

УДК 577.342

THE EXPERIENCE OF DETERMINING THE INFLUENCE OF RADIATION OF INCANDESCENT LAMPS AND LED LAMPS ON BARLEY SEEDLINGS
ДОСВІД ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ ВИПРОМІНЮВАННЯ ВІД ЛАМП РОЗЖАРЮВАННЯ І СВІТЛОДІОДНИХ ЛАМП НА ПРОРОСТКИ ЯЧМЕНЮ

Kundelchuk O.P./Кундельчук О.П.
c.b.s., as. prof. / к.б.н., доц.

Kotovskii I.N. / Котовський І.М.
c.g.s., as.prof. / к.геогр.н., доц.

Goncharenko T.L./Гончаренко Т.Л.
c.ped.s., as. prof. / к.пед.н., доц.
ORCID: 0000-0002-2021-9320

Golovko N.Yu. / Головко Н.Ю.
postgraduate / аспірант
ORCID: 0000-0002-9011-6511

Kherson State University, Kherson, University str., 27, 73000

Херсонський державний університет, Херсон, вул. Університетська 27, 73000

Анотація. Енергозберігаючі світлодіодні лампи порівняно зі звичайними лампами розжарювання характеризуються надмірним випромінюванням в блакитній області спектру, що може порушувати роботу клітин сітківки ока, впливати на синтез мелатоніну і, таким чином, призводити до порушень добових біологічних ритмів роботи організму людини. При цьому навіть в одній партії продукції лампи часто істотно відрізняються за спектрами випромінювання. Оскільки короткохвильове випромінювання володіє ристінгуючим впливом на рослини, в роботі запропоновано використовувати доступну для пересічних споживачів тест-систему «проростаюче насіння» для виявлення надлишкової кількості короткохвильового випромінювання від світлодіодних ламп.

Проведені дослідження показали, що на відстані, яка знімає температурні відмінності випромінювання від LED ламп і ламп розжарювання, і за умови відсутності екранування випромінювання скляною кришкою чашки Петрі, відбувається статистично достовірне гальмування росту епікотилів, але не коренів, проростків ячменю (*Hordeum vulgare*) випромінюванням від LED лампи порівняно з випромінюванням від лампи розжарювання. Отримані дані дозволяють рекомендувати використання показника «середня довжина епікотилів проростків ячменю» для виявлення надлишкової кількості короткохвильового випромінювання від світлодіодних ламп порівняно з лампами розжарювання.

Ключові слова: світлодіодні лампи, лампи розжарювання, біологічний вплив, проростки ячменю, ростова тест-система.

Вступ. У всьому світі зростає рівень використання енергозберігаючих ламп. При цьому сьогодні майже повсюдно відбувається перехід до використання енергозберігаючих ламп нового покоління - т.зв. світлодіодних або LED ламп, які є екологічно більш безпечними порівняно з енергозберігаючими лампами першого покоління (т.зв. CLF лампами). LED лампи, на відміну від CLF ламп,

не є джерелами ртутного забруднення навколишнього середовища [30]. Крім того, вони випромінюють менше небезпечних УФ-А променів і не випромінюють ще більш небезпечних УФ-В променів [4, 10].

Однак, не дивлячись на ряд важливих переваг, використання LED ламп все більше викликає занепокоєння у лікарів у зв'язку з відмінностями в спектральних характеристиках LED ламп і звичайних ламп розжарювання. Дані відмінності здатні привести до порушення не тільки роботи зорового апарату людини, але також викликати розвиток системних захворювань, пов'язаних зі збоєм циркадіанних (добових) біологічних ритмів і, як наслідок, з порушеннями обміну речовин в організмі.

Одним з найбільш істотних недоліків LED ламп, в порівнянні з лампами розжарювання, є надмірне випромінювання в блакитній області спектра [11, 13, 18, 27]. Надлишок блакитних променів здатний викликати загибель клітин сітківки ока, призводити до порушення синтезу мелатоніну і, як наслідок, впливати на добові біологічні ритми людини, провокуючи порушення фізіологічних і психічних процесів в організмі [8, 16, 22, 36].

Згідно з експериментальними даними, рівень блакитного випромінювання від побутових LED ламп не перевищує встановлених в світі нормативів [21, 23-24]. Однак, проведені дослідження свідчать про те, що прийняті нормативи повинні бути переглянуті, оскільки не відображають реальної небезпеки від допустимих на сьогоднішній день рівнів блакитного випромінювання LED ламп [5, 14, 18, 28]. Крім того, несумлінність деяких виробників енергозберігаючих ламп часто призводить до потрапляння на ринок продукції, яка не відповідає чинним нормативам за спектрами випромінювання побутових освітлювальних приладів.

Все це породжує ряд питань, що стосуються безпеки побутових освітлювальних систем. При цьому проблема ускладнюється недоступністю для рядових споживачів дорогої апаратури, яка дозволяє проводити спектральний аналіз випромінювання від придбаних на ринку побутових освітлювальних приладів.

У зв'язку з вищевикладеним, актуальною є розробка доступної для використання тест-системи, яка дозволяє виявляти надлишок регуляторного

блакитного випромінювання в спектрі побутових ламп. Слід зазначити, що блакитні промені володіють регуляторною дією не тільки по відношенню до організму людини, але також і по відношенню до організму рослин. Причому, в разі рослин - навіть більш яскраво вираженою, внаслідок особливостей їхнього способу життя і харчування. Зокрема відомо, що блакитні промені гальмують ріст рослин [19, 32-33]. Виходячи з цих даних, нами була зроблена спроба використати класичну тестову систему «проростаюче насіння рослин» для виявлення надлишку регуляторних блакитних променів в спектрі побутових LED ламп в порівнянні зі звичайними лампами розжарювання.

