

УДК 628.979; 621. 273

**М. Гнатович**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

## **ВПЛИВ КОМБІНОВАНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА РОСЛИНИ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ**

**Резюме.** Представлено результати досліджень умов опромінення рослин у закритому ґрунті, проведено аналіз джерел світла з урахуванням спектра випромінювання та його впливу на світлокультуру, наведено спектри випромінювання використаних пристроїв, підібрано енергоощадні опромінювачі. Проведено вимірювання параметрів росту і розвитку рослини та наведені їх порівняльні характеристики за різних умов опромінення. Розраховано енерговитрати кожного опромінювального пристрою (ОП). Показано, що комбінований опромінювальний пристрій при рівні опромінення 3 клк забезпечує кращі показники параметрів росту та розвитку рослин, але при цьому його споживання електроенергії на 26% менше.

**Ключові слова:** комбінований опромінювальний пристрій, світлокультура рослин, джерела світла, світлодіоди.

**M.I. Gnatovych**

## **INFLUENCE OF COMBINED IRRADIATION ON THE INDOOR SOIL PLANTS**

**Summary.** The research results of plants irradiation conditions in the indoor ground are presented. The analysis of the light sources taking into account the irradiation spectrum and its influence on the lightculture has been carried out. The energy-saving irradiators were chosen and the irradiation spectrums of used devices have been presented. The «Flora» – type mini-greenhouses were chosen for the experiments. Two types of irradiated devices were used. They were formed from the compact luminescent lamps of Osram Duluxstar 18W – type and red and blue LED strip lights of SMD 3528 – type. LED strip lights were used as side lighting because the possibility to use the energy-saving and semi-conductors light sources has broadened the possibilities of their application in the lightculture and the effect of their irradiation on plants growth in the indoor ground is actual. Two levels of irradiation were provided: 3000 lux and 5200 lux. The seeds of Extrosa lettuce cultivar and the seeds of Claudio F1 pepper cultivar were grown. The measuring of plants growth was held, green and dried mass of overground part and leaves, the growth index in particular, the area of leaf surface, the pure photosynthesis efficiency and the pigmental composition (chlorophyll a, chlorophyll b and basic carotenoids) under 16-hour light regime and constant temperature of the environment. The comparative characteristics of different irradiating conditions are presented. The light regime is caused by the plants growth due to the photosynthesis processes. It was determined that the net photosynthesis efficiency and the pigmental composition in the leaves of Claudio F1 pepper cultivar under the combined compact luminescent lamps and LED strip lights irradiation has increased by 45%, which makes possible to recommend such type of irradiators for growing of this culture seedlings. The energy consumption of every irradiated device has been calculated. It was shown that combined irradiated devices with the irradiation level of 3000 lux provide better growth parameters or the same as the irradiated devices with the compact luminescent lamps, but the consumption of electric energy is by 26% less. Taking into account all mentioned above it is reasonable to use combined luminescent lamps.

**Key words:** combined irradiated device, plants' lightculture, light sources, light-emitting diode.

**Постановка проблеми.** Аналіз енергоспоживання теплиць показав, що найбільш енергоємними є процеси опромінення та обігрівання рослин. Близько 40% електроенергії, яку споживають тепличні господарства, використовується для опромінення. Тому раціонально шукати шляхи підвищення рентабельності підприємств, а відтак – і збільшення овочевої продукції за рахунок упровадження енергоощадних опромінювальних пристроїв. Крім того, необхідно пам'ятати, що на сьогодні основним напрямком розвитку сільського господарства є інтенсифікація, яка передбачає підвищення врожайності культур замість нарощування площ під ними. В

