DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

الاستجابات المظهرية والفسيولوجية لنبات الفلفل الاخضر(.Capsicum annuum L) النامي تحت تأثير اجهاد الضوء

عبد المحسن علي جمعة[1]، احمد عبد الحكيم توفيق[2]

[1،2]قسم علوم الحياة – كلية التربية – جامعة سامراء– العراق

eduhm230290@uosamarra.edu.iq ،ahmed.hakeem@uosamarra.edu.iq

الخلاصة

أجريت تجربة في مختبر النبات التابع لقسم علوم الحياة – كلية التربية جامعة سامراء، اعتباراً من أكتوبر 2024 وذلك لدراسة تأثير الإجهاد الضوئي على الصفات الخضرية لنبات الفلفل الحلو (*Capsicum annuum L.*) تحت ظروف الإجهاد الضوئي وبمستويات شدة متباينة، حيث صممت التجربة وتم تطبيق تجربة بسيطة بعامل واحد بواقع ثلاث مكررات لكل وحدة تجريبية. حيث عُرضت مجموعة السيطرة لمستوى شدة ضوئية بلغ (55 µE)اما المجاميع التجريبية الأربعة الباقية فقد عرضت الى (55 µE,5 µE , 370 µE، 780 µE , 1600 µE) من مستويات شدة الضوء. عُرضت العينات الى 16 h إنارة و 8h ظلام تحت درجة حرارة 25 °C, وسقيً بألية الري من الأسفل (Bottom Watering) لتجنب الإصابات الفطرية الجذرية. أظهرت نتائج الصفات الخضرية أن أعلى قيمة لمساحة الورقة والوزن الرطب وطول الساق وقطر الساق وعدد الثغور كان عند معامل الشدة الضوئية 780µE حيث بلغت (16.233 سم^2، 6.433 غم، طول الساق 17.266 سم، 3.0 ملم)مساحة الورقة الوزن الرطب قطر الساق عدد الثغور على التوالي، بينما كانت أعلى قيمة لصفة طول الجذر كان في معامل الشدة الضوئية 370 µE حيث بلغت 13.566 سم بينما كانت اعلى قيمة لصفة الوزن الجاف كان عند 1600µE حيث بلغت 0.773 غم. تشير هذه النتائج إلى أن شدد الإضاءة المتوسطة إلى العالية تعزز النمو الخضري الأمثل في نبات الفلفل الحلو (Capsicum antum L)، مما قد تكون له تطبيقات عملية في الزراعة ضمن البيئات المسيطر عليها.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد الضوئي، نمو النبات، الاستجابة المورفولوجية، التمثيل الضوئي

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

تاريخ الاستلام: 2026/7/12 تاريخ القبول: 2025/8/9 تاريخ النشر : 2025/12/31

Morphological and Physiological Responses of Sweet Pepper (Capsicum annuum L.) to Varying Light Intensities

Abdul Mohsen Ali Jumaa[1], Ahmed Abdul Hakim Tawfiq[2]

[1,2]Department of Life Sciences-College of Education -Samarra University-Iraq

eduhm230290@uosamarra.edu.iq,ahmed.hakeem@uosamarra.edu.iq

Abstract:

This study was conducted in the Plant Laboratory of the Department of Biology – College of Education, University of Samarra, beginning in October 2024, to study the effect of light stress on the vegetative and chemo-biological traits of sweet pepper (Capsicum annuum L.) under varying intensities of light stress. The experiment was designed based on the One-Factor Experimental Design with three replicates per treatment unit. The control group was exposed to a light intensity of 55 µE, while the four other experimental groups were subjected to light intensities of 5 µE, 370 µE, 780 µE, and 1600 µE, respectively. The plants were exposed to a photoperiod of 16 hours of light and 8 hours of darkness at a temperature of 25 °C, with irrigation applied using the bottom watering method to avoid root fungal infections. The results of the vegetative characteristics showed that the highest values for leaf area, fresh weight, stem length, stem diameter were recorded at the 780 µE light intensity treatment, with values of 16.233 cm², 6.433 g, 17.266 cm, 3.0 mm,. The highest root length (13.566 cm) was observed at the 370 µE treatment, while the highest dry weight (0.773 g) was recorded at the 1600 µE treatment. These findings suggest that moderate to high light intensities promote optimal vegetative growth in Capsicum annuum L., which may have practical implications for controlled environment agriculture.

Keywords: Light stress, plant growth, morphological response, photosynthesis

Received: 12/7/2026 Accepted: 9/8/2025 Published: 31/12/2025

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

المقدمة Introduction

على مدى دورة حياته يعاني النبات العديد من الإجهادات الناجمة عن تعرضه الى ظروف قصوى سواء كانت هذه الظروف أو الإجهادات حيوية أو غير حيوية بمعنى بيئية أو أحيائية تتفاعل النباتات مع جميع هذه العوامل حيث يظل الغطاء النباتي ثابتًا وبتكيف مع هذه الضغوط وقد طورت النباتات مجموعة من الاستراتيجيات للتعرف على الضغوط البيئية للتعامل معها، مما يؤدي إلى توليد الاستجابات الخلوية والنسيجية الضرورية وقد أُجريت العديد من الدراسات لتحديد وفهم كيفية استيعاب النباتات وتحملها للإجهاد، بالإضافة إلى النمط الجيني المطلوب لفهم تعقيد استجابة النباتات للضغوط الحيوية وغير الحيوية (Umar, *et al* .2021).

ويُعتبر من المحاصيل التي تتميز بقيمتها الغذائية العالية كذلك تتعدد استخدامات الفلفل سواء كخضار طازج أو مجفف أو في الصناعات الغذائية المختلفة لأنه غني بالكابسيسين والذي يعد مضاداً للالتهابات وله خصائص قوية كمضاد للأكسدة (Ghosh and Sohel, 2021). من المتوقع أن يؤدي تغير المناخ إلى زيادة تكرار وشدة الضغوط غير الحيوية التي تؤثر سلبًا على النباتات، مما يشكل تهديدًا كبيرًا للمحاصيل وإمدادات الغذاء، تستجيب النباتات لهذه الضغوط من خلال تفعيل استجابات فسيولوجية وجزيئية معينة، بالإضافة إلى تعديل مسارات التمثيل الغذائي المختلفة، بهدف التخفيف من الآثار السلبية لهذه الضغوط على نموها وتطورها وتكاثرها كما تقوم النباتات بإنتاج مجموعة متنوعة من المستقبلات التي تنظم العديد من جوانب نموها وتطورها، فضلاً عن استجابتها للضغوط (Zandalinas , et al , 2022). يعد الضوء على رأس العوامل غير الحيوية التي تؤثر بشكل غير مباشر على أيض وفعالية النبات ، فعندما يتعرض النبات لزيادة الضوء أو تقلباته ، يؤدي ذلك الى تراكم لأنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) في النظامين الضوئيين الأول والثاني المسؤولين عن تفاعلات الضوء والظلام في عملية البناء الضوئي ، كما أن التعرض للأشعة فوق البنفسجية يمكن أن يتسبب في تلف الحمض النووي، بينما تؤدي فترات الإضاءة الطويلة إلى ظهور متلازمة إجهاد فترة الضوء حيث تعتبر التغيرات في جودة الضوء وكميته ومدة التعرض له عوامل رئيسية تؤثر على استجابة النباتات للضغوط الحيوية وغير الحيوية على سبيل المثال، يعزز النهار القصير أو البيئات المظللة من قدرة النباتات على تحمل الحرارة ويزيد من تأقلمها مع البرودة وبالمثل، تساهم ظروف الظل في تحسين قدرة النباتات على تحمل الإجهاد الناتج عن الجفاف (Roeber , *et al* .2021). لكي نفهم دور شدة الضوء في التأثير على أيض النبات خصوصا عملية

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

البناء الضوئي وإنتاج مركبات الأيض الثانوي، لابد من معرفة دوره في عملية تراكم المواد الكيميائية النباتية ومع ذلك فإن جودة الضوء يؤدي إلى استجابات أكثر تعقيدًا والتي قد تختلف بين الأنواع ونسب الضوء (Ahmad، 2016 *et al.*). يحفز الضوء العديد من المستقبلات الأساسية، مثل المركبات الفينولية، التي يمكن أن تعمل كعوامل مضادة للميكروبات أو مضادة للفطريات، بالإضافة إلى دورها ككاسحات للجذور الحرة (Ouzounis، et *al* .2014).

