

## ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ШТУЧНОГО СВІТЛА ДЛЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ ЗАКРИТОГО ҐРУНТУ

Велит І.А., к.т.н.

Полтавська державна аграрна академія

Одним із шляхів інтенсифікації виробництва екологічно чистої продукції в умовах закритого ґрунту є застосування опромінення рослин штучним світлом. В роботі розглянуті особливості використання джерел штучного освітлення з ефективним спектральним складом випромінювання та зменшеним вмістом ртуті для світлокультури рослин. Досліджувались високоінтенсивні натрієві лампи (ДНаТ400), високоінтенсивні джерела зі складом амальгами натрію з добавками цезію (Hg-20 %, Na-75 %, Cs-5 %), калію (Hg-20 %, Na-79 %, K-1 %), рубідію (Hg-20 %, Na-79 %, Rb-1 %). В результаті експериментів визначено, що спектральний склад випромінювання ламп з добавками Cs, K, Rb має меншу інтенсивність випромінювання в порівнянні зі стандартними натрієвими лампами високого тиску (ДНаТ) в області 500-600 нм і значно більшу інтенсивність в червоній (600-700 нм) та ближній інфрачервоній областях. В експерименті були використані томати двох сортів Гібрид Тарасенко та Де Барао, які були додатково освітлені лампами ДРЛ400, ДНаТ400, високоінтенсивними джерелами світла з наповненнями розрядної трубки (20 ат. % Hg, 77 ат. % Na, 3 ат. % Cs); (20 ат. % Hg, 75 ат. % Na, 5 ат. % Cs); (20 ат. % Hg, 73 ат. % Na, 7 ат. % Cs); (20 ат. % Hg, 70 ат. % Na, 10 ат. % Cs). Встановлені відмінності в реакціях рослин томатів сортів Де Барао і Гібрид Тарасенка на накопичення пігментів та їх співвідношення. Сумарний вміст хлорофілу і каротиноїдів у сортах томатів Де Барао і Гібрид Тарасенка при опроміненні натрієвою лампою високого тиску з добавками цезію є вищим в 1,4÷2,5 рази, ніж при опроміненні ДРЛФ400 і ДНаТ400.

При додатковому освітленні високоінтенсивними розрядними лампами з добавками цезію, які мають склад амальгами (20 ат. % Hg, 75 ат. % Na, 5 ат. % Cs), вирощування рослин томатів на перших етапах розвитку є найбільш ефективним.

**Постановка проблеми.** Інтенсивне виробництво екологічно чистої продукції в умовах тепличного господарства вимагає додаткового освітлення. Енергетична ефективність опромінювальних систем для рослинництва в умовах закритого ґрунту досягається за рахунок використання високоефективних джерел світла зі спектральним складом випромінювання, який сприятливо впливає на біологічні процеси в рослинах. Оптимізація основних параметрів оптичного випромінювання при

виращуванні томатів в теплицях – найважливіша задача досягнення їх рентабельного виробництва.

**Аналіз основних досліджень і публікацій, у яких започатковано розв’язання проблеми.** Формування структурно-функціональної організації фотосинтетичного апарату, спрямованість метаболічних реакцій і морфогенез рослин залежить від інтенсивності та спектрального складу оптичного випромінювання [1].

Енергетичний обмін потребує великої кількості пігментів, що поглинають значну частину випромінювання у фотосинтезно активній ділянці спектру. На відміну від енергетичного обміну, реакції фоторегулювання можуть здійснюватися за допомогою дуже малої кількості пігменту, що поглинає незначну частину падаючого світла. Тому велике значення має комплексна оцінка впливу оптичного випромінювання як окремих, так і різноманітних комбінацій спектральних ділянок фотосинтезно активної радіації на фотосинтезну активність ценозів протягом усього вегетаційного періоду з використанням світлових режимів опромінення з тими спектральними й енергетичними характеристиками, що реально придатні для умов формування повноцінного врожаю [2].

