

УДК 621.327.535

Використання натрієвих ламп з різним складом амальгами розрядної трубки для вирощування томатів у закритому ґрунті

І.А. Велит¹, Д.В. Гузик²

¹к.т.н., доц. Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна, velit_ira@ukr.net

²к.т.н., доц. Національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, м. Полтава, Україна, guzikd@rambler.ru

Анотація. Розглянуто особливості використання різних типів джерел штучного освітлення для світлокультури рослин. Наведено результати досліджень дії випромінювання натрієвих ламп високого тиску з домішками цезію порівняно з іншими джерелами світла. Установлено відмінності в реакціях рослин томатів сортів Де Барао и Гібрид Тарасенко на накопичення пігментів і їх співвідношення.

Постановка проблеми. Підвищення продуктивності овочів в умовах закритого ґрунту – одне з головних завдань виробництва сільськогосподарської продукції. Важливим напрямком підвищення врожайності томатів при зниженні енерговитрат в умовах тепличного господарства є застосування ефективного опромінення рослин штучним світлом. Енергетичну ефективність опромінювальних систем для рослинництва можна досягти використанням високоефективних джерел світла зі спектральним складом випромінювання, який сприятливо впливає на біологічні процеси в рослинах.

Оптимізація основних параметрів оптичного випромінювання (ОВ) при вирощуванні томатів – найважливіше завдання досягнення їх рентабельного виробництва.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Формування структурно-функціональної організації фотосинтетичного апарату, спрямованість метаболічних реакцій і морфогенез рослин [1] залежать від інтенсивності та спектрального складу ОВ. Енергетичний обмін потребує значної кількості пігментів, що поглинають значну частину випромінювання у фотосинтезно активній ділянці спектра. На відміну від енергетичного обміну, реакції фоторегулювання можуть здійснюватися за допомогою дуже малої кількості пігменту, що поглинає незначну частину світла, що падає. Тому велике значення має комплексна оцінка впливу ОВ як окремих, так і різноманітних комбінацій спектральних ділянок фотосинтезно активної радіації (ФАР) [2] 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 [3, 31].

Одним із важливих фізіологічних показників стану рослин є вміст хлорофілу в листках рослин [4]. Говорячи про значення пігментів у житті рослин, К. А. Тімірязев писав: «По суті, що б не робив сільський хазяїн або лісівник, він

насамперед робить хлорофіл і вже за посередництва хлорофілу одержує зерно, волокно, деревину і т.д.» [6]. Ця думка К. А. Тімірязєва набуває особливого значення при вирощуванні рослин за допомогою штучного опромінення. У цьому випадку опромінення рослин зазвичай менше, ніж у природних умовах, тому утворення пігментів більшою мірою залежить від спектрального складу випромінювання. У свою чергу, вміст пігментів у листках в рамках відомих меж визначає поглинання ними енергетичного потоку й інтенсивність фотосинтезу. Фотосинтетичний апарат рослин реагує на різні світлові режими, адаптується і має свою активність [7, 8]. Ступінь стійкості рослин до дії світла різного спектрального складу визначається пігментним складом [4, 5]. У рослині постійно відбувається як її біосинтез, так і руйнування. У більшості вищих рослин утворення хлорофілу відбувається на світлі. Роль світла в біосинтезі хлорофілу досліджено в роботах [5, 9].

Питання про вплив випромінювання ламп різного типу на утворення пігментів у листках вивчене недостатньо. Утворення пігментів пов'язане з величиною фізіологічно активного опромінення. При опроміненні до 20...25 Вт/м² у ряду рослин максимум утворення хлорофілу відповідає випромінюванню в червоній частині спектра, а при 30...70 Вт/м² – у синій [10]. На думку Н.П. Воскресенської [4], утворення пігментів відбувається майже однаково під дією випромінювань як у синій, так і в червоній ділянках спектра. Вивчаючи вплив випромінювання різних ділянок спектра на утворення хлорофілу, дослідники не завжди порівнюють його з дією «білого» світла, тобто випромінювання, яке має однакову спектральну інтенсивність у межах усієї видимої ділянки спектра. Найбільша кількість хлорофілу утворюється при білому світлі й відповідно менша – при червоному, синьому і зеленому [11].

У роботі [12] автори встановили зв'язок продуктивності томатів і співвідношення вмісту хлорофілу a/v , вміст хлорофілу пов'язаний зі ступенем затінення рослин, співвідношення вмісту a/v більше навесні, ніж восени.

Інтенсивність світла і його спектральний склад є одними з багатьох чинників, які визначають не тільки врожайність, але й якість рослинницької продукції [13, 14, 18].

