

УДК 633.11:631.52:631.58

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.144.5>

ОПТИМІЗАЦІЯ УМОВ ОСВІТЛЕННЯ ТА ВИБІР СУБСТРАТУ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ВИРОЩУВАННЯ МІКРОЗЕЛЕНІ ГОРОХУ

Ваховська А.В. – д. філос., викладач кафедри біології,

Уманський національний університет

orcid.org/0009-0006-9940-7696

Парубок М.І. – к.б.н., доцент кафедри біології,

Уманський національний університет

orcid.org/0000-0002-7228-4669

У сучасних умовах, коли світ зіштовхується з проблемами нестачі якісного харчування та зміною клімату, вирощування мікрозелені стає ефективним рішенням для забезпечення населення корисними продуктами. Водночас, оптимізація технологій вирощування мікрозелені, зокрема підбору світлових режимів і субстратів, залишається актуальною.

У статті наведено результати досліджень впливу спектрального складу світлодіодного освітлення та типу субстрату на ріст, урожайність і біохімічний склад мікрозелені гороху в умовах контрольованого середовища. У межах дослідження було передбачено три експериментальних варіанти освітлення мікрозелені гороху з різним спектральним співвідношенням червоного і синього світлодіодного випромінювання: 80% : 20 %, 60% : 40% та 70% : 30%. Для вирощування рослин використовували три типи субстратів: торф, лляний килимок та мінеральну вату. Дослідження проводили упродовж 2024–2025 років в навчально-науковій лабораторії «Екологічного моніторингу в агросфері» кафедри біології Уманського національного університету. Результати показали, що оптимальним варіантом для вирощування мікрозелені гороху є поєднання лляного килимка як субстрату та освітлення з перевагою 80 % червоного та 20 % синього спектру. За таких умов максимальна висота рослин становила 9,6 см, маса однієї рослини – 2,8 г, урожайність – 1,2 кг/м². Також цей варіант забезпечив найвищий вміст хлорофілу – 2,6 мг/г, сухої речовини – 7,6 %, фенольних сполук – 17,0 мг ГАЕ/г, що свідчить про підвищену поживну цінність та функціональні властивості мікрозелені гороху. Менш ефективними виявився варіант за використання мінеральної вати, що пояснюється нижчими показниками росту і накопичення біологічно активних речовин.

Отже, лляний килимок забезпечує оптимальні умови вологості та аерації для розвитку кореневої системи мікрозелені гороху, що сприяє кращому засвоєнню поживних речовин і води. Використання LED-освітлення з регульованим спектром дозволяє стимулювати фотосинтез і синтез вторинних метаболітів, що позитивно впливає на якість мікрозелені. А також, позитивно відображається на харчовій цінності, антиоксидантних властивостях і загальній якості мікрозелені, роблячи її більш корисною та привабливою для споживачів.

Ключові слова: мікрозелень гороху, світлодіодне освітлення, субстрат, якість, урожайність, біохімічний склад.

Vakhovska A.V., Parubok M.I. Optimization of lighting regimes and substrate selection for enhanced growth of pea microgreens

In today's context, when the world faces the problems of lack of quality nutrition and climate change, cultivation of microgreens becomes an effective solution for providing the population with useful products. At the same time, the optimization of microgreens cultivation technologies, in particular the selection of light modes and substrates, remains relevant.

The article provides the results of studies of the impact of the spectral composition of LED-lighting and the type of substrate on growth, yield and biochemical composition of microgreen peas in a controlled environment. The study provided three experimental lighting variants of microgreens peas with different spectral ratio of red and blue LED radiation: 60 %: 40 %, 70 %: 30 % and 80 %: 20 %. Three types of substrates were used to grow plants: peat, linen mat and mineral wool. The research was conducted during 2024–2025 in the educational and scientific laboratory "Ecological monitoring in agrosphere" of the department of biology of Uman National University. The results have shown that the best option for growing microgreen

peas is a combination of linen rug as a substrate and light with an advantage of 80 % of red and 20 % of blue spectrum. Under these conditions, the maximum height of plants was 9,6 cm, the weight of one plant – 2,8 g, yield – 1,2 kg/m². This variant also provided the highest content of chlorophyll – 2,6 mg/g, dry matter – 7,6 %, phenolic compounds – 17,0 mg ha/g, which indicates high nutritional value and functional properties of microseed peas. Less effective was the use of mineral wool, which is explained by lower indicators of growth and accumulation of biologically active substances.