Утворення пігментів пов’язане з величиною фізіологічно активного опромінення. При опроміненні (до 20—25 Вт/м<sup>2</sup>) у ряду рослин максимум утворення хлорофілу відповідає випромінюванню в червоній частині спектра, а при - (30— 70 Вт/м<sup>2</sup>) — у синій. Утворення пігментів відбувається майже однаково під дією випромінювань як у синій, так і в червоній ділянках спектру[3].

При дослідженні впливу оптичного випромінювання на рослини завжди необхідно враховувати, що у фізіологічних процесах (фотосинтез, утворення пігментів, ріст, фотоморфогенез) бере участь тільки та частина випромінювання, що поглинається рослинними тканинами. Умовно зелений листок можна розглядати як плоский світлофільтр, який пропускає і відбиває потік випромінювання за законами оптики. Однак на відміну від прозорих скляних світлофільтрів листок є мутним світлорозсіювачем середовища, що значно ускладнює вимір потоку випромінювання, що пропускається, відбиває і поглинається ним. Спектральні криві пропускання і відбиття енергетичного потоку листками більшості культур показали, що їхні спектральні властивості досить схожі. Як правило, максимум відбиття і пропускання випромінювання знаходиться в зоні зеленої частини спектру (550 нм). Поглинання має два максимуми: один у синьо-фіолетовій (440 нм), а другий – у червоній (близько 660 нм) ділянці спектру (рис.1.) [4].

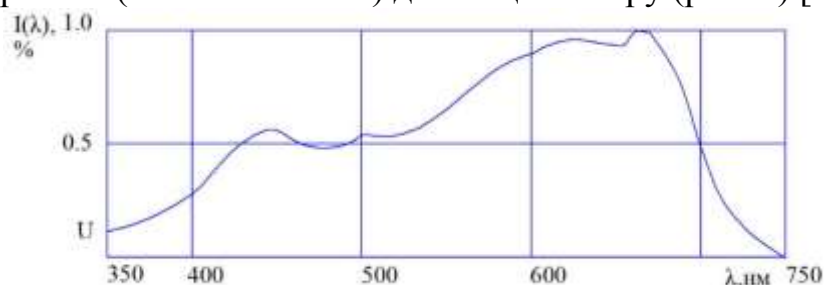


Рисунок 1– Усереднений спектр поглинання ФАР листками різних видів рослин (61 вид) [4].

Рівень впливу "якості" світла на фотосинтез і ростові процеси неоднакові. Швидкість фотосинтезу при вирощуванні рослин у червоній, зеленій або синій ділянках спектру змінюються на 25-30%, а різниця в ростових процесах і накопиченні біомаси може становити 50-90% [5].

На сьогоднішній день для світлокультури рослин застосовують широкий асортимент джерел світла: лампи розжарювання, розрядні лампи низького тиску, розрядні лампи високого тиску набирає популярність використання світлодіодного освітлення.

Кожне джерело має свій спектр випромінювання і по різному впливає на розвиток рослин [6] Натрієві лампи високого тиску (НЛВТ) є найефективнішими джерелами світла. ККД. для цих ламп в області ФАР досягає 27%, що в 1,4-2 рази більше, ніж для люмінесцентних ламп низького тиску, в 2,2-2,5 рази більше ніж для різних ламп високого тиску типу ДРЛФ, та ксенонових ламп і в 7-8 разів більше за ККД ламп розжарювання. Лампи дуже надійні (середній термін роботи перевищує 12000 годин), мають високу стабільність [7]. Натрієві лампи випромінюють в основному в оранжево-жовтій області спектру.