цьому відношенні важливе значення має забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату теплиць, до яких відноситься і якість опромінення рослин. Тому актуальним є також вивчення впливу якісних параметрів освітлення на процеси росту та морфологічного розвитку рослин. Використання у технологіях опромінення рослин принципово нових джерел світла – світлодіодів, може дозволити значно збільшити показники кінцевої врожайності [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У 2012 році в Умані була створена перша промислова теплиця на світлодіодах (СД). Площа ділянки при змішаному освітленні СД і натрієвими лампами становила 6 тис.м<sup>2</sup>. Усього в теплиці було встановлено 1230 СД модулів та 870 світильників з лампами ДНаТ. Цьому проекту передували дослідження, де СД були використані в якості додаткового освітлення на території 1 тис.м<sup>2</sup>. Експерименти показали, що врожайність томатів зростає і може досягати 73 кг/м<sup>2</sup> на рік. За даним проектом втілено в життя проект в Нідерландах, де на площі 3 га було встановлено два ряди СД лінійок, що призвело до збільшення врожайності у 2013 році на 30%. Аналогічні проекти були впроваджені в Англії, Данії, Канаді, Японії, Китаї та інших країнах [2].

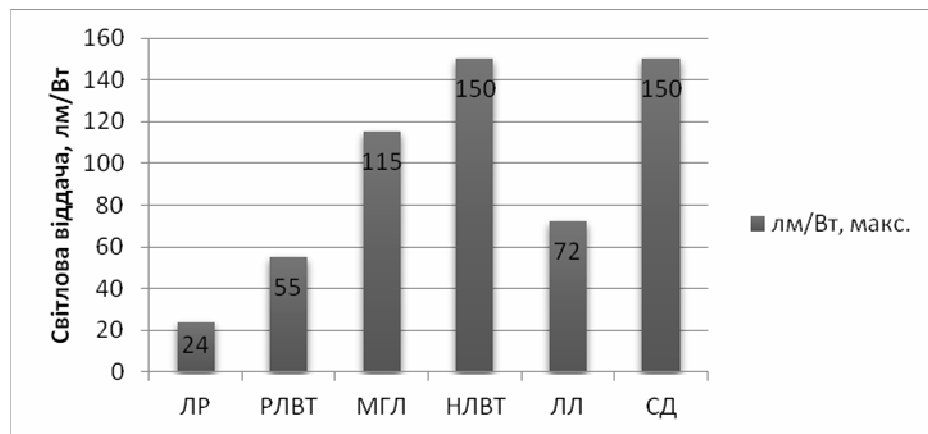


Рисунок 1. Світлова віддача різних типів джерел світла

Figure 1. Light efficiency of different light sources

Проведено аналіз світловіддачі джерел світла, які використовуються для світлокультури рослин (рис.1). Найкращою світловою віддачею володіють натрієві лампи високого тиску та світлодіодні джерела світла. Люмінесцентні лампи, а саме компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) мають дещо меншу світлову віддачу в порівнянні з натрієвими джерелами, проте володіють можливістю регулювання спектрального складу випромінювання за рахунок застосування різних люмінофорів [3]. Як КЛЛ так і СД відносяться до категорії енергоощадних джерел світла. Значно меншу енергетичну ефективність мають ртутні лампи високого тиску та лампи розжарення.

Напівпровідникові джерела світла доцільно використовувати при бічному опроміненні, основна перевага якого полягає в тому, що знаходячись у нижній частині вертикально вирощуваних рослин, світло потрапляє на нижні яруси листків, які, як правило, не достатньо отримують верхнього світла. Це сприяє підвищенню інтенсивності фотосинтезу та позитивно впливає на ріст і розвиток рослин [2].

У рослин за поглинання світла відповідають такі пігменти, як хлорофіли *a* і *b* та каротиноїди. Хлорофіли поглинають світло червоного та синього діапазонів, а каротиноїди – лише синього. Однак максимуми поглинання хлорофілів – головних фотосинтетичних пігментів, знаходяться в межах 640–680 нм, а каротиноїдів – у межах 470–480 нм [4,5,6].

**Мета роботи.** Вивчити вплив випромінювання КЛЛ та комбінованого освітлення (СД та КЛЛ) на процеси росту і розвитку рослин.

**Постановка завдання.** Показати, що комбінований опромінювальний пристрій доцільно використовувати в тепличному господарстві.

