مجلة جامعة حمص

سلسلة العلوم الزراعية والتقانة الحيوية

مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 48 . العدد 11

1448 هـ - 2026 م

الأستاذ الدكتور طارق حسام الدين رئيس جامعة حمص **المدير المسؤول عن المجلة**

أ. د. وليد حمادة	**رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الإنسانية**
د.نعيمة عجيب	**رئيس تحرير مجلة جامعة حمص للعلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية**

د.محمد فراس رمضان	عضو هيئة التحرير
د. مضر سعود	عضو هيئة التحرير
د. ممدوح عبارة	عضو هيئة التحرير
د. موفق تلاوي	عضو هيئة التحرير
د. طلال رزوق	عضو هيئة التحرير
د. أحمد الجاعور	عضو هيئة التحرير
د. الياس خلف	عضو هيئة التحرير
د. روعة الفقس	عضو هيئة التحرير
د. محمد الجاسم	عضو هيئة التحرير
د. خليل الحسن	عضو هيئة التحرير
د. هيثم حسن	عضو هيئة التحرير
د. أحمد حاج موسى	عضو هيئة التحرير

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة حمص

سورية . حمص . جامعة حمص . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 2138071 31 963 ++

. موقع الإنترنت : www.homs-univ.edu.sy

. البريد الالكتروني : journal.homs-univ.edu.sy

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة حمص

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
- طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
- **اذا كان الباحث طالب دراسات عليا:**

يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقته على النشر في المجلة.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:**

يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.

- **اذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :**

يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.

- **اذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :**

يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):**

عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1- مقدمة

2- هدف البحث

3- مواد وطرق البحث

4- النتائج ومناقشتها .

5- الاستنتاجات والتوصيات .

6- المراجع.

- **يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب – الاقتصاد– التربية – الحقوق – السياحة – التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):**
- عنوان البحث . . ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).

1. مقدمة.
2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
3. أهداف البحث و أسئلته.
4. فرضيات البحث و حدوده.
5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
7. منهج البحث و إجراءاته.
8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
9. نتائج البحث.
10. مقترحات البحث إن وجدت.
11. قائمة المصادر والمراجع.

7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:

أ- قياس الورق 17.5×25 B5.

ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 – يمين 2.5- يسار 2.5 سم

ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8

ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20

ـ كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي ـ العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.

ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.

8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.

9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.

10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:

آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة ـ الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة ـ سنة النشر ـ وتتبعها معترضة (–) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة ـ دار النشر وتتبعها فاصلة ـ الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة.

وفيما يلي مثال على ذلك:

–MAVRODEANUS, R1986– **Flame Spectroscopy**. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

ـــ بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة ـــ المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة ـــ أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.

مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases **Clinical Psychiatry News** , Vol. 4. 20 – 60

ج. إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و التقيد بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة حمص

1. **دفع رسم نشر (50000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.**
2. **دفع رسم نشر (200000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .**
3. **دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .**
4. **دفع مبلغ (15000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.**

المحتوى

اسم البحث	اسم الباحث	الصفحة
انتخاب نباتات طافرة متفوقة جيل ثالث من الخس البلدي الحموي *Lactuca sativa* L.	باسمه محمود الخباز أ.د. محمد نبيل الأيوبي د. أسامة العبد الله	32-11
الجدوى الاقتصادية لمشروع حفرة حويسيس لحصاد المياه في البادية السورية	م. محمد صلاح الزهوري د. جمال مصطفى العلي د. فاروق البكدش	62-33
تأثير التلقيح بـــــ Azospirillum على بعض الخواص الكيميائية لتربة مالحة مزروعة بنبات القطن عند استخدام مستويات مختلفة من السماد العضوي والمعدني	محمود المرعي أ.د. عبد الله العيسى	96-63
تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في إنبات بذور الكوسا ونمو البادرات	د. ثناء دبو	128-97

انتخاب نباتات طافرة متفوقة جيل ثالث من الخس البلدي الحموي *Lactuca sativa* L.

إعداد طالبة الدكتوراه:

باسمه محمود الخباز

المشرف العلمي: **المشرف المشارك:**

أ.د محمد نبيل الأيوبي **د. أسامة العبد الله**

الملخص

أجري البحث في مركز البحوث العلمية الزراعية بحماة خلال ثلاث مواسم (2020-2021،2021-2022، 2022- 2023)، بغية دراسة تأثير جرعات عديدة من أشعة غاما (25، 50، 75، 100 غراي)، وتراكيز عديدة من أزيد الصوديوم- SA (0.2، 0.3، 0.4، 0.5 ملغ/ ل) في إحداث الطفرات في صنف الخس البلدي الحموي وانتخاب نباتات طافرة متفوقة منه.

استخدم في البحث تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، تم في الموسم الأول انتخاب 22 نبات طافر متفوق جيل أول اعتماداً على الصفات المرغوبة (الرأس المندمج الكبير الحجم، لون الأوراق الخارجية، الطعم الحلو للعرق الوسطي، التأخر بالشمرخة، غياب ظاهرة خلفات جانبية)، وانتخب في الموسم الثاني 10 طرز متفوقة جيل ثاني. كما تم في الموسم الثالث انتخاب وتوصيف 10 طرز متفوقة جيل ثالث مشابهة في صفاتها لصفات الخس البلدي الحموي، و10 طرز طافرة متفوقة جيل ثالث مغايرة في بعض صفاتها لهذا الصنف، وتم إجراء توصيف لجميع هذه النباتات.

الكلمات المفتاحية: الخس، الطفرات، أشعة غاما، أزيد الصوديوم، الانتخاب.

Selection of Elite Mutant Genotypes in the Third Generation(M3) of Hama Landrace Lettuce *Lactuca sativa* L.

Abtract

The research was conducted at the Hama Agricultural Scientific Research Center over three seasons (2020-2021, 2021-2022, and 2022-2023), in order to study the effect of multiple doses of Gamma rays (25, 50, 75, 100 Gray) and multiple concentrations of Sodium Azide (SA) (0.2, 0.3, 0.4, 0.5 mg/l) on inducing mutations in the Hama landrace lettuce variety and to select superior mutant plants from it.

A Randomized Complete Block Design was used in the research. In the first season, 22 superior M1 mutant plants were selected based on desirable traits (large, compact head, outer leaf color, sweet taste of the midrib, delayed bolting, absence of side shoots). In the second season, 10 superior M2 mutant plants were selected. In the third season, 10 superior M3 mutant plants similar in their characteristics to the Hama landrace lettuce, and 10 superior M3 mutant plants differing in their characteristics from this variety, were selected and characterized. A characterization was performed for all of these plants.

Keywords: Lettuce, Mutations, Gamma rays, Sodium azide, Selection.

مقدمة:

ينتمي الخس المزروع *Lactuca sativa* L. إلى الفصيلة المركبة *Compositae*، وهو من الخضار الشتوية التي يستفاد من كامل محتواها الغذائي نظراً لاستهلاكه طازجاً [7]. الزهرة عند نبات الخس خنثى ذات لون أصفر أو أبيض مائل للأصفر، والتلقيح الذاتي هو السائد، وقد تحدث نسبة من التلقيح الخلطي بواسطة الهواء تصل لنحو 5-10% [5]. يعتقد أن منطقة

حوض البحر الأبيض المتوسط هي الموطن الأصلي للخس، وأغلب الظن أنه نشأ في مصر [6].

استخدمت الأشعة التقليدية (الأشعة السينية، أشعة غاما) لما يقارب المائة عام لتحسين المحاصيل الزراعية وزيادة التنوع الوراثي وزيادة الإنتاج الغذائي لمواجهة النمو السكاني المتسارع، وقد تم استنباط العديد من الأصناف المتفوقة [8].

تعد الطفرات تبدلات مفاجئة تطرأ على المادة الوراثية، فتغير في خصائصها وصفات الكائن الحي، وتعد وسيلة فعالة وسريعة في برامج التحسين الوراثي للنباتات، لكونها تحدث تبايناً وراثياً يتيح للمحسن الوراثي فرصة انتخاب التراكيب الوراثية المفيدة. ويمكن أن تحدث الطفرات بشكل طبيعي تلقائي، إلا أنها نادرة جداً، وغالباً ما تكون ضارة وغير مفيدة ولا يعول عليها كثيراً في عملية التربية والتحسين الوراثي، أو تكون اصطناعية تحدث نتيجة لتعريض النباتات لتأثير المطفرات الفيزيائية أو الكيميائية [4].

أشار العديد من الباحثين [11]، [13]، [14]، [16] إلى أهمية استخدام أشعة غاما والمطفرات الكيميائية في إحداث التغيرات الوراثية في نباتات الخضار، لما تحدثه من تأثيرات إيجابية في النمو الخضري والمؤشرات الإنتاجية، إضافة إلى تأثيرها السلبي أحياناً (تقزم النباتات، نقص الكلوروفيل، موت النباتات ...الخ)، والذي يظهر نتيجة لاستخدام بعض الجرعات أو التراكيز غير الملائمة.

بين [15] الدور الهام للطفرات عند نبات الخس في إحداث الاختلافات الوراثية والاستفادة من الطفرات الطبيعية مثل: التقزم، الإزهار المبكر، العقم الذكري، نقص الكلوروفيل في برامج التحسين الوراثي.

أشار [10] أن أزيد الصوديوم يحدث طفرات موضعية في الحمض النووي للنبات، وتعتمد فعاليته على تركيزه ومدة المعالجة. يختلف التركيز الأمثل ومدة التعرض لأزيد الصوديوم باختلاف الأنواع والأصناف النباتية.

تمكن [9] من انتخاب طفرات من نبات الخس ذات كفاءة استخدام عالية لثاني أكسيد الكربون (CO_2)، بتعريض البذور لجرعتين من أشعة غاما (30، 50 غراي)، وقد أعطت الجرعة (30 غراي) زيادة في الوزن الطازج (22.3 %) مقارنة مع الشاهد بعد 30 يوم من

الزراعة، في حين بلغت نسبة هذه الزيادة (74.6%) عند الجرعة (50 غراي) بعد 24 يوم من الزراعة مقارنة مع الشاهد تحت ظروف مرتفعة من CO_2 (تحت تركيز 3%)، وتعد النتيجة تطبيقاً عملياً لاستخدام أشعة غاما في استنباط نباتات متكيفة مع تغير المناخ وذات كفاءة تثبيت كربون أعلى.

درس [12] تأثير نوعين من المطفرات الفيزيائية والكيميائية على الصفات المورفولوجية لصنف الخس الورقي () و17 سلالة طافرة منه، باستخدام المطفر الكيميائي (DMS، DMU-1، DMU-5)، والمطفر الفيزيائي أشعة غاما بالجرعات (11، 15 كيلوراد). أظهر النتائج فعالية هذه المطفرات في إحداث طفرات نوعية في التركيب الوراثي للخس مرتبطة بشكل نصل الورقة. أظهر المطفر الكيميائي DMU-1 كفاءة أعلى في الحصول على النباتات الطافرة (6 سلالات طافرة)، الجرعة 15 كيلو راد (4 سلالات طافرة). كما بين أنه يمكن اختيار الأنماط الوراثية الطافرة بالاعتماد على الصفة الكمية (عرض الورقة).

تمكن [2] من استنباط 6 طرز طافرة من الفول حماة-2، و6 طرز طافرة من صنف الفول حماة-3، باستخدام أشعة غاما بالجرعات على الترتيب (1، 2، 3، 4، 5، 10 كيلوراد) تميزت هذه الطرز بباكورية النضج، زيادة عدد الفروع المنتجة/ نبات، ارتفاع القرن السفلي عند الصنف حماة-2.

تمكن [11] من استنباط 6 نباتات طافرة متفوقة في الجيل الثاني نتيجة لنقع بذور صنفين من الفول بالتركيز (0.2 %) من ميتل إيتيل سلفونات (EMS)، وبالتركيز (0.02 %) من أزيد الصوديوم (SA)، مدة (6 سا)، ومن ثم تعريضها لجرعة (20 كيلوراد) من أشعة غاما.

تمكن [3] عند معاملة ثلاثة أصناف من الثوم (الكسواني واليبرودي البلديان، والصيني المدخل)، بجرعات عديدة من أشعة غاما Co60 (0، 1، 2.5، 5، 10 غراي)، وتراكيز عديدة من المطفرين الكيميائيين ايتيل ميتيل سلفونات- EMS (0.025، 0.05، 0.10 %)، وأزيد الصوديوم- SA، (0.1، 0.2، 0.3 ملغ/ ل)، من انتخاب 11 كلون طافر مبشر من أصناف الثوم المدروسة (4 كلونات من الصنف الكسواني، 3 كلونات من الصنف اليبرودي، 4 كلونات من الصنف الصيني)، اعتماداً على التفوق في صفتي وزن البصلة ووزن الفص.

أظهرت نتائج [17] نتيجة لنقع بذور الذرة الصفراء بأزيد الصوديوم بالتراكيز (0.01، 0.02، 0.03%)، وتعريضها للأشعة السينية لمدة (5، 10، 15 ثانية) مقارنة مع الشاهد،

أن المعاملة بأزيد الصوديوم أدت إلى التبكير بالنضج، حيث بلغت على الترتيب (63.33، 64، 63 يوم)، مقارنة مع استخدام الأشعة السينية على الترتيب (70.33، 71.33، 70 يوم)، والشاهد (69 يوم).

بينت نتائج [18]عند معاملة بذور حبة البركة بأزيد الصوديوم بالتراكيز (1، 2، 3، 4 ملي مولار) ومدة (1، 2، 3، 4 ساعات)، عند مراقبة 100 نبات من كل معاملة مقارنة مع الشاهد، فعالية التركيز (3 ملي مولار) لمدة ساعتين في زياد التحفيز الوراثي عند حبة البركة والحصول على نباتات طافرة في الجيل الأول.

مبررات البحث وأهدافه:

تتصف النباتات ذاتية التلقيح كنبات الخس البلدي الحموي بندرة الاختلافات الوراثية في تركيبها الوراثي، ومن هنا تأتي ضرورة استحداث هذه الاختلافات باستخدام المطفرات الفيزيائية والكيميائية بغية انتخاب النباتات الطافرة المرغوبة، اعتماداً على صفات عديدة (الباكورية بنضج الرؤوس، الإنتاجية المرتفعة) لاستخدامها في برامج التحسين الوراثي لاحقاً. لذا هدف البحث إلى الآتي:

1- انتخاب نباتات طافرة متفوقة من الخس البلدي الحموي ناتجة عن تعريض البذور لجرعات عديدة من أشعة غاما وتراكيز عديدة من المطفر الكيميائي أزيد الصوديوم- SA، وتتبع نسلها.

2- توصيف النباتات الطافرة المتفوقة المنتخبة جيل ثالث.

مواد البحث وطرائقه:

المادة النباتية: أجري البحث على صنف الخس البلدي الحموي، ويتصف بالرأس المندمج، الطعم الحلو واللون الأحمر أو الأبيض قاعدته حمراء للعرق الوسطي، الأوراق الخارجية ذات اللون الأخضر الداكن، المجعدة، الدهنية الملمس، والأوراق الداخلية عديدة الألوان (أخضر، أصفر، أخضر مصفر، أخضر قاعدته صفراء اللون)، والساق المغزلية الشكل ذات اللون الوردي إلى الأحمر، والأزهار الصفراء اللون، والبذور ذات اللون البني إلى الأسود [1].

مكان إجراء البحث: نفذ البحث خلال ثلاثة مواسم (2020- 2021، 2021- 2022، 2022- 2023) في مركز البحوث العلمية الزراعية في حماة التابع للهيئة العامة للبحوث الزراعية.

مراحل إجراء البحث:

أ- زراعة البذور: زرعت البذور في المواسم الثلاثة في المشتل في النصف الأول من شهر تشرين الأول. وتم التشتيل عند وصول الشتول لطول (10-15 سم)، وبقطر قلم الرصاص.

ب- الزراعة في الأرض الدائمة: زرعت الشتول في الأرض الدائمة (بعد شهر من الزراعة في المشتل)، بتباعد (40 سم)، بين النبات والآخر، وبمسافة بين الخط والآخر (75 سم). وبكثافة نباتية 3 نباتات/ م^2.

ج- العمليات الزراعية: نفذت جميع عمليات الخدمة الزراعية (الري، العزق، التحضين، المكافحة) في مواعيدها كما هو موصى به من قبل وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، ووفقاً لاحتياج النباتات والظروف الجوية السائدة.

د- عزل النباتات: تم عزل النباتات الطافرة المنتخبة في موسمي الزراعة الأول والثاني عند بداية ظهور النورات الزهرية بأكياس من قماش الغربول الناعم، وجمعت بذورها لزراعتها في الموسم التالي بطريقة (نبات/ خط).

معاملات التجربة:

1- التطفير بأشعة غاما: عوملت البذور بأربع جرعات من أشعة غاما (25، 50، 75، 100 غراي) في محطة التشعيع في قسم تكنولوجيا الإشعاع في الهيئة العامة للطاقة الذرية بدمشق. ملاحظة: علماً أن كل 1 كيلو راد= 10 غراي.

2-التطفير الكيميائي: نقعت البذور بأربعة تراكيز من المطفر الكيميائي أزيد الصوديوم (NaN_3) - SA، (0.2، 0.3، 0.4، 0.5 ملغ/ ل) قبل الزراعة مباشرة مدة (6 سا)، وبدرجة حرارة الغرفة، ومن ثم غسلت بالماء المقطر لإزالة المطفر الكيميائي. أما بذور الشاهد فنقعت بالماء المقطر مدة (6 سا).

المؤشرات المدروسة:

تم أخذ القراءات والقياسات الآتية وفق [14] عند توصيف النباتات الطافرة المنتخبة:

طول الرأس (سم): قيس بواسطة مسطرة بدءاً من قاعدة الرأس، وانتهاءً بقمته.

طبيعة الرأس: مندمج، نصف مندمج، غير مندمج.

قطر الرأس (سم): صغير: 6- 5 سم، متوسط: 12-7 سم، كبير: 18-15 سم أو أكثر.

لون الرأس: تم أخذ كلٍ من:

- لون الأوراق المحيطية: أخضر، أخضر فاتح.
- لون الأوراق الداخلية: أصفر، أصفر فاتح، أبيض مصفر، أخضر فاتح، أصفر مخضر.

صلابة الرأس:

مخلخل: يتقوس بشكل واضح عند الضغط على قمته.

نصف صلب: يتقوس قليلاً عند الضغط على قمته.

صلب: لا يتقوس عند الضغط على قمته.

شكل الرأس: مفلطح، مستدير، بيضاوي، بيضاوي متطاول.

وزن الرأس (غ).

صفات الساق: شكل الساق، طبيعة الساق، لون الساق، طول الساق، قطر الساق.

صفات الورقة: طبيعة الورقة، طبيعة العرق الوسطي، لون العرق الوسطي (يتلون بالأحمر، أو القرمزي، أو البنفسجي نتيجة لوجود الأصبغة الأنثوسيانية، أو بالأخضر)، حافة الورقة، طبيعة سطح الورقة، ملمس الورقة، طعم العرق الوسطي.

كما تم أخذ صفات العرق الوسطي باعتباره من الصفات المميزة لهذا الصنف، وهي: عرض العرق الوسطي (سم): تم قياس عرض قاعدة العرق الوسطي للورقة باستخدام البياكوليس.

سماكة العرق الوسطي (سم): تم قياس سماكة قاعدة العرق الوسطي باستخدام البياكوليس.

طول الورقة (سم)، عرض الورقة (سم).

معايير الانتخاب المدروسة: تم تقسيم النباتات الطافرة المتفوقة المنتخبة إلى مجموعتين وفق الآتي:

المجموعة الأولى: نباتات طافرة متفوقة من الخس البلدي الحموي تتصف بصفاته العامة (اللون الأخضر الداكن للأوراق الخارجية، السطح المجعد للورقة، الملمس الدهني للورقة، اللون الأحمر للعرق الوسطي، اللون الأحمر للساق)، إضافة لتميزها بالحجم الكبير للرأس، أو ارتفاع وزن

الرأس، أو الطعم الحلو المميز للعرق الوسطي، أو تأخر ظاهرة الشمرخة، أو غياب ظاهرة الخلفات الجانبية).

المجموعة الثانية: نباتات طافرة متفوقة من الخس البلدي الحموي بعض صفاتها مغايرة للصفات العامة لهذا الصنف (سطح الورقة الأملس، اللون الأخضر للأوراق الخارجية، اللون الأبيض للساق)، هذه الصفات مرغوبة تسويقياً لنبات الخس. إضافة لنباتات تتميز بصفات أخرى (الحجم الصغير للرأس، الباكورية، التأخر بالنضج) تمكن مربي الخس من الاستفادة منها لتوسيع القاعدة الوراثية للنبات، والعمل على إدخال هذه الصفات في برامج التحسين الوراثي اللاحقة.

تصميم التجربة والتحليل الإحصائي: قسمت التجربة لتجربتين بهدف تحديد النباتات الطافرة المتفوقة بصفاتها على صفات الصنف نفسه دون تغيير بالصفات العامة لهذا الصنف، وتمييزها عن النباتات التي طرأت عليها طفرات غيرت بعض الصفات العامة لصنف الخس البلدي الحموي التي ذكرت بالمرجع [1]. استخدم تصميم القطاعات العشوائية الكاملة في كلا التجربتين، بثلاثة مكررات لكل معاملة. تضم كل تجربة (10 معاملات + شاهد)، على اعتبار أن كل طراز شكلي منتخب هو معاملة. وتم تحليل النتائج إحصائياً باستخدام برنامج التحليل الإحصائي GenStat 12.1 للحصول على قيمة أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى معنوية (5 %)، وقيمة معامل التباين (CV%) بين المعاملات.

النتائج والمناقشة:

أولاً: انتخاب نباتات طافرة متفوقة من الخس البلدي الحموي (جيل أول):

زرعت بذور الخس البلدي الحموي المعاملة بالمطفرات (أشعة غاما، أزيد الصوديوم) في الموسم الأول، ومن ثم تم التشتيل في الأرض الدائمة، وخلال موسم النمو تمت متابعة هذه النباتات المطفرة خلال مراحل نموها وتطورها، وانتخب منها 22 نبات فردي طافر متفوق في صفاته اعتماداً على معايير الانتخاب (الرأس المندمج الكبير الحجم، لون الأوراق الخارجية، الطعم الحلو للعرق الوسطي، التأخر بالشمرخة، ظاهرة عدم تشكل الخلفات الجانبية). وعند وصول هذه النباتات لمرحلة الإزهار تم عزل نوراتها الزهرية بأكياس من قماش الغربول الناعم، وبعد عقد الثمار ونضج البذور جمعت البذور من كل نبات طافر منتخب على حدة لزراعتها في الموسم التالي.

ثانياً: انتخاب طرز طافرة متفوقة من الخس البلدي الحموي (جيل ثاني):

زرعت بذور النباتات الطافرة المنتخبة جيل أول، وعددها 22 نبات بأسلوب (نبات/ خط)، واعتبر النسل الناتج عنه عائلة وتمت مراقبة هذا النسل خلال مراحل نموها وتطورها، واستبعاد العزلات غير المرغوبة من كل عائلة نبات طافر جيل أول، وتم انتخاب النباتات الطافرة المتفوقة المتماثلة في صفاتها ضمن كل عائلة وسميت هذه النباتات (طراز وراثي)، نتيجة لذلك تم انتخاب 10 طرز شكلية طافرة متفوقة في صفاتها، تميزت بصفات مرغوبة جديدة أو متفوقة على صفات الصنف الخس البلدي الحموي (ارتفاع وزن الرأس، زيادة حجم الأوراق الخارجية، الطعم الحلو المميز للعرق الوسطي)، وأجري توصيف أولي لها. وتم عزل هذه النباتات في مرحلة الإزهار بأكياس من قماش الغربول الناعم للحصول على بذور كل منها على حدة بغية تتبع صفات نسلها في الجيل الثالث في الموسم التالي.

ثالثاً: انتخاب نباتات طافرة متفوقة من الخس البلدي الحموي (جيل ثالث):

زرعت بذور الطرز الشكلية الطافرة المنتخبة جيل ثاني 10 طرز بأسلوب (نبات/ خط)، وتمت مراقبة نسل هذه الطرز خلال مراحل نموها وتطورها، واستبعاد العزلات غير المرغوبة من كل خط (عائلة)، وانتخاب النباتات الطافرة المتفوقة والمتماثلة في صفاتها ضمن كل عائلة، حيث تم انتخاب 20 طراز شكلي طافر متفوق في صفاته الجدول (1).

يظهر الجدول (1) ازدياد عدد الطرز الشكلية المنتخبة في الجيل الثالث مع ازدياد جرعة أشعة غاما أو تركيز أزيد الصوديوم المستخدم، إضافة إلى زيادة عدد الطرز المتفوقة المنتخبة (7 طرز) عند التركيز (0.05 ملغ/ ل) من أزيد الصوديوم. كما يظهر الجدول (1) اختلاف عدد النباتات الطافرة المنتخبة من جيل لآخر، ويرجع ذلك إلى أنه عند النباتات ذاتية التلقيح تكون الطفرة في الجيل الأول بحالة هجينة، وتحدث الانعزالات الوراثية وتظهر الطفرات المتنحية في الأجيال التالية عند حدوث التلقيح الذاتي. وبالتالي تظهر صفات طافرة جديدة للنباتات المنتخبة، كما نلاحظ عدم ظهور بعض الطفرات المنتخبة في الأجيال التالية، قد يرجع ذلك إلى أن التغيير الحاصل نتيجة استخدام المواد المطفرة قد طرأ على خلية جسمية، وبالتالي لا يمكن توريث هذه الصفة للأجيال التالية، حيث يستفاد من مثل هذه الطفرات عن طريق الإكثار الخضري. أو قد يعود التغير الإيجابي في بعض الصفات (زيادة وزن الرأس، زيادة حجم الرأس،

زيادة طول وعرض الورقة) إلى التأثير المحفز للنمو لأشعة غاما على النبات، دون حدوث أي طفرات فيه [4]، [5].

الجدول (1): توزع النباتات الطافرة المتفوقة المنتخبة (جيل أول، جيل ثاني، جيل ثالث)، والناتجة من استخدام جرعات عديدة من أشعة غاما وتراكيز عديدة من أزيد الصوديوم SA على بذور صنف الخس البلدي الحموي.

المعاملة	الجرعة/ التركيز المستخدم	عدد النباتات الطافرة المتفوقة المنتخبة جيل أول M1	عدد الطرز الطافرة المتفوقة المنتخبة جيل ثاني M2	عدد الطرز الطافرة المتفوقة المنتخبة في الجيل الثالث M3
أشعة غاما	25 غراي	3	**3**	3
	50 غراي	4	-	-
	75 غراي	3	**1**	1
	100 غراي	4	**1**	4
أزيد الصوديوم	0.02 ملغ/ل	2	**1**	4
	0.03 ملغ/ ل	3	1	1
	0.04 ملغ/ ل	2	**2**	-
	0.05 ملغ/ ل	1	**1**	7

فرزت عملية الانتخاب في الجيل الثالث النباتات الطافرة المتفوقة جيل ثالث إلى مجموعتين: **المجموعة الأولى الجدول (2، 3):** 10 طرز طافرة متفوقة من الخس البلدي الحموي تتصف بصفاته العامة (الرأس البيضاوي المتطاول، اللون الأخضر الداكن للأوراق الخارجية، السطح المجعد للورقة، الملمس الدهني للورقة، اللون الأحمر للعرق الوسطي، اللون الأحمر للساق)، إضافة لصفات أخرى لتفوقها بحجم ووزن الرأس، الطعم الحلو للعرق الوسطي، تأخر ظاهرة الشمرخة، غياب ظاهرة تشكل الخلفات الجانبية).

المجموعة الثانية الجدول (4، 5): 10 طرز طافرة متفوقة من الخس البلدي الحموي مغايرة في بعض صفاتها للصفات العامة للخس البلدي الحموي (اللون الأخضر الداكن للأوراق الخارجية، اللون الوردي للساق، اللون الأحمر للعرق الوسطي).

ملاحظة: – يرمز الحرف (G): أشعة غاما، الحرف (A): أزيد الصوديوم.

- يرمز الرقم الأول بعد الحرف: للجرعة أو التركيز المستخدم، الرقم (1) يرمز للجرعة أو التركيز الأدنى.
- يرمز الرقم الثاني بعد الحرف: رقم الطراز الشكلي ضمن كل جرعة أو تركيز مستخدم.

ملاحظة: تم دراسة المواصفات المورفولوجية والإنتاجية للطرز الطافرة المنتخبة جيل ثالث (M3)، بهدف توصيف هذه الطرز وتحديد الطرز الأفضل منها. حيث أن المعاملة بأشعة غاما وأزيد الصوديوم أحدثت تغيراً في التركيب الوراثي للنبات مولدة بذلك نباتات طافرة، علماً أن التأثير السلبي لزيادة جرعات أشعة غاما والتراكيز العالية لأزيد الصوديوم المستخدم يظهر في النباتات الناتجة عن البذور المعاملة في الموسم الأول ويتجلى ذلك بتأثيرها على نسبة الإنبات، طول الشتول، قوة النمو.

الجدول (2): صفات الرأس والساق للطرز الطافرة المنتخبة جيل ثالث (10 طرز صفاتها مشابهة لصفات الخس البلدي الحموي)، والناتجة من تأثير استخدام جرعات عديدة من أشعة غاما وتراكيز عديدة من أزيد الصوديوم SA على بذور صنف الخس البلدي الحموي.