Матеріали та методи дослідження. Насіння ячменю (*Hordeum vulgare*) пророщували на закипій і охолодженій водопровідній воді протягом 4-х днів в темряві або під випромінюванням лампи розжарювання (60 Вт, 230 В) або LED лампи (Feron, LED, E27 цоколь, 6W, 2700 К, тепле біле світло) (режим освітленості: 12 год світло/12 год темрява) при температурі +21,5°C на відстані 85 см від відповідної лампи. На 4 добу пророщування вимірювали довжину коренів і епикотилів проростків ячменю. На підставі отриманих даних розраховували середню довжину коренів і середню довжину епикотилів. Всі дані статистично оброблялися.

Інтенсивність освітленості і рівень ультрафіолетового випромінювання від ламп обох типів встановлювали з використанням цифрового вимірювального комплексу "Einstein™". Температуру поверхні під лампами обох типів вимірювали з використанням побутового термометра. Для визначення рівня електромагнітного радіохвильового випромінювання від ламп, які тестувалися, було проведено заміри напруженості магнітного і електричного полів з використанням приладу «Soeks», який реєструє електромагнітні хвилі в діапазоні частот 20 Гц - 2000 Гц.

Результати проведених досліджень. Перед проведенням біотестування, нами були зроблені виміри освітленості і рівня ультрафіолетового випромінювання від ламп, використаних в роботі, за допомогою цифрового вимірювального комплексу "Einstein™". Освітленість від лампи розжарювання склала 499,34 Лк,

рівень ультрафіолетового випромінювання – $0,007 \text{ Вт/м}^2$; при пропусканні світла через скло чашки Петрі рівень освітленості знизився до $418,00 \text{ Лк}$, рівень УФ-випромінювання залишився незмінним. Освітленість від LED лампи склала $139,49 \text{ Лк}$, рівень ультрафіолетового випромінювання – $0,007 \text{ Вт/м}^2$; після пропускання світла через скло чашки Петрі - рівень освітленості знизився до $67,84 \text{ Лк}$; рівень ультрафіолетових променів залишився незмінним.

Відомо, що скло балонів ламп розжарювання і LED ламп здатне пропускати довгий ультрафіолет-А, відсікаючи при цьому короткохвильовий ультрафіолет-В. При проходженні пучка світла через скло чашки Петрі - відбувається часткове розсіювання або поглинання всіх типів променів, при цьому найбільші втрати випромінювання фахівці реєструють в спектрі УФ-А променів [25]. Однак, використаний в нашій роботі прилад не зареєстрував цих відмінностей, можливо, внаслідок того, що рівень змін в інтенсивності УФ-А променів виявився нижче порога чутливості приладу.

Оскільки на ростові параметри рослин істотно впливає температура, при якій розвиваються проростки, нами були проведені заміри температури поверхні під лампами обох типів за допомогою побутового кімнатного термометра. Проведені дослідження виявили на відстані 27 см від ламп відмінності в $+1,5^\circ\text{C}$ між лампами двох типів; тоді як вже на відстані 85 см від ламп температурні відмінності робочої поверхні між лампами обох типів були відсутні.

Відомо також, що LED лампи здатні в процесі своєї роботи генерувати радіохвильове випромінювання, яке, при не сумлінності виробників, не завжди екранується в LED лампах [7, 17] і може впливати на ростові параметри рослин [31]. Крім того, було встановлено, що навіть просте включення електричних побутових приладів в мережу змінює параметри електричного і магнітного полів на досить великій відстані від приладів. У зв'язку з вищевикладеним, нами було здійснено виміри напруженості магнітного і електричного полів від настільних ламп, які тестувалися, з використанням приладу «Soeks».

Проведені дослідження показали, що на робочому столі на відстані 27 см від лампи при вимкнених з мережі настільних лампах величини напруженості

магнітного і електричного полів склали 0,01 – 0,02 мкТл і 0 кВ/м, відповідно. Включення настільної LED лампи в розетку в режимі «Виключено» не привело до змін в напруженості магнітного поля, однак, викликало появу електричного поля напруженістю 0,02 – 0,03 кВ/м. Включення LED лампи знизило значення напруженості електричного поля до 0,02 кВ/м, залишивши незмінними показники напруженості магнітного поля. Екранування лампи склом не вплинуло на показники напруженості електромагнітного поля. На відстані 85 см від включеної LED лампи напруженість магнітного і електричного полів склали 0,01 мкТл і 0 кВ/м, що відповідає параметрам електромагнітного поля до включення лампи в мережу.

Для лампи розжарювання - тенденції в змінах напруженості магнітного і електричного полів були аналогічними LED лампі в подібних експериментальних умовах. Однак, необхідно відзначити більш високі значення напруженості електричного поля для лампи розжарювання в порівнянні з LED лампою в режимі «Виключено» на відстані 27 см від лампи (0,04 кВ/м і 0,02 – 0,03 кВ/м, відповідно).

Таким чином, результати проведених нами досліджень з використанням приладу «Soeks» не виявили принципових відмінностей в напруженості магнітного і електричного полів, створюваних лампою розжарювання і LED лампою в діапазонах частот, що реєструються цим приладом (тобто 20 Гц - 2000 Гц). Згідно з літературними даними LED лампи здатні генерувати більш високочастотне радіохвильове випромінювання, проте технологічні характеристики приладу «Soeks» не дозволяють їх зареєструвати.

