المجلة الليبية للدراسات الأكاديمية المعاصرة (Libyan Journal of Contemporary Academic Studies)
LJCAS, eISSN: 5970-3005
Volume 3, Issue 2 (Part II), 2025, Pages: 119-123

Growth variation and calcium uptake in sweet pepper *(Capsicum annuum L.)* cultivars under deficient and adequate calcium levels

Suad Amgada Abd Algader*
Department of Soil and Water, Faculty of Agriculture, Omar Al-Mukhtar University, Al Bayda , Libya
*Corresponding author: suad.amqada@omu.edu.ly

تباين النمو وامتصاص الكالسيوم في بعض أصناف الفلفل الحلو (*Capsicum annuum* L.) تحت مستويي الكالسيوم النقص والكفاية

سعاد امقدع عبد القادر *
قسم التربة والمياه، كلية الزراعة، جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا

Received: 10-09-2025; **Accepted:** 22-11-2025; **Published:** 10-12-2025

Abstract:
A pot experiment was conducted to study the genetic variation in calcium uptake and utilization efficiency among three sweet peppers (*Capsicum annuum* L.): QG, QR, CW under two calcium levels, adequate and deficient (0 and 40 ppm) using a factorial experiment in (RCBD). Calcium level and variety interaction was significant for almost all parameters studied. Major differences were observed among the cultivars in dry matter accumulation in shoot and root, total biomass, and relative deficiency in shoot biomass. Calcium stress factor ranged between 22.6% to 30.3% that is 2 folds differences in relative reduction in shoot dry weight due calcium stress factor among genotypes. Calcium utilization efficiency was almost doubled in cultivars that were grown with no calcium supply compared to these grown with 40 ppm Ca supply. Calcium concentration and uptake in genotypes were significantly different at deficient and adequate calcium levels.

Keywords: Sweet pepper, Calcium uptake, Calcium utilization efficiency, Dry matter, Biomass.

الملخص :
أجريت تجربة أصص لدراسة الاختلافات الوراثية في امتصاص الكالسيوم وكفاءة استخدامه في ثلاثة أصناف من الفلفل الحلو (*Capsicum annuum* L.): CW, QR, QGعند مستويين من الكالسيوم النقص والكفاية (0 و40 جزء في المليون) باستخدام تجربة عاملية بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة. كان التداخل بين مستويات الكالسيوم والأصناف معنويا لجميع الصفات المدروسة. لوحظت فروقات أساسية بين الأصناف في تراكم المادة الجافة في المجموع الخضري والجذري، والكتلة الحيوية الكلية، والنقص النسبي في الكتلة الحيوية الخضرية. تبين أن عامل إجهاد الكالسيوم تراوح من 22.6% الي 30.3%، وهو يمثل ضعف الفروقات في النقص النسبي في الوزن الجاف للمجموع الخضري نتيجة إجهاد الكالسيوم بين الأصناف المختلفة. كانت كفاءة استخدام الكالسيوم تقريبا ضعفين في الأصناف التي نمت بدون إضافة كالسيوم مقارنة بالأصناف التي نمت بإضافة 40 جزء في المليون. كان تركيز الكالسيوم في الأصناف الوراثية المختلفة معنويا عند مستوي النقص والكفاية من الكالسيوم.

الكلمات المفتاحية: فلفل حلو، امتصاص الكالسيوم، كفاءة استخدام الكالسيوم، المادة الجافة، الكتلة الحيوية.