المعاملة	التركيز/ الجرعة	رقم الطراز	رمز الطراز	طبيعة نمو النبات	شكل الرأس	طبيعة الرأس	صلابة الرأس	شكل الساق	طبيعة الساق	لون الساق
أزيد الصوديوم	0.2 ملغ/ل	2	A1-2	قائم	بيضاوي متطاول	غير مندمج	نصف صلب	مغزلي	قاس	أحمر
	0.3 ملغ/ل	1	A2-1	قائم	بيضاوي متطاول	نصف مندمج	صلب	مغزلي	قاس	وردي غامق
	0.5 ملغ/ل	1	A4-1	قائم	بيضاوي متطاول	مندمج	صلب	مغزلي	قاس	وردي
		4	A4-4	قائم	بيضاوي متطاول	مندمج	صلب	مغزلي	قاس	وردي
		5	A4-5	قائم	بيضاوي متطاول	غير مندمج	صلب	مغزلي	قاس	أحمر

		6	A4-6	قائم	بيضاوي متطاول	غير مندمج	صلب	مغزلي	قاس	وردي غامق
أشعة غاما	25 غراي	2	G1-2	قائم	بيضاوي متطاول	مندمج	صلب	مغزلي	قاس	وردي غامق
		3	G1-3	قائم	بيضاوي متطاول	نصف مندمج	صلب	مغزلي	قاس	وردي
	75 غراي	1	G3-1	قائم	بيضاوي متطاول	نصف مندمج	نصف صلب	مغزلي	قاس	وردي غامق
	100 غراي	1	G4-1	قائم	بيضاوي متطاول	مندمج	صلب	مغزلي	قاس	وردي

المعاملة	التركيز/ الجرعة	رقم الطراز	رمز الطراز	لون الأوراق الخارجية	لون الأوراق الداخلية	حافة الورقة	سطح الورقة	شكل الورقة	ملمس الورقة	لون العرق الوسطي	طعم العرق الوسطي	طبيعة العرق الوسطي
أزيد الصوديوم	0.2 ملغ/ل	2	A1-2	أخضر داكن	أخضر	كاملة	مجعد قليلاً	بيضاوي متطاول	دهني	أحمر	حلو	قاس
	0.3 ملغ/ل	1	A2-1	أخضر داكن	أخضر	كاملة	مجعد	بيضاوي متطاول	دهني	أبيض قاعدته حمراء	حلو	قاس
	0.5 ملغ/ل	1	A4-1	أخضر داكن	أخضر فاتح مصفر	كاملة	مجعد	بيضاوي متطاول	دهني	أخضر قاعدته حمراء	حلو	قاس
		4	A4-4	أخضر داكن	أصفر	كاملة	مجعد قليلاً	بيضاوي متطاول	دهني	أبيض	حلو جداً	قاس
		5	A4-5	أخضر داكن	أخضر قاعدته صفراء	كاملة	مجهد جداً	بيضاوي متطاول	دهني	أحمر	حلو جداً	قاس
		6	A4-6	أخضر داكن	أخضر مصفر	كاملة	مجعد جداً	بيضاوي متطاول	دهني	أخضر محمر	حلو جداً	قاس
أشعة غاما		2	G1-2	أخضر داكن	أخضر	كاملة	مجعد جداً	بيضاوي متطاول	دهني	أخضر محمر	حلو جداً	قاس

	25 غراي	3	G1-3	أخضر داكن	أصفر	كاملة	مجعد قليلاً	بيضاوي متطاول	دهني	أبيض	حلو جداً	قاس
	75 غراي	1	G3-1	أخضر داكن	أخضر	كاملة	مجعد	بيضاوي متطاول	دهني	أخضر محمر	حلو	قاس
	100 غراي	1	G4-1	أخضر داكن	أخضر قاعدته صفراء	كاملة	مجعد جداً	بيضاوي متطاول	دهني جداً	أبيض	حلو جداً	قاس

الجدول (3): صفات الورقة للطرز الطافرة المنتخبة جيل ثالث (10 طرز صفاتها مشابهة لصفات الخس البلدي الحموي)، والناتجة من تأثير استخدام جرعات عديدة من أشعة غاما وتراكيز عديدة من أزيد الصوديوم SA على بذور صنف الخس البلدي الحموي.

الجدول (4): صفات الرأس والساق للطرز الطافرة المنتخبة جيل ثالث (10 طرز بعض صفاتها مغايرة لصفات الخس البلدي الحموي)، الناتجة من تأثير استخدام جرعات عديدة من أشعة غاما وتراكيز عديدة من أزيد الصوديوم SA على بذور صنف الخس البلدي الحموي.

المعاملة	التركيز/ الجرعة	رقم الطراز	رمز الطراز	طبيعة نمو النبات	شكل الرأس	طبيعة الرأس	صلابة الرأس	شكل الساق	لون الساق	طبيعة الساق
أزيد الصوديوم	0.2 ملغ/ل	1	A1-1	قائم	بيضاوي متطاول	مندمج	صلب	مغزلي	أبيض	قاس
		3	A1-3	قائم	بيضاوي متطاول	مندمج	صلب	مغزلي	أبيض	قاس
		4	A1-4	قائم	بيضاوي متطاول	مندمج	صلب	مغزلي	أبيض	قاس
	0.5 ملغ/ل	2	A4-2	قائم	كروي	غير مندمج	نصف صلب	مغزلي	وردي غامق	قاس
		3	A4-3	قائم	بيضاوي متطاول	غير مندمج	نصف صلب	مغزلي	أبيض+ وردي	قاس

		7	A4-7	قائم	بيضاوي متطاول	غير مندمج	صلب	مغزلي	أبيض قاعدته وردي	قاس
أشعة غاما	25 غراي	1	G1-1	قائم	بيضاوي متطاول	مندمج	صلب	مغزلي	أبيض	قاس
	100 غراي	2	G4-2	قائم	كروي	مندمج	صلب	مغزلي	أبيض	قاس
		3	G4-3	قائم	بيضاوي كروي	غير مندمج	نصف صلب	مغزلي	أبيض	قاس
		4	G4-4	قائم	كروي	مندمج	صلب	مغزلي	وردي	قاس

الجدول (5): صفات الورقة للطرز الطافرة المنتخبة جيل ثالث (10 طرز بعض صفاتها مغايرة لصفات الخس البلدي الحموي)، الناتجة من تأثير استخدام جرعات عديدة من أشعة غاما وتراكيز عديدة من أزيد الصوديوم SA على بذور صنف الخس البلدي الحموي.

المعاملة	التركيز/ الجرعة	رقم الطراز	رمز الطراز	لون الأوراق الخارجية	لون الأوراق الداخلية	حافة الورقة	سطح الورقة	شكل الورقة	ملمس الورقة	لون العرق الوسطي	طعم العرق الوسطي	طبيعة العرق الوسطي
أزيد الصوديوم	0.2 ملغ/ل	1	A1-1	أخضر فاتح	أخضر فاتح قاعدته صفراء	كاملة	أملس	بيضاوي متطاول	دهني قليلاً	أبيض مخضر	حلو	قاس
		3	A1-3	أخضر فاتح	أخضر مصفر	كاملة	أملس	بيضاوي متطاول	دهني	أبيض	حلو	قاس
		4	A1-4	أخضر فاتح	أخضر مصفر	كاملة	أملس	بيضاوي متطاول	دهني	أبيض مخضر	حلو	قاس
	0.5 ملغ/ل	2	A4-2	أخضر داكن	أخضر فاتح	مشرشرة	مجعد جداً	بيضاوي كروي	دهني	أخضر محمر	حلو	هش
		3	A4-3	أخضر فاتح	أخضر فاتح	مسننة	أملس	بيضاوي متطاول	دهني قليلاً	أخضر	حلو	قاس

		7	A4-7	أخضر	أخضر	كاملة	مجعد	بيضاوي متطاول	دهني قليلاً	أخضر	حلو	قاس
أشعة غاما	25 غراي	1	G1-1	أخضر فاتح	أخضر مصفر	كاملة	أملس	بيضاوي متطاول	دهني قليلاً	أبيض مخضر	مز	قاس جداً
	100 غراي	2	G4-2	أخضر	أخضر فاتح	كاملة	مجعد	بيضاوي متطاول	دهني	أبيض مخضر	مز	هش
		3	G4-3	أخضر فاتح	أخضر قاعدته صفراء	مشرشرة	مجعد جداً	بيضاوي كروي	دهني قليلاً	أخضر	حلو	قاس
		4	G4-4	أخضر داكن	أخضر فاتح	مشرشرة	مجعد	كروي	دهني	أخضر	حلو	قاس

رابعاً: المؤشرات الإنتاجية للطرز الطافرة المنتخبة جيل ثالث:

1- المؤشرات الإنتاجية للطرز الطافرة المنتخبة جيل ثالث المشابهة في صفاتها لصنف الخس البلدي الحموي:

يظهر الجدول (6) تفوق الطراز الطافر (A2-1) في صفة ارتفاع الرأس (45.67 سم) على جميع الطرز الطافرة جيل ثالث والشاهد (37.67 سم)، في حين تفوق الشاهد في صفة قطر الرأس (33 سم) على جميع الطرز الطافرة جيل ثالث. تفوق الطراز (A1-2) في صفة وزن الرأس (1.57 كغ) على جميع الطرز الطافرة والشاهد (0.74 كغ)، باستثناء الطراز الطافر (A4-4) بلغ وزن الرأس (1.47 كغ). تفوق الطراز الطافر (G1-3) في صفة طول الورقة وعرض الورقة على الترتيب (34.33، 20.33 سم) على جميع الطرز الطافرة والشاهد على الترتيب (28.33، 14 سم)، حيث تأرجحت صفة طول الورقة بين (26.33- 34.33 سم)، عرض الورقة بين (10.67- 20.33 سم). تفوق الطرازان الطافران (A1-1، 6 -A4) في صفة عرض العرق الوسطي على الترتيب (2.767، 2.733 سم) على جميع الطرز الطافرة والشاهد (0.93 سم)، باستثناء الطراز الطافر (A4-4) بلغ (2.533 سم). تفوقت الطرز الطافرة (G1-2،G1-3 ، A2-1، G4-1، A4-5) في صفة سماكة العرق الوسطي على الترتيب (0.7، 0.97، 1، 0.97 سم) على جميع الطرز الطافرة والشاهد (0.73 سم)، باستثناء الطراز الطافر (A4-4) بلغت (0.93 سم). تفوق الطراز الطافر (A4-1) في صفة طول الساق (27 سم) على جميع الطرز الطافرة والشاهد (14 سم)، وتأرجحت هذه الصفة بين (12.33- 27 سم). في حين تفوق الطراز الطافر (A4-6) في صفة قطر الساق (5.23 سم) على جميع الطرز الطافرة والشاهد (4.23 سم)، وتراوحت هذه الصفة بين (3.23- 5.23 سم).

الجدول (6): المؤشرات الإنتاجية للطرز العشرة الطافرة المنتخبة جيل ثالث (صفاتها مشابهة لصفات الخس البلدي الحموي) الناتجة من تأثير استخدام جرعات عديدة من أشعة غاما وتراكيز عديدة من أزيد الصوديوم SA على بذور صنف الخس البلدي الحموي.

المعاملة	التركيز/ الجرعة	رقم الطراز	رمز الطراز	ارتفاع الرأس (سم)	قطر الرأس (سم)	وزن الرأس (كغ)	طول الورقة (سم)	عرض الورقة (سم)	عرض العرق (سم)	سماكة العرق (سم)	طول الساق (سم)	قطر الساق (سم)
أزيد الصوديوم	0.2 ملغ/ل	2	A1-2	40.67 c	25.67 c	1.57 a	28 def	13.33 cd	2.77 a	0.73 cd	23.67 cd	4.2 cd
أزيد الصوديوم	0.5 ملغ/ل	1	A4-1	44.33 b	24.67 cd	1.18 d	32 b	14 c	2.07 cde	0.73 cd	27 a	4.27 c
أشعة غاما	75 غراي	1	G3-1	34.33 f	19.67 e	0.6 g	26.33 f	12.33 de	1.77 e	0.70 d	15.67 e	3.23 e
أشعة غاما	25 غراي	2	G1-2	34.67 f	12.33 g	1.35 bc	27.33 ef	10.67 f	2.03 cde	0.97 a	24.67 bc	4.17 cd
أشعة غاما	25 غراي	3	G1-3	36.33 e	29.33 b	0.83 f	34.33 a	20.33 a	2.13 cd	1 a	13.67 fg	4.57 b
أزيد الصوديوم	0.3 ملغ/ل	1	A2-1	45.67 a	20.33 e	0.96 e	31 bc	14 c	1.97 de	0.97 a	25.33 b	4.33 c
أشعة غاما	100 غراي	1	G4-1	40.33 c	20.33 d	1.23 cd	31.33 bc	17.33 b	1.83 de	1 a	15.67 e	4.2 cd
أزيد الصوديوم	0.5 ملغ/ل	4	A4-4	40.67 c	24.33 d	1.47 ab	29.67 cd	18.00 b	2.53 ab	0.93 ab	12.67 gh	4.03 d
أزيد الصوديوم	0.5 ملغ/ل	5	A4-5	31.67 g	18.33 f	0.8 f	29.33 cde	11.33 ef	2.37 bc	0.97 a	12.33 h	4.23 c
أزيد الصوديوم	0.5 ملغ/ل	6	A4-6	40.33 c	20.33 e	1.42 b	29.67 cd	17.67 b	2.73 a	0.83 bc	23.33 d	5.23 a
الشاهد				37.67 d	33 a	0.74 f	28.33 def	14 c	0.93 f	0.73 cd	14 f	4.23 c
L S D (%5)				1.014	1.044	0.1274	1.873	1.494	0.3182	0.1089	1.171	0.1734
C V%				1.5	2.7	6.8	3.7	5.9	8.9	7.4	3.6	2.4

ملاحظة: تدل الأحرف غير المتشابهة في كامل الجدول على وجود فروق معنوية.

2- المؤشرات الإنتاجية للطرز الطافرة المنتخبة جيل ثالث المغايرة في بعض صفاتها لصنف الخس البلدي الحموي:

يظهر الجدول (7) تفوق الطراز الطافر (A1-3) في صفات ارتفاع الرأس، قطر الرأس، وزن الرأس، طول الورقة، قطر الساق على الترتيب (47.33 سم، 35.33 سم، 1.45 كغ، 38.33 سم، 5.43 سم) على جميع الطرز الطافرة المتفوقة جيل ثالث والشاهد. في حين تفوق الطراز الطافر (A4-2) في صفة عرض الورقة (20.33 سم) على جميع الطرز الطافرة والشاهد (14 سم)، باستثناء الطراز الطافر (G4-3) بلغ (20 سم). تفوق الطرازان الطافران (A1-1، A4-7) في صفة عرض العرق الوسطي على الترتيب (2.77، 2.73 سم) على

جميع الطرز الطافرة والشاهد (0.93 سم). في حين تفوق الطراز الطافر (A1-4) في صفة سماكة العرق الوسطي (1.03 سم) على جميع الطرز الطافرة والشاهد (0.73 سم)، باستثناء الطراز الطافر (A1-3) بلغت (0.97 سم). تفوق الطراز الطافر (G1-1) في صفة طول الساق (25 سم) على جميع الطرز الطافرة والشاهد (14 سم)، باستثناء الطراز الطافر (A1-3) بلغ (24,33 سم).

الجدول (7): المؤشرات الإنتاجية للطرز العشرة الطافرة المنتخبة جيل ثالث (بعض صفاتها مغايرة لصفات الخس البلدي الحموي) الناتجة من تأثير استخدام جرعات عديدة من أشعة غاما وتراكيز عديدة من أزيد الصوديوم SA على بذور صنف الخس البلدي الحموي.

المعاملة	الجرعة/ التركيز	رقم الطراز	رمز الطراز	ارتفاع الرأس (سم)	قطر الرأس (سم)	وزن الرأس (كغ)	طول الورقة (سم)	عرض الورقة (سم)	عرض العرق (سم)	سماكة العرق (سم)	طول الساق (سم)	قطر الساق (سم)
أزيد الصوديوم	0.2 ملغ/ل	2	A1-1	39.67 c	26.33 d	0.93 c	31.67 c	13.33 f	2.77 a	0.83 bc	23.33 b	5.13 b
أشعة غاما	25 غراي	1	G1-1	35.67 e	23.67 e	1.1 b	30.67 c	16 de	2.13 b	0.80 c	25 a	4.03 d
أشعة غاما	100 غراي	1	G4-3	37.67 d	36.33 a	1.1 b	28 d	20 ab	2.87 a	0.70 cd	15.67 d	3.73 e
أزيد الصوديوم	0.5 ملغ/ل	1	A4-2	30 g	30.67 c	0.77 d	20.67 f	20.33 a	1.83 cd	0.70 cd	16.67 d	3.53 f
أزيد الصوديوم	0.2 ملغ/ل	2	A1-3	47.33 a	35.33 a	1.45 a	38.33 a	16 de	2.23 b	0.97 ab	24.33 ab	5.43 a
أزيد الصوديوم	0.2 ملغ/ل	1	A1-4	44.67 b	33.67 b	1.18 b	36.33 b	14.33 ef	2.23 b	1.03 a	23.33 b	4.27 c
أزيد الصوديوم	0.5 ملغ/ل	1	A4-3	34.33 f	20.33 f	0.48 e	23.00 e	7 h	1.17 e	0.57 d	20.33 c	3.87 e
أزيد الصوديوم	0.5 ملغ/ل	4	A4-7	40.33 c	20.67 f	1.53 a	30.33 c	18.33 bc	2.73 a	0.87 bc	23.67 b	5.23 b
أشعة غاما	100 غراي	5	G4-2	21.33 h	12.67 g	0.29 f	16.67 g	9.67 g	1.77 d	0.73 c	5.67 g	2.17 g
أشعة غاما	100 غراي	6	G4-4	20.33 h	10.33 h	0.19 f	15.91 g	17.67 cd	1.97 c	0.73 c	8.67 f	2.07 g
الشاهد				37.67 d	33 b	0.74 d	28.33 d	14 f	0.93 f	0.73 c	14 e	4.23 c
L S D (%5)				1.073	1.036	0.1285	1.449	1.791	0.1564	0.1486	1.190	0.1659
C V%				1.8	2.4	8.5	3.1	6.9	4.5	11.1	3.8	2.5

ملاحظة: تدل الأحرف غير المتشابهة في كامل الجدول على وجود فروق معنوية.

الاستنتاجات:

أظهر استخدام جرعات عديدة من أشعة غاما (25، 50، 75، 100 غراي)، وتراكيز عديدة من أزيد الصوديوم –SA (0.2، 0.3، 0.4، 0.5 ملغ/ ل) على بذور صنف الخس البلدي الحموي كل من الآتي:

1- لعب كلا المطفرين المستخدمين (أشعة غاما، أزيد الصوديوم) دوراً مهماً في استحداث التباينات الوراثية، حيث تم انتخاب (22) نبات طافر متفوق جيل أول، (10) طرز شكلية طافرة متفوقة مبشرة (جيل ثاني). وأمكن انتخاب وتوصيف (10) طرز شكلية طافرة متفوقة جيل ثالث صفاتها مشابهة لصنف الخس البلدي الحموي، و(10) طرز شكلية طافرة متفوقة جيل ثالث صفاتها مغايرة لصفات صنف الخس البلدي الحموي.
2- أظهرت النتائج فعالية أكبر لأزيد الصوديوم كمطفر للخس البلدي الحموي مقارنة بأشعة غاما، حيث تم الحصول عند استخدامه على 12 طراز (منها 7 طرز طافرة من التركيز 0.05 ملغ/ ل) مقارنة بـ 8 طرز طافرة عند استخدام أشعة غاما (منها 4 طرز طافرة من الجرعة 100 غراي).
3- تم الحصول على عدد أكبر من الطرز الطافرة مغايرة في بعض صفاتها لصنف الخس البلدي الحموي عند استخدام أزيد الصوديوم مقارنة بأشعة غاما بلغت على الترتيب (6، 4 طرز).
4- أظهرت النباتات الطافرة باستخدام أزيد الصوديوم زيادة في كل من: وزن وارتفاع الرأس، طول الساق مقارنة مع استخدام أشعة غاما والشاهد.

المقترحات:

ننصح العاملين في مجال التحسين الوراثي لنبات الخس في سورية بالآتي:

– استخدام أشعة غاما والمطفر الكيميائي أزيد الصوديوم– SA لاستحداث تباينات وراثية كبيرة، بهدف استنباط نباتات طافرة متفوقة من الخس.

– استخدام الجرعة (100 غراي) من أشعة غاما والتركيز (0.5 ملغ/ ل) من أزيد الصوديوم– SA للحصول على أكبر عدد من الطرز الشكلية للنباتات في الجيل الطافر الثالث.

– متابعة العمل على الطرز الطافرة المنتخبة جيل ثالث بغية استنباط سلالات طافرة نقية.

المراجع العلمية المستخدمة:

1. الخباز، باسمه. 2014. **توصيف بعض طرز الخس البلدي *Lactuca sativa* L. المزروعة في محافظة حماة،** مجلة جامعة حمص للعلوم الزراعية والتقانة الحيوية، المجلد (36).

2. الشالات، براءة. 2023. **دراسة تأثير أشعة غاما في بعض المتغيرات المورفوفينولوجية لصنفي الفول (حماة–2 وحماة–3) في الجيلين الأول والثاني.** مجلة جامعة حمص للعلوم الزراعية والتقانة الحيوية، المجلد (45)، العدد (23).

3. العبد الله، أسامة. 2013. **استجابة بعض أصناف الثوم المزروعة في سورية للإكثار الدقيق باستخدام تقانات زراعة الأنسجة والمعاملة بالمطفرات بهدف تحسينها.** أطروحة دكتوراه، قسم البساتين، كلية الزراعة، جامعة حمص. 199 صفحة.

4. المحمد، خالد؛ محمد نبيل الأيوبي؛ زكريا حساني؛ أميرة زين.2003. **التحسين الوراثي للفاكهة والخضار.** الجزء النظري، منشورات جامعة حلب، كلية الزراعة، 262 صفحة.

5. حسن، أحمد عبد المنعم. 1991. **أساسيات تربية النبات.** الدار العربية للنشر، القاهرة، مصر، 682 صفحة.

6. حسن، أحمد عبد المنعم. 1993. **تربية محاصيل الخضر.** الدار العربية للنشر، القاهرة، مصر، 800 صفحة.

7. حميدان، مروان؛ رياض زيدان .2003. **زراعة وإنتاج محاصيل الخضر.** الجزء النظري، منشورات جامعة تشرين، كلية الزراعة، 267 صفحة.

8.Brunner H.1995– **Radiation induced mutations for plant selection**. Appl Radiat Isotopes. 46:589–94.

9.Cheng. Jun, Huaqiang Chu, Lianjie Li, et al 2018- **Enhancing growth rate of lettuce by mutating lettuce seeds with nuclear irradiation**. Carbon Resources Conversion,1(1), 55-60.

10.Gruszka, D., I. Szarejko, dan M. Maluszynski. 2012. **Sodium Azide as A Mutagen**. Plant Mutation Breeding and Biotechnology. xx(x):159–166. https://doi.org/10.1079/9781780640853.0159.

11. Khan, S. and Goyal, S. ,2009- **Mutation genetic studies in mungbean iv. selection of early maturing mutants**. Thai Journal Of Agricultural Science. 42 (2): 109- 113.

12. Kondratenko, S. I., Gorobchenko, O. A., Linnik, Z. P., Kormosh, S. M., Mytenko, I. M., Pozniak, O. V., & Chaban, L. V. 2025. **Analysis of phenotypic diversity of true leaves in lettuce lines (Lactuca sativa var. secalina L.) created by physical and chemical mutagenesis**. Biophysical Bulletin, (54), 83-99. https://doi.org/10.26565/2075-3810-2025-54-06.

13. Mahla, S. V. S., Mor, B. R. and Yadava, J. S. ,1990- **Effect of mutagens on yield and its component characters in mustard**. Haryana Agric. Univ. J. Res., 8 (2): 173- 173.

14. Majeed, A. A., Khan R., Ahmad, H., Muhammad, Z. ,2010- **Gamma irradiation effects on some growth parameters of *Lepidium sativum* L**. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science, 5 (1): 39- 42.

15. Mou, B. ,2012- **Mutations in Lettuce Improvement**. International Journal of Plant Genomics. doi:10.1155/2011/723518.

16. Shah, S. A., Ali, I., Rahman, K. ,1990- **Induction and selection of superior genetic variables of oilseed rape (*Brassica napus* L.)**. The Nucleus, 27 (1- 4): 37- 40.

17.Timon David, Zakawa N. N, Mohammed Rabiyat. 2025. **Effect of X-Ray Exposure and Sodium Azide (NaN3) Treatments on Germination Growth and Yield of Maize (Zea Mays L.) in Mubi Adamawa State Nigeria**. nternational Research Journal of Innovations in Engineering and Technology (IRJIET). ISSN (online): 2581-3048. Volume 9, Issue 2, pp 33-40, February.

18.Turanlı, Hivrun,Coban, Furkan and Kamil Haliloglu. 2025. **Optimization of Sodium Azide Application in Black Cumin (Nigella sativa L.) and Determination of Agronomic Characteristics in M1 Generation**. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi 12(3):753-763.

الجدوى الاقتصادية لمشروع حفرة حويسيس لحصاد المياه في البادية السورية

م. محمد صلاح الزهوري(1) د. جمال مصطفى العلي(2) د.فاروق البكدش(3)

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الجدوى الاقتصادية لمشروع حصاد مياه الأمطار في البادية السورية، من خلال تحليل حالة دراسية لمشروع حفرة حويسيس التخزينية والتي تبلغ سعتها التخزينية حوالي (100,231 م³)، مع حجم مياه مفيدة سنوي يقدّر بنحو (56,186.65 م³). اعتمدت المنهجية على تحليل التكاليف والمنافع باستخدام مجموعة من المؤشرات الاقتصادية القياسية (مثل صافي القيمة الحاليةNPV ، معدل العائد الداخليIRR ، دليل الربحيةB/C Ratio ، وفترة الاسترداد، مع خصم جميع التدفقات النقدية بسعر خصم 9% واعتماد سنة أساس 2011.

أظهرت النتائج جدوى اقتصادية واضحة للمشروع، حيث بلغت صافي القيمة الحالية قيمة موجبة (+497,592 ل.س)، ومعدل العائد الداخلي (9.74%)أعلى من سعر الخصم، كما أن دليل الربحية (1.06)أكد أن المنافع تفوق التكاليف. وتمكن المشروع من استرداد رأس المال المستثمر خلال حوالي عشر سنوات. استنتجت الدراسة أن مشروع الحفرة التخزينية ليس مجدياً مالياً فحسب، بل يقدم حلاً مستداماً ومنخفض التكلفة مقارنة بالمصادر البديلة، مما يخفف العبء على السكان ويدعم الاستقرار الريفي والمرونة المناخية .وخلصت إلى ضرورة التوسع في مثل هذه المشاريع الذكية، مع تحسين آليات الإدارة التشاركية والصيانة المستدامة، ودمج التقييم المتكامل للمنافع غير المباشرة في عملية صنع القرار.

الكلمات المفتاحية :الجدوى الاقتصادية – حصاد المياه – البادية السورية–حويسيس

(1) طالب دكتوراه في قسم الاقتصاد الزراعي بكلية الزراعة جامعة حمص.

(2) أستاذ في قسم الاقتصاد الزراعي بكلية الزراعة جامعة حمص.

(3) أستاذ في قسم الاقتصاد الزراعي بكلية الزراعة جامعة الفرات.

The Economic Feasibility of the Hweisies Water Harvesting Pit Project in the Syrian Badia

Abstract

This study aimed to evaluate the economic feasibility of a rainwater harvesting project in the Syrian desert, through a case study analysis of the Huwaisis storage pit project, which has a storage capacity of approximately (100,231 m^3), with an estimated annual usable water volume of approximately (56,186.65 m^3).

The methodology was based on a cost–benefit analysis using a set of standard economic indicators, including Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit–Cost Ratio (B/C Ratio), and Payback Period. All cash flows were discounted at a discount rate of 9%, with 2011 adopted as the base year.

The results demonstrated clear economic feasibility of the project, as the Net Present Value was positive (+497,592 SYP), the Internal Rate of Return (9.74%) exceeded the discount rate, and the Benefit–Cost Ratio (1.06) confirmed that benefits outweigh costs. The project was able to recover the invested capital within approximately ten years.

The study concluded that the storage pit project is not only financially viable but also provides a sustainable and low-cost solution compared to alternative water sources. It reduces the burden on local populations and supports rural stability and climate resilience. The study recommended expanding such smart water harvesting projects, improving participatory management and sustainable maintenance mechanisms, and integrating comprehensive assessments of indirect benefits into the decision-making process.

Keywords: Economic feasibility – Water harvesting – Syrian Badia – Huwaysis

1. مقدمة:

يُعد حصاد مياه الأمطار من أهم مصادر المياه العذبة في مختلف مناطق العالم، حيث يعتمد عليه السكان في العديد من البيئات شحيحة المياه كوسيلة رئيسية لتلبية احتياجاتهم اليومية. وفي هذا السياق، يُستخدم هذا الأسلوب في مناطق أخرى كمصدر مكمل يساهم في تعزيز استدامة الموارد المائية. كما أن المجتمعات التقليدية، مثل سكان الجزر والمناطق القاحلة، قد اعتمدت على حصاد مياه الأمطار منذ القدم، وذلك لما يتميز به من انخفاض التكلفة وفعالية في تلبية الاحتياجات المحلية، الأمر الذي ساعد هذه المجتمعات على الحفاظ على استقرار أنظمتها البيئية والزراعية (Sharma et al., 2020).

ومع التغيرات المناخية المتزايدة والتقلبات في أنماط هطول الأمطار، أصبح حصاد مياه الأمطار أداة تكيفية ضرورية تساعد المجتمعات على مواجهة ندرة المياه وتحقيق الأمن المائي. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن تقنيات حصاد المياه تُعد من أكثر الحلول كفاءة من حيث التكلفة في المناطق الجافة وشبه الجافة، خاصة عند مقارنتها بالبدائل التقليدية مثل نقل المياه لمسافات طويلة أو إنشاء محطات التحلية، نظرًا لانخفاض تكاليفها الاستثمارية والتشغيلية (Kumar et al., 2022; Munawar et al., 2021). كما يمكن استخدام المياه المحصودة في ري المحاصيل الزراعية وسقاية الثروة الحيوانية، فضلًا عن دورها في زيادة المخزون الجوفي وتحسين الرطوبة في التربة (Abu Awad & Shatnawi, 1997; Munawar et al., 2021).

ويُعرّف حصاد المياه بأنه نظام إداري متكامل يقوم على جمع مياه الجريان السطحي الناتجة عن هطول الأمطار، وتخزينها، ثم توزيعها حسب الحاجة، بما يضمن تلبية احتياجات الأسر والقطعان والأنشطة الزراعية في المناطق النائية التي تعاني شح الموارد المائية (UN ESCWA, 2022). وقد أظهرت الأدبيات الحديثة أن هذا النظام لا يحقق فوائد بيئية فقط، بل يمتد أثره ليشمل أبعادًا اقتصادية مهمة، مثل خفض تكاليف الإنتاج الزراعي، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، وزيادة دخل المجتمعات الريفية، وهو ما يعزز من استدامة سبل العيش في هذه المناطق (Kumar et al., 2022; Munawar et al., 2021).