Результати впливу випромінювання від різних типів ламп на ріст коренів і епикотилів проростків ячменю наведені в таблицях 1-2. В контрольних умовах пророщування (темрява від дерев'яної коробки + чашки Петрі, закриті скляними кришками) довжина коренів склали, в середньому, $33,57 \pm 4,65$ мм. При експозиції закритих склом чашок Петрі під випромінюванням тестованих ламп - інтенсивність росту коренів достовірно зменшилася: до $25,56 \pm 5,70$ мм під випромінюванням від лампи розжарювання і до $26,08 \pm 4,68$ мм під випромінюванням від LED лампи.

Випромінювання від обох типів ламп також статистично достовірно загальмувало ріст епикотилів проростків при вирощуванні їх під скляними кришками чашок Петрі: з $39,78 \pm 3,03$ мм в темновому контролі до $33,06 \pm 3,43$ мм під лампою розжарювання і до $35,58 \pm 2,62$ мм під LED лампою. При цьому статистично достовірні відмінності між рівнями ріст-інгібуючого ефекту від різних типів ламп - були відсутні (як для коренів, так і для епикотилів).

Експонування проростків під лампами, які тестувалися, без скляних кришок на чашках Петрі - сильно загальмувало ріст проростків через відсутність т.зв. парникового ефекту. При цьому ростові параметри коренів, вирощуваних під різними типами ламп - статистично не відрізнялися: $10,82 \pm 1,37$ мм для лампи розжарювання і $12,68 \pm 1,79$ мм для LED лампи. Тоді як інгібування росту епикотилів було достовірно більш сильним при вирощуванні проростків під LED лампою порівняно з лампою розжарювання: $24,47 \pm 1,96$ мм і $20,25 \pm 2,73$ мм, відповідно.

Якби інгібування росту епикотилів було пов'язано тільки з відсутністю парникового ефекту в чашках Петрі без скляних кришок, тоді відмінності між тестованими лампами були б відсутні - оскільки температура поверхні на відстані 85 см від ламп обох типів була однаковою. Таким чином, випромінювання від LED лампи в порівнянні з випромінюванням від лампи розжарювання, достовірно загальмувало ріст епикотилів проростків ячменю при їх вирощуванні без скляних кришок чашок Петрі. Відсутність відмінностей в ріст-інгібуючому ефекті між різними типами ламп в варіантах пророщування під скляними кришками чашок Петрі може бути пов'язана з меншим проникненням регуляторного випромінювання через скло.

Таблиця 1

Вплив світлового випромінювання від різних типів ламп на ріст коренів проростків ячменю

Варіант обробки:	Середня довжина коренів, мм $\pm S_x \cdot t_{st}$:	
	Лампа розжарювання:	LED лампа:
Контроль, темрява + скляна кришка	$33,57 \pm 4,65$	$33,57 \pm 4,65$
85 см від лампи під	$25,56 \pm 5,70$ *	$26,08 \pm 4,68$ *

скляною кришкою		
85 см від лампи без скляної кришки	10,82 ± 1,37 *	12,68 ± 1,79 *

* - відмінності між контролем і варіантом є статистично достовірними.

Таблиця 2

Вплив світлового випромінювання від різних типів ламп на ріст епикотилів проростків ячменю.

Варіант обробки:	Середня довжина епикотилів, мм ± Sx·tst:	
	Лампа розжарювання:	LED лампа:
Контроль, темрява + скляна кришка	39,78 ± 3,03	39,78 ± 3,03
85 см від лампи під скляною кришкою	33,06 ± 3,43 *	35,58 ± 2,62 *
85 см від лампи без скляної кришки	24,47 ± 1,96 *	20,25 ± 2,73 *§

* - відмінності між контролем і варіантом є статистично достовірними;

§ - відмінності між типами ламп, які тестувалися, є статистично достовірними.

Обговорення отриманих результатів. Відомо, що електромагнітне випромінювання здатне як гальмувати, так і активувати ростові процеси у коренів і пагонів рослин. При цьому ріст-інгібуючою складовою електромагнітного спектра є блакитні промені [3, 20], УФ-А випромінювання, далекі-червоні промені [9, 35] і ближнє інфрачервоне випромінювання [15]. Тоді як далеке інфрачервоне (теплове) випромінювання [26, 29] здатне, в межах температурного оптимуму для організмів відповідних груп, стимулювати ростові процеси у рослин. Спрямованість ростового ефекту радіохвильового випромінювання – залежить від видової приналежності рослин, від інтенсивності, тривалості і частотного діапазону електромагнітних хвиль, що діють на рослини [31].

Аналіз літературних даних за результатами дослідження спектрів випромінювання ламп розжарювання і світлодіодних LED ламп показав відмінності між цими типами ламп як у спектрах, так і в інтенсивності випромінювання по окремих лініях спектра. Зокрема, було встановлено, що лампи розжарювання дають надмірне випромінювання в червоній та інфрачервоній (тепловій) областях спектра, що є несприятливим фактором для роботи зорового аналізатора людини [7]. Крім того, лампи розжарювання в процесі роботи освітлювальних пристроїв випромінюють низькочастотні

електромагнітні хвилі (3 Гц – 3 кГц), тривалий вплив яких на організм людини також може становити загрозу для здоров'я [6].

LED лампи характеризуються надмірним випромінюванням в короткохвильовій блакитній області спектра. Більш того, при несумлінності виробників світлодіодних ламп, на ринок можуть потрапляти LED лампи, які дають надмірне випромінювання в ультрафіолетовій і радіохвильовій частинах електромагнітного спектра. Так, літературні дані свідчать про те, що випромінювання від світлодіодних ламп (LED ламп) включає не тільки світлову складову, а й значний рівень електромагнітного радіохвильового шуму в діапазоні частот 30 – 300 МГц, який генерується LED лампами в процесі їх роботи. Це побічне радіохвильове випромінювання не є результатом генерування світла лампами даного типу, а пов'язане з механізмами, задіяними в їх роботі. Міжнародні нормативи обумовлюють допустимий рівень радіохвильового випромінювання від світлодіодних ламп. Однак, ці нормативи, як правило, носять рекомендаційний характер. Встановлення захисних від радіохвильового випромінювання екранів на побутові LED лампи значно підвищує їх собівартість і є не вигідним для виробників. Таким чином, не виключається можливість попадання на ринки LED ламп рівень радіохвильового випромінювання від яких перевищує гігієнічно допустимі нормативи і може становити небезпеку для здоров'я споживачів [17].