Therefore, the linen rug provides optimal humidity and aeration conditions for the development of the root system microgreen peas, which promotes better absorption of nutrients and water. Using LED-lighting with a regulated spectrum allows you to stimulate photosynthesis and synthesis of secondary metabolites, which has a positive effect on the quality of microgreens. Also, it is positively reflected in the nutritional value, antioxidant properties and the overall quality of microgreens, making it more useful and attractive to consumers.

Key words: pea microgreens, LED-lighting, substrate, quality, yield, biochemical composition.

Постановка проблеми. У сучасних умовах підвищеного попиту на екологічно чисті, поживні та функціональні продукти харчування мікрозелень посідає особливе місце завдяки високому вмісту біологічно активних речовин, швидкому циклу вирощування та можливості використання у контрольованих умовах. Серед широкого асортименту культур особливу увагу привертає мікрозелень гороху, яка характеризується високим вмістом легкозасвоюваного білка, антиоксидантів, вітамінів та мінеральних сполук. Короткий вегетаційний період, компактність виробництва та висока біомаса, яку можна отримати за короткий період, роблять мікрозелень гороху привабливою культурою для вирощування у міських умовах, зокрема в контрольованих середовищах: вертикальних фермах, контейнерних установках, теплицях з LED-освітленням.

Разом із тим, ефективність вирощування мікрозелені значною мірою залежить від сукупності технологічних факторів, серед яких вирішальну роль відіграють джерела освітлення, типи субстратів, режими зрошення, температура, вологість та інші показники. LED-освітлення, завдяки своїй енергоефективності та можливості регулювання спектру й інтенсивності світла, є одним з ключових інструментів у вирощуванні рослин у закритих системах. Однак оптимальні параметри освітлення для максимальної продуктивності мікрозелені гороху все ще потребують уточнення, зважаючи на значну чутливість рослин до змін світлового режиму. Крім того, на ріст і якість мікрозелені суттєво впливають властивості субстрату, а також спосіб зрошення, який забезпечує необхідний рівень вологості без дефіциту кисню для кореневої системи.

Особливу увагу слід приділяти також властивостям субстрату, який суттєво впливає на розвиток кореневої системи, поглинання води та засвоєння поживних речовин, а також загальну якість рослинної біомаси. Субстрат з гарною водоутримуючою здатністю, аерацією, нейтральним рН середовищем, достатнім вмістом органічних речовин, позитивно впливає на швидкість росту та стійкість мікрозелені до стресових умов. Крім того, спосіб зрошення має бути оптимізований для підтримки необхідного рівня вологості субстрату без дефіциту кисню для кореневої системи, що є критичним для здорового розвитку рослин.

Таким чином, комплексна оптимізація умов освітлення та вибору субстрату є надзвичайно важливою для підвищення ефективності вирощування мікрозелені гороху в контрольованих умовах, що відкриває перспективи для її широкого використання в агропромисловому секторі та міському фермерстві.

Аналіз останніх досліджень. Вирощування сільськогосподарських культур у контрольованих умовах дедалі частіше використовується для виробництва листових овочевих культур, зокрема мікрозелені, оскільки забезпечує виробникам

максимальний контроль над факторами росту з метою оптимізації смакових якостей, морфологічних характеристик та отримання високого врожаю впродовж усього року [1].

Контрольоване середовище вирощування передбачає застосування штучного освітлення, що є одним із ключових чинників у формуванні росту рослин. Одним із провідних параметрів є інтенсивність світла, яка суттєво впливає на ріст, морфогенез та біосинтез фітохімічних речовин у рослинах [2]. За допомогою регульованого штучного освітлення можливо точно контролювати інтенсивність світлового потоку, що впливає на морфофізіологічні процеси рослин, забезпечуючи високу якість продукції.

Згідно з літературними джерелами, в умовах виробництва мікрозелені зазвичай застосовують інтенсивність світла в межах $100\text{--}300 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ фотонного потоку фотосинтетично активного світла (PPFD) [3]. Умовно низький рівень інтенсивності світла становить $100\text{--}140 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, середній – $140\text{--}200 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, а високий – понад $200 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ [4].

Дослідження показують, що збільшення інтенсивності освітлення, як правило, позитивно корелює з біомасою рослин: підвищується як свіжа, так і суха маса рослин, водночас спостерігається зменшення довжини гіпокотилу [5, 6]. Використання низької інтенсивності світла дозволяє зменшити витрати електроенергії при культивуванні, особливо у закритих агросистемах. Завдяки можливості регулювання яскравості світлодіодних ламп, рівень енергоспоживання може бути знижений без повної втрати продуктивності [3].