مقدمة:

يؤدي الكالسيوم دورا بنيويا ووظيفيا أساسيا في خلايا النبات، يتجاوز كونه عنصرا مغذيا الي كونه محددا لنموها واستجابتها للإجهاد. إذ يلعب دورا مهما في تقوية جدران الخلايا من خلال تثبيت البكتين في الصفيحة الوسطي، ويشارك في الإشارات الحيوية التي تنظم استجابة النبات للظروف البيئية، إضافة الي دوره في نفاذية الأغشية وتنشيط العديد من الأنزيمات المرتبطة بالنمو وعملية البناء الضوئي [1]. وعلي الرغم من توفره في معظم الترب، ألا أن أتاحته للنبات تتأثر بعوامل مثل حموضة التربة والسعة التبادلية الكاتيونية [2]. مما يحد من كفاءة الامتصاص والنقل داخل الأنسجة النامية، وتعد مرحلة النمو الخضري من أكثر المراحل الحساسة لنقص الكالسيوم، إذ يرتبط هذا النقص بظهور مرض تعفن الطرف الزهري نتيجة ضعف ترسيب الكالسيوم في الخلايا النامية، الأمر الذي يجعل التغذية الجيدة بالكالسيوم خلال هذه المرحلة خطوة أساسية للحد من الإصابة.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

تظهر النباتات تفاوتا واضحا في قدرتها على امتصاص الكالسيوم وتوزيعه داخل الأنسجة، وهو تفاوت ينعكس مباشرة على النمو وجودة الثمار [3]. وتشير نتائج حديثة الي إمكانية الاستفادة من هذا التباين الوراثي في تطوير أصناف أكثر كفاءة في استخدام الكالسيوم وأكثر قدرة على التكيف مع ظروف الانخفاض في توفره [4]. يعد الفلفل الحلو (*Capsicum annuum* L.) من النباتات ذات الحساسية العالية لمستويات الكالسيوم، إضافة أهميته الغذائية المرتبطة بارتفاع محتواه من فيتامينات A وC بالإضافة الي المركبات الفينولية التي تمنحه خصائص مضادات الأكسدة، وبالتالي يساهم في الوقاية من العديد من الأمراض [5]. كما أظهرت دراسات وجود اختلافات وراثية بين أصناف الفلفل في القدرة على امتصاص الكالسيوم ونقله الي الأنسجة النامية [6]. وهو ما يدعم التوجه نحو اختيار أصناف قادرة على الحفاظ على النمو في البيئات محدودة العناصر [7]. علي الرغم من الدراسات التي تناولت دور الكالسيوم في نمو الفلفل الحلو، ألا أن معظمها ركز على أصناف محدودة أو بيئات ذات توفر مرتفع للكالسيوم، بينما تفتقر الي دراسات تقيم الأصناف تحت مستويين مختلفين من الأمداد بالكالسيوم مع دمج مؤشرات النمو والامتصاص والكفاءة لتحديد التباين الوراثي القابل للتوظيف. وانطلاقا من ذلك، صممت هذه الدراسة الي تقييم التباين الفسيولوجي لعدد من أصناف الفلفل الحلو تحت مستويي النقص والكفاية، عبر قياس تراكم المادة الجافة، معامل إجهاد الكالسيوم، كفاءة استخدام الكالسيوم ونسبة الجذور الي الخضر. بهدف تحديد الأصناف الأكثر كفاءة وقدرة على التكيف مع انخفاض توفر الكالسيوم.

