УДК 635.032.034
DOI https://doi.org/10.32782/2310-0478-2022-2-23-31

Г. Б. Попович,
кандидат біологічних наук,
доцент кафедри плодоовочівництва і виноградарства
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»
(м. Ужгород, Україна)
E-mail: halina.popovich@uzhnu.edu.ua

Н. П. Садовська,
кандидат біологічних наук,
доцент кафедри плодоовочівництва і виноградарства
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»
(м. Ужгород, Україна)
E-mail: nadija.sadovska@uzhnu.edu.ua

А. Ф. Гамор,
кандидат біологічних наук,
доцент кафедри плодоовочівництва і виноградарства
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»
(м. Ужгород, Україна)
E-mail: andriy.hamor@uzhnu.edu.ua

О. М. Вантюх,
кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри плодоовочівництва і виноградарства
Державний вищий навчальний заклад
«Ужгородський національний університет»
(м. Ужгород, Україна)
E-mail: olesia.kovaliuk@uzhnu.edu.ua

ВИРОЩУВАННЯ РОЗСАДИ КАПУСТИ БРОКОЛІ ЗА ВИКОРИСТАННЯ ФІТОЛАМП

Стаття присвячена вивченню впливу світлодіодних фітоламп на формування параметрів розсади капусти броколі у ранньо-весняний період. Виявлено позитивний вплив світлодіодних фітоламп при формуванні біометричних параметрів розсади капусти броколі у ранньо-весняний період. Вже на ранніх етапах розвитку сіянців при досвічуванні спостерігали суттєві відмінності за темпами розвитку листків та їх прискорений ріст. При вступанні сіянців капусти броколі у фазу розкритих сім'ядоль за природного світла (24000 лк), у сіянців при досвічуванні відмічали формування першого справжнього листка. У той час як у варіанті з досвічуванням (2900 лк) у гібриду Монако F1 всі рослини вступили у фазу п'яти справжніх листків, у варіанті без досвічування фіксували сформовані чотири листки і тільки у 40% облікових рослин відмічали зачатки п'ятого листка. Надалі, починаючи із фази формування п'ятого-шостого листків, за темпами розвитку справжніх листків рослини контролю і дослідного варіанту майже не різнилися. Упродовж досліджень варіанти відрізнялися за площею асиміляційної поверхні та висотою стебла рослин. За цими показниками у сформованої розсади вирізнялися рослини за досвічування: 54,3 см^2/росл., 11,2 см у Монако F_1, 30,2 см^2/росл., 11,2 см у Зеленого Калабризу та 24,5 см^2/росл., 9,2 см у Тонусу порівняно з контролем – відповідно 37,5 см^2/росл., 7,4 см у Монако F_1, 27,0 см^2/росл., 8,8 см у Зеленого Калабризу та 20,1 см^2/росл., 8,5 см у Тонусу. Крім того, розсада, вирощена з досвічуванням, вирізнялася за діаметром стебла та розетки листків, за масою надземної та кореневої частин порівняно зі зразками контрольного варіанту.

Ключові слова: *досвічування, світлодіодна фітолампа, капуста броколі, розсада, фенологічні спостереження, біометричні вимірювання.*

H. B. Popovich,
Phd of Biological Sciences,
Associate Professor at the Fruit and Vegetable Cultivation and Viticulture Department
Uzhhorod National University (Uzhhorod, Ukraine)
N. P. Sadovska,
Phd of Biological Sciences,
Associate Professor at the Fruit and Vegetable Cultivation and Viticulture Department
Uzhhorod National University (Uzhhorod, Ukraine)
A. F. Hamor,
Phd of Biological Sciences,
Associate Professor at the Fruit and Vegetable Cultivation and Viticulture Department
Uzhhorod National University (Uzhhorod, Ukraine)
O. I. Vantiukh,
Phd of Agricultural Sciences,
Associate Professor at the Fruit and Vegetable Cultivation and Viticulture Department
Uzhhorod National University (Uzhhorod, Ukraine)

GROWING OF BROCCOLI CABBAGE SEEDLINGS USING PHYTOLAMPS

The thesis being presented is a study the influence of LED phytolamps on the formation of broccoli seedlings in the early spring period. The positive influence of LED phytolamps in the formation of biometric parameters of broccoli seedlings in the early spring period was revealed. A positive influx of light phytolamps was revealed during the formation of biometric parameters in broccoli seedlings in the early spring period. Already at the early stages, the development of seedlings with the completion of the match was suspected of the significant differences behind the pace of the development of leaflets and their accelerations. When broccoli enters the phase of flaming cotyledons for natural light (24000 lux), in seedlings, when the broccoli finishes, the formation of the first reference sheet was observed. At that time, in the variant with completion (2900 lux) of the Monaco F1 hybrid, all the growths entered the phase of five right leaves. In the future, starting from the phase of the formation of the fifth-sixth leaves, did not change at the rate of development of the right leaves in the control line and the next variant. Upgrading the following options differed for the area of the assimilation surface and the height of the plant stem. Behind these indications, in the formed rose garden, growths were observed for reaching: 54,3 cm^2/plant, 11,2 cm for Monaco F1, 30,2 cm^2/plant, 11,2 cm for Green Calabriz and 24,5 cm^2/plant, 9,2 cm in Tonus equal to the control – 37,5 cm^2/plant, 7,4 cm in Monaco F1, 27,0 cm^2/plant, 8,8 cm in Green Calabris 20,1 cm^2/plant, 8,5 cm for Tonus. In addition, the rose garden, grown with additional light, was distinguished by the diameter of the stem and the rosette of leaves, by the weight of the aerial and root parts, it was equal to the control variant. It has been established that the addition of light positively added to the formation of the assimilatory surface and the height of the stem of young broccoli seedlings, the increase in above-ground mass ensured a shorter development of the root system.