Водночас варто враховувати, що інтенсивність світла безпосередньо впливає на інтенсивність фотосинтезу, темпи росту рослин, а також на синтез вторинних метаболітів, зокрема антиоксидантів та інших біологічно активних сполук [7, 8]. Надмірне зниження освітлення може призвести до уповільнення росту та зниження якісних характеристик мікрозелені, включаючи концентрацію цінних фітохімічних компонентів [5].

Вибір субстрату є не менше важливим чинником, що впливає на успішність процесу вирощування мікрозелені. Для мікрозелені субстрат повинен мати високу водоутримуючу здатність, добру аерацію, стабільну температуру та нейтральний або слабокислий рН, що в свою чергу впливає на швидкість проростання насіння, розвиток кореня та загальний об'єм біомаси [9].

Наукові дослідження свідчать, що кокосове волокно забезпечує високу врожайність і стабільний рівень вологості, однак потребує промивання через можливу солоність. Торф із вермікулітом має схожі властивості, проте менш стабільний за вологістю. Джгутові та льняні мати відзначаються екологічністю та низьким вмістом нітратів у рослинній масі. Гідрогель забезпечує сталу вологість, що особливо корисно в умовах домашнього вирощування, хоча й може уповільнювати проростання через обмежену аерацію [10].

Крім фізіологічного впливу, субстрат також впливає на якість мікрозелені. Зокрема, кокос стимулює утворення аскорбінової кислоти, торф – підвищення фенольних сполук, а джгут – зменшення нітратів та збагачення на антоціани. Що свідчить про здатність певних субстратів не лише підтримувати ріст, а й покращувати харчову цінність рослин [11, 12].

Таким чином, вибір субстрату є важливим фактором у вирощуванні мікрозелені. Найкращими з точки зору врожайності та якості продукту є кокосові субстрати, торф'яні суміші та натуральні мати з джуту або льону. Їхні властивості забезпечують як швидкий ріст, так і високий вміст біологічно активних речовин у мікрозелені.

Метою досліджень є вплив LED-освітлення різного світлового спектру, а також виду субстрату на ріст, розвиток і якісні показники мікрозелені гороху в умовах контрольованого середовища.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились упродовж 2024–2025 років в навчально-науковій лабораторії «Екологічного моніторингу в агросфері» кафедри біології Уманського національного університету. Вегетаційні досліді здійснювали в умовах контрольованого мікроклімату, із застосуванням штучного освітлення для подовження світлового дня до 17 годин. Світловий режим забезпечували за допомогою світлодіодного фітосвітильника Ledmax T8-2835-06FS. У межах дослідження було передбачено три експериментальних варіанти освітлення мікрозелені гороху з різним спектральним співвідношенням червоного і синього світлодіодного випромінювання: 60% : 40%, 70% : 30% та 80% : 20 %. Для вирощування рослин використовували три типи субстратів: мінеральну вату, лляний килимок та торф. Рослини досліджували впродовж ранкових і вечірніх годин, з метою аналізу змін у рості та розвитку під впливом зазначених умов освітлення та субстрату.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження впливу спектрального складу світла та типу субстрату на біометричні показники проростків мікрозелені гороху свідчать про виражену залежність ростових процесів від умов вирощування. Висота рослин та площа листків, як основний показник вегетативного розвитку на ранніх етапах, змінювалася під дією обох факторів. За контрольних умов середня висота рослин становила $8,9 \pm 0,5$ см, а площа листків $-2,6 \pm 0,1$ см². Зміна спектрального складу світла на користь збільшення частки червоного (70% : 30% та 80% : 20%) не призвела до суттєвого збільшення висоти проростків на мінеральній ваті: за 70% : 30% висота навіть зменшилася на 2,2%, а при 80% : 20% зросла всього на 1,1%. Проте площа листків при цьому зросла на 15,4% порівняно з контролем, що вказує на ефективну дію збільшення червоного світла на розвиток листового апарату (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив спектрального складу світла та субстрату на біометричні показники проростків мікрозелені гороху (середнє за 2024–2025 рр.)