**Результати дослідження.** Для проведення досліджень було вибрано міні-теплиці типу «Флора» з КЛЛ і комбінованим освітленням (КЛЛ+СД), причому СД джерела світла використовувались у ролі бічного опромінювання рослин. Експерименти проводились при постійній температурі середовища – 19–21°C та сталому режимі роботи (16 годин опромінювання). Було використано такі два опромінювальні пристрої:

- 1) ОП1 – 4 КЛЛ типу Osram Duluxstar 18W/840, рівень опромінювання 5200 лк;
- 2) ОП2 – 2 КЛЛ типу Osram Duluxstar 18W/840 та 3 світлодіодні стрічки: 1 синя та 2 червоні, рівень опромінювання 3000 лк.

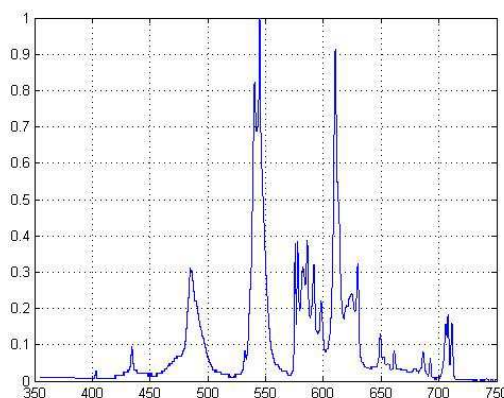


Рисунок 2. Спектр випромінювання КЛЛ Osram Duluxstar 18W/840

Figure 2. Spectrum of CLL Osram Duluxstar 18W/840 radiation

На рис.2 наведено спектр випромінювання КЛЛ типу Osram Duluxstar 18W/840. На даному спектральному діапазоні спостерігаються широкі смуги випромінювання люмінофора та вузькі лінії, що відповідають переходам в атомах ртуті.

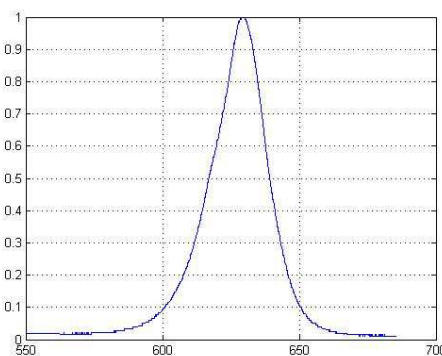


Рисунок 3. Спектр випромінювання червоної СД стрічки

Figure 3. Spectrum of red LD tape radiation

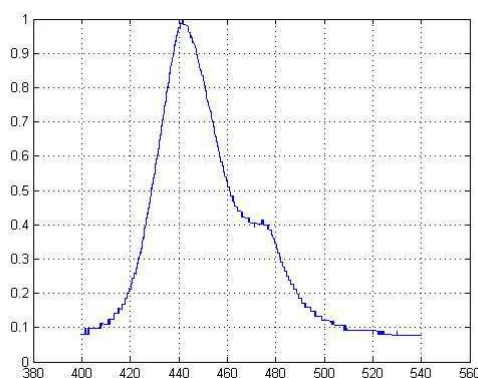


Рисунок 4. Спектр випромінювання синьої СД стрічки

Figure 4. Spectrum of blue LD tape radiation

На рис.3 та 4 наведено спектри випромінювання червоної та синьої СД стрічок. Спектр СД червоного кольору свічення з максимумом при 630 нм складається із достатньо вузької смуги півшириною 30 нм. У спектрі СД синьої світлодіодної стрічки можна виділити 2 смуги: одну з максимумом при 440 нм та півшириною 30 нм, іншу – з максимумом при 470 нм.

Експерименти проводилися з використанням відбірного насіння салату Екстроза та перцю Claudio F1 і були доведені до етапу розсади.