Оскільки інтенсивність теплового випромінювання є одним з найважливіших факторів, які визначають спрямованість ростових процесів у рослин [20, 34], нами були проведені вимірювання температури поверхні під лампою розжарювання і LED лампою. На відстані 27 см від ламп – різниця в температурі складала $+1,5^{\circ}\text{C}$ ($+23^{\circ}\text{C}$ для лампи розжарювання і $+21,5^{\circ}\text{C}$ для LED лампи). Однак, вже на відстані 85 см від ламп температура поверхні була однаковою під лампами обох типів і становила $+21,5^{\circ}\text{C}$. В результаті проведених досліджень нами було вибрано відстань від ламп до чашок Петрі з проростаючим насінням ячменю – 85 см, як таку, що знімає теплові відмінності в ефекті випромінювання від ламп обох типів.

Результати проведеного нами біотестування показали, що на відстані 85 см від ламп – випромінювання і від лампи розжарювання, і від LED лампи гальмувало ріст коренів і епикотилів проростків ячменю в порівнянні з темновим контролем. При цьому статистично достовірні відмінності між ріст-інгібуючим впливом ламп різного типу нами були виявлені тільки в варіанті експозиції проростків без скляних кришок на чашках Петрі.

Виявлені при експозиції без скляних кришок чашок Петрі відмінності в ріст-інгібуючому ефекті лампи розжарювання і LED лампи на розвиток епикотилів проростків ячменю можуть бути пов'язані як з відмінностями в спектрах випромінювання двох типів ламп, так і з різницею в інтенсивності випромінювання за певними лініями спектру.

Відсутність статистично достовірних відмінностей між ріст-інгібуючим впливом ламп різного типу при вирощуванні проростків під скляними кришками чашок Петрі свідчить про те, що скло сильніше пригнічує проходження регуляторного випромінювання від LED лампи до проростків в порівнянні з випромінюванням від лампи розжарювання, що, в підсумку, нівелює різницю в ростовій відповіді проростків ячменю на випромінювання обох типів ламп.

Відомо, що скло частково перешкоджає проходженню всіх променів електромагнітного спектра, проте найбільшою мірою гальмується проходження коротких УФ-А і блакитних променів, а також - довгого інфрачервоного і радіохвильового випромінювання. Зокрема, дослідження, проведені Т.М.Paris з колегами (2017) [25] показали, що через скляну кришку чашки Петрі проходить 95% видимого спектру випромінювання, тоді як проходження більш коротких УФ-А променів (довжина хвилі 315–400 нм) - помітно знижене: тільки в дослідженому інтервалі 350–400 нм відбувається зниження рівня ультрафіолету А, який проходить крізь скло, з 95% (при довжині хвилі 400 нм) до 68% (при довжині хвилі 350 нм).

У статті Майорова В.А. (2018) [1] вказується, що безбарвне скло добре пропускає все сонячне випромінювання, крім самої короткохвильової частини ультрафіолетових променів (УФ-В); для ближнього теплового інфрачервоного

випромінювання з довжиною хвиль більше 2 мкм – пропускання скла різко зменшується, а для хвиль довших, ніж 4 мкм – безбарвне скло є абсолютно непрозорим. Таким чином, звичайне скло є частково проникним для довгого ультрафіолету (УФ-А), ближнього інфрачервоного випромінювання і практично непроникним для далекого інфрачервоного випромінювання [1].

Серед довгохвильового електромагнітного випромінювання, крім ближніх інфрачервоних променів, скло може також частково пропускати деякі типи радіохвиль. Так, віконне скло товщиною 3 мм здатне на 1–3 дБ поглинати радіохвильове випромінювання сантиметрового, але - не метрового діапазону [2].

Приладові дослідження, проведені нами, показали зниження інтенсивності освітленості від ламп обох типів при проходженні світла через скляну кришку чашки Петрі. Оскільки рівень освітленості від лампи розжарювання до і після проходження променів через скляну кришку чашки Петрі був значно інтенсивнішим, ніж для випромінювання від LED лампи, ми припустили, що причиною однакового ріст-інгібуючого ефекту від випромінювання лампи розжарювання і LED лампи є відсікання склом кришок чашок Петрі біологічно значимої частини електромагнітного спектра випромінювання від LED лампи. Таким біологічно значимим регуляторним випромінюванням можуть бути блакитні промені, ультрафіолет-А, а також (в деяких випадках) радіохвильове випромінювання, рівні яких, згідно з літературними даними, для LED ламп перевищують такі для ламп розжарювання. Відомо, що скло чашок Петрі значно поглинає короткі електромагнітні промені (блакитні промені і ультрафіолет-А), а також - радіохвилі сантиметрового діапазону. Однак, для точної відповіді на питання, який тип регуляторного випромінювання від LED ламп в значній мірі відсікається склом чашок Петрі, необхідне проведення вимірювань з використанням приладів з високим рівнем роздільної здатності, або постановка експериментів по біотестуванню, які дозволять розділити ростові ефекти ультрафіолетового, блакитного і радіохвильового випромінювання від LED ламп.

