

КАЦАН В.А.^{1✉}, ПОТОПАЛЬСЬКИЙ А.І.^{1,2}, АНТОНЕНКО М.Я.², ЗАДОРЖНИЙ Б.О.¹

¹ Інститут молекулярної біології і генетики НАН України,

Україна, 03680, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 150, e-mail: val.katsan@gmail.com

² Інститут оздоровлення і відродження народів України,

Україна, 03680, м. Київ, вул. Академіка Заболотного, 150, e-mail: potopalsky@imbg.org.ua

✉ val.katsan@gmail.com, (067) 975-17-01

ВПЛИВ ДОДАТКОВОГО ОСВІТЛЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАМП НА СОНЯЧНИХ БАТАРЕЯХ НА РІСТ, РОЗВИТОК ТА ЗЕРНОВУ ПРОДУКТИВНІСТЬ ВІВСА СОРТУ НЕЗЛАМНИЙ

Мета. Стаття присвячена дослідженню впливу додаткового освітлення за допомогою ламп на сонячних батареях на ріст, розвиток та зернову продуктивність вівса сорту Незламний за вирощування в теплиці в умовах короткого зростаючого дня. **Методи.** Для постійного додаткового освітлення були використані лампи на сонячних батареях Expert Light ELWf-SGL-S11107 5P. Лампи залишалися на ділянках до завершення розвитку вівса. Після дозрівання зерна в кожному з варіантів рівномірно по всій ділянці відбирали для аналізу по 10 рослин; аналізували такі параметри: висоту стебла (**Ls**), довжину волоті (**L**), кількість (**G**) та вагу (**W**) зерен із волоті. Отримані результати обробляли методами статистичної математики. **Результати.** Поряд зі змінами габітусу спостерігали значне зниження зернової продуктивності у переважній більшості рослин, які зазнали додаткового постійного освітлення за допомогою ламп на сонячних батареях. **Висновки.** Постійне додаткове освітлення за допомогою ламп на сонячних батареях може бути стресором, який негативно впливає на морфогенез та зернову продуктивність рослин вівса.

Ключові слова: додаткове освітлення, лампи на сонячних батареях, овес, зміни морфогенезу та продуктивності.

Використання сонячної енергії для покриття енергетичних потреб суспільства є однією з найактуальніших проблем сьогодення. Впровадження технологій, які засновані на використанні енергії сонячних променів, дало б можливість вирішити також багато екологічних проблем та значно поліпшити стан довкілля. Одним із різновидів уже розроблених приладів, заснованих на застосуванні сонячної енергії, які на сьогодні набувають все більшого застосування, є світильники на сонячних батареях, які здатні

акумулювати енергію сонячного світла в світлу пору доби і світитися за настання темряви. Крім освітлення бажаних зон, призначення таких світильників також чисто естетичне, їх розміщують у різних куточках саду для підсвічування рослин із метою отримання красивих ефектів. З огляду на те, що рослини є автотрофними організмами і світлові сигнали відіграють ключову роль у їх розвитку (рослини здатні сприймати склад, інтенсивність, тривалість та періодичність освітлення (згідно з [1]), додаткове освітлення не може не впливати на перебіг життєво важливих процесів і, безумовно, є ще одним стресором довкілля, бо в процесі еволюції рослини адаптувалися до зміни та тривалості дня і ночі, і регуляція циркадними ритмами посідає дуже важливе місце в перебігу їх життєво важливих процесів і є першочерговим фактором, який впливає на продуктивність рослин [2]. Тому мета нашої роботи – дослідження впливу додаткового освітлення за допомогою світильників на сонячних батареях на ріст, розвиток та зернову продуктивність вівса сорту Незламний, який ми обрали як модельну рослину, оскільки раніше саме на цьому сорті вівса ми вивчали вплив препаратів, здатних впливати на адаптацію до стресорів довкілля [3–7].