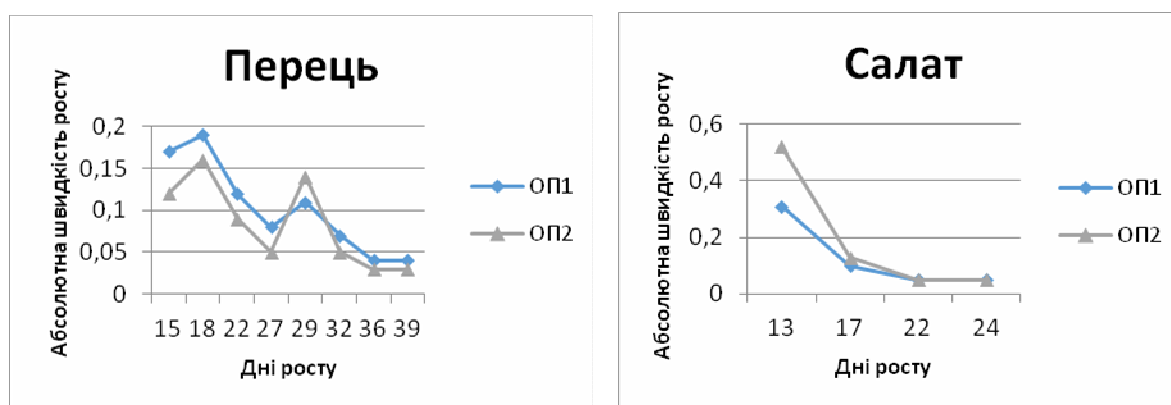


Рисунок 5. Динаміка зміни абсолютної швидкості росту рослин залежно від умов опромінення

Figure 5. The dynamics of variable absolute rate of plants growth according to the conditions of radiation

На рис.5 наведена динаміка зміни абсолютної швидкості росту перцю та салату під дією опромінювальних пристроїв ОП1 та ОП2. Показники перцю, отримані при дії ОП1, переважають над показниками ОП2 у всі дні замірів, окрім 29 дня, проте їх різниця на 39 день незначна, незважаючи на те, що рівень опромінення ОП2 майже у 2 рази менший. Показники салату, навпаки, на перших стадіях росту під дією ОП2 вищі від показників ОП1, а на 22 та 24 дні не відрізняються одні від одних.

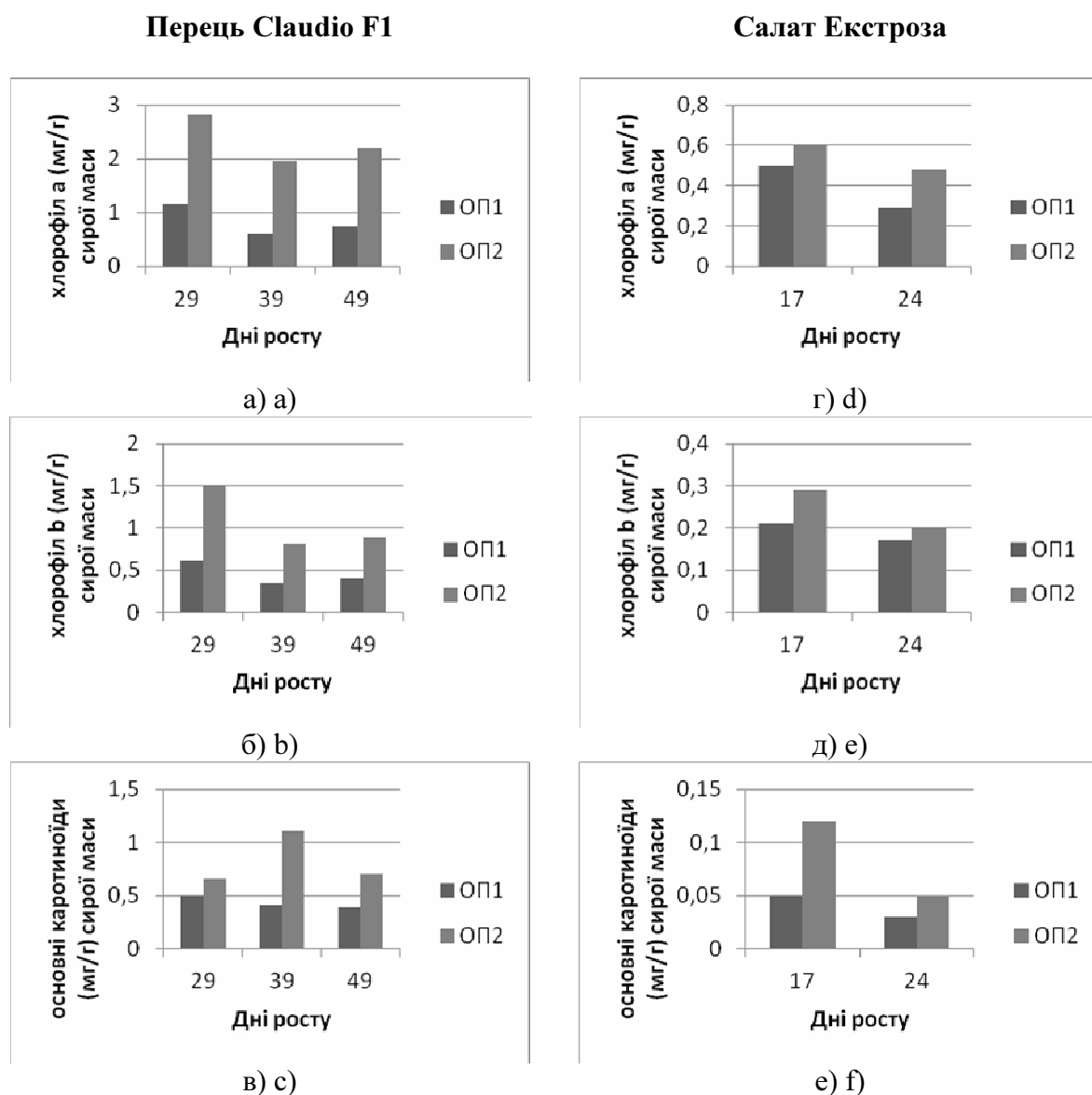
Чиста продуктивність фотосинтезу, що відображає збільшення загальної біомаси рослин за певний проміжок часу відносно показника середньої площі листків за цей самий період для перцю при комбінованому опроміненні на 45% більша, а салату на 35% менша. Оскільки чиста продуктивність фотосинтезу салату при опроміненні

