

**Енергоефективні джерела світла для вирощування томатів в умовах
закритого ґрунту**

Велит І.А., Ляшенко С.В

Полтавська державна аграрна академія

Калініченко А.В.

Опольський університет (Польща)

Підвищення продуктивності овочів в умовах закритого ґрунту одна з головних задач виробництва сільськогосподарської продукції. Одним з напрямків підвищення врожайності томатів при зниженні енергозатрат в умовах тепличного господарства є застосування ефективного опромінення рослин штучним світлом. Енергетичну ефективність опромінювальних систем для рослинництва можна досягти використанням вискоєфективних джерел світла зі спектральним складом випромінювання, який сприятливо впливає на біологічні процеси в рослинах.

Оптимізація основних параметрів оптичного випромінювання при вирощуванні томатів – найважливіша задача досягнення їх рентабельного виробництва.

Формування структурно-функціональної організації фотосинтетичного апарату, спрямованість метаболічних реакцій і морфогенез рослин [1] залежить від інтенсивності та спектрального складу оптичного випромінювання. 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__

¹ Карначук Р.А., Гвоздева Е.С. 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.

комплексна оцінка впливу оптичного випромінювання 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].

Одним із важливих фізіологічних показників стану рослин є вміст хлорофілу в листках рослин [4,5]. Говорячи про значення пігментів у житті рослин, К.А.Тімірязєв писав: «По суті, що б не робив сільський хазяїн або лісівник, він насамперед робить хлорофіл і вже за посередництвом 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]. 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].

² Велит И.А., Бондарь П.И., Сахно Т.В. 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.-308с.

⁵ Шлык А.А. Метаболизм хлорофилла в зеленом растении/ А.А.Шлык -Минск. -1965. -396с.

⁶ Тимирязев К. А. Соч. - М.- 1937.-Т. 2.- 220с.

⁷ Бухов Н.Г., Бондар В.В., Дроздова И.С. 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., Тихомиров А.А., Волкова Э.К. 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. 367-37.

У більшості вищих рослин утворення хлорофілу відбувається на світлі. Роль світла в біосинтезі хлорофілу досліджено в роботах [5,9]. 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 спектру. 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 і відповідно менше – 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 [13,14-20].

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.: Гидрометеоиздат.- 1973.-251с.

¹¹. Леман В.Е. Курс светокультуры растений/В.Е.Леман. – М.: Высш. школа. -1976. -271с.

¹².McAvoy R. J., Janes H. W. 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., Набатова Т.А. 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. 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.

¹⁷. Masson J., Tremblay N., Gosselin A. Effects of nitrogen fertilization and HPS supplementary lighting on vegetable transplant production. 2. – Yield/ J. Masson , N. Tremblay N., A. Gosselin // J. Amer. Soc. Hort. Sc.-1991. -V. 116, N 4. - P. 599-602.

¹⁸. McAvoy R. J., Janes H. W. 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.

¹⁹. Miszalski Z., Mydlarz J., Libik A. Response of greenhouse tomato to increased plant densities and defoliation/ Z.Miszalski, J. Mydlarz J., A. Libik // Bull. Pol. Acad. Sc. - 1989. -V. 37, N 4/6. -P. 91-97.

²⁰. Tremblay N., Trudel M., Gosselin A. Influence of supolementary lighting (NRS) on yield and minaral nutrition of tomato plants grown in hydroponic culture./ N.Tremblay, M.Trudel M., A. Gosselin // In: Proc. of the rth Intern. Congr. on soilless culture. - 1984. - P. 697-703.

Дослідженнями щодо впливу освітленості на ріст і продуктивність томатів у залежності від розподілу світла [15-16], періодів садіння в різних регіонах [14], термінів [17-18], щільності садіння і дефоліації [19-20] забезпеченості поживними речовинами [17], а також додаткового освітлення в період росту розсади [16], цвітіння [18], 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 [17]. Досліджуючи вплив освітленості при вирощуванні розсади томатів ранніх і пізніх термінів посіву [15], встановлено, 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] засвідчено, що червоне світло інгібує ріст рослин сорту Etna F1 на 69,4%, блакитне світло – на 27,2%, сорту Zorza – червоне на 80,2%, блакитне – 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 собою пластинку, площа якої в окремих випадках досягає десятків і сотень квадратних сантиметрів. Товщина листків сягає від кількох десятків до 200–300 мкм. У кожній листовій пластинці є повітряні порожнини і різні органічні й неорганічні включення, які істотно впливають на поглинання листком енергетичного потоку окремих ділянок спектру. 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.) [21].