وفي الانتقال إلى السياق المحلي، تُعد البادية السورية من أكثر المناطق تأثرًا بندرة المياه، حيث تتسم بانخفاض معدلات الهطول المطري التي تتراوح غالبًا بين (100–250 مم سنويًا)،

إضافة إلى التذبذب الكبير في توزيع الأمطار زمانيًا ومكانيًا، مما يحدّ من إمكانية الاعتماد على المصادر المائية التقليدية (العلي، 2009؛ UN ESCWA, 2022). كما تشكل هذه المنطقة جزءًا كبيرًا من المساحات الرعوية في سوريا، وتعتمد بشكل رئيسي على تربية الثروة الحيوانية، الأمر الذي يزيد من الطلب على المياه لأغراض الشرب والسقاية (رمضان، 2006).

وفي ظل هذه الظروف، شكلت ندرة المصادر المائية تحديًا رئيسيًا للسكان والبيئة الرعوية، حيث يعتمد السكان على المياه الجوفية والمياه المنقولة من مسافات بعيدة لتأمين احتياجاتهم، مما يرفع من التكاليف الاقتصادية ويؤثر سلبًا على استدامة الأنشطة الإنتاجية. وبهدف مواجهة هذا النقص، تم تنفيذ العديد من مشاريع حصاد المياه، مثل الحفائر التخزينية والسدود الصغيرة، التي تهدف إلى تجميع مياه الأمطار خلال فصل الشتاء واستخدامها خلال فترات الجفاف، وقد ساهمت هذه المشاريع في تقليل تكاليف نقل المياه وتحسين كفاءة استخدامها (الشامي، 2000؛ UN ESCWA, 2022).

ومن منظور اقتصادي، تبرز أهمية مشاريع حصاد المياه في كونها تمثل استثمارات منخفضة التكلفة نسبيًا مقارنة بالبدائل الأخرى، حيث تسهم في تحقيق وفورات مالية مباشرة من خلال تقليل تكاليف تأمين المياه، إضافة إلى تحقيق منافع غير مباشرة مثل دعم الاستقرار الاجتماعي وتقليل الهجرة الريفية وتحسين الإنتاجية الحيوانية (Kumar et al., 2022; Munawar et al., 2021). ومع ذلك، فإن معظم الدراسات السابقة ركزت على الجوانب الفنية والهيدرولوجية، في حين لا تزال الدراسات الاقتصادية التطبيقية التي تستخدم مؤشرات مالية دقيقة (مثل NPV وIRR) محدودة، خاصة في السياق السوري (العلي، 2007).

وانطلاقًا مما سبق، تبرز الحاجة إلى إجراء دراسة جدوى اقتصادية تطبيقية لمشاريع حصاد المياه في البادية السورية، لتقييم كفاءتها الاقتصادية بشكل دقيق، ومقارنة تكاليفها بالعوائد المتحققة، بما يسهم في دعم عملية اتخاذ القرار وتوجيه الاستثمارات نحو الحلول الأكثر كفاءة واستدامة.

2. مشكلة البحث:

تُعد ندرة المياه من أبرز التحديات التي تواجه المناطق الجافة وشبه الجافة، إلا أن هذه المشكلة تزداد حدة في البادية السورية، التي تتميز بانخفاض معدلات الهطول المطري وتذبذبها، واعتمادها الكبير على الموارد المائية المحدودة لتأمين احتياجات السكان والأنشطة الرعوية. وفي هذا السياق،

تشير التقديرات إلى وجود عجز مائي في سوريا بلغ نحو 4 مليارات متر مكعب سنويًا، حيث قُدّرت الموارد المائية المتجددة بحوالي 16 مليار متر مكعب مقابل احتياجات تصل إلى 20 مليار متر مكعب، وذلك وفق بيانات تعود إلى أواخر العقد الأول من الألفية (العلي، 2009)، وهو ما يعكس ضغطًا متزايدًا على الموارد المائية التقليدية.

وتتجلى حدة المشكلة بشكل أكبر في البادية السورية، حيث يعتمد السكان بشكل رئيسي على نقل المياه من مصادر بعيدة أو حفر الآبار العميقة، وهي خيارات ذات تكلفة اقتصادية مرتفعة، سواء من حيث تكاليف الاستخراج أو النقل. فعلى سبيل المثال، تصل كلفة تأمين المياه في بعض المناطق إلى مستويات مرتفعة نتيجة إضافة تكاليف النقل لمسافات طويلة، الأمر الذي يشكل عبئًا ماليًا مباشرًا على السكان المحليين، وخاصة مربي الثروة الحيوانية الذين يعتمد نشاطهم بشكل أساسي على توفر المياه.

وفي ظل هذه الظروف، برزت تقنيات حصاد مياه الأمطار، وخاصة الحفائر التخزينية، كأحد الحلول المناسبة منخفضة التكلفة نسبيًا، حيث تتيح تجميع مياه الجريان السطحي واستخدامها خلال فترات الجفاف. وقد أثبتت هذه المشاريع قدرتها على تقليل تكاليف تأمين المياه وتحسين كفاءة استخدامها، إلى جانب دورها في دعم الاستقرار الاقتصادي والاجتماعي في المناطق الرعوية (Kumar et al., 2022; Munawar et al., 2021).

وعلى الرغم من الأهمية المتزايدة لهذه المشاريع، إلا أن معظم الدراسات السابقة ركزت على الجوانب الفنية والهيدرولوجية، في حين لا تزال الدراسات الاقتصادية التطبيقية التي تقيم كفاءة هذه المشاريع باستخدام مؤشرات مالية دقيقة محدودة، خاصة في البيئات الرعوية الجافة. كما يلاحظ وجود نقص واضح في الدراسات التي تتناول التحليل الاقتصادي لمشاريع الحفائر التخزينية في البادية السورية بشكل خاص (العلي، 2007؛ UN ESCWA, 2022).

وبناءً على ما سبق، تتمثل مشكلة البحث في الحاجة إلى تقييم الجدوى الاقتصادية لمشاريع الحفائر التخزينية في البادية السورية، في ظل ارتفاع تكاليف البدائل التقليدية لتأمين المياه، وعدم وضوح كفاءة هذه المشاريع من منظور اقتصادي دقيق.

ومن هنا ينشأ السؤال البحثي الرئيسي:

إلى أي مدى تحقق مشاريع الحفائر التخزينية في البادية السورية جدوى اقتصادية مقارنة بالبدائل التقليدية لتأمين المياه؟

3. أهداف البحث:

انطلاقاً من مشكلة البحث وتساؤله، تم صياغة الهدف الرئيسي لهذا البحث في دراسة الجدوى الاقتصادية لمشروع حفرة حويسيس لحصاد المياه في البادية السورية وذلك من خلال مجموعة من الأهداف الفرعية:

1- تحليل التكاليف والعوائد الاقتصادية المترتبة على إنشاء الحفرة التخزينية.
2- تقييم الجدوى الاقتصادية للمشروع باستخدام المؤشرات المالية، مثل:
- معدل العائد الداخلي (IRR)
- صافي القيمة الحالية (NPV)
- تحليل التكلفة والمنفعة

4. منهجية البحث:

4.1. المنهج العلمي المتبع

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم تحليل الجدوى الاقتصادية لمشروع حفرة حويسيس ضمن إطار حصاد المياه، وذلك باستخدام أدوات التحليل المالي لتقدير التكاليف والعوائد وتقييم كفاءة الاستثمار من خلال مؤشرات الجدوى الاقتصادية.

4.2 تثبيت سنة الأساس

تم إجراء التحليل الاقتصادي بالاعتماد على أسعار سنة 2011 كسنة أساس لضبط القيم النقدية وضمان الاتساق الداخلي. جميع الحسابات المالية للمشروع أُجريت **بالليرة السورية لسنة الأساس 2011**، لضمان اتساق جميع التدفقات النقدية الداخلة والخارجة في التحليل الاقتصادي. ولم يتم التحويل إلى الدولار، إذ أن المؤشرات مثل NPV و IRRاو B/C Ratioتعتمد على تناسق الوحدات وليس العملة، مما يسمح بتحليل جدوى المشروع وكفاءته الاقتصادية بدقة.

تجدر الإشارة إلى أن مشروع حفرة حويسيس محل الدراسة هو مشروع قائم، ولذلك تم التركيز في التحليل على تقييم كفاءته الاقتصادية من خلال تحليل التكاليف والعوائد الفعلية.

وفي الوقت نفسه، تم استخدام بعض مؤشرات الجدوى الاقتصادية بهدف تقييم قابلية تعميم هذا النموذج وتطبيقه في مواقع مشابهة ضمن إطار حصاد المياه، وليس باعتباره مشروعًا قيد التخطيط فقط.

وبناءً على ذلك، تم توضيح المنهجية لتشمل كلًا من مؤشرات الكفاءة الاقتصادية للمشروع القائم، ومؤشرات الجدوى الاقتصادية لأغراض الاستدلال والتوسع المستقبلي.

4.3 المؤشرات الاقتصادية المستخدمة

تتلخص الطرائق العلمية للبحث باستخدام مجموعة من المؤشرات الاقتصادية للتعرف على الجدوى الاقتصادية من إنشاء حفرة حويسيس لحصاد المياه في البادية السورية وهذه المؤشرات هي:

أولاً : تحليل التعادل : وهي طريقة لفحص العلاقات بين الإيرادات والتكاليف، لتقدير الحد الأدنى من المبيعات اللازم للتعادل (أي عدم تحقيق ربح أو خسارة)، وهو مؤشر أولي يساعد على الكشف عن مدى ربحية المشروع :

قيمة الإيرادات = قيمة التكاليف

ثانياً : فترة الاســترداد (المعيار الزمني) : تشــير فترة الاســترداد إلى الفترة الزمنية المتوقع استرداد قيمة الإنفاق الأصلي خلالها وطبقاً لهذا المعيار يفضل الأسلوب الاستثماري الذي تغطي تدفقاته النقدية الداخلة قيمة الإنفاق الاســتثماري بطريقة أســرع من الأســلوب الذي يســتغرق وقتاً أطول، وتحسب فترة الاسترداد بقسمة الاستثمار المبدئي على صافي التدفق السنوي، وذلك في حالة تساوي صافي التدفقات السنوية، أما في حالة عدم تساويها فيتم تجميعها سنة بعد سنة، حتى نتوصل إلى المجموع الذي يتعادل مع الاستثمار المبدئي، ويمكن حساب فترة الاسترداد بالمعادلة التالية:

$$\text{فترة الاسترداد} = \frac{\text{الاستثمار المبدئي}}{\text{صافي التدفق النقدي السنوي}}$$

(Brigham & Ehrhardt, 2016)

ثالثاً : معيار صافي القيمة الحالية : يشير صافي القيمة الحالية للمشروع الاستثماري إلى الفرق بين القيمة الحالية للتدفقات النقدية الداخلة إلى المشـــروع والقيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة.

- فإذا كان صـــافي القيمة الحالية موجب، أي تزيد القيمة الحالية للتدفقات النقدية الداخلة عن القيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة، كان المشروع الاستثماري مربحاً.

ويتم إيجاد صـــافي القيمة الحالية عن طريق خصـــم التدفقات النقدية المرتبطة بالاســـتثمار (الداخلة والخارجة) بمعدل يمثل تقدير الإدارة لتكلفة الأموال، ويمثل هذا المعدل الحد الأدنى لعائد الاستثمار.

ومعادلة صافي القيمة الحالية هي :

صافي القيمة الحالية = القيمة الحالية للتدفقات النقدية الداخلة المخصومة – القيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة المخصومة

(Boardman et al., 2018)

رابعاً: تحليل التكلفة والمنفعة : يقصد بتحليل التكلفة والمنفعة (ويسمى أحياناً بدليل الربحية) حاصل قسمة القيمة الحالية للتدفقات النقدية الداخلة في المشروع الاستثماري على القيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة لهذا المشروع ومعادلة معيار تحليل التكلفة والمنفعة هي:

$$\text{معيار تحليل التكلفة والمنفعة} = \frac{\text{القيمة الحالية للتدفقات النقدية الداخلة في المشروع الاستثماري}}{\text{القيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة في المشروع الاستثماري}} = \text{أكبر أو أصغر من الواحد الصحيح}$$

(UN ESCWA, 2022)

خامساً : معدل العائد الداخلي : يعتبر معدل العائد الداخلي من أهم المعايير المستخدمة في المفاضلة بين المشروعات الاستثمارية المختلفة، ويستخدمه البنك الدولي حالياً في كل أنواع التحليل المالي والاقتصادي للمشروعات، وكذلك تستخدمه معظم مؤسسات التمويل الدولية عند قبولها أو رفضها للمشروعات المقدمة إليها بغرض التمويل ومعتمد من هيئة تخطيط الدولة في سورية. ولتحديد قيمة معدل العائد الداخلي عادة تطبق المعادلة التالية:

$$\text{معدل العائد الداخلي} = \text{معدل الخصم الأدنى} + \frac{\text{صافي القيمة الحالية عند المعدل الأدنى} \times (\text{معدل الخصم الأعلى} - \text{معدل الخصم الأدنى})}{\text{صافي القيمة الحالية عند المعدل الأدنى} - \text{صافي القيمة الحالية عند المعدل الأعلى}}$$

(Gittinger, 1982; Boardman et al., 2018)

4.4 الحدود المكانية والزمنية للبحث

تقتصر الدراسة على مناطق البادية السورية، التي تتميز بظروف مناخية جافة وشبه جافة وتعتمد بشكل رئيسي على الهطولات المطرية الموسمية كمصدر أساسي للمياه، مع التركيز على موقع حفرة حويسيس كمثال تطبيقي لمشروع حصاد المياه. من الناحية الزمنية، تستند التحليلات الاقتصادية والمالية للمشروع إلى التكاليف الاستثمارية والبيانات الأساسية للمشروع منذ عام 2011، مع استخدام بيانات حديثة نسبياً للفترة 2020–2025 لتعكس الواقع الراهن وتقديرات مستقبلية لتحليل الجدوى الاقتصادية على المدى المتوسط وطويل الأجل.

5. النتائج والمناقشة:

5.1. الدراسة الوصفية لمشروع حفرة حويسيس لحصاد المياه في البادية السورية:

5.1.1 الموقع: تقع الحفرة في جبل البلعاس جنوب قرية حويسيس ب / 6 / كم على وادي مرمى ضاهروتتبع إدارياً لمحافظة حمص. والجدول (1) يبين موقع وإحداثيات هذه الحفرة:

جدول 1: موقع وإحداثيات حفرة حويسيس في البادية السورية:

اسم الحفرة	حجم التخزين (م3)	الإحداثيات الجغرافية		الارتفاع عن سطح البحر (م)
		س	ع	
حويسيس	100231	37 ْ37 َ13 ً	34 ْ48 َ42 ً	830

المصدر. الموارد المائية، 2011

الشكل (1): صورة فضائية لموقع حفرة حويسيس لحصاد المياه في البادية السورية

5.1.2. الهدف من المشروع: تخزين المياه السطحية الواردة إلى الموقع للاستفادة منها في سقاية المواشي .

5.1.3. معلومات هيدرولوجية: تم حساب مساحة الأحواض الساكبة ومعرفة الهاطل المطري السنوي الوسطي تم حساب الجريان السنوي الوسطي بعامل جريان 5% و الجدول (2) يبين النتائج :

جدول 2: المعلومات الهيدرولوجية لحفرة حويسيس لحصاد المياه في البادية السورية

مساحة الحوض الساكب (كم2)	الهطول المطري السنوي الوسطي (مم)	الجريان السنوي الوسطي (م3/سنة)
72	235.6	848160

المصدر. الموارد المائية، نتائج البحث

5.1.4. البدائل الحالية للمشروع وكلفة تأمين المياه منها:

يعتمد الأهالي بشكل رئيسي على تربية الأغنام. وهذه المنطقة تعاني من نقص متزايد في الموارد المائية وذلك لصعوبة الحصول على المياه الجوفية العميقة، حيث يتم تأمين الاحتياجات المائية من بئر يبعد عن الحفرة المقترحة حوالي 12 كم، وعلى اعتبار أن كلفة تأمين 1 م3 من مياه

الآبار هو (15) ل.س وكلفة النقل (3) ل.س للمتر المكعب تكون كلفة تأمين 1 م3 من المياه حالياً في هذه المنطقة هي (12 x 3 + 15) وتساوي 51 ل.س/م3.

5.2. الدراسة الاقتصادية لمشروع حفرة حويسيس (حمص):

من خلال المعطيات الواردة في الدراسة الفنية تبين معرفة الأرقام التالية:

البند	القيمة	الوحدة	ملاحظات
حجم المياه السنوي	56186.65	م³	متوسط سنوي
سعر بيع المياه	18	ل.س/م³	في موقع الحفرة
الإيراد السنوي	1,011,359.70	ل.س	(الحجم × السعر)
التكاليف الاستثمارية	9,288,100	ل.س	تدفع في السنة الأولى
تكاليف الصيانة السنوية	46,290	ل.س	تبدأ من السنة السادسة
كلفة إزالة الطمي	62,644	ل.س	كل 5 سنوات (السنة 6)
القيمة الحالية للتدفقات الداخلة	9,018,783	ل.س	
القيمة الحالية للتدفقات الخارجة	8,521,191	ل.س	

وباستخدام معادلات دراسة الجدوى الاقتصادية والجدولين (1،2) في الملحق:

5.2.1 تحليل التعادل: نلاحظ من خلال المعطيات السابقة أن الإيرادات أكبر من النفقات وبالتالي فالمشروع رابح على مستوى العمر الافتراضي للمشروع وهو /30/ عام، حيث أن:

الإيرادات الكلية > من النفقات الاستثمارية: 9018783 > 8521191

وذلك حسب القيمة الحالية للتدفقات النقدية.

تم استخدام تحليل التعادل كمؤشر تقريبي مساعد لتقدير العلاقة بين الإيرادات والتكاليف، رغم أن طبيعته تُستخدم بشكل أساسي في المشاريع الإنتاجية، إلا أنه يوفر مؤشرًا أوليًا على كفاءة المشروع من حيث تغطية التكاليف.

5.2.2. فترة الاسترداد (المعيار الزمني): يمكن استعادة رأس المال المستثمر خلال عشر سنوات بالنسبة للتدفقات النقدية الجارية الداخلة وذلك من خلال المعادلة التالية:

$$\frac{\textbf{الاستثمار المبدئي}}{\textbf{مجموع التدفقات النقدية الجارية الصافي خلال عشر سنوات}} = 9288100 / 9102237 = \textbf{1.02}$$

وهذا يعني إمكانية استرداد رأس المال المستثمر خلال عشر سنوات تقريباً اعتباراً من بدء المشروع بالإنتاج.

إن الفترة الزمنية لاسترداد الاستثمار تعتبر مقبولة مقارنة بالعمر الافتراضي للمشروع البالغ 30 سنة.

5.2.3 معيار صافي القيمة الحالية:

يُعد معيار صافي القيمة الحالية من أهم معايير التقييم المالي والاقتصادي للمشروعات الاستثمارية، إذ يعتمد على مبدأ القيمة الزمنية للنقود، ويقيس الفرق بين القيمة الحالية للتدفقات

النقدية الداخلة والقيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة للمشـــروع، وذلك بعد خصـــمها بمعدل خصم يعكس تكلفة رأس المال والفرصة البديلة للاستثمار.

ويتم حساب صافي القيمة الحالية باستخدام العلاقة التالية:

صـــافي القيمة الحالية (NPV)=القيمة الحالية للتدفقات النقدية الداخلة المخصـــومة-القيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة المخصومة

وبالاعتماد على المعطيات المستخلصة من الدراسة الفنية والمالية لمشروع حفرة حويسيس لحصاد المياه، وباستخدام معدل خصم قدره 9%، وهو المعدل المعتمد في دراسات الجدوى الاقتصادية للمشروعات العامة، ومع اعتبار العمر الافتراضي للمشروع البالغ 30 سنة، فقد تبيّن ما يلي:

القيمة الحالية للتدفقات النقدية الداخلة المخصومة = 9,018,783 ل.س

القيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة (الاستثمارية) المخصومة = 8,521,191 ل.س

وعليه فإن:

NPV=9,018,783−8,521,191= 497,592 ل.س

هذه القيمة الموجبة تشير إلى جدوى المشروع، مع مراعاة الافتراضات المتعلقة بتدفقات الإيرادات والتكاليف، وربط النتيجة بمؤشـــرات اقتصـــادية أخرى مثل معدل العائد الداخلي (IRR) وتحليل التكلفة والمنفعة، مع الإشارة إلى أن الربحية المتحققة صغيرة نسبيًا، ما يستلزم متابعة حساسية المشروع للتغيرات المستقبلية في التكاليف والإيرادات.

5.2.4. معيار تحليل التكلفة والمنفعة (معيار دليل الربحية) : يُعد معيار تحليل التكلفة والمنفعة، والذي يُعرف أيضًا بـــ دليل الربحية، من المعايير الاقتصادية المهمة المستخدمة في تقييم المشـــروعات الاســـتثمارية، حيث يوضـــح العلاقة بين القيمة الحالية للمنافع المتحققة من المشـروع والقيمة الحالية للتكاليف الاسـتثمارية اللازمة لتنفيذه. ويعتمد هذا المعيار، شـأنه شـأن

صـــافي القيمة الحالية، على مبدأ القيمة الزمنية للنقود من خلال خصـــم التدفقات النقدية الداخلة والخارجة بمعدل خصم محدد.

ويُحسب دليل الربحية باستخدام العلاقة التالية:

$$\text{معيار تحليل التكلفة والمنفعة} = \frac{\text{القيمة الحالية للتدفقات النقدية الداخلة في المشروع الاستثماري}}{\text{القيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة في المشروع الاستثماري}}$$

1.06=8,521,191\ 9,018,783

وكون النتيجة أكبر من الواحد الصحيح فالمشروع رابح وذو جدوى.

تشير قيمة دليل الربحية (1.06) إلى جدوى المشروع الاقتصادية، مع العلم أنها قريبة من الحد الأدنى للربحية (1)، مما يُظهر حساسية المشروع لأي تغير في التكاليف أو الإيرادات. وبسبب القيود الزمنية والموارد المتاحة للدراسة الحالية، لم يتم إجراء تحليل الحساسية، مع الإشارة إلى أن هذا الأمر يُنصح به للدراسات المستقبلية لتعزيز تقييم المخاطر الاقتصادية للمشروع. تعكس هذه النتيجة كفاءة المشروع في استخدام الموارد المالية المتاحة، وتؤكد أهمية الاستثمار في مشاريع حصاد المياه كأحد الحلول الاقتصادية المستدامة لمعالجة مشكلة ندرة المياه في البادية السورية، إلى جانب آثارها الاجتماعية والبيئية الإيجابية.

5.2.5 معدل العائد الداخلي:

يُعد معدل العائد الداخلي من أهم معايير التقييم المالي والاقتصـادي للمشـروعات الاسـتثمارية، إذ يُعرّف بأنه معدل الخصـــم الذي يجعل صـــافي القيمة الحالية للتدفقات النقدية للمشـــروع مســـاوياً للصـــفر. ويُســـتخدم هذا المعيار على نطاق واســـع من قبل المؤســـســـات التمويلية الدولية، والبنك

الدولي، والهيئات التخطيطية، نظرًا لقدرته على بيان الكفاءة الحقيقية للاستثمار بغضّ النظر عن حجم رأس المال المستثمر.

ويتم تحديد معدل العائد الداخلي للمشروع وعلى عدة مراحل على النحو التالي:

1- تحديد القيمة الحالية الصافية للمشروع باستعمال سعر الخصم السائد وهو 9%، وتبين معنا في الدراسة السابقة أنها موجبة.
2- استعمال سعر خصم أعلى من السابق وليكن 10% وبالتالي فالقيمة الحالية الصافية للمشروع باستخدام سعر الخصم هذا هي سالبة.
3- يتم بعد ذلك احتساب العائد الداخلي للمشروع بالطريقة المختصرة التالية:

$$م = ف_1 + \frac{ع_1 (ف_2 - ف_1)}{ع_1 - ع_2}$$

حيث: م – معدل العائد الداخلي للمشروع

$ع_1$ – القيمة الحالية الصافية للمشروع حسب سعر الخصم الأدنى وهي موجبة

$ع_2$ – القيمة الحالية الصافية للمشروع حسب سعر الخصم الأعلى وهي سالبة

$ف_1$ – سعر الخصم الأدنى عندما تكون القيمة الحالية الصافية للمشروع موجبة

$ف_2$ – سعر الخصم الأعلى عندما تكون القيمة الحالية الصافية للمشروع سالبة.

وللحصول على البيانات المطلوبة تستخدم الجدولين (3،4):

ع1 = القيمة الحالية للتدفقات النقدية الداخلة المخصومة بسعر 9% − القيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة المخصومة بسعر 9%

ع1 = 8521191 – 9018783 ع1 = 497592 ليرة سورية

ع2 = القيمة الحالية للتدفقات النقدية*[1] الداخلة المخصومة بسعر 10% − القيمة الحالية للتدفقات النقدية الخارجة المخصومة بسعر 10%

ع2 = 8442976 – 8269015 ف1 = 9%

ع2 = −173961 ليرة سورية ف2 = 10%

وباستخدام المعادلة نحصل على معدل العائد الداخلي

$$م = ف_1 + \frac{ع_1 (ف_2 - ف_1)}{ع_1 - ع_2}$$

* التدفقات النقدية السنوية ليست ثابتة بالضرورة، بل تعتمد بشكل أساسي على: كمية المياه المحصودة سنويًا، والتي تتأثر بـ الهطول المطري الفصلي والسنوي.

$$\text{م} = 9\% + \frac{(10\% - 9\%)\ \mathbf{497592}}{(-173961) - \mathbf{497592}}$$

$$\text{م} = 9\% + \frac{4975.92}{671553} \qquad \text{م} = 9.74\%$$

تشير نتائج تحليل معدل العائد الداخلي للمشروع (9.74%) إلى أنه أعلى من معدل الخصم المعتمد (9%)، مما يوضح جدوى المشروع الاقتصادية. ومع ذلك، الفارق الضئيل بين المعدلين يشير إلى أن ربحية المشروع قد تتأثر بأي تغير في التدفقات النقدية أو تكاليف التشغيل أو أسعار المياه. وبالنظر إلى أن إجراء تحليل الحساسية يتطلب بيانات إضافية ووقتًا أطول، اقتصرت هذه الدراسة على عرض المؤشرات الاقتصادية الرئيسية مع التنويه إلى هذه النقطة لتوضيح حدود الربحية.

6. الاستنتاجات:

بناءً على نتائج التحليل الاقتصادي لمشروع حفرة حويسيس لحصاد المياه في البادية السورية، باستخدام مجموعة من المؤشرات المالية القياسية، يمكن استخلاص الاستنتاجات الرئيسية التالية:

- **جدوى اقتصادية واضحة:** تشير جميع المؤشرات الاقتصادية إلى أن مشروع حفرة حويسيس مجدٍ اقتصادياً، حيث تتجاوز المنافع التكاليف، ويحقق المشروع عائداً يفوق تكلفة رأس المال، ما يعزز جدواه الاستثمارية.

- **حل اقتصادي مستدام لندرة المياه:** يُعد المشروع خياراً فعالاً من الناحية الاقتصادية لتوفير المياه في البادية السورية، حيث يقلل الاعتماد على المصادر

المكلفة ويخفف العبء المالي عن السكان المحليين وقطاع الرعي، بما يساهم في استقرار المجتمعات البدوية .

- **مرونة المشروع تجاه التغيرات:** يظهر المشروع قدرة على مواجهة بعض درجات عدم اليقين، مثل ارتفاع تكاليف رأس المال أو التغيرات في الإيرادات، مما يعكس مرونة واستدامة اقتصادية .

- **أبعاد اجتماعية وبيئية مهمة:** تتجاوز فوائد المشروع الإيرادات المباشرة من المياه لتشمل منافع غير مباشرة، مثل :

– تقليل تكاليف نقل المياه لمسافات طويلة .

– دعم الإنتاجية الحيوانية من خلال توفير سقاية منتظمة .

– حماية الموارد الجوفية من الاستنزاف .

– تعزيز استقرار المجتمعات الريفية والحد من الهجرة الناتجة عن شح المياه .

– توفير أداة تكيفية لمواجهة تقلبات الأمطار وظاهرة الجفاف.

7. التوصيات:

بناءً على النتائج الواضحة للجدوى الاقتصادية والفوائد متعددة الأبعاد التي أبرزتها دراسة مشروع حفرة حويسيس، يمكن صياغة التوصيات والسياسات المستقبلية على النحو التالي:

1. **توسيع نطاق الاستثمار:**

يُنصح صانعو القرار والجهات التمويلية بتشجيع إنشاء المزيد من مشاريع حصاد المياه المماثلة في مناطق البادية الأخرى، نظراً للجدوى الاقتصادية والاجتماعية التي أظهرتها دراسة حفرة حويسيس. هذا التوسع يساهم في تحسين الأمن المائي ودعم استقرار المجتمعات الريفية.

2. **تبني منظور متكامل:**

يجب على الجهات المخططة للدراسات المستقبلية دمج تقييم الفوائد الاجتماعية والبيئية غير المباشرة ضمن تحليلات الجدوى الاقتصادية، لتقديم صورة أشمل عن العائد على الاستثمار، بما يعكس التأثيرات الإيجابية على الإنتاجية الحيوانية، استدامة الموارد المائية، والمرونة المناخية.

3. **ضمان الصيانة المستدامة:**

ينبغي للمجتمعات المحلية والسلطات المختصة وضع آليات واضحة لضمان صيانة الحفائر والمرافق (مثل إزالة الطمي دوريًا وفحص البنية التحتية)، لضمان استمرار فعالية المشاريع على المدى الطويل. هذا يضمن استمرار الفوائد الاقتصادية والاجتماعية والبيئية.