Key words: *additional illumination, LED phytolamp, broccoli, seedlings, phenological observations, biometric measurements.*

Постановка проблеми. Світлова енергія є важливим фактором, що впливає на ріст, розвиток і врожайність рослин у закритому ґрунті. Світло, необхідне для рослин, повинне бути визначеного спектрального складу, достатньої інтенсивності та визначеної тривалості. Ранньою весною у теплицях природного освітлення не вистачає, тому для оптимального росту і розвитку рослин використовують додаткові джерела світла.

Енергетичної ефективності опромінення рослин можна досягти за допомогою використання високоефективних джерел світла зі спектральним складом випромінювання, що сприятливо впливає на біологічні процеси в рослинах. Тому дослідження ламп з відповідним спектральним складом опромінення для вирощування овочевих культур є актуальним.

Використання у закритому ґрунті різних спектральних комбінацій світлодіодного освітлення показало позитивний вплив на ріст, розвиток, врожайності рослин та якості продукції [11, 10, 14, 2, 9, 5, 12]. Перевагами застосування світлодіодних ламп є їх низьке споживання електроенергії, невелике виділення тепла, безпечність при використанні, довговічність, можливість контролювати їх яскравість, світловий потік і його спектральний склад.

Капуста броколі – культура довгого дня, помірно вимоглива до інтенсивності світла, однак потребує його достатньо багато у період формування розсади (20–30 тис. лк.) для накопичення пластичних речовин і загартування. У зв'язку з недостатністю світла при вирощуванні розсади, рослини витягуються у висоту та утворюються невеликі листки. Після формування значної площі листкової поверхні у рослин капусти броколі вимогливість до інтенсивності освітлення дещо знижується, знову зростає – у фазі формування головок [20]. Саме тому в якості об'єкту для досліджень обрали культуру капусти броколі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Капуста броколі – перспективна малопоширена культура в Україні. Площі під цією культурою є незначними, однак, в останні роки спостерігається тенденція до їх збільшення завдяки неперевершеним харчовим і лікувальним властивостям. Світові площі посівів капусти броколі знаходяться на рівні 250 тис. га, а виробництво сягає 3 млн. т. Збільшити обсяги виробництва капусти броколі в Україні можливо за умови вдосконалення та впровадження новітніх підходів до технології її вирощування. Вирощують капусту броколі розсадним або безрозсадним способами. За конвеєрної технології розсаду висаджують у чотири строки, а насіння в ґрунт висівають у три терміни через 15–20 діб. Розсаду можна висаджувати у відкритий ґрунт після появи п'яти–шести справжніх листків [16].

Г. Фіутак і М. Міхальчик (G. Fiutak & M. Michalczyk, 2020) [3] досліджували вплив ламп розжарювання, флуоресцентного та світлодіодного (ЧЗС (червоний, зелений, синій), білий холодний, білий теплий) освітлення на паростки капусти. Найвищі концентрації хлорофілів, β-каротину, лютеїну, неоксантину та віолаксантину помічено у сім'ядолях за використання світлодіодів ЧЗС. Формувалися сім'ядолі більшого розміру із найвищим вмістом аскорбінової кислоти. Найбільший вміст білка та загальних тіоціанатів спостерігали у паростках за використання ламп розжарювання, після чого рослини вирощували під світлодіодним освітленням ЧЗС. Близькі за вмістом пігментів результати отримано при застосуванні холодних і теплих білих світлодіодів та флуоресцентного світла. Холодний і теплий світлодіоди найбільш енергозберігаючі, але під їх впливом не формувалися паростки найкращої якості. Застосування звичайних ламп розжарювання призвело до найнижчого врожаю, а також до формування найменшої кількості хлорофілів, β-каротину, лютеїну та неоксантину у свіжій масі сім'ядолей. З усіх джерел світла, які використовували у дослідженнях, саме світлодіодне світло ЧЗС дало змогу отримати рослини з найбільшим вмістом більшості досліджуваних сполук.

У своїх дослідженнях Ю. Ванг та ін. (J. Wang et al., 2021) [17] протягом 4 тижнів освітлювали сіянці капусти броколі різними світлодіодами – білим, червоним, синім та поєднанням 75% червоного + 25% синього (200 mmol·m^{-2}·s^{-1}). Вивчали вплив світлодіодного світла на біосинтез

глюкозинолатів (GSLs) та сульфорафану. Результати показали, що саме червоне світло сприяє біосинтезу та накопиченню сульфорафану у проростках капусти броколі.

Вплив якості світла на листковій зелені китайської капусти (*Brassica oleracea* var. *Alboglabra)* досліджували Т. К. Барікман та ін. (T. C. Barickman et al., 2020) [1]. Китайську капусту «*Green Lance*» вирощували за впливу: (1) флуоресцентного освітлення/ламп розжарювання; (2) 10% синього (44 7±5 нм)/90% червоного (627±5 нм) світлодіодів; (3) 20% синього/80% червоного світлодіодного освітлення; та (4) 40% синього 60% червоного світлодіодного світла як єдиного джерела освітлення за двох різних режимів удобрення. Було досліджено, як нові співвідношення світлодіодного освітлення та різні режими удобрення впливають на концентрацію мінеральних поживних речовин у тканинах кореня та проростках китайської капусти. Усі рослини збирали через 30 днів після посіву, зелень і тканини кореня, при цьому, аналізували на вміст мінеральних поживних речовин. Результати показали, що світлодіодне освітлення – єдине джерело, яке використовується у виробництві, що може вплинути на мінеральні поживні властивості молодої листової зелені, популярної зараз на ринку. Таким чином, співвідношенням світла можна регулювати засвоєння мінеральних поживних речовин.