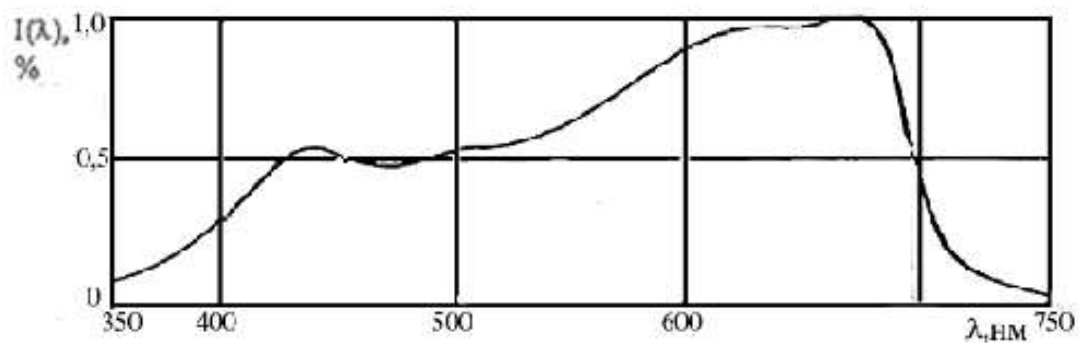


Рис.1. Усереднений спектр поглинання ФАР листками різних видів рослин (61 вид) [21].

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 невирішена проблема. У міру старіння листка його здатність до поглинання енергетичного потоку зменшується.

²¹. Tazawa S. Effects of various radiant sources on plant growth./ S. Tazawa // Pt 1// JARQ.-1999.- V.33, N 3. - P. 163-176.

Швидкість цього процесу у 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 і 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 спектру змінюються на 25-30%, а різниця в ростових процесах і накопиченні біомаси може становити 50-90% [22].

На сьогоднішній день для світлокультури рослин застосовують широкий асортимент джерел світла: лампи розжарювання, розрядні лампи низького тиску, розрядні лампи високого тиску, кожне джерело має свій спектр випромінювання і по різному впливає на розвиток рослин. Це видно з робіт[23,24].

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 к.к.д. ламп розжарювання. Лампи дуже надійні (середній термін роботи перевищує 12000 годин), мають високу стабільність. Натрієві лампи випромінюють в основному в оранжево-жовтій області спектру. Спектри цих типів ламп приведено на рис.1г.

²²Протасова Н.Н., Уеллс Дж.М., Добровольский М.В. 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.

²³ Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б.Айзенберг. -М.: Энергоатомиздат.-1995.-427с.

²⁴Рохлин Г.Н. Разрядные источники света / Г.Н. Рохлин. - М.:Энергоатомиздат -1991.-720с.

