

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Физико-химическая биология

УДК 57.086.132:581.132

Влияние гамма-облучения и лиофилизата щирицы запрокинутой на фотосинтез проростков пшеницы

А.Н. Журавская, И.В. Воронов, Е.Р. Поскачина, И.В. Слепцов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

В целях оценки радиомодифицирующего действия биоактивных веществ из тканей щирицы запрокинутой изучено влияние предпосевого замачивания зерновок трёх сортов пшеницы, предварительно подвергнутых радиационному облучению γ -квантами ^{60}Co в диапазоне доз от 10 до 600 Гр, в 1, 2 и 4 %-х водных растворах лиофилизата, полученного из водно-спиртового экстракта *Amaranthus retroflexus* L., на фотосинтетический комплекс их 7-дневных проростков. Водно-спиртовой экстракт щирицы запрокинутой был получен последовательной экстракцией всей надземной фитомассы вначале 40 %-м водно-спиртовым раствором, а затем 70 %-м для извлечения максимального количества биоактивных веществ. Установлено, что такая предпосевная обработка семян имеет сортоспецифичную направленность и не оказывает выраженного негативного воздействия на фотосинтетические характеристики проростков. Выявлено, что 2 %-й водный раствор лиофилизата увеличил количество изученных пигментов в проростках и изменил уровень светособирающего комплекса в фотосистемах. Радиопротекторное действие лиофилизата из щирицы запрокинутой проявилось при сочетании острого γ -облучения дозой 10 Гр и предпосевого замачивания зерновок в 2 %-м лиофилизате. Усиление воздействия радиационного стресса отмечено при γ -облучении дозой 10 Гр и предпосевном замачивании зерновок в 1 %-м лиофилизате.

Ключевые слова: пшеница, фотосинтез, светособирающий комплекс, лиофилизат *Amaranthus retroflexus* L., радиационное облучение.

*In order to assess a radiomodifying action of bioactive substances from the tissues of A. retroflexus on the photosynthetic complex of 7-day-old wheat seedlings we studied the effect of pre-sowing soaking of grains of three varieties of wheat, previously exposed to γ -rays ^{60}Co in doses ranging from 10 to 600 Gy, in 1, 2, and 4% aqueous solution of freeze-dried product obtained from hydroalcoholic extract *Amaranthus retroflexus* L. The aqueous alcoholic extract of *Amaranthus retroflexus* L. was obtained by sequential extraction of all aboveground phytomass first with 40% aqueous alcohol solution, and then with 70% aqueous-alcoholic solution to extract the maximum amount of bioactive substances. It was found that the effect of variety has specific focus and has expressed no negative impact on the photosynthetic characteristics of the seedlings. It is revealed that 2% aqueous solution of the lyophilizate increased the number of pigments studied in seedlings and changed the level of light-harvesting complex in the photosystems. Radioprotective effect of the freeze-dried hydroalcoholic extract *Amaranthus retroflexus* L., manifested at combination of acute γ -irradiation of the dose of 10 Gy and pre-soaking the grains in 2% lyophilizate. Strengthening of influence of a radiation stress was observed at γ -irradiation dose of 10 Gy and pre-soaking the grains in 1% lyophilizate.*

Key words: wheat, photosynthesis, light-harvesting complex, freeze-dried *Amaranthus retroflexus* L., radiation exposure.

ЖУРАВСКАЯ Алла Николаевна – д.б.н., проф., г.н.с., jan43@mail.ru; ВОРОНОВ Иван Васильевич – к.б.н., с.н.с., viv_2002@mail.ru; ПОСКАЧИНА Елена Рудольфовна – к.б.н., н.с., poskachinalena@yandex.ru; СЛЕПЦОВ Игорь Витальевич – аспирант, negrohasg@mail.ru.

Введение

В настоящее время исследования, направленные на защиту биологических объектов от повреждающего действия ионизирующей радиации, являются актуальными. В последние десятилетия выявлена возможность повышения устойчивости живых организмов к высоким дозам радиации и изменению радиоадаптивного ответа (РАО) живых организмов с применением радиомодификаторов растительного происхождения [1].

Известно, что действие ионизирующего излучения проявляется на всех уровнях внутриклеточного биосинтеза направленного на РАО организма, например, таких как синтез и изменение активности ферментов антиоксидантной защиты, синтез растительных пигментов и др. [2]. Есть данные, что первичным проявлением токсического действия радиации при развитии проростков в процессе активного хлорофиллообразования является ингибирование синтеза пигментов [3]. Поэтому уже на начальной стадии развития растений можно оценить действие радиомодификаторов и выявить их эффективные концентрации.