Слід визначити, що вже на відстані 170 см від LED лампи, ми не виявили статистично достовірних відмінностей в ростовій відповіді епікотилів

проростків, при вирощуванні їх під скляними кришками чашок Петрі, в порівнянні з темновим контролем. Отримані дані дозволяють припустити, що, швидше за все, склом чашок Петрі в значній мірі відсікається саме короткохвильове випромінювання від LED лампи, яке, як відомо, інтенсивніше розсіюється з відстанню в порівнянні з довго-хвильовим випромінюванням.

Необхідно також відзначити, що проростки, експоновані під скляною кришкою чашок Петрі, показали чіткий фототропізм – як на відстані 85 см, так і на відстані 170 см від LED лампи. Фототропізм рослин запускається активуванням рецепторів – фототропінів, які є чутливими до блакитних і УФ-А променів; крім того, фототропічна реакція модулюється фоторецепторами на блакитне світло – криптохромами, а також фоторецепторами на червоне/дальнє червоне світло – фітохромами [12]. Цілком можливо, що на відстані 170 см від LED лампи рівень регуляторного блакитного + УФ-А випромінювання знижується на стільки, що вже не може забезпечити статистично достовірного пригнічення росту епікотилів проростків ячменю, але ще є достатнім для формування епікотилями фототропічної реакції (росту епікотилів у напрямку до джерела випромінювання).

Висновки. В цілому, отримані нами дані свідчать про те, що випромінювання від лампи розжарювання і від LED лампи викликає пригнічення ростових процесів у проростків ячменю і, таким чином, має регуляторний вплив на організм рослини. Однак, оскільки рівень інгібування в експериментах з LED лампами був достовірно вищим, ніж в експериментах з використанням ламп розжарювання, нами був зроблений висновок про потенційно більш високий рівень небезпеки регуляторного випромінювання від енергозберігаючих ламп, в порівнянні з лампами розжарювання. При цьому однак, важливо підкреслити, що надмірне теплове випромінювання від ламп розжарювання на робочій відстані 27 см від лампи – також є несприятливим фактором для функціонування зорового аналізатора людини.

Література:

1. Майоров В.А. Оконные стекла - состояние и перспективы // Оптика и спектроскопия. – 2018. – Т. 124, вып. 4. – С. 559 – 573. <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/45759>.
2. Островский О.С., Одаренко Е.Н., А.А. Шматько А.А. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн // ФИП. - 2003, том 1, № 2, - С. 161 – 173.
3. Ahmad M., Cashmore A.R. HY4 gene of *A. thaliana* encodes a protein with characteristics of a blue-light photoreceptor // Nature. – 1993. – Vol. 366(6451). – P. 162 – 166.
4. Azizi M., Golmohammadi R., Aliabadi M. Comparative Analysis of Lighting Characteristics and Ultraviolet Emissions from Commercial Compact Fluorescent and Incandescent Lamps // J. Res. Health Sci. – 2016. – Vol.16(4). – P. 200 - 205. <http://jrhs.umsha.ac.ir/index.php/JRHS/article/view/2489/pdf>.
5. Behar-Cohen F., Martinsons C., Vienot F., Zissis G., Barlier-Salsi A., Cesarini J.P., Enouf O., Garcia M., Picaud S., Attia D. Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? // Prog. Retin. Eye Res. – 2011. – Vol. 30(4). – P. 239 - 257. doi: 10.1016/j.preteyeres.2011.04.002.
6. Belyaev I., Dean A., Eger H., Hubmann G., Jandrisovits R., Kern M., Kundi M., Moshhammer H., Lercher P., Müller K., Oberfeld G., Ohnsorge P., Pelzmann P., Scheingraber C., Thill R. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses // Rev. Environ. Health. – 2016. – Vol. 31(3). – P. 363 – 397. doi: 10.1515/reveh-2016-0011.
7. Chen L., Zhang X.-W. Which lamp will be optimum to eye? Incandescent, fluorescent or LED *etc* // Int. J. Ophthalmol. – 2015. – Vol. 8(2). – P. 314 – 319.
8. Deinego V.N., Kapstov V.A. Energy saving and LED lamp lighting and human health // Gig. Sanit. – 2013. – Vol. 6. – P. 81 - 84.
9. Devlina P.F. Plants wait for the lights to change to red // PNAS. – 2016. – Vol. 113, No. 27. – P. 7301 – 7303. <http://www.pnas.org/content/pnas/113/27/7301.full.pdf>.
10. Fenton L., Moseley H. UV emissions from low energy artificial light sources // Photodermatol Photoimmunol Photomed. – 2014. – Vol. 30(2-3). – P. 153 - 159. doi: 10.1111/phpp.12094.