ОП2 менша, ніж при опроміненні ОП1, то можна зробити висновок, що взяте співвідношення між спектрами не підходить для даної рослини. Дані наведено в табл.1.

**Таблиця 1**

Чиста продуктивність фотосинтезу рослин, мг/м<sup>2</sup> за добу

Чиста продуктивність фотосинтезу		
Назва рослини	ОП1	ОП2
Перець	1,12	1,63
<i>% до контролю</i>	–	<i>145,54</i>
Салат	1,44	0,93
<i>% до контролю</i>	–	<i>64,58</i>

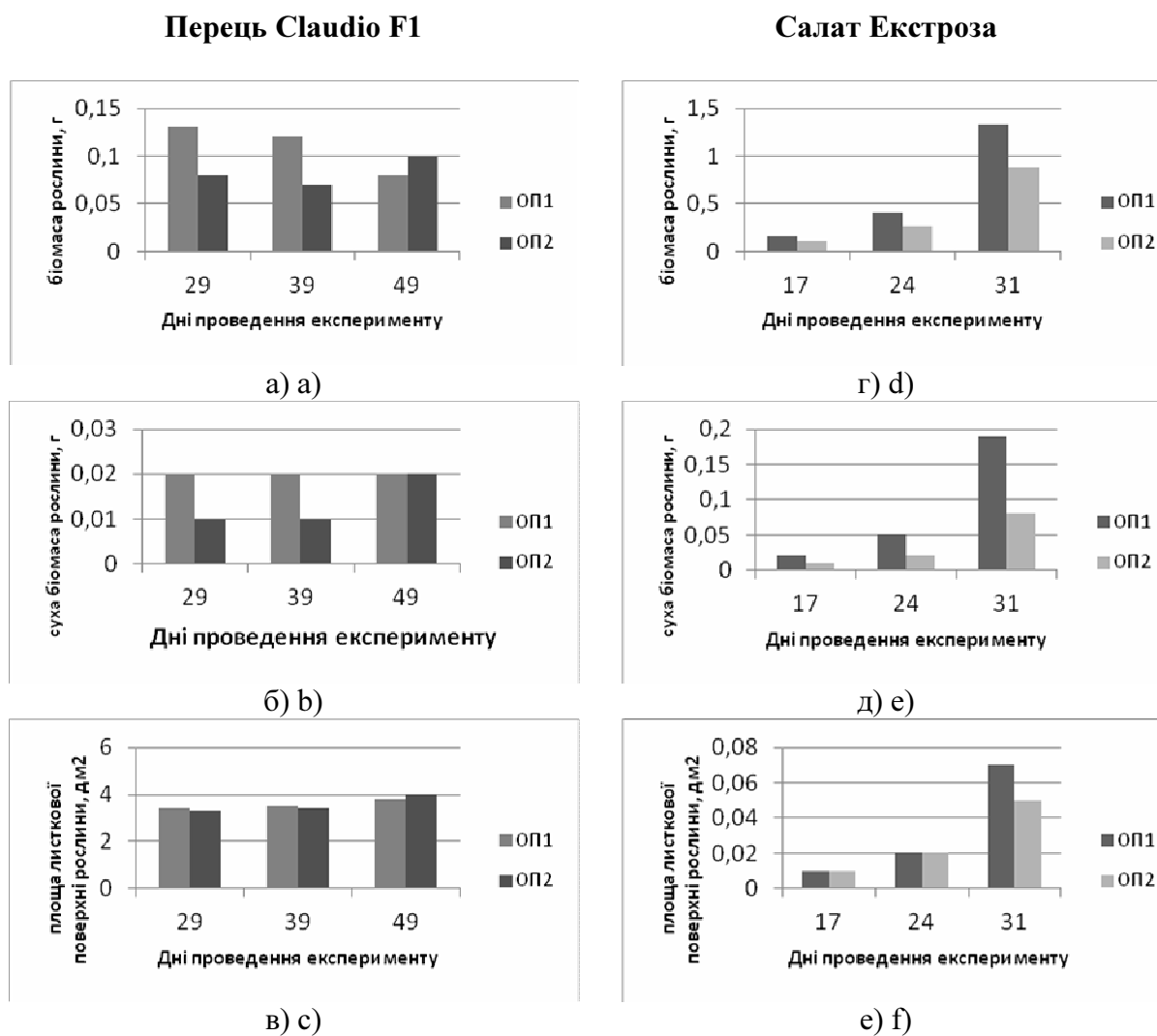


**Рисунок 6.** Залежність морфометричних показників від умов опромінення:  
 а) залежність хлорофілу *a* перцю; б) залежність хлорофілу *b* перцю;  
 в) залежність основних каротиноїдів перцю; г) залежність хлорофілу *a* салату;  
 д) залежність хлорофілу *b* салату; е) залежність основних каротиноїдів салату

**Figure 6.** Dependence of morphometric indexes on conditions of radiation:  
 а) dependence of pepper *a* chlorophyll; б) dependence of pepper *b* chlorophyll;  
 в) dependence of main pepper carotenoids; д) dependence of lettuce *a* chlorophyll;  
 е) dependence of lettuce *b* chlorophyll; ф) dependence of main lettuce carotenoids