Матеріали і методи

Сорт вівса Незламний отриманий у нашій лабораторії. Рослини вирощували в умовах скляної теплиці ІМБГ НАН України за посіву в умовах короткого зростаючого дня (16 січня). Для додаткового освітлення були використані світильники Expert Light ELWf-SGL-S11107 5P, рівномірно розміщені на ділянках через тиждень після появи сходів вівса, надалі вони залишалися на своїх місцях до повного завершення його розвитку (дозрівання зерна). Вплив додаткового освітлення вивчали на інтактних росли-

нах вівса сорту Незламний та на рослинах 2-го покоління після обробки насіння Ізатізоном (препарат розроблено А.І. Потопальським та Л.В. Лозюк), оскільки раніше нами була виявлена здатність цього препарату позитивно впливати на ростові процеси та на зернову продуктивність вівса, а отримані ефекти проявлялися також у наступних поколіннях після обробки [3–6]. Освітлювані та контрольні рослини були надійно ізольовані просторово. Після дозрівання зерна в кожному з варіантів рівномірно по всій ділянці відбирали для аналізу по 10 рослин; аналізували такі параметри: висоту стебла (**Ls**), довжину волоті (**L**), кількість (**G**) та вагу (**W**) зерен із волоті. Отримані результати обробляли згідно з методами статистичної математики [8].

Результати та обговорення

Варто відзначити неоднозначність впливу додаткового освітлення на ріст та розвиток рослин. На початку досліджу, коли тривалість дня була недостатньою для нормального розвитку і зацвітання рослин, рослини вівса, які росли в умовах додаткового освітлення, росли і розвивалися швидше, стебла були міцнішими і стійкими до вилягання, в той час як стебла рослин в умовах без додаткового освітлення були дуже витягнутими і тоншими. Надалі, в міру зростан-

ня тривалості дня, і особливо за його тривалості, близькій до максимальної, почав проявлятися негативний вплив додаткового освітлення – рослинам було притаманне неприродне витягання стебел, значно менші та зміненої форми волоті, зміна форми листків, тобто рослини набували неприродного, не притаманного їм габітусу (рис. 1). Значних змін зазнала при цьому продуктивність вівса (рис. 2).

Отримані зміни габітусу рослин та значне зниження їх продуктивності, очевидно, зумовлені порушеннями в роботі притаманного рослинам циркадного годинника [2], які настають у результаті зміни екзогенних циклів чергування дня і ночі, змінами експресії пов'язаних з ним генів та включенням стресових сигнальних шляхів, можливо, таких, які підпорядковані регуляції гомеобоксними генами, які мають плейотропний вплив на процеси розвитку і морфогенезу, здатні знижувати вміст хлорофілів, швидкість фотосинтезу, біосинтезу первинних метаболітів, що може значною мірою знижувати продуктивність [9]. Заслужує на увагу те, що світлодіоди у використаних нами світильниках випромінюють саме біле світло, отже, імітують продовження світлового періоду доби, що може сприйматися як стресор чітко узгодженою з до-вкільям системою циркадного годинника.

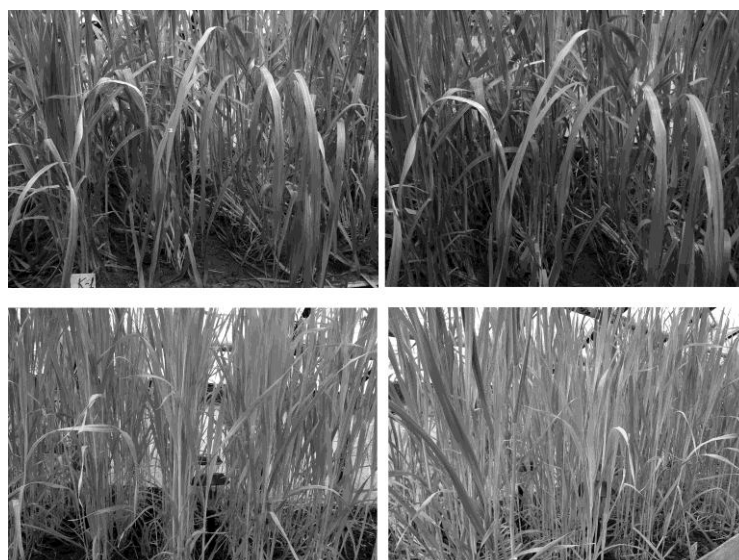


Рис. 1. Рослини вівса сорту Незламний за природного освітлення (верхній ряд, **K-1** та **Iz-1** відповідно) та в умовах постійного додаткового освітлення в нічну пору за допомогою ламп на сонячних батареях Expert Light ELWf-SGL-S11107 5P (нижній ряд, **K-2** та **Iz-2** відповідно). Розшифрування варіантів: **K-1** – контроль без додаткового освітлення; **Iz-1** – рослини 2-го покоління після обробки насіння Ізатізоном без додаткового освітлення; **K-2** – контроль із додатковим освітленням; **Iz-2** – рослини 2-го покоління після обробки насіння Ізатізоном із додатковим освітленням.