11. Gea M., Schiliro T., Iacomussi P., Degan R., Bonetta S., Gilli G. Cytotoxicity and genotoxicity of light emitted by incandescent, halogen, and LED bulbs on ARPE-19 and BEAS-2B cell lines // *J. Toxicol. Environ. Health A.* – 2018. – Vol. 16. – P. 1 - 17. doi: 10.1080/15287394.2018.1510350.
12. Goyal A., Szarzynska B., Fankhauser C. Phototropism: at the crossroads of light-signaling pathways // *Trends Plant Sci.* – 2013. – Vol. 18(7). – P. 393 - 401. doi: 10.1016/j.tplants.2013.03.002.
13. Jaadane I., Villalpando Rodriguez G.E., Boulenguez P., Chahory S., Carre S., Savoldelli M., Jonet L., Behar-Cohen F., Martinsons C., Torriglia A. Effects of white light-emitting diode (LED) exposure on retinal pigment epithelium *in vivo* // *J. Cell Mol. Med.* – 2017. – Vol. 21(12). – P. 3453 - 3466. doi: 10.1111/jcmm.13255.
14. James R.H., Landry R.J., Walker B.N., Ilev I.K. Evaluation of the Potential Optical Radiation Hazards with Led Lamps Intended for Home Use // *Health Phys.* – 2017. – Vol. 112(1). – P. 11 - 17.
15. Johnson C.F., Brown C.S., Wheeler R.M., Sager J.C., Chapman D.K, Deitzer G.F. Infrared light-emitting diode radiation causes gravitropic and morphological effects in dark-grown oat seedlings // *Photochem. Photobiol.* – 1996. – Vol. 63(2). – P. 238 - 242.
16. Kaptsov V.A., Deynego V.N., Ulasyuk V.N. Features of White LED Daylight and human health // *Gig. Sanit.* – 2016. – Vol. 95(7). – P. 597 - 601.
17. Klinger J. Radio interference from LED lighting. Electronic resource: <https://www.emcrules.com/2011/07/radio-interference-from-led-lighting.html>.
18. Krigel A., Berdugo M., Picard E., Levy-Boukris R., Jaadane I., Jonet L., Dernigoghossian M., Andrieu-Soler C., Torriglia A., Behar-Cohen F. Light-induced retinal damage using different light sources, protocols and rat strains reveals LED phototoxicity // *Neuroscience.* – 2016. – Vol. 339. – P. 296 - 307. doi: 10.1016/j.neuroscience.2016.10.015.
19. Koga, R., Meng, T., Nakamura, E., Miura, C., Irino, N., Devkota, H. P., et al. The effect of photo-irradiation on the growth and ingredient composition of young green barley (*Hordeum vulgare*) // *Agric. Sci.* – 2013. – Vol. 4. – P.185 – 194. doi: 10.4236/as. 2013.44027.

20. Ma D., Li X., Guo Y., Chu J., Fang S., Yan C., Noel J.P., Liu H. Cryptochrome 1 interacts with PIF4 to regulate high temperature-mediated hypocotyl elongation in response to blue light // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 2016. – Vol. 113(1). – P. 224 - 229. doi: 10.1073/pnas.1511437113.
21. Necz P.P., Bakos J. Photobiological safety of the recently introduced energy efficient household lamps // *Int. J. Occup. Med. Environ. Health.* – 2014. – Vol. 27(6). – P. 1036 - 1042. doi: 10.2478/s13382-014-0332-2.
22. Oh J.H., Yoo H., Park H.K., Do Y.R. Analysis of circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night // *Sci. Rep.* – 2015. – Vol. 5:11325. doi: 10.1038/srep11325.
23. O'Hagan J.B., Khazova M., Price L.L. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard // *Eye (Lond).* – 2016. – Vol. 30(2). – P. 230 - 233. doi: 10.1038/eye.2015.261.
24. Okuno T., Saito H., Ojima J. Evaluation of blue-light hazards from various light sources // *Dev. Ophthalmol.* – 2002. – Vol. 35. – P. 104 - 112.
25. Paris T.M., Allan S.A., Udell B.J., Stansly P.A. Evidence of behavior-based utilization by the Asian citrus psyllid of a combination of UV and green or yellow wavelengths // *PLoS One.* - 2017 Dec 13;12(12):e0189228. doi: 10.1371/journal.pone.0189228.
26. Quint M., Delker C., Franklin K.A., Wigge P.A., Halliday K.J., van Zanten M. Molecular and genetic control of plant thermomorphogenesis // *Nat. Plants.* – 2016. – Vol. 2:15190. doi: 10.1038/nplants.2015.190.
27. Renard G., Leid J. The dangers of blue light: True story! // *J. Fr. Ophtalmol.* – 2016. – Vol. 39(5). – P. 483 - 488. doi: 10.1016/j.jfo.2016.02.003.
28. Shen C.Y., Xu Z., Zhao S.L., Huang Q.Y. Study on the safety of blue light leak of LED // *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi.* – 2014. – Vol. 34(2). – P. 316 - 321.
29. Sidaway-Lee K., Josse E.M., Brown A., Gan Y., Halliday K.J., Graham I.A., Penfield S. SPATULA links daytime temperature and plant growth rate // *Curr. Biol.* – 2010. – Vol. 20(16). – P. 1493 - 1497. doi: 10.1016/j.cub.2010.07.028.
30. Tan Q., Li J. Potential mercury emissions from fluorescent lamps production

and obsolescence in mainland China // *Waste Manag. Res.* – 2016. – Vol. 34(1). – P. 67 - 74. doi: 10.1177/0734242X15616473.

31. Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P. Plant Responses to High Frequency Electromagnetic Fields // *Biomed. Res. Int.* – 2016. – Vol. 2016:1830262. doi: 10.1155/2016/1830262.

32. Wang L.W., Li Y., Xin G.F., Wei M., Mi Q.H., Yang Q.C. Effects of different proportions of red and blue light on the growth and photosynthesis of tomato seedlings // *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.* – 2017. – Vol. 28(5). – P. 1595 - 1602. doi: 10.13287/j.1001-9332.201705.010.

33. Wheeler R.M., Mackowiak C.L., Sager J.C. Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting // *Agron J.* – 1991. – Vol. 83(5). – P. 903 - 906.

34. Wigge P.A. Ambient temperature signalling in plants // *Curr. Opin. Plant Biol.* – 2013. – Vol. 16(5). – P. 661 – 666. doi: 10.1016/j.pbi.2013.08.004

35. Zheng X., Wu S., Zhai H., Zhou P., Song M., Su L., Xi Y., Li Z., Cai Y., Meng F., Yang L., Wang H., Yang J. Arabidopsis phytochrome B promotes SPA1 nuclear accumulation to repress photomorphogenesis under far-red light // *Plant Cell.* – 2013. – Vol. 25(1). – P. 15 - 133. doi: 10.1105/tpc.112.107086.