Дослідженнями щодо впливу освітленості на ріст і продуктивність томатів залежно від розподілу світла [9, 15], періодів садіння в різних регіонах [14], термінів [12, 16], щільності садіння і дефоліації [17, 19], забезпеченості поживними речовинами [16], а також додаткового освітлення в період росту розсади [9], цвітіння [12] доведено, що за допомогою цих чинників можна оптимізувати фотосинтез в умовах світлокультури.

На формування врожаю овочевих культур впливає також рівень освітленості на перших етапах онтогенезу рослин [16]. Досліджуючи вплив освітленості при вирощуванні розсади томатів ранніх і пізніх термінів посіву [15], встановили, що додаткове освітлення розсади томатів збільшує ранній збір урожаю: при ранніх термінах посіву він зріс на 36...55%, при пізніх – на 47...100%, що особливо важливо для північних районів.

Вивчення впливу монохроматичного світла на ріст розсади томатів сортів

Etna F1, Zorza [15] засвідчило, що червоне світло інгібує ріст рослин сорту Etna F1 на 69,4 %, блакитне світло – на 27,2 %, сорту Zorza – червоне на 80,2 %, блакитне на 21,8 %. Жовте світло збільшує ріст рослин сорту Etna F1 на 14 %, сорту Zorza – на 3,9 %, зелене – на 9,7 %, жовте – на 10,1 %, відповідно.

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.

Зелений листок у більшості сільськогосподарських рослин нагадує пластинку, площа якої в окремих випадках досягає десятків і сотень квадратних сантиметрів. Товщина листків сягає від кількох десятків до 200...300 мкм. У кожній листковій пластинці є повітряні порожнини і різні органічні й неорганічні включення, які істотно впливають на поглинання листком енергетичного потоку окремих ділянок спектра. 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 спектра (550 нм). Поглинання має два максимуми: один у синьо-фіолетовій (440 нм), а другий – у червоній (близько 660 нм) ділянці спектру [19].

Оптичні властивості листків певною мірою залежать від кута падіння спрямованого випромінювання. При збільшенні кута падіння випромінювання з 30 до 70° коефіцієнт поглинання знижується на 8...10% у блискучих і на 2...4% – у матових листків, що пов'язано зі збільшенням коефіцієнта відбиття і зменшенням коефіцієнта пропускання. Вимір поглиненої листком енергії випромінювання – важка і ще далеко не розв'язана проблема. У міру старіння листка його здатність до поглинання енергетичного потоку зменшується. Швидкість цього процесу в листя в різних умовах опромінення неоднакова, що особливо помітно при штучному опроміненні. Поглинання потоку випромінювання залежить від конструкції установок, які опромінюють, величини опромінення і спектрального складу випромінювання застосовуваних ламп, а також від анатомо-морфологічних та фізіологічних особливостей; воно досить різне у рослин різних видів, сортів і віку.

Рівень впливу «якості» світла на фотосинтез і ростові процеси неоднакові. Швидкість фотосинтезу при вирощуванні рослин у червоній, зеленій або синій ділянках спектра змінюються на 25...30%, а різниця в ростових процесах і накопиченні біомаси може становити 50...90% [20].

На сьогодні для світлокультури рослин застосовують широкий асортимент джерел світла: лампи розжарювання, розрядні лампи низького тиску, розрядні лампи високого тиску. Як видно з робіт [21, 22] кожне джерело має свій спектр випромінювання і по-різному впливає на розвиток рослин.

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, у 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. Натрієві лампи випромінюють в основному в оранжево-жовтій області спектра. Спектри цих типів ламп наведено на рис. 1.