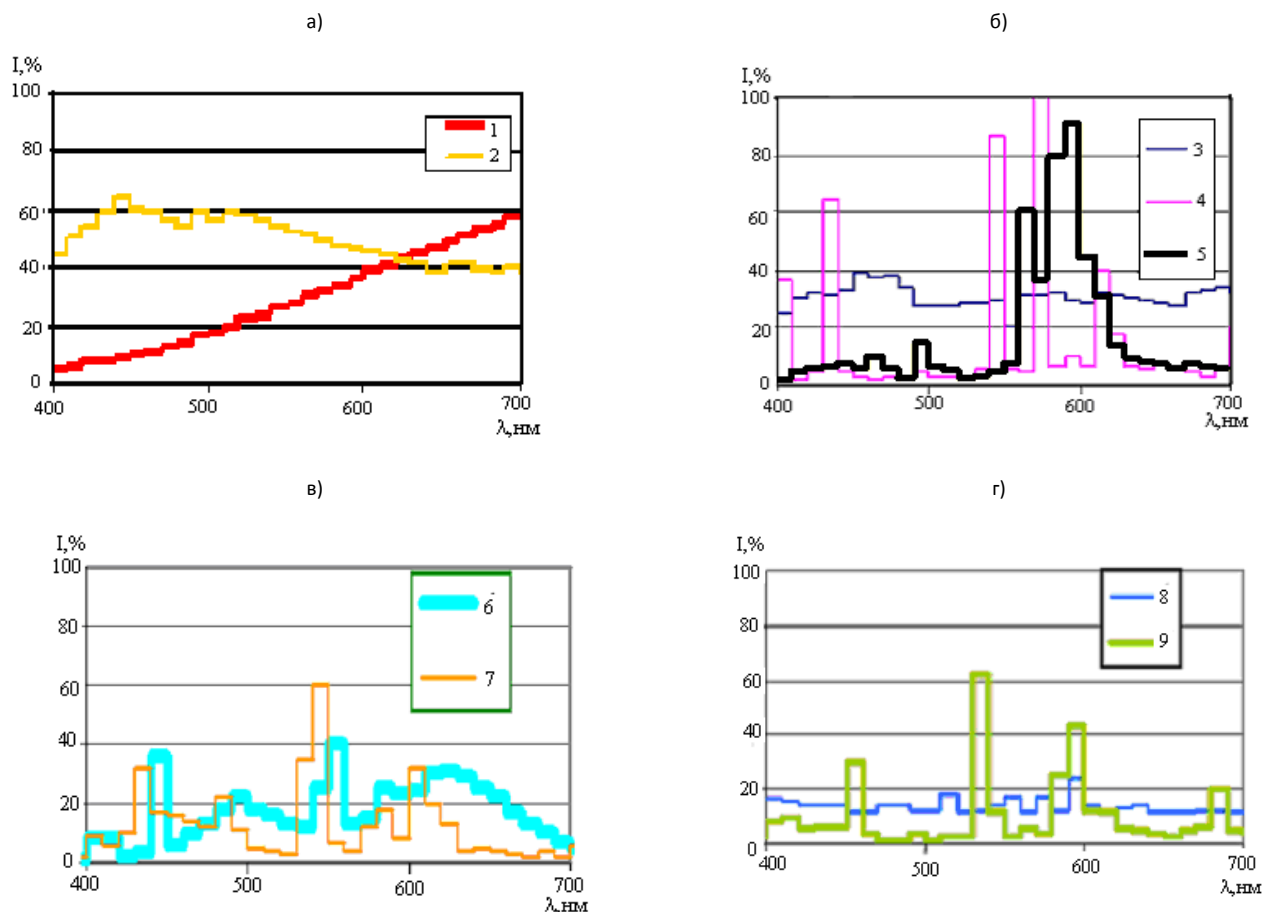


Рис.1. Спектр випромінювання: а) –1-лампи розжарювання, 2- денний; б) розрядні лампи: 3-ксенонова лампа, 4- ртутна лампа з люмінофорним покриттям на колбі, 5- натрієва лампа високого тиску; в) люмінесцентні лампи: 6-«білого» світла, 7-«денного» світла; г) металогалогенні лампи з добавками галогени дів: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

В спектрі суттєво недостає синьої та червоної складової випромінювання і це є головним недоліком цих ламп. Спектр випромінювання НЛВТ приведений на рис.1б.

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 [25], редису, гороху, пшениці [26].

²⁵. Прикупец Л.Б., Тихомиров А.А. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры./ Л.Б.Прикупец, А.А.Тихомиров //Светотехника -1992.-№3.-С.5-7.

²⁶. Лисовский Г.М., Прикупец Л.Б., Сарычев Г.С., 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.

Як було показано [25] 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 [26]. 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: $E_c : E_z : E_k = (10-20)\% : (15-20)\% : (60-75)\%$ [26]. 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 в останній час підвищуються вимоги не тільки до світлової ефективності і довговічності, але і 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 особливої увагу заслуговують питання впливу різних добавок на спектральні характеристики та експлуатаційні параметри НЛВТ.

Відомі роботи [27,28] щодо дослідження процесів в НЛВТ та з'ясування шляхів їх вдосконалення. В [24] проведено 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%,

²⁷. Велит И.А., Петренко Ю.П., Кожушко Г.М. Эксплуатационные характеристики высокоинтенсивных ламп с добавками цезия, калия, рубидия/ И.А. Велит, Ю.П. Петренко, Г.М. Кожушко Г.М. //Світлотехніка та електроенергетика.-2004.-№4.- С.13-17.