Субстрат (фактор А)	Спектр (фактор В)	Висота рослин		Площа листків	
		см ($\bar{x} \pm SD$)	$\pm$ до контролю, %	см ² ($\bar{x} \pm SD$)	$\pm$ до контролю, %
Мінеральна вата (контроль)	60% : 40% (контроль)	$8,9 \pm 0,5$	0	$2,6 \pm 0,1$	0
	70% : 30%	$8,7 \pm 0,3$	-2,2	$3,0 \pm 0,2$	+15,4
	80% : 20%	$9,0 \pm 0,4$	+1,1	$3,0 \pm 0,2$	+15,4
Лляний килимок	60% : 40%	$8,7 \pm 0,3$	-2,2	$2,8 \pm 0,1$	+7,7
	70% : 30%	$9,1 \pm 0,4$	+2,2	$3,0 \pm 0,2$	+15,4
	80% : 20%	$9,6 \pm 0,6$	+7,9	$3,3 \pm 0,2$	+26,9
Торф	60% : 40%	$8,6 \pm 0,4$	-3,4	$2,7 \pm 0,1$	+3,8
	70% : 30%	$8,7 \pm 0,3$	-2,2	$2,9 \pm 0,1$	+11,5
	80% : 20%	$9,4 \pm 0,5$	+5,6	$3,1 \pm 0,2$	+19,2
CV, %		4,8	-	5,2	-

Використання лляного килимка як субстрату сприяло збільшенню як висоти, так і площі листків рослин. Так, при спектрі 60 % : 40 % висота становила

8,7 ± 0,3 см (на 2,2 % менше за контроль), але площа листків збільшилася на 7,7%. Збільшення частки червоного світла до 80 % : 20 % стимулювало ріст рослин до 9,6 ± 0,6 см (+7,9 %) та площу листків до 3,3 ± 0,2 см² (+26,9 %), що є найвищими показниками серед усіх варіантів досліду.

За використання торфу спостерігалася подібне зростання показників, хоч і дещо нижче, ніж на лляному килимку. Висота рослин при спектрі 80 % : 20 % досягала 9,4 ± 0,5 см (+5,6 %), а площа листків – 3,1 ± 0,2 см² (+19,2 %).

Отже, найкращі умови для формування біометричних показників мікрозелені гороху спостерігалися при поєднанні лляного килимка як субстрату з співвідношенням спектру світла 80 % : 20 %, що сприяло одночасному збільшенню висоти рослин та розвитку листової поверхні.

Під час вирощування мікрозелені ключовими показниками її продуктивності є маса рослин та загальна урожайність з одиниці площі. Зазначені показники відображають не лише ефективність фотосинтетичних процесів, а й здатність субстрату забезпечувати оптимальні умови для росту та розвитку рослин. Оскільки мікрозелень має короткий вегетаційний період, навіть незначні зміни в умовах вирощування можуть суттєво впливати на кінцеві показники врожайності. У даному дослідженні було проаналізовано взаємозв'язок між типом субстрату, спектральним співвідношенням червоного та синього світла, масою мікрозелені гороху та її урожайністю.

Результати показали, що використання лляного килимка як субстрату сприяло найбільшому приросту маси рослин та урожайності порівняно з контролем на мінеральній ваті при базовому спектрі 60% червоного і 40% синього світла. Зокрема, маса рослин на лляному килимку становила 2,35 ± 0,10 г, що на 11,9% перевищувало контрольний показник (2,10 ± 0,15 г). Урожайність при цьому досягала 1,17 ± 0,30 кг/м², що на 8,3% вище за контроль (1,08 ± 0,40 кг/м²).

Збільшення інтенсивності червоного світла до 80% на всіх трьох субстратах сприяло значному зростанню показників продуктивності. Найкращі результати були отримані для лляного килимка при співвідношенні світла 80 % : 20 %, де маса рослин зросла на 33,3% (2,80 ± 0,14 г), а урожайність – на 20,4% (1,30 ± 0,28 кг/м²) порівняно з контролем.

Вирощування мікрозелені гороху на торфі та при світловому спектрі 80 % : 20 % також показало позитивний результат у порівнянні з контролем, маса рослин підвищувалась до 2,65 ± 0,13 г (+26,2%) та урожайності до 1,27 ± 0,36 кг/м² (+17,6%). Мінімальні прирости були характерні для мінеральної вати, де максимальні значення становили 2,40 ± 0,10 г (+14,3%) за масою та 1,18 ± 0,30 кг/м² (+9,3%) за урожайністю.

Таким чином, результати досліджень свідчать про значну роль як субстрату, так і спектрального складу світла у формуванні продуктивності мікрозелені гороху, причому лляний килимок у поєднанні з підвищеною часткою червоного світла є оптимальним варіантом для підвищення маси рослин та урожайності (табл. 2).