Интересным объектом исследований в качестве возможного радиомодификатора является щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.), широко распространенное дикорастущее растение, имеющее большой потенциал для использования в разных областях медицинского, пищевого, кормового и сельскохозяйственного направлений [4]. Щирица богата белками, углеводами, имеет высокую семенную продуктивность. В биомассе щирицы содержится вещество амарантин ($C_{29}H_{31}O_{19}$), относящееся к алкалоидам – беталаинам, которые являются природными водорастворимыми антиоксидантами. Растение содержит флавоноиды: рутин, кверцетин и др. В листьях *A. retroflexus* отмечено высокое содержание биогенного хорошо усвояемого кальция (до 5,3% в пересчете на сухую массу). Семена *A. retroflexus* L. в большом количестве содержат сквален, обладающий выраженным противоопухолевым и ранозаживляющим действием [5]. Использование экстрактов из вегетативных частей *A. retroflexus* L., содержащих физиологически активные вещества (ФАВ) антиоксидантного действия, могут модифицировать лучевую реакцию при действии острого γ -облучения на животный и растительный организмы [6].

Цель нашего исследования – выявить влияние разных концентраций лиофилизата щирицы запрокинутой (*Amaranthus retroflexus* L.) на фотосинтез проростков пшеницы сортов «Якутянка-224», «Туймаада» и «Приленская-19», выросших из γ -облученных зерновок.

Материалы и методы

В работе были использованы 7-дневные проростки зерновок пшеницы сортов «Якутянка-224», «Туймаада» и «Приленская-19», районированные к условиям криолитозоны (Центральная Якутия). Сорта имеют короткий вегетационный период (70–85 дней), засухоустойчивы, устойчивы к осыпанию, полеганию, болезням, с хорошим качеством зерна [7]. Воздушно-сухие зерновки были облучены γ -квантами ^{60}Co с мощностью экспозиционной дозы облучения 7 рад/с на установке типа «Исследователь», дозами γ -облучения: 10, 100, 200 и 600 Гр. Контролем служили не облученные и не прошедшие предпосевную обработку лиофилизатом зерновки (замоченные в дистиллированной воде).

Семена щирицы запрокинутой высевали в открытый грунт в конце мая на территории Ботанического сада ИБПК СО РАН. Сбор вегетативных частей щирицы проводили в фазе начала плодоношения (конец августа). Физиологически активные вещества последовательно экстрагировали из всей высушенной вегетативной массы щирицы 40 %-м и 70 %-м водно-спиртовыми растворами в соотношении 1:10. Растворы лиофилизировали, полученные лиофилизаты смешивали в соотношении 1:1 по массе. Зерновки пшеницы замачивали в течение 24 ч в водных растворах смеси лиофилизата, с массовой долей комплекса исследуемых веществ 1, 2 и 4%. Проращивание проводили в чашках Петри на ватно-марлевой подкладке при комнатной температуре, в 4-х повторностях по 25 зерновок в каждой. Общее содержание амарантина в лиофилизате определяли спектрофотометрически [8]. Определение концентрации хлорофилла и каротиноидов в проростках проводили на спектрофотометре Shimadzu UV 2600 (Япония) [9]. Оптическую плотность спиртового экстракта из сухих проростков пшеницы измеряли при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения хлорофиллов *a* и *b* в красной области спектра, и при длине волны абсорбционного максимума каротиноидов. Концентрацию пигментов рассчитывали по формулам [10]. Долю хлорофиллов светособирающего комплекса (ССК) рассчитывали по формуле: $[(1,2 \text{ хл.} b + \text{хл.} b) / \Sigma(\text{хл.} a + \text{хл.} b) \cdot 100\%]$ [11].

Все измерения выполнены в четырех биологических и аналитических повторностях. Результаты экспериментов представлены среднearифметическими значениями. При определении биохимических и физиологических параметров статистическая достоверность и разброс определяли путем закладки 1 %-й и 5 %-й ошибки на метод, соответственно [12].

Результаты и обсуждение

Растения в ходе своего существования подвергаются воздействию различных внешних факторов, нередко оказывающих неблагоприятное влияние. Эти факторы вызывают сдвиги в нормальных физиологических процессах и в то же время активируют системы адаптации к изменившимся условиям существования. Значительное влияние на жизнедеятельность растений оказывают такие внешние факторы, как повышенная температура и ионизирующее облучение [13]. Влияние ионизирующего излучения на живые организмы, в том числе на растения, сводится к цепочке обратимых и необратимых изменений. Важную роль в формировании биологических эффектов играют радиационно-химические изменения, обусловленные продуктами радиолиза воды. Свободные радикалы водорода и гидроксильной группы, которые обладают высокой активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка, ферментов, что неизбежно приводит к нарушению биохимических процессов в организме, возникают новые химические соединения, не свойственные организму, что вызывает нарушение деятельности отдельных функций и систем организма. При интенсивном воздействии физических факторов (например, острое γ -облучение) многократно усиливается образование активных форм кислорода, которые могут привести к срыву механизмов антирадикальной защиты, развивается окислительный стресс [14]. Химические реакции, индуцируемые свободными радикалами, развиваются с большим выходом, вовлекая в процесс сотни и тысячи молекул, не задетых излучением. В этом состоит основная специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты. Формирование стресс-реакций у растений отражается и на интенсивности фотосинтеза путем изменения синтеза пигментов и каротиноидов в проростках растительного организма. Известно, что хлорофиллы являются одним из перспективных радиомодуляторов защитного действия, изучены функции и участие фотосинтетических пигментов, каротиноидов и антоцианов в защитно-приспособительных реакциях при стрессовых воздействиях [15,16].