Рис. 2. Дослідні та контрольні рослини вівса сорту Незламний після збирання врожаю: перші 2 снопи зліва – вирощені за умов постійного додаткового освітлення в нічні години за допомогою ламп на сонячних батареях Expert Light ELWf-SGL-S11107 5P, варіанти K-2 та Iz-2 відповідно; 2 наступні снопи – за умов природного освітлення, K-1 та Iz-1 відповідно. Врожай зібрано з однакових за розміром ділянок за однакової щільності посіву. Варіанти дослідів зазначені, як у підписі до рис. 1.

Середні значення кожного з досліджуваних параметрів наведені на рис. 3. Варто зазначити відсутність статистично достовірних змін щодо середніх величин висоти стебла та довжини волотей, за винятком тенденції до зниження висоти стебла ($0,95 > p > 0,90$) в умовах додатко-

вого освітлення для рослин 2-го покоління після обробки насіння Ізатизоном (Iz-2) порівняно з контролем (K-2; рис. 3).

Не було виявлено також статистично достовірних відмінностей середніх величин G та W – зниження їх величин за додаткового освітлення не є статистично достовірним, що зумовлене значним розмахом варіації цих параметрів (рис. 3), тому ми розбили вибірки рослин за найважливішими параметрами врожайності, кількістю та вагою зерна з волоті, на класи, користуючись формулами: $r=1+3,31g/n$; $\rho = \max - \min$; $k = \rho/r$ [7], де r – кількість класів; n – кількість варіантів у вибірці; ρ – різниця між максимальною та мінімальною величинами параметра; k – величина класів.

Для інтактних рослин за вирощування в теплиці в умовах короткого зростаючого дня притаманний певний рівень мінливості кількості зерен у волотях, і за методикою розподілу її величин за класами можна виділити 3 фенотипи, серед яких найвищу частоту (70%) має фенотип із мінімальною середньою кількістю зерен, яка дорівнює 60 штук (табл. 1). Рослинам 2-го покоління після передпосівної обробки насіння Ізатизоном була притаманна більша кількість фенотипів за кількістю зерен у волотях (табл. 1).