Одним із важливих показників якості мікрозелені є її біохімічний склад, зокрема вміст сухої речовини, фотосинтетичних пігментів та біологічно активних сполук, таких як феноли. Такі компоненти не лише визначають поживну цінність мікрозелені, але й виступають показниками фізіологічного стану рослин у відповідь на дію зовнішніх факторів. Здатність рослин синтезувати та акумулювати вторинні метаболіти залежить від умов вирощування, зокрема спектрального складу світла та типу субстрату.

Таблиця 2

Вплив спектрального складу світла та субстрату на масу та урожайність мікрозелені гороху (середнє за 2024–2025 рр.)

Субстрат (фактор А)	Спектр (фактор В)	Маса рослин		Урожайність	
		г ($\bar{x} \pm SD$)	$\pm$ до контролю, %	кг/м ² ($\bar{x} \pm SD$)	$\pm$ до контролю, %
Мінеральна вата (контроль)	60% : 40% (контроль)	2,10 $\pm$ 0,15	0	1,08 $\pm$ 0,4	0
	70% : 30%	2,20 $\pm$ 0,12	+4,8	1,11 $\pm$ 0,30	+2,8
	80% : 20%	2,40 $\pm$ 0,10	+14,3	1,18 $\pm$ 0,30	+9,3
Лляний килимok	60% : 40%	2,35 $\pm$ 0,10	+11,9	1,17 $\pm$ 0,30	+8,3
	70% : 30%	2,55 $\pm$ 0,12	+21,4	1,24 $\pm$ 0,33	+14,8
	80% : 20%	2,80 $\pm$ 0,14	+33,3	1,30 $\pm$ 0,28	+20,4
Торф	60% : 40%	2,30 $\pm$ 0,10	+9,5	1,15 $\pm$ 0,29	+6,5
	70% : 30%	2,40 $\pm$ 0,11	+14,3	1,20 $\pm$ 0,32	+11,1
	80% : 20%	2,65 $\pm$ 0,13	+26,2	1,27 $\pm$ 0,36	+17,6
CV, %		5,6	-	4,2	-

Згідно з отриманих даних, підвищення інтенсивності червоного світла до 80% сприяло поступовому збільшенню вмісту біологічно активних речовин. Так, на мінеральній ваті вміст сухої речовини зростав до $7,0 \pm 0,3$ %, хлорофілу – $2,1 \pm 0,2$ мг/г, а фенольних сполук – $14,0 \pm 0,9$ мг ГАЕ/г (табл. 3).

Таблиця 3

Біохімічні показники мікрозелені гороху залежно від типу субстрату та спектрального складу світла (середнє за 2024–2025 рр.)

Субстрат (фактор А)	Спектр (фактор В)	Суша речовина, %	Вміст хлорофілу, мг/г	Фенольні сполуки, мг ГАЕ/г
Мінеральна вата (контроль)	60% : 40% (контроль)	6,5 $\pm$ 0,3	1,8 $\pm$ 0,1	12,0 $\pm$ 0,8
	70% : 30%	6,8 $\pm$ 0,2	2,0 $\pm$ 0,1	13,2 $\pm$ 0,7
	80% : 20%	7,0 $\pm$ 0,3	2,1 $\pm$ 0,2	14,0 $\pm$ 0,9
Лляний килимок	60% : 40%	6,9 $\pm$ 0,3	2,2 $\pm$ 0,2	14,5 $\pm$ 1,0
	70% : 30%	7,2 $\pm$ 0,3	2,4 $\pm$ 0,1	15,8 $\pm$ 1,1
	80% : 20%	7,6 $\pm$ 0,4	2,6 $\pm$ 0,2	17,0 $\pm$ 1,2
Торф	60% : 40%	6,7 $\pm$ 0,3	2,0 $\pm$ 0,1	13,5 $\pm$ 0,9
	70% : 30%	7,0 $\pm$ 0,3	2,2 $\pm$ 0,2	14,7 $\pm$ 1,0
	80% : 20%	7,4 $\pm$ 0,3	2,4 $\pm$ 0,2	16,0 $\pm$ 1,1
CV, %		4,5	5,0	6,0

Використання лляного килимка як субстрату забезпечило найвищі значення біохімічних показників порівняно з іншими варіантами. Збільшення частки червоного світла до 80% забезпечило максимальні значення і вміст сухої речовини склав $7,6 \pm 0,4$ %, хлорофілу – $2,6 \pm 0,2$ мг/г, фенольних сполук – $17,0 \pm 1,2$ мг ГАЕ/г.

За використання торфу спостерігалися проміжні результати між мінеральною ватою та лляним килимком. При спектрі 80% : 20% вміст сухої речовини становив $7,4 \pm 0,3$ %, хлорофілу – $2,4 \pm 0,2$ мг/г, фенольних сполук – $16,0 \pm 1,1$ мг ГАЕ/г.

Отже, дані свідчать, що підвищення частки червоного світла у спектрі 80 % : 20 % і використання органічних субстратів, особливо лляного килимка, позитивно впливають на накопичення сухої речовини, хлорофілу та фенольних сполук у мікрозелені гороху, що покращує її якість та біологічну цінність.

Висновки і пропозиції. На підставі отриманих результатів для вирощування мікрозелені гороху доцільне використання лляного килимка як субстрату та світлового режиму з перевагою червоного спектру (80 % : 20 %). Оскільки саме за таких умов формуються найвищі показники, зокрема: висота рослин сягає 9,6 см, маса однієї рослини – 2,8 г, а урожайність – 1,2 кг/м². Крім того, такий варіант також забезпечить покращення біохімічних характеристик: вмісту хлорофілу – 2,6 мг/г, сухої речовини – 7,6 % та фенольних сполук – 17,0 мг ГАЕ/г. Отже, рекомендуємо впровадження цієї моделі вирощування у виробництво як ефективного рішення для отримання якісної та поживної мікрозелені гороху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Despommier D. Farming up the city: The rise of urban vertical farms. *Trends Biotechnol.* 2013. 31. 388–389. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2013.03.008>.
2. Pescarini H. B., Goncalves da Silva V., Mello S. da C., Purquerio L. F. V., Sala F. C., Cesar T. Q. Z. Updates on Microgreens Grown under Artificial Lighting: Scientific Advances in the Last Two Decades. *Horticulturae.* 2023. 9(8). 864. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080864>.
3. Gao M., He R., Shi R., Zhang Y., Song S., Su W., Liu H. Differential effects of low light intensity on broccoli microgreens growth and phytochemicals. *Agronomy.* 2021. 11. 537. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030537>.
4. Appolloni E., Pennisi G., Zaul I., Carotti L., Paucek I., Quaini S., Orsinia F., Gianquinto G. Beyond vegetables: effects of indoor LED light on specialized metabolite biosynthesis in medicinal and aromatic plants, edible flowers, and microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2021. 102. 472–487. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11513>.
5. Samuoliene G., Brazaityte A., Jankauskiene J., Virsile A., Sirtautas R., Novickovas A., Sakalauskiene S., Sakalauskaite J., Duchovskis P. LED irradiance level affects growth and nutritional quality of Brassica microgreens. *Central European Journal of Biology.* 2013. 8. 1241–1249. <https://doi.org/10.2478/s11535-013-0246-1>.
6. Gerovac J.R., Craver J.K., Boldt J.K., Lopez R.G. Light intensity and quality from sole-source light-emitting diodes impact growth, morphology, and nutrient content of Brassica microgreens. *HortScience.* 2016. 51. 497–503. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.497>.
7. Ilieva I., Ivanova T., Naydeno Y., Dandolov I., Stefanov D. Plant experiments with light-emitting diode module in Svet space greenhouse. *Advances in Space Research.* 2010. 46. 840–845. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2010.05.009>.
8. Brazaityte A., Sakalauskien S., Samuolien G., Jankauskien J., Virsil A., Novickovas A., Sirtautas R., Miliauskien J., Vastakaite V., Dabasinskas L. et al. The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. *Food Chemistry.* 2015. 173. 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.077>.
9. Di Gioia F., De Bellis P., Mininni C., Santamaria P., Serio F. Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (Brassica Rapa L.) microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 2016. 97. 1212–1219. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7852>.
10. Bulgari R., Negri M., Santoro P., Ferrante A. Quality Evaluation of Indoor-Grown Microgreens Cultivated on Three Different Substrates. *Horticulturae.* 2021 7(5) 96. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050096>.
11. Marta A. E., Stoica F., Ostaci S., Jitareanu C. D. The antioxidant profile of some species of microgreens cultivated on hemp and coconut substrate under the action of a biostimulator based on humic acids. *Horticulturae.* 2024. 10 (12). 1238. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121238>.
12. Lone J. K., Pandey R., Gayacharan. Corrigendum to “microgreens on the rise: Expanding our horizons from farm to fork”. *Heliyon.* 2024. 10 (4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25870>.