Для світлокультури рослин при питомій потужності  $P_1 > 58 \div 60$  Вт/см ефективнішими є натрієві лампи високого тиску з ККД ФАР ( $\eta_{(ФАР)} = 26-29$ ). Основні характеристики натрієвих ламп високого тиску різних типів приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Основні характеристики натрієвих ламп високого тиску різних типів

| Тип ламп   | Тип дроселя | Іл, А | Ул, В | Рл, Вт | Спектральний розподіл |                |                | Фе, Вт | ККД, η, % |
|------------|-------------|-------|-------|--------|-----------------------|----------------|----------------|--------|-----------|
|            |             |       |       |        | S <sub>1</sub>        | S <sub>2</sub> | S <sub>3</sub> |        |           |
| ДНат-400   | 1ДБИ-       | 4,3   | 130   | 415    | 0,10                  | 0,44           | 0,46           | 124    | 29        |
| LUCALOX    | 400ДНат/    | 4,5   | 125   | 420    | 0,10                  | 0,43           | 0,47           | 127    | 30        |
| SON-T      | 2200-Н-     | 4,7   | 110   | 410    | 0,10                  | 0,56           | 0,34           | 121    | 29        |
| НОС-1      | 009УХЛ1     | 5,1   | 95    | 380    | 0,10                  | 0,50           | 0,40           | 102    | 27        |
| НОС-2      |             | 4,95  | 98    | 340    | 0,09                  | 0,51           | 0,40           | 100    | 29        |
| OSRAM-NaVT |             | 4,5   | 125   | 410    | 0,08                  | 0,50           | 0,42           | 109    | 26        |
| SON        |             | 4,75  | 105   | 385    | 0,10                  | 0,55           | 0,35           | 102    | 27        |
| HPI        | BHL 400L    | 3,55  | 130   | 380    | 0,30                  | 0,58           | 0,12           | 92     | 25        |
| SON-H      | 11          | 3,3   | 145   | 345    | 0,10                  | 0,45           | 0,45           | 89     | 26        |

Для вибору обґрунтованих вимог до спектру випромінювання ламп необхідне проведення досліджень по впливу опромінення різних областей спектра на ріст і розвиток рослин. Такі дослідження проводилися для різних видів рослин: огірка, томата [8]. Як було показано для світлокультури огірка краще випромінювання в діапазонах 500-600нм і 600-700нм. Найкращі результати для промислової технології забезпечує спектральне співвідношення  $E_c : E_z : E_k = (15-20)\% : (35-45)\% : (40-45)\%$ . Істотно інші

висновки про кращі спектри були отримані на ценозі томату. При випромінюванні в області 600-700нм продуктивність ценозу томата найвища. Випромінювання в діапазонах 400-500 і 500-600нм, необхідно в незначних частках, забезпечуючи, очевидно, фотоморфологічні процеси в рослинах. Вимоги до кращих спектральних характеристик для світлокультури томата виглядають так:  $E_c : E_z : E_k = (10-20)\% : (15-20)\% : (60-75)\%$ . Також залишається нез'ясоване питання про вплив спектрального складу світла на рослини різних сортів одного виду.

Для використання НЛВТ в умовах закритого ґрунту необхідно оптимізувати спектральний склад випромінювання під конкретну світло культуру рослин і максимально підвищити променевий потік в цій області ФАР, причому особливої увагу заслуговують питання впливу різних добавок на спектральні характеристики та експлуатаційні параметри НЛВТ.

В роботі [9] проведено дослідження процесів в НЛВТ та з'ясування шляхів їх вдосконалення. Зроблено аналіз факторів, що впливають на параметри НЛВТ. Виходячи з того, що випромінювання НЛВТ в ІЧ- області спектру складає 32%, а випромінювання D-дуплету Na-25%, підвищення можливе за рахунок зменшення частки ІЧ - випромінювання, або за рахунок зменшення теплового потоку з відповідним перетворенням енергії в видиме випромінювання. Фактори, котрі впливають на перерозподіл енергії між складовими енергетичного балансу є діаметр розрядної трубки, температура її стінок і температура розряду. Взаємозв'язок цих факторів потребує їх оптимального вибору.