مواد وطرائق العمل

موقع تنفيذ التجربة Experimental site

نفذت التجربة في أحد المختبرات العلمية التابعة لقسوم الحياة / كلية التربية / جامعة سامراء 2025/2024 لمعرفة تأثير الإجهاد الضوئي على صفات وتغيير في الصفات الفسلجية لنبات الفلفل الأخضر الحلو

تصميم وظروف التجربة

صممت التجربة وتم تطبيق تجربة بسيطة بعامل واحد بواقع ثلاث مكررات لكل معاملة, حيث تم تجهيز المختبر بخزانات حديدية ذات رفوف وتقسيمها الى خمسة مستويات من الشدد ضوئية, كل حسب الشدة المطلوبة, عًرضت مجموعة السيطرة الى شدة ضوئية تبلغ 55 µE كما موضح في ملحق (3) اما المجاميع التجريبية الأربعة الباقية فكانت كما يلي, الشدة المنخفضة 5 µE كما موضح في ملحق (5) الشدد المرتفعة, 370µE, 780µE, 1600µE على التوالي كما موضح في ملحق (4) (6) حيث استخدمت المصابيح ذات اللون الابيض (LED) وتم زيادة عدد المصابيح لزيادة الشدد الضوئية مستخدمين جهاز مقياس الضوء الرقمي (Luxmeter) كما موضح في ملحق (7). ضبطت توقيتات تشغيل وإطفاء الإضاءة من خلال جهاز مؤقت تايمر، موديل (Chint KG316T) وذلك لغرض التحكم في توقيتات الإضاءة والتي كانت 16h انارة و8h ظلام.

وضعت الشتلات بأحواض المنيوم ذات حواف منخفضة (Shallow aluminum tray) وذلك لضمان السقي المنتظم للمجاميع التجريبية حيت أن عملية السقي تمت بتقنية السقي من الأسفل (Bottom Watering) مستخدمين أقداح بحجم ثابت 250mlثقوب متساوية لضمان عدم اختلاف ظروف السقي بين شتلة وأخرى، غسلت الأقداح بمضاد فطري لضامن عدم إصابة الجذور بالفطريات وجففت قبل الزراعة.

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

التربة المستخدمة

استخدمت تربة خليط من كل من البيتموس والبيرلايت والفيرموكلايت وبنسب 1/1/2 على التوالي، استخدم نوع البيتموس (Membership) الفرنسي المنشأ، اما البيرولايت فكان أسترالي المنشأ وذلك لزيادة التهوية والمسافات البينية لضمان امتداد حر للمجموعة الجذرية، اما الفرموكلايت فكان من منشأ أسترالي كذلك وتم استخدامه لزادة تحسين خصائص التربة وضمان نمو مثالي للمجاميع التجريبية.

زراعة النبات وظروف النمو

تمت التجربة في ظروف مختبرية مضبوطة العوامل (Laboratory Experiment) حيث نقلت شتلات الفلفل الأخضر البالغة من العمر 4أسابيع الى أصص بلاستيكية بحجم 250ml وعرضت الى الشدد الضوئية التالية: 5µE , 55µE ,370µE, 780µE, 1600µEحتى مرحلة الإزهار والنضج الجنسي وبفترات تعريض 16h إنارة و8h ظلام ودرجة حرارة 21C° ورطوبة نسبية تبلغ

(55-60%)

القياسات الخضرية

طول الساق SL

تم قياس طول ساق النبات باستعمال شريط قياس مدرج ابتداءً من سطح التربة إلى قمة النبات بحساب المتوسط من حاصل قسمة مجموع ارتفاع النباتات في كل معاملة على عددها .(Tabb *et al* 2019)

قطر الساق SD

تم قياس قطر الساق من قاعدة الساق ووسطه وعند اعلى نقطة من الساق باستعمال (da Silva, et al 2020).

طول الجذر RL

تم حساب طول الجذر بغسله جيدًا لإزالة التربة والحطام. قُيس الطول من نقطة تلامس الساق مع الجذر حتى نهاية الجذر بشريط قياس. حُسب متوسط الطول بناءً على متوسط طول النبات ,.Liu et al (2020)

مساحة الورقة(LA)

حُسب متوسط مساحة الورقة لجميع النباتات في كل معاملة باستخدام الصيغة التالية ,Hsia (1973)

مساحة الورقة = طول الورقة × أقصى عرض × 0.802

حيث تم اختيار العينة النباتية من كل معامل ضوئي وفق نمط متقاطع لضمان التوزيع العشوائي وتلافي تأثيرات الموقع داخل الحجرة التجريبية حيث جرى قياس مساحة الورقة اخذ ثلاث أوراق من ثلاث نبتات في مواقع مختلفة على الساق ممثلة لكل معامل كما موضح في ملحق (10).

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

الوزن الرطب MW

تم اقتلاع النباتات بالكامل، وتنظيفها من الغبار والمواد العالقة، وشطفها جيدًا بالماء، ثم تجفيفها لحساب الوزن الطازج للنباتات. وُزنت النباتات باستخدام ميزان حساس، وقُسِّم الوزن الإجمالي للنباتات على عددها لحساب متوسط الوزن الطازج للنباتات (A.O.A.C، 1970).

الوزن الجاف DW

تم حساب الوزن الجاف للنباتات عن طريق التقليب المستمر وتجفيفها طبيعيًا في المختبر. وُضعت النباتات الطازجة في أكياس ورقية مثقبة تحمل اسم العينة، ثم وُضعت في فرن تجفيف كهربائي على درجة حرارة 45 درجة مئوية لمدة 10 أيام حتى جفّت تمامًا. حُسب الوزن الجاف كما يلي (Pheleps، 2000): الوزن الطازج/الوزن الجاف/الوزن الطازج × 100.

التحليل الإحصائي

حللت البيانات إحصائيا بالبرنامج الإحصائي SPSS وقورنت المتوسطات الحسابية بالاعتماد على اختبار دنكن متعدد الحدود عند مستوى احتمالية 5% (Ali et al 2021).

ترميز المعاملات Coding the experimental units

لمراعاة السهولة والدقة وعدم اللبس في وصف النتائج التي توصلنا اليها، عمدنا الى ترميز الوحدات التجريبية (المعاملات) وذلك لتجنب السرد المتكرر الذي يمكن أن يؤدي الى لبس عند القارئ كما في جدول (3–2).

جدول (3–2): توزيع المعاملات وترميزها

رمز الشدة	مقدار الشدة	وزن رطب (mw)	وزن جاف (dw)	طول الساق (sl)	طول الجذر (rl)	قطر الساق (sd)	مساحة الورقة (La)
L1	1600µE	L1mw	L1 **dw**	L1 **sl**	L1 **rl**	L1 **sd**	L1 **La**
L2	780µE	L2mw	L2 **dw**	L2 **sl**	L2 **rl**	L2 **sd**	L2 **La**
L3	370µE	L3mw	L3 **dw**	L3 **sl**	L3 **rl**	L3 **sd**	L3 **La**
C	55µE	Cmw	C **dw**	C **sl**	C **rl**	C **sd**	C **La**
L0	5µE	L0mw	L0 **dw**	L0 **sl**	L0 **rl**	L0 **sd**	L0 **La**

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

رمز الشدة	الوزن الرطب WW (غم)	الوزن الجاف DW (غم)	طول الساق SL (سم)	طول الجذر RD (سم)	قطر الساق SD (ملم)	مساحة الورقة LD (سم^2)
L1	1.338±5.4 ab	0.177±0.6 96a	1.800±17. 20a	0.602±13. 566ab	0.602±2. 933a	3.464±15.3 66a
L2	± 6.433a 1.078	± 0.713a 0.140	±17.266a 0.642	± 12.500b 0.500	±3.00a 0.500	± 16.233a 4.996
L3	± 6.00ab 0.624	± 0.773a 0.091	±15.233a 0.862	±12.500b 0.866	± 2.966a 0.152	±13.833a 2.902
C	± 7.633a 1.628	± 0.783a 0.104	±16.666a 1.258	±14.00a 0.500	± 2.900a 0.346	±18.600a 1.539
L−1	±4.100b 0.692	±0.393b 0.180	±15.833a 0.577	±7.666c 0.763	±2.366a 0.115	±9.500c 2.882

النتائج والمناقشة Result and Discussions

الاستجابات الخضرية

بعد سلسلة الإجهادات التي عرض اليها النبات على مدار البحث *Capsicum annuum L.* توصلنا الى مجموعة من النتائج التي قسمناها الى شقين خضري وبايو كيميائي، ومستعرضين هنا في هذه الفقرة النتائج الخضرية التي توصلنا اليها والمتضمنة (الوزن الرطب، الوزن الجاف، طول الساق، طول الجذر. قطر الساق، المساحة الورقية، عدد الثغور).