36. Zukauskas A., Vaicekauskas R., Vitta P. Optimization of solid-state lamps for photobiologically friendly mesopic lighting // *Appl. Opt.* – 2012. – Vol. 51(35). – P. 8423 - 8432. doi: 10.1364/AO.51.008423.

References:

1. Mayorov V.A. (2018). Window glass - the state and prospects [Optics and spectroscopy] vol. 124, no. 4, pp. 559-573. <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/45759>.

2. Ostrovsky O.S., Odarenko E.N., Shmatko A.A. (2003). Protective shields and absorbers of electromagnetic waves [FIP] vol. 1, no. 2, pp. 161-173.

3. Ahmad M., Cashmore A.R. (1993). HY4 gene of *A. thaliana* encodes a protein with characteristics of a blue-light photoreceptor [Nature] vol. 366(6451), pp. 162–166.

4. Azizi M., Golmohammadi R., Aliabadi M. (2016). Comparative Analysis of Lighting Characteristics and Ultraviolet Emissions from Commercial Compact Fluorescent and Incandescent Lamps [J. Res. Health Sci] vol.16(4), pp. 200-205. <http://jrhs.umsha.ac.ir/index.php/JRHS/article/view/2489/pdf>.

5. Behar-Cohen F., Martinsons C., Vienot F., Zissis G., Barlier-Salsi A., Cesarini J.P., Enouf O., Garcia M., Picaud S., Attia D. (2011). Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: any risks for the eye? [Prog. Retin. Eye Res.] vol. 30(4), pp. 239-257. doi: 10.1016/j.preteyeres.2011.04.002.

6. Belyaev I., Dean A., Eger H., Hubmann G., Jandrisovits R., Kern M., Kundi M., Moshhammer H., Lercher P., Müller K., Oberfeld G., Ohnsorge P., Pelzmann P., Scheingraber C., Thill R. (2016). EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses [Rev. Environ. Health.] vol. 31(3), pp. 363–397. doi: 10.1515/reveh-2016-0011.
7. Chen L., Zhang X.-W. (2015). Which lamp will be optimum to eye? Incandescent, fluorescent or LED *etc* [Int. J. Ophthalmol.] vol. 8(2), pp. 314–319.
8. Deinego V.N., Kaptsov V.A. (2013). Energy saving and LED lamp lighting and human health [Gig. Sanit.] vol. 6, pp. 81-84.
9. Devlina P.F. (2016). Plants wait for the lights to change to red [PNAS] vol. 113, No. 27. pp. 7301–7303. <http://www.pnas.org/content/pnas/113/27/7301.full.pdf>.
10. Fenton L., Moseley H. (2014) UV emissions from low energy artificial light sources [Photodermatol Photoimmunol Photomed.] vol. 30(2-3), pp. 153-159. doi: 10.1111/phpp.12094.
11. Gea M., Schiliro T., Iacomussi P., Degan R., Bonetta S., Gilli G. (2018). Cytotoxicity and genotoxicity of light emitted by incandescent, halogen, and LED bulbs on ARPE-19 and BEAS-2B cell lines [J. Toxicol. Environ. Health A.] vol. 16, pp. 1-17. doi: 10.1080/15287394.2018.1510350.
12. Goyal A., Szarzynska B., Fankhauser C. (2013). Phototropism: at the crossroads of light-signaling pathways [Trends Plant Sci.] vol. 18(7), pp. 393-401. doi: 10.1016/j.tplants.2013.03.002.
13. Jaadane I., Villalpando Rodriguez G.E., Boulenguez P., Chahory S., Carre S., Savoldelli M., Jonet L., Behar-Cohen F., Martinsons C., Torriglia A. (2017). Effects of white light-emitting diode (LED) exposure on retinal pigment epithelium *in vivo* [J. Cell Mol. Med.] vol. 21(12). pp. 3453-3466. doi: 10.1111/jcmm.13255.
14. James R.H., Landry R.J., Walker B.N., Ilev I.K. (2017). Evaluation of the Potential Optical Radiation Hazards with Led Lamps Intended for Home Use [Health Phys.] vol. 112(1), pp. 11-17.
15. Johnson C.F., Brown C.S., Wheeler R.M., Sager J.C., Chapman D.K, Deitzer G.F. (1996). Infrared light-emitting diode radiation causes gravitropic and morphological effects in dark-grown oat seedlings [Photochem. Photobiol.] vol. 63(2), pp. 238-242.
16. Kaptsov V.A., Deynego V.N., Ulasyuk V.N. (2016). Features of White LED Daylight and human health [Gig. Sanit.] vol. 95(7), pp. 597-601.
17. Klinger J. (2011). Radio interference from LED lighting. [Electronic resource: <https://www.emcrules.com/2011/07/radio-interference-from-led-lighting.html>].
18. Krigel A., Berdugo M., Picard E., Levy-Boukris R., Jaadane I., Jonet L., Dernigoghossian M., Andrieu-Soler C., Torriglia A., Behar-Cohen F. (2016). Light-induced retinal damage using different light sources, protocols and rat strains reveals LED phototoxicity [Neuroscience] vol. 339, pp. 296-307. doi: 10.1016/j.neuroscience.2016.10.015.
19. Koga, R., Meng, T., Nakamura, E., Miura, C., Irino, N., Devkota, H. P., et al. (2013). The effect of photo-irradiation on the growth and ingredient composition of young green barley (*Hordeum vulgare*) [Agric. Sci.] vol. 4, pp.185–194. doi: 10.4236/as.2013.44027.
20. Ma D., Li X., Guo Y., Chu J., Fang S., Yan C., Noel J.P., Liu H. (2016). Cryptochrome 1 interacts with PIF4 to regulate high temperature-mediated hypocotyl elongation in response to blue light [Proc. Natl. Acad. Sci. USA] vol. 113(1), pp. 224-229. doi: 10.1073/pnas.1511437113.
21. Necz P.P., Bakos J. (2014). Photobiological safety of the recently introduced energy efficient household lamps [Int. J. Occup. Med. Environ. Health] vol. 27(6), pp. 1036-1042. doi: 10.2478/s13382-014-0332-2.
22. Oh J.H., Yoo H., Park H.K., Do Y.R. (2015). Analysis of circadian properties and healthy levels of blue light from smartphones at night [Sci. Rep.] vol. 5:11325. doi: 10.1038/srep11325.
23. O'Hagan J.B., Khazova M., Price L.L. (2016). Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard [Eye (Lond).] vol. 30(2), pp. 230-233. doi: 10.1038/eye.2015.261.
24. Okuno T., Saito H., Ojima J. (2002). Evaluation of blue-light hazards from various light sources [Dev. Ophthalmol.] vol. 35, pp. 104-112.
25. Paris T.M., Allan S.A., Udell B.J., Stansly P.A. (2017). Evidence of behavior-based utilization by the Asian citrus psyllid of a combination of UV and green or yellow wavelengths