**Метою роботи** є дослідження спектральних характеристик джерел штучного освітлення з ефективним спектральним складом випромінювання для світлокультури рослин. Обґрунтування вибору амальгами високоінтенсивних джерел світла з добавками лужних металів цезію, калію, рубідію. Встановити відмінності в реакції рослин томатів Гібрид Тарасенко та Де Берао на накопичення пігментів та їх співвідношення при додатковому освітленні лампами ДНаТ400, високоінтенсивними джерелами світла з наповненнями розрядної трубки (20ат. %Hg, 77ат. %Na, 3ат. %Cs20); (20ат. %Hg, 75ат. %Na, 5ат. %Cs); (20 ат. % Hg, 73 ат. % Na, 7 ат. % Cs); (20 ат. % Hg, 70 ат. % Na, 10 ат. % Cs). Запропонувати високоінтенсивні джерела світла зі зменшеною кількістю ртуті, з визначеними добавками цезію в амальгамі для вирощування томатів в умовах закритого ґрунту.

**Методика проведення експериментальних робіт.** Досліджувались натрієві лампи високого тиску з розрядними трубками з полікристалічного окису алюмінію – зовнішній діаметр 8,9 мм, міжелектродна відстань - близько 85мм, наповнювались 25 мг амальгами і ксеноном при холодному тиску близько 20 мм.рт.ст. Склад амальгами натрію з добавками: цезію (Hg-20 %, Na-75 %, Cs-5 %), калію (Hg-20 %, Na-79 %, K-1 %), рубідію (Hg-20 %, Na-79 %, Rb-1%).

Амальгами Na - Hg - Me були виготовлені з точністю дозування основних компонентів  $\pm 0,5$  %. Для одержання амальгами використовувались натрій високої чистоти (ТУ-48-03-54-79) і ртуть марки Р-000. Вміст добавок в амальгамі був від 1 до 10ат.%. Усього виготовлялося по 5 зразків ламп з

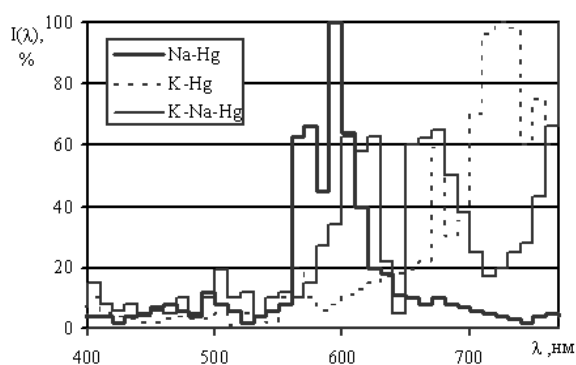
амальгамою кожного складу. Для стабілізації електричних світлових параметрів лампи перед вимірами відпалювались протягом 100 ч. Вимірювання електричних і світлових параметрів виконувалась відповідно до вимог [9]. Похибка виміру електричних і світлових параметрів не перевищує 5%. Виміри спектральних характеристик проводили за допомогою спектрометра ИСП-51 із приймачем - ФЭУ -22 (чуттєвий у діапазоні 400-1200нм), реєстрацію фотострумів- за допомогою потенціометра КСП-4 та цифрового вольтметра В7-27. Градування установки по спектральній чутливості проводилась за допомогою лампи СИРШ-8,5-200 вольфрамовою стрічкою. Виміри параметрів ламп проводились при зміні потужності лампи  $P_{\lambda}$  від 250 до 600 Вт, перекриваючи діапазон традиційних для стандартних НЛВТ питомих потужностей ( $P_1 = 40 \div 60$  Вт/см).

Об'єктом дослідження служили рослини томатів сорту Гібрид Тарасенко і Де Барао. Рослини опроміненні світлом ламп із різним спектральним складом випромінювання. Фотоперіод склав 16 годин. Рослини опромінювались протягом 28 днів. Як джерела світла були обрані натрієві лампи високого тиску з добавками цезію, а також для порівняння, натрієві лампи високого тиску ДНаТ400, ртутні лампи високого тиску з люмінофорним покриттям на колбі ДРЛФ400. Інтенсивність опромінення складала 120Вт/м<sup>2</sup>. Рівень опромінення визначали за методикою [10]. Вміст пігментів визначали спектрофотометричним методом [11] на фотометрі КФК-3МП. Зразки листів досліджували на 22-ий день.