4. **إجراء دراسات مقارنة:**

توصي الجهات البحثية وصانعي القرار بإجراء تحليلات اقتصادية مشابهة لتقنيات حصاد المياه الأخرى، مثل السدود الصغيرة والحصاد السطحي المنزلي، لتحديد الأنسب لكل موقع وفقًا للظروف البيئية والموارد المحلية. كما يمكن تعزيز هذه الدراسات بإجراء تحليل حساسية للمخاطر، لتقدير مدى استقرار الجدوى الاقتصادية أمام تغيّر التكاليف أو الإيرادات.

ختاماً، يثبت هذا البحث أن مشاريع حصاد المياه، ممثلةً بحفرة حويسيس، ليست مجرد منشآت هندسية، بل هي استثمارات اقتصادية واجتماعية وبيئية ذكية. إنها تشكل حجر أساس في استراتيجية متكاملة لتحقيق الأمن المائي وتعزيز التنمية المستدامة في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل البادية السورية، خاصة في ظل التحديات المناخية والمائية المتزايدة.

المراجع:

الشامي، محمد .(2000) إدارة الموارد المائية في البادية السورية ودور حصاد المياه في تحسين الأمن المائي) .مرجع غير منشور/أرشيف الموارد المائية – وزارة الزراعة والري – سورية.

العلي، جمال .(2007) الجدوى الاقتصادية من إقامة الحفائر التخزينية في البادية السورية .مجلة بحوث جامعة البعث .

العلي، جمال .(2009) تقديرات العجز المائي في الجمهورية العربية السورية وأثره على الأمن المائي والزراعة) .مرجع محلي/تقرير فني – وزارة الموارد المائية.

رمضان، أنور .(2006) تطوير إدارة الموارد المائية في حوض البادية باستخدام تقانات حصاد ونشر المياه .أطروحة دكتوراه، قسم الحراج والبيئة، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حلب .

الزهوري، محمد &رمضان، أنور.(2011) دراسة سلوك الهطل المطري لمحطات مختارة من مناطق بيئية مختلفة في سورية .مجلة بحوث جامعة البعث .

المراجع الأجنبية

Abu Awwad, A. M., & Shatanawi, M. R. (1997). Water Harvesting and Infiltration in Arid Areas Affected by Surface Crust: Examples from Jordan. Journal of Arid Environments, 37(3), 443–452.

Gittinger, J. P. (1982). Economic Analysis of Agricultural Projects (3rd ed.). Economic Development Institute of the World Bank.

Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2018). Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice (5th ed.). Cambridge University Press.

Kumar, A., Singh, R., & Patel, S. (2022). Economic feasibility of rainwater harvesting projects in arid and semi-arid regions. Journal of Water Resources Management, 36(4), 1023–1039.

Munawar, M., Khan, S., & Qureshi, A. (2021). Rainwater harvesting for livestock and agriculture in arid regions: A socio-economic assessment. Environmental Science & Policy, 123, 145–156.

UN ESCWA (2022). Water harvesting and management in Arab countries: Technical guidelines and economic assessment. United Nations Economic and Social Commission for Western Asia.

UN ESCWA (2025). Annual report on water security and economic resilience in the Arab region. United Nations Economic and Social Commission for Western Asia.

Schild, J. E. M., Fleskens, L., Riksen, M., & Shadeed, S. (2023). Economic Feasibility of Rainwater Harvesting Applications in the West Bank, Palestine. Water (Switzerland), 15(6), 1023. DOI: 10.3390/w15061023

جدول رقم/3/:حفرة حويسيس سعر الخصم9%القيمة الحالية للتدفقات النقدية

سنوات حياة المشروع	التدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة (التكاليف الاشتثمارية)	التدفقات النقدية الجاريةالسنوية الخارجة (الإنفاق الجاري)	التدفقات النقدية الجاريةالس نوية الداخلة (الموارد)	التدفقات النقدية الجاريةال صافية صافي (الموارد)	معامل الخصم على معدل خصم 9%	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الجارية الصافية
1	9288100	0	0	0	0.917431	8521190.871	
2	0	0	1011359.7	1011360	0.84168	–	851241
3	0	0	1011359.7	1011360	0.772183	–	780955
4	0	0	1011359.7	1011360	0.708425	–	716473
5	0	0	1011359.7	1011360	0.649931	–	657314
6	0	108934	1011359.7	902426	0.596267	–	538087
7	0	46290	1011359.7	965070	0.547034	–	527926
8	0	46290	1011359.7	965070	0.501866	–	484336
9	0	46290	1011359.7	965070	0.460428	–	444345

سنوات حياة المشروع	التدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة (التكاليف الاشتثمارية)	التدفقات النقدية الجاريةالسنوية الخارجة (الإنفاق) الجاري	التدفقات النقدية الجاريةالس نوية الداخلة (الموارد)	التدفقات النقدية الجاريةال صافية صافي) الموارد	معامل الخصم على معدل خصم 9%	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الجارية الصافية
10	0	46290	1011359.7	965070	0.422411	–	407656
11	0	108934	1011359.7	902426	0.387533	–	349720
12	0	46290	1011359.7	965070	0.355535	–	343116
13	0	46290	1011359.7	965070	0.326179	–	314785
14	0	46290	1011359.7	965070	0.299246	–	288793
15	0	46290	1011359.7	965070	0.274538	–	264948
16	0	108934	1011359.7	902426	0.25187	–	227294
17	0	46290	1011359.7	965070	0.231073	–	223002
18	0	46290	1011359.7	965070	0.211994	–	204589
19	0	46290	1011359.7	965070	0.178431	–	172198
20	0	46290	1011359.7	965070	0.163698	–	157980

القيمة الحالية للتدفقات النقدية الجارية الصافية	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة	معامل الخصم على معدل خصم 9%	التدفقات النقدية الجارية الصافية	التدفقات النقدية الجارية السنوية	التدفقات النقدية الجارية السنوية الخارجة	التدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة (التكاليف الاستثمارية)	سنوات حياة المشروع
			(صافي الموارد)	(الموارد)	(الإنفاق الجاري)		
135528	–	0.150182	902426	1011359.7	108934	0	21
132968	–	0.137781	965070	1011359.7	46290	0	22
132968	–	0.137781	965070	1011359.7	46290	0	23
121990	–	0.126405	965070	1011359.7	46290	0	24
111917	–	0.115968	965070	1011359.7	46290	0	25
96012	–	0.106393	902426	1011359.7	108934	0	26
94199	–	0.097608	965070	1011359.7	46290	0	27
86420	–	0.089548	965070	1011359.7	46290	0	28
79285	–	0.082155	965070	1011359.7	46290	0	29
72738	–	0.075371	965070	1011359.7	46290	0	30

القيمة الحالية للتدفقات النقدية الجارية الصافية	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة	معامل الخصم على معدل خصم 9%	التدفقات النقدية الجاريةال صافية	التدفقات النقدية الجاريةالس نوية الداخلة	التدفقات النقدية الجاريةالسنوية الخارجة	التدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة (التكاليف الاشتثمارية)	سنوات حياة المشروع
			صافي) الموارد (	(الموارد)	الإنفاق) (الجاري		
9018783	8521191	المجموع					

جدول رقم/4/:حفرة حويسيس سعر الخصم10%القيمة الحالية للتدفقات النقدية

القيمة الحالية للتدفقات النقدية الجارية الصافية	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة	معامل الخصم على أساس معدل خصم 10%	التدفقات النقدية الجاريةال صافية	التدفقات النقدية الجاريةالس نوية الداخلة	التدفقات النقدية الجاريةال سنوية الخارجة	التدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة (التكاليف الاشتثمارية)	سنوات حياة المشروع
			صافي) الموارد (	(الموارد)	الإنفاق) (الجاري		
	8442975.781	0.90901	0	0	0	9288100	1
835834	–	0.826446	1011360	1011359.7	0	0	2
759850	–	0.751315	1011360	1011359.7	0	0	3
690772	–	0.683013	1011360	1011359.7	0	0	4
627974	–	0.620921	1011360	1011359.7	0	0	5
509396	–	0.564474	902426	1011359.7	108934	0	6

القيمة الحالية للتدفقات النقدية الجارية الصافية	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة	معامل الخصم على أساس معدل خصم 10%	التدفقات النقدية الجاريةال صافية	التدفقات النقدية الجاريةالس نوية الداخلة	التدفقات النقدية الجاريةال سنوية الخارجة	التدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة (التكاليف الاشتثمارية)	سنوات حياة المشروع
			صافي) (الموارد	(الموارد)	الإنفاق) (الجاري		
495233	–	0.513158	965070	1011359.7	46290	0	7
450212	–	0.466507	965070	1011359.7	46290	0	8
409284	–	0.424098	965070	1011359.7	46290	0	9
372076	–	0.385543	965070	1011359.7	46290	0	10
316295	–	0.350494	902426	1011359.7	108934	0	11
307501	–	0.318631	965070	1011359.7	46290	0	12
279546	–	0.289664	965070	1011359.7	46290	0	13
254133	–	0.263331	965070	1011359.7	46290	0	14
231030	–	0.239392	965070	1011359.7	46290	0	15
196394	–	0.217629	902426	1011359.7	108934	0	16

سنوات حياة المشروع	التدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة (التكاليف الاشتثمارية)	التدفقات النقدية الجاريةال سنوية الخارجة (الإنفاق الجاري)	التدفقات النقدية الجاريةالس نوية الداخلة (الموارد)	التدفقات النقدية الجاريةال صافية صافي (الموارد)	معامل الخصم على أساس معدل خصم 10%	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الجارية الصافية
17	0	46290	1011359.7	965070	0.197845	–	190934
18	0	46290	1011359.7	965070	0.179859	–	173576
19	0	46290	1011359.7	965070	0.163508	–	157797
20	0	46290	1011359.7	965070	0.148644	–	143452
21	0	108934	1011359.7	902426	0.135131	–	121946
22	0	46290	1011359.7	965070	0.122846	–	118555
23	0	46290	1011359.7	965070	0.111678	–	107777
24	0	46290	1011359.7	965070	0.101526	–	97980
25	0	46290	1011359.7	965070	0.092296	–	89072
26	0	108934	1011359.7	902426	0.083905	–	75718
27	0	46290	1011359.7	965070	0.076278	–	73614

القيمة الحالية للتدفقات النقدية الجارية الصافية	القيمة الحالية للتدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة	معامل الخصم على أساس معدل خصم 10%	التدفقات النقدية الجاريةال صافية	التدفقات النقدية الجاريةالس نوية الداخلة	التدفقات النقدية الجاريةال سنوية الخارجة	التدفقات النقدية الاستثمارية الخارجة (التكاليف الاشتثمارية)	سنوات حياة المشروع
			صافي) الموارد (	(الموارد)	الإنفاق) (الجاري		
66921	–	0.069343	965070	1011359.7	46290	0	28
60837	–	0.063039	965070	1011359.7	46290	0	29
55307	–	0.057309	965070	1011359.7	46290	0	30
8269015	8442976	المجموع					

تأثير التلقيح بـ*Azospirillum* على بعض الخواص الكيميائية لتربة مالحة مزروعة بنبات القطن عند استخدام مستويات مختلفة من السماد العضوي والمعدني

أ.د. عبدالله العيسى[1]–محمود المرعي[2]

هدفت الدراســـة إلى تقييم تأثير تلقيح *Azospirillum* على بعض الخواص الكيميائية في تربة مالحة (8.1ds/m) مزروعة بنبات القطن، عند استخدام مستويات مختلفة من التسميد العضوي (0، 10، 20، 40 طن/هـ) سماد أبقار والتسميد المعدني ((50–100–0)، (100–100–0)، (150–100–0)) كغ/هـ من N–P–K على التوالي في حوض الفرات الأدنى، في عروتين ربيعية وخريفية.

أظهرت النتائج أن التلقيح بـــــ *Azospirillum* أدى إلى تحســـين ملحوظ في خواص التربة الكيميائية؛ إذ تحسنت قيم الـــ pH و انخفض ECe وكربونات الكالسيوم و SAR و ESP، بينما ازداد محتوى التربة من المادة العضـــوية، كما ازدادت ســـعة التبادل الكاتيوني، وتزايد تيســـر بعض العناصـــر الكبرى، كما سجلت المعاملات الملقحة ارتفاعًا في تركيز Ca^{2+} و Mg^{2+} وانخفاضًا في Na^{+} و Cl^{-}.

حقق دمج التلقيح بالـــ *Azospirillum* مع التسميد العضوي بمعدل 20 طن/هـــ سماد عضوي (أبقار) أفضـل اسـتجابة على مسـتوى الخصـائص الكيميائية للتربة، كما تبين أن العروة الربيعية (الموسـم الأول) كانت أكثر ملاءمة من العروة الخريفية (الموسم الثاني) من حيث تأثير التلقيح بالـ *Azosprillium* في خفض الإجهاد الملحي، وتحسّـن محتوى التربة من المادة العضـوية والعناصـر الغذائية وسـعة التبادل الكاتيوني.

أكدت النتائج أن التلقيح بـــ *Azospirillum* مع مستوى سماد نيتروجين مُخَفَض بمقدار 50–60% من التوصـية السـمادية أعطى نتيجةً تُسـاوي أو تتفوق على اسـتخدام 100–150 كغ/هـ سـماد نتروجيني من التوصية دون تلقيح.

كلمات مفتاحية: *Azospirillum*– التربة المالحة– السـماد العضـوي– السـماد المعدني – الخواص الكيميائية.

[1] أستاذ في قسم التربة واستصلاح الأراضي – كلية الزراعة – جامعة حمص

[2] طالب دكتوراه في قسم التربة واستصلاح الأراضي- كلية الزراعة- جامعة حمص

The Effect of *Azospirillum* Inoculation on some Chemical Properties of Saline Soil planted with Cotton using different levels of organic and mineral fertilizers.

This study aimed to evaluate the effect of *Azospirillum* inoculation on selected chemical properties of a saline soil (8.1 ds m^{-1}) cultivated with cotton, under different levels of organic fertilization (0, 10, 20, and 40 t ha^{-1} of cattle manure) and mineral fertilization ((50–100–0), (100–100–0), and (150–100–0) kg ha^{-1} N–P–K, respectively). The experiment was conducted in the Lower Euphrates Basin during two growing seasons, spring and autumn.

The results showed that *Azospirillum* inoculation led to a marked improvement in soil chemical characteristics. A notable improvement in pH was observed, accompanied by a marked reduction in electrical conductivity (ECe), calcium carbonate content, sodium adsorption ratio (SAR), and exchangeable sodium percentage (ESP). Conversely soil organic matter content increased. Additionally, cation exchange capacity (CEC) and availability of macro-elements improved. Inoculated treatments recorded higher concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+}, accompanied by a reduction in Na^{+} and Cl^{-} levels.

Integrating *Azospirillum* inoculation with organic fertilization at 20 t ha^{-1} of cattle manure yielded the most favorable response in terms of soil chemical properties. Furthermore, the spring season (first growing cycle) proved more suitable than the autumn season (second cycle) regarding the efficiency of *Azospirillum* in mitigating salinity stress and enhancing soil organic matter, nutrient availability, and cation exchange capacity.

The findings confirm that *Azospirillum* inoculation, combined with a reduced nitrogen fertilizer rate (50–60% of the recommended N dose), achieved performance comparable to or superior to applying 100–150 kg ha^{-1} of nitrogen without inoculation.

Keywords: *Azospirillum* – saline soil – organic fertilizer – mineral fertilizer –chemical properties.

الدراسة مرجعية:

تُعدّ ملوحة التربة من العوامل الأساسية التي تحدد إنتاجية المحاصيل الزراعية، حيث أظهرت الدراسات أن ارتفاع ملوحة التربة يؤدي إلى انخفاض كبير في نمو النبات وإنتاجيته بسبب تأثيرها المباشر على عملية التمثيل الضوئي واستقلاب الكربون والنتروجين، مما يسبّب اختلالات في التغذية النباتية (Santos *et al.*, 2019; Balibrea *et al.*, 2020; Soussi *et al.*, 2021)، وبهذا تُعد مشكلة ملوحة التربة من أبرز التحديات التي تواجه الزراعة (Hassani, 2021) ، مما يستدعي تطوير استراتيجيات فعّالة لتحسين خصوبة التربة ومقاومة المحاصيل المعرضة للإجهاد الملحي (Singh, 2019) .

من الحلول الواعدة للتعامل مع التربة المالحة استخدام بكتيريا الريزوسفير المعزّزة لنمو النباتات Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)، والتي منها الـ *Azospirillum*، التي ثبت أنها تحسّن نمو النباتات تحت ظروف الإجهاد الملحي (Degon, 2023)، تعتمد فعالية الـ *Azospirillum* في إنتاج الهرمونات النباتية، مثل الأوكسينات، والتي تعزز نمو الجذور وتحسّن امتصاص الماء والمغذيات، كما تساهم في تثبيت النيتروجين الجوي مع المحاصيل غير البقولية، مما يقلل من الحاجة لاستخدام الأسمدة النيتروجينية (Bashan and Bashan, 2010; Fukami, 2018)، وزيادة مقاومة النباتات للأمراض من خلال إنتاج مضادات حيوية (Bacilio *et al.*, 2021; Bashan *et al.*, 2022)، تلعب هذه البكتيريا دورًا أساسيًا في تحسين خواص التربة الكيميائية، وزيادة القدرة على الاحتفاظ بالمغذيات، وتحفيز النشاط الميكروبي المفيد في الجذور، كما أظهرت الدراسات أن *Azospirillum* تتكيف مع ظروف الملوحة والحرارة العالية، مما يجعلها خيارًا مثاليًا للزراعة في الأراضي القاحلة أو شبه القاحلة (Barbosa, 2022; Tiwari and Tripathi, 2024) ، إلى جانب ذلك، توفر هذه البكتيريا حماية غير مباشرة للنباتات من الإجهاد البيئي من خلال تحفيز تكوين الأغشية الحيوية Microbial biofilms حول الجذور، ما يساعد على تثبيت النيتروجين بفعّالية أكبر ويقلّل من تأثير الملوحة على امتصاص العناصر الغذائية الأساسية (Mishra, 2020; Cruz *et al.*, 2022).

يسهم التلقيح بالبكتيريا المثبتة للنتروجين الجوي في الأراضي الملحية القلوية في ترشيد استخدام الأسمدة النيتروجينية، ويقلل تكاليف الإنتاج والتلوث البيئي، كما يعزز إنتاج منشطات

نمو في منطقة الريزوسفير، مما يزيد من امتصاص العناصر الغذائية وتحسين إنتاجية المحاصيل (Ali *et al*., 2022; Bashan *et al*., 2022).

ساهم التلقيح بالـ *Azospirillum* في زيادة استهلاك العناصر الغذائية وتحسين كفاءة استخدامها، ما أدى إلى زيادة العائد بنسبة 15–30% في العديد من الدراسات، خاصة عند الزراعة في ظروف تربة مالحة أو فقيرة بالعناصر الغذائية (Kumar *et al*., 2023).

أظهرت الدراسات أنّ الـ *Azospirillum* يقوم تحت ظروف الإجهاد الملحي بإفراز سكريات متعددة خارجية Exopolysaccharides وسكريات متعددة دهنية Lipopolysaccharides، تعمل هذه المركبات على تثبيت أيونات الصوديوم وتقليل تأثيرها الضار على النبات، مما يعزّز قدرة النباتات على مقاومة ملوحة التربة وتحسين نموها تحت ظروف ملحية عالية.(Barbosa, 2022 ;Fukami and Hungria, 2018) استنتج (Kim *et al*., 2010) أن التلقيح بالـ *Azospirillium* زاد من قدرة النباتات على امتصاص العناصر الغذائية الكبرى والصغرى.

حسّن التلقيح بالـ *Azospirillum* عند زراعة نبات الأرز في تربة مالحة امتصاص العناصر الغذائية (Degon, 2023)، وأشار (Egamberdieva, 2019; Hafez*et al*., 2021 ; Mariotti*et al*., 2021; Omer, 2022; Hoque, 2022 ; Zhang, 2023) أن التلقيح بـ *Azospirillum* عند دمجه بالأسمدة العضوية قد زاد النشاط الأنزيمي، وازدادات في الوقت ذاته من إتاحة العناصر الكبرى والصغرى وسعة التبادل الكاتيوني CEC وخفض ECe– ESP ، كما وجد (Ferreira, 2013;Yadav, 2020) أن دمج التلقيح بالـ *Azospirillum* مع السماد العضوي أعطى تحسناً في الإنتاجية مع احتمال تقليل الحاجة إلى النتروجين المعدني.

أكد (Xinjiang, 2025) أن الأسمدة البيو–عضوية تقلل قلوية وملوحة التربة، وتزيد من المادة العضوية والعناصر الكبرى وتحسّن إنتاجية القطن (Heng, 2022) ، أشارت دراسة إقليمية على ترب حوض الفرات إلى انخفاض الملوحة بعد تطبيق السماد البلدي مع الأسمدة الحيوية (Al–Khateeb, 2008).

توصّل كل من (Hassan, 2017; Shah *et al*., 2018; Ahmad*et al*., 2019; Mansour and Ahmed, 2019) إلى أن استخدام *Azospirillum* ساهم بشكل كبير في

تحسين الخصائص الكيميائية للتربة وزيادة إنتاجية المحصول، و أدى استخدام الأسمدة الحيوية، بما في ذلك *Azospirillum*، في ظروف التربة المالحة إلى زيادة محتوى العناصر الغذائية مثل NPK (Abdelhamid and Ibrahim, 2018)، وزاد من محتوى الكالسيوم والمغنزيوم في التربة (Khan, 2019; Ghosh, 2021). أوضح كل من (Aly, 2017; Zahran and Abdel-Samad, 2018; Mahmoud and El-Naggar, 2019; El-Sayed, 2020; Naseem, 2020; Alam and Rauf, 2021) أن الجمع بين الأسمدة العضوية والحيوية، وخاصة *Azospirillum* أدى إلى تحسن كبير في خصائص التربة الكيميائية، وتقليل تأثير الملوحة وزيادة مستوى العناصر الغذائية في التربة.

أهمية ومبررات البحث:

تعاني ترب حوض الفرات من مشكلة الملوحة ومن انخفاض محتواها من العناصر المغذية، الأمر الذي يستدعي البحث عن إيجاد طرائق علمية مختلفة لإدارة هذه الأراضي، ومن هنا فإن دراسة تأثير التلقيح بالـ*Azospirillum* في ظروف الإجهاد الملحي، ربما يسهم في التخفيف من التأثيرات السلبية لملوحة التربة على النبات، ويعمل على تحسين خواصها الكيميائية إلى جانب الاستفادة من الآزوت البيولوجي المثبت من *Azospirillum* spp في تزويد النبات في بعض احتياجاته من النتروجين وإتاحة العناصر الغذائية الأخرى، مما يخفض تكاليف الإنتاج، ويقلّل التلوّث البيئي، ويحسّن إنتاجية النبات.

علاوة على ذلك فإنّ هناك ندرة في الأبحاث المحلية التي درست تأثير التلقيح بـ *Azospirillum* spp في الترب المالحة السورية على الخواص الكيميائية للتربة.

هدف البحث إلى: دراسة تأثير التلقيح بـ *Azospirillum* spp على بعض الخواص الكيميائية للتربة المالحة عند زراعة نبات القطن في ظروف حوض الفرات الأدنى.

مواد وطرائق البحث:

تمّ عزل الـ *Azospirillum* من ترب متدرجة الملوحة من حوض الفرات الأدنى، ومن ثمَّ لُقّحت بذور نباتات القطن بتلك البكتيريا (العيسى، 2005) في تربة ذات درجة ملوحة 8.1 dS/m، تمّ إجراء البحث في محافظة دير الزور خلال موسمي العروة الربيعية والعروة الخريفية،

في تربة مزروعة بالقطن صنف دير 22، حيث تم حراثة الأرض وتنعيمها وتسويتها وتقسيمها إلى قسمين: قسم ترك لدراسته في العام التالي، وقسم ثاني تمّ تقسيمه إلى قطاعات عشوائية متكاملة بمساحة (8 م^2) وبمقدار 25 نبات في كل قطعة تجريبية وبواقع 3 مكرّرات، وزراعته على خطوط المسافة بين الخطوط 60 سم والمسافة بين النبات والأخر70 سم بذلك تكون المساحة الكليّة للتجربة مع الفواصل =500 م^2، وتم إضافة السماد المعدني على الشكل المبيّن في الجدول(1)، وأضيف السماد العضوي (روث الأبقار بمعدّلات (0– 10– 20– 40) طن/هـ، وضعت الأسمدة الكيميائية بشكل متساو(عدا الأسمدة النتروجينية) لكل معاملات التجربة، وذلك حسب توصيات وزارة الزراعة السورية (Deeb, 1993). إذ خُفّضت كمية الأسمدة النتروجينية إلى 60% في المعاملات الملقّحة بالأجناس البكتيرية المثبّته للنتروجين الجوي، باعتبار أن الأخيرة يجب أن تقوم بعملية تثبيت النتروجين الجوي، علماً بأنّ الأسمدة النتروجينية المستخدمة هي اليوريا، والفوسفاتية هي السوبر فوسفات.

جدول–1 مستويات الأسمدة المعدنية المضافة

السماد المعدني(كغ/هـ)	أزوت N	فوسفور P_2O_5	بوتاسيوم
مستوى أول	50	100	–
مستوى ثان	100	100	–
مستوى ثالث (الموصى به)	150	100	–

التحاليل الأساسية للتربة: (في عودة وشمشم، 2007) تم تقدير درجة تفاعل التربة بجهاز الـ(pH) ميتر، ومحتوى التربة من المادة العضوية بطريقة الأكسدة الرطبة بديكرومات البوتاسيوم، ودرجة الناقلية الكهربائية بجهاز قياس(ECe) في مستخلص العجينة المشبعة وحساب TDS(mg/l)=EC(ds/m)×640، ومحتوى التربة من الكربونات الكلية بجهاز الكالسيميتر، وتقدير سعة التبادل الكاتيوني (الـ CEC)، ومحتوى التربة من الآزوت الكلي بطريقة كلداهل، و الفوسفور المتاح بطريقة (Olsen) باستخدام جهاز (Spectrophotometer) (Olsen *et al.*, 1954)، وكمية البوتاسيوم المتاح باستخدام جهاز اللهب (Flam–photometer)، وكمية الكالسيوم والمغنزيوم الذوابين بطريقة المعايرة بـ EDTA ، وتركيز الصوديوم الذواب بطريقة اللهب، والكلور الذواب بطريقة المعايرة بنترات الفضة ($AgNO_3$)

و SAR– ESP تم حساب قيم SAR بناءً على تراكيز الكاتيونات الذائبة المقاسة في مستخلص العجينة المشبعة، بينما تم تقدير قيم ESP حسابياً بالاعتماد على قيم SAR المقاسة، وذلك باستخدام المعادلة الرياضية المعتمدة عالمياً من قبل مختبر الملوحة الأمريكي، والتي تربط بدقة بين المؤشرين في الترب المتأثرة بالأملاح.(Essington, 2015)

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}}} \qquad ESP = \frac{100\,(-0.0126+0.01475\times SAR)}{1+(-0.0126\times+0.0147\times SAR)}$$

أمّا التحاليل الكيميائية للسماد العضوي فتمّ تقدير المادة العضوية بطريقة الحرق بالترميد، وتقدير النتروجين الكلي بطريقة كلداهل، والفوسفور باستخدام جهاز الطيف الضوئي، والبوتاسيوم باستخدام جهاز اللهب، وتقدير الـ EC بجهاز الموصلية الكهربائية بمستخلص (1:10)

جدول(2) بعض الخصائص الكيميائية للسماد العضوي (الأبقار) المستخدم

1.8	EC dS/m	49.5	TOM
1.2	K(%)	1.47	N%
19.5/1	C/N	0.8	P(%)

جدول (3) الخصائص الأساسية للتربة المدروسة في الموسمين

مواسم الزراعة / الخصائص الكيميائية	الموسم الأول	الموسم الثاني
PH(1:2.5)	8.30	8.35
Ece dS/m عجينة مشبعة	8.12	8.16
OM %	0.58	0.62
$CaCO_3$ %	25.60	26.80
SAR	18.12	18.40
CEC meq/100 g soil	11.46	11.87
Ca^{++} meq/l الذواب	20.80	21.60
Mg^{++} meq/l الذواب	12.70	13.20
Na^{+} meq/l الذواب	57.71	58.5
Cl^{-} meq/l الذواب	33.60	35.30
N g/kg الكلي	0. 50	0. 55
p ppm المتاح	10.20	11.00
K mg/kg المتاح	185.00	192.00

Cu^{+} mg/kg المتاح	0.16	0.12
Zn^{+} mg/kg المتاح	0.56	0.44
Fe^{+} mg/kg المتاح	0.85	0.76
Mn^{+} mg/kg المتاح	0.32	0.30

يبين الجدول (3) أن pH التربة تراوح بين 8.30–8.35 تدل هذه القيم على أن التربة متوسطة القلوية، أما الناقلية الكهربائية فكانت (ECe = 8.12 – 8.16 dS/m) مما يشير إلى أن التربة مصنفة ضمن نطاق التربة المالحة. بينما تراوحت (SAR = 18.12 – 18.40) وبهذه الدرجة تسبب خطر متوسط، قد تسبب مشاكل في الترب الطينية، وتصنف مالحة صودية ≤ 15 (راين وأخرون، 2003; Essington, 2015) ، وكانت سعة التبادل الكاتيوني (CEC = 11.46 – 11.87 meq/100 g) وهي بذلك قيمة منخفضة نسبياً إلى متوسطة، في حين وجد أن نسبة كربونات الكالسيوم($CaCO_3$ = 25.6 – 25.8 %) وهذا يدل على وجود نسبة كبيرة نسبيًا من الجير في التربة، وكان تركيز Na^{+} (57.71 → 58.5 meq/L) مرتفعاً ، و تواجد كل Ca^{2+} وMg^{2+} بتراكيز كافية لدعم توازن الكاتيونات في التربة، ووجد تركيز كبير من أيونات الكلور Cl^{-} (33.6 → 35.3 meq/L) ، واحتوت التربة المدروسة على كمية منخفضة من النيتروجين الكلي % 0.055 → 0.050 وكمية متوسطة من الفوسفور المتاح (10.20 → 11 ppm)، ومستوى جيد من البوتاسيوم المتاح (185 → 192 ppm)، أما العناصر الصغرى المتاحة Cu ، Zn، Fe، Mn فكان محتواها في التربة منخفضاً.