[PLoS One] vol.12(12):e0189228. doi: 10.1371/journal.pone.0189228.

26. Quint M., Delker C., Franklin K.A., Wigge P.A., Halliday K.J., van Zanten M. (2016). Molecular and genetic control of plant thermomorphogenesis [Nat. Plants.] vol. 2:15190. doi: 10.1038/nplants.2015.190.

27. Renard G., Leid J. (2016). The dangers of blue light: True story! [J. Fr. Ophthalmol.] vol. 39(5), pp. 483-488. doi: 10.1016/j.jfo.2016.02.003.

28. Shen C.Y., Xu Z., Zhao S.L., Huang Q.Y. (2014). Study on the safety of blue light leak of LED [Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi] vol. 34(2), pp. 316-321.

29. Sidaway-Lee K., Josse E.M., Brown A., Gan Y., Halliday K.J., Graham I.A., Penfield S. (2010). SPATULA links daytime temperature and plant growth rate [Curr. Biol.] vol. 20(16), pp. 1493-1497. doi: 10.1016/j.cub.2010.07.028.

30. Tan Q., Li J. (2016). Potential mercury emissions from fluorescent lamps production and obsolescence in mainland China [Waste Manag. Res.] vol. 34(1), pp. 67-74. doi: 10.1177/0734242X15616473.

31. Vian A., Davies E., Gendraud M., Bonnet P. (2016). Plant Responses to High Frequency Electromagnetic Fields [Biomed. Res. Int.] vol. 2016:1830262. doi: 10.1155/2016/1830262.

32. Wang L.W., Li Y., Xin G.F., Wei M., Mi Q.H., Yang Q.C. (2017). Effects of different proportions of red and blue light on the growth and photosynthesis of tomato seedlings [Ying Yong Sheng Tai Xue Bao] vol. 28(5), pp. 1595-1602. doi: 10.13287/j.1001-9332.201705.010.

33. Wheeler R.M., Mackowiak C.L., Sager J.C. (1991). Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting [Agron J.] vol. 83(5), pp. 903-906.

34. Wigge P.A. (2013). Ambient temperature signalling in plants [Curr. Opin. Plant. Biol.] vol. 16(5), pp. 661-666. doi: 10.1016/j.pbi.2013.08.004

35. Zheng X., Wu S., Zhai H., Zhou P., Song M., Su L., Xi Y., Li Z., Cai Y., Meng F., Yang L., Wang H., Yang J. (2013). Arabidopsis phytochrome B promotes SPA1 nuclear accumulation to repress photomorphogenesis under far-red light [Plant Cell] vol. 25(1), p. 15-133. doi: 10.1105/tpc.112.107086.

36. Zukauskas A., Vaicekaskas R., Vitta P. (2012). Optimization of solid-state lamps for photobiologically friendly mesopic lighting [Appl. Opt.] vol. 51(35), pp. 8423-8432. doi: 10.1364/AO.51.008423.

Abstract. *Energy saving LED bulbs, in comparison with conventional incandescent lamps, are characterized by excessive emitting in the blue region of the spectrum, which can disrupt the cells of the retina and affect on the synthesis of melatonin. As a result, it violates daily biological rhythms of the human body. Wherein, in one batch of products lamps can often differ significantly in the radiation spectrum. Since short-wave radiation has a growth inhibiting effect on plants, authors suggest use the germination seed test system for detecting an excessive amount of short-wave radiation from light-emitting diode lamps.*

*Research results showed, that at a distance that removes the temperature differences of radiation from LED lamps and incandescent lamps, and in the absence of radiation shielding by the glass cover of the Petri dish, there is statistically significant inhibition of growth of epicotyls, but not roots, barley seedlings (*Hordeum vulgare*) by radiation from the LED lamp, as compared to the radiation from the incandescent lamp. Findings allow to recommend use the indicator «average length of epicotyls of barley seedlings» to detect an excessive amount of short-wave radiation from LED lamps in compared with incandescent lamps.*

Key words: *LED bulbs, incandescent lamps, biological effects, barley seedlings, growth test system.*

Стаття відправлена: 17.06.2019 р.

© Кундельчук О.П., Котовський І.М., Гончаренко Т.Л., Головка Н.Ю.