология. 2012. Т. 52. №. 4. С. 381–387.
22. *Кузин А.М.* Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы: К проблеме биологического действия малых доз. М.: Атомиздат, 1977. 315 с.
23. *Филиппов Э.В., Журавская А.Н., Прокопьев И.А. и др.* Влияние радионуклидов урана и тория в системе “грунт–растение” на биохимические характеристики ольховника кустарникового (*Duschekia fruticosa*) // Радиац. биология. Радиоэкология. 2016. Т. 56. № 5. С. 535–541.
24. *Гродзинский Д.М.* Радиобиология растений. Киев: Наук. думка, 1989. 380 с.

Influence of Exposure to Different Capacities of Natural Radiation on Physiological and Biochemical Characteristics of Different Plant Species

E. S. Khlebnyy[a,#], I. V. Sleptsov[a], and A. N. Zhuravskaya[a]

[a] *Institute for Biological Problems of Permafrost Zone the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia*

[#] *E-mail: chicloon@gmail.com*

Influence of different capacities of radiation exposure (CRE), of a chronic exposure to natural radiation (20–3000 μR/h) on physiological and biochemical characteristics of seed posterity of annual grassy plants (Póa angustifólia, Chamérion angustifólium and Potentílla norvégica) growing in the conditions of different CRE and under the identical soil conditions was investigated during progressive time. It is shown that as CRE of raised natural background radiation (RNBR) increases, the physiological characteristics of the studied plant sprouts raise by 1.2–3.3 times at all CRE. It is established that the seed posterity depends on the species and shows a non-monotone increase in the activity of lipid peroxide oxidation and decrease of the total content of fatty acids (FA) depending on CRE of RNBR. A non-linear dependence of the total content of FA depending on the CRE size is traced. Significant changes in the ratio of the sum of unsaturated and saturated fatty acids are not statistically revealed. It is established that the action of various CRE of RNBR on parental organisms and on their seed posterity leads to the changes only of the common concentration of FA, without influencing their ratio.

Keywords: capacities of radiation exposure, the raised natural background radiation, plants, antioxidants, fatty acids