الوزن الرطب

أظهرت النتائج المستخلصة من التجربة أن الوزن الرطب للنبات سجل ارتفاعًا ملحوظًا تحت شدة الإضاءة (780 µE) L2mw، حيث بلغ 6.433 غم، أما بقية المعاملات الضوئية وهي L1mw، L0mw،L3mw ، فقد سجلت القيم التالية: 5.400، 6.00، و4.100 غم على التوالي، دون وجود فروق معنوية عند مستوى الاحتمالية ($0.05 \geq$). تميزت معاملة L2mw بأعلى قيمة مقارنةً بالمعاملات الأخرى، مما يشير إلى أن شدة الضوء المرتفعة نسبيًا قد ساهمت في تعزيز عملية البناء الضوئي وزيادة ضغط الامتلاء (Turgor Pressure) في الخلايا النباتية، الأمر الذي أدى إلى تخزين كمية أكبر من الماء. هذه النتيجة تتماشى مع ما ذكره Yang, & (Wei. 2020) ، الذين أوضحوا أن زيادة شدة الإضاءة تساهم في تعزيز التمثيل الضوئي، مما

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

يؤدي إلى تحسين امتصاص الماء ونقل السكريات، وبالتالي زيادة الوزن الرطب للنبات.

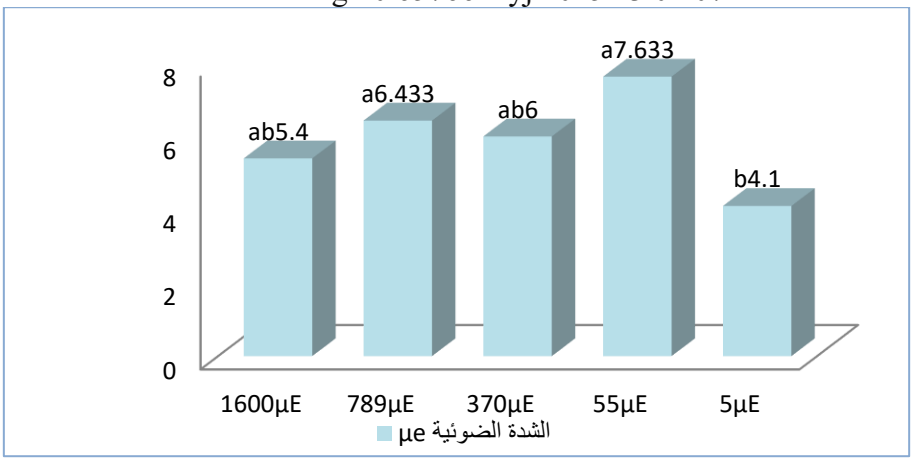
في المقابل، أظهرت معاملة السيطرة (Cmw) قيمة مرتفعة بشكل ملحوظ، مما يدل على أن الإضاءة الطبيعية وفرت بيئة مثالية لتحقيق توازن بين النمو وامتصاص الماء، خاصةً أن النباتات في هذه المعاملة لم تتعرض لإجهاد ضوئي. وتتوافق هذه النتيجة مع ما أشار إليه(Chen, *et al.* 2023)، بأن شدة الإضاءة الطبيعية والمناسبة لنوع النبات توفر أفضل توازن فسيولوجي لامتصاص الماء، نمو الأوراق، وتكوين الكتلة الحيوية.

أما معاملة L1 فقد أظهرت استجابة نباتية إيجابية، حيث ساعدت شدة الضوء المتوسطة على دعم النمو الخضري والمائي، مما ساهم في تعزيز امتصاص الماء وتراكمه في الأنسجة. وقد دعمت هذه النتيجة دراسة(Chen, *et al.* 2023)، التي بيّنت أن الإضاءة المتوسطة تحفز البناء الضوئي وتزيد من نشاط الامتداد الخلوي، ما ينعكس إيجابًا على الكتلة الحيوية الخضراء.

ورغم أن معاملة L3mw تميزت بشدة إضاءة مرتفعة جدًا (1600 µE)، إلا أن الوزن الرطب بقي مرتفعًا نسبيًا. ويُعزى ذلك إلى أن الإجهاد الضوئي لم يبلغ الحد الذي يؤثر سلبًا على قدرة النبات على امتصاص الماء، وإن كان قد بدأ يؤثر جزئيًا على كفاءة النمو الخضري. وقد دعمت هذه الملاحظة دراسة) Szymańska, *et al.* 2017)، التي وجدت أن النباتات قادرة في مراحلها المبكرة على التكيف مع شدة الضوء العالية من خلال تخزين الماء في الأنسجة كآلية دفاعية، على الرغم من تباطؤ نمو بعض الأعضاء. كذلك، أظهرت دراسة) Urrestarazu, et al. 2016) أن زيادة شدة الإضاءة عن المعدل الطبيعي ساهمت في رفع الوزن الرطب للشتلات، وذلك نتيجة تعزيز البناء الضوئي ونشاط الإنزيمات المرتبطة بامتصاص الماء. ومن ناحية أخرى، أفاد(Yang, et al. 2023) بأن رفع شدة الضوء إلى مستويات تتجاوز 1000 µE لم يؤثر سلبًا على الوزن الرطب، بل زاده، وهو ما لا يتوافق مع الانخفاض المسجل في الوزن الرطب تحت معاملة(L3 1600 µE).

تُعرض البيانات بشكل متوسط ± الانحراف المعياري (SD) بناءً على ثلاث مكررات (n = 3). حددت الدلالة الإحصائية باستخدام اختبار (Duncan)، واعتُبرت الفروقات ذات دلالة إحصائية عند مستوى $P \leq 0.05$.

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07



شكل رقم (4–1) الوزن الرطب لمعاملات الشدة الضوئية المتباينة

وتحليل دلالة نتيجة هذا المعامل ان الوزن الطري يمثل الكتلة الكلية للنسيج الخضري مملوءًا بالماء، ويعكس مدى قدرة النبات على امتصاص الماء والاحتفاظ به داخل خلاياه. ارتفاع الوزن الطري في معاملة السيطرة (C) يبيّن أن النبات في الظروف الضوئية الطبيعية كان في وضع مائي جيد، في حين أن انخفاضه في L3 يشير إلى أن الضوء العالي سبّب فقدًا مفرطًا للماء (نتح)، وربما ضعف في الامتصاص أو زيادة الإجهاد الضوئي، مما قلل من التورم الخلوي.

ومنها استنتج شدة الضوء العالية تؤثر سلبًا في الوزن الطري نتيجة فقد الماء، بينما الضوء المعتدل يحافظ على ضغط الخلية ويعزز الامتلاء الخلوي.

واقترح دراسة النتح، محتوى الماء النسبي، وكفاءة استخدام الماء لتفسير سلوك الوزن الطري بشكل فسيولوجي دقيق.

الوزن الجاف

سجل الوزن الجاف للنبات ارتفاعًا ملحوظًا عند شدة الإضاءة L3dw، حيث بلغ 0.773 غم، كما مبين في شكل (4–2) وهو أعلى من القيم المسجلة في المعاملات L1dw، L2dw، وL0dw، والتي كانت 0.393، 0.713، و0.696 غم على التوالي. وقد سجلت معاملة L0dw أدنى قيمة بين هذه المعاملات. بالمقابل، أظهرت معاملة السيطرة (Cdw) أعلى قيمة للوزن الجاف، حيث بلغت 7.83 غم. وبذلك، لم تُسجّل فروق معنوية بين معاملة السيطرة والمعاملات ذات الشدة الضوئية العالية، بينما لوحظت فروق معنوية واضحة بين المعاملة ذات الشدة المنخفضة (L0dw) وبقية المعاملات. تعكس نتائج معاملة L3dw قدرة النبات على التكيف والاستفادة من شدة الضوء العالية جدًا، على الرغم من اقترابها من حدود الإجهاد الضوئي، ويُعزى ذلك إلى كفاءة آليات الحماية الضوئية التي

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

حالت دون حدوث أضرار فسيولوجية كبيرة. وتتفق هذه النتيجة مع ما أشار إليه (Burgess *et al.* 2023)، الذي بيّن أن بعض النباتات تحت شدة ضوء مرتفعة قد تُظهر زيادة في تراكم الكتلة الجافة نتيجة ارتفاع معدل التمثيل الضوئي إلى حد معين. أما نتائج معاملة L2، فقد أظهرت استجابة إيجابية لشدة الضوء المرتفعة نسبيًا، حيث ساهمت في تعزيز التمثيل الضوئي وزيادة تراكم المادة الجافة في أنسجة النبات، وهو ما تدعمه دراسة (Moe *et al.* 2005)، التي أثبتت أن ارتفاع شدة الإضاءة يُحسّن من كفاءة استخدام الكربون ويعزز تراكم الوزن الجاف، لا سيما في نبات الفلفل الحلو. من جهة أخرى، يُعد تفوق معاملة السيطرة (Cdw) دليلًا على أن الشدة الطبيعية (55 µE) هي الأمثل لنبات الفلفل الحلو من حيث إنتاج الكتلة الحيوية، إذ توفر توازنًا مثاليًا بين معدل البناء الضوئي وتقليل مستويات الإجهاد، مما ساعد في تراكم كميات كبيرة من الكربوهيدرات وتحويلها إلى مادة جافة، وتتطابق هذه النتيجة مع ما ذكره (Chen, *et al.* 2023)، الذي بيّن أن الشدة الضوئية المثلى تُنتج أعلى قيم الوزن الجاف بفضل الكفاءة القصوى في إنتاج وتوزيع الطاقة. على النقيض من ذلك، فقد أشارت (Ito, *et al.* 2024) إلى أن شدة الضوء العالية (1500–1700 µE) في بيئات محكومة أدت إلى تراكم أعلى للمادة الجافة، نتيجة لارتفاع نشاط إنزيمات التمثيل الضوئي وزيادة معدل تثبيت الكربون، وهو ما يتعارض مع نتائج هذه الدراسة التي أظهرت تفوق الشدة الطبيعية على الشدة العالية جدًا (L3dw). وأكد(Wang *et al.* 2016) بدوره أن شدة الضوء العالية (800–1000 µE) أنتجت أعلى وزن جاف في نبات الفلفل مقارنةً بالإضاءة الطبيعية، نتيجة للتحفيز الكبير للبناء الضوئي وتثبيت الكربون.

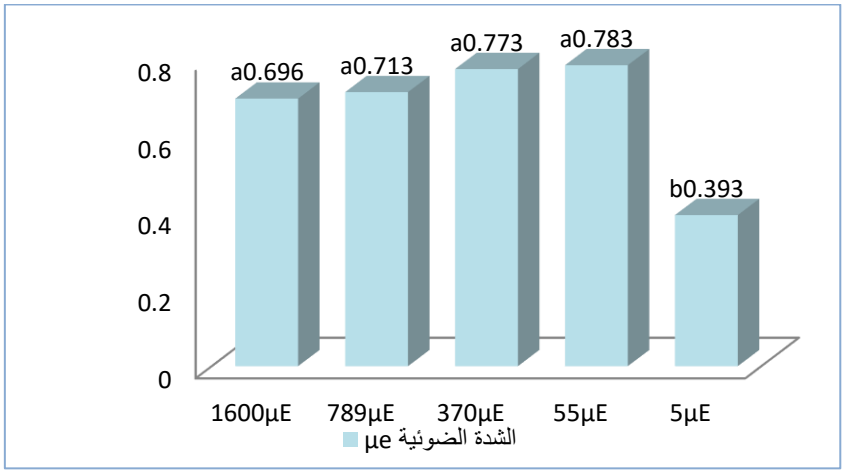
وتحليل دلالة نتيجة هذا المعامل ان الوزن الجاف يعكس كمية المواد العضوية التي تراكمها النبات (كربوهيدرات، بروتين، ليغنين)، وهو مؤشر للكفاءة في التمثيل الضوئي وتكوين المادة الجافة. ارتفاع الوزن الجاف في L1 يشير إلى أن الضوء المعتدل هو الأفضل لتحفيز عملية البناء الضوئي دون التسبب في إجهاد، في حين أن انخفاضه في L3 قد يكون ناتجًا عن تثبيط العمليات الحيوية رغم وفرة الضوء بسبب زيادة الإجهاد التأكسدي أو اختلال توازن الماء/الطاقة.

لذا تُعد شدة الضوء المعتدلة محفّزًا فعالًا لبناء الكتلة الجافة، بشرط عدم تجاوز الحد الأعلى للطاقة الضوئية المناسبة للنبات.

لذا اقترح قياس محتوى السكريات والنشا والكلوروفيل للربط المباشر مع الوزن الجاف.

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

تُعرض البيانات بشكل متوسط ± الانحراف المعياري (SD) بناءً على ثلاث مكررات (n = 3). حددت الدلالة الإحصائية باستخدام اختبار (Duncan)، واعتُبرت الفروقات ذات دلالة إحصائية عند مستوى 0.05 ≥ P.



مخطط رقم (4–2) الوزن الجاف لمعاملات الشدة الضوئية المتباينة

طول الساق

أظهرت النتائج المستخلصة من التجربة أن طول ساق نبات الفلفل الحلو سجل أعلى قيمة له عند معاملة L2sl، حيث بلغ 17.26 سم، تلتها معاملة L1sl بقيمة بلغت 17.2 سم، ما يشير إلى تقارب بين المعاملتين دون وجود فروق معنوية بينهما. في المقابل، سجلت أدنى القيم في معاملتي L3sl وL0sl، حيث بلغت 15.83 سم و15.23 سم على التوالي. أما معاملة السيطرة (Csl)، فقد بلغت فيها قيمة طول الساق 16.6 سم. تشير هذه النتائج إلى أن شدة الإضاءة المتراوحة بين 300 µE و800 تسهم في زيادة طول النبات، وهو ما يتوافق مع ما أشار إليه(Yang, & Wei. 2020)، حيث أوضحت الدراسة أن شدة الضوء المتوسطة إلى المرتفعة (300–800 µE) تؤدي إلى زيادة معنوية في طول الساق من خلال تحفيز عمليتي الامتداد والانقسام الخلوي، نتيجة لتوازن الطاقة الضوئية.

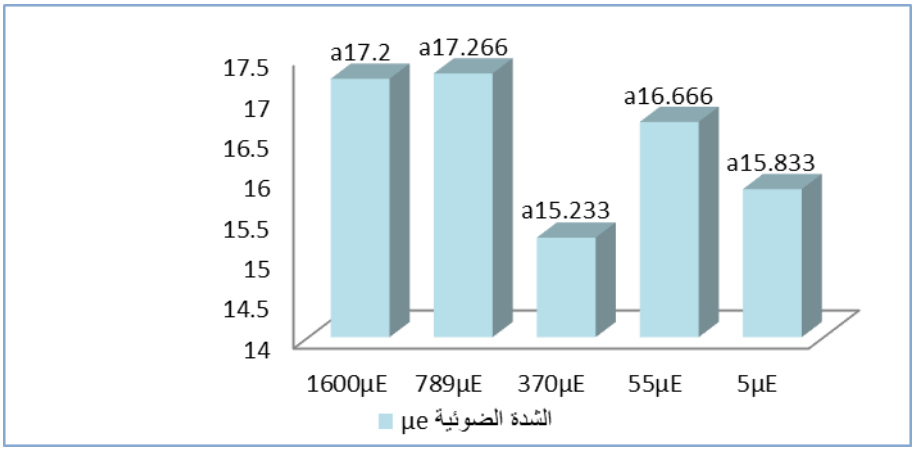
من ناحية أخرى، فإن انخفاض طول الساق عند شدة الضوء العالية جدًا كما في معاملة L3sl، يتماشى مع ما ذكره2012 (Hernández & Kubota)، حيث وجدا أن شدة الإضاءة العالية (أكثر من 1500 µE) تؤدي إلى تقصير طول الساق في نبات الفلفل، نتيجة لتحفيز التفرع الجانبي على حساب النمو الطولي، بالإضافة إلى تأثير الإجهاد الضوئي الذي يُضعف استطالة الخلايا. كما أن النتائج المسجلة عند الشدة المنخفضة (معاملة L0sl) تتفق مع ما أشار إليه (Dieleman *et al.* 2025)، الذين أوضحوا أن الإضاءة المنخفضة جدًا تُضعف النمو الطولي نتيجة

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

لنقص الطاقة الضوئية اللازمة لعملية البناء الضوئي، مما يؤدي إلى انخفاض طول الساق، رغم احتمال حدوث استطالة في بعض الأنواع كرد فعل مظلي (Shade Avoidance Response).

مع ذلك، هناك نتائج مخالفة لما تم التوصل إليه في هذه الدراسة. فقد أشار(Yang, & Wei. 2020) إلى أن شدة الإضاءة العالية التي تصل إلى µE 1600 أدت إلى زيادة ملحوظة في طول الساق في نبات الفلفل الحلو، نتيجة لتحفيز إنتاج الأوكسينات وتحقيق توازن بين البناء الضوئي والنمو الخضري. كما وجد(Goo,*et al.* 2024) أن أقصى طول للساق في نبات الفلفل الحلو تحقق عند شدة إضاءة معتدلة تتراوح بين µE 50 و70، وهو ما يتعارض مع نتائج هذه الدراسة التي أظهرت أن الشدة الطبيعية (55 µE) لم تُنتج أطول ساق مقارنةً بالمعاملتين L1sl وL2sl. بالإضافة إلى ذلك، أشار (He, *et al* 2024) إلى أن انخفاض شدة الضوء قد يؤدي في بعض الحالات إلى زيادة في طول الساق كرد فعل مظلي، وهو ما لم يتطابق مع النتائج الحالية التي أظهرت انخفاضًا في طول الساق عند الشدة المنخفضة.

تُعرض البيانات بشكل متوسط ± الانحراف المعياري (SD) بناءً على ثلاث مكررات (n = 3). حددت الدلالة الإحصائية باستخدام اختبار (Duncan)، واعتُبرت الفروقات ذات دلالة إحصائية عند مستوى $P \leq 0.05$.



شكل رقم (4-3) طول الساق لمعاملات الشدة الضوئية المتباينة

وتحليل دلالة نتيجة هذا المعامل أن طول الساق يعكس مدى نشاط القمة النامية واستجابة النبات للضوء عبر هرمونات النمو (خاصة الأوكسينات). الزيادة في L1 تشير إلى أن الضوء المعتدل شجّع النمو الطولي دون كبح هرموني، بينما الضوء العالي

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

في L3 قد ثبّط إفراز الأوكسينات أو سبّب تلفًا خلويًا قلّل من الاستطالة.

الاستنتاج: الضوء المعتدل يعزز النمو الطولي للساق من خلال تأثيره الهرموني، ويُفضل في البيئات المغلقة لمنع التشوهات القمية.

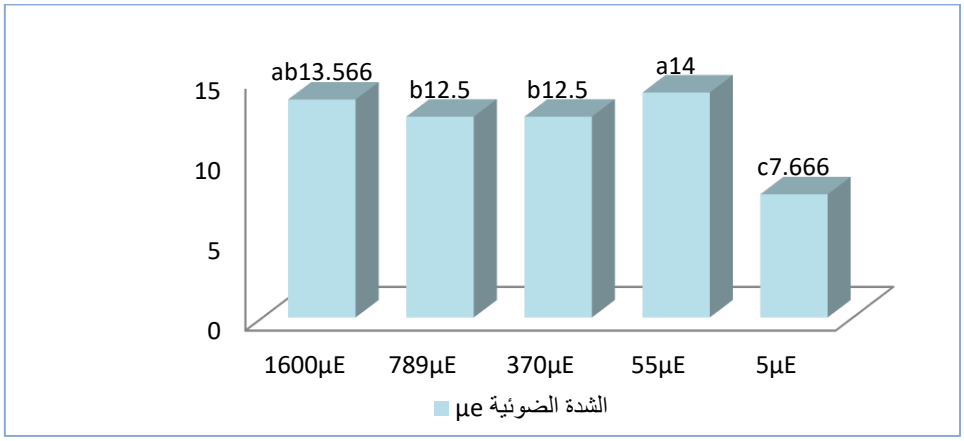
واقترح تحليل كمي لمستويات IAA في الساق ودراسة التعبير الجيني المرتبط بالاستطالة مثل SAUR و GH3.

طول الجذر

أوضحت النتائج المستخلصة من التجربة أن أعلى قيمة لطول الجذر سُجّلت في معاملة L1، حيث بلغ متوسط الطول 13.56 سم، تليها معاملة السيطرة (Crl) التي سجلت 14 سم. أما أدنى قيمة فقد ظهرت في معاملة الشدة الضوئية المنخفضة (L0rl)، وبلغت 7.6 سم. وبالنسبة للمعاملتين L2rl وL3rl، فقد سجلتا نفس الطول تقريبًا (12.5 سم لكل منهما)، دون وجود فروق معنوية بينهما، مما يؤكد فاعلية الشدة الطبيعية في تعزيز نمو الجذور. تتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه(Lee *et al.* 2024) بأن شدة الضوء المعتدلة (50 –70 µE) تُعد الأنسب لنمو الجذور في نبات الفلفل، حيث تسهم في تعزيز امتصاص العناصر الغذائية وتنشيط العمليات الفسيولوجية المتعلقة بالتوازن بين البناء الضوئي والتنفس. أما الانخفاض الملحوظ في طول الجذر عند معاملة L0rl، فيدعم ما ذكره(Trouwborst *et al.* 2010)، حيث بينوا أن الضوء المنخفض للغاية يؤدي إلى تراجع نشاط البناء الضوئي، مما ينتج عنه نقص في المركبات الضرورية لنمو الجذور، بالإضافة إلى انخفاض مستويات الأوكسينات التي تلعب دورًا أساسيًا في استطالة الجذر. أما فيما يتعلق بتأثير شدة الإضاءة المرتفعة، فقد أظهرت معاملة L3rl نتائج أقل من الكنترول، مما يشير إلى تأثير سلبي نسبي للإضاءة العالية على نمو الجذور. ويتوافق ذلك مع ما توصل إليه (Johkan et al. 2010)، الذين أكدوا أن شدة الضوء التي تتجاوز 700 µE تؤدي إلى تثبيط نمو الجذور، نتيجة لتحفيز النمو الخضري العلوي على حساب الجذر، وتقليل توزيع الكربوهيدرات إلى الأنسجة الجذرية. ومع ذلك، تتناقض هذه النتائج مع ما أورده(He *et al.* 2018)، حيث أظهرت دراستهم أن الشدة الضوئية المتوسطة إلى المرتفعة (400–800 µE) ساهمت في تحسين نمو الجذور نتيجة زيادة تراكم الكربوهيدرات وتنشيط الإنزيمات المرتبطة بالنمو. كما أشار(Li *et al.* 2015) إلى أن شدة الضوء العالية (1600 µE) في البيئات المحمية عززت نمو الجذور، بفضل التحفيز القوي لإنتاج الأوكسينات، لا سيما في المراحل الأولى من نمو الشتلات.

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

تُعرض البيانات بشكل متوسط ± الانحراف المعياري (SD) بناءً على ثلاث مكررات (n = 3). حددت الدلالة الإحصائية باستخدام اختبار (Duncan)، واعتُبرت الفروقات ذات دلالة إحصائية عند مستوى $P \leq 0.05$.



شكل رقم (4–4) طول الجذر لمعاملات الشدة الضوئية المتباينة

وتحليل دلالة نتيجة هذا المعامل إن طول الجذر يدل على قدرة النبات على التمدد داخل التربة أو الوسط الزراعي بحثًا عن الماء والعناصر. أطول جذر ظهر في L1 مما يدل على أن الضوء المعتدل دعم إنتاج الطاقة الكافية لتوسيع الجذر. بينما في L3، فإن الإجهاد الضوئي قد سبّب انخفاضًا في المواد المنقولة من الأوراق إلى الجذور، ما أثر سلبًا على النمو الجذري.

الاستنتاج: الإضاءة المعتدلة تساهم في تعزيز النمو الطولي للجذور، وهو أمر بالغ الأهمية في الأنظمة الزراعية الحديثة التي تتطلب توزيعًا جذريًا جيدًا.

واقترح تحليل ديناميكية توزيع الجذور داخل الوسط الزراعي باستخدام تقنيات التصوير أو الأنظمة المحوسبة (مثل root scanner).

قطر الساق

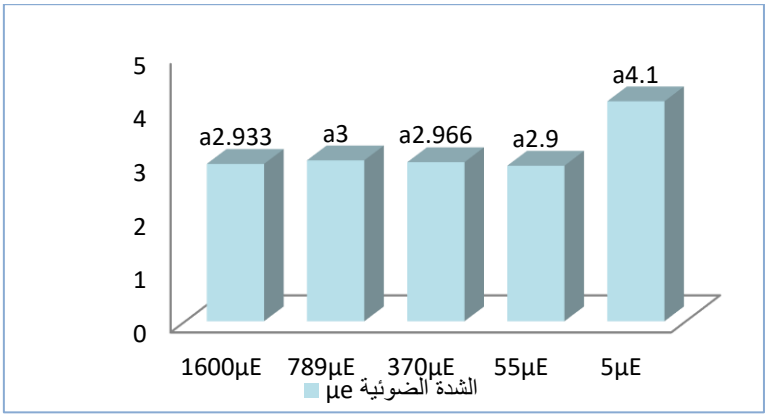
أظهرت نتائج التجربة أن أكبر متوسط لقطر الساق سُجِّل عند معاملة L2sd، حيث بلغ 3 ملم، متفوقًا على معاملة السيطرة (Csd) التي سجلت 2.9 ملم. في المقابل، لم تُسجل فروق معنوية عند باقي المعاملات (L1sd، L3sd، L0sd)، حيث تراوحت قيم قطر الساق بين 2.36 ملم و2.96 ملم، وذلك عند مستوى دلالة 0.05، ما يشير إلى أن شدة الضوء في هذا النطاق لم تُحدث تأثيرًا معنويًا على قطر الساق.

تتفق هذه النتائج مع ما أورده(Kong *et al.* 2019)، الذين أفادوا بأن قطر الساق في نبات الفلفل لا يتأثر بشكل كبير بالتغيرات الطفيفة في شدة الضوء ضمن النطاق 300–800 µE ، وأن التأثير

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

الأكبر للإضاءة يظهر في صفات النمو الطولي أو الكتلي، وليس بالضرورة في النمو القطري للساق، أما الانخفاض الطفيف في قطر الساق عند معاملة L0rl (الضوء المنخفض جدًا)، فيتفق مع ما ذكره (Trouwborst *et al.* 2010)، حيث بينوا أن شدة الضوء المنخفضة تؤثر سلبًا على فعالية البناء الضوئي، مما يؤدي إلى ضعف في تكوين الأنسجة الداعمة وبالتالي تقليل قطر الساق. من جهة أخرى، يشير الارتفاع النسبي في قطر الساق عند شدة الإضاءة المتوسطة المرتفعة (L2sd) إلى دور هذه الشدة في تعزيز النمو القطري، وهو ما تدعمه نتائج(Hernández and Kubota 2012) التي أظهرت أن الإضاءة ضمن النطاق 700–800 µE تعزز من قوة الساق وسمكها، نتيجة التوازن بين الامتداد الخلوي وتطور الأنسجة الوعائية. بالمقابل أشار Li وآخرون (2021) إلى أن شدة الإضاءة العالية جدًا (فوق 1500 µE) قد تُسبب انخفاضًا في قطر الساق بسبب زيادة النمو الطولي السريع دون دعم كافٍ لنمو الأنسجة الجانبية (النمو الشعاعي). ويدعم ذلك ما توصل إليه Lee, et al) (2024 حيث لاحظوا وجود فروق معنوية في قطر الساق عند استخدام شدة ضوء تتراوح بين 50 µE و800، مع تسجيل أعلى قطر عند 600–700 µE، بينما انخفض القطر عند الشدات المنخفضة جدًا أو العالية جدًا. ومن ناحية أخرى، أشار(Spaninks, & Offringa, 2023) إلى أن ظروف البيئة مثل الرطوبة العالية والتغذية الكاملة قد تُعدل من تأثير شدة الضوء، إذ في بعض الحالات قد لا يؤدي الضوء المنخفض بالضرورة إلى تقليل قطر الساق، بل قد يحفّز نموًا تعويضيًا طفيفًا في السمك كرد فعل هيكلي.

تُعرض البيانات بشكل متوسط ± الانحراف المعياري (SD) بناءً على ثلاث مكررات (n = 3). حددت الدلالة الإحصائية باستخدام اختبار (Duncan)، واعتُبرت الفروقات ذات دلالة إحصائية عند مستوى $P \leq 0.05$.



شكل رقم (4–5) قطر الساق لمعاملات الشدة الضوئية المتباينة

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

وتحليل دلالة نتيجة هذا المعامل ان قطر الجذر يشير إلى نمو الأنسجة الداخلية مثل الأسطوانة الوعائية والقشرة، وهو مرتبط بالصلابة الميكانيكية وكفاءة الامتصاص. ارتفاع القطر في L1 يشير إلى نمو متوازن في الجذر، بينما القطر الضيق في L3 يُظهر أن الضوء العالي أثّر سلبًا على تكوين الأنسجة الجذرية، إما بتقليل النشاط الانقسامي أو بتثبيط النمو الخلوي.

الاستنتاج: الضوء المعتدل يحفز نمو قطر الجذر ويعزز من كفاءته الامتصاصية والهيكلية، بينما يؤثر الضوء العالي سلبًا في بنيته.

وأوصى بإجراء مقاطع مجهرية في الجذور وتحليل عدد ونشاط الشعيرات الجذرية ومناطق الامتصاص.

مساحة الورقة (سم²)

أظهرت نتائج التجربة أن أعلى متوسط لمساحة الورقة سُجِّل في معاملة السيطرة (Cla)، حيث بلغ 18.600 سم²، تلتها معاملة L2la التي سجلت 16.23 سم². أما معاملة L1la فقد سجلت 15.36 سم²، في حين لوحظ انخفاض في مساحة الورقة عند معاملة L3la، وكان الانخفاض الأوضح في معاملة L0la التي سجلت أدنى قيمة. وقد بين التحليل الإحصائي وجود فروق معنوية بين المعاملات المختلفة عند مستوى دلالة 0.05، ما يشير إلى تأثير واضح لشدة الضوء في مساحة الورقة.

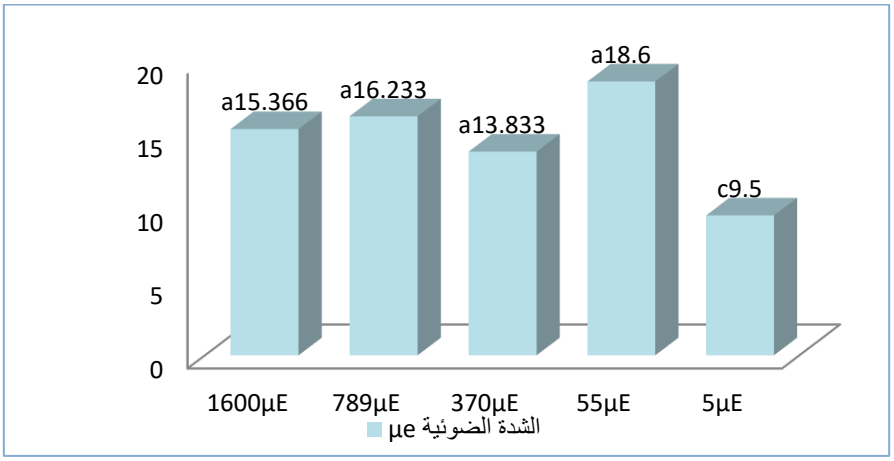
تتفق هذه النتائج مع ما أشار إليه(Zaghdoud *et al.* 2023)، حيث بيّنت دراستهم أن شدة الضوء المعتدلة (50–100 µE) تساهم في زيادة مساحة الورقة في نبات الفلفل نتيجة تحقيق توازن بين عملية البناء الضوئي وامتصاص العناصر، مما يؤدي إلى نمو ورقي أكثر كفاءة في ظل غياب الإجهاد الضوئي. كما تتفق نتائج الانخفاض الملحوظ عند معاملة L3 (1600 µE) مع ما أورده (Johkan *et al.* 2010)، الذين أشاروا إلى أن شدة الضوء المرتفعة جدًا تؤدي إلى تثبيط نمو الأوراق وتقليل المساحة الورقية بفعل الإجهاد الضوئي، والذي يحد من عملية تمدد الخلايا الورقية. من ناحية أخرى، أكّد(Trouwborst *et al.* 2010) أن شدة الضوء المنخفضة جدًا تؤدي إلى إنتاج أوراق صغيرة وضعيفة النمو، نتيجة لانخفاض معدل البناء الضوئي ونقص الكربون المتوفر لنمو الأنسجة الورقية، وهو ما يفسر انخفاض مساحة الورقة في معاملة L0la (5 µE). في المقابل، تدعم نتائج(Hernández and Kubota 2012) الأداء الجيد لمعاملة L2la (780 µE)، حيث وجدوا أن شدة الضوء المعتدلة المرتفعة (600–800 µE) تعزز من نمو الأوراق وزيادة مساحتها،

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

بفضل ارتفاع كفاءة البناء الضوئي دون الوصول إلى مستويات مفرطة من الإجهاد.

ورغم ذلك، فقد أشارت بعض الدراسات إلى نتائج مخالفة. حيث وجد(He *et al.* 2018) أن تعريض نبات الفلفل لشدة ضوء مرتفعة (900–700 µE) أدى إلى زيادات واضحة في المساحة الورقية، نتيجة لتحفيز فاعل لعملية التوسع الخلوي. كما أوضح (Lee, et al 2024)أن نبات الفلفل قد يظهر استجابة إيجابية لمساحة الورقة حتى عند شدة ضوء مرتفعة (1600–1500 µE)، بشرط توفر تبريد كافٍ وتغذية منتظمة، مما يساهم في تحفيز الانقسام الخلوي الورقي، وهي نتائج تتعارض مع ما لوحظ في هذه الدراسة عند معاملة L3la.

تُعرض البيانات بشكل متوسط ± الانحراف المعياري (SD) بناءً على ثلاث مكررات (n = 3). حددت الدلالة الإحصائية باستخدام اختبار (Duncan)، واعتُبرت الفروقات ذات دلالة إحصائية عند مستوى $P \leq 0.05$



شكل رقم (4–6) المساحة الورقية لمعاملات الشدة الضوئية المتباينة

وتحليل دلالة نتيجة هذا المعامل ان المساحة الورقية تعكس القدرة الامتصاصية للضوء، والفعالية التمثيلية للورقة الواحدة. أكبر مساحة سجلت في L1 تشير إلى أن الضوء المعتدل لم يسبّب تحجيمًا للنمو، بل سمح بتوسع الخلايا الورقية. أما فيL3 ، فقد سبّب الضوء العالي تقلصًا في حجم الأوراق، وهو تكيف لحماية الورقة من التلف أو الفقد المفرط للماء.

الاستنتاج: شدة الضوء المعتدلة تزيد من القدرة الامتصاصية للضوء عن طريق زيادة المساحة الورقية، مما يدعم البناء الضوئي الفعال.

وأوصى استخدام التصوير الطيفي لتقدير الكفاءة الضوئية والمساحة النشطة بصريًا.

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

Conclusions:

1. تأكيد التأثير المباشر لعامل الضوء على الاتجاهية الخضرية للنباتات ذات المنتوج الخضري والتباين الملحوظ في مستويات الشدة الضوئية على العاملين المذكورين.

2. مستوى الشدة المتراوحة بين 50–60µE هو المستوى المثالي لتحقيق افضل نمو خضري ومحتوى كيمائي يتلائم تماما مع حاجة النباتات المزروعة في البيوت المحمية .

3. انخفاض الشدة الضوئية الى مستويات تتراوح بين 5–10µE تؤدي الى تدهور ملحوظ في الانتاجية الخضرية.

بناة على هذه النتائج، يوصى باعتماد شدد ضوئية معتدلة إلى عالية في نظم الزراعة المحمية بهدف تعزيز الإنتاج

Conflict of Interest Statement:

The author hereby declares that there are no conflicts of interest associated with this research. No financial support, sponsorship, or institutional funding was received from any individual or organization for the design, execution, or publication of this study.

بيان تضارب المصالح: يُقرّ المؤلف بعدم وجود أي تضارب في المصالح مرتبط بهذا البحث. ولم يتلقَّ أي دعم مالي أو رعاية أو تمويل مؤسسي من أي فرد أو جهة لتصميم أو تنفيذ أو نشر هذه الدراسة.

شكر وامتنان

عملا بقوله تعالي (لئن شكرتم لأزيدنكم) وعرفاناً بالفضل اتقدم بخالص الشكر والامتنان الى كل من ساعدني في انجاز هذا البحث

References

[1] **A.O.A.C.** (1980). Official Method of analysis of Assosciation of Agriculture chemst, Washington, d.c, 1015. https://doi.org/10.33462/jotaf.741367

[2] **Ahmad, N**.; Rab, A.; Ahmad, 2016 N. Light-induced biochemical variations in secondary metabolite production and antioxidant activity in callus cultures of Stevia rebaudiana (Bert). J. Photochem. Photobiol. B Biol. , 154, 51–56. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.11.015

[3] **Ali**, E. A. M., & Gomaa, A. M. (2021). Impact of organic and inorganic fertilizers on growth and yield of pepper (Capsicum annuum L.) under desert conditions. Egyptian Journal of Agronomy, 43(1), 41–55. https://doi.org/10.21608/agro.2021.54785.1299

[4] **Anderson,** J. M., Chow, W. S., & Park, Y. I. (1995)**.** The grand design

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

morphology and physiology only at extreme amplitudes. Frontiers in Plant Science, 16, Article 1500197. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1500197

[9] Goo, H., Roh, Y., Lee, J., & Park, K. S. (2024). Analysis of bell pepper (Capsicum annuum L.) leaf spectral properties and photosynthesis according to growth period. Horticulturae, 10(6), 646. https://doi.org/10.3390/horticulturae10060646

[10] **He**, D., et al. (2018). Higher light intensities increase leaf area in Capsicum annuum. Plant Science Journal, 196, 102–110.https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.10.006

[11] **He,** D., et al. (2018). Medium to high light intensities enhance root development in Capsicum annuum. Plant Science Journal, 196, 102–110. https://doi.org/10.8590/f16040651

[12] **He,** D., et al. (2020). High light intensity enhances elongation in pepper seedlings. Plant Physiology Reports, 25(2), 156–162. https://doi.org/10.7896/f16040651

[13] **He**, D., Li, H., Guo, J., Yuan, J., Wang, J., Liu, Y., Zhang, Z., & Lei, Y. (2025). Leaf plasticity responses of four urban garden plants to low-light environments under viaducts. Forests, 16(4), 651. https://doi.org/10.3390/f16040651

of photosynthesis: acclimation of the photosynthetic apparatus to environmental cues. Photosynthesis Research, 46(1-2), 129-139.https://doi.org/10.1007/BF00020423

[5] **Burgess**, A. J., Retkute, R., & Murchie, E. H. (2023). Photoacclimation and entrainment of photosynthesis by fluctuating light varies according to genotype in Arabidopsis thaliana. Frontiers in Plant Science, 14, Article 1116367. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1116367

[6] **Chen**, W., Zhang, Z., & Huang, Q. (2023). Effects of LED light spectra on germination and early growth of lettuce (Lactuca sativa L.) seedlings in controlled environmental conditions. Agronomy, 13(4), 689. https://doi.org/10.3390/agronomy13040689

[7] **da Silva**, T. M., da Silva, F. C., da Silva, M. J., dos Santos, D. B., & de Souza, E. R. (2020). Growth and gas exchange in maize under different irrigation depths. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 24(5), 297–302. https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n5p297-302

[8] **Dieleman**, J. A., van Steekelenburg, G., Weerheim, K., Kaiser, E., Meinen, E., & van Hoogdalem, M. (2025). Frequency of light fluctuations affects tomato

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

Scientia Horticulturae**.** Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.XXXXXX

[20] **Lee**, S. H., Park, J. E., & Kim, H. J. (2024). Nighttime blue light enhances stem elongation and photosynthetic adaptation in pepper (Capsicum annuum) seedlings under continuous light. Frontiers in Plant Science, 15, Article 1372886. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1372886

[21] **Li,** C. & Lau, O. S. (2021). Light regulates stomatal development by modulating paracrine signaling from inner tissues. Nature Communications, 12, Article 3403. https://doi.org/10.1038/s41467-021-23728-2

[22] **Li, Y**., et al. (2015). Effects of high light on root elongation in pepper. Journal of Plant Physiology, 181, 75–81.

[23] **Liu**, M., Li, Y., Liu, Y., Cao, B., & Ma, L. (2020). Effect of nitrogen application on stem diameter, plant height, and leaf area of sweet pepper (Capsicum annuum L.). Scientia Horticulturae, 261, 108930. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108930.

[24] **Moe,** R., Grimstad, S. O., & Gislerød, H. R. (2005). The use of artificial light in year-round production of greenhouse crops in Nordic countries. Acta Horticulturae,

[14] **Hernández,** R., & Kubota, C. (2012). Physiological responses of plants to light intensity using LEDs. Scientia Horticulturae, 144, 20–28.https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.19

[15] **Hsiao**, T. C. (1973). Plant responses to water stress. Ann. Rev. Plant Physiol. 24 519 – 570. https://doi.org/10.1146/annurev.pp.24.060173.002511

[16] **Ito,** K., Yokoyama, R., Tanaka, H., & Suzuki, Y. (2024). Light-use efficiency and fruit dry matter content affect fresh yield of sweet pepper. HortScience, 59(9), 1378–1385. https://doi.org/10.21273/HORTSCI17904-24

[17] **Johkan,** M., et al. (2010). High light intensity reduces leaf expansion in sweet pepper. Environmental and Experimental Botany, 68(2), 123–129.https://www.doi.org/10.21273/HORTSCI.45.12.1809

[18] **Kong,** Y., et al. (2019). Effect of light intensity on leaf morphology in Capsicum annuum. Scientia Horticulturae, 243, 344–350.https://doi.org/10.1109/TSP.2019.2897954

[19] Lee, C.-C., He, J., Zhang, W., Wen, X., Yeh, N., & Yang, Q. (2024). The antagonistic effects of red and blue light radiation on leaf and stem development of pepper (Capsicum annuum L.) seedlings.

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

bioactive compounds from plants' extracts. African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines, 8(1), 1–10. https://doi.org/10.4314/ajtcam.v8i1.65226

[30] **Sohel,** M. H.and Ghosh, M. K.2021. Effect of compost, vermicompost, trichocompost and NPKS fertilizers on the growth, yield and yield components of capsicum (*Capsicum annum* L.). EBAUB Journal.3(1):29-35..https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00106

[31] **Spaninks**, K., & Offringa, R. (2023). Local phytochrome signalling limits root growth in light by repressing auxin biosynthesis: insights from Arabidopsis and tomato. Journal of Experimental Botany, 74(15), 4642–4653. https://doi.org/10.1093/jxb/erad163

[32] Szymańska, R., Ślesak, I., Orzechowska, A., & Kruk, J. (2017). Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. Environmental and Experimental Botany, 139**,** **165–177.** https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.05.002

[33] **Tabb**, A., Holguín, G. A., & Naegele, R. (2019). Using cameras for precise measurement of two-dimensional plant features: CASS. In Book Title or Conference Name 711, 35–44. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.711.2

[25] **Mohan,** V.R., N.R. Kumar and K. Vasantha, (2014). GC-MS analysis of bioactive components of tubers of Ruellia tuberosa L. (Acanthaceae). Am. J. Phytomed. Clin. Therapeut., 2: 209-216. DOI: 10.3923/rjphyto.2015.175.187

[26] **Ouzounis,** T.; Fretté, X.; Rosenqvist, E.; Ottosen, C.-O 2014. Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas. J. Plant Physiol. 2014, 171, 1491–1499. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.06.012

[27] **Pheleps**, R. (2000). Techniques in plant physiological analysis. Oxford University Press. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2000.00778.x

[28] **oeber,** V. M., Bajaj, I., Rohde, M., Schmülling, T., & Cortleven, A. (2021). Light acts as a stressor and influences abiotic and biotic stress responses in plants. Plant, Cell & Environment, 44(3), 645-664.https://doi.org/10.1111/pce.13948

[29] **Sasidharan**, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K. M., & Latha, L. Y. (2011). Extraction, isolation and characterization of

DOI:doi.org/10.65766/alyj.2025.23.02.07

capacity of sweet pepper (Capsicum annuum L.) seedlings. BMC Plant Biology, 20, 350. https://doi.org/10.1186/s12870-020-02559-6

[39] **Yang**, X., Liu, Z., Zhang, Y., & Wang, Q. (2023). Effect of LED light wavelength and intensity on the growth, nutritional quality and glucosinolate content of radish microgreens. Food Chemistry, 401, 134088. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134088

[40] **Zaghdoud,** C., Ollio, I., Solano, C. J., Ochoa, J., Suardiaz, J., Fernández, J. A., & Martínez Ballesta, M. d. C. (2023). Red LED Light Improves Pepper (Capsicum annuum L.) Seed Radicle Emergence and Growth through the Modulation of Aquaporins, Hormone Homeostasis, and Metabolite Remobilization. International Journal of Molecular Sciences, 24(5), 4779. https://doi.org/10.3390/ijms24054779

[41] **Zandalinas,** S. I., Balfagón, D., Gómez-Cadenas, A., & Mittler, R. (2022). Plant responses to climate change: metabolic changes under combined abiotic stresses. Journal of Experimental Botany, 73(11), 3339-3354. https://doi.org/10.1093/jxb/erac073

(pp. xx–yy). https://doi.org/10.5281/zenodo.3677473

[34] **Trouwborst,** G., et al. (2010). The responses of light interception and photosynthesis to light intensity and quality in tomato. Acta Horticulturae, 907, 107–114.https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2009.01333.x

[35] **Umar,** O. B., Ranti, L. A., Abdulbaki, A. S., Bola, A. L., Abdulhamid, A. K., Biola, M. R., & Victor, K. O. (2021). Stresses in plants: Biotic and abiotic. Current trends in wheat research, 1-8.https://DOI: 10.5772/intechopen.100501

[36] **Urrestarazu**, M., Nájera, C. N., & Gea, M. del M. (2016). Effect of the spectral quality and intensity of light-emitting diodes on several horticultural crops. HortScience, 51(3), 268–271. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.3.268

[37] **Wang,** Y., et al. (2016). Light intensity effects on the growth and photosynthetic characteristics of sweet pepper. Scientia Horticulturae, 210, 289–296. https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5246053.

[38] **Yang**, F., & Wei, M. (2020). Effects of red and blue light on leaf anatomy, CO_2 assimilation and photosynthetic electron transport