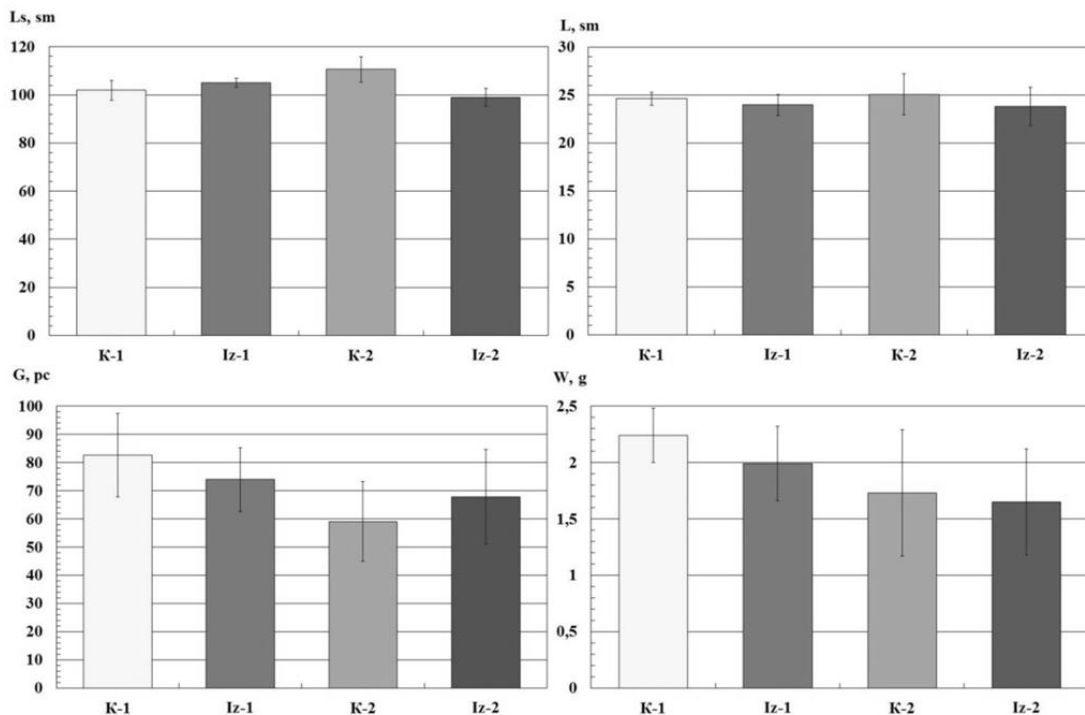


Рис. 3. Вплив додаткового освітлення за допомогою світильників на сонячних батареях на висоту стебла (Ls), довжину волоті (L), кількість (G) та вагу (W) зерен у волоті вівса сорту Незламний (n=10 для кожного з варіантів дослідів та контролю). Варіанти дослідів зазначені, як у підписі до рис. 1.

Значних змін зазнає структура вибірок рослин щодо параметра G за застосування додаткового освітлення, і найхарактернішою зміною при цьому є поява нового фенотипу з мінімальною кількістю зерен у волоті, майже удвічі меншою від такого для інтактних рослин (32–36 зерен порівняно з 60, табл. 1), і частота такого фенотипу складає 60%. У рослин 2-го покоління після обробки Ізатізоном в умовах додаткового освітлення виявлено фенотипи з вищими значеннями параметра G, порівняно зі своїм контролем (К-2), і частота таких фенотипів досягає до 40% вибірки (табл. 1).

Інтактним рослинам за вирощування в теплиці в умовах природного освітлення також притаманний певний рівень мінливості щодо ваги зерна з волоті (табл. 2), тому можна виділити 4 класи, які відповідають притаманним їм фенотипам щодо цього параметра. За обробки Ізатізоном частота рослин із врожаєм зерна з волоті, що дорівнює 1 – 2 г, зростає до 90% порівняно з 50% для інтактних рослин та появляється фенотип зі значним підвищенням врожайності – 4,7 г за частоти 10%.

Значних змін зазнає структура вибірок рослин щодо ваги зерна з волотей за умов додаткового освітлення (табл. 2). Негативний вплив

такого освітлення полягає в тому, що у варіанті К-2 спостерігали фенотип з удвічі зниженою величиною параметра W – 0,6 г з частотою 40%, а частота рослин із величиною цього параметра близько 1 г зростала удвічі, досягаючи 40%. Водночас за таких умов з частотою 20% появляється фенотип із найвищою вагою зерна з волоті (5,0 г). Рослинам, насіння яких у 1-му поколінні обробляли Ізатізоном, фенотип із найнижчим врожаєм зерна (близько 0,6 г) не був притаманний, а частота фенотипу з величиною W, яка дорівнює 1,0 г, складала 80% (табл. 2), що може бути свідченням вищої адаптаційної здатності таких рослин.

Отже, додаткове освітлення за допомогою світильників на сонячних батареях може впливати на врожайність вівса, значною мірою знижуючи як кількість зерен у волотях (G), так і їх загальну вагу (W). Ґрунтуючись на характері змін середньої ваги окремих зерен у волотях G1 (рис. 4) та характері змін кількості зерен (G) і загальної ваги зерна з волотей (W) (рис. 3), можна дійти до висновку, що отриманий нами профіль зміни W у варіантах досліду та контролях зумовлений більшою мірою змінами ваги зерен (G1), а не їх кількістю (G).