التحليل الإحصائي:

صمّمت التجربة بطريقة القطاعات العشوائية الكاملة، وأعطيت معاملات التجربة الرموز التالية: المعاملات الملقحة: I ، المعاملات غير الملقحة: n، سماد عضوي: o، سماد معدني: m وبذلك يكون عدد معاملات البحث = 14 معاملة، عدد مكررات= 3 ، فيكون عدد القطع التجريبية في كل تجربة 42 على النحو التالي:

جدول (4) معاملات التجربة

رقم المعاملة	رمز المعاملة	الأسمدة المضافة
1	I	شاهد ملقّح بدون إضافة سماد عضوي ومعدني
2	io_1	ملقحة+ (10 طن/هـ سماد عضوي بقري)
3	io_2	ملقحة+ (20 طن/هـ سماد عضوي بقري)

4	io_3	ملقحة+ (40 طن/هـ سماد عضوي بقري)
5	im_1	ملقحة+ (150 –100 –0) كغ/هـ على التوالي (K – P– N)
6	im_2	ملقحة+ (100 –100 –0) كغ/هـ
7	im_3	ملقحة+ (50 –100 –0) كغ/هـ
8	n	شاهد غير ملقح بدون إضافة سماد معدني وعضوي
9	no_1	غير ملقحة+ (10 طن/هـ سماد عضوي بقري)
10	no_2	غير ملقحة+ (20 طن/هـ سماد عضوي بقري)
11	no_3	غير ملقحة+ (40 طن/هـ سماد عضوي بقري)
12	nm_1	غير ملقحة+ (150 –100 –0) كغ/هـ (K – P– N)
13	nm_2	غير ملقحة+ (100 –100 –0) كغ/هـ
14	nm_3	غير ملقحة+ (50 –100 –0) كغ/هـ

النتائج والمناقشة

أولاً: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على pH التربة والمادة العضوية في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

عند دراسة تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum* في تركيز درجة تفاعل التربة (الـ pH) كما هو واضح في (الجدول–5) لوحظ انخفاض في قيمه في جميع المعاملات الملقحة سواء أكانت مسمدة عضوياً أو معدنياً تحت مستويات التسميد المختلفة مقارنة مع معاملة الشاهد غير الملقح، وبلغ الانخفاض أشده في المعاملة الملقحة ذات المستوى 20 طن/هـ سماد عضوي ووصل قيم الـ pH إلى 7.88، وذات المستوى 10 طن/هـ حيث بلغت 7.97 حيث كان انخفاضهما معنوياً مقارنة مع المعاملات الأخرى، هذه النتيجة تتفق مع ما توصل إليه (Ghosh*et al.*, 2011) الذي أشار أن للقاحات الميكروبية دور في خفض درجة تفاعل الـ pH وذلك عن طريق إنتاجها للأحماض العضوية كنواتج لتحلل المركبات العضوية المختلفة، كما تعمل على خلب الأيونات الثنائية الموجبة المسؤولة عن تثبيت الفوسفور في التربة الكلسية والقاعدية وإنتاج أحماض عضوية معقّدة. من جهة أخرى انخفضت قيمها في المعاملات الملقّحة والتي خفّض فيها المستوى النتروحيني إلى 60% من التوصية السمادية المقررة حيث وصلت إلى 7.99، على الرغم من أن

التسميد المعدني قد يرفع درجة تفاعل التربة (Zhong,*etal.*,2010) ، وأيضاً ربما ذلك عائد إلى قدرة الـ *Azospirillum* على تحفيز وتنشيط ريزوسفير القطن وبالتالي زيادة المفرزات الجذرية لإنتاج الحموض العضوية التي من شأنها خفض درجة تفاعل التربة وجعل البيئة مناسبة لامتصاص العناصر الغذائية (Naqqash*et al.*, 2022). من جهة أخرى لم يلحظ أيه اختلافات معنوية في درجة تفاعل التربة في المعاملات غير الملقحة والتي أضيفت إليها مستويات مختلفة من التسميد المعدني، في حين انخفضت قيمها في المعاملات غير الملقحة المضاف إليها أسمدة عضوية وبلغ الانخفاض أشده في المعاملة 40 طن/هـ حيث بلغت درجة تفاعل التربة 8.10 إلا أنها بقيت أعلى من قيمها عند ذات المستوى في المعاملة الملقحة، ويعود ذلك إلى ارتفاع نسبة المادة العضوية في ترب تلك المعاملات التي تنتج أحماضاً عضوية بفعل النشاط الميكروبي وهذا بدوره يخفض درجة تفاعل التربة. حيث أشار كل من(Emad, 2009) إلى أن التغيير في قيم درجة تفاعل التربة عقب إضافة المخلفات العضوية يعتمد بشكل أساسي على الخصائص النوعية للمادة المضافة، ولاسيما درجة تفاعلها الأولية ومسار تحللها الحيوي، فضلاً عن السعة التنظيمية للتربة الأصلية، و تُظهر النتائج حساسية الترب الملحية– الكلسية لإضافة المادة العضوية، وهو ما يُعزى إلى انخفاض سعتها التنظيمية في ظل الظروف الملحية. وقد أظهر السماد العضوي المستخدم كفاءة أعلى على خفض قيم درجة تفاعل التربة مقارنة مع التسميد المعدني، ويعود ذلك إلى تحرر الأحماض العضوية و تصاعد ثاني أكسيد الكربون أثناء عمليات التمعدن، مما يساهم في معادلة جزء من قلوية التربة.

أما في المعاملات غير الملقّحة، فقد لوحظ أن انخفاض درجة تفاعل التربة كان أقل وضوحاً، حتى عند إضافة الأسمدة العضوية، حيث بقيت درجة تفاعل التربة أعلى مقارنة بالمعاملات الملقحة، وذلك بسبب عدم التلقيح بالـ *Azospirillum* مما قلّل من إنتاج الأحماض العضوية في الريزوسفير (Emad, 2009) ، كما أشارت النتائج إلى أن السماد العضوي كان أكثر فاعلية من السماد المعدني في خفض درجة تفاعل التربة، وذلك لاحتوائه على مواد عضوية يمكن تحللها ميكروبياً لإنتاج الأحماض العضوية (العيسى،2007). لدى مقارنة نتائج الموسمين كان الفرق في درجة تفاعل التربة غير معنوي وتقع الترب ضمن الترب (متوسطة القلوية) الشائعة في حوض الفرات بسبب الطبيعة الكلسية والتي غالباً لا يتغير pH كثيراً بين المواسم لأنه مرتبط أساساً بالكربونات الكلية والبيئة شبه الجافة، من ناحية أخرى كانت قيم الـ pH مناسبة لنمو الـ *Azospirillum* كما

أشار إليها (Fares and Mohammad, 2009) بأن لـ *Azospirillum* القدرة على استيطان البيئات المالحة ذات درجة التفاعل العالية.

جدول (5) تأثير التلقيح بـ *Azospirillum* على درجة الـpH والمادة العضوية في التربة

المعاملة	pH			المادة العضوية للتربة %		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	8.20	8.27	8.24^{ab}	0.77	0.73	0.75^{h}
io_1	7.95	7.98	7.97^{bc}	1.25	1.20	1.225^{b}
io_2	7.85	7.90	7.88^{c}	1.42	1.39	1.405^{a}
io_3	8.04	8.05	8.05^{abc}	1.10	0.98	1.04^{d}
im_1	8.17	8.19	8.18^{abc}	0.85	0.79	0.82^{fg}
im_2	8.05	8.09	8.07^{abc}	0.90	0.85	0.875^{f}
im_3	7.97	8.00	7.99^{bc}	0.98	0.95	0.965^{e}
n	8.30	8.35	8.33^{a}	0.62	0.60	0.61^{i}
no_1	8.20	8.23	8.22^{ab}	0.90	0.86	0.88^{f}
no_2	8.09	8.18	8.14^{abc}	1.01	0.98	0.995^{de}
no_3	8.02	8.18	8.1^{abc}	1.15	1.12	1.135^{c}
nm_1	8.20	8.32	8.26^{ab}	0.78	0.74	0.76^{gh}
nm_2	8.19	8.25	8.22^{ab}	0.80	0.76	0.78^{gh}
nm_3	8.22	8.25	8.24^{ab}	0.75	0.71	0.73^{h}
L.S.D 5%	0.33	0.33	0.33	0.04	0.08	0.06

تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على L.S.D5%

يمكن تفسير الزيادة المعنوية في كمية المادة العضوية في ترب المعاملات الملقحة بالـ *Azospirillum* بأنها ناتجة عن التأثير المتعدد الجوانب لهذه البكتيريا على النشاط الفيزيولوجي

والعمليات البيوكيميائية في التربة. إذ تعمل *Azospirillum* على تحفيز تحلل المواد العضوية المعقدة إلى مركبات أبسط قابلة للامتصاص من قبل النباتات، كما أنها تفرز أنزيمات مختصة مثل الليباز واليورياز والفوسفوتاز التي تعزز من تفكك الكربوهيدرات والبروتينات والفوسفور العضوي، مما يسهم في زيادة تراكم المادة العضوية المستقرة في التربة، إضافة إلى ذلك، فإن التلقيح الميكروبي يزيد من كثافة المجتمعات الميكروبية المفيدة، التي تعزّز دورة العناصر الغذائية وتحسّن قدرة التربة على الاحتفاظ بالمادة العضوية والماء، وهو ما يرفع من خصوبة التربة بشكل عام(Kim *et al.*, 2010) ، حيث تشير النتائج المبوّبة في (الجدول-5) إلى أن أعلى محتوى المادة العضوية سجّلت في المعاملات الملقحة عند مستوى 20 طن/هـ للسماد العضوي، حيث بلغت 1.41%، بينما سجّلت المعاملة غير الملقحة عند نفس المستوى نسبة أقل بلغت 0.96%. ويعكس هذا التفاوت دور التلقيح في زيادة فعّالية تحلل السماد العضوي وتحويله إلى مركبات مستقرة تساهم في رفع محتوى المادة العضوية، وهو ما يتوافق مع ما ذكره كل من (Schioing, 2004 ; Magdoof and Weil, 2004)، الذين أشاروا إلى تفوق الأسمدة العضوية على المعدنية في رفع محتوى التربة من المادة العضوية، وخصوصاً عند مستويات إضافة مرتفعة. من ناحية أخرى إن إضافة الأسمدة المعدنية يمكن أن يشجع على زيادة تمعدن المادة العضوية في التربة من خلال زيادة النشاط الحيوي، مما يؤدي إلى انخفاض محتواها من المادة العضوية وهذا ما قد يفسر تدني نسبة المادة العضوية في ترب المعاملات غير الملقحة والتي خضعت لتأثير مستويات مختلفة من التسميد المعدني عن بقية المعاملات كما أشار إلى ذلك (Bünemann*et al.,* 2021). لدى مقارنة نتائج الموسمين لوحظ زيادة طفيفة بالموسم الأول، قد تكون ناتجة عن الظروف البيئية المناسبة لتحلّل السماد العضوي في الزراعة الربيعية، و ملاءمة الظروف المناخية من حرارة و رطوبة، والتي شكلت بيئة مثالية لتحفيز النشاط الإنزيمي والميكروبي للـ *Azospirillum* هذا النشاط أدى إلى تحسّن تحلل المادة العضوية، أما في العروة الخريفية، فإن انخفاض درجات الحرارة يؤدي عادةً إلى تباطؤ العمليات الحيوية وقد يؤدي إلى انخفاض محتواها.

ثانيا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على الناقلية الكهربائية في مستخلص العجينة المشـــبعة وكمية الأملاح الكلية الذائبة في التربة المزروعة بمحصـــول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

بيّنت النتائج الموضَّحة في الجدول(6) انخفاض قيم الناقلية الكهربائية لمستخلص العجينة المشبعة في ترب كافة المعاملات الملقّحة بـ *Azospirillum* مقارنة مع معاملة الشاهد غير الملقح وذلك بغض النظر عن نوع السماد ومستواه؛ وبلغت أدنى قيمة للناقلية الكهربائية في المعاملة الملقحة ذات مستوى 20 طن/هـ سماد عضوي حيث وصلت إلى 7.33 ds/m في مستخلص العجينة المشبعة، يليها المعاملة ذات مستوى 10 طن/هـ حيث بلغت 7.53 ds/m، ثم المعاملة المسمدة معدنياً ذات (50-100-0) كغ/هـ N-P-K والتي وصلت إلى 7.74 ds/m، ويعود انخفاض قيم الناقلية الكهربائية إلى قدرة *Azospirillum* على خفض نسبة الأملاح الكلية الذائبة من خلال إفراز الـ *Azospirillum* سكريات متعددة خارجية Exopolysaccharide وسكريات متعددة دهنية Lipopolysaccharide حيث تعمل هذه المركبات على ربط أيون الصوديوم وبالتالي تزيد تحمّل النباتات لملوحة التربة من خلال تحسين نفاذية التربة وتجميع حبيباتها (Fisher*et al.*, 2003; Saberi,*et al.*, 2021; Alhoqail, 2026). أيضاً يمكن ملاحظة تفوق المعاملة io2 على المعاملة io3 بانخفاض كمية الأملاح الكلية الذائبة، تتفق مع النتيجة التي أشار إليه (Gonçalo,*atal.*, 2019) إن الجرعات العالية من الأسمدة العضوية عند اقترانها بنشاط ميكروبي نتيجة التلقيح، قد تؤدي إلى تحرر سريع للأملاح الكامنة في السماد نفسه، مما يرفع الملوحة مؤقتاً ويخلق ضغطاً إسموزياً يقلل من كفاءة الغسل. وبذلك، فإن فاعلية المستويات العالية من المادة العضوية ترتبط إرتباطاً وثيقاً بمعدل التحلل الحيوي، حيث تبرز أهمية المستوى المتوسط 20 طن/هـ عند استخدام اللقاحات الحيوية لضمان التوازن بين تحسين بناء التربة، وتجنب زيادة الملوحة الناتجة عن السماد.

تجدر الإشارة أن قيم الناقلية الكهربائية تدنت في ترب المعاملات غير الملقحة مقارنة مع معاملة الشاهد غير الملقح (8.14) ds/m وتفوقت المعاملة ذات المستوى 40 طن/هـ و20 طن/هـ سماد عضوي على بقية المعاملات (7.7- 7.64) ds/m على التوالي، و يُعزى ذلك إلى غياب التلقيح جعل عملية تحلل المادة العضوية تسير ببطء، مما سمح للأحماض العضوية

والمركبات الدبالية الناتجة تحسن من نفاذية التربة وتسهل حركة المياه وغسل الأملاح تدريجياً دون حدوث إجهاداً نتيجة سرعة التحلل(Hoque.2022) ، في حين لم يسجل التحليل الإحصائي أية فروق معنوية واضحة بين ترب المعاملات المسمدة معدنياً بكافة مستوياتها فيما يتعلق بقيم الناقلية الكهربائية، في الوقت ذاته فاق أثر السماد العضوي تأثير السماد المعدني في خفض نسبة الملوحة. لدى مقارنة الموسمين، لوحظ أن قيم الناقلية الكهربائية كانت أعلى قليلاً في العروة الخريفية، ربما بسبب زيادة التراكم الملحي الناتج عن التبخر العالي الناتج عن ارتفاع درجات الحرارة في تلك العروة.

جدول (6) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على قيم الناقلية الكهربائية وكمية الأملاح الكلية الذائبة في مستخلص العجينة المشبعة في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني)

المعاملة	الناقلية الكهربائية Ece ds/m			TDS (mg/L)		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
l	8.02	8.26	8.14^{abc}	5133	5286	5210^{bc}
io_1	7.46	7.59	7.53^{f}	4774	4858	4819^{i}
io_2	7.23	7.43	7.33^{g}	4627	4755	4691^{j}
io_3	7.75	7.98	7.87^{bcde}	4960	5107	5037^{ef}
im_1	7.92	8.16	8.04^{abcd}	5069	5222	5146^{cd}
im_2	7.82	8.01	7.92^{bcde}	5005	5126	5069^{e}
im_3	7.62	7.85	7.74^{cdef}	4877	5024	4954^{fg}
n	8.12	8.16	8.14^{abc}	5197	5222	5210^{bc}
no_1	7.82	8.06	7.94^{bcde}	5005	5158	5082^{de}
no_2	7.62	7.78	7.7^{def}	4877	4979	4928^{gh}

4890^{h}	4896	4877	7.64^{ef}	7.65	7.62	no_3
5338^{a}	5414	5261	8.34^{a}	8.46	8.22	nm_1
5286^{ab}	5350	5216	8.26^{ab}	8.36	8.15	nm_2
5216^{bc}	5235	5197	8.15^{abc}	8.18	8.12	nm_3
105.4	109.4	101.39	0.53	0.59	0.48	L.S.D 5%

تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على L.S.D5%

ثالثا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على نسبة الكربونات الكلية وسعة التبادل الكاتيوني في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

تأثرت محتوى التربة من الكربونات الكلية في التربة بشكل طفيف وبصورة غير معنوية بغض النظر عن إضافة اللقاح البكتيري أو عدم إضافته، لوحظ انخفاض طفيف لنسبة الكربونات الكلية في ترب تلك المواقع (جدول–7)، وانسحب ذلك على بقية المعاملات خاصة الخاضعة لتأثير السماد العضوي، ولم تسجل ترب المعاملات غير الملقحة الخاضعة لتأثير السماد المعدني أية فروقات مع الشاهد فيما يتعلق بمحتواها من الكربونات الكلية، وهذا عائد لتأثير الـ *Azospirillum* على إنتاج أحماض عضوية ومركبات وسيطة من شأنها التأثير على درجة تفاعل التربة وخفض نسبة الكربونات الكلية. ولدى مقارنة تراكيز الكربونات الكلية بين المعاملات الملقحة وغير الملقحة من ناحية، ونوع السماد المستخدم من ناحية أخرى، انخفضت تراكيز الكربونات الكلية في المعاملات الملقحة وكذلك في معاملات السماد العضوي مقارنة مع تراكيزها في المعاملات غير الملقحة مع السماد المعدني.

يمكن تفسير التغيرات في نسبة الكربونات الكلية في التربة بشكل عكسي مع درجة تفاعل التربة وكمية المادة العضوية، بأن الـ *Azospirillum* تلعب دورًا فعالًا في تعديل الوسط الكيميائي للتربة من خلال إنتاج أحماض عضوية ومركبات وسيطة تؤثر على درجة تفاعل التربة وتخفض تراكم الكربونات الكليّة، وعند انخفاض قيم تفاعل التربة وازدياد المادة العضوية، كما هو الحال في المعاملة ذات المستوى 20 طن/هـ سماد عضوي، لوحظ انخفاض غير معنوي في نسبة الكربونات الكلية. وعند المقارنة بين المعاملات الملقحة وغير الملقحة ونوع السماد المستخدم، لوحظ انخفاض تراكيز الكربونات الكلية في المعاملات الملقّحة وبالأخص عند استخدام السماد العضوي، ما يدل على الدور التكاملي للـ *Azospirillum* والسماد العضوي في تعديل الخصائص الكيميائية للتربة

وتحسين كفاءتها البيوكيميائية والفيزيولوجية لدعم نمو النبات في ظروف ملحية. لدى مقارنة الموسمين لوحظ زيادة غير معنوية في نسبة الكربونات الكلية بالموسم الثاني. أثر التلقيح بالـ *Azospirillum* على قيم سعة التبادل الكاتيوني إيجابياً؛ فزادت قيمها في كافة المعاملات مقارنة مع الشاهد غير الملقح بغض النظر عن تأثير السماد ومستواه المضاف (جدول-7)، وتفوقت قيمته في المعاملة الملقحة بمعدل 20 طن/هـ سماد عضوي حيث وصلت إلى 16.9 meq/100 g soil، في حين تقاربت قيمها في ترب المعاملات الملقحة الخاضعة لتأثير السماد المعدني فسجلت نسباً (13.28-13.98-14.78) meq/100 g soil على التوالي وفقاً للمستويات المضافة، وهذا يتفق مع ما ذكره (Abdo, 2007; Richardson, 2009) من أن التسميد الحيوي يرفع من معدل التحرّر البطيء للمغذيات ويجعلها في صورة صالحة للامتصاص من قبل النبات. بالمقابل ارتفعت قيم CEC في ترب المعاملات غير الملقحة والتي أضيفت إليها مستويات مختلفة من السماد العضوي مقارنة مع الشاهد غير الملقح وبلغت أعلى قيمة لها في المعاملة 40 طن/هـ حيث بلغت 13.98 meq/100 g soil، إلا أنها بقيت أقل من المعاملة الملقحة عند ذات المستوى 40 طن/هـ، في حين لم تبدِ قيمها أيه اختلافات واضحة في ترب المعاملات غير الملقحة الخاضعة لتأثير مستويات مختلفة من التسميد المعدني، حيث أثرت على ما يبدو ملوحة التربة سلباً في تلك المواقع على سعة التبادل الكاتيوني (Saidi, 2012).

جدول(7) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في نسبة الكربونات الكلية وسعة التبادل الكاتيوني في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني

المعاملة	الكربونات الكلية %			CEC(meq/100 g soil)		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	23.62	24.75	24.19^{bcde}	13.3	12.85	13.08^{fg}
io_1	22.63	22.43	22.53^{fgh}	15.95	15.42	15.69^{b}
io_2	21.65	21.9	21.78^{h}	17.27	16.71	16.99^{a}
io_3	22.14	21.82	21.98^{gh}	14.52	14.04	14.28^{cd}
im_1	23.13	22.24	22.69^{efg}	13.5	13.05	13.28^{ef}
im_2	21.93	22.2	22.07^{gh}	14.21	13.74	13.98^{cde}

14.78^{bc}	14.53	15.03	21.76^{h}	21.7	21.83	im_3
11.67^{i}	11.46	11.87	25.70^{ab}	25.79	25.6	n
12.17^{hi}	11.96	12.38	24.70^{abcd}	25.28	24.11	no_1
13.38^{def}	13.15	13.6	23.99^{cde}	24.57	23.41	no_2
13.98^{cde}	13.74	14.21	23.19^{def}	23.75	22.62	no_3
12.58^{gh}	12.36	12.79	25.6^{abc}	26.2	25	nm_1
12.27^{hi}	12.06	12.48	25.86^{ab}	26.51	25.2	nm_2
11.87^{i}	11.66	12.07	26.15^{a}	26.7	25.6	nm_3
1.05	0.94	1.15	2.58	2.84	2.31	L.S.D 5%

تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على L.S.D5%

ظهر تأثير السماد العضوي إيجابياً في قيم الـ CEC مقارنة مع السماد المعدني، وهذا يتفق مع ما أشار إليه (Balah,etal.,2024) بأن وجود المادة العضوية تزيد من سعة التبادل الكاتيوني للتربة، من ناحية أخرى تتحلّل الأسمدة العضوية على نحو بطيء وتزود النبات بالمواد الغذائية على نحو متوازن طيلة فترة النمو الأمر الذي يرفع من قيم CEC. يمكن تفسير الزيادة الملحوظة في سعة التبادل الكاتيوني (CEC) في المعاملات الملقحة بالـ *Azospirillum* على أنها نتيجة مباشرة للنشاط الميكروبي المكثّف الذي يحدث في منطقة الجذور (rhizosphere) إذ تعمل هذه البكتيريا على تعزيز تفكّك المواد العضوية وتحويل المركبات المعقدة إلى أشكال قابلة للامتصاص من العناصر الغذائية، بما في ذلك الكاتيونات الأساسية مثل الكالسيوم والمغنزيوم والبوتاسيوم، هذا النشاط لا يزيد فقط من محتوى التربة من المواد العضوية المتحللة بل يحسّن أيضًا توازن الشحنات الكهربائية على سطح جزيئات التربة، مما يعزز قدرة التربة على امتصاص الكاتيونات وتخزينها(Khanna,*etal.*,2019) . علاوة على ذلك، يمكن ربط الزيادة في CEC مع انخفاض نسب الصوديوم المدمص (جدول–11) وانخفاض الكربونات الكلية (جدول–7)، حيث تساهم التفاعلات الكيميائية والبيوكيميائية التي تنشطها البكتريا في تحرير الكاتيونات المفيدة وتقليل تأثير الأيونات الضارة على النباتات، مما يعكس قدرة *Azospirillum* على تحسين الخصائص الكيميائية للتربة في الظروف الملحية(Abdo, 2007; Richardson, 2009) ، كما أن تفوّق تأثير السماد العضوي على السماد المعدني في زيادة CEC يعكس دور *Azospirillum* في

زيادة CEC قدرتها العالية على تنشيط تحلّل المادة العضوية المضافة، وتحويلها إلى مادة عضوية نشطة حيوياً، حيث تعمل الإفرازات البكترية و الأحماض العضوية الناتجة عن النشاط الميكروبي على تنشيط المجموعات الوظيفية المرتبطة بالمادة العضوية، مما يخلق مواقع تبادل جديدة تحسّن من قدرة التربة على الاحتفاظ بالكاتيونات وتنظيم تحريرها ببطء في التربة، والتي تعتبر وسيطًا فعالًا في تبادل الكاتيونات وتنظيم تحريرها ببطء بما يتوافق مع احتياجات النبات، وهو ما يتفق مع (Lal, 2020) التي أكدت أن المادة العضوية لا تعمل فقط كمصدر للعناصر الغذائية، بل كمنظم كيميائي يزيد من كفاءة احتفاظ التربة بالكاتيونات الضرورية، مما يدعم نمو النباتات بشكل دائم مقارنة مع الأسمدة المعدنية سريعة الذوبان

في الوقت نفسه، يظهر تأثير السماد العضوي تفوقًا على السماد المعدني في تحسين الـ CEC، حيث يزيد من المادة العضوية في التربة، ويحفز النشاط الميكروبي لتحويل المركبات العضوية المعقدة إلى أشكال مغذية قابلة للامتصاص، ما يسهم في خفض محتوى التربة من الكربونات الكلية وتحسين التوازن الأيوني، إن العلاقة التبادلية بين *Azospirillum* والسماد العضوي تؤكد فعالية التسميد الحيوي في تحسين الخصائص الكيميائية للتربة، خصوصًا في الأراضي الملحية أو منخفضة الخصوبة (Schioing., 2004; Magdoof & Weil, 2004; ; Abdo, 2007; Richardson *et al.*, 2009)، من جهة أخرى سجلت سعة التبادل الكاتيوني CEC ارتفاعاً نسبياً خلال العروة الربيعية مقارنة بالعروة الخريفية، و يُعزى ذلك إلى ملاءمة الظروف المناخية السائدة التي حفّزت العمليات الحيوية و النشاط الإنزيمي للميكروبات الملقحة مما أدى إلى تسريع عمليات التمعدن للمادة العضوية المضافة، مما ساهم في تحرير كميات أكبر من المغذيات في محلول التربة، وزيادة المواقع النشطة على مواقع التبادل خلال هذا الموسم.

خامسا: تأثير التلقيح بالـــ *Azospirillum*.spp في النتروجين الكلي والفوسفور المتاح في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

تظهر النتائج (جدول-8) أن التلقيح بالـــ *Azospirillum* قد زاد من كمية النتروجين الكلي في ترب كافة المعاملات الملقّحة مقارنة مع الشـــاهد غير الملقح بغض النظر عن نوع الســـماد المسـتخدم ومسـتوى إضـافته، وبلغ أشـده في تربة المعاملة الملقحة التي أضـيفت إليها السـماد العضـوي بمعدل 20 طن/هـــ حيث وصـلت نسـبته إلى 1.30 g/kg ، تلتها المعاملة الملقحة بمستوى 10طن/هـ والتي بلغت 1.19 g/kg، وتشير النتائج إلى أن التلقيح بالـ *Azospirillum*

ساهم في تحسين محتوى التربة من النتروجين الكلي، مما يشير إلى الفرضية القائلة بإمكانية المساهمة في تقليل الاعتماد الكلي على الأسمدة المعدنية. إن وصول نسبة النتروجين إلى g/kg 1.17 عند التسميد بـــ 60% من التوصية مع التلقيح الحيوي قد يساهم في ترشيد استخدام الأسمدة النتروجينية في الدورات الزراعية، حيث تعمل الـــ *Azospirillum* كعامل مكمّل يوفر جزءاً من احتياجات التربة، وهو ما يتوافق مع تواجهات الزراعة المســـتدامة (Abdo, 2016)، وبصـــورة مشـــابهة ازدادت كمية النتروجين في المعاملات غير الملقحة بغض النظر عن نوع السماد مقارنة مع معاملة الشاهد غير الملقح، إذ تفوقت المعاملة 40 طن/هـ سماد عضوي حيث وصلت إلى g/kg1.06 ، تلتها المعاملة غير الملقحة مع (150-100-0) كغ/هـ سماد معدني N-P-K حيث وصلت إلى g/kg 1.03، ولم يلحظ تغيرات واضحة فيما بين بقية المعاملات المســـمدة معدنياً بما يتعلق بكمية النتروجين الكلي في التربة. ويشـــير (Choudhary and Yaduvanshi, 2022) أنه قد يؤدي اســـتخدام جرعات عالية من الأســـمدة المعدنية في التربة المتملّحة إلى تفاقم حالة الملوحة، الأمر الذي يقلّل من امتصـــاص النتروجين الكلي. وهكذا فقد أظهرت النتائج فروقًا ذات دلالة إحصـائية في محتوى النتروجين الكلي في التربة بين المعاملات المختلفة للأسمدة العضوية والمعدنية بمستوياتها المختلفة عند تطبيق التلقيح مقارنة بعدم تطبيقه، وقد تبين أن الجمع بين السماد العضوي والتلقيح ساهم بشكل أكبر في تعزيز محتوى النيتروجين الكلي، متفوقًا على تأثير السـماد المعدني مع التلقيح، مما يشـير إلى الفعالية المتكاملة للأسـمدة العضوية مع التلقيح في تحسين خصوبة التربة.