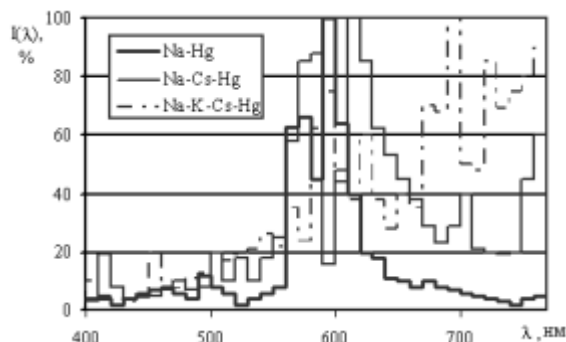
**Виклад основного матеріалу.** Натрієві лампи високого тиску є найбільш ефективними на сьогодні джерелами світла, оскільки світлова віддача, термін роботи і стабільність за часом – одні з найкращих параметрів серед усіх джерел світла. Натрієві лампи високого тиску мають екологічні переваги над іншими джерелами світла з чисто ртутною основою, оскільки питома кількість ртуті на генерацію одиниці світлового потоку у натрієвих ламп – найменша серед усіх розрядних ламп зі ртутною основою. Всі ці переваги натрієвих ламп високого тиску дають можливість та нові перспективи використання цих джерел у тепличному господарстві. Але у НЛВТ 70 % видимого випромінювання цих ламп зосереджене в жовтогарячій та жовтій ділянках спектру. В спектрі суттєво не вистачає синього та червоного випромінювання, і це є головним недоліком цих ламп.

Поліпшення спектрального складу може бути досягнуто введенням у склад амальгами поліпшуючих добавок, тобто таких елементів, у яких потенціали іонізації не вище або хоча б близькі до  $\phi_{Na}$ . Такими елементами будуть лужні метали калій, рубідій, цезій ( $\phi=1,39 \div 2,09$ В). Досліджувались лампи з розрядними трубками діаметром 8,9 мм, міжелектродна відстань – 85 мм і складом амальгами натрію з добавками цезію (Hg-20 %, Na-75 %, Cs-5 %), калію (Hg-20 %, Na-79 %, K-1 %), рубідію (Hg-20 %, Na-79 %, Rb-1 %).

В результаті проведених експериментів отримані наступні результати. Спектральний склад випромінювання ламп з добавками Cs, K, Rb має дещо меншу (в порівнянні зі стандартними натрієвими лампами високого тиску) в області 500-600 нм і значно більшу інтенсивність в червоній (600-700 нм) та ближній інфрачервоній областях (рис.2).



а)



б)

Рисунок 2 – Розподіл відносної спектральної енергії випромінювання ламп з різним наповненням:

а) Na-Hg, K-Hg, K-Na-Hg;

б) Na-Hg, Na-Cs-Hg, Na-K-Cs-Hg

У таблиці 2 приведені дані про вміст хлорофілу і каротиноїдів (мкг/м сирої маси) у рослинах томата сортів Де Барао і Гібрид Тарасенка опромінених натрієвою лампою високого тиску потужністю 400Вт, ртутною лампою високого тиску з люмінофорним покриттям на колбі потужністю 400Вт, натрій - цезієвою лампою високого тиску потужністю 400Вт.