У роботі Д. Хе та ін. (J. He et al., 2019) [4] вказано, що для забезпечення доброго росту рослин важливе значення має синє світло, додавання відповідної кількості якого до червоного світла призводить до різкого впливу на морфологічну та анатомічну структуру, структуру хлоропластів та фотосинтетичні показники. Автори використовували різні співвідношення червоних-синіх світлодіодів (RB-LED), впливаючи на листкові овочі, зокрема, на китайську броколі (*Brassica alboglabra*): 1) 100:0 (0B); 2) 92:8 (8B); 3) 84:16 (16B) і, 4) 76:24 (24B) при однаковій фотосинтетичній щільності потоку фотонів 210 μmol/m^2·s за 12-год. фотоперіоду. Брали до уваги характеристики листків, продуктивність пагонів і коренів та фотосинтетичний газообмін рослин, вирощених під різними комбінаціями RB-світлодіодів.

За результатами, китайська броколі у варіанті з червоним (R):синім (B) світлодіодним співвідношенням 84:16 (16B) мала найвищу швидкість засвоєння фотосинтетичного CO_2. За цього співвідношення кількість листків зростала, більшою була їх площа та продуктивність паростків. Результати остаточно підтвердили, що найвища продуктивність китайської броколі, вирощеної за 16B, тісно пов'язана з найвищими показниками фотосинтезу на основі площі листків.

Незважаючи на те, що оптимальне співвідношення R:B світлодіодів залежить від виду, в цілому оптимальне поєднання RB-LED є більш ефективним, ніж R-LED або B-LED окремо, для посилення фотосинтезу, а отже, і продуктивності. Вплив зелених світлодіодів (G-LED) на фотосинтетичні показники та продуктивність залежить не тільки від виду рослин, але також від його довжини хвилі, інтенсивності та поєднання G-LED з іншими спектрами світлодіодів. Урожайність тісно пов'язана з фотосинтетичними показниками на основі площі листків, коли рослини максимально перехоплюють світло на одиницю площі листка. В іншому випадку, такі показники листків, як площа перехоплення світла та поглинання, є важливими факторами при визначенні фотосинтетичної здатності всієї рослини, яка пов'язана з продуктивністю [4].

Паростки капусти броколі багаті вторинними метаболітами, особливо глюкозинолатами. Їх синтез можна модифікувати світлом. А. Хуе та ін. (A. Xue et al., 2021) [18] у своїх дослідженнях використали метод екстракційної електророзпилювальної іонно-мас-спектрометрії (EESI-MS) для одночасного та швидкого виявлення вторинних метаболітів у паростках капусти броколі, особливо глюкозинолатів. Проводили аналіз екстрактів паростків броколі за різних способів освітлення. За допомогою EESI-MS за одну хвилину одночасно виявили дев'яносто сполук, включаючи сім глюкозинолатів, три фенольні кислоти, шість амінокислот і три органічні кислоти. Встановлено, що блакитне світло покращує накопичення вторинних метаболітів у паростках броколі. Найкращим виявилося співвідношення 5:5 між червоним та синім світлом. Базуючись на проведених дослідженнях, можна обрати відповідне світлодіодне освітлення для виробництва паростків капусти броколі з високим вмістом біоактивних компонентів.

Численними дослідженнями С. С. Нассарава та ін. (S. S. Nassarawa et al., 2021) [8] було доведено важливу роль світлодіодів у сільському господарстві. Світло різної довжини хвилі впливає на фізіологічні процеси, такі як фотосинтез і вторинний метаболізм. Крім того, використання світлодіодів визначає харчові властивості, регулює старіння, контролює швидкість дозрівання та поліпшення терміну зберігання, зменшує патогенне псування мікроорганізмами свіжої продукції (овочів та фруктів) при зберіганні. Світлодіодна обробка сприяє накопиченню різних фітохімічних речовин, таких як фенольні сполуки, вітаміни, глюкозинолати, хлорофіл, загальні розчинні тверді речовини та каротиноїди. Світлодіоди впливають на вміст поживних речовин та антоціану, антиоксидантну здатність та дозрівання. Вплив світлодіодного світла залежить від сортових особливостей.

Ф. М. Пінтос та ін. (F. M. Pintos et al., 2021) [13] досліджували вплив білого світлодіодного освітлення на продовження тривалості зберігання головок капусти броколі в холодильнику та вміст у них поживних речовин. Температура при цьому становила 5°C, відносна вологість повітря – 93%, інтенсивність світла – 9,5 Вт/$м^2$, фотоперіод – 3 год. на добу, період зберігання – до 22 днів. Порівняно зі зберіганням у контролі (темноті), застосування світла затримує зміни кольору головок та зберігає рівень пігменту хлорофілу. Світло не впливало на втрату ваги, інтенсивність дихання та вміст розчинних білків. Через 13 днів у броколі при зберіганні з використанням світла

фіксували на 40% більше цукру, ніж у контролі. На 13 і 22 день у броколі за впливу світла відмічали на 40% та 70% вищий вміст аскорбінової кислоти. Вміст атиоксидантів та каротиноїдів також був вищим.

Х. К. Сетіаван та ін. (C. K. Setiawan et al., 2017) [15] вивчали збереженість суцвіть капусти броколі під впливом опромінення. Капуста броколі (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*) сорту "*Ryokurei*", після вирощування (105 днів від посадки), зберігали при кімнатній температурі (17°C) та вологості (> 90%) без опромінення та при опроміненні білим, червоним і синим світлодіодами. Інтенсивність світлодіодів – 100 mol m^2 s^{-1}. Спостереження проводили чотири дні. Далі суцвіття заморожували за допомогою рідкого азоту, і зберігали при температурі -80°C до використання. Встановлено, що червоне світлодіодне опромінення значно пригнічувало пожовтіння, впливало на зниження вмісту аскорбінової кислоти та хлорофілу в суцвіттях капусти броколі.