جدول (8) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في النتروجين الكلي والفوسفور المتاح في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني

المعاملة	N g/kg			P ppm		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	0.75	0.68	0.72^{i}	14	13	13.5^{h}
io_1	1.2	1.18	1.19^{b}	19.8	19	19.4^{b}
io_2	1.32	1.27	1.30^{a}	22.2	21	21.6^{a}

17.5^{d}	17	18	1.10^{cd}	1.09	1.1	io_3
15.3^{f}	15	15.6	1.08^{d}	1.05	1.1	im_1
16.2^{e}	16	16.4	1.14^{bc}	1.12	1.15	im_2
17.6^{cd}	17	18.2	1.17^{b}	1.15	1.18	im_3
9.6^{i}	9	10	0.56^{j}	0.52	0.6	n
13^{h}	13	12.8	0.86^{h}	0.84	0.88	no_1
15.7^{ef}	15	16.4	0.99^{fg}	0.97	1.02	no_2
18.6^{bc}	19	18.2	1.06^{de}	1.04	1.08	no_3
17.7^{cd}	18	17.4	1.03^{ef}	1.05	1	nm_1
17.8^{cd}	17	18.2	0.98^{g}	0.96	1	nm_2
14.5^{g}	15	13.8	0.96^{g}	0.94	0.98	nm_3
1.255	1	1.47	0.03	0.03	0.03	L.S.D 5%

تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على L.S.D5%

تشير النتائج (جدول-8) أن محتوى التربة من **الفوسفور المتاح** قد ارتفع عموماً مع زيادة المستويات المستخدمة من الأسمدة العضوية والمعدنية الخاضعة للتلقيح بالـ *Azospirillum* ، وقد أشار التحليل الإحصائي إلى وجود فروق معنوية ما بين مستويات الأسمدة العضوية إذ بلغ أعلى معدل للفوسفور المتاح 21.6 ppm عند المعاملة الملقحة مع 20 طن/هـ سماد عضوي، يليه 19.4 ppm عند المعاملة الملقحة مع 10 طن/هـ سماد عضوي، ثم المعاملة الملقحة التي خُفّضَ فيها نسبة النتروجين إلى 60% من التوصية السمادية المقترحة للقطن حيث وصلت إلى 17.6 ppm ، و سجلت فروقات معنوية في كمية الفوسفور المتاح ذات دلالة احصائية في المعاملات الملقحة عن غير الملقحة مع السمادين العضوي والمعدني؛ ذلك يتفق مع ما توصل إليه (Abdo, 2007) الذي أكد إمكانية الـ *Azospirillum* على إتاحة الفوسفور بكفاءة أعلى، ذلك لما يتعرض له السماد الفوسفاتي المضاف إلى التربة لعمليات الامتزاز والترسيب في الترب الكلسية والتي تسود بها معادن الكربونات، ويرجع الدور الأساسي للـ *Azospirillum* في تنشيط وتحفيز البكتريا المذيبة للفوسفات والمساهمة معها في إذابة الفوسفور وجعله متاحاً وجاهز في التربة من خلال أليات مختلفة تؤثر بطريقة غير مباشرة منها خفض pH التربة في الريزوسفير (العيسى،2007) وبذلك يتم تسريع تحلل الفوسفور العضوي وغير العضوي، حيث أن عملية إذابة الفوسفات هي نتيجة التأثير المشترك لانخفاض الـ pH وإنتاج أحماض عضوية

(Abdo,2007) ارتفعت نسبة الفوسفور المتاح بشكل مشابه في ترب المعاملات غير الملقحة 40 طن/هـ سماد عضوي على بقية المعاملات غير الملقحة تحت تأثير مستويات مختلفة من الأسمدة المضافة والتي وصلت إلى 18.6 ppm، وذلك بسبب غنى هذا السماد بعنصر الفوسفور إضافة إلى معدنة الفوسفور وتحويله إلى فوسفور جاهز للنبات وأن الأثر غير المباشر للمادة العضوية يكون من خلال خفض الـ pH مما يؤدي إلى زيادة جاهزية الفوسفور لأطول مدة من عمر النبات مقارنة مع الأسمدة المعدنية لوحدها. في حين سجلت المعاملة غير الملقحة (50-0-100) كغ/هـ أدنى قيمة وصلت إلى 14.5 ppm، ولم يلحظ أية فروق معنوية واضحة في بقية المعاملات فيما يتعلق بكمية الفوسفور المتاح، وكنتيجة عامة فإن كمية الفوسفور المتاح في ترب المعاملات الملقحة فاقت كميتها في ترب المعاملات غير الملقحة، و أثبت (Blaise,*et al.*, 2006) أن محتوى التربة من الفوسفور والبوتاسيوم زاد بشكل معنوي في الترب التي تلقت سماداً عضوياً مقارنة مع الترب التي تلقت سماداً معدنياً. لدى مقارنة الموسمين لوحظ تفوقاً في محتوى التربة من النتروجين الكلي والفوسفور المتاح خلال موسم العروة الربيعية مقارنة موسم العروة الخريفية؛ ويُعزى هذا التباين إلى ملائمة الظروف المناخية السائدة (متوسط حرارة 27 درجة مئوية، ورطوبة 48 %)، والتي وفرت بيئة مثالية حفّزت النشاط الإنزيمي والميكروبي لـ *Azospirillum*. هذا النشاط أدى إلى تسريع معدلات تمعدن المادة العضوية المضافة، مما نتج عنه تحرير مكثف للعناصر الغذائية وزيادة إتاحتها في محلول التربة خلال الموسم الأول.

سادسا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على البوتاسيوم المتاح في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

تشير النتائج (جدول-9) أن محتوى التربة من البوتاسيوم المتاح قد تأثر بشكل معنوي بنوع ومستوى التسميد المضاف. حيث ارتفعت القيم طردياً مع زيادة مستويات الأسمدة العضوية والمعدنية. وقد سجلت المعاملات الملقحة بـ *Azospirillum* والمضاف إليها سماد عضوي بمعدل 20 طن/هـ من السماد العضوي(io2) أعلى محتوى للبوتاسيوم المتاح بلغ 475.85 mg/kg كمتوسط للموسمين، تلتها المعاملة الملقحة مع 10 طن/هـ (io1) بمعدل 424.73 mg/kg. وهذا عائد إلى أن التسميد الحيوي يزيد من تركيز البوتاسيوم من ناحية، وأن أقصى امتصاص للبوتاسيوم يكون مرتبطاً بجاهزية وامتصاص عنصري N وP كما أشار إليه Moretti *et*

(*al.*,2024). من الملاحظ إحصائياً أن المعاملات العضوية غير الملقحة مثل (no3) ذات معدل 40 طن/هـ بلغت 232.8 mg/kg قد تفوقت على المعاملة المعدنية الملقحة (im3) حيث سجلت 210.1 ppm؛ وهذا يعود ربما إلى أن سماد الأبقار المستخدم يُعد مصدراً مباشراً وغنياً لعنصر البوتاسيوم المتاح، بالإضافة إلى دوره في زيادة سعة التبادل الكاتيوني CEC مما يحسّن من قدرة التربة على مسك أيونات البوتاسيوم وحمايتها من الغسيل أو التثبيت (Mam–Rasul, 2020)، وتؤكد الدراسات (Singh, 2013; Maheshwari, 2014) أن التسميد العضوي لا يزيد فقط من المحتوى الإجمالي للبوتاسيوم، بل يحسّن أيضًا تيسره وتوفره للنباتات. أما بخصوص دور التلقيح بـ *Azospirillum*، بالرغم من أنها بكتريا غير متخصصة في إذابة البوتاسيوم، إلا أن تأثيرها الإيجابي في المعاملات المعدنية im يعزى إلى آليات غير مباشرة؛ حيث تعمل الإفرازات المنشطة للنمو الجذري عى زيادة سطح الامتصاص وتنشيط الميكروبات الأخرى في منطقة الريزوسفير، مما يحسّن من عمليات التبادل بين أشكال البوتاسيوم في التربة (Rhodes, 2010). وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه (Chen*et al.*, 2024) بأن الإضافات العضوية لا تكتفي بزيادة المخزون الكلي، بل تحسن من درجة تيسر العنصر عبر تقليل قوى الارتباط بين الأيونات ومعادن الطين. وعند مقارنة الموسمين، سجلت النتائج تبايناً موسمياً في محتوى التربة من البوتاسيوم المتاح حيث ظهر انخفاض في قيم العروة الخريفية مقارنة بالعروة الربيعية، وقد تركز هذا الانخفاض في المعاملات الملقحة حيوياً والمسمدة عضوياً، و ربما يعود ذلك إلى ظاهرة الاستنزاف المحصولي الكثيف، إذ يُصنف القطن من المحاصيل الشرهة جداً للبوتاسيوم، خاصة في مراحل النمو النشط خلال الموسم الأول الذي تميز بظروف مناخية مثالية (حرارة ورطوبة) التي ساهمت في تنشيط الإنزيمي والحيوي لـ *Azospirillum* ، إن التداخل بين التلقيح الحيوي والمادة العضوية في الموسم الأول أدى إلى تحرير مكثف لأيونات البوتاسيوم المرتبطة بالمعقد العضوي نتيجة إفراز الأحماض العضوية وتحسين سعة التبادل الكاتيوني مما استنزف المخزون الميسر سريعاً.

جدول (9) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على البوتاسيوم المتاح في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني

المعاملة	K^+ mg/kg		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	202.77	195	198.89^{e}
io_1	436.96	412.5	424.73^{b}

io_2	486.19	465.5	475.85[a]
io_3	423.63	411.25	417.44[b]
im_1	206.93	199	202.97[de]
im_2	212.13	204	208.07[d]
im_3	214.21	206	210.11[d]
n	192.38	185	188.69[f]
no_1	213.17	205	209.09[d]
no_2	216.29	220	218.15[cd]
no_3	230.5	235	232.75[c]
nm_1	190	188	189.00[f]
nm_2	194.53	189	191.77[ef]
nm_3	194.46	187	190.73[f]
L.S.D 5%	6.7	6.57	6.6

سابعا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في العناصر الغذائية (Ca^{++} و Mg^{++} و Na^{+} وCl^{-}) في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

تُظهر نتائج (جدول–10) تبايناً في تراكيز شوارد كل من Ca^{2+} و Mg^{2+} و Na^{+} و Cl^{-} تبعاً لنوع التسميد والتلقيح بـ *Azospirillum*، فقد سجلت المعاملة الملقحة و المضاف إليها 20 طن/هـ سماد عضوي أعلى تراكيز للكالسيوم والمغنزيوم الذائبين، حيث بلغت 17.84 و 11.38 مليمكافئ/ل لكلا التركيزين Ca^{2+} و Mg^{2+} على التوالي، يقابلها انخفاض واضح في تراكيز الصوديوم والكلور لتصل 46.35 و32.8 مليمكافئ/ ل على التوالي. إن زيادة كل من Ca^{2+} و Mg^{2+} في المعاملة الملقحة والمضاف إليها 20 طن/هـ سماد عضوي، يعود للدور التآزري بين الـ *Azospirillum* والمادة العضوية؛ حيث تعمل الأحماض العضوية الناتجة عن التحلل الميكروبي على خفض درجة تفاعل التربة pH، مما يحفز إذابة كربونات الكالسيوم والمغنزيوم السائدة في هذه ترب حوض الفرات وتحويلها إلى صورة ذائبة في محلول التربة (Liu*etal.*, 2022)، إن وفرة الكالسيوم الذائب في المحلول تؤدي إلى إزاحة الصوديوم عن مواقع التبادل على غرويات التربة وإحلال الكالسيوم محلها، مما يسهل غسل الصوديوم الحرّ بعيداً عن الريزوسفير ويخفض من تراكيزه (Porter, 2005)، و كذلك لدور *Azospirillum* من خلال إفراز السكريات المتعددة الخارجية (EPS) والدهنية (LPS) التي تساهم في تحسين الخصائص

الفيزيائية وبنية التربة وتجميع حبيباتها، مما يخلق بيئة مسامية تسمح بحركة المياه وغسل أيونات الصوديوم والكلور بكفاءة أعلى، ويقلل من تراكمها السام حول الجذور.

.(Eid, 2002; Mahmoud and Mahmoud,2008; Bashan and Bashan,2010)

جدول (10) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في متوسطات الموسمين للعناصر الغذائية (Ca^{2+} - - Na^{+} Mg^{2+}-Cl^{-})الذوابة بـ مليمكافئ/ ل في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني أليس من الأفضل الاعتماد على واحد مليمكافئ/100 غ تربة بدلاً من هذه الواحد؟

Cl^{-}	Na^{+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	المعاملة
36.81^{a}	57.13^{ab}	9.19^{cde}	12.84^{efg}	I
32.77^{cde}	48.98^{f}	10.02^{bcd}	15.83^{b}	io_1
32.8^{defg}	46.35^{g}	11.38^{a}	17.84^{a}	io_2
36.61^{a}	51.21^{ef}	9.39^{cde}	13.66^{cd}	io_3
36.2^{a}	56.32^{abc}	9.81^{bcde}	13.15^{def}	im_1
34.77^{ab}	54.68^{bcde}	10.23^{abc}	13.56^{cde}	im_2
31.51^{fg}	53.26^{def}	9.81^{bcde}	13.15^{def}	im_3
34.47^{abc}	58.11^{a}	8.35^{f}	11.31^{i}	n
33.35^{cdef}	55.88^{abcd}	9.29^{cde}	12.36^{gh}	no_1
32.53^{efg}	54.45^{cde}	9.81^{bcde}	12.56^{fg}	no_2
30.8^{g}	53.11^{def}	10.75^{ab}	14.29^{c}	no_3
34.16^{abcd}	56.14^{abc}	9.81^{bcde}	13.76^{cd}	nm_1
33.86^{bcde}	54.84^{bcde}	8.98^{de}	12.84^{efg}	nm_2
33.65^{bcd}	57.13^{ab}	8.66^{ef}	12.23h	nm_3
1.79	3.99	1.16	1.24	L.S.D 5%

من جهة أخرى لُوحظ تفوق المعاملة غير الملقحة ذات معدل 40 طن/هـ سماد عضوي في رفع محتوى التربة من الكالسيوم والمغنزيوم (14.29 و10.75 مليمكافئ/ل على التوالي) مقارنة بالمعاملات غير الملقحة الأخرى، وحتى مع معاملات التسميد المعدني الملقحة، و يُعزى ذلك إلى الدور المهم للمادة العضوية، حيث يؤدي تحلّلها وتنشيطها للمجموعات الميكروبية الأصلية إلى تحرير الأحماض العضوية وثاني أكسيد الكربون، تعمل هذه النواتج على خفض درجة تفاعل التربة، مما يحفز إذابة كربونات الكالسيوم والمغنزيوم السائدة في التربة الملحية الكلسية(Fisher*et al.*, 2003). وبمقارنة الموسمين، لوحظ استقرار نسبي في تراكيز الكالسيوم والمغنزيوم مع ميل بسيط للانخفاض في الموسم الثاني، بينما سجل الصوديوم والكلور ارتفاعاً طفيفاً في العروة الخريفية

مقارنة بالربيعية، ولا يعود ذلك إلى النشاط الميكروبي فحسب، بل يتأثر بالظروف المناخية، حيث تؤدي زيادة معدلات التبخر في نهاية الموسم إلى سحب الأملاح نحو السطح (Fisher*et al.*, 2003; Bashan and Bashan, 2010)

ثامنا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في SAR في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

أدى التلقيح بالـ *Azospirillum* إلى خفض نسبة الصوديوم المدمص (SAR) في المعاملات الملقحة التي خضعت لتأثير مستويات متفاوتة من السماد العضوي، وبنسبة أقل في المعاملات الخاضعة لتأثير السماد المعدني مقارنة مع معاملة الشاهد(جدول-11)، وبلغت أدنى نسبة للـ SAR في المعاملة الملقحة ذات المستوى 20 طن/هـ سماد عضوي حيث سجلت 12.22 كمتوسط للموسمين مقارنة بالشاهد غير الملقح 18.69، ويعزى هذا الانخفاض لما أشار إليه كل من (Eid,2002; Mahmoud and Mahmoud,2008; Bashan and Bashan,2010) إلى الدور التكاملي بين *Azospirillum* و المادة العضوية في تحرير الكاتيونات ثنائي التكافؤ (الكالسيوم والمغنزيوم)، حيث ساهمت الأحماض العضوية الناتجة عن التحلل في إذابة كربونات الكالسيوم، مما رفع من تركيز الكالسيوم في محلول التربة، وأدى كيميائياً إلى إزاحة أيونات الصوديوم عن معقد التبادل وإحلال الكالسيوم محلها.

تراوحت قيم نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) بين 14.35%- 20.83% ، حيث سجل الشاهد غير الملقح أعلى قيمة (20.83%)، وهي قيم مرتفعة نسبيًا وتشير إلى وجود مشكلة صودية واضحة في التربة، خاصة أن القيمة الحرجة التي تبدأ بعدها التأثيرات السلبية هي ESP > 15، وهو ما يعكس غياب أي تأثير للتسميد، وارتفاع تركيز الصوديوم المتبادل على حساب الكاتيونات الأخرى Ca^{2+} وMg^{2+} . في المقابل أظهرت المعاملات الملقحة بمستوى 20 طن/هـ سماد عضوي انخفاضًا واضحًا فسجل ESP= 14.35%، وذلك يعكس دور الـ *Azospirillum* في تخفيف هذا الإجهاد لا يقتصر على ربط الأيونات وتحسين توازن الكاتيونات في التربة، حيث تعمل كمنظم أيوني في منطقة الريزوسفير، و تفرز بوليمرات حيوية معقدة تشمل السكريات المتعددة الخارجية (ESP) والسكريات الدهنية (LPS). التي من شأنها تحسين البنية الفيزيائية وتحسين نفاذية التربة، هذه الآلية الحيوية تفسر الانخفاض المعنوي في قيم SAR و ESP الذي لوحظ في المعاملات الملقحة io2 ، مما أتاح للنبات الحفاظ على

توزان أسموزي أمثل بزيادة امتصاص الكاتيونات المفيدة مثل الكاالسيوم والبوتاسيوم. إلى جانب التأثير الكيميائي، ساهمت الإفرازات البكتيرية في تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة عبر تعزيز تجميع الحبيبات، هذا التحسن في بناء التربة زاد من مساميتها ونفاذيتها، مما خلق بيئة مواتية لغسل الأملاح بعيداً عن منطقة الجذور (Alhoqail,2026).

جدول (11) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على الصوديوم المدمص والمتبادل (SAR-ESP) في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني

المعاملة	SAR			ESP %		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	17.55	17.13	17.34^{bc}	19.76	19.36	19.56^{bc}
io_1	13.51	13.74	13.62^{i}	15.73	15.97	15.85^{i}
io_2	11.76	12.67	12.22^{j}	13.86	14.84	14.35^{j}
io_3	15.08	15.31	15.2^{h}	17.34	17.57	17.46^{h}
im_1	16.66	16.83	16.75^{cde}	18.91	19.07	18.99^{de}
im_2	15.9	16.05	15.97^{efg}	18.16	18.31	18.24^{fg}
im_3	16.04	15.62	15.83^{fg}	18.30	17.88	18.09^{g}
n	18.18	19.2	18.69^{a}	20.35	21.30	20.83^{a}
no_1	16.86	17.39	17.12^{bcd}	19.10	19.61	19.35^{cd}
no_2	16.16	16.67	16.41^{def}	18.42	18.92	18.67^{ef}
no_3	14.88	15.59	15.24^{gh}	17.14	17.85	17.50^{h}
nm_1	16.23	16.73	16.48^{def}	18.49	18.97	18.73^{ef}
nm_2	16.77	16.68	16.72^{cde}	19.01	18.93	18.97^{de}
nm_3	17.21	18.43	17.82^{b}	19.44	20.59	20.01^{b}
L.S.D 5%	1.21	0.72	0.97	0.62	0.7	0.66

من ناحية أخرى تعزى فاعلية المعاملة الملقحة مع 20 طن/هـ وتفوقها على المعاملة الملقحة مع 40 طن/هـ إلى ظاهرة التوازن الأيوني والضغط الأسموزي في محلول التربة، فعلى الرغم من أن زيادة المادة العضوية ترفع من سعة التبادل الكاتيوني إلا أن إضافة 40 طن/هـ قد تؤدي إلى تحرر كميات كبيرة من الأملاح الذائبة، مما يرفع من EC لمحلول التربة ويؤدي إلى تأثير عكسي يقلل من كفاءة إزاحة الصوديوم، وبالتالي يمثل المستوى 20 طن/هـ نقطة توازن بين تحرير الكالسيوم وإحاله محل الصوديوم وبين الحفاظ على نفاذية جيدة للتربة تسمح بالتخلص من الأملاح، وهو ما يتوافق مع مبدأ استجابة المحاصيل والتربة التي لا تتبع دائماً

منحني خطياً مع زيادة الإضافات العضوية (Gonçalo,*etal.*,2019)، أما التباين الموسمي المتمثل في ارتفاع قيم SAR– ESP في الموسم الثاني مقارنة بالربيعي، فيمكن أن يعود إلى تراكم أيونات الصوديوم نتيجة عمليات التبخر في العروة الخريفية، إضافة إلى احتمالية تذبذب مياه الري أو انخفاض كفاءة الغسل مقارنة بالدفعة القوية من العناصر التي تحررت في العروة الربيعية، مما يستدعي استمرارية التعديلات العضوية والحيوية للحفاظ على توازن الأيونات (hafez, 2021).

الاستنتاجات:

لدى دراسة تأثير التلقيح بـ *Azospirillum* على القطن في التربة المالحة في ظل ظروف التسميد العضوي والمعدني يمكن الخلوص الى ما يلي:

- ساهمت التوليفة السمادية المكونة من التلقيح الحيوي بـ *Azospirillum* مع إضافة 20 طن/هـ سماد عضوي في تحسين الحالة الكيميائية والخصوبية للتربة الملحية، إذ خفضت معاملات التلقيح نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) ، ورفع سعة التبادل الكاتيوني (CEC) وتيسّر العناصر الكبرى (N, P, K) مقارنةً بمعاملات التسميد المعدني المنفردة.
- ساهم التلقيح بالـ *Azospirillum* في كفاءة استخدام المغذيات من خلال زيادة توافر النيتروجين، وإتاحة البوتاسيوم والفوسفور بنسبة 25% مقارنة بالمعاملات غير الملقحة.
- أدى التلقيح مع 20 طن/هـ مادة عضوية إلى خفض نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) بمقدار 31.11% مقارنة بمعاملة الشاهد غير الملقح، بما ينسجم مع دراسات أظهرت إمكانية خفض ESP بأكثر من 50–75% مع أنظمة التسميد الحيوي العضوي، مما يعزز استدامة استصلاح التربة، ويحدّ من اللجوء إلى الأسمدة الكيميائية.
- إن التلقيح بالـ *Azospirillum* مع مستوى نيتروجين معدني يُقدّر بـ 50–60% فقط من الكميّة الموصى بها من النتروجين المعدني على قدرة استبدال جزء معتبر من السماد المعدني مع الحفاظ على مستوى إنتاجي مماثل أو متفوق على استخدام 100–150 كغ/هـ نتروجين دون تلقيح، مما يفتح أفاقاً لتقليل التلوث البيئي، وخفض تكاليف الإنتاج دون المساس بالغلة الاقتصادية.

- بينت النتائج عن استجابة متباينة بين المواسم. حيث كانت العروة الربيعية (الموسم الأول) أكثر ملاءمة من العروة الخريفية (الموسم الثاني) من حيث خفض الإجهاد الملحي وتقليل الـ ECe–SAR، وزيادة محتوى التربة من المادة العضوية والعناصر الغذائية الكبرى وكذا سعة التبادل الكاتيوني نتيجة تحسن الظروف المناخية (حرارة ورطوبة امناسبة) في تلك العروة.

المقترحات: يُنصح باعتماد التلقيح بـ *Azospirillum* كتقنية حيوية مكمّلة لاستصلاح الترب المتأثرة بالأملاح في منطقة حوض الفرات، كما نشدد على أهمية إجراء دراسات اقتصادية ميدانية لنموذج الدمج بين التلقيح الحيوي والتسميد العضوي بمعدل 20 طن/هـ لضمان الجدوى الاقتصادية للمزارعين، علاوة على ذلك، نقترح التوسع في البحث لدراسة أثر هذا التلقيح على كفاءة امتصاص العناصر الصغرى (Micronutrients)، وتأثير ذلك على صفات الجودة لتيلة القطن الناتج تحت ظروف الإجهاد الملحي.

المراجع العربية:

1. **راين، جون، و إسطفان، جورج، وعبدالرشيد.** (2003) *تحليل التربة والنبات دليل مختبري*. المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (الإيكاردا)، حلب، سورية، (172 ص).
2. **عودة، محمود، وشمشم، سمير .(2007)** *خصوبة التربة وتغذية النبات*. منشورات جامعة حمص، كلية الهندسة الزراعية، حمص، سوريا.
3. **العيسى، عبد الله .(2005)** *علم الأحياء الدقيقة*. منشورات جامعة حمص، كلية الهندسة الزراعية، حمص، سوريا.
4. **العيسى، عبد الله .(2007)** *ميكروبيولوجيا التربة*. منشورات جامعة حمص، كلية الهندسة الزراعية، حمص، سوريا.

References:

1. Abdelhamid, M. T., Ibrahim, M. A,.(2018). Effects of biofertilizers and fertilization methods on soil chemical properties and cotton growth in saline soils .Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 18(3), 819-833 .
2. Abdo, Z, (2007). Effects of biofertilizers on soil cation exchange capacity and plant nutrition. Soil Biology and Biochemistry, Vol. 39, Issue 10, 2431–2439.
3. Abdo, Z, (2016) Effects of *Azospirillum* inoculation on nitrogen and phosphorus availability in soils. Soil Biology and Biochemistry, Vol. 96, 45–53.
4. Ahmed, S. M,(2019) - Salinity mitigation in cotton using biofertilizers and organic inputs .Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 182(2), 245-256.
5. Alhoqail, W. A. (2026). Exopolysaccharide-producing PGPR: mechanisms for alleviating salinity-induced plant stress. Polish Journal of Environmental Studies, 35(1), 501-518.
6. Ali, N.A.A., Darwish, S.D., Mansour, S.M, (2002) .Effect of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* inoculation and anhydrous ammonia on root colonization, plant growth and yield of wheat plant under saline alkaline conditions. J. Agric. Sci. Mansoura Univ., Vol. 27, Issue 8, 5575–5591.
7. AL-Khateeb, H.A., (2008). Impact of organic manures and biofertilizers on saline soils in the EupHrates Basin. Arab Journal of Plant Protection, Vol. 26, No. 2, pp. 145-153.
8. Aly, A. A.,(2017) . Effects of biofertilizers and salinity levels on soil properties and cotton productivity .Journal of Agricultural Science, 9(5), 123-134
9. Bacilio, M., Gutierrez-Rojas, M., Bashan, Y, (2021). Plant growth-promoting bacteria as biostimulants under stress conditions. Applied Soil Ecology, Vol. 158, 103789.
10. Balibrea, M.E., Munoz, R., Perez, J.A, (2020) . Impact of soil salinity on crop pHysiology. Agronomy, Vol. 10, Issue 7, 1023.
11. Barbosa, J.Z, (2022). Meta-analysis of *Azospirillum* inoculation efficiency in crops. Journal of Plant Growth Regulation, Vol. 41, Issue 3, 745–758.
12. Bashan, Y., Bashan, L.E, (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: A critical assessment. Advances in Agronomy, Vol. 108, p. 77–136.
13. Bashan, Y., De-Bashan, L.E., Prabhu, S.R., Hernandez, J.P, (2022). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculants for sustainable agriculture. Microbiological Research, Vol. 256, 126967.
14. Balah, O. E. B., Thomas, R., & Ogallo, L. (2024). Effects of Organic Amendments and NPK on Soil Chemical Properties in Kano Plains, Kisumu, Kenya. *International Journal of Plant & Soil Science*, *36*(8), 1113–1137.

15. Blaise, D., (2006). Organic versus mineral fertilization: impact on soil Phosphorus and potassium availability. Agriculture, Ecosystems Environment, Vol. 116, Issues 3-4, 263–269.
16. Bünemann, E. K., Oberson, A., Frossard, E, (2010). Soil Organic Matter: Key to Soil Fertility and Sustainable Agriculture. In Soil Fertility and Fertilizers (pp. 85-106).
17. Chen, X., Smith, J. A., Johnson, M. T, (2024). Dairy manure influences soil properties, plant nutrient uptake, and tuber quality in potatoes. Agronomy Journal, Vol. 116, 345–357.
18. Cruz, A., Martinez, F., Lopez, M, (2022). MorpHological and pHysiological characterization of *Azospirillum* strains under stress conditions. Microbial Ecology, Vol. 83, Issue 2, 456–470.
19. Deeb, B. M, (1993). Fertilizer Chemistry– Damascus University Publications, Damascus, Syria.
20. Degon, Z , (2023).- *Azospirillum brasilense* improves rice growth under salt stress by regulating expression of key genes. Frontiers in Agronomy, Vol. 5, Article 1216503.
21. Egamberdieva,D.,(2019)-Salt-Tolerant Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Improving Crop Productivity in Saline Soil, Frontiers in Microbiology, Vol. 10, Article 1244.
22. Eid, E, (2002) – Exopolysaccharide production by *Azospirillum* and its role in salt tolerance. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 18(3), 271–276.
23. EL-Sayed, A. A.,(2020) .Interactive effects of organic and inorganic fertilization and bioinoculants on saline soil productivity and cotton growth . Soil Tillage Research, 197, 104471
24. Emad, H, (2009) . Organic matter effects on soil chemical properties under saline conditions. Journal of Soil and Water Conservation, 64(3), 175–182.
25. Essington, M. E. (2015). *Soil and water chemistry: An integrative approach* (2nd ed.). CRC Press. Boca Raton, FL.P-945.
26. Fares, A., Mohammad, S, (2009). *Azospirillum* survival and activity under saline and alkaline conditions. Journal of Applied Microbiology, 106(1), 212–219.
27. Ferreira, A.S., (2013). Implications of *Azospirillum brasilense* inoculation and N-fertilizer on nutrient uptake and yield. Plant and Soil, Vol. 372, No. 1-2, pp. 211-225.
28. Fisher, S. E., Miguel, M. J., Mori, G. B,(2003). Effect of root exudates on the exopolysaccharide composition and lipopolysaccharide profile of *Azospirillum brasilense* Cd under saline stress. FEMS Microbiology Letters, 219(1), 53-62.