Таблиця 2 – Вміст хлорофілу і каротиноїдів (мкг/г) у листках томатів сортів „Де Барао” і „Гібрид Тарасенка”, опромінених натрієвою лампою високого тиску потужністю 400Вт, ртутною лампою високого тиску з люмінофорним покриттям на колбі потужністю 400Вт, натрій-цезієвою лампою високого тиску потужністю 400Вт

| Сорт томатів | „Де Барао” |          |           |                     | „Гібрид Тарасенка” |          |           |                     |
|--------------|------------|----------|-----------|---------------------|--------------------|----------|-----------|---------------------|
| Тип лампи    | ДНаТ 400   | ДРЛФ 400 | Na-Cs 400 | Природне освітлення | ДНаТ 400           | ДРЛФ 400 | Na-Cs 400 | Природне освітлення |
| День         | 22         | 22       | 22        | 22                  | 22                 | 22       | 22        | 22                  |
| Ca           | 740±34     | 681±34   | 1217±176  | 703±67              | 798±75             | 713±38   | 943±72    | 821±39              |
| Cв           | 211±25     | 172±67   | 1213±258  | 250±84              | 299±53             | 227±77   | 341±58    | 240±46              |
| Ca+Cв        | 951±27     | 853±65   | 243±351   | 953±34              | 1097±258           | 940±26   | 1284±137  | 1061±37             |
| Cк           | 447±56     | 261±32   | 273±75    | 291±26              | 323±84             | 262±55   | 1034±246  | 280±75              |
| Ca/Cв        | 3,5±0,41   | 3,9±0,22 | 1±0,48    | 2,8±0,65            | 2,7±0,38           | 3,1±0,67 | 2,8±0,52  | 3,4±0,46            |

Як видно з таблиці 2 у 22-х денних рослин томатів сортів Де Барао і Гібрид Тарасенка сумарне співвідношення вмісту (Ca+Cв) хлорофілу а(Ca) та хлорофілу в(Cв) при опроміненні натрій-цезієвими лампами вище, ніж при - ДНаТ 400, ДРЛФ400- на 1479, 1577 мкг/м, і 187, 344 мкг/м, відповідно. Відношення вмісту хлорофілу а і в (Ca/Cв) при опроміненні лампами натрій-цезієвими лампами, ДНаТ400 і ДРЛФ400 сортів Де Барао і Гібрид Тарасенка

збільшувалися на 22-й день за рахунок зміни (зменшення) хлорофілу *в*, стосовно хлорофілу *а*. У 22-х денних рослинах сорту Де Барао концентрація каротиноїдів (*Ск*) збільшувалась при опроміненні ДНаТ400 на 156мкг/г. У сорті Гібрид Тарасенка *Ск* змінювалося при опроміненні натрій-цезієвими лампами на 754 мкг/г, ДНаТ400-53 мкг/г.

Наочніше представлена залежність вмісту пігментів у листках рослин томатів сортів „Де Барао” і „Гібрид Тарасенка” при освітленні розрядними лампами високого тиску на рисунку 3.

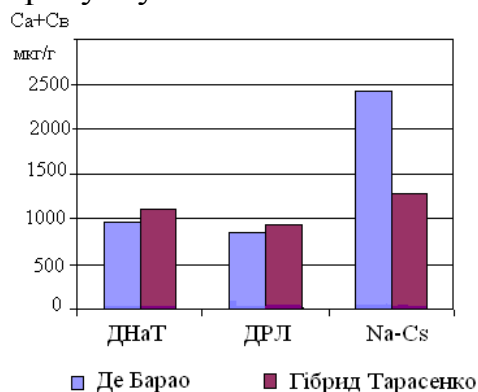


Рисунок 3 – Вміст пігментів у листках рослин томата сортів „Де Барао” і „Гібрид Тарасенка” при додатковому освітленні розрядними лампами високого тиску з добавками цезію, лампами ДНаТ, ДРЛФ

Як видно з рисунку сумарне співвідношення вмісту (*Ca+Cb*) хлорофілу *а*(*Ca*) та хлорофілу *в*(*Cb*) при опроміненні натрій-цезієвими лампами сорту томату Де Барао вище вдвічі, ніж при опроміненні лампами ДНаТ 400, ДРЛФ400.

Проаналізувавши ріст рослин при додатковому освітленні натрієвими лампами високого тиску з добавками цезію різного складу амальгам, представимо залежність ефективності освітлення рослин від складу амальгам (рис. 4).