المواد وطرق البحث

أجريت تجربة أصص معملية في قسم التربة والمياه بكلية الزراعة – جامعة عمر المختار، بهدف تقييم التباين في النمو وامتصاص الكالسيوم لبعض أصناف الفلفل الحلو (*Capsicum annuum* L.) لمستويين من الكالسيوم (النقص والكفاية). نفذت التجربة عاملية بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة (RCBD). شملت المعاملات مستويين من الكالسيوم: 0 جزء من المليون (0ppm) (يمثل النقص) و 40 جزء من المليون (40ppm)(يمثل الكفاية) وثلاثة أصناف من الفلفل الحلو بناء علي اللون وطبيعة نموها وخصائصها الفسيولوجية المتعلقة بحساسية تعفن الطرف الزهري (Blossom -End Rot, BER) الأصناف كانت: (QG) "Quadrato Giallo" ( ) "و(QR) "Quadrat Ross" ( ) "و" California Wonder" (CW) تم اختيار هذه الأصناف بناء علي الدراسات السابقة التي أشارت الي أنها تظهر حساسية اعلي لتعفن الطرف الزهري [8]، وكانت التجربة الحالية مقتصرة علي الصفات الخضرية للنباتات ، والتي تمثل الأساس لفهم مدي حساسية الأصناف لاحقا لنقص الكالسيوم وحساسيتها للإصابة ب BER . زرعت النباتات في أصص بلاستيكية (20سم×20سم) تحتوي 9 كجم تربة ذات الخصائص الأتية: EC 0.34،p H 8.0 ، المادة العضوية 0.3% والقوام رملي. أضيفت قبل الزراعة جرعات من السماد النيتروجيني والبوتاسي (في صورة يوريا وسلفات البوتاسيوم) بمعدل 25و 50 مجم/ كجم تربة على التوالي أثناء التحضير للزراعة. كررت كل معاملة ثلاث مرات. تم حصاد النباتات بعد 90 يوما من الزراعة، حيث فصل المجموع الخضري والجذري، ثم جففت العينات في فرن عند 70°م لمدة 48 ساعة، وبعدها وزنت للحصول على الوزن الجاف. طحنت العينات وهضمت وفقا للطرقة المتبعة بواسطة [9]. ثم قدر الكالسيوم باستخدام جهاز الامتصاص الذري (Atomic Absorption Spectrophotometer). وتم حساب المؤشرات التالية:

- امتصاص الكالسيوم في المجموعين الخضري والجذري وفق المعادلة الأتية المقترحة من [10]:

امتصاص الكالسيوم (مجم/ نبات) = تركيز الكالسيوم (مجم. جم-1) ×الوزن الجاف للمجموع الخضري (جم. نبات-1)

- **معامل إجهاد الكالسيوم في الوزن الجاف للمجموع الخضري، (Calcium Stress Factor- CaSF) باستخدام المعادلة التالية وفقا [11]:**

معامل إجهاد الكالسيوم (%) = (1 - (الوزن الجاف للمجموع الخضري عند النقص ÷ الوزن الجاف عند الكفاية)) × 100

- نسبة المجموع الجذري الي المجموع الخضري

- كفاءة استخدام الكالسيوم (Calcium Utilization Efficiency-CaUE) باستخدام المعادلة التالية وفقا [12] =

كفاءة استخدام الكالسيوم (جم ^{2}. مجم-^{1}) = (الوزن الجاف للمجموع الخضري (جم. نبات-^{1}))^2 ÷ امتصاص الكالسيوم الكلي (مجم. نبات-^{1})

تحللت البيانات إحصائيا باستخدام برنامج GENSTAS ومقارنة المتوسطات باستخدام اقل فرق معنوي LSD عند مستوي معنوية 5%.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

النتائج والمناقشة

1 - مؤشرات النمو تحت مستويي الكالسيوم:

أظهرت النتائج وجود فروقات معنوية بين مستويات الكالسيوم والأصناف، وكذلك في التفاعل بينهما. وتشير نتائج الجدول (1) الي أن هذه العوامل أثرت بصورة معنوية في الوزن الجاف للمجموع الخضري والجذري. كما امتد هذا التأثير الي نسبة الجذور الي الخضر والكتلة الحيوية الكلية للنبات. تظهر بيانات الجدول (1) انخفاضا واضحا في المتوسط العام للوزن الجاف للمجموع الخضري عند مستوي النقص، حيث تراجع من 12.3 الي 9.22 جم / نبات، مسجلا انخفاضا نسبته 25%. ويعكس هذا الاتجاه استجابة الأصناف لنقص الكالسيوم من حيث تراكم المادة الجافة. اظهر الصنف CW اعلي وزن جاف للمجموع الخضري، إذ ارتفع من 11.3جم/نبات عند مستوي النقص الي 14.8جم/نبات عند الكفاية، بزيادة بلغت 31%. ويشير ذلك الي تفوق الصنف في تراكم المادة الجافة تحت توافر الكالسيوم. سجل الصنف QR اقل وزن جاف للمجموع الخضري إذ بلغ 6.45جم/نبات عند مستوي النقص وارتفع الي 9.25جم/نبات عند مستوي الكفاية. ويوضح هذا المستوي المنخفض من التراكم الحيوي محدودة استجابة هذا الصنف مقارنة ببقية الأصناف. تتفق هذه النتائج مع ما ورد في المرجع [6] الذي أوضح وجود تباينات وراثية بين أصناف الفلفل في قدرتها على امتصاص وتراكم الكالسيوم تحت مستويات الأمداد المختلفة. ويشير هذا التباين الي إمكانية توظيف هذه الاختلافات في برامج التحسين لرفع أداء الأصناف تحت نقص الكالسيوم. أظهرت البيانات وجود فروقات وراثية واضحة في الوزن الجاف للمجموع الجذري بين الأصناف تحت مستويي الكالسيوم. وارتفع متوسط الوزن الجاف للجذور من 2.13جم/نبات عند مستوي النقص الي 3.62جم/نبات عند الكفاية، مسجلا زيادة بلغت 70.4%. ويتفق هذا مع ماورد في المرجع [13] بشأن دور الكالسيوم في تعزيز نمو الجذور واستقرار جدر الخلايا. اظهر معامل إجهاد للكالسيوم انخفاضا واضحا في الوزن الجاف للمجموع الخضري تحت مستوي النقص مقارنة بالكفاية، وقد تروحت قيمته من بين 30.3 % للصنفQ R و22.6% للصنف Q G، وتشير هذه التباينات الي اختلاف قدرة الأصناف على تحمل نقص الكالسيوم وفقا لبيانات الجدول (1). الأصناف ذات القيم المنخفضة لمعامل إجهاد الكالسيوم أظهرت كفاءة اعلي في التكيف مع نقص الكالسيوم مقارنة بالأصناف الأخرى، مما يجعلها مرشحة مناسبة للزراعة تحت ظروف الإجهاد [6]. وتدعم المؤشرات المورفولوجية هذا التفوق، خصوصا تلك المرتبطة بتوزيع النمو بين المجموعين الجذري والخضري ارتفعت نسبة المجموع الجذري الى الخضري من 0.23 تحت النقص الي 0.30 عند الكفاية مسجلة زيادة قدرها 30.4%. ويظهر هذا الارتفاع تحسنا في نمو الجذور مع توفر الكالسيوم. وهو ما يتوافق مع زيادة الوزن الجاف للجذور من 2.13 الي 3.63 جم /نبات كما ورد في المرجع [13].

جدول 1. تأثير مستويات الكالسيوم والأصناف على الوزن الجاف للمجموع الخضري والجذري، ومعامل إجهاد الكالسيوم ، ونسبة المجموع الجذري الي الخضري

الأصناف	الوزن الجاف للمجموع الخضري (جم/نبات)		الوزن الجاف للمجموع الجذري (جم/ نبات)		عامل إجهاد الكالسيوم (%)	نسبة المجموع الجذري الي الخضري	
	0	40	0	40		0	40
CW	11.3	14.8	2.81	4.67	23.6	0.25	0.32
Q R	6.45	9.25	1.61	2.97	30.3	0.25	0.32
Q G	9.92	12.9	1.98	3.21	22.6	0.20	0.25
المتوسط	9.22	12.3	2.13	3.63	25.5	0.23	0.30
LSD 5%	0.61		0.42		0.12	0.05	

2. تركيز الكالسيوم في المجموع الخضري، وامتصاصه، وكفاءة استخدامه لأصناف الفلفل الحلو تحت مستويي النقص والكفاية من الكالسيوم:

اظهر كل من مستوي الكالسيوم والصنف، إضافة الي التفاعل بينهما، تأثيرا معنويا في تركيز الكالسيوم في المجموع الخضري. وتشير بيانات الجدول (2) الي أن التركيز بلغ ما بين 0.14 و0.25 مجم/جم عند مستوي الكفاية، بينما يتراوح بين 0.05 الي 0.08 مجم/جم تحت النقص. ويعكس هذا التباين اختلاف استجابة الأصناف لتوفر الكالسيوم. سجل الصنف CW اعلي امتصاص بلغ 9.04مجم، في حين كان الأدنى في الصنف Q R بمتوسط 3.23مجم. كما أظهرت البيانات وجود فروقات معنوية بين الأصناف في امتصاص الكالسيوم عند مستويي النقص والكفاية، مما يوكد التباين الوراثي في قدرة

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الأصناف على الامتصاص. أظهرت الأصناف فروقا معنوية في كفاءة استخدام الكالسيوم عند مستويي النقص والكفاية، إذا سجل الصنف QG اعلي كفاءة تحت النقص رغم امتلاكه اقل تركيز في المجموع الخضري. ويشير هذا الي قدرة اعلي على توظيف الكالسيوم في النمو مقارنة ببقية الأصناف. وتتوافق هذه النتائج مع دراسات أوضحت أن الانخفاض النسبي في التركيز يرتبط بكفاءة اعلي في استخدام العنصر داخل العمليات الحيوية [13,6].

جدول 2. تركيز الكالسيوم في المجموع الخضري، وامتصاصه، وكفاءة استخدامه لأصناف الفلفل الحلو تحت مستويي النقص والكفاية من الكالسيوم

الأصناف	تركيز الكالسيوم (مجم/جم)		امتصاص الكالسيوم (مجم/نبات)		كفاءة استخدام الكالسيوم ($جم^2/مجم^{-1}$)	
	0	40	0	40	0	40
C W	0.08	0.25	9.04	37.0	141.3	59.20
Q R	0.05	0.14	3.23	12.9	129.0	66.10
Q G	0.06	0.16	5.95	20.6	165.3	80.63
المتوسط	0.06	0.18	6.07	23.5	145.2	68.64
LSD 5%	0.01		1.38		74.3	

الخاتمة

تبين من نتائج الدراسة أن توفر الكالسيوم عنصر حاسم في تنظيم نمو الفلفل الحلو، وان الأصناف المدروسة تظهر تباينا وراثيا واضحا في استجابتها لمستويي النقص والكفاية. إذ أظهرت الأصناف ذات كفاءة الاستخدام المرتفعة قدرة اعلي على الحفاظ على نموها تحت النقص، مما يشير الي فعالية أكبر في توظيف الكالسيوم داخل الأنسجة النامية. كما عكست فروق عامل الإجهاد واختلافات الامتصاص أن بعض الأصناف تمتلك اليات تكيف فسيولوجية تمنحها قدرة أفضل على تحمل محدودية العنصر. وتقدم هذه النتائج أساسا عمليا لاختيار أصناف مناسبة للزراعة في البيئات منخفضة الكالسيوم، كما تمهد لدراسات إضافية تركز على الربط بين الكفاءة الوراثية وآليات الامتصاص والنقل داخل النبات، بما قد يسهم في خفض قابلية النبات للاضطرابات الفسيولوجية المرتبطة بنقص الكالسيوم خلال المراحل الخضرية والتي تنعكس لاحقا علي جودة الثمار.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The author(s) declare that they have no conflict of interest.

المراجع

[1] WDOWIAK, A; PODGORSKA, A AND SZAL, B. CALCIUM IN PLANTS: AN IMPORTANT ELEMENT OF CELL PHYSIOLOGY AND STRUCTURE, SIGNALING, AND STRESS RESPONSES**.** ACTA PHYSIOLOGIAE PLANTARUM .2024,46:80. **(2024)**.