На рис.6 подані результати досліджень концентрації пігментів, які відіграють важливу роль у процесі фотосинтезу. Як бачимо з рисунків, концентрації хлорофілів *a* і *b* та основних каротиноїдів як перцю, так і салату при опроміненні ОП2 вищі, ніж при опроміненні ОП1 завдяки збалансованому спектральному складу. Адже спектри випромінювання синьої і червоної стрічок, що входять до складу ОП2, лежать у межах максимального поглинання хлорофілів *a* та *b* і основних каротиноїдів, що дає нам можливість отримання кращих результатів при опроміненні ОП2.

На рис.7 наведено результати вимірювань ростових показників. Отримані дані по перцю: біомаса рослини при ОП2 на 29 та 39 дні менше на 40%, проте на 49 день її показники зросли на 25% відносно використання ОП1 (рис.7а), суха біомаса рослини в перші два заміри при ОП2 була в 2 рази менша, а на 49 день – така ж як і при ОП1 (рис.7б), площа листкової поверхні рослини при ОП2 на 29 і 39 дні менша приблизно на 20% і 5 % відповідно, а на 49 день – більша на 80% відносно ОП1 (рис.7в). Біомаса та суха біомаса салату при опроміненні ОП2 менші від відповідних даних при опроміненні ОП1 (рис.7г,д), а площа листкової поверхні в перші два заміри при опроміненні ОП2 така ж, як і при опроміненні ОП1, а на 31 день – дещо менша.