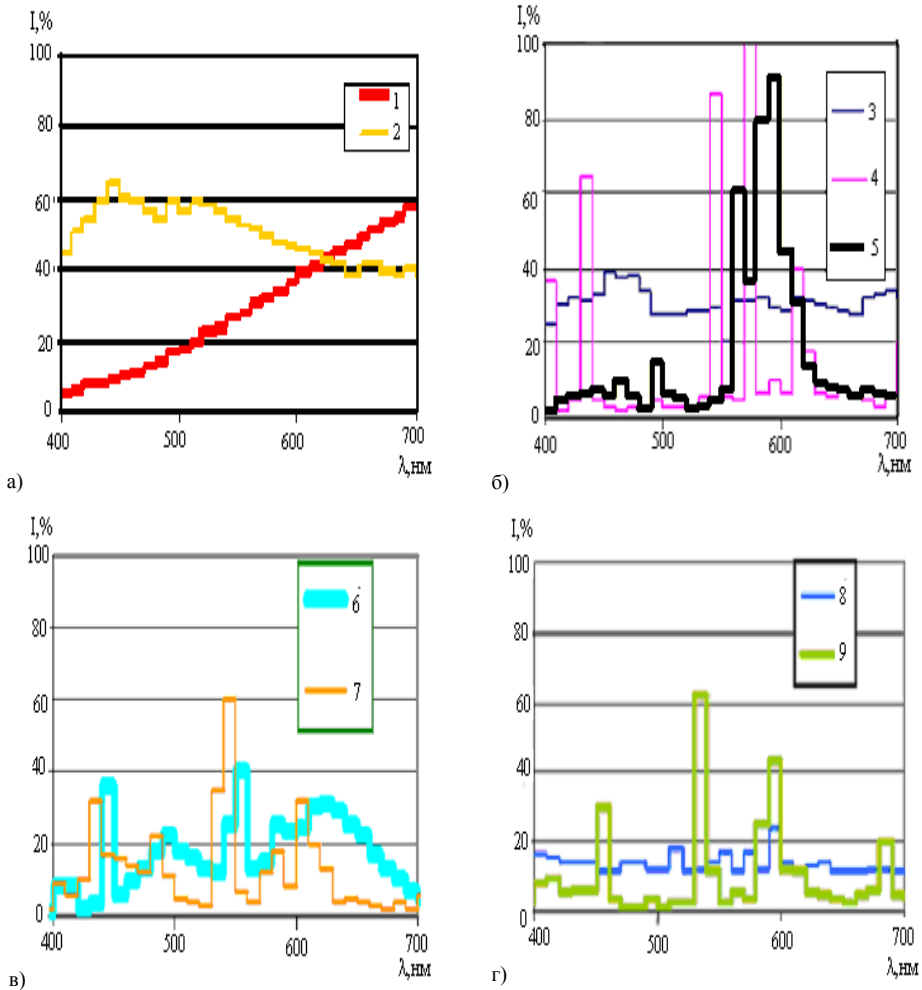


Рис. 1. Спектр випромінювання: а – лампи розжарювання (1) та денного світла (2); б – розрядні лампи: 3 – ксенонова лампа, 4 – ртутна лампа з люмінофорним покриттям на колбі, 5 – натрієва лампа високого тиску; в – люмінесцентні лампи: 6 – «білого» світла, 7 – «денного» світла; г – металогалогенні лампи з добавками галогенів: 8 – Na, Sc, Th, 9 – Na, Tl, In

У спектрі суттєво не вистачає синьої та червоної складових випромінювання, і це є головним недоліком таких ламп. Спектр випромінювання НЛВТ наведено на рис. 1 б. Для вибору обґрунтованих вимог до спектру випромінювання ламп необхідне проведення досліджень щодо впливу опромінення різних областей спектра на ріст і розвиток рослин. Такі дослідження проводилися для різних видів рослин: огірка, томата [23], редису, гороху, пшениці [24]. Як було показано [23], для світлокультури огірка краще випромінювання в діапазонах 500...600 нм і 600...700 нм. 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 [24]. При випромінюванні в області 600...700 нм продуктивність ценозу томата найвища. Випромінювання в діапазонах 400...500 і 500...600 нм, необхідно в незначних частках, забезпечуючи, очевидно, фотоморфологічні процеси в рослинах. Вимоги до кращих спектральних характеристик для світлокультури томата виглядають так [24]:

$$E_c : E_z : E_k = (10...20)\% : (15...20)\% : (60...75)\%$$

Також залишається нез'ясоване питання про вплив спектрального складу світла на рослини різних сортів одного виду.

У зв'язку з великою значимістю якісних характеристик світла для рослинництва, останнім часом підвищуються вимоги не тільки до світлової ефективності і довговічності, але й до спектрального складу штучних джерел світла.

Для використання НЛВТ у сільському господарстві необхідно оптимізувати спектральний склад випромінювання під конкретну світло-культуру рослин і максимально підвищити променевий потік в цій області ФАР, причому на особливу увагу заслуговують питання впливу різних домішок на спектральні характеристики та експлуатаційні параметри НЛВТ.

Відомі роботи [25, 26] щодо дослідження процесів НЛВТ та з'ясування шляхів їх удосконалення. У роботі [22] проведено аналіз факторів, що впливають на параметри НЛВТ.

Виходячи з того, що випромінювання НЛВТ в ІЧ-області спектра 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 натрієвих ламп високого тиску з добавками лужних металів – цезію, калію, рубідію та дії випромінювання високоінтенсивних розрядних натрієвих ламп з добавками цезію

на ріст і розвиток різних сортів томатів.