Показано, что хлорофилл имеет две функции – поглощение и трансформацию энергии. При этом основная часть молекул хлорофилла – более 90 %

всего хлорофилла хлоропластов входит в состав ССК. Светособирающий комплекс выполняет роль антенны, которая эффективно поглощает свет и переносит энергию возбуждения к реакционному центру. Кроме большого числа (до нескольких сотен) молекул хлорофилла ССК содержит каротиноиды, которые увеличивают эффективность усвоения света за счет того, что они поглощают свет в тех областях спектра, в которых молекулы хлорофилла поглощают свет сравнительно слабо [17].

Пигментная система растений представлена двумя типами пигментов: зелеными – хлорофиллами *a* и *b* и желтыми – каротиноидами. Основным функциональным пигментом – хлорофилл *a*. Он служит непосредственным донором энергии для фотосинтетических реакций, остальные пигменты лишь передают поглощенную ими энергию хлорофиллу *a*. У большинства высших растений содержание хлорофилла *a* в 2–3,5 раза выше, чем содержание хлорофилла *b* [18]. Существует мнение, что превышение у растений содержания хлорофилла *b* относительно хлорофилла *a* в листьях свидетельствует о неких адаптивных перестройках организма к испытываемым стрессам. Ранее было показано, что наибольший радиостимулирующий эффект у проростков (по критериям энергии прорастания и всхожести зерновок) проявляется при замачивании зерновок пшеницы в 2 %-м лиофилизате, полученным из водно-спиртового экстракта вегетативных частей щирьцы запрокинутой [6].

Известно, что многие алкалоиды представляют собой физиологически активные соединения. Амарантин – красно-фиолетовый алкалоид бетацианин, относится к бетацианиновым пигментам и является азотсодержащим гетероциклическим соединением, накапливающимся в различных органах растений. В ряде работ показано, что амарантин обладает антиоксидантными свойствами, что позволяет рассматривать его возможное использование как радиопротектора при остром γ -облучении [19]. Нами был исследован лиофилизат, полученный по авторской, описанной выше, технологической схеме. Установлено, что амарантина в лиофилизате содержится 1,3 мг/г_{лиоф} (табл.1). Следует отметить, что большинство флавоноидов, рутин и кверцетин – мало- или нерастворимы в воде. Поэтому их влияние на

Таблица 1

Содержание некоторых биологически активных веществ в лиофилизате щирьцы запрокинутой

Смесь лиофилизатов	Амарантин, мг/г _{лиоф}	Сумма НМАО, мкг-ЭКВ _{кверц} /г _{лиоф}	Флавоноиды, мг/г _{лиоф}			Хлорофиллы, мг/г _{лиоф}		
			сумма флавоноидов	рутин	кверцетин	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>
	1,3±0,01	0,4±0,01	3,5±0,01	0,7±0,01	0,06±0,01	0,5±0,01	0,2±0,01	0,7±0,01

$p < 0,01$

модификацию лучевой реакции незначительно, тогда как амарантин имеет высокую растворимость в воде.

Содержание хлорофиллов *a*, *b*, *a+b*, каротиноидов и значение ССК в проростках пшеницы исследованных сортов в зависимости от концентрации лиофилизата представлено в табл.2. У сорта «Якутянка-224» наблюдалось увеличение в 1,1–2,5 раза содержания хлорофиллов *a*, хлорофилла *b* – в 2,5 раза, их суммы – в 2,1–2,5 раза, каротиноидов – в 1,2–2,4 раза, уровень ССК в фотосистемах статистически достоверно не изменялся при повышении концентрации лиофилизата. Исключением был 2 %-й раствор, где выявлено увеличение доли ССК на 26,5 % относительно контроля. Замачивание зерновок пшеницы сорта «Туймаада» в лиофилизате статистически достоверно снизило в проростках содержание всех изученных пигментов и уровень ССК в фотосистемах, кроме вариантов с замачиванием в 2 %-м и 4 %-м лиофилизате, где зафиксировано увеличение содержания каротиноидов на 21,1 % и хлорофилла *a* на 11,2 %. В проростках пшеницы сорта «Приленская-19» замачивание зерновок в 2 %-й концентрации лиофилизата наблюдалось увеличение на 18 %

содержания хлорофиллов *a*, хлорофилла *b* – на 80 %, их суммы – на 36,6 %. Уровень ССК поднялся на 31,9 % на фоне снижения на 64,1 % количества каротиноидов относительно контроля (табл.2).

Таким образом, предпосевное замачивание зерновок пшеницы различными концентрациями лиофилизата *A. retroflexus* на проростки исследованных сортов пшеницы было неодинаковым, имело сортоспецифичную направленность и не оказывало выраженного негативного воздействия на физиологические характеристики. Наибольшее воздействие при замачивании зерновок оказывал 2%-й водный раствор лиофилизата, действие которого приводило к увеличению количества изученных пигментов в проростках и к изменению уровня ССК в фотосистемах.

В табл.3 показаны содержание хлорофиллов *a*, *b*, *a+b*, каротиноидов и уровень ССК в проростках пшеницы исследованных сортов в зависимости от дозы γ -облучения зерновок. Контролем служили необлученные зерновки (табл.2). Установлено, что содержание хлорофилла *a* у проростков, выросших из зерновок, получивших дозу острого γ -облучения 10 Гр, было увеличено в 2 раза (сорт «Якутянка-224»), в 1,6 раза (сорт «Приленская-19») и на 10 % (сорт «Туймаада»). Содержание хлорофилла *b* также превышало контрольные значения: у сорта «Якутянка-224» – в 3,3 раза, у сорта «Приленская-19» – 2,1 раза, а у сорта «Туймаада» – на 10 %.

Содержание каротиноидов у трех сортов пшеницы незначительно повысилось у проростков, выросших из зерновок, получивших дозу 10 Гр. В проростках, выросших из зерновок, облученных дозами 100, 200 и 600 Гр, наблюдалось резкое снижение всех показателей фотосинтеза. Уровень ССК у сортов «Приленская-19» «Якутянка-224» и «Туймаада» был зафиксирован на 4, 20 и 40 % выше контрольного значения, соответственно.

Таким образом, установлено, что острое предпосевное γ -облучение зерновок пшеницы дозой 10 Гр приводит к увеличению содержания хлорофиллов *a* и *b*. Изменяется их соотношение в сторону увеличения хлорофилла *b*, наблюдается разбалансировка соотношения *a/b*, за счет чего увеличивается уровень ССК, выполняющего роль антенны, которая эффективно поглощает свет и переносит энергию возбуждения к реакционному центру. Как было сказано выше, это может свидетельствовать о неких адаптивных перестройках организма растений к испытываемым стресс – в данном случае к γ -облучению.

Т а б л и ц а 2

Содержание хлорофиллов *a*, *b*, *a+b*, каротиноидов и уровень ССК в проростках пшеницы исследованных сортов в зависимости от концентрации лиофилизата

Концентрация лиофи- лизата, %	Содержание, мкг/г _{сух.тк}				ССК, %
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	Кароти- ноиды	
«Якутянка-224»					
0	162,0±8,1	54,0±2,7	216,0±10,8	66,0±3,3	55,0±2,8
1	171,0±8,6	53,0±2,7	224,0±11,2	69,0±3,5	52,1±2,6
2	305,0±15,3	141,0±7,1	446,0±22,3	80,0±4,0	69,6±3,3
4	397,0±19,9	136,0±6,8	533,0±26,7	156,0±7,8	56,1±2,8
«Гуймаада»					
0	293,0±14,7	121,0±6,1	414,0±20,7	89,0±4,5	64,3±3,2
1	109,0±5,5	43,0±2,2	152,0±7,6	53,0±2,7	62,2±3,1
2	276,0±13,8	96,0±4,8	372,0±18,6	108,0±5,4	56,8±2,8
4	327,0±16,4	24,0±1,2	351,0±17,6	67,0±3,4	15,0±0,8
«Приленская-19»					
0	206,0±10,3	86,0±4,3	292,0±14,6	67,0±3,4	64,8±3,2
1	206,0±10,3	94,0±4,7	300,0±15,0	49,0±2,7	68,9±3,5
2	244,0±12,2	155,0±7,8	399,0±20,0	43,0±2,2	85,5±4,3
4	213,0±10,7	73,0±3,7	286,0±14,3	81,0±4,1	56,2±2,8

$p < 0,05$

Таблица 3

Содержание хлорофиллов *a*, *b*, *a+b*, каротиноидов и уровень ССК в проростках пшеницы исследованных сортов в зависимости от дозы γ -облучения зерновок

Доза γ - облуче- ния, Гр	Содержание, мкг/г _{сух.тк.}				ССК, %
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	кароти- ноиды	
«Якутянка-224»					
0	162,0±8,1	54,0±2,7	216,0±10,8	66,0±3,3	55,0±2,8
10	327,0±16,4	178,0±8,9	505,0±25,3	75,0±3,8	77,5±3,9
200	15,0±0,8	6,0±0,3	21,0±1,1	9,0±0,5	62,9±3,1
600	16,0±0,8	7,0±0,4	23,0±1,2	9,0±0,5	66,9±3,4
«Гуймаада»					
0	293,0±14,7	121,0±6,1	414,0±20,7	89,0±4,5	64,3±3,2
10	321,0±16,1	142,0±7,1	463,0±23,2	81,0±4,1	67,5±3,4
100	26,0±1,3	9,0±0,5	35,0±1,8	14,0±0,7	56,6±2,8
600	24,0±1,2	9,0±0,5	33,0±1,7	12,0±0,6	60,0±3,0
«Приленская-19»					
0	206,0±10,3	86,0±4,3	292,0±14,6	67,0±3,4	64,8±3,2
10	328,0±16,4	184,0±9,2	512,0±25,6	77,0±3,9	79,1±3,9
200	12,0±0,6	6,0±0,3	18,0±0,9	8,0±0,4	73,3±3,7
600	15,0±0,8	7,0±0,4	22,0±1,1	9,0±0,5	70,0±3,5

$p < 0,05$

Следующей частью исследования было выявление совместного действия лиофилизата и острого предпосевного γ -облучения зерновок пшеницы на фотосинтетические характеристики проростков. На рис.1–3 представлены изменения уровня ССК в зависимости от концентрации лиофилизата и дозы предпосевного γ -облучения зерновок трех сортов пшеницы.

Выявлено, что лиофилизированный экстракт из *A. retroflexus* L. способствует немономонному увеличению уровня ССК в проростках пшеницы сорта «Якутянка-224», зерновки которых не подвергались предпосевному γ -облучению. Наблюдалось статистически достоверное увеличение этого показателя только при 2 %-й концентрации водного раствора лиофилизата (рис. 1, а). Действие лиофилизата на фотосинтез проростков, выросших из γ -облучённых зерновок дозой 10 Гр, проявилось в увеличении на 15,4 % уровня ССК (вариант 2 %), а вариант с предпосевным замачиванием облучённых зерновок 1 %-м раствором лиофилизата привел к снижению на 64 % уровня ССК (рис. 1, б). Уровень ССК в проростках пшеницы, выросших из зерновок, получивших дозы облучения 200 и 600 Гр и обработанных всеми вариантами лиофилизата, статистически достоверно не отличался от контрольного значения (рис. 1, в, г).

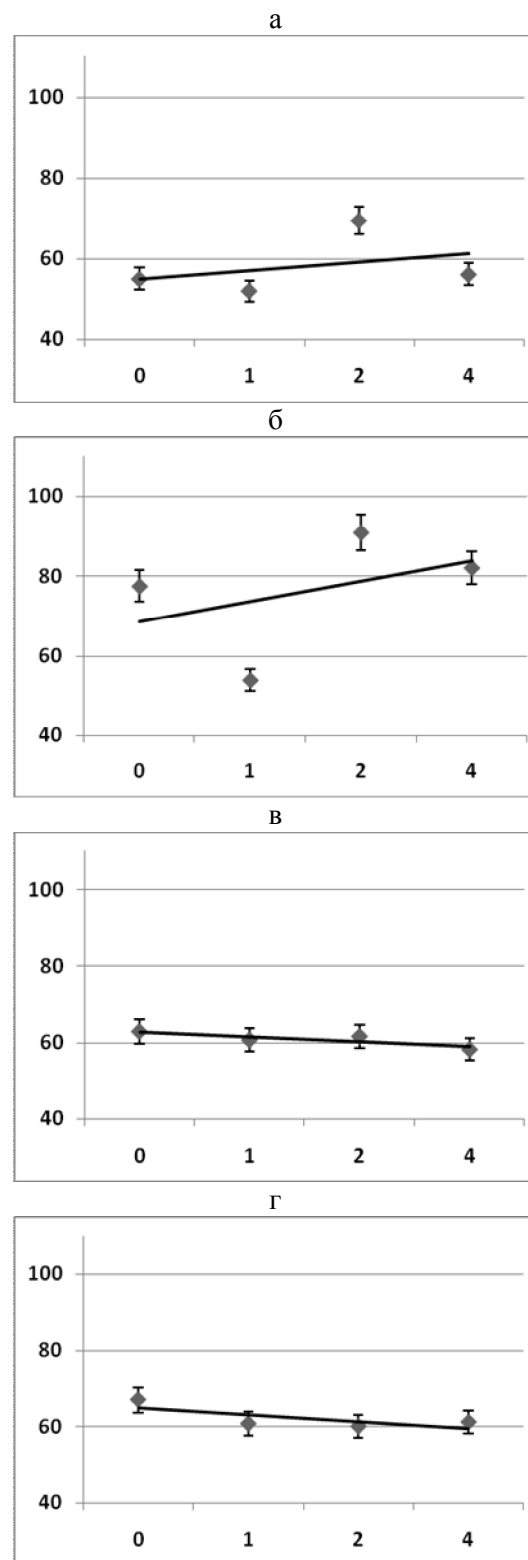


Рис.1. Изменения ССК в зависимости от концентрации лиофилизата при предпосевном γ -облучении, сорт «Якутянка-224»: По оси абсцисс – концентрация лиофилизата, %; по оси ординат – ССК, %.

а – 0 Гр; б – 10 Гр; в – 200 Гр; г – 600 Гр

Предпосевное замачивание зерновок (не облученных) пшеницы сорта «Туймаада» разными концентрациями лиофилизата снизило уровень ССК в проростках. Значительное снижение (в 3,4 раза) ССК было зафиксировано в варианте с замачиванием 4 % (рис. 2, а). Острое γ -облучение дозой 10 Гр в сочетании с замачиванием зерновок в 2 %-й и 4 %-й концентрациях лиофилизата из экстракта *A. retroflexus* L. привело к увеличению на 30 % уровня ССК в проростках этого сорта. Статистически достоверное снижение на 30 % уровня ССК зафиксировано при замачивании зерновок 1 %-й концентрацией лиофилизата (рис. 2, б). Облучение зерновок дозой 100 Гр и предпосевное замачивание их всеми концентрациями лиофилизата статистически достоверных изменений уровней ССК не было зафиксировано (рис. 2, в). Выявлена небольшая тенденция к увеличению (варианты 1 и 4 %) уровня ССК в проростках при замачивании лиофилизатом зерновок и облученных дозой 600 Гр (рис. 2, г).

При замачивании в 2 %-м лиофилизате зерновок пшеницы сорта «Приленская-19», не подвергнутых предпосевному γ -облучению, уровень ССК статистически достоверно увеличился на 18 % в клетках проростков (рис. 3, а). Сочетание пострadiaционного замачивания зерновок (варианты 2 и 4 %) и острого γ -облучения дозой 10 Гр привело к увеличению уровня ССК в клетках проростков на 28 % (рис. 3, б). Тогда как в вариантах с облучением 200 и 600 Гр и замачиванием во всех концентрациях лиофилизата произошло уменьшение уровня ССК на 16–20% (рис. 3, г).

Таким образом, влияние предпосевной обработки зерновок пшеницы различными концентрациями раствора лиофилизата *A. retroflexus* на проростки исследованных сортов пшеницы было неодинаковым, имело сортоспецифичную направленность и не оказывало выраженного негативного воздействия на физиологические характеристики. Наибольшее воздействие на проростки пшеницы при замачивании зерновок оказывал 2 %-й водный раствор лиофилизата, действие которого заключалось в увеличении количества изученных пигментов в проростках и в изменении уровня ССК в фотосистемах.

Сочетание острого γ -облучения зерновок дозой 10 Гр и предпосевное замачивание в 2 %-м лиофилизате экстракта вегетативных частей щирцы запрокинутой выявило увеличение количества изученных фотосинтетических пигментов, уровня ССК, что позволяет говорить о радиопротекторном действии лиофилизата. При той же дозе облучения, но при использовании лиофилизата в концентрации 1 % у проростков

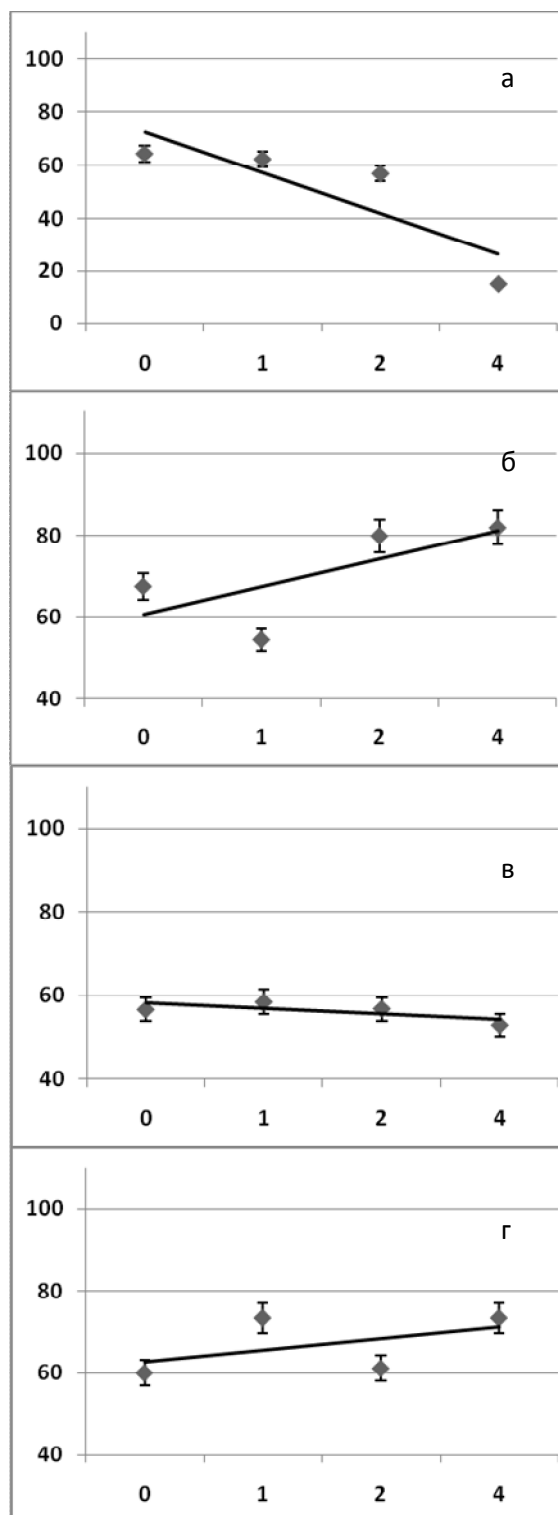


Рис.2. Изменения ССК в зависимости от концентрации лиофилизата при предпосевном γ -облучении, сорт «Туймаада». Условные обозначения те же, что и на рис. 1

отмечено снижение показателей большинства изученных параметров, т.е. такое сочетание лиофилизата и дозы облучения вызвало радиосенсибилизирующий эффект.

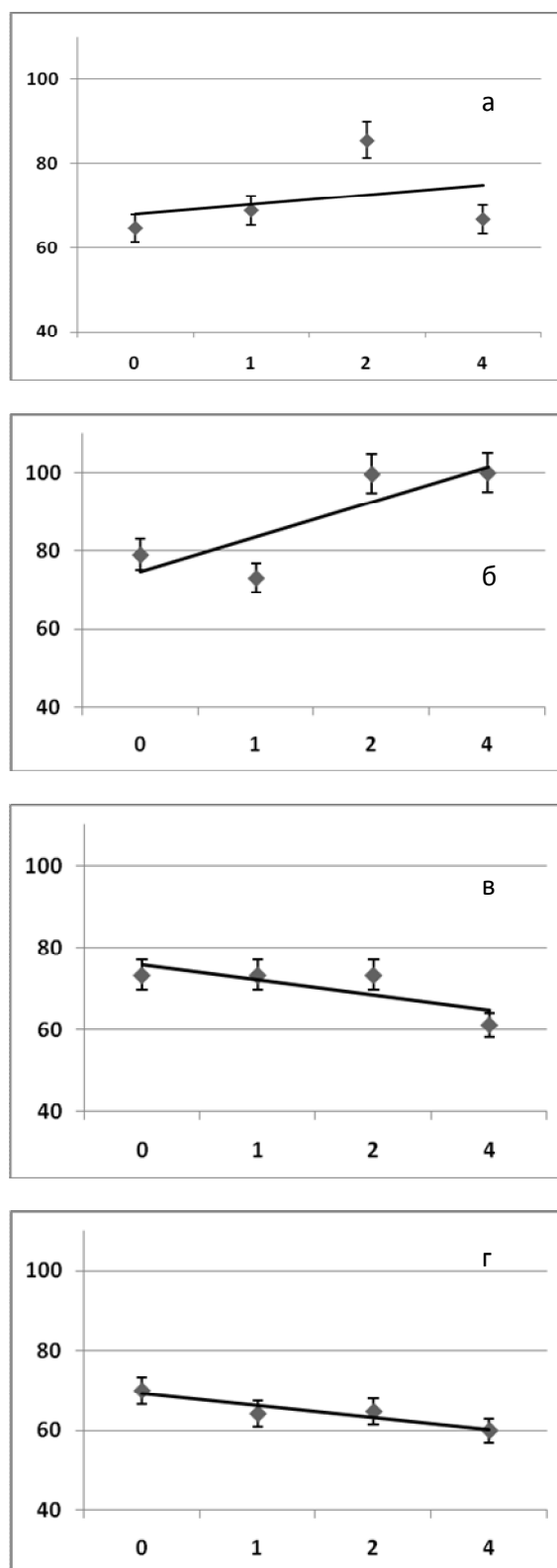


Рис.3. Изменения ССК в зависимости от концентрации лиофилизата при предпосевном γ -облучении, сорт «Приленская-19». Условные обозначения те же, что и на рис. 1

Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту №0376-2014-0005. Тема 56.1.5. «Физиолого-биохимические механизмы формирования адаптивного потенциала, устойчивости и продуктивности растительных компонентов экосистем Южной и Центральной Якутии». Направление 56. «Физиология и биохимия растений, фотосинтез, взаимодействие растений с другими организмами» программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы.

Литература

1. Филиппович И.В. Феномен адаптивного ответа клеток в радиобиологии // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1991. – Т.31. – С. 803–813.
2. Тишкевич Т.К., Петрович И.С., Заболотный А.И. Изменение физиолого-биохимических характеристик растений люпина под влиянием инкорпорированных радионуклидов // Биология. –1993. –Т. 33. – С. 54–57.
3. Stobart A. K., Griffith W. T., Ammen-Bukhari I., Sherwood R. P. The effect of Cd^{2+} on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley // Physiol.plant. USA. –1985. – V. 63. – P.293–298.
4. Васильченко А.И. *Amaranthus retroflexus* L. Щирица запрокинутая // Флора СССР. – 1936. – Т. VI. – С. 362–363.
5. Кислова Н.М. Полезные свойства сорняков. – М.: АСТ-ПРЕСС, 2009. – 288 с.
6. Воронов И.В., Журавская А.Н., Поскачина, Е.Р. Радиомодифицирующее действие лиофилизата *Amaranthus retroflexus* // Материалы Межд. междисциплинар. научн. конф. «Биологически активные вещества: фундаментальные и прикладные вопросы получения и применения». – Новый Свет, Крым, Украина. –2013. – Т. 1. – С. 247.
7. Каталог районированных (включенных в Госреестр) сортов сельскохозяйственных культур, созданных учеными Сибири в 1929–1995. – Новосибирск, 1997. – 350 с.
8. Гинс М.С. Биологически активные вещества амаранта. Амарантин: свойства, механизмы действия и практическое использование. – М.: РУДН, 2002. – 183 с.
9. Клейн Р.М., Клейн Д.Т. Методы исследования растений. – М.: Колос, 1974. – 528 с.
10. Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. Практикум по физиологии растений. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
11. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and Carotenoids Pigments of Photosynthetic Biomembranes // Method. Enzymol. – 1987. – V. 148. – P. 350–382.
12. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. –293 с.

13. Веселов А.П., Курганова Л.Н., Балалаева И.В. Роль REDOX-статуса в регуляции активности глутатионзависимых антиоксидантных ферментов хлоропластов при воздействии экзогенного H_2O_2 // Вестник Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. – 2007. – № 1. – С.119–120.
14. Гродзинский Д.М. Радиобиология растений. – Киев: Наукова думка, 1989. – 380 с.
15. Удовенко Г. В., Гончарова Э. А. Влияние экстремальных условий среды на структуру урожая сельскохозяйственных растений // Методические указания. –М.: Гидрометеиздат, 1982. – 144 с.

16. Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений. – М.: Мир, 1986. – Т.2. – 312 с.
17. Физиология растений: Учебник для студентов вузов / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др.; под ред. И.П. Ермакова. – М.: Академия, 2005. – 640 с.
18. Холл Д., Рао К. Фотосинтез. – М.: Мир, 1983. – 134 с.
19. Патент 2140432 РФ, МПК C09K15/00. Составы, содержащие антиоксиданты; составы, замедляющие химические реакции / В.К. Гинс, П.Ф. Кононков, В.Ф. Пивоваров и др. Опубл. 27.10.1999.

Поступила в редакцию 28.04.2015

УДК 57.084:537.8

Эффекты действия техногенных электромагнитных излучений и полей на живые организмы (обзор)

М.М. Шашурин

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

Обзор посвящен вопросам изучения влияния электромагнитных волн и полей на биообъекты. Описаны основные источники техногенного электромагнитного загрязнения – это системы производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии, функциональные передатчики, так же приведены их физические характеристики. Приведены примеры ответных реакций организмов на воздействие электромагнитных полей и излучений. Описаны основные принципы методологического подхода к исследованиям взаимодействия живых организмов и электромагнитных воздействий. Проанализированы различные гипотезы о механизмах взаимодействия электромагнитных полей и излучений с микроорганизмами, насекомыми, растениями и млекопитающими. Показано, что изучение влияния электромагнитных полей и излучений на биологические объекты позволяет получать важные научные данные, которые могут быть применены на практике, в экологии – для разработки предельно допустимых уровней ЭМП для человека и других биообъектов, в медицине – при разработке новых способов диагностики и методов физиотерапевтического лечения болезней, биотехнологии – как один из способов регулирования биохимических показателей различных микробных культур.

Ключевые слова: живые организмы, электромагнитное поле, магнитотропизм, магниторецепция.

The review is devoted to problems of studying of electromagnetic waves and fields influence on biological objects. Main sources of technogenic electromagnetic pollution and their physical characteristics are listed. Examples of organisms' responses to influence of electromagnetic fields and radiations are given. The basic principles of methodological approach to studies of living organisms and electromagnetic influences interaction are described. The analysis of hypotheses describing mechanisms of interaction of electromagnetic fields and waves with biological objects is carried out. It is shown that studying of influence of electromagnetic fields and radiations on biological objects allows to obtain important scientific data which can be put into practice, in ecology – for development of the EMP marginal levels for a human being and other biological objects, in medicine - for development of new ways of diagnostics and methods of physiotherapeutic treatment of diseases, in biotechnology – as one of ways of regulation of biochemical indexes of various microbial cultures.

Key words: living organisms, electromagnetic field, magnetotropism, magnetoreception.