²⁸. G. Pichler, V. Zivcec, R. Beuc. UV, Visible and IR Spectrum of the Cs High Pressure Lamp/ G. Pichler, V. Zivcec, R. Beuc, Z. Mrzljak, T. Ban, H. Skenderovic, K. Günther and J. Liu. //Physica Scripta. –2003.-Vol. TXX.-P 1-3.

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.

Досліджувались натрієві лампи високого тиску, які виготовлені на Полтавському заводі газорозрядних ламп. Лампи 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-ООО. Вміст добавок в амальгамі був від 1 до 10 ат.%. 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 ГОСТу [29]. 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.

²⁹. ГОСТ17616-82. Лампы разрядные. Методы измерения электрических и световых параметров.

Виміри параметрів ламп проводились при зміні потужності лампи $P_{\text{л}}$ 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 опромінювалися 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 120 Вт/м^2 . Рівень опромінення визначали за методикою [30]. Вміст пігментів визначали спектрофотометричним методом [31] на фотометрі КФК-3МП. Всі експериментальні дані оброблені статистично [32]. Зразки листів досліджували на 22-ий день.

Натрієві лампи високого тиску мають світлову віддачу, термін роботи, стабільність за часом, екологічні переваги – одні з найкращих параметрів серед усіх джерел світла. Всі ці переваги натрієвих ламп високого тиску дають можливість 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 ϕ_{Na} .

³⁰. Тооминг Х.Г, Гуляев Б.И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации/ Х.Г. Тооминг, Б.И. Гуляев. -М.:Наука. -1967. -144с.

³¹. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений/ Х.Н. Починок. -Киев. Наукова думка. -1976. - 334с.

³². Лакин Г.Ф. Биометрия/ Г.Ф. Лакин . -М.: Высш. Шк. -1990. -352с.

Такими елементами будуть лужні метали калій, рубідій, цезій ($\varphi=1,39\div 2,09\text{В}$). 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 500-600нм і значно більшу інтенсивність в червоній (600-700нм) та ближній інфрачервоній областях (рис.2).

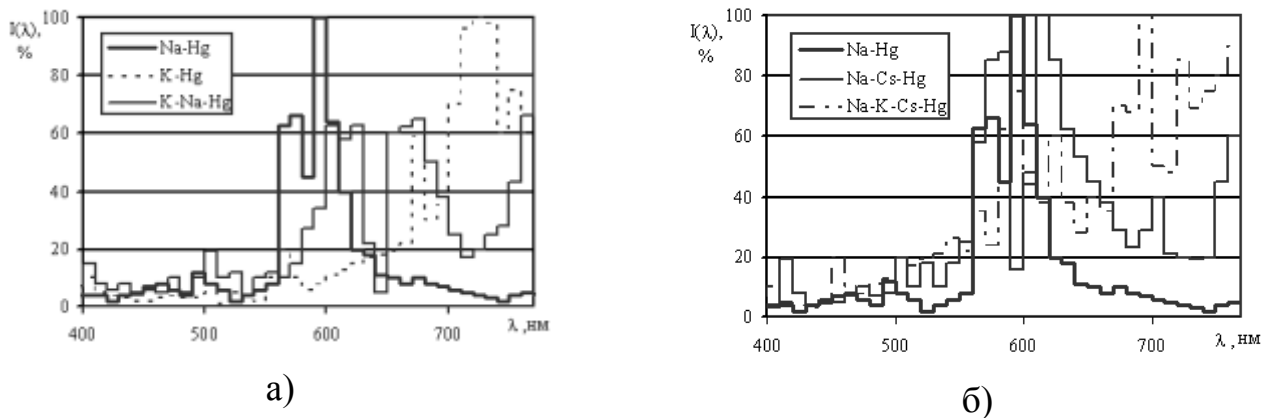


Рис.2. Розподіл відносної спектральної енергії випромінювання ламп з різним наповненням:

а) Na-Hg, K-Hg, K-Na-Hg;

б) Na-Hg, Na-Cs-Hg, Na-K-Cs-Hg

Джерело: авторська розробка

У таблиці 1 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. Як видно з таблиці 1 у 22-х денних рослин томатів сортів Де Барао і Гібрид Тарасенка сумарне співвідношення вмісту (C_a+C_v) хлорофілу $a(C_a)$ та хлорофілу $b(C_v)$ при опроміненні натрій-цезієвими лампами вище, ніж при - ДНаТ 400, ДРЛФ400- на 1479, 1577кг/м, і

187, 344мкг/м, відповідно. Відношення вмісту хлорофілу *a* і *b* (*Ca/Cb*) 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 *b*, стосовно хлорофілу *a*. 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 754мкг/г, ДНаТ400-53мкг/г.

1. 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	Природ. осв.	ДНаТ 400	ДРЛФ 400	Na-Cs 400	Природ. осв.
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
Cb	211±25	172±67	1213±258	250±84	299±53	227±77	341±58	240±46
Ca+Cb	951±27	853±65	243±351	953±34	1097±258	940±26	1284±137	1061±37
Ск	447±56	261±32	273±75	291±26	323±84	262±55	1034±246	280±75
Ca/Cb	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

Джерело: авторська розробка

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

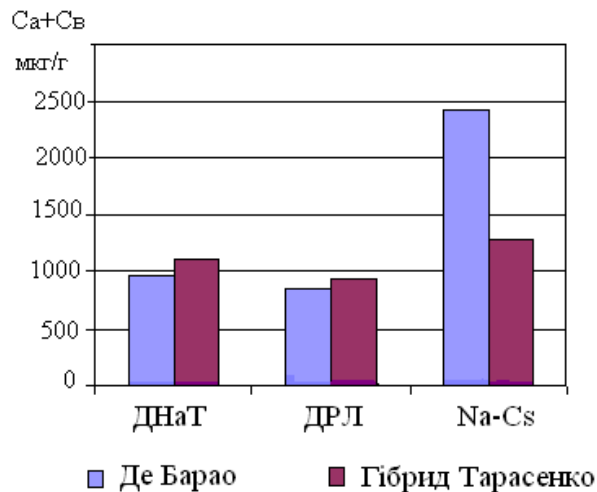


Рис.3. Вміст пігментів у листках рослин томата сортів „Де Барао” і „Гібрид Тарасенка” при додатковому освітленні розрядними лампами високого тиску з добавками цезію, лампами ДНаТ, ДРЛФ

Джерело: авторська розробка

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).

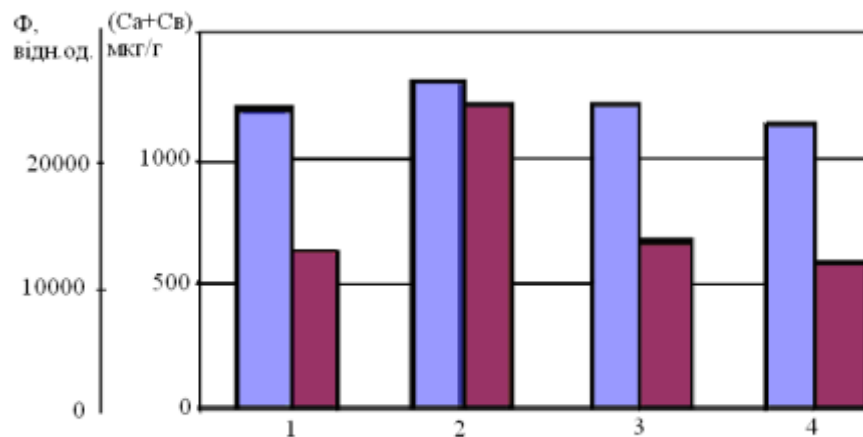


Рис.4. Вміст пігментів у листках рослин томатів при опроміненні натрієвими лампами з різним наповненням :

1 – (20ат%Hg, 77ат.%Na, 3ат.%Cs20);

2 – (20ат%Hg, 75ат.%Na, 5ат.%Cs);

3 – (20ат%Hg, 73ат.%Na, 7ат.%Cs);

4 – (20ат%Hg, 70ат.%Na, 10ат.%Cs);

А – світловий потік випромінювання;

Б – сумарний вміст пігментів (Ca+Cb).

Джерело: авторська розробка

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 Тарасенка на накопичення пігментів і їхнє співвідношення. Встановлено, що 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 $1,4 \div 2,5$ рази, ніж при опроміненні ДРЛФ400 і ДНаТ400. Показано, що при додатковому освітленні високоінтенсивними розрядними лампами з добавками цезію, які мають склад амальгами (20ат%Hg, 75ат.%Na, 5ат.%Cs), вирощування рослин на перших етапах розвитку найбільш ефективне.