Таблиця 1. Фенотипи рослин вівса щодо кількості зерен у волоті

Варіант досліду	Мінливість варіант у межах класу, г	Кількість зерен у волоті, шт.	Частота фенотипу
К-1	(46,0 – 82,0)	59,86±5,56	70 %
	(98,0 – 108,0)	103,0±5,0	20 %
	(199 – 201)	200,0±1,0	10 %
Із-1	(41,0 – 53,0)	47,8±2,33	50 %
	(68,0 – 71,0)	69,5±1,50	20 %
	(87,0 – 90,0)	88,5±1,5	10 %
	(124 – 130)	127,0±3,0	10 %
	142	142±0	10 %
К-2	(22,0 – 52,0)	32,33±4,42	60 %
	(53,0 – 67,0)	60,0±7,0	20 %
	(126,0–151,0)	138,50±12,50	20 %
Із-2	(24,0–59,0)	36,83±5,34	60 %
	(75,5–106,0)	86,33±12,09	30 %
	(199,0–201,0)	200,0±1,0	10%

Примітка. Розшифрування варіантів досліду – як у підписі до рис. 1

Таблиця 2. Фенотипи рослин вівса щодо врожаю зерна з волотей. Розшифрування варіантів дослідів – як у підписі до рис. 1

Варіант дослідів	Мінливість варіант у межах класу, г	Вага зерна з волоті, г	Частота фенотипу
К-1	(1,2 – 1,55)	1,375±0,175	20 %
	(1,95 – 2,2)	2,050±0,076	30 %
	(2,7 – 2,8)	2,750±0,029	30 %
	(3,25 – 3,7)	3,475±0,225	20 %
Iz-1	(1,2 – 1,9)	1,550±0,090	70 %
	(2,10 – 2,15)	2,125±0,025	20 %
	(4,5 – 5,0)	4,767±0,145	10 %
К-2	(0,4 – 0,77)	0,605±0,077	40 %
	(0,95 – 1,55)	1,200±0,176	40 %
	(4,7 – 5,36)	5,030±0,330	20 %
Iz-2	(0,58 – 1,73)	1,060±0,148	80 %
	(2,5 – 2,7)	2,600±0,100	10 %
	(5,22 – 5,55)	5,385±0,165	10 %

Примітка. Розшифрування варіантів дослідів – як у підписі до рис. 1

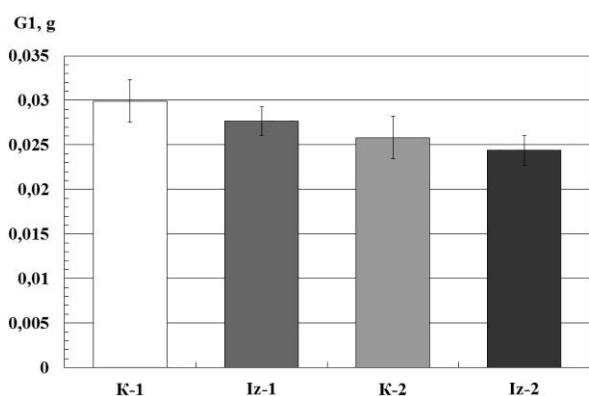


Рис. 4. Середня вага зерен у волотях (G1, г), обчислена на основі формули $G1=W/G$. Варіанти дослідів зазначені, як у підписі до рис. 1.

Висновки

Поряд зі змінами габітусу рослин, постійна експозиція світильників на сонячних батареях може знижувати зернову продуктивність у значній кількості рослин під час вирощування вівса сорту Незламний у теплиці в умовах короткого зростаючого дня. При цьому з великою частотою (до 60%) появлялися рослини, для яких кількість зерен у волотях була удвічі меншою від найменшої кількості зерен у волотях, притаманної інтактним рослинам. Удвічі зрос-

тала, досягаючи 40%, частота фенотипу з найнижчою вагою зерна з волотей, притаманного інтактним рослинам, вирощеним в умовах природного освітлення; водночас спостерігали появу нового фенотипу рослин, у яких вага зерна з волоті була удвічі нижчою від такого мінімального рівня, і частота такого фенотипу досягала 40%.

Отже, додаткове освітлення за допомогою світильників на сонячних батареях (залежно від тривалості світлового дня та інших умов вирощування) може бути стресором, який здатний модулювати процеси росту та морфогенезу, спричинюючи значне зниження продуктивності переважної кількості рослин. Таке зниження продуктивності може бути зумовленим змінами експресії генів первинного метаболізму, які регулюються циркадним годинником [2].

На основі структури вибірки рослин щодо кількості та ваги зерна з волотей можна зробити припущення, що рослини 2-го покоління після обробки насіння препаратом Ізатізон менш чутливі до дії стресора – постійного додаткового освітлення за допомогою ламп на сонячних батареях.

Література

1. Кацан В.А., Потопальський А.І. Особливості дії препаратів екзогенних ДНК при отриманні нових форм тютюну: монографія. К.: Колобіг, 2007. 176 с.

2. Kim J.A., Kim H.S., Choi S.H., Jang J.Y., Jeong M.J., Lee S.I. The Importance of the Circadian Clock in Regulating Plant Metabolism. *Int. J. Mol. Sci.* 2017. Vol. 18 (12). 2680. URL: <http://www.mdpi.com/1422-0067/18/12/2680> (Last accessed: 11.03.2018).
3. Юркевич Л.Н., Кацан В.А., Потопальський А.І. Ізатізон та Наносрібло впливають на ріст та розвиток рослин вівса, їхню продуктивність та вміст фотосинтетичних пігментів: матеріали XI Українського біохімічного конгресу (6–10 жовтня 2014 р., м. Київ). *Ukrainian Biochemical Journal*. Vol. 86, No. 5, (Supplement 2). P. 168–169.
4. Кацан В.А., Юркевич Л.Н., Потопальський А.І. Ізатізон та наносрібло здатні індукувати зміни ростових процесів та продуктивності вівса сорту Незламний, які зберігаються в наступних поколіннях. *Фактори експериментальної еволюції організмів*: зб. наук. праць. К.: Укр. т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 2015. Т. 16. С. 114–119.
5. Katsan V.A., Yurkevych L.N., Potopalsky A.I. Izatison and Its Constituents May Induce the Changes of Some Adaptive Functions of Plants Persisting in the Next Generations after Treatment. *Fourth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research: Books of Abstracts* (Niš, Serbia, May 23–27 2016). Niš, 2016. P. 74.
6. Кацан В.А., Потопальський А.І., Юркевич Л.Н. Вплив Ізатізону і Наносрібла на вміст фотосинтетичних пігментів у вівса сорту Незламний в першому та другому поколіннях після обробки. *Фактори експериментальної еволюції організмів*: зб. наук. праць. К.: Укр. Т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 2016. Т. 19. С. 133–138.
7. Кацан В.А., Потопальський А.І., Задорожній Б.О. Вплив наносрібла різної концентрації на ріст, зернову продуктивність рослин вівса сорту Незламний та на вміст фотосинтетичних пігментів у листках на стадії викидання волотей *Фактори експериментальної еволюції організмів*: зб. наук. праць. К.: Укр. Т-во генетиків і селекціонерів ім. М.І. Вавилова, 2017. Т. 21. С. 52–56.
8. Плохинский Н.А. Биометрия: монография. М.: Изд-во МГУ, 1970. 367 с.
9. Li Y.Y., Shen A., Xiong W., Sun Q.L., Luo Q., Song T., Li Z.L., Luan W.J. Overexpression of OsHox32 Results in Pleiotropic Effects on Plant Type Architecture and Leaf Development in Rice. *Rice* (N.Y). 2016. Vol. 9 (1). P. 46. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5021653/> (Last accessed: 11.03.2018).