29. Fukami, J., Hungria, M, (2018). Azospirillum: Benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. AMB Express.
30. Ghosh, P., (2011) . Microbial inoculants and soil pH regulation in crop Rhizosphere. Applied Soil Ecology, 48, 53–61.
31. Ghosh, S.(2021) Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on soil chemical properties and cotton production in saline environments . Biocontrol Science and Technology, 31(1), 45-63 .
32. Gonçalo Filho, F., de Sousa, J. R. M., Dias, A. S., de Oliveira Santos, R. C., & dos Santos, J. B. (2019). Reclaiming tropical saline-sodic soils with gypsum and cow manure. *Water*, *12*(1), 57.
33. Hafez, M, (2021). Organic Amendments Combined with PGPR: A Sustainable Approach to Soil Remediation. Proceedings of the International Conference on Sustainable Agriculture, pp. 45-50.
34. Hafez, M., Abo EL-Ezz, S.F., Popov, A.I., Rashad, M, (2021). Organic Amendments Combined with Plant Growth‐Promoting Rhizobacteria (*Azospirillum brasilense*) as an Eco‐Friendly By‐Product to Remediate and Enhance the Fertility of Saline Sodic‐Soils in Egypt. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 52, No. 16, pp. 1969-1983.
35. Hafez, M., Zhang, Z., Younis, M., Abdelhamid, M. A., & Rashad, M, (2025).Enhancing Micronutrient Availability Through Humic Substances and Vermicompost While Growing Artichoke Plants in Calcareous Soil: Insights from a Two-Year Field Study. Plants, 14(8), 1224.
36. Hassan, M.,.(2017). Biological approaches to improve saline soil fertility for cotton cultivation .Environmental Science and Pollution Research, 24, 12430-12441 .
37. Hassani, A., (2021). Global predictions of primary soil salinization under climate change. Nature Communications, 12, 1–9.
38. Heng, T., (2022)- Linking microbial community compositions to cotton yield under salt stress. Agricultural Microbiology, Vol. 12, No. 2, pp. 145-157.
39. Hoque, M.N., (2022). Organic Amendments for Mitigation of Salinity Stress in Crops. Plants, Vol. 11, No. 5, Article 657.International Journal of Agriculture Biology, 20(8), 1761-1770 .
40. Khan, M. A.(2019) .Role of *Azospirillum brasilense* in improving soil chemical properties and crop yield under salt stress.Agriculture Sciences, 10(4), 563-575.
41. Khanna, R., Pawar, J., Gupta, S., Verma, H.R., Himanshu, Trivedi, Kumar, P., & Kumar, R. (2019). Efficiency of biofertilizers in increasing the production potential of cereals and pulses: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 2019; 8(2): 183-188.

42. Kim, K. Y., Boruah, H. P. D., Kim, C. W., Shagol, C. C., SA, T. M ,(2010). Isolation and evaluation of inoculation effect of *Azospirillum spp*. on growth colonization and nutrient uptake of crops under greenhouse condition. Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Brisbane, Australia, 1-6.
43. Kumar, S., Singh, R., Sharma, P ,(2023). Impact of *Azospirillum* inoculation on pHysicochemical and biological properties of saline soils and cotton productivity. Agronomy , Vol. 13, No. 10, 2486.
44. Lal, R. (2020). Soil organic matter content and crop yield. Journal of Soil and Water Conservation, 75(2), 27A-32A.
45. lam, S., Rauf, M. A, (2021) .Assessment of *Azospirillum* inoculation on soil chemical properties and cotton productivity under saline irrigation .Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 58(1), 95-105 .
46. Liu, Y.,(2022) – Synergistic effects of organic amendments and bioinoculants on saline soil remediation and cotton yield .Environmental Research, 213, 113749 .
47. Magdoof, F Weil, R (2004). Soil organic matter management and soil fertility: Effects on chemical and biological properties. Soil Science Society of America Journal , Vol. 68, No. 1, 256–267.
48. Maheshwari, D. K., (2014). Enhancement of potassium uptake in crops through biofertilizers. Agronomy Journal, 106(4), 1310–1319.
49. Mahmoud, A Mahmoud, H (2008) . *Azospirillum* inoculation and salt stress mitigation in maize. Journal of Plant Nutrition , Vol. 31, No. 7, 1234–1248.
50. Mahmoud, H. S., EL-Naggar, S. A, (.2019) Impact of *Azospirillum* inoculation and organic amendments on salt-affected soils .Egyptian Journal of Soil Science, 59(2), 201-213 .
51. Mam-Rasul, G. A. (2020). Potassium adsorption in calcareous soils of Kurdistan region of Iraq. Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 51 (Special Issue), 42-52.
52. Mansour, S., Ahmed, N. (2019) -Impact of inoculation with *Azospirillum* on soil nutrients and cotton growth in saline soils .International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 12 .(2)
53. Mariotti, L., (2021). *Azospirillum baldaniorum* Sp245 induces pHysiological changes in plants. Microorganisms, Vol. 9, No. 4, Article 847.
54. Mishra, P, (2020). Advances in nitrogen fixation: PHysiology and molecular regulation. Current Opinion in Microbiology , Vol. 57, 33–42.
55. Moretti, L. G., Crusciol, C. A. C., Leite, M. F. A., Momesso, L., Costa, O. Y. A., Hungria, M., Kuramae, E. E, (2024). Diverse bacterial consortia: key drivers of rhizosoil fertility modulating microbiome functions, plant physiology, nutrition, and soybean grain yield. Environmental Microbiome, Vol. 19, Article 50.

56. Naqqash, T., Rehman, S., Ali, S., Imran, A., Khan, A. G., Wan, W., & Rasool, S. (2022). *Inoculation With Azospirillum spp. Acts as the Liming-Like Agent to Rehabilitate Saline–Alkali Soil*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 929114.
57. Naseem, M.,.(2020) Biological enhancement of saline soils with plant growth-promoting bacteria and organic manure .International Journal of Agriculture Biology, 22(3), 489-499 .
58. Olsen, S.R., Colle, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A, (1954). Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium carbonate. U.S. Department of Agriculture Circular 939.
59. Omer, A.M., (2022). Inoculation with *Azospirillum brasilense* and/or organic amendments mitigates salinity effects. Journal of Environmental Management, Vol. 302, Article 113967.
60. Porter, P, (2005). Microbial interactions and micronutrient availability in soils. Soil Science Society of America Journal, 69(3), 712–720.
61. Rhodes, D., (2010). Microbial inoculants and nutrient cycling: Effects on potassium availability in soils. Soil Biology & Biochemistry, 42(9), 1550–1558.
62. Richardson, A. E, (2009). Soil microbial inoculants and nutrient availability: mechanisms and applications. Plant and Soil, Vol. 321, 5–33.
63. Saberi -Riseh, R., Ebrahimi-Zarandi, M., Tamanadar, E., Moradi pour, M., & Thakur, V. K. (2021). *Salinity Stress: Toward Sustainable Plant Strategies and Using Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Encapsulation for Reducing It*. *Sustainability*, 13 (22), 12758.
64. Saidi, D. (2012). Importance and role of cation exchange capacity on the physical properties of the Cheliff saline soils (Algeria). Procedia Engineering, 33, 435–449.
65. Santos, D., Gomes, L., Pereira, P,(2019). Microbial responses to soil salinity: Implications for nitrogen fixation. Soil Biology Biochemistry, Vol. 137, 107557.
66. Schioing, G.,(2004). Organic amendments and soil chemical properties: implications for nutrient availability. Agriculture, Ecosystems Environment, Vol. 104, 199–212.
67. Shah, A. A., et al.(2018) .Effectiveness of biofertilizers in saline soils: A review .International Journal of Agriculture Biology, 20(8), 1761-1770 .
68. Singh, R., (2013) Organic amendments and potassium dynamics in soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 176(3), 417–426.
69. Singh, S., (2019). Soil salinity: A global threat to sustainable development. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 26, 1–17.
70. Soussi, M., EL Khalloufi, F., Achbani, E. H, (2021). Salinity effects on plant growth and nitrogen metabolism. Journal of Plant PHysiology, Vol. 258, 153361.

71. Tiwari, N., Tripathi, A.K. (2024). Biosynthesis of carotenoids in Azospirillum brasilense Cd is mediated via squalene (C30) route. Biochemical and Biophysical Research Communications, Vol. 722, 150–154.
72. Xinjiang Field Study.X, (2025). Applying bio-organic fertilizer improved saline alkaline soil properties and cotton yield. ,Journal of Soil Science and Plant Nutrition, Vol. 25, No. 1, pp. 1-15.
73. Yadav, S.,(2020) -Interactions between organic fertilization, bioinoculants, and soil salinity on cotton growth .Crop Pasture Science, 71(5), 398-408 .
74. Zahran, M., Abdel-samad, A.(2018) -Salinity tolerance and biofertilizer effects on cotton in saline soils .Environmental Monitoring and Assessment, 190, 425 .
75. Zhang, D., 2023- Mitigating Salinity Stress and Improving Cotton Productivity: A Review in Agronomy. Agronomy, Vol. 13, No. 7, Article 1620.
76. Zhong, W., Gu, T., Wang, W. (2010) The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant Soil* 326, 511–522 (2010).

تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في إنبات بذور الكوسا ونمو البادرات

د. ثناء دبو

مدرس في قسم البساتين – كلية الهندسة الزراعية – جامعة حمص

الملخص:

تُعَدّ مرحلتا إنبات البذور ونمو البادرات من مراحل نمو النبات الحساسة للإجهادات البيئية، ومنها الإجهاد الملحي (كلوريد الصوديوم)، والإجهاد الأيوني (النحاس). أجريت هذه التجربة المخبرية لدراسة تأثير تراكيز مختلفة من NaCl (50، 100، 150 mM)، و$CuSO_4$ (100، 200، 500، 1000، 2000 µM) في مؤشرات إنبات بذور هجين الكوسا "Luna" ونمو البادرات. استخدم التصميم العشوائي الكامل، وحللت البيانات بتحليل التباين الأحادي وقورنت المتوسطات باستخدام اختبار Tukey ($p\leq0.05$). أظهرت النتائج أن التركيز 50 mM من NaCl حفَّز الإنبات قليلاً (9.1%) رغم تأخر بدء الإنبات، وأن التراكيز الملحية الأعلى قللت نسبة الإنبات (33.33% عند 150 mM). كما ارتفع متوسط زمن الإنبات وانخفض مؤشر الإنبات، ومؤشر قوة البادرة بتأثير الملوحة. تأثر سلبياً طول الجذر والسويقة الفلقية حتى عند التركيز 50 mM، وتأثرت معنوياً جميع مؤشرات النمو في التركيز 100 mM. بينما منع التركيز 150 mM خروج السويقة الفلقية من غلاف البذرة تماماً.

لم تؤثر تراكيز كبريتات النحاس معنوياً في طاقة الإنبات، أو نسبة الإنبات التي كانت أعلى من الشاهد ووصلت إلى 90% في التركيز 1000 µM. ومع ذلك، أظهرت التراكيز المرتفعة تأثيراً سلبياً في نمو البادرات، فبدأ التأثير المعنوي في طول الجذر الأولي للبادرة وطولها الكلي عند التركيز 500 µM.

بينت الدراسة أن مرحلة البادرة أكثر حساسية للإجهاد الملحي والأيوني من مرحلة الإنبات وخصوصاً في معاملة كبريتات النحاس، وأن الإجهاد الملحي (مؤشر التحمل 68.9% عند 50 mM) كان أكثر تأثيراً من إجهاد النحاس (مؤشر التحمل 94.28% عند 100 µM) في التراكيز المستخدمة. يعزى ذلك إلى التاثير الأسموزي والسمية الأيونية المشتركة في NaCl، مقابل السمية الأيونية فقط في $CuSO_4$.

الكلمات المفتاحية: إجهاد ملحي، إنبات البذور، تحمل الملوحة، النحاس، هجين الكوسا Luna

Effect of Sodium Chloride and Copper Sulfate on Zucchini Seed Germination and Seedling Growth

Dr. Thanaa Doubbo

Department of Horticulture- Faculty of Agricultural Engineering - Homs University

Abstract:

The stages of seed germination and seedling growth are among the stages of plant growth that are sensitive to environmental stresses, including salt stress (sodium chloride) and ionic stress (copper). This laboratory experiment investigated the effect of different concentrations of NaCl (50, 100, and 150 mM) and $CuSO_4$ (100, 200, 500, 1000, and 2000 µM) on the germination and seedling growth of the zucchini hybrid 'Luna'. A completely randomized design was used, and data were analyzed using one-way ANOVA. Means were compared using Tukey's test ($p \leq 0.05$). The results showed that a 50 mM NaCl concentration slightly stimulated germination (9.1%), although germination was delayed, while higher salt concentrations reduced the germination percentage (33.33% at 150 mM). The mean germination time increased, and the germination index and seedling vigor index decreased with the effect of salinity. Root and cotyledon length were negatively affected even at a 50 mM concentration, and all growth indicators were significantly affected at a 100 mM concentration. A 150 mM concentration completely prevented the cotyledon from emerging from the seed coat.

Copper sulfate concentrations did not significantly affect germination energy or germination percentage, which was higher than the control and reached 90% at a concentration of 1000 µM. However, high concentrations showed a negative effect on seedling growth; a significant effect on primary root length and total seedling length was observed starting at a concentration of 500 µM.

The study showed that the seedling stage is more sensitive to salt and ionic stress than the germination stage, especially in the copper sulfate treatment. Salt stress (tolerance index 68.9% at 50 mM) was more potent than copper stress (tolerance index 94.28% at 100 µM) at the concentrations used. This is attributed to the combined osmotic effect and ionic toxicity of NaCl, as opposed to ionic toxicity only in CuSO4.

Keywords: Salt stress, seed germination, salt tolerance, copper, Luna zucchini hybrid

المقدمة:

تتسبب بعض الأنشطة البشرية والعوامل الطبيعية في زيادة ملوحة التربة ومياه الري [16]، فضلاً عن تلوثها بالعناصر الثقيلة كالنحاس [14، 74، 83]. تنتشر الأراضي المتملحة في سورية في عدة أماكن؛ منها: وادي الفرات، والشريط الممتد على طول نهر الخابور، ووادي الغاب، ومنطقة الجبول [27]، ومناطق من الوسط الغربي لسورية على حافة بادية الشام (سلمية) [53]. تزداد ملوحة التربة بمرور الوقت، ويترتب على ذلك زيادة الأملاح المنتقلة إلى المياه الجوفية [37]. وقد سُجلت زيادة تدريجية في ملوحة المياه الجوفية بحوض غوطة دمشق مع انتقال المياه من الأجزاء الغربية للحوض نحو الأجزاء الجنوبية الشرقية والشمالية الشرقية منه؛ بفعل التلوث الناتج عن الأنشطة الصناعية والتسرب من مياه الصرف الصحي [41].

وبينت دراسة [4] في بعض المناطق السورية أن الري بمياه مالحة وسوء الصرف الطبيعي يمكن أن يزيدا مخاطر تملح الترب. وأشارت دراسات أخرى في سورية إلى أن فرص التلوث بالنحاس تزداد بالقرب من الطرق السريعة [11]، كما سجلت دراسة [52] ارتفاع تركيز النحاس في الطبقة السطحية

لتربة غوطة دمشق نتيجة الأنشطة البشرية، كانبعاثات المركبات ومياه الصرف الصحي المنزلي والصناعي.

ووجد [42] زيادة في التلوث بالنحاس في موقع المروج بمدينة بانياس وعزا السبب إلى استخدام المبيدات الفطرية نظراً لكثرة الزراعات المحمية في الموقع، وربط ذلك بالنسبة المرتفعة للمادة العضوية لكون النحاس أكثر العناصر الصغرى ارتباطاً بها، فضلاً عن انخفاض محتوى كربونات الكالسيوم الكلية التي تؤثراً عكساً في محتوى النحاس. كما بينت نتائج [50] أن غبار معمل إسمنت طرطوس يسبب تلوثاً جوياً يؤدي إلى زيادة محتوى أوراق أشجار الزيتون في المنطقة المحيطة من بعض العناصر الثقيلة بنسب مختلفة، كان أقلها النحاس.

يؤدي الإجهاد الملحي والتلوث بالنحاس إلى إجهاد أسموزي وأيوني يضر بالنباتات في كافة مراحل نموها، وتحديداً الإنبات والنمو المبكر للبادرات. وبما أن هاتين المرحلتين تأسيسيتان، فإن أي خلل فيهما يؤثر سلباً في النمو النهائي للنبات وإنتاجه [7، 9، 14، 24، 57، 67، 68، 70، 79].

بينت الدراسات اختلاف استجابة أنواع وأصناف القرعيات للملوحة ومستويات النحاس؛ إذ أشار [24] إلى تأخر إنبات بذور صنفي الكوسا (Aristocrat) و(White Bush Scallop) بزيادة ناقلية مياه الري حتى 14.4 dS/m من دون أن تتأثر نسبة الإنبات النهائية. وعند 16.1 و17.8 dS/m انخفضت النسبة معنوياً في الصنف Scallop فقط. كما أشار إلى أن كلا الصنفين يتحملان الملوحة في مرحلة الإنبات أكثر من أطوار النمو اللاحقة.

كما بينت دراسة [35] عدم تأثر نسبة الإنبات النهائية لخمسة أصناف خيار (Beth-Aleph، Expo، Khiar، SMR-58، Super Slice) رغم انخفاض معدل الإنبات بزيادة الناقلية الكهربائية من 0.8 إلى 15 dS/m، بينما تأثر الصنف Poinsett معنوياً (من 100% إلى 76%). كما انخفض طول الجذر معنوياً من 81 مم إلى 9 و6 مم عند 12 و15 dS/m على الترتيب، مع ظهور جذور ثخينة غير طبيعية.

أدى التركيز 80 mM من NaCl إلى انخفاض معدل إنبات صنف الخيار Beta-alpha بنسبة 13.9% مقارنة بالشاهد، مع بقاء نسبة الإنبات النهائية 93% (95% في الشاهد). وقد كانت

نسبة الإنبات في التراكيز الملحية الأقل مشابهة أو أكثر قليلاً من الشاهد. وبزيادة التركيز من 40 إلى 80 mM انخفض معنوياً الوزن الرطب للبادرة من 13 % إلى 35% من الشاهد، كذلك تأثر الوزن الجاف بشكل مشابه. كما انخفض طول الجذر والسويقة الفلقية بنسبة 35% وتشكل الجذور الجانبية بنسبة 43% [1].

وجد [58] أن البطيخ الأصفر (*Cucumis melo* L., cv. Gaúcho) حساس لانخفاض الجهد الأسموزي من −0.3 إلى −0.6 Mpa، إذ انخفضت نسبة الإنبات من 94% إلى 36% تقريباً، ومؤشر معدل الإنبات من 3.87 إلى 0.99 بذرة /يوم، وارتفع متوسط زمن الإنبات من 6.6 يوم إلى 9.1 يوم.

أظهرت دراسة [33] على ثلاثة أصناف من *Cucurbita pepo* L. (Devil، Urgupm، Hybrid) أن زيادة الملوحة من 0.3 إلى 10 dS/m خفضت معنوياً نسبة الإنبات (من 81% إلى 68%)، ومؤشر الإنبات (من 22.10 إلى 19.40)، ومؤشر قوة البادرات (من 1130.12 إلى 599.78)، وطول الجذر الأولي (من 9.74 إلى 6.74 سم)، وطول السويقة الفلقية (من 4.24 إلى 2.1 سم)، بينما ازداد متوسط زمن الإنبات (من 3.17 إلى 3.75 يوماً). واختلفت الأصناف في حساسيتها، فكان الصنف Hybrid الأكثر تأثراً والصنف Devil الأكثر تحملاً.

درس [69] استجابة سلالتين من النوع *Cucurbita maxima* Duchesne لتركيزي NaCl (100 و200 mM). وسجل انخفاض نسبة إنبات السلالة Galaoui من 78.66% إلى 62.22% و40.44% على الترتيب، وطول الجذر من 6.87 سم إلى 5.08 و4.39 سم، وطول السويقة الفلقية من 6.87 إلى 5.08 و4.39 سم. أما السلالة Batati فانخفضت نسبة إنباتها معنوياً فقط عند 200 mM (من 81.55% إلى 42.22%)، وارتفع متوسط زمن الإنبات من 8.58 إلى 9.75 يوماً. تأثر النمو بشدة، إذ انخفض طول الجذر من 4.35 سم في الشاهد إلى 3.89، 3.10 سم، وتأثرت السويقة معنوياً فقط في التركيز الأعلى (4.12 سم مقابل 5.28 سم في الشاهد).

سجل [46] انخفاضاً معنوياً في نسبة الإنبات الزراعي لهجين الكوسا Caserta من 74.25% إلى 71% عند زيادة ناقلية مياه الري من 0.3 إلى 2.5 dS/m، مع انخفاض معنوي في

مؤشر سرعة الإنبات ومتوسط زمن ظهور البادرات. بين أيضاً تأثر صفات النمو بعمر 14 يوماً، إذ انخفض طول النبات بنسبة 33.95%، وازداد قطر الساق من 2.43 مم إلى 2.76 (بنسبة 11.96%)، وانخفض طول الجذر معنوياً بنسبة 17.11%، والوزن الجاف للنمو الخضري بنسبة 16.27%، والوزن الجاف للجذور بنسبة 32.08%، والوزن الجاف الكلي بنسبة 23.82%.

قارن [38] أربعة أنواع من القرعيات (*Luffa aegyptiaca*، *Cucurbita pepo*، *Praecitrullus fistulosus*، *Cucurbita maxima*) تحت تراكيز (0، 50، 100، 150، 200 mM NaCl). كان الإنبات والنمو أفضل عند 50 mM، ثم انخفضا مع زيادة التركيز. كان *C. maxima* متحملاً للإجهاد الملحي وسجل أعلى نسبة إنبات ووزن بادرة. وبلغ مؤشر الإنبات فيه عند جميع التراكيز على الترتيب (5.94، 4.93، 3.35، 3.35، 1.44). بالمقابل أظهرت *C. pepo* أدنى نسبة إنبات؛ بل إنه لم يحدث أي إنبات عند 200 mM، وسجّلت أدنى مؤشر إنبات (3.92، 2.87، 0.957، 0.48، 0). تأثر نمو البادرات عند 50 mM، فانخفض في *C. maxima* طول السويقة الفلقية من 6.43 سم في الشاهد إلى 2.67 سم، وطول الجذر الأولي من 7.49 سم إلى 2.63 سم، والوزن الطازج للسويقة من 0.403 غ إلى 0.130 غ، والوزن الجاف للسويقة من 0.048 غ إلى 0.008 غ. وفي *C. pepo* بلغت القيم لطول السويقة الفلقية (4.49، 2.00 سم)، وطول الجذر (3.125، 2.00 سم) والوزن الطازج للسويقة (0.273، 0.125 غ) للشاهد و50 mM على الترتيب، وبفروق معنوية لجميع القيم.

سجل [10] انخفاضاً في نسبة إنبات بذور الخيار استجابة لتراكيز $CuCl_2$ (40–640 مغ/ل)، وانخفض طول الجذر بشدة بنسب 94.62%–98.45%، والوزن الجاف بنسب 31.8%–97.5%.

أشار [13] إلى تحسن نسبة إنبات بذور الكوسا بنسبة 40% عند 1000 µM $CuSO_4$ وأنها لم تختلف كثيراً عند 2000 µM. وأظهرت نتائج [60] على *Cucurbita pepo* var. oblonga أن تراكيز $CuSO_4$ (60، 100، 150 مغ/ل) لم تؤثر معنوياً في نسبة الإنبات (62.5%، 85%، 72.5% مقابل 70% في الشاهد). كما لم تكن فروق متوسط زمن الإنبات معنوية. لكن طول الجذر انخفض معنوياً في جميع التراكيز (من 48.1 مم في الشاهد إلى 16.1 مم عند 150 مغ/ل). وانخفض طول السويقة الفلقية معنوياً بنسب 29.49%، 48.52%، 58.27% على الترتيب.

أكد [55] وجود تأثير مشابه لـ CuCl2 بالتراكيز (0.5 – 8.0 mM) في نمو بادرات الخيار (Beit alpha)، إذ انخفض طول الجذر والسويقة الفلقية على الترتيب من (4.33، 0.59 سم) في الشاهد إلى (0.75، 0.13 سم) عند 2 mM، ولم يظهر جذر أو سويقة في التراكيز الأعلى. كما سجل انخفاضاً معنوياً في معدل الإنبات عند التراكيز الأعلى من 1000 µM.

بيّن [79] أن التراكيز المنخفضة من $CuSO_4$ عززت إنبات صنف البطيخ الأصفر Cricket Horn Honey ونموه، وكان التركيز 100 مغ/ل الأفضل، مع زيادة معدل الإنبات (6.77%)، والوزن الجاف للنبات (5.80%)، والوزن الطازج للنبات (16.12%)، ونسبة الجذر إلى الساق (11.46%) مقارنة بالشاهد. ظهر التأثير المثبط للنحاس عند التراكيز الأعلى وبلغ ذروته عند 500 مغ/ل، إذ انخفضت المؤشرات نفسها بنسب بلغت على الترتيب 9.78%، و10.07%، و18.50%، و16.87% مقارنة بالشاهد.

وجد [5] أن التركيزين 100 و200 µM من CuCl2 لم يؤثرا معنوياً في نسبة إنبات صنف الكوسا Quarantaine التي بلغت في الشاهد والتركيزين على الترتيب (93.33، 92.0، 89.33 %)، لكن انخفض مؤشر قوة البادرات SVI بنسبة 37.7% و50.4% مقارنة بالشاهد الذي سجل 1092.5، وانخفض طول الجذر من 4.45 سم في الشاهد إلى 3.36 و2.15 سم على الترتيب، وطول السويقة الفلقية من 7.26 سم إلى 4.04 و3.92 سم، وطول البادرة من 11.71 سم إلى 7.4 سم و6.07 سم. واختلفت نسبة السويقة إلى الجذر (1.87 في الشاهد مقابل 1.58 و2.09 عند 100 و200 µM على الترتيب).

تعد الكوسا .*Cucurbita pepo* L إحدى نباتات الفصيلة القرعية Cucurbitaceae ذات الأهمية الاقتصادية والغذائية والطبية. إذ تنتشر زراعتها في جميع المحافظات السورية، وقد بلغت المساحة المزروعة بها 4999 هكتاراً أنتجت 76017 طناً عام 2023م. تصدرت عندها محافظة طرطوس بمساحة قدرها 1565 هكتاراً أنتجت 22543 طناً، تلتها محافظة حلب بمساحة قدرها 1129 هكتاراً، وإنتاجٍ بلغ 16935 طناً [8]. تتميز ثمار الكوسا بانخفاض سعراتها الحرارية، وارتفاع

محتواها المائي (95%)، واحتوائها على الألياف والفيتامينات والمعادن، كما تستخدم بعض أجزاء النبات في الطب الشعبي والصناعات الدوائية [25].

هدف البحث:

نظراً لحساسية مرحلتي إنبات البذور ونمو البادرات للإجهادات اللا أحيائية، ومنها الإجهاد الملحي وتلوث التربة بالعناصر الثقيلة كالنحاس. ونظراً للأهمية الاقتصادية والغذائية لنبات الكوسا في سورية. فقد هدف هذا البحث إلى مقارنة تاثير الإجهاد الملحي لكلوريد الصوديوم (NaCl) والإجهاد الأيوني لكبريتات النحاس ($CuSO_4$) في إنبات بذور هجين الكوسا Luna ونمو بادراته، من خلال تقييم تأثير تراكيز مختلفة من كل منهما في المؤشرات الآتية:

1- مؤشرات إنبات البذور: طاقة الإنبات، نسبة الإنبات، متوسط زمن الإنبات، مؤشر الإنبات، مؤشر قوة البادرات.

2- مؤشرات نمو البادرات: طول الجذر، طول السويقة الفلقية، طول الأوراق الفلقية، الطول الكلي للبادرة، الوزن الجاف للبادرة.

مواد البحث وطرائقه:

المادة النباتية:

استخدمت بذور هجين الكوسا Luna من إنتاج شركة (دايموند) الإسبانية، والتي تم الحصول عليها من السوق المحلية. يتصف الهجين بأنه ذو ثمار مخروطية الشكل عالية الجودة، لونها أخضر داكن لماع، طولها 13-15 سم، وهو مخصص للزراعة الربيعية والخريفية. النبات قوي، مستمر النمو ذو تغطية جيدة للثمار، إنتاجه عالٍ، ومتحمل جيد لفيروس تبرقش واصفرار أوراق الكوسا وفيروس تبرقش البطيخ [62].

مكان تنفيذ البحث:

نفذ البحث في مخبر فيزيولوجيا النبات، كلية الهندسة الزراعية، جامعة حمص.

إعداد البذور وزراعتها:

اختيرت بذور متوسطة الحجم ومتماثلة لإجراء الاختبار. وُضِعَتِ عشرُ بذور في أطباق بتري (قطر 11 سم) على ورق ترشيح مبلل بـ 4 مل من الماء المقطر (شاهد) أو محلول المعاملة. وُضِعت الأطباق في الظلام بدرجة حرارة الغرفة (17±2°م). أُعيد ترطيب ورق الترشيح بالمحلول المناسب عند الحاجة.

معاملات التجربة:

تضمنت معاملات التجربة:

- محاليل من ملح كلوريد الصوديوم NaCl بتراكيز (50، 100، 150 mM) تعادل ناقلية كهربائية بلغت على الترتيب (4.38، 8.85، 12.56 dS/m) مقاسة عند درجة حرارة 25 مئوية.
- محاليل من كبريتات النحاس CuSO4.5H2O بتراكيز (100، 200، 500، 1000، 2000 µM).

حُضّرتِ المحاليل باستخدام الأملاح النقية المخبرية والماء المقطر الذي استُخدم كشاهدٍ. وحُضِّرت أولاً محاليل أم (1 M NaCl و10 mM $CuSO_4$)، ومنها تم تحضيرُ التراكيز المطلوبة للمعاملات.