Методика проведення досліджень. Досліджувались натрієві лампи високого тиску, які були виготовлені на Полтавському заводі газорозрядних ламп. Лампи з розрядними трубками з полікристалічного окису алюмінію – зовнішній діаметр 8,9 мм, міжелектродна відстань – близько 85 мм, наповнювались 25 мг амальгами і ксеноном при холодному тиску близько 20 мм. рт. ст. Склад амальгами натрію з домішками: 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. Уміст домішок в амальгамі був від 1 до 10 ат. %. Усього виготовлялося по п'ять зразків ламп з амальгамою кожного складу. Для стабілізації електричних світлових параметрів лампи перед вимірами відпалювалися протягом 100 год. Вимірювання електричних та світлових параметрів виконувалося відповідно до вимог норм [27]. Похибка виміру електричних і світлових параметрів не перевищує 5 %. Виміри спектральних характеристик проводили за допомогою спектрометра ИСП-51 із приймачем ФЭУ-22 (чутливий у діапазоні 400...1200 нм), реєстрацію фотострумів – за допомогою потенціометра КСП-4 та цифрового вольтметра В7-27. Градування установки за спектральною чутливістю проводилося за допомогою лампи СИРШ-8,5-200 вольфрамковою стрічкою. Виміри параметрів ламп виконувалися при зміні потужності лампи P_L 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 опромінені світлом ламп із різним спектральним складом випромінювання. Фотоперіод склав 16 годин. Рослини опромінювалися протягом 28 днів. Як джерела світла були обрані натрієві лампи високого тиску з домішками цезію, а також для порівняння, натрієві лампи високого тиску ДНаТ400, ртутні лампи високого тиску з люмінофорним покриттям на колбі ДРЛФ400. Інтенсивність опромінення становила 120 Вт/м². Рівень опромінення визначали за методикою [28]. Вміст пігментів установлювали спектрофотометричним методом [29] на фотометрі КФК-3МП. Усі експериментальні дані оброблені статистично [30]. Зразки листів досліджували на 22-й день.

Результати досліджень. 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 із чисто ртутною основою, оскільки питома кількість ртуті на генерацію одиниці світлового потоку у натрієвих ламп – найменша серед усіх розрядних ламп зі ртутною основою. 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 спектра. У 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 поліпшувальних добавок, тобто таких елементів, у яких потенціали іонізації не вище або хоча б близькі до ϕ_{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, міжелектродною відстанню – 85 мм і складом амальгами натрію з домішками цезію (Hg-20 %, Na-75 %, Cs-5 %), калію (Hg-20 %, Na-79 %, K-1 %), рубідію (Hg-20 %, Na-79 %, Rb-1 %).

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

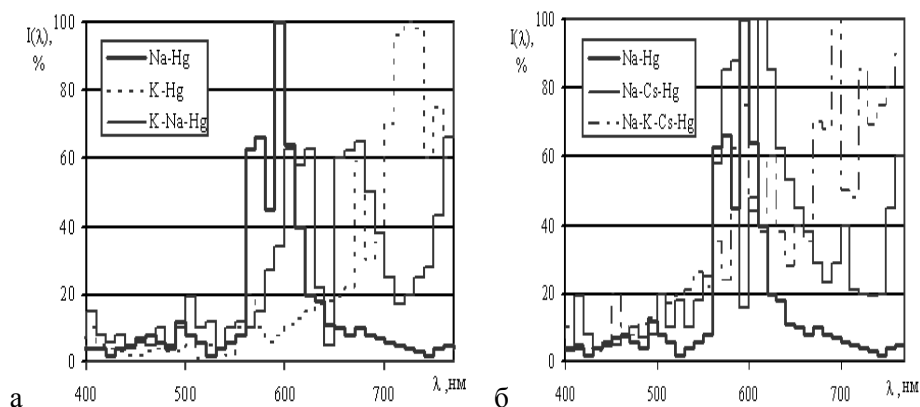


Рис. 2. Розподіл відносної спектральної енергії випромінювання ламп з різним наповненням: а) Na-Hg, K-Hg, K-Na-Hg; б) Na-Hg, Na-Cs-Hg, Na-K-Cs-Hg

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

Як видно з табл., у 22-денних рослин томатів сортів Де Барао і Гібрид Тарасенко сумарне співвідношення вмісту ($C_a + C_b$) хлорофілу $a(C_a)$ та хлорофілу $b(C_b)$ при опроміненні натрій-цезієвими лампами вище, ніж при використанні ДНаТ 400 та ДРЛФ400 на 1479, 1577 мг/м і 187, 344 мкг/м відповідно. Відношення вмісту хлорофілу a і b (C_a/C_b) при опроміненні натрій-цезієвими лампами, ДНаТ400 і ДРЛФ400 сортів Де Барао і Гібрид Тарасенка збільшувалися на 22-й день за рахунок зміни (зменшення) хлорофілу b , стосовно хлорофілу a . У 22-денних рослинах сорту Де Барао концентрація каротиноїдів (C_k) збільшувалася при опроміненні ДНаТ400 на 156 мкг/г. У сорті Гібрид Тарасенко C_k змінювалося при опроміненні натрій-цезієвими лампами на 754 мкг/г, ДНаТ400 – 53 мкг/г.