[2] Wang, J; Jia, Y; Zhou, D; Wang, J; Zhang, Y and Hu, X. Ca2+ plays an important role in regulating the integrated growth of capsicum annuum L. under coupled water calcium treatment. Sci Horti**.** .328,15 ,2024.112937**(2024**).

[3] MASARIMBI, M; MHAZO, N; OSENI, T AND SHONGWE, V. COMMON PHYSIOLOGICAL DISORDERS OF TOMATO (LYCOPERICOM ESULENTUM) FRUIT FOUND IS SWAZILAND AGRIC. SOC.SCI.5(4): 123- 127. **(2009)**.

[4] QIAN, Y; TONG, J; LIU, N; WANG, B AND WU, Z. GENOME-WIDE IDENTIFICATION AND EXPRESSION ANALYSIS OF ACA/ECAS IN CAPSICUM ANNUUM L. INTERANION. J OF MOLECULAR SCIENCE .25, 12822. **(2024)**.

[5] YOUNES, A AND MUSTAFA, Y. SWEET BELL PEPPER: A FOCUS ON ITS NUTRITIONAL QUALITIES AND ILLNESS –ALLEVIATED PROPERTIES. INDIAN. J OF CLINICAL BIOCHEMISTRY. 39 :459 – 469. (**2023**).

[6] WEN-HAO, T; XUE-HUA, C; CHUN-LAN, K; FU-JUN, X AND PING, Y. GENOTYPIC DIFFERENCES AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CALCIUM UPTAKE AND

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

ACCUMULATIO OF PEPPER (*CAPSICUM FRUTESCENS*). PLANT NUTRITION AND FERTILIZER .8(3):349 -354. **(2002).**

[7] NAKANO, H; GYAM, A AND NAKAMURA, T. GENETIC ADAPTATION OF CROP PLANTS TO LOW NUTRIENT ENVIRONMENT, MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF ADAPTATION. SPRINGER NATURE. PP:59-66. **(2002).**

[8] MARCELIS, L. F AND HO, L.C. BLOSSOM -END ROT IN RELATION TO GROWTH RATE AND CALCIUM CONTENT IN FRUITS OF SWEET PEPPER (*CAPSICUM ANNUUM* L.) J. OF EXPERIMENTAL BOTANY 50(332) :357- 363**. (1999).**

[9] BAO, S. 2000. SOIL AGRICULTURAL CHEMICAL ANALYSIS. CHINA. AGRI. PRESS. BEIJING. (**2000).**

[10] MARSCHNER, H. MINERAL NUTRITION OF HIGHER PLANTS, 3RD, EDITION. ACADEMIC PRESS. LONDON. PP: 285- 298**(1995)**. **.**

[11] HUNT, R. GROWTH ANALYSIS INDIVIDUAL PLANTS. ENCYCLOPAEDICAL OF PLANT. SCIENCE ACADEMIC PRESS.LONDON. PP: 579- 588**(2003).**

[12] SIDDIQI, M AND GLASS, A. UTILIZATION INDEX: A MODIFIED APPROACH TO THE ESTIMATION AND COMPARISON OF NUTRIENT UTILIZATION EFFICIENCY N PLANTS. J. PLANTS. NUTR.4: 289 – 302**. (1981) .**

[13] DEILA DA, M; VIEGAS, I; BARATA, H; COSTA, M; SILVA, B AND MERA, W. DEFICIENCIES OF NITROGEN, CALCIUM AND MICRONUTRIENTS ARE THE MOST LIMITING FACTOR FOR GROWTH AND YIELD OF SMELL PEPPER PLANTS. REV, CERES, VICOSA .7(3): 125-135**(2023).** .

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **LJCAS** and/or the editor(s). **LJCAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).