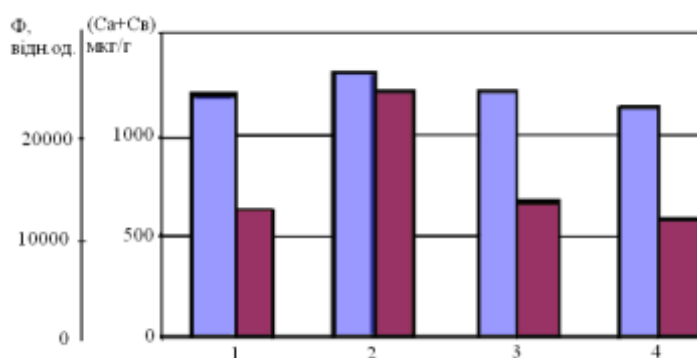


Рисунок 4 – Вміст пігментів у листках рослин томатів при опроміненні натрієвими лампами з різним наповненням :

- 1 – (20ат%Hg, 77ат.%Na, 3ат.%Cs20);
  - 2 – (20ат%Hg, 75ат.%Na, 5ат.%Cs);
  - 3 – (20 ат. % Hg, 73 ат. % Na, 7 ат. % Cs);
  - 4 – (20 ат. % Hg, 70 ат. % Na, 10 ат. % Cs);
- А – світловий потік випромінювання;  
Б – сумарний вміст пігментів (*Ca+Cb*).

Вирощування рослин на перших етапах розвитку показало, що при додатковому освітленні високоінтенсивними розрядними лампами з добавками цезію, які мають склад амальгами (20ат%Hg, 75ат.%Na, 5ат.%Cs), найбільш ефективно.

**Висновки:** В умовах тепличного господарства використовуються різні види джерел світла. Найбільш ефективним джерелом світла є натрієві лампи високого тиску (ДНаТ 400), але недоліком є те, що лампи випромінюють в основному в оранжево-жовтій області спектру.

Досліджено спектр випромінювання дугової ртутної лампи (ДРЛ400), високоінтенсивної натрієвої лампи (ДНаТ400), високоінтенсивних джерел зі складом амальгами натрію з добавками цезію (Hg-20 %, Na-75 %, Cs-5 %), калію (Hg-20 %, Na-79 %, K-1 %), рубідію (Hg-20 %, Na-79 %, Rb-1 %). В результаті експериментів визначено, що спектральний склад випромінювання ламп з добавками Cs, K, Rb має меншу інтенсивність випромінювання в порівнянні зі стандартними натрієвими лампами високого тиску (ДНаТ400) в області 500-600 нм і значно більшу інтенсивність в червоній (600-700 нм) та ближній інфрачервоній областях. Для експерименту було вибрано томати двох сортів Гібрид Тарасенко та Де Барао, які були додатково освітлені лампами ДРЛ400, ДНаТ400, високоінтенсивними джерелами світла з добавками цезію,

Встановлено відмінності в реакції рослин на накопичення пігментів. Сумарний вміст хлорофілу і каротиноїдів у сортах томатів Де Барао і Гібрид Тарасенка при опроміненні натрієвою лампою високого тиску з добавками цезію є вищим в 1,4÷2,5 рази, ніж при опроміненні ДРЛФ400 і ДНаТ400. Скореговано вибір високоінтенсивного джерела світла з наповненнями розрядної трубки амальгами (20ат%Hg, 77ат.%Na, 3ат.%Cs); (20ат%Hg, 75ат.%Na, 5ат.%Cs); (20 ат. % Hg, 73 ат. % Na, 7 ат. % Cs); (20 ат. % Hg, 70 ат. % Na, 10 ат. % Cs). Показано, що при додатковому освітленні високоінтенсивними розрядними лампами з добавками цезію, які мають склад амальгами (20 ат. % Hg, 75 ат. % Na, 5 ат. % Cs), вирощування рослин на перших етапах розвитку найбільш ефективно.