Таблиця

Вміст хлорофілу і каротиноїдів (мкг/г) у листках томатів сортів Де Барао і Гібрид Тарасенко, опромінені натрієвою лампою високого тиску потужністю 400 Вт, ртутною лампою високого тиску з люмінофорним покриттям на колбі потужністю 400 Вт, натрій-цезієвою лампою високого тиску потужністю 400 Вт

Сорт томатів	Де Барао				Гібрид Тарасенко			
	ДНаГ 400	ДРЛФ 400	Na-Cs 400	Природ. осв.	ДНаГ 400	ДРЛФ 400	Na-Cs 400	Природ. осв.
Тип лампи								
День	22	22	22	22	22	22	22	22
C_a	740±34	681±34	1217±176	703±67	798±75	713±38	943±72	821±39
C_b	211±25	172±67	1213±258	250±84	299±53	227±77	341±58	240±46
$C_a + C_b$	951±27	853±65	243±351	953±34	1097±258	940±26	1284±137	1061±37
C_k	447±56	261±32	273±75	291±26	323±84	262±55	1034±246	280±75
C_a / C_b	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

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. 3).

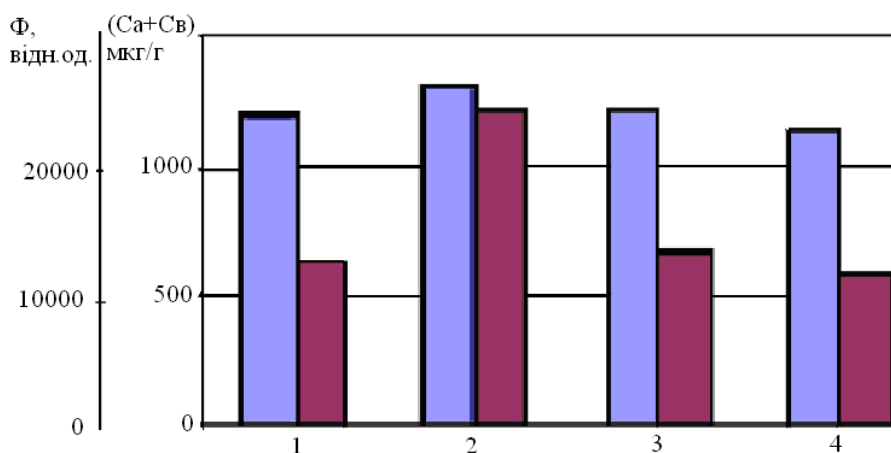


Рис. 3. Вміст пігментів у листках рослин томатів при опроміненні натрієвими лампами з різним наповненням: 1 – (20 ат. % Hg, 77 ат. % Na, 3 ат. % Cs); 2 – (20 ат. % Hg, 75 ат. % Na, 5 ат. % Cs); 3 – (20 ат. % Hg, 73 ат. % Na, 7 ат. % Cs); 4 – (20 ат. % Hg, 70 ат. % Na, 10 ат. % Cs); А – світловий потік випромінювання; Б – сумарний вміст пігментів ($C_a + C_b$).

Висновки: Вирощування рослин на перших етапах розвитку при опроміненні світлом з різним спектральним складом дало змогу встановити відмінності в реакціях рослин томатів сортів Де Барао і Гібрид Тарасенко на накопичення пігментів і їхнє співвідношення. Виявлено, що сумарний уміст хлорофілу і каротиноїдів у сортах томатів Де Барао і Гібрид Тарасенко при опроміненні натрієвою лампою високого тиску з домішками цезію є вищим в 1,4 ÷ 2,5 рази, ніж при опроміненні ДРЛФ400 і ДНаТ400. З'ясовано, що при додатковому освітленні високоінтенсивними розрядними лампами з домішками цезію, які мають склад амальгами (20 ат. % Hg, 75 ат. % Na, 5 ат. % Cs), вирощування рослин на перших етапах розвитку найбільш ефективне.