**Рисунок 7.** Залежність ростових показників від умов опромінення:  
 а) залежність біомаси перцю; б) залежність сухої біомаси перцю;  
 в) залежність площі листкової поверхні перцю; г) залежність біомаси салату;  
 д) залежність сухої біомаси салату; е) залежність площі листкової поверхні салату

**Figure 7.** Dependence of growth indexes on conditions of radiation:  
 а) dependence of pepper biomass; б) dependence of dried pepper biomass;  
 с) dependence of pepper leaf surface; д) dependence of lettuce biomass;  
 е) dependence of dried lettuce biomass; ф) dependence of lettuce leaf surface

Також було оцінено витрати електроенергії використаних освітлювальних приладів з режимом роботи 16 годин опромінення. Потужність ОП1 становить 72 Вт, а

ОП2 53,3 Вт (КЛЛ – 36 Вт та СД лінійок 9,6 Вт на 1 метр). У результаті отримали, що за місяць роботи ОП1 споживає приблизно 35 кВт\*год, а ОП2 за цей же період – 26 кВт\*год. При цьому, незважаючи на те, яким саме приладом опромінювалися рослини, їх показники зміни абсолютної швидкості росту практично не відрізняються. Якщо Використання ОП2 дозволить нам зменшити споживання електроенергії приблизно у 1,5 раза.

Враховуючи перераховане, доцільно використовувати комбіновані опромінювальні прилади.

**Висновки.** Мінімальний рівень опромінення комбінованого ОП при вирощуванні культури салату Екстроза та перцю Claudio F1 в закритому ґрунті становить  $\geq 3000$  лк, при цьому рівень опромінення СД лінійок = 400 лк. Чиста продуктивність фотосинтезу в листках культури перцю Claudio F1 при комбінованому опроміненні лампами КЛЛ та СД лінійками збільшилась на 45%, тому такий тип опромінювача можна рекомендувати для вирощування розсади даної культури. Комбінований опромінювальний пристрій (КЛЛ + СД лінійки) використовує на 26% електроенергії менше, ніж опромінювальний пристрій лише з КЛЛ, при кращих показниках росту і розвитку рослин.

**Conclusions.** The minimal radiation level of combined irradiated device while growing lettuce Extrosa and pepper Claudio F1 in the indoor soil is  $\geq 3000$  luxes, the radiation level being LD = 400 luxes. Net photosynthesis productivity of pepper Claudio F1 leaves increased by 45% under combined radiation by CLL and LD tape, that is why such kind of irradiator can be recommended for growing seedlings of this crop. Combined irradiated device (CLL + LD tape) consumes electric power by 26% less than irradiated device only with CLL under better plants' growth factors.

#### **Список використаної літератури**

1. Речина, О.М. Застосування світлодіодів як перспективних джерел світла [Текст] / О.М. Речина, Ю.М. Куценко, А.В. Вужицький.: [http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik\\_116/sz\\_03\\_116\\_26.pdf](http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_116/sz_03_116_26.pdf)
2. Светодиоды в теплице: время пришло [Текст] // Овощеводство. – 2013. – №10. – С.70–71.
3. Бизяк, Г. Спектры излучения и фотобиологическое действие светодиодов [Текст] / Г. Бизяк, М. Кланичек-Гунде, М.Б. Кобав, К. Маловр-Ребек // Светотехника. – 2013. – №2. – С.20–24.
4. Бриттон, Г. Биохимия природных пигментов: пер. с англ. [Текст] / Г. Бриттон. – М.: Мир, 1986. – 422 с.
5. Гудвин, Т. Введение в биохимию растений [Текст] / Т. Гудвин, Э. Мерсер. – М.: Мир. – 1986. – 392 с. (Т.1).
6. Гудвин, Т. Введение в биохимию растений [Текст] / Т. Гудвин, Э. Мерсер. – М.: Мир. – 1986. – 312 с. (Т.2).

*Отримано 18.08.2014*