References

1. Katsan V.A., Potopalsky A.I. Peculiarities of Exogenic DNAs Preparations Action on the New Forms Tobacco Obtaining: monograph. K.: Kolobig, 2007. 176 p.
2. Kim J.A., Kim H.S., Choi S.H., Jang J.Y., Jeong M.J., Lee S.I. The Importance of the Circadian Clock in Regulating Plant Metabolism. *Int. J. Mol. Sci.* 2017. Vol. 18 (12). 2680. URL: <http://www.mdpi.com/1422-0067/18/12/2680> (Last accessed: 11.03.2018).
3. Yurkevych L.N., Katsan V.A., Potopalsky A.I. Izatison and Nanosilver Influence on the Growth, the Productivity and on the Photosynthetic Pigments Content of the Oat Plants: Materials of XI Ukrainian Biochemical Congress (October 6–10, 2014, Kyiv). *Ukrainian Biochemical Journal*. Vol. 86, No. 5, (Supplement 2). P. 168–169.
4. Katsan V.A., Yurkevych L.N., Potopalsky A.I. Izatison and Nanosilver are Able to Induce the Changes in Growth and Productivity of Oat Plant Cultivar Nezlamny Persisting in the Next Generation. *Factors of Experimental Evolution of Organisms: collection of academic papers*. K.: M.I. Vavilov Society of Geneticists and Breeders of Ukraine, 2015. Vol. 16. P. 114–119.
5. Katsan V.A., Yurkevych L.N., Potopalsky A.I. Izatison and Its Constituents May Induce the Changes of Some Adaptive Functions of Plants Persisting in the Next Generations after Treatment. *Fourth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research: Books of Abstracts* (Niš, Serbia, May 23–27 2016). Niš, 2016. P. 74.
6. Katsan V.A., Potopalsky A.I., Yurkevych L.N. Influence of Izatison and Nanosilver on the Content of the Photosynthetic Pigments in the Oat Nezlamny over Two Generations after Treatment. *Factors of Experimental Evolution of Organisms: collection of academic papers*. K.: M.I. Vavilov Society of Geneticists and Breeders of Ukraine, 2016. Vol. 19. P. 133–138.
7. Katsan V.A., Potopalsky A.I., Zadorozhnyi B.O. Influence of the Nanosilver Different Concentrations on the Growth, the Grain Productivity of the Oat Cultivar Nezlamny and on the Photosynthetic Pigments Content in the Leaves in the Onset of Panicle Formation. *Factors of Experimental Evolution of Organisms: collection of academic papers*. K.: M.I. Vavilov Society of Geneticists and Breeders of Ukraine, 2017. Vol. 21. P. 52–56.
8. Plohinsky N.A. Biometry: monograph. M.: Moscow State University publishing house, 1970. 367 p.
9. Li Y.Y., Shen A., Xiong W., Sun Q.L., Luo Q., Song T., Li Z.L., Luan W.J. Overexpression of OsHox32 Results in Pleiotropic Effects on Plant Type Architecture and Leaf Development in Rice. *Rice* (N.Y). 2016. Vol. 9 (1). P. 46. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5021653/> (Last accessed: 11.03.2018).

KATSAN V.A.¹, POTOPALSKY A.I.^{1,2}, ANTONENKO M.Y.², ZADOROZHNI B.O.^{1,2}

¹ *Institute of Molecular Biology and Genetics of Natl. Acad. Sci. of Ukraine, Ukraine, 03680, Kyiv, Akad. Zabolotnogo str., 150, e-mail: val.katsan@gmail.com*

² *Institute of health improvement and rebirth of the peoples of Ukraine, Ukraine, 03680, Kyiv, Akademika Zabolotnogo str., 150, e-mail: potopalsky@imbg.org.ua*

INFLUENCE OF THE SUPPLEMENTAL LIGHTENING BY THE SOLAR-POWERED LAMPS ON THE GROWTH, DEVELOPMENT AND THE GRAIN PRODUCTIVITY OF THE OAT CULTIVAR NEZLAMNY

Aim. The article dedicated to the investigation of the influence of the supplemental lightening by the solar-powered lamps on the growth, development and the grain productivity of the oat cultivar Nezlamny during the cultivating in glass greenhouse under the short growing day conditions. **Methods.** The solar-powered lamps Expert Light ELWf-SGL-

S11107 5P were used for the constant supplemental lightening. The lamps were exposed to the completion of the oat development. After the grain ripening, 10 plants in each variant were selected evenly of the plot area for analysis of the growth characteristics and the grain productivity elements. The next parameters were analyzed: the stem length (**Ls**), the main panicle length (**L**), the grains number in the panicle, (**G**); the grains weight from the panicle, (**W**). The obtained data were analyzed statistically. **Results**. Besides of the plants architecture alteration, the decrease of the grain productivity was shown in the prevailing majority plants affected by the constant supplemental solar-powered lamps lightening. **Conclusions**. The constant supplemental lightening by the solar-powered lamps may be the stressor negatively influenced the morphogenesis and the grain productivity of the oat plants.

Keywords: supplemental lightening, solar-powered lamps, oat, changes of morphogenesis and productivity.