Література

1. Карначук Р. А. Влияние света на баланс фитогормонов и морфогенез в культуре ткани зародышей пшеницы / Р. А. Карначук, Е.С. Гвоздева // Физиология растений. – 1998. – Т.45. – №2. – с. 289-295.
2. Велит И. А. Влияние спектрального состава света на содержание хлорофилла в листьях томата / И.А. Велит, П.И. Бондарь, Т.В. Сахно, Г.М. Кожушко // Физиология и биохимия культурных растений. – 2004. – Т.36. – №4. – с. 349-355.
3. Тихомиров А. А. Спектры действия и спектральная эффективность фотосинтеза растений тестовом (кратковременным) и длительным воздействием света / А.А.Тихомиров // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – Т.26. – №4. – с. 352-359.
4. Воскресенская Н. П. Фотосинтез и спектральный состав света / Н.П. Воскресенская. – М.: Наука, 1965. – 308 с.
5. Шлык А. А. Метаболизм хлорофилла в зеленом растении / А. А. Шлык. – Минск. – 1965. – 396 с.
6. Тимирязев К. А. Сочинения / К. А. Тимирязев. – М.: Наука, 1937. – Т. 2. – 220с.
7. Бухов Н.Г. Действие низкоинтенсивного синего и красного света на содержание хлорофилла *a* и *b* и световые кривые фотосинтеза у листьев ячменя / Н.Г. Бухов, В.В. Бондар, И.С. Дроздова // Физиология растений. -1998. -Т.45, №4. -С.507-512.
8. Ушакова С. А. Фотосинтез и дыхание растений, выращенных на красном и белом свете / С.А.Ушакова, А.А.Тихомиров, Э.К. Волкова, Е.Б. Алехина, Е.Н. Заворуева // Физиология растений. – 1997. – Т.44, №3. – с. 367-377.
9. Janes H. W. Alternative greenhouse tomato production: the rutgers single-cluster system / H. W. Janes // Am. Veget. Grower. – 1989. – V. 37, N 8. – P. 14-16.
10. Шульгин И. А. Растение и солнце / И. А. Шульгин. – Л.: Гидрометиздат. – 1973. – 251с.
11. Леман В. Е. Курс светокультуры растений / В. Е. Леман. – М.: Высш. школа. – 1976. – 271с.
12. McAvoy R. J. Cumulative light effects on growth and flowering of tomato seedlings / R. J. McAvoy, H. W. Janes // J. Am. Soc. Hortic. Sc. – 1990. – V. 115, N 1. – P. 119-122.
13. Сарычев Г.С. Продуктивность ценозов огурцов и томатов в функции спектральных характеристик ОСУ / Г.С. Сарычев // Светотехника. – 2001. – №2. – с. 27-31.
14. Лычко Г. П. Влияние умов освітленості на врожайність і якість овочевої продукції в теплицях / Г.П. Лычко, Т.А. Набатова // ВСХИЗО – агропром. комплексу. – М.: – 1994. – с. 36-38.
15. Glowacka B. Wplyw swiatla monochromatycznego na wzrost roszady pomidorow / B. Glowacka. // Owoce Warz. Kwiaty. – 2000. – R. 39, N 1. – S. 20.

16. Masson J. Effects of nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting on vegetable transplant production. 2. – Yield / J. Masson, N.Tremblay, A.Gosselin // J. Amer. Soc. Hort. Sc. – 1991. – V. 116, N 4. – P. 599-602.
17. Miszalski Z. Response of greenhouse tomato to increased plant densities and defoliation / Z. Miszalski, J. Mydlarz, A. Libik // Bull. Pol. Acad. Sc. – 1989. – V. 37, N 4/6. – P. 91-97.
18. Tremblay N. Influence of supplementary lighting (NRS) on yield and mineral nutrition of tomato plants grown in hydroponic culture / N. Tremblay, M. Trudel, A. Gosselin // In: Proc. Of the 8th Intern. Congr. On soilless culture. – 1984. – P. 697-703.
19. Tazawa S. Effects of various radiant sources on plant growth. Pt 1 / S. Tazawa // JARQ. – 1999. – V.33, N 3. – P. 163-176.
20. Протасова Н. Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения / Н.Н. Протасова, Дж.М. Уеллс, М.В. Добровольский, Л.Н. Цоглин // Физиология растений. – 1990. – Т.37, №2. – с. 386-396.
21. Айзенберг Ю. Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б.Айзенберг. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 427с.
22. Рохлин Г. Н. Разрядные источники света / Г.Н. Рохлин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720с.
23. Прикупец Л. Б. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры / Л.Б. Прикупец, А.А. Тихомиров // Светотехника. – 1992. – №3. – с. 5-7.
24. Лисовский Г. М. Экспериментальная оценка эффективности источников света в светокультуре растений / Г.М.Лисовский, Л.Б.Прикупец, Г.С.Сарычев, Ф.Я.Сидько, А.А. Тихомиров // Светотехника. – 1983. – № 4. – с. 7-9.
25. Велит І. А. Експлуатаційні характеристики високоінтенсивних ламп з добавками цезію, калію, рубідію / І.А.Велит, Ю.П.Петренко, Г.М.Кожушко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2004. – №4. – с.13-17.
26. Pichler G. UV, Visible and IR Spectrum of the Cs High Pressure Lamp / G. Pichler, V. Zivcec, R. Beuc, Z. Mrzljak, T. Ban, H. Skenderovic, K. Giinther and J. Liu. // Physica Scripta. – 2003. – Vol. TXX. – P. 1-3.
27. ГОСТ17616 – 82. Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. С изм. №1,2,3. – Действуют с 01.01.1983. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1996.
28. Тооминг Х. Г. Методика измерения фотосинтетически активной радиации / Х.Г. Тооминг, Б.И. Гуляев. – М.: Наука, 1967. – 144 с.
29. Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений / Х. Н. Починок. – Киев. Наукова думка, 1976. – 334 с.
30. Лакин Г. Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин – М.: Высш. Шк., 1990. – 352 с.
31. Велит І. А. Вибір джерел світла для оптичного опромінення рослин томатів, огірків та розсади / І.А.Велит, Д.В. Гузик // Системи управління, навігації та зв'язку. Київ, ЦНДІНУ, 2013. – вип. 4 (24). – Т.1. с. 95-99.