### ***Список використаних джерел***

1. Johkan, M., Shoji, K., Goto, F., Nahida, S., Yoshihara, T., 2012. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environ. and Expt. Bot.* 75, 128–133.
2. Велит И.А., Бондарь П.И., Сахно Т.В., Кожушко Г.М. Влияние спектрального состава света на содержание хлорофилла в листьях томата//Физиология и биохимия культурных растений.-2004.-Т.36, №4.- С.349-355.
3. Шульгин И.А. Растение и солнце. Л.: Гидрометиздат.- 1973.-251с.
4. Tazawa S. Effects of various radiant sources on plant growth. Pt 1// JARQ.-1999.- V.33, N 3. - P. 163-176.

5. Protasov NN. Spectral characteristics of light sources and features of the growth of plants under artificial lighting: NN. Protasov, JM. Wells, MV. Dobrovolsky, LN. Tsoglin: Plant Physiology, 1990, V. 37, Vol. 2; 386-396.

6. Runkle ES & Heins DR. Specific functions of red, far-red and blue lights in flowering and stem extension of long-day plants. J Amer Soc. Hort Sci. 2001;126:275–282.

7. Рохлин Г.Н. Работа натриевых ламп высокого давления в пульсирующем режиме. // Светотехника.- 2001.- №3.-С. 2-8.

8. Prikupets, L.B., and A.A. Tikhomirov. 1994. Optimization of lamp spectrum for vegetable growth, p 31-38. In: T.W.Tibbitts (ed.). International Lighting in Controlled Environments Workshop, NASA-CP-95-3309.

9. ГОСТ17616-82. Лампы разрядные. Методы измерения электрических и световых параметров.

10. Тооминг Х.Г, Гуляев Б.И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. -М.:Наука. -1967. -144с.

11. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. -Киев. Наукова думка. -1976. -334с.

#### Аннотация

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИСКУССТВЕННОГО СВЕТА ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА**

**Велит I.A., к.т.н.**

*Одним из путей интенсификации производства экологически чистой продукции в условиях закрытого грунта является применение облучения растений искусственным светом. В работе рассмотрены особенности использования источников искусственного освещения с эффективным спектральным составом излучения и уменьшенным содержанием ртути для светокультуры растений. Исследовались высокоинтенсивные натриевые лампы (ДНаТ400), высокоинтенсивные источники с составом амальгамы натрия с добавками цезия (Hg-20%, Na-75%, Cs-5%), калия (Hg-20%, Na-79%, K-1%), рубидия (Hg-20%, Na-79%, Rb 1%). В результате экспериментов установлено, что спектральный состав излучения ламп с добавками Cs, K, Rb имеет меньшую интенсивность излучения по сравнению со стандартными натриевыми лампами высокого давления (ДНаТ) в области 500-600 нм и значительно большую интенсивность в красной (600-700 нм) и ближней инфракрасной областях. В эксперименте были использованы томаты двух сортов Гибрид Тарасенко и Де Барао, которые были дополнительно освещены лампами ДРЛ400, ДНаТ400, высокоинтенсивными источниками света с наполнением разрядной трубки (20ат% Hg, 77ат.% Na, 3ат.% Cs) (20ат% Hg, 75ат.% Na, 5АТ.% Cs) (20*

*ат.% Hg, 73 ат.% Na, 7 ат.% Cs) (20 ат.% Hg, 70 ат.% Na, 10 ат.% Cs). Установлены различия в реакциях растений томатов сортов Де Барао и Гибрид Тарасенко на накопление пигментов и их соотношение. Суммарное содержание хлорофилла и каротиноидов в сортах томатов Де Барао и Гибрид Тарасенко при облучении натриевой лампой высокого давления с добавками цезия выше в 1,4 ÷ 2,5 раза, чем при облучении ДРЛФ400 и ДНаТ400.*

*При дополнительном освещении высокоинтенсивными разрядными лампами с добавками цезия, которые имеют состав амальгамы (20 ат.% Hg, 75 ат.% Na, 5 ат.% Cs), выращивание растений томатов на первых этапах развития является наиболее эффективным.*