Вплив світлодіодного опромінення (червоного та синього) на збереженість суцвіть капусти броколі та вміст в них аскорбату (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*) після збору врожаю досліджували Г. Ма та ін. (G. Ma et al., 2014) [7]. Результати показали, що опромінення червоним світлодіодом ефективно затримує старіння суцвіть (зменшується пожовтіння). Освітлення синім світлодіодом істотно не впливала на процес старіння броколі. Зменшення кількості аскорбату після збору врожаю було пригнічено червоним світлодіодом. Авторами було розроблено модифіковане біле світло, в якому співвідношення синього світла було зменшено, а червоного – збільшено. Модифіковане біле світло ефективно затримувало зниження аскорбату в броколі на перший і другий день після збору врожаю.

Ряд авторів вивчали вплив опромінення різними світлодіодами на термін придатності та вміст фітонутрієнтів у капусти броколі (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). Броколі – важливе джерело фітонутрієнтів, які частково втрачаються під час зберігання продукції. Метою досліджень було оцінити загальний вплив п'яти різних світлодіодів низької інтенсивності на параметри якості суцвіть броколі при 20-денному зберіганні. Оцінювали рівень аскорбінової кислоти, хлорофілів, каротиноїдів, фенольних сполук та розчинних білків, а також збереження кольору. Зелений світлодіод збільшив вміст хлорофілу, аскорбінової кислоти, білків та покращив загальний вигляд. Червоні та жовті світлодіоди збільшили феноли та загальний вигляд суцвіть. Білі, червоні та жовті світлодіоди позитивно вплинули на окисно-відновний стан капусти брокколі. Лише зелений світлодіод мав статистично значущий позитивний ефект при розгляді всіх аналізованих параметрів. Тому авторами запропоновано використання зеленого світлодіоду для продовження терміну придатності броколі при холодному зберіганні [6].

Мета статті полягає у розкритті впливу світлодіодних фітоламп на формування розсади капусти броколі у ранньо-весняний період.

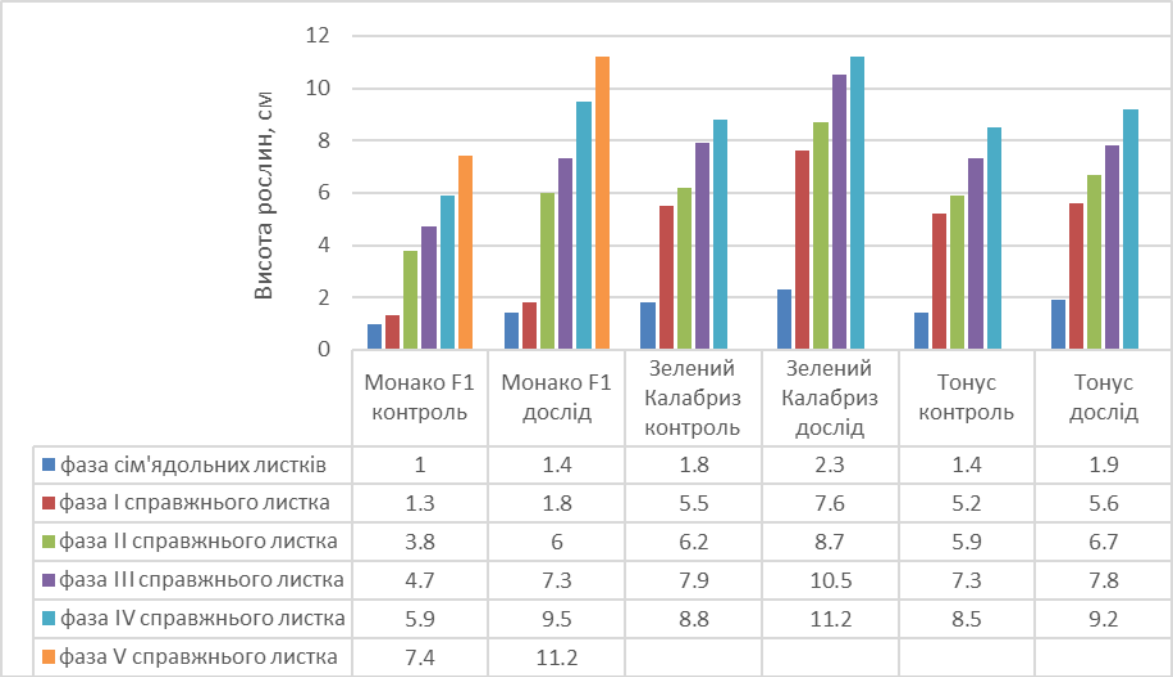
Методика дослідження. Експериментальні дослідження по застосуванню світлодіодних фітоламп при вирощуванні розсади капусти броколі проводили у весняний період (березень – травень) 2020–2021 рр. Матеріалом для дослідження слугували один гібрид капусти броколі Монако F_1 компанії «*Syngenta*» (Нідерланди) та два сорти: Тонус від виробника «Насіння України» та Зелений Калабриз від *«Golden Garden».*

Досліди закладали на влаштованих стелажах. Світлодіодні фітолампи *LightMaster LB*-660 *A-60* встановлювали над рослинами на висоті 45 см і застосовували з появою перших сходів. Потужність ламп – 9 W, колір випромінювання і довжина хвиль: червоний – 650 нм, синій – 450 нм. Світлодіоди даної моделі генерують світловий потік у ретельно підібраній червоній і синій частині спектру, який сприяє протіканню реакцій фотосинтезу, характеризуються тривалим періодом безперервного використання протягом місяців та низьким споживанням електроенергії, порівняно з традиційними лампами розжарювання.

Закладали два варіанти досліду: контрольний варіант (природне освітлення – 24000 люксів) та додаткове до природного – світлодіодне – 2900 люксів. Повторність у дослідах – трикратна. Фотоперіод – 12 год. Різні варіанти досліду розмежовували світлонепроникними перегородками.

Насіння капусти броколі висівали у касети з розміром чарунок 5,2×5,2×6,5 см у I декаді квітня 2020 р. (Монако F_1) та в I декаді березня 2021 р. (Тонус і Зелений Калабриз). В теплиці підтримувалася температура повітря на рівні 15–17° С, рівень вологості коливався в межах 60–80%, вологість грунтосуміші становила 70–80% від НВ. Посів проводили на глибину 1 см. Використовували ґрунтосуміш «Поліський» (*Rich Land*) – спеціальна готова суміш для вирощування розсади на основі високоякісного верхового, низинного і перехідного торфу, pH 5,5–6,5. Догляд за рослинами полягав у проведенні регулярного поливу та веденні контролю за температурою і вологістю повітря.

Під час досліджень проводили фенологічні спостереження та біометричні вимірювання молодих рослин згідно загальноприйнятих методик [19]. Обліки проводили на 20 рослинах усіх варіантів досліду. Фіксували дати появи сходів, формування сім'ядоль та справжніх листків. Перші виміри провели у фазі розкритих сім'ядольних листків (висота гіпокотиля та площа листкової поверхні). Всі наступні вимірювання – по мірі того, як сіянці вступали у чергову фазу вегетації. З часу формування двох справжніх листків до утворення чотирьох–п'яти листків, вимірювали висоту стебла, довжину й ширину справжніх листків. У сформованої розсади вимірювали висоту і діаметр стебла, площу асиміляційної поверхні всієї рослини, визначали середнє значення сирої маси кореневої і надземної частин. Площу асиміляційної поверхні встановлювали лінійним методом, числові дані, одержані



	Монако F1 контроль	Монако F1 дослід	Зелений Калабриз контроль	Зелений Калабриз дослід	Тонус контроль	Тонус дослід
фаза сім'ядольних листків	1	1.4	1.8	2.3	1.4	1.9
фаза I справжнього листка	1.3	1.8	5.5	7.6	5.2	5.6
фаза II справжнього листка	3.8	6	6.2	8.7	5.9	6.7
фаза III справжнього листка	4.7	7.3	7.9	10.5	7.3	7.8
фаза IV справжнього листка	5.9	9.5	8.8	11.2	8.5	9.2
фаза V справжнього листка	7.4	11.2				

Рис. 1. Динаміка висоти стебла розсади капусти броколі, см

в результаті експериментальних досліджень, були опрацьовані статистично за загальноприйнятою методикою [21].

Основні результати дослідження. Проведені дослідження показали позитивний вплив досвічування фітолампами на молоді рослини капусти броколі, що сприяло зростанню деяких біометричних параметрів рослин (висота, площа асиміляційної поверхні).

Перші сходи були зафіксовані на 5-ий день після висіву насіння у гібриду Монако F_1 та на 6-ий день у сортів Тонус та Зелений Калабриз. Одразу після того, як з'явились перші сходи, розпочали досвічування рослин. Масові сходи спостерігали через два дні у гібриду Монако F_1 та через чотири дні в дослідних сортів.

За ростом і розвитком сіянців переважали рослини варіанту з досвічуванням. Особливо помітною була різниця у сіянців гібриду Монако F_1, зокрема, на 6-ий день після сходів відмічали добре розгорнені сім'ядолі, 77% з них вступили у фазу початку формування I справжнього листка. У 64% сіянців контролю при цьому, фіксували фазу добре розвинених сім'ядоль. Надалі, починаючи із фази формування третьої пари листків, рослини контрольного і дослідного варіантів майже не відрізнялися за темпами розвитку справжніх листків, однак за кількісними показниками фіксували певні відміни. Так, в кінці розсадного періоду у 40% молодих рослин відмічали початок формування V справжнього листка. В той же час у варіанті з досвічуванням всі рослини мали добре розвинені п'ять листків.

На рисунку 1 подано динаміку висоти стебла рослин капусти броколі на різних фазах вегетації за природного освітлення та досвічування фітолампами.

У фазі розкритих сім'ядольних листків вимірювали висоту гіпокотиля. У гібриду Монако F_1 при досвічуванні цей показник переважав контроль на 33%, у сортів Зелений Калабриз та Тонус – на 22% і 26% (рис. 1).

Суттєве зростання висоти стебла у контролі та варіанті з досвічуванням спостерігали при формуванні у сіянців гібриду Монако F_1 II справжнього листка, різниця між варіантами становила 37% (рис. 2). У рослин сорту Зелений Калабриз і Тонус висота значно зростала при формуванні I листка, а різниця між варіантами сягала 28 і 7% відповідно.

Рис. 2. Фаза розгорнених двох листків у рослин гібриду Монако F_1: ліворуч – рослини за природного освітлення, праворуч – при досвічуванні (23.04.2020 р.)

За висотою і надалі переважали молоді рослини гібриду та обох сортів за досвічування. Найбільш істотну різницю за цією ознакою відмічали у гібриду Монако F_1 (рис. 3). Так, при висаджуванні розсади гібриду Монако F_1, висота рослин сягала 11,2 см проти 7,4 см у варіанті

з контролем, що на 34% більше. У сформованої розсади сортів Зелений Калабриз і Тонус приріст стебла за досвічування зростав на 21 і 8% (рис. 1). Слід відмітити високу вимогливість до освітлення протягом всього періоду формування розсади капусти броколі.

Рис. 3. Фаза розгорнених трьох справжніх листків у Монако F_1: ліворуч – рослини за природного освітлення, праворуч – при досвічуванні (29.04.2020 р.)

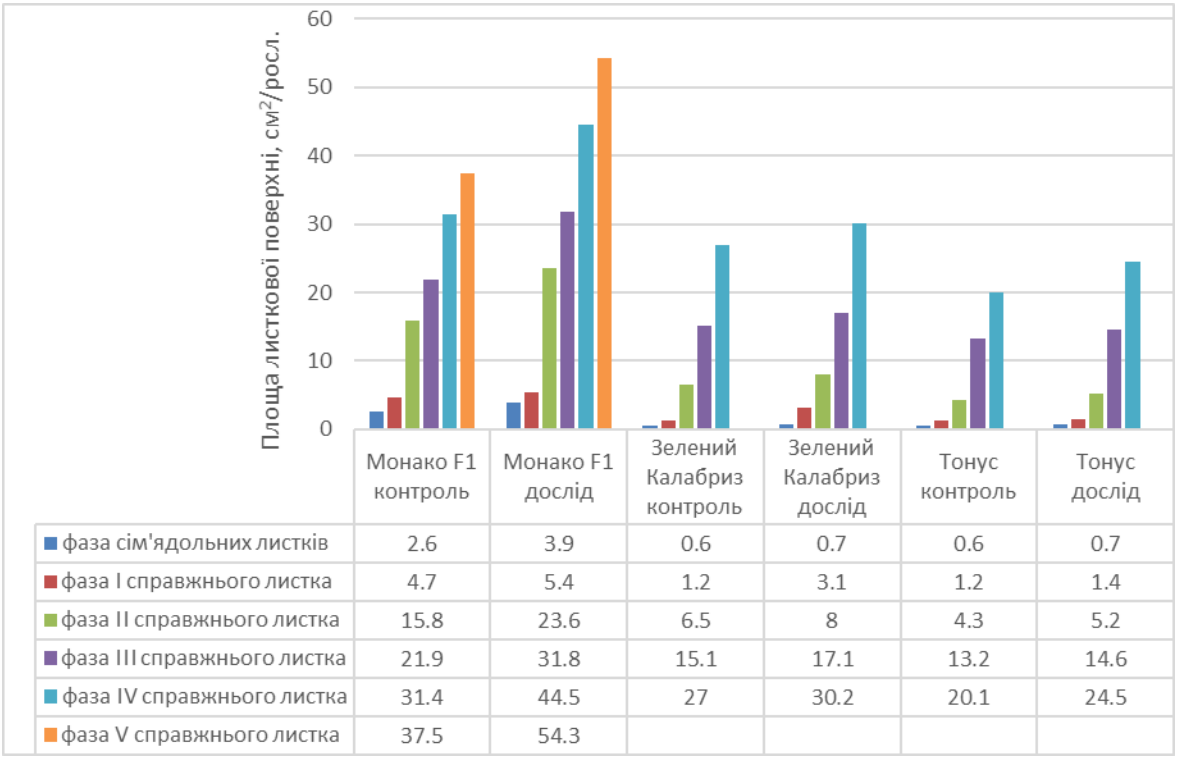
Важливим показником якісної розсади є площа асиміляційної поверхні листків рослин (рис. 4).

Згідно результатів, найбільшу площу сім'ядольних листків спостерігали у гібриду Монако F_1. За цим показником вирізнялися сіянці за досвічування фітолампами (3,9 см^2) порівняно з контролем (2,6 см^2). Таким чином, відмінності проявилися уже на ранніх етапах розвитку розсади. Так, середня площа асиміляційного апарату у Монако F_1 була в 3,7 рази більша в період формування другого листка, у сіянців двох інших сортів – при формуванні другої пари справжніх листків (рис. 4).

У сорту Зелений Калабриз у фазі першого листка площа асиміляційної поверхні сягала 3,1 см^2 у варіанті з досвічуванням і значно переважала над контролем – на 61%, а в рослин сорту Тонус за цим показником різниця була значно меншою – 14%. Рослини гібриду Монако F_1 за площею першого листка різнилися на 13%.

У фазі двох справжніх листків площа асимілляційної поверхні однієї рослини Монако F_1 у досліді перевищувала контрольні зразки на 14%, а при вступанні рослин у наступні фази вегетації – на 33, 31 та 29% відповідно. Сумарна площа листкової поверхні у молодих рослин Тонусу переважала за досвічування на 17% у фазі двох листків, а при настанні наступних фаз розвитку – на 10 і 18%. У той же час, варіант із досвічуванням рослин Зеленого Калабризу, відповідно, переважав над контролем на 19, 12 та 11% (рис. 4, 5).

Крім того, молоді рослини капусти броколі при досвічуванні були більш вирівняні за висотою, мали міцне стебло, більшу масу кореневої і надземної частин. Спостерігали також збільшення довжини коренів у розсади, яка досвічувалася. Так, діаметр стебла всіх рослин при досвічуванні дорівнював 0,3 см, а у 20% рослин контрольного



	Монако F1 контроль	Монако F1 дослід	Зелений Калабриз контроль	Зелений Калабриз дослід	Тонус контроль	Тонус дослід
фаза сім'ядольних листків	2.6	3.9	0.6	0.7	0.6	0.7
фаза I справжнього листка	4.7	5.4	1.2	3.1	1.2	1.4
фаза II справжнього листка	15.8	23.6	6.5	8	4.3	5.2
фаза III справжнього листка	21.9	31.8	15.1	17.1	13.2	14.6
фаза IV справжнього листка	31.4	44.5	27	30.2	20.1	24.5
фаза V справжнього листка	37.5	54.3				

Рис. 4. Динаміка площі листкової поверхні розсади капусти броколі

варіанту фіксували діаметр стебла 0,2 см. Діаметр розетки листків дослідного варіанту зростав на 26% проти контролю і в середньому становив 13,1 см. Надземна маса рослин Монако F_1 у варіанті з контролем становила 2,07 г, коренева частина – 1,38 г, з досвічуванням, відповідно, 3,45 г та 1,32 г (рис. 6).

Рис. 5. Фаза розгорнених трьох листків у рослин сорту Зелений Калабриз: праворуч – рослини при досвічуванні, ліворуч – за природного освітлення (15.04.2021 р.)

Рис. 6. Сформована розсада капусти броколі гібриду Монако F_1 у віці 47 днів: К – за природного освітлення, Д – при досвічуванні (17.05.2020 р.)

Таким чином, рослини гібриду Монако F_1, сортів Зелений Калабриз та Тонус, які додатково досвічувалися, отримали весь необхідний спектр освітлення, який потрібний для забезпечення процесу фотосинтезу, доброго росту і розвитку рослин. Сформована касетна розсада капусти броколі за досвічування не була витягнутою у довжину, із хорошим забарвленням, міцними стеблами та добре розвиненою кореневою системою.

Висновки. Проведені дослідження свідчать про ефективність застосування світлодіодних фітоламп потужністю 9 W та з інтенсивністю освітлення 2900 лк у ранньо-весняний період при вирощуванні розсади капусти броколі. Протягом всього досліду у варіанті з досвічуванням спостерігали переваги рослин за темпами розвитку листків, більші висоту стебла та асимиляційну площу. Крім того, у сформованої розсади при досвічуванні діаметр стебла та розетки листків перевищував контроль, зростала їх надземна маса. Таким чином, більш якісна розсада формувалася при досвічуванні рослин капусти броколі фітолампами.

Література

1. Barickman TC, Kopsell DA, Sams CE, Morrow RC. Sole-Source LED Lighting and Fertility Impact Shoot and Root Tissue Mineral Elements in Chinese Kale (*Brassica oleracea* var. *Alboglabra*). Horticulturae. 2020. 6(3). P. 40; https://doi.org/10.3390/horticulturae6030040

2. Bian ZH, Yang QC, Liu WK. Efects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. J Sci Food Agric. 2015. 95. P. 869–877. DOI: 10.1002/jsfa.6789

3. Fiutak G, Michalczyk M. Effect of artificial light source on pigments, thiocyanates and ascorbic acid content in kale sprouts (Brassica oleracea L. var. Sabellica L.) Food Chemistry. 2020. Vol. 330. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127189

4. He J, Qin L, Chow WS. Impacts of LED spectral quality on leafy vegetables: Productivity closely linked to photosynthetic performance or associated with leaf traits? Int J Agric & Biol Eng. 2019. 12(6). P. 16–25. DOI:10.25165/j.ijabe.20191206.5178

5. Kobayashi K, Amore T, Lazaro M. Light-Emitting Diodes (LEDs) for Miniature Hydroponic Lettuce. Optics and Photonics Journal. 2013. 3. P. 74–77. http://dx.doi.org/10.4236/opj.2013.31012

6. Loi M, Liuzzi VC, Fanelli F, De Leonardis S, Creanza TM, Ancona N, Paciolla C, Mulè G. Effect of different light-emitting diode (LED) irradiation on the shelf life and phytonutrient content of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). Food Chemistry. 2019. 283. P. 206–214. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.021

7. Ma G, Zhang L, Setiawan CK, Yamawaki K, Asai T, Nishikawa F, Maezawa S, Sato H, Kanemitsu N, Kato M. Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli. Postharvest Biology and Technology. 2014. 94. P: 97–103. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.010

8. Nassarawa SS, Abdelshafy AM, Xu Y, Li L, Luo Z. Effect of Light-Emitting Diodes (LEDs) on the Quality of Fruits and Vegetables During Postharvest Period: a Review. Food and bioprocess technology. 2021. 14(3). P. 388–414. DOI:10.1007/s11947-020-02534-6

9. Naznin T, Lefsrud M, Gravel V, Hao X. Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties. Acta Hortic. Proc. VIII Int. Symp. on Light in Horticulture. 2016. P. 223–229. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1134.30

10. Olle M, Alsiòa I. Influence of wavelength of light on growth, yield and nutritional quality of greenhouse vegetables. Proceedings of the latvian

academy of sciences. Section B. 2019. 73(1). P. 1–9. DOI: https://doi.org/10.2478/prolas-2019-0001

11. Ouzounis T, Rosenqvist E, Ottosen C-O. Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Reviewin. HortScience. 2015. 50(8). P. 1128–1135. DOI: https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.8.1128

12. Paradiso R, Proietti S. Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. J Plant Growth Regul. 2021. https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y

13. Pintos FM, Hasperué JH, Ixtaina P, Vicente AR, Lemoine ML, Rodoni LM. Short light exposure preserves broccoli head quality and nutrients during refrigerated storage. 2021. https://doi.org/10.1111/jfpp.15801

14. Promratrak L. The effect of using LED lighting in the growth of crops hydroponics. International Journal of Smart Grid and Clean Energy. 2017. 6(2). P. 133–140. DOI:10.12720/sgce.6.2.133-140

15. Setiawan CK, Supriyadi, Santoso U, Ma G, Kato M. "Effect of Light-Emitting Diode (Led) Light on the Gene Expression Related With Ascorbate Biosynthesis and Metabolism in Broccoli Florets" in 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Food Security: A Comprehensive Approach, KnE Life Sciences. 2017. P. 529–541. DOI:10.18502/kls.v2i6.1073

16. Sydiakina O, Sahno I. Current status and prospects of broccoli growing. Scientific Horizons. 2020. 02 (87). P. 102–110. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-87-02-102-110

17. Wang J, Mao S, Wu Q, Yuan Y, Liang M, Wang S, Huang K, Wu Q. Effects of LED illumination spectra on glucosinolate and sulforaphane accumulation in broccoli seedlings. Food Chemistry. 2021. Vol. 356. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129550

18. Xue A, Liang W, Wen S, Gao Y, Huang X, Tong Y, Hao Y, Luo L. Metabolomic analysis based on EESI-MS indicate blue LED light promotes aliphatic-glucosinolates biosynthesis in broccoli sprouts. Journal of Food Composition and Analysis. 2021. 97. P. 1–9. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103777

19. Бондаренко Г.Л. , Яковенко К.І. (за ред.). Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві, 3-тє вид. Харків: Основа, 2001. 369 с.

20. Дидів О., Дидів І., Дидів А. Комерційна культура броколі. Овощеводство, 2018. 3 (155). С. 26–32.

21. Єщенко, В. О., Копитко, П. Г., Костогриз, П. В., Опришко, В. П. Основи наукових досліджень в агрономії. Вінниця: ПП «ТД «Едельвейс і К», 2014. 332 с.

References

1. Ouzounis T, Rosenqvist E, Ottosen C-O (2015) Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Reviewin. HortScience 50(8):1128–1135. DOI: https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.8.1128

2. Olle M, Alsiòa I (2019) Influence of wavelength of light on growth, yield and nutritional quality of greenhouse vegetables. Proceedings of the latvian academy of sciences. Section B 73(1):1–9. DOI: https://doi.org/10.2478/prolas-2019-0001

3. Promratrak L (2017) The effect of using LED lighting in the growth of crops hydroponics. International Journal of Smart Grid and Clean Energy 6(2):133–140. DOI:10.12720/sgce.6.2.133-140

4. Bian ZH, Yang QC, Liu WK (2015) Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review. J Sci Food Agric 95:869–877. DOI: 10.1002/jsfa.6789

5. Naznin T, Lefsrud M, Gravel V, Hao X (2016) Different ratios of red and blue LED light effects on coriander productivity and antioxidant properties. Acta Hortic. Proc. VIII Int. Symp. on Light in Horticulture 223–229. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1134.30

6. Kobayashi K, Amore T, Lazaro M (2013) Light-Emitting Diodes (LEDs) for Miniature Hydroponic Lettuce. Optics and Photonics Journal. 3:74–77. http://dx.doi.org/10.4236/opj.2013.31012

7. Paradiso R, Proietti S (2021) Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. J Plant Growth Regul https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y

8. Sydiakina O, Sahno I (2020) Current status and prospects of broccoli growing. Scientific Horizons, 02 (87), 102–110. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-87-02-102-110

9. Fiutak G, Michalczyk M (2020) Effect of artificial light source on pigments, thiocyanates and ascorbic acid content in kale sprouts (Brassica oleracea L. var. Sabellica L.) Food Chemistry, 330:127189. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127189

10. Wang J, Mao S, Wu Q, Yuan Y, Liang M, Wang S, Huang K, Wu Q (2021) Effects of LED illumination spectra on glucosinolate and sulforaphane accumulation in broccoli seedlings. Food Chemistry, Vol 356. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129550

11. Barickman TC, Kopsell DA, Sams CE, Morrow RC (2020) Sole-Source LED Lighting and Fertility Impact Shoot and Root Tissue Mineral Elements in Chinese Kale (*Brassica oleracea* var. *Alboglabra*). Horticulturae, 6(3), 40; https://doi.org/10.3390/horticulturae6030040

12. He J, Qin L, Chow WS (2019) Impacts of LED spectral quality on leafy vegetables: Productivity closely linked to photosynthetic performance or associated with leaf traits? Int J Agric & Biol Eng, 12(6):16–25. DOI:10.25165/j.ijabe.20191206.5178

13. Xue A, Liang W, Wen S, Gao Y, Huang X, Tong Y, Hao Y, Luo L (2021) Metabolomic analysis based on EESI-MS indicate blue LED light promotes aliphatic-glucosinolates biosynthesis in broccoli sprouts. Journal of Food Composition and Analysis 97:1–9. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103777

14. Nassarawa SS, Abdelshafy AM, Xu Y, Li L, Luo Z (2021) Effect of Light-Emitting Diodes (LEDs)

on the Quality of Fruits and Vegetables During Postharvest Period: a Review. Food and bioprocess technology, 14(3):388–414. DOI:10.1007/s11947-020-02534-6

15. Pintos FM, Hasperué JH, Ixtaina P, Vicente AR, Lemoine ML, Rodoni LM (2021) Short light exposure preserves broccoli head quality and nutrients during refrigerated storage https://doi.org/10.1111/jfpp.15801

16. Setiawan CK, Supriyadi, Santoso U, Ma G, Kato M (2017) "Effect of Light-Emitting Diode (Led) Light on the Gene Expression Related With Ascorbate Biosynthesis and Metabolism in Broccoli Florets" in 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Food Security: A Comprehensive Approach, KnE Life Sciences, pages 529–541. DOI:10.18502/kls.v2i6.1073

17. Ma G, Zhang L, Setiawan CK, Yamawaki K, Asai T, Nishikawa F, Maezawa S, Sato H, Kanemitsu N, Kato M (2014) Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli. Postharvest Biology and Technology, 94:97–103. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.03.010

18. Loi M, Liuzzi VC, Fanelli F, De Leonardis S, Creanza TM, Ancona N, Paciolla C, Mulè G (2019) Effect of different light-emitting diode (LED) irradiation on the shelf life and phytonutrient content of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). Food Chemistry, 283:206–214. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.021

19. Bondarenko H.L. , Yakovenko K.I. (za red.) (2001). Metodyka doslidnoi spravy v ovochivnytstvi i bashtannytstvi [Methodology of experimental work in vegetable and melon]. Kharkiv: Osnova, 369 s. [in Ukrainian].

20. Dydiv O., Dydiv I., Dydiv A. (2018). Komertsiina kultura brokoli [Commercial culture of broccoli]. Kyiv: Ovoshchevodstvo, 2018, 3 (155), 26–32. [in Ukrainian].

21. Ieshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Kostohryz, P. V. & Opryshko, V. P. (2014). Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii [Fundamentals of scientific research in agronomy]. Vinnytsia: PP «TD «Edelveis i K», 332 s. [in Ukrainian].