References

1. Karnachuk R. A., Gvozdeva E. S. “Vliianie sveta na balans fitogormonov i morfogenez v kulture tkani zarodyshei pshenitsy.” *Fiziologiya rastenii*, V. 45, No 2, 1998, P. 289-295.
2. Velit I. A., Bondar P. I., Sakhno T. V., Kozhushko G. M. “Vliianie spektralnogo sostava sveta na sodержanie khlorofilla v listiakh tomata.” *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rastenii*, V. 36, No 4, 2004, P. 349-355.
3. Tikhomirov A. A. “Spektry deistviia i spektralnaia effektivnost fotosinteza rastenii

testovym (kratkovremennym) i dlitelnyim vozdeistviem sveta.” *Fiziologiya i biokhimiya kulturnykh rastenii*, V. 26, No 4, 1994, P. 352-359.

4. Voskresenskaya N. P. *Fotosintez i spektralnyi sostav sveta*. Nauka, 1965.

5. Shlyk A. A. *Metabolizm khlorofilla v zelenom rastenii*. Minsk, 1965.

6. Timiryazev K. A. *Sochineniya*, V. 2. Nauka, 1937.

7. Bukhov N.G., Bondar V.V., Drozdova I.S. “Deistvie nizkointensivnogo sinogo i krasnogo sveta na sodержanie khlorofilla *a* i *b* i svetovye krivye fotosinteza u listev yachmenya.” *Fiziologiya rastenii*, V. 45, No 4, 1998, P.507-512.

8. Ushakova S. A., Tikhomirov A.A., Volkova E.K., Alekhina E.B., Zavorueva E.N. “Fotosintez i dykhanie rastenii, vyrashchennykh na krasnom i belom svetu.” *Fiziologiya rastenii*, V. 44, No 3, 1997, P. 367-377.

9. Janes H. W. “Alternative greenhouse tomato production: the rutgers single-cluster system.” *Am. Veget. Grower.*, V. 37, N 8, 1989, P. 14-16.

10. Shulgin I. A. *Rastenie i solntse*. Gidrometizdat, 1973

11. Leman V. E. *Kurs svetokultury rastenii*. Vyssh. Shkola, 1976.

12. McAvoy R. J., Janes H. W. “Cumulative light effects on growth and flowering of tomato seedlings.” *J. Am. Soc. Hortic. Sc.*, V. 115, N 1, 1990, P. 119-122.

13. Sarychev G.S “Produktivnost tsenozov ogurtsov i tomatov v funktsii spektralnykh kharakteristik OSU.” *Svetotekhnika*, No. 2, 2001, P. 27-31.

14. Lychko G. P., Nabatova T.A., “Vplyv umov osvitenosti na vrozhaunist i yakist ovochevoi produktsii v teplytsiakh.” *VSKHIZO* agroprom. Kompleksu, 1994, P. 36-38.

15. Glowacka B. “Wplyw swiatla monochromatycznego na wzrost rozsady pomidorow.” *Owoce Warz. Kwiaty*, R. 39, N 1, 2000, S. 20.

16. Masson J., Tremblay N., Gosselin A. “Effects of nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting on vegetable transplant production.” *J. Amer. Soc. Hort. Sc.*, V. 116, N 4, 1991, P. 599-602.