المؤشرات المدروسة:

أولاً: مؤشرات إنبات البذور:

استمرت التجربة 14 يوماً، تم خلالها عد البذور النابتة يومياً، حيث عُدَّت البذرة نابتة عند بروز الجذير (2 مم). حسبت جميع مؤشرات الإنبات اعتماداً على عدد البذور النابتة حتى اليوم العاشر من بدء التجربة، وذلك لأن أغلب المكررات استقرت عند هذا اليوم. ماعدا طاقة الإنبات حسبت في اليوم الثالث (يوم ذروة الإنبات للشاهد) [15]، ومؤشر قوة البادرات حسب على أساس نسبة الإنبات

المسجلة في اليوم 14 لأن بعض المكررات استمر إنباتها حتى ذلك اليوم. تضمنت مؤشرات الإنبات الاتي:

أ- طاقة الإنبات (Germination Energy, GE) (%) [29]:

GE = (عدد البذور النابتة في اليوم الثالث/ العدد الكلي للبذور) X 100

ب- نسبة الإنبات (Germination percentage, GP) (%) [29]:

GP = (العدد الكلي للبذور النابتة /العدد الكلي للبذور) X 100

ج- مؤشر الإنبات (Germination Index, GI) [49]:

GI = مجموع (عدد البذور النابتة حديثاً في اليوم i / رقم اليوم i)

د- متوسط زمن الإنبات (Mean germination time, MGT) (يوم) [19، 43]:

MGT = مجموع (عدد البذور النابتة حديثاً في اليوم i X رقم اليوم i)/ العدد الكلي للبذور النابتة

و- مؤشر قوة البادرات (Seedling Vigour Index, SVI). [2]:

SVI_L = [نسبة الإنبات (%) X الطول الكلي للبادرة (سم)] X 100

ثانياً: مؤشرات نمو البادرات:

صورت البادرات بعمر 14 يوماً من كل طبق بتري، وقيست المؤشرات التالية على أطول البادرات النامية بشكل طبيعي باستخدام برنامج ImageJ المتاح مجاناً على الرابط :http://rsbweb.nih.gov/ij

أ- طول الجذر الأولي للبادرة (سم). ب- طول السويقة الفلقية (سم). ج- طول الأوراق الفلقية (سم). د- الطول الكلي للبادرة (سم) هـ- نسبة طول السويقة الفلقية إلى طول الجذر الأولي

كما جُففت البادرات في فرن على درجة حرارة 65 °م لمدة 72 ساعة، ثم وزنت البادرات الجافة وسجل الوزن الجاف للبادرة (مغ) [33].

ثالثاً: القياس الكمي لانخفاض قيمة الصفة المدروسة:

[(قيمة الصفة في الشاهد – قيمة الصفة في المعاملة)/ قيمة الصفة في الشاهد] X 100

رابعاً: مؤشر التحمل (Tolerance indices, TI) [6، 31]:

TI= (متوسط طول الجذر في المعاملة/ متوسط طول الجذر في الشاهد) X 100

تصميم التجربة والتحليل الإحصائي:

اتُبع في التجربة التصميم العشوائي الكامل (CRD). تضمنت التجربة تسع معاملات، كررت كل معاملة ثلاث مرات. وتضمّن كل مكرر عشر بذور. حلّلتُ البيانات باستخدام تحليل التباين الأُحادي (ANOVA)، وقورنت المتوسطات باستخدام اختبار Tukey عند مستوى معنوية $p\leq0.05$، وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي GenStat 12.

النتائج والمناقشة:

أولاً: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في مؤشرات إنبات بذور هجين الكوسا Luna:

1-1: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في طاقة الإنبات:

تشير طاقة الإنبات GE إلى سرعة الإنبات المبكر للبذور، ومدى حساسية البذور للإجهادات المطبقة. أظهرت النتائج أن إضافة الأملاح إلى الوسط أدت إلى انخفاض GE، وكان تأثير NaCl أكبر من تأثير $CuSO_4$، والتراكيز المرتفعة أكثر تاثيراً من المنخفضة (الجدول 1). بلغت GE في الشاهد 43.33%، وانخفضت عند 50 mM NaCl إلى 16.67%. وكانت صفراً عند 100 و150 mM. يشير ارتفاع GE في الشاهد إلى سرعة تشرب البذور للماء مقارنة بالمعاملات الملحية [57]. بينما يعكس انخفاض GE في معاملات NaCl تأخر بدء الإنبات. وذلك لأن التركيز 50 mM

خفّض الجهد الأسموزي للمحلول الخارجي بشكل طفيف، مما قلل سرعة تشرب البذور للماء، بالتالي تأخرت البذور في الوصول إلى الإماهة اللازمة لبدء التنفس وتنشيط الأنزيمات المحللة للمدخرات الغذائية من جهة، وانخفض المحتوى المائي للبذور اللازم لتأمين وسط انتشار المواد البسيطة وانتقالها إلى الميرستيم القمي للجذير من جهة أخرى [63]. فنتج عن ذلك انخفاض GE بنسبة 38.47% مقارنة بالشاهد. مع زيادة التركيز الملحي ازدادت سالبية الجهد الأسموزي، فقلت كمية الماء المتاحة للتشرب، وتأخر الإنبات حتى وصل التأخير إلى 100% عند 100 و150 mM.

لم تؤثر تراكيز $CuSO_4$ (100، 200، 500 µM) في طاقة الإنبات مقارنة بالشاهد (43.33%)، بينما انخفضت GE عند 1000 و2000 µM إلى 36.67% و30.00% على الترتيب، ولم تكن الفروق معنوية (الجدول 1). يدل عدم تأثر GE في التراكيز الثلاثة الأولى إلى غياب تأثير أسموزي أو أيوني للنحاس في سرعة الإنبات المبكر. أما الانخفاض في أعلى تركيزين (بنسبة 15.37% و30.76% مقارنة بالشاهد) فيشير إلى احتمال تأثير ضار لأيون النحاس أدى إلى تأخير الإنبات عبر التأثير في معدل العمليات الحيوية للبذرة. تؤكد النتائج أن التراكيز العالية من الأملاح تظهر تأثيرها السلبي في الإنبات والنمو المبكر في وقت أبكر من التراكيز المنخفضة.

1-2: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في نسبة الإنبات:

يبين الجدول (1) اختلاف نسبة الإنبات GP باختلاف المعاملات. بلغت GP في الشاهد 73.33%، ارتفعت عند 50 mM NaCl إلى 80% بنسبة زيادة 9.1% دون فروق معنوية. رغم تأخر بدء الإنبات، لم تتأثر النسبة النهائية بل زادت قليلاً ربما بسبب ظاهرة الهورميسيس (Hormesis)، حيث يكون للمجهد تأثير محفز في التراكيز المنخفضة ومثبط في التراكيز المرتفعة [22]. فالتأثير المحفز للتركيز 50 mM قد نشأ عن تهيئة أسموزية طبيعية حمَت البذرة من صدمة التشرب المائي السريع التي ربما تعرضت لها بذور الشاهد [75]. كما قد يعود التأثير الإيجابي إلى دور عنصري الكلور والصوديوم كعناصر مغذية في التراكيز المنخفضة [63]؛ فالكلور موجود في أكثر من 130 مركباً عضوياً في النباتات [21]، وهو أيون متحرك يسهم في توازن الشحنة الكهربائية، وتحفيز مضخة البروتونات ATPase في الغشاء الفجوي [18]، وتنظيم الضغط الأسموزي [28].

انخفضت GP عند 100 mM NaCl إلى 53.33% بنسبة 27.3% بفروق غير معنوية مقارنة بالشاهد (73.33%) لكنها كانت معنوية مقارنة بتركيز 50 mM. بلغت GP أقل قيمة (33.33%) عند 150 mM NaCl (انخفاض 54.5%) بفروق معنوية مقارنة بالشاهد وتركيز 50 mM (الجدول 1). تتفق هذه النتائج مع دراسات سابقة [1]، وأخرى بينت استجابات مختلفة حسب النوع والتركيز، مع إجماع على انخفاض GP في التراكيز المرتفعة [20، 24، 33، 38، 56، 58، 64، 69].

تعتمد آلية تأثير NaCl على إحداث إجهاد أسموزي، وسمية أيونية، وخلل في التوازن الهرموني [51]. فالتركيز العالي للأملاح يخفض الجهد المائي حول البذرة، فيصعب تشرب الكمية اللازمة من الماء بالسرعة نفسها التي تتشرب بها البذور الماء في الشاهد (ماء مقطر)، وذلك بسبب انخفاض التدرج في الجهد الأسموزي بين أنسجة البذرة والوسط المحيط، ومع زيادة التركيز الملحي في الوسط تزداد سالبية الجهد الأسموزي وتقل أكثر إمكانية البذرة على تشرب الماء [51، 63]. يختلف إبطاء تشرب البذرة للماء بتأثير الإجهاد الملحي باختلاف الطراز الوراثي [78]. وهو يقلل من معدل تنشيط العمليات الاستقلابية ويختل سير العمليات اللازمة لإنبات البذرة عبر تعطيل نشاط الأنزيمات المسؤولة عن تفكيك المدخرات الغذائية المعقدة [77]، وإعطاء مواد بسيطة وطاقة لازمة لنمو جنين البذرة من خلال عمليتي الانقسام الخلوي والاستطالة الخلوية. فقد تبين أن انخفاض كمية الماء المُتشربة من قبل البذور يقلل نشاط أنزيم α–amylase، ويمنع اصطناع الجبرلين، ويزيد محتوى حمض الأبسيسيك [12]، وهذا ما بينته نتائج [76] أن الإجهاد الملحي يُثبط إنبات البذور الأرابيدوبسيس عن طريق تنشيط اصطناع حمض الأبسيسيك وإشاراته، وتثبيط إشارات الجبريلين والأوكسين.

تؤدي التراكيز الملحية المرتفعة إلى تراكم أيونات Na^+ وCl^- في أنسجة الجنين والفلقات مسببة سمية أيونية [33]، واضطراب التوازن الأيوني (زيادة Na^+ ونقص K^+ الضروري لعمل الأنزيمات، وتنظيم الضغط الأسموزي، والوظائف الخلوية العامة)، وتأثير سلبي في العمليات الاستقلابية [26]. كما تحث السمية الأيونية إنتاج أنواع الأوكسجين التفاعلية (ROS)، مما يسبب إجهاداً تأكسدياً

فتتأكسد الدهون والبروتينات، وتتلف الأغشية الخلوية، ويتعطل عمل الأنزيمات الضرورية للعمليات الاستقلابية أثناء الإنبات [51] ويزداد التسرب الإلكتروليتي [33]. كما تؤخر الملوحة بدء الانقسام الخلوي، وتعطل بعض مراحله، فتنتج بادرات مشوهة عند التراكيز المرتفعة [68]، وتقل الاستطالة الخلوية بسبب انخفاض ضغط الامتلاء والمواد البسيطة اللازمة [63].

سجِّلت جميع تراكيز $CuSO_4$ ارتفاعاً في GP مقارنة بالشاهد (80–90%) لكن الفروق غير معنوية (الجدول 1). يتفق هذا التحسن مع [13]، وعدم وجود تأثير معنوي مع دراسات [5، 70]. لكنه يختلف مع [10، 48، 79].

يُعزى عدم تأثير النحاس في GP إلى دور غلاف البذرة كحاجز يمنع أو يحجز أيونات النحاس فيزيائياً أو كيميائياً، بفضل تركيبته من الليغنين، السليلوز، الهيميسليلوز والبكتين؛ فلا تتمكن أيونات النحاس من اجتياز جدر الخلايا [5، 60، 72]. كما أكدت الدراسات أن أنسجة الغلاف تعمل نفاذية انتقائية للعناصر الثقيلة ومنها النحاس مما يمكنها من الإنبات بوجود تراكيز مرتفعة منه [45]. وقد تعود زيادة GP (9.1–22.73%) إلى وصول نسبة قليلة من النحاس إلى الأنسجة الداخلية للبذرة، حيث يؤدي أدواراً فيزيولوجية منها دوره كعامل أكسدة وإرجاع بتراكيز منخفضة، ومشاركته في تكوين جدر الخلايا [28]. يختلف الدور الوقائي للغلاف بين الأنواع النباتية لاختلاف بنيته التشريحية [73] فبعض الأنواع مثل الأرابيدوبسيس لم تنبت عند 200 µM نحاس [45]، والخيار انخفض إنباته معنوياً عند تراكيز أعلى من 1000 µM في دراسة [55]، وبين 40 و640 مغ/ل $CuCl_2$ في دراسة [10]. وهنا قد يعود السبب في انخفاض نسبة إنبات البذور إلى تثبيط هدم حمض الأبسيسيك عبر تثبيط تعبير جينات تشارك في استقلابه (مثل ABA8ox2 في الأرز عند 30 µM) وما يرافق ذلك من تثبيط أنزيم الكاتالاز وزيادة محتوى البذور النابتة من بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) استجابة للإجهاد التأكسدي [45، 80].

1–3: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في متوسط زمن الإنبات:

يُعبر متوسط زمن الإنبات (MGT) عن سرعة الإنبات وحيوية البذور [66]. أظهرت النتائج أن NaCl قلل سرعة الإنبات مقارنة بالشاهد (الجدول 1). كان MGT للشاهد 3.798 يوماً، وارتفع إلى 4.748 يوماً عند 50 mM (تأخر 0.95 يوماً) بفروق غير معنوية، وإلى 5.667 و5.972 يوماً

عند 100 و150 mM (تأخر 1.869 و2.174 يوماً) بفروق معنوية. يتفق ارتفاع MGT مع زيادة التركيز الملحي مع دراسات سابقة [33، 58]. يشير ارتفاع MGT في المعاملات الملحية إلى انخفاض سرعة الإنبات وحيوية البذور بسبب آليات أسموزية أعاقت حصول البذور على حاجتها من الماء، وازدادت حدتها في التراكيز المرتفعة التي رافقها سمية أيونية [26، 33، 51، 63، 78].

أدت تراكيز $CuSO_4$ (عدا 100 µM) إلى زيادة طفيفة في MGT (3.767 – 4.243 يوماً)، إذ بلغ أقصى تأخر 0.445 يوماً عند 2000 µM ولم تكن الفروق معنوية (الجدول 1). تنسجم هذه النتائج مع [67].

الجدول 1: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في بعض مؤشرات إنبات بذور هجين الكوسا Luna.

المؤشر / المعاملة	طاقة الإنبات GE (%)	نسبة الإنبات GP (%)	متوسط زمن الإنبات MGT	مؤشر الإنبات GI	مؤشر قوة البادرة SVI
شاهد (ماء مقطر)	43.33 a	73.33 ab	3.798 b	2.070 a	1863 ab
NaCl mM 50	16.67 a	80.00 a	4.748 ab	1.867 a	1405 bc
NaCl mM 100	0.00 b	53.33 bc	5.667 a	0.973 b	354 de
NaCl mM 150	0.00 b	33.33 c	5.972 a	0.565 b	53 e
$CuSO_4$ µM 100	43.33 a	80.00 a	3.767 b	2.258 a	2148 a
$CuSO_4$ µM 200	43.33 a	86.67 a	3.933 b	2.359 a	1955 ab
$CuSO_4$ µM 500	43.33 a	83.33 a	4.079 b	2.253 a	1599 abc
$CuSO_4$ µM 1000	36.67 a	90.00 a	3.945 b	2.400 a	1296 bc
$CuSO_4$ µM 2000	30.00 a	83.33 a	4.243 b	2.139 a	956 cd
CV%	23.6	17.4	10.5	16.4	19.8

تشير الأحرف المشتركة ضمن العمود نفسه إلى عدم وجود فروق معنوية وفقاً لاختبار Tukey عند ($p\leq0.05$).

1-4: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في مؤشر الإنبات:

يعكس مؤشر الإنبات (GI) تحمل البذور للإجهاد أو حساسيتها، وتحسين الإنبات بفعل المعاملات، ويعبر عن سرعة الإنبات والتزامن وحيوية البذور [36]. انخفض GI في معاملات NaCl مقارنة بالشاهد (الجدول 1). لم تكن الفروق معنوية عند 50 mM، لكنها كانت معنوية عند 100 و150 mM وبلغت القيم على الترتيب (1.867، 0.973، 0.565) مقابل 2.070 في الشاهد. كانت نسب الانخفاض على الترتيب 9.80%، 53%، 72.71%. مما يدل على ازدياد حساسية البذور للملوحة بزيادة التركيز، ووجود ارتباط وثيق بين سرعة إنبات بذور هجين الكوسا Luna ومدى تحمله للإجهاد الملحي، فقد انسجم انخفاض GI مع زيادة MGT (الجدول 1). يتفق ذلك مع [58]، ومع [33] أن الأصناف المتحملة للملوحة تعطي مؤشر إنبات أعلى.

سجلت معاملات $CuSO_4$ زيادة في GI مقارنة بالشاهد (2.070) بنسب غير منتظمة 9.08%، 13.96%، 8.84%، 15.94%، 3.33% للتراكيز (100، 200، 500، 1000، 2000 µM) على الترتيب، لكن الفروق لم تكن معنوية. ينسجم ذلك مع عدم اختلاف MGT معنوياً (الجدول 1). يختلف تأثير النحاس المسجل هنا مع بعض الدراسات على أنواع أخرى كالفليفلة [30].

1-5: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في مؤشر قوة البادرات:

يقيس مؤشر قوة البادرات (SVI) سرعة الإنبات وتجانسه وقابلية الإنبات المبكر والنمو المبكر مع إعطاء بادرات طبيعية قادرة على متابعة نموها في الحقل، وهو مقياس لحيوية البذور [2]. سجل SVI عند 50 mM NaCl قيمة 1405(انخفاض 24.58% عن الشاهد 1863) بفروق غير معنوية. فعلى الرغم من التحفيز الأسموزي الإيجابي في رفع GP، إلا أن SVI انخفض بسبب تأخير الإنبات وضعف نمو الجذر. عند 100 mM انخفض SVI بنسبة 81% إلى 354 بفروق معنوية مع كل من الشاهد والتركيز 50 mM، مما يدل على ضعف حيوية البذور وتأخر الإنبات وتأثر نمو البادرات. عند 150 mM، لم تتجاوز قيمة SVI 53 وكانت الفروق معنوية مقارنة بالشاهد (أقل بنسبة 97.16%)، والتركيز 50 mM (الجدول 1)، مما يشير إلى شدة التأثير نتيجة النقص الشديد في كمية الماء الممتصة بسبب زيادة سالبية الجهد الأسموزي للمحلول الخارجي، بالإضافة إلى حدوث

سمية أيونية ناتجة عن تراكم أيونات Na^+ وCl^- في أنسجة البذرة [26، 33، 51، 63]. يتفق ذلك مع [33] حول انخفاض SVI بزيادة التركيز الملحي [26، 33، 51، 63، 78].

أظهر $CuSO_4$ تأثيراً معتمداً على التركيز. فالتراكيز المنخفضة (100، 200 µM) سجلت قيماً أعلى لمؤشر قوة البادرة بلغت على الترتيب (2148، 1955) بنسب زيادة بلغت على الترتيب (15.30، 4.94%) بالمقارنة مع الشاهد الخالي من كبريتات النحاس لكنها لم تختلف معنوياً عنه، مع ملاحظة أن أعلى القيم سجلها التركيز الأقل ثم انخفضت قيمة SVI مع زيادة التركيز. تابعت قيمة SVI انخفاضها في التراكيز الأعلى لـ $CuSO_4$ حتى أصبحت أقل من الشاهد (14.17، 30.43%) في التركيزين 500 و1000 µM إذ سجلت على الترتيب (1599، 1296) مع ذلك بقيت الفروق غير معنوية بالمقارنة مع الشاهد، لكنها أصبحت معنوية بين 1000 µM و100 µM. ازداد انخفاض SVI مع زيادة التركيز إلى 2000 µM وعندها بلغ 956 بنسبة انخفاض 48.68%، وأصبحت الفروق معنوية بالمقارنة مع الشاهد والتركيزين 100 و200 µM (الجدول 1). يتفق ذلك مع [5]. تشير النتائج إلى أن التراكيز المنخفضة من كبريتات النحاس زادت من حيوية البذور دون أن تؤثر سلباً في نمو البادرات، بينما التراكيز الأعلى أحدثت إجهاداً أثّر في نمو البادرات (الجدول 2).

ثانياً: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في مؤشرات نمو بادرات هجين الكوسا Luna:

2-1: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في طول الجذر الأولي للبادرة:

سجلت بادرة الشاهد أطول جذر (20.80 سم) مقارنة بجميع المعاملات المدروسة (الجدول 2). أدت الملوحة إلى انخفاض معنوي في طول الجذر ازداد مع زيادة التركيز، فبلغ طول الجذر (14.3، 5.12، 1.00 سم) عند (50، 100، 150 mM) على الترتيب، بنسب انخفاض 31.20%، 75.38%، 95.19% وبلغ مؤشر التحمل للجذر TI عند 50 mM 68.92%، ثم انخفض التحمل بشدة عند 100 mM إلى 24.59% وكاد ينعدم (4.82%) عند 150 mM، لم تكن الفروق معنوية

بين التحمل في التركيزين الأعلى، لكنها كانت معنوية بالمقارنة مع التحمل عند 50 mM (الجدول 2). يتفق ذلك مع [33، 32، 35، 38، 69].

تشير النتائج إلى ارتباط سلبي بين الإجهاد الملحي وطول الجذر. إذ تؤدي الملوحة إلى انخفاض الجهد المائي لوسط النمو. نتيجةً لذلك، يمتص النبات كمية أقل من الماء، فينخفض ضغط الامتلاء الخلوي، مما يثبط انقسام الخلايا في الميرستيم القمي واستطالتها لاحقاً، بالتالي يتباطأ نمو الجذر [63، 51، 68]. تزداد شدة تأثر هذه العمليات الحيوية بزيادة التركيز الملحي. كما أن وجود الجذور في تماس مباشر مع الوسط الملحي يؤدي إلى تراكم أيونات الصوديوم (Na^+) والكلور (Cl^-) في أنسجة الجذر، ومن ثم انتقالها إلى الفلقات، مما يُحدث خللاً في العمليات الاستقلابية وتغييراً في نشاط الأنزيمات المشاركة في عمليات حيوية كالتنفس. وينتج عن هذا الإجهاد زيادة تراكم بعض المركبات النشطة بيولوجياً كالسكريات الذائبة والأحماض، والبرولين، والفينولات الكلية، إلى جانب تعزيز القدرة المضادة للأكسدة، كما يؤثر الإجهاد الملحي سلباً في سلامة الأغشية الخلوية، مما يرفع من معدل التسرب الإلكتروليتي، ويعيق تحويل المدخرات الغذائية المعقدة إلى مواد بسيطة قابلة للانتقال إلى مناطق النمو في الجذر [12، 26، 33، 44، 51، 54، 77، 78]. كما يتأثر التوازن الهرموني ضمن البادرة فيزداد إنتاج الإيثلين [1]. تؤدي العوامل السابقة معاً إلى إضعاف نمو الجذر.

تسبَّبت معاملات $CuSO_4$ في قصر جذور البادرات مقارنة بالشاهد، وازداد القصر مع زيادة التركيز. عند 100 و200 µM لم تكن الفروق معنوية (19.43، 18.28 سم مقابل 20.80 سم في الشاهد)، بينما كانت معنوية عند 500، 1000، 2000 µM (15.07، 10.12، 7.50 سم) بنسب انخفاض بلغت على الترتيب (27.55، 51.35، 63.94 %)، وقد كانت الفروق معنوية بين كل من التركيزين 100 و200 µM من جهة، والتركيزين الأعلى 1000 و2000 µM من جهة أخرى، وبين التركيز 500 µM والتركيز 2000 µM. بلغ مؤشر تحمل الجذر 94.28% عند 100 µM متفوقاً على بقية المعاملات عدا التركيز 200 µM (87.89%). بدأ التحمل بالانخفاض الملحوظ من تركيز 500 µM (73.1%)، ووصل إلى أقل من 50% عند 1000 µM، وإلى 37.78% عند 2000 µM (الجدول 2). تنسجم هذه النتائج مع دراسات على أنواع أخرى [5، 45، 55، 67، 70].

أظهرت النتائج أن مرحلة نمو البادرة أكثر حساسية للنحاس من مرحلة الإنبات يتفق ذلك مع [45] على الأرابيدوبسيس و[55] على الخيار. يُفسر ذلك بأن غلاف البذرة يحمي الجنين فيزيائياً أو كيميائياً أو عبر النفاذية الاختيارية من التراكيز العالية للنحاس [5، 45، 60، 72]، لكن عندما يخرج الجذير من غلاف البذرة يصبح على تماس مباشر مع المحلول فيتراكم النحاس في جميع أجزاء البادرة من جذر وفلقات وسويقة فلقية [47]، ويسبب سمية عبر التأثير في الانقسامات الميتوزية في الميرستيم القمي للجذر(يتضرر الـ DNA، وتشكيل الكروموزومات والنويات، وعدد الخلايا المنقسمة، وأطوار الانقسام)، والتأثير في استطالة الخلايا في المنطقة التي تعلو الميرستيم القمي [34، 47، 61، 81] وقد يحدث ذلك عبر إعادة توزيع الأوكسين التي ينظمها PINFORMED1 (PIN1) في منطقة النسيج المرستيمي، مما يؤدي إلى زيادة نشاط الأوكسين في منطقتي الاستطالة والمرستيم، ويثبط استطالة الجذر؛ ربما دون تدخل الإيثيلين [82] .

قد يعود سبب قصر الجذر أيضاً إلى نقص الإمداد الغذائي بسبب تعطل تحلل المدخرات الغذائية في الفلقات. فخلال الإنبات تتحطم بروتينات التخزين ضمن الفلقات وتقدم الأحماض الأمينية اللازمة لتحفيز نمو الجنين، لكن النحاس له تأثير سلبي على عمل الأنزيمات اللازمة لتلك العملية [39، 40] فيحدث نقص في انتقال المواد اللازمة لعمليات النمو (انقسام الخلايا واستطالتها). يعيق النحاس أيضاً انتقال السكريات الذائبة (غلوكوز وفركتوز) من الفلقات، ويقلل نشاط الأنزيمات α− amylase وinvertase فيقل تفكيك النشاء [65]. إن عدم كفاءة العمليات الاستقلابية للبذرة خلال تطور البادرة سيؤدي إلى إعطاء نبات ضعيف لاحقاً. كما يؤثر النحاس في سلامة الجدار الخلوي والأغشية (فتفقد الخلايا خاصية النفاذية الاصطفائية) [23، 59، 71]. وربما حدث ايضاً تغيير في بنية الجدر الخلوية للجذر لمواجهة السمية الأيونية، كزيادة نشاط أنزيمات البيروكسيداز، وحدوث ترسب لليغنين في الجدر الخلوية [17] مما أدى إلى إيقاف الاستطالة الخلوية مبكراً.

الجدول 2: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في مؤشرات نمو بادرات هجين الكوسا Luna.

المؤشر / المعاملة	طول الجذر الأولي (سم)	مؤشر التحمل TI	طول السويقة الفلقية (سم)	طول الأوراق الفلقية (سم)	الطول الكلي للبادرة (سم)	نسبة طول السويقة الفلقية إلى طول الجذر	الوزن الجاف للبادرة مغ

	الأولي S/R						
80.34 a	0.1738 b	24.42 a	1.480 a	3.621 ab	-	20.80 a	شاهد (ماء مقطر)
78.24 a	0.1551 b	16.46 cd	1.335 ab	2.149 bc	68.55 ab	14.31 bc	NaCl mM 50
80.19 a	0.1622 b	5.90 ef	1.081 b	0.784 cd	24.37 cd	5.12 de	NaCl mM 100
60.9 b	0.3164 ab	1.28 f	1.064 b	0.280 d	5.18 d	1.00 e	NaCl mM 150
77.85 a	0.2367 ab	23.99 ab	1.292 ab	4.560 a	89.95 a	19.43 ab	$CuSO_4$ µM 100
81.87 a	0.2345 ab	22.56 ab	1.470 a	4.276 a	89.95 a	18.28 ab	$CuSO_4$ µM 200
81.20 a	0.2231 ab	18.42 bc	1.398 a	3.350 ab	74.74 ab	15.07 bc	$CuSO_4$ µM 500
80.09 a	0.373 ab	13.89 cd	1.442 a	3.763 ab	49.54 bc	10.12 cd	$CuSO_4$ µM 1000
81.18 a	0.4347 a	10.64 de	1.434 a	3.138 ab	38.23bcd	7.50 d	$CuSO_4$ µM 2000
5.5	34.1	13.7	7.8	21	23.6	15.5	CV%

تشير الأحرف المشتركة ضمن العمود نفسه إلى عدم وجود فرق معنوي وفقاً لاختبار Tukey عند ($p\leq0.05$).

2-2: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في طول السويقة الفلقية:

بلغ طول السويقة الفلقية في الشاهد 3.621 سم، وأدت الملوحة إلى انخفاض غير معنوي في طولها بنسبة 40.65% عند تركيز 50 mM ليصل إلى 2.149 سم، وانخفاض معنوي بنسبة 78.35% عند تركيز 100 mM ليصل إلى 0.784 سم. تجدر الإشارة إلى أنه في التركيز الأعلى 150 mM لم يظهر من البادرة سوى الجذر الأولي، لذلك تم نزع غلاف البذرة، وقِيسَ طول السويقة الفلقية، فتبين أنه لم يتجاوز 0.28 سم، وكانت الفروق معنوية مقارنة بالشاهد وتركيز 50 mM (الجدول 2). يتفق ذلك مع تأثير الملوحة في الصنف الأكثر حساسية Develi [33]، ومع [63]. يعود سبب التأثير الملحي في خفض طول السويقة الفلقية إلى تأثر الاستطالة الخلوية بانخفاض ضغط الامتلاء (بسبب سالبية الجهد الأسموزي للمحلول الخارجي) [63]. كما أن ضعف النمو الجذري يقلل من مساحة السطح الفعّال في امتصاص الماء فتقل كمية الماء الممتصة اللازمة لإتمام العمليات الاستقلابية والحيوية اللازمة للنمو مثل تنشيط أنزيمات تحلل المدخرات الغذائية في الفلقات، وانتقالها إلى أماكن النمو [12، 51، 63، 77]. ولعل الأيونات الواصلة لخلايا السويقة –إمّا المنتقلة مع تيار الماء المُمتص من الجذور والصاعد إلى السويقات الفلقية (واحتمالها ضعيف هنا بسبب قلة

النتح في النباتات النامية في الأطباق)، وإمّا الناتجة عن ملامسة وسط النمو – كان لها أثر سام في خلايا السويقات الفلقية؛ ممَّا أدى إلى التأثير في آلية الاستطالة الخلوية.

لم يظهر تأثير معنوي للنحاس في طول السويقة الفلقية، فقد تراوحت القيم بين 4.560 سم (عند 100 µM) و3.138 سