

УДК 581.1.043:613.648.2

DOI: 10.55934/2587-8824-2023-30-4-489-495

ХРОНИЧЕСКОЕ ОБЛУЧЕНИЕ ТЕПЛИЧНЫХ КУЛЬТУР НИЗКИМИ ДОЗАМИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО А ИЗЛУЧЕНИЯ

О. А. Гусева, П. Н. Цыгвинцев, Л. И. Гончарова

Цель настоящего исследования – оценка действия низких доз хронического УФ-А облучения на биохимические и морфофизиологические параметры, а также поиск дозы облучения, оказывающей положительное влияние на формирование свежей биомассы исследуемых зеленных и пряных культур. Определение биохимических параметров осуществляли спектрофотометрическим методом с помощью спектрофотометра UNICO-1201 (производитель ООО «ЮНИКО-СИС», РФ, Санкт-Петербург). Для пробоотбора и подготовки растительного материала использовали методики Tevini M. et al. для определения содержания флавоноидов и методику Lichtenhaler H.K. et al. – хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов с выделением в 96 % этаноле. В конце вегетационного периода у шпината огородного наблюдалось достоверное снижение содержания флавоноидов на 20 % при дозе облучения 5 кДж/м², при дозе 10 кДж/м² – на 35 % относительно контроля. Выявлено достоверное повышение содержания флавоноидов в тканях базилика душистого на 28 % при дозе облучения 5 кДж/м², а при дозе 10 кДж/м² – достоверное снижение на 25 % относительно контроля. Анализ данных показал достоверное повышение содержания хлорофилла *a* у салата сорта «Кучерявец Одесский» в среднем на 6 % при исследуемых дозах облучения. У шпината выявлено достоверное повышение содержания хлорофилла *a* и хлорофилла *b* на 10 % и 11 % при суточной дозе облучения 5 кДж/м² соответственно. У растений базилика наблюдалось достоверное повышение содержания хлорофилла *a* и *b* на 15 % и 21 % при дозе облучения 5 кДж/м² в сутки. Анализ данных по изменению биомассы показал увеличение параметра в исследуемых культурах. У салата сорта «Лолло Росса» повышение биомассы составило 18 %, у базилика душистого – 16 % при суточной дозе облучения 5 кДж/м². У шпината огородного показатель биомассы увеличился в среднем на 17 % при исследуемых дозах облучения относительно контроля. Анализ имеющихся данных показал, что положительное влияние на содержание фотосинтетических показателей и на формирование свежей биомассы оказала доза облучения 5 кДж/м².

Ключевые слова: УФ-А, хроническое облучение, хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды, флавоноиды, удельная поверхностная плотность листа, биомасса.

Развитие тепличных хозяйств в агропромышленном комплексе, замена материала крыш теплиц со стекла на поликарбонатный материал приводят к тому, что растения не в теплицах не получают УФ излучения от солнца, так как поликарбонат не пропускает солнечную радиацию с длиной волны менее чем 400 нм [15]. Поэтому становятся актуальными исследования по изучению интенсивности ультрафиолетового А (УФ-А) излучения и продолжительности его воздействия для получения стимулирующего

стресса, способного повысить урожайность и пищевую ценность сельскохозяйственных культур в тепличных хозяйствах.

Листовые овощи, или зеленные культуры, представляют собой листья растений, которые употребляются вместе с черешками и побегами. Они содержат много питательных веществ, особенно в них высок уровень витамина К, филлохинона, который является наиболее распространенной формой витамина и непосредственно участвует в фотосинтезе. Пряные культуры

(базилик, кориандр, анис, мелисса, душица и др.) представляют собой пряности, которые производят из различных частей растений, обладающих специфическим, устойчивым вкусом и ароматом, благодаря содержанию в них большого количества эфирных масел.

Развитие современного тепличного хозяйства способствует круглогодичному выращиванию зеленных и пряных культур, в том числе в осенне-зимний период с коротким световым днем. Потому целью работы являлась оценка действия низких доз дополнительного хронического УФ-А облучения на биохимические и морфофизиологические параметры зеленных и пряных культур до фазы технической спелости.

Материалы и методы исследования

В период 2021–2022 гг. в теплице с поликарбонатным покрытием на территории ФГБНУ ВНИИРАЭ (Калужская область, г. Обнинск) проводили выращивание зеленных и пряных культур в вегетационных сосудах. Объектами исследования были выбраны салат листовой (*Lactuca sativa* var. *secalina*), сорта «Кучерявец Одесский» и «Лолло Росса»; шпинат огородный (*Spinacia oleracea*), сорт «Илья Муромец»; базилик душистый (*Ocimum basilicum* L.), сорт «Ажур зеленый»; кориандр посевной (*Coriandrum sativum*), сорт «Янтарь».

Салат листовой выращивали по схеме: повторность опыта трехкратная, плотность посевов составляла шесть растений на сосуд. Культуры базилика, шпината и кориандра выращивали в двукратной повторности по 10 растений на сосуд.

Хроническое УФ-А облучение осуществлялось с помощью ламп Black Light BLUE фирмы Philips с максимумом излучения на 365 нм от момента появления всходов (формирование 4–5 настоящих листьев) до фазы технической спелости (55-е сутки вегетации у салата листового, 44-е сутки вегетации у базилика, шпината, кориандра). Длительность облучения составляла 6 часов ежедневно, с 10⁰⁰ утра до 15⁰⁰ вечера. Облучение растений происходило при суточных экспозиционных дозах 5 и 10 кДж/м². В дальнейшем тексте статьи используются точные дозы без конкретизации – в сутки.

Вегетационный эксперимент проводился в сосудах, содержащих 4,5 кг воздушно-сухой дерново-подзолистой почвы.

Спустя 30 суток по достижении растений фазы технической спелости проводили отбор листовых пластин салата, шпината, базилика для проведения биохимического анализа спектрофотометрическим методом с помощью спектрофотометра UNICO-1201 (производитель ООО «ЮНИКО-СИС», РФ, Санкт-Петербург). Содержание флавоноидов определяли по методике M. Tevini et al. [14], содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов – по методике Н.К. Lichtenhaler et al. с выделением в этаноле 96 % [9].

Убор урожая проводили для оценки изменения следующих морфологических параметров: площадь листьев (дм²) (методом высечек по методике А.С. Образцова [2]), удельной поверхностной плотности листа (УППЛ, г/дм²), сырой надземной биомассы (листья и стебли, г).

Статистическую обработку данных проводили с помощью MS Excel 2003, достоверное отличие от контроля ($p < 0,05$) рассчитывали на основе *t*-критерия Стьюдента для средних.

Результаты и обсуждение

Содержание флавоноидов. Флавоноиды проявляют разнообразную функциональную активность: защищают от УФ излучения, регулируют транспорт фитогормонов, привлекают насекомых-опылителей и животных для перенесения плодов и семян, участвуют в хемоаттракции и стимуляции азотфиксации ризосферных бактерий, а также защищают растения от патогенных микроорганизмов [1].

Установлено, что в конце вегетационного периода наблюдалось снижение флавоноидов у листового салата: у сорта «Лолло Росса» – на 42% и 24% при дозах облучения 5 кДж/м² и 10 кДж/м² соответственно, у сорта «Кучерявец Одесский» отличий от контроля не выявлено. У шпината огородного достоверное снижение содержания флавоноидов на 20% наблюдается при дозе облучения 5 кДж/м², при дозе 10 кДж/м² – на 35% относительно контроля (табл. 1).

Анализ данных по содержанию флавоноидов в тканях базилика душистого выявил достоверное повышение на 28% при дозе облучения 5 кДж/м², при дозе 10 кДж/м² – достоверное снижение на 25% относительно контроля (табл. 1).

Данные по снижению содержания флавоноидов были получены в работе [3] при исследовании базилика (*Ocimum basilicum* L.),



полыни (*Artemisia lerchiana* L.), чернушки (*Nigella sativa* L.) в ответ на влияние низких доз острого УФ-В излучения. В то же время в исследовании Sytar O. et. al [13] на разных сортах салата листового, произрастающих в условиях теплицы и поля, наблюдалось повышение содержания флавоноидов. Растения, выращенные в теплице, как правило, имеют недостаточно развитый УФ защитный экран в эпидермисе листьев, поскольку фенилаланин аммоний-лиаза – ключевой фермент синтеза флавоноидов и обладает низкой активностью в отсутствие УФ-излучения [8].

Содержание хлорофиллов и каротиноидов. Фотосинтетический аппарат растений приспособляется к условиям окружающей среды более медленными темпами, чем происходит накопление соединений с УФ защитными функциями, поэтому изменение концентрации фотосинтезирующих пигментов при действии небольших доз УФ-А излучения может носить разноплановый характер [13]. Каротиноиды участвуют в поглощении световой энергии для дальнейшего ее использования в фотосинтезе, в обеспечении фотозащиты посредством фотохимического тушения. А также участвуют в различных типах клеточной организации: сиг-

нализируют о выработке абсцизовой кислоты, которая регулирует рост растений, состояние покоя семян, деление и удлинение клеток, рост цветков и реакцию на стресс [5, 6].

Анализ данных показал достоверное повышение содержания хлорофилла *a* у салата сорта «Кучерявец Одесский» в среднем на 6% при исследуемых дозах облучения относительно контроля. Достоверное повышение хлорофилла *b* на 20% выявлено у сорта «Кучерявец Одесский» при действии дозы 10 кДж/м² (табл. 2).

У шпината выявлено достоверное повышение содержания хлорофилла *a* на 10% при дозе облучения 5 кДж/м², а при дозе облучения 10 кДж/м² – достоверное снижение 7% относительно контроля. Достоверное увеличение содержания хлорофилла *b* на 11% относительно контроля выявлено при дозе облучения 5 кДж/м² (табл. 2).

У растений базилика наблюдалось достоверное повышение содержания хлорофилла *a* и *b* на 15% и 21% при дозе облучения 5 кДж/м² соответственно. Также выявлено достоверное повышение хлорофилла *b* на 6% при дозе облучения 10 кДж/м² относительно контроля (табл. 2).

Динамика изменения содержания каротиноидов в исследуемых растениях зеленых

Таблица 1

Параметр	УФ-А, кДж/м ²	Салат «Лолло Росса»	Салат «Кучерявец Одесский»	Шпинат «Илья Муромец»	Базилик «Ажур зеленый»
Флавоноиды, мг/100 г	Контроль	83,6±4,4	103,1±1,1	273,7±9,5	333,3±4,9
	5	49,3±7,6	102,5±1,7	218,8±15,9*	428,6±9,9*
	10	63,4±12,9	94,3±3,4	177,8±9,8*	247,2±2,2*

Таблица 2

Параметр	УФ-А, кДж/м ²	Салат «Лолло Росса»	Салат «Кучерявец Одесский»	Шпинат «Илья Муромец»	Базилик «Ажур зеленый»
Хлорофилл <i>a</i> , мг/100 г	Контроль	15,85±0,88	15,00±0,11	90,95±1,60	44,21±0,34
	5	12,06±0,94	15,98±0,47*	100,21±3,01*	50,82±0,51*
	10	15,34±0,18	15,69±0,20*	84,23±0,65*	44,63±0,41
Хлорофилл <i>b</i> , мг/100 г	Контроль	4,48±0,78	4,04±0,05	38,05±0,91	17,45±0,32
	5	3,53±0,09	5,01±0,80	42,12±1,04*	21,03±0,47*
	10	4,19±0,35	4,87±0,03*	37,64±1,85	18,67±0,08*
Каротиноиды, мг/100 г	Контроль	4,51±0,36	4,04±0,04	19,90±1,15	9,88±0,18
	5	3,54±0,23	4,49±0,19	20,04±0,77	10,30±0,13
	10	3,94±0,14	4,02±0,10	17,56±1,02	9,52±0,09

* – достоверные различия с контролем ($p < 0,05$).

и пряных культур в целом была на уровне контроля.

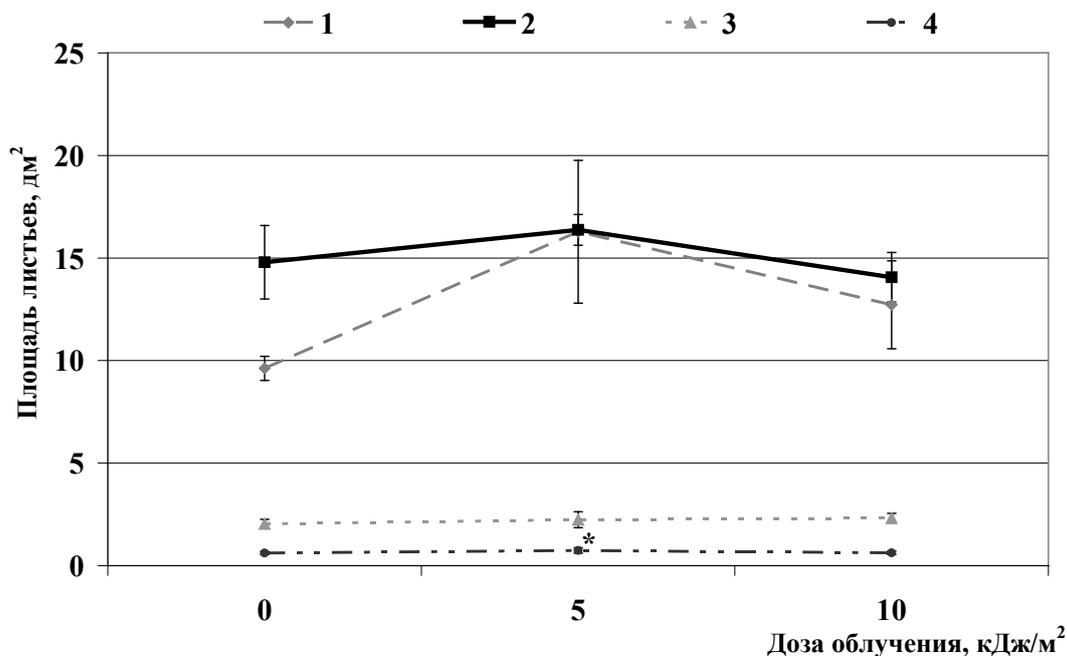
Схожие изменения содержания хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов при влиянии как острого, так и хронического УФ излучения была выявлена в работах [13, 7] у исследуемых растений салата листового (*Lactuca sativa* var. *crispa*) и сорго двуцветного (*Sorghum bicolor*) как в вегетационных, так и полевых экспериментах.

Морфологические показатели. Хроническое УФ-А излучение в области изученных доз оказало положительное влияние на формирование площади листьев у зеленных и пряных культур (рис. 1). Так, при дозах облучения 5 и 10 кДж/м² у салата листового сорта «Лолло Росса» наблюдалось увеличение площади листьев на 69% и на 32% соответственно. У сорта «Кучерявец Одесский» наблюдалась тенденция к увеличению на 11% при дозе 5 кДж/м² относительно контроля. У культуры базилика выявлено достоверное повышение величины площади листьев на 19% при дозе 5 кДж/м² относительно контроля. У шпината огородного изменения показателя относительно контроля не наблюдалось.

Похожие данные по изменению величины площади листьев были получены в исследованиях S.D. Carvalho et al. [4] при воздействии некоторых спектров видимого света на базилик душистый и в работе S. Kataria [7] при изучении влияния УФ-А излучения на площадь флаговых листьев разных сортов сорго двуцветного.

Удельная поверхностная плотность листа (УППЛ) – интегральный параметр, который отражает адаптацию фотосинтетического аппарата растения к условиям окружающей среды и косвенно отражает толщину листовой пластины [11].

Анализ данных показал, что у исследуемых зеленных и пряных культур наблюдалось уменьшение УППЛ при облучении дозами 5 и 10 кДж/м² относительно контроля (рис. 2). У салата листового сорта «Кучерявец Одесский» выявлено дозозависимое снижение показателя в среднем на 12%. У салата сорта «Лолло Росса» при дозе облучения 5 кДж/м² УППЛ уменьшилась на 30%, а при дозе 10 кДж/м² – на 18%. У шпината огородного выявлена тенденция снижения параметра на 12% при дозе облучения 5 кДж/м². У базилика душистого не наблюдалось значительных изменений показателя относительно контроля.



1 – салат сорта «Лолло Росса»; 2 – салат сорта «Кучерявец Одесский»; 3 – шпинат сорта «Илья Муромец»; 4 – базилик сорта «Ажур зеленый» (* – достоверное отличие от контроля, $p < 0,05$)

Рис. 1. Показатель площади листьев (дм²) после облучения хроническим УФ-А



Полученные данные по представленным культурам показывают, что предположительно снижение УППЛ связано не с анатомическим строением листовой пластины, а зависит от количественных изменений параметров листа – его толщины, ассимиляционной поверхности, мезофилла, размеров клеток. Например, в работе V.I. Ryankov et. al. [12] было показано, что основным фактором, который определяет удельную поверхностную плотность листа, является количество клеток и объем мезофилла.

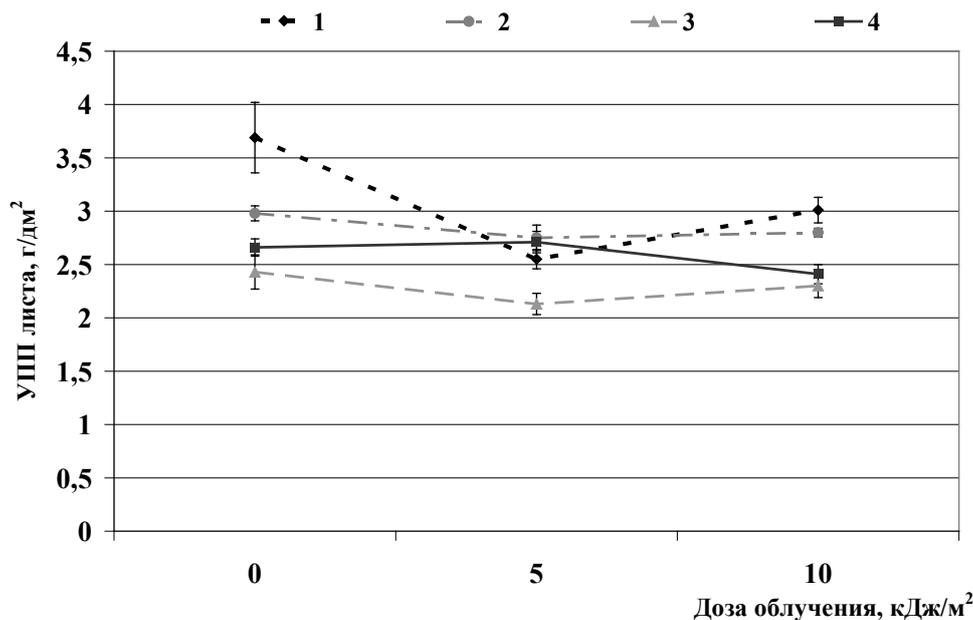
Результаты данных по динамике биомассы сырой надземной показали увеличение параметра при дозе облучения 5 кДж/м² у исследуемых сортов зеленных и пряных культур. Так, у салата «Лолло Росса» повышение биомассы составило 18 %, у базилика душистого – на 16 %, у кориандра посевного – на 89 % при дозе облучения 10 кДж/м². У шпината огород-

ного показатель увеличился в среднем на 17 % при исследуемых дозах облучения относительно контроля (табл. 3).

В исследовании S.D. Carvalho et al. [4] в контролируемых условиях установлено увеличение биомассы базилика сладкого сорта «Цезарь» при влиянии как отдельных спектров видимого света, так и некоторых их комбинаций. В работе N. Mariz-Ponte et al. [10] при умеренном воздействии сочетанного УФ (А+В) излучения в тепличных условиях наблюдалось повышение общего урожая томата.

Выводы

1. Выявлено повышение содержания фотосинтетических пигментов хлорофиллов *a* и *b* при дозе облучения 5 кДж/м².
2. Не наблюдается повышение содержания флавоноидов и каротиноидов у исследуемых



1 – салат сорта «Лолло Росса»; 2 – салат сорта «Кучерявец Одесский»; 3 – шпинат сорта «Илья Муромец»; 4 – базилик сорта «Ажур зеленый»

Рис. 2. Показатель удельной поверхностной плотности листа (г/дм²) после облучения хроническим УФ-А

Таблица 3

Параметр	УФ-А, кДж/м ²	Салат «Лолло Росса»	Салат «Кучерявец Одесский»	Шпинат «Илья Муромец»	Базилик «Ажур зеленый»	Кориандр «Янтарь»
Биомасса свежая, г	Контроль	35,1±2,2	44,2±5,9	61,7±13,1	11,0±1,0	6,2±1,4
	5	41,5±8,7	44,8±0,9	70,0±16,7	12,8±1,8	5,2±0,2
	10	37,6±5,3	39,4±3,7	74,1±7,1	8,7±0,3	11,7±0,2

культур, что свидетельствует об отсутствии негативного влияния низких доз хронического УФ-А излучения.

3. Выявлено увеличение таких морфологических параметров, как площадь листьев и биомасса сырая надземная при дозе облучения 5 кДж/м².

4. Учитывая общие положительные эффекты влияния хронического УФ-А излучения, данный вид облучения можно рекомендовать для использования в промышленных теплицах с поликарбонатным покрытием корпуса.

5. Работы в данной области исследований в дальнейшем будут проводиться.

Список литературы

1. Методы выделения и анализа флавоноидов высших растений и исследования их активности в отношении ризобактерий / сост. : С. А. Коннова, М. В. Каневский, З. О. Алиева, Е. П. Шувалова. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2015. – 31 с.
2. Образцов, А. С. Объемный способ определения площади листовой поверхности в посевах / А. С. Образцов, В. М. Ковалев // Физиология растений. – 1976. – Т. 23. – Вып. 5. – С. 1084–1087.
3. Оценка антиоксидантного потенциала лекарственных растений при действии УФ-В облучения / В. И. М. Тоайма, Н. Л. Радюкина, Г. А. Дмитриева, Вл. В. Кузнецов // Вестник РУДН. Сер. : Агротомия и животноводство. Физиология растений. – 2009. – № 4. – С. 12–19.
4. Light quality dependent changes in morphology, antioxidant capacity, and volatile production in sweet basil (*Ocimum basilicum*) / S. D. Carvalho, M. L. Schwieterman, C. E. Abraham [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2016. – Vol. 7. – P. 1–14.
5. Cogdell, R. J. Carotenoids in photosynthesis / R. J. Cogdell // Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. – 1978. – Vol. 284. – P. 569–579.
6. Finkelstein, R. Abscisic acid synthesis and response / R. Finkelstein // The Arabidopsis Book. The American Society of Plant Biologists. – 2013. – Vol. 11. – P. 1–37.
7. Kataria, S. Intraspecific variations in growth, yield and photosynthesis of sorghum varieties to ambient UV (280–400 nm) radiation / S. Kataria, K. N. Guruprasad // Plant Science. – 2012. – Vol. 196. – P. 85–92.
8. Krizek, T. D. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce / T. D. Krizek, S. J. Britz, R. M. Mirecki // Physiologia Plantarum. – 1998. – Vol. 103. – № 1. – P. 1–7.
9. Lichtenhaler, H. K. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents / H. K. Lichtenhaler, A. R. Wellburn // Biochemical Society of Transaction. – 1983. – Vol. 11. – P. 591–592.
10. Tomato plants use non-enzymatic antioxidant pathways to cope with moderate UV-A/B irradiation: A contribution to the use of UV-A/B in horticulture / N. Mariz-Ponte, R. J. Mendes, S. Sario [et al.] // Journal of Plant Physiology. – 2018. – V. 221. – P. 32–42.
11. Mendez, M. Enhanced UV-B radiation under field conditions increases anthocyanin and reduces the risk of photoinhibition but does not affect growth in the carnivorous plant *Pinguicula vulgaris* / M. Mendez, D. G. Jones, Y. Manetas // New Phytologist. – 1999. – Vol. 144. – № 2. – P. 275–282.
12. Pyankov, V. I. Leaf structure and specific leaf mass: the alpine desert plants of the Eastern Pamirs, Tadjikistan / V. I. Pyankov, A. V. Kondratchuk, B. Shipley // New Phytologist. – 1999. – Vol. 143. – № 1. – P. 131–142.
13. Shift in accumulation of flavonoids and phenolic acids in lettuce attributable to change in ultraviolet radiation and temperature / O. Sytar, M. Zivcak, Kl. Bruckova [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2018. – Vol. 239. – P. 193–204.
14. Tevini, M. Some effects of enhanced UV-B irradiation on the growth and composition of plants / M. Tevini, W. Iwanzik, U. Thoma // Planta. – 1981. – Vol. 153. – P. 388–394.
15. Tsygvintsev, P. N. Effect of acute UV irradiation of barley in different stages of organogenesis on yield / P. N. Tsygvintsev, O. A. Guseva, M. Yu. Tatarova // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – P. 1–5.

Гусева Оксана Александровна, младший научный сотрудник, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск.

E-mail: gusevaoks65@yandex.ru.



Цыгвинцев Павел Николаевич, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, и.о. зав. лаб. № 4, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск.

E-mail: paul-gomel@mail.ru.

Гончарова Любовь Ивановна, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск.

E-mail: goncharovali70@yandex.ru.

* * *