17. Miszalski Z., Mydlarz J., Libik A. “Response of greenhouse tomato to increased plant densities and defoliation.” *Bull. Pol. Acad. Sc.*, V. 37, N 4/6, 1989, P. 91-97.

18. Tremblay N., Trudel M., Gosselin A. “Influence of supplementary lighting (NRS) on yield and mineral nutrition of tomato plants grown in hydroponic culture.” *Proc. Of the 17th Intern. Congr. On soilless culture*, 1984, P. 697-703.

19. “Tazawa S. Effects of various radiant sources on plant growth. Pt 1.” *JARQ*, – V.33, N 3 – 1999, P. 163-176.

20. Protasova N. N., Walles, J. M., Dobrovolskyi M. V. , Tsoglin L. N. “Spektralnyie kharakteristiki istochnikov sveta i osobennosti rosta rastenii v usloviiakh iskusstvennogo osveshcheniia.” *Fiziologiya rastenii*, Vol. 37, № 2, 1990, P. 386-396.

21. Aizenberg Yu. B. *Spravochnaia kniga po svetotekhnike*. Energoatomizdat, 1995.

22. Rokhlin G. N. *Razriadnye istochniki sveta*. Energoatomizdat, 1991.

23. Prikupets L. B., Tikhomirov A. A. “Optimizatsiia spektra izlucheniia pri vyrashchivaniio vshchei v usloviiakh intensivnoi svetokultury.” *Svetotekhnika*, №3, 1992, P. 5-7.

24. Lisovskii G. M., Prikupets L.B., Sarychev G.S., Sidko F.Ya., Tikhomirov A.A. “Eksperimentalnaia otsenka effektivnosti istochnikov sveta v svetokulture rastenii.” *Svetotekhnika*, № 4, 1983, P. 7-9.

25. Velyt I. A., Petrenko Yu. P., Kozhushko H. M. “Ekspluatatsiini kharakterystyky vysokointensyvnykh lamp z dobavkamy tseziu, kaliu, rubidiiu.” *Svitlotekhnika ta elektroenergetyka*, №4, 2004, P.13-17.

26. Pichler G. , Zivcec V., Beuc R., Mrzljak Z., Ban T. , Skenderovic H., Giinther K., Liu J. “UV, Visible and IR Spectrum of the Cs High Pressure Lamp.” *Physica Scripta*, Vol. TXX., 2003, P. 1-3.

27. *Lampy elektricheskiiie. Metody izmereniia elektricheskikh s svetovykh parametrov.* ГОСТ 17616 – 82. ИПК Izdatelstvo standartov, 1996.
28. Tooming Kh. G., Gulaev B. I. *Metodika izmereniia fotosinteticheski aktivnoi radiatsii.* Nauka, 1967.
29. Pochinok Kh. N. *Metody biokhimicheskogo analiza rastenii.* Naukova dumka, 1976.
30. Lakin G. F., *Biometriia.* Vysh. Shk., 1990.
31. Velyt I. A., Guzyk D.V. “Vybir dzherel svitla dlia optychnoho oprominennia roslyn tomativ, ohirkiv ta rozsadny.” *Systemy upravlinnia, navigatsii ta zviazku*, Iss. 4, TSNDINU, 2013, P. 95-99.

УДК 621.327.535

Использование натриевых ламп с различным составом амальгамы разрядной трубки для выращивания томатов в закрытом грунте

I.A. Велит¹, Д.В. Гузык²

¹к.т.н., доц. Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава, Украина, velit_ira@ukr.net

²к.т.н., доц. Национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина guzikd@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрены особенности использования разных типов источников искусственного освещения для светокультуры растений. Приведены результаты исследований действия излучения натриевых ламп высокого давления с добавками цезия по сравнению с другими источниками света. Установлены отличия в реакциях растений томата сортов Де Барао и Гибрид Тарасенко на накопление пигментов и их соотношение.

UDC 621.327.535

Use Sodium Lamps with Different Amalgams in Discharge Tubes for Growing Tomatoes in Closed Ground

I.A. Velyt¹, D.V. Guzyk²

¹PhD, docent, Poltava State Agricultural Academy, Poltava e-mail: velit_ira@ukr.net

²PhD, docent Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava e-mail: guzikd@rambler.ru

Abstract. The features of usage of miscellaneous phylum's of sources of artificial lighting for lightculture of plants are reviewed. The results of experiments of a radiation effect of sodium lamps high-pressure with the additives of caesium under comparison with other light sources are introduced. The differences in tomato plants reaction varieties De Barao and Hybrid of Tarasenko and on accumulation of pigment and their relation set are established.

Надійшла до редакції 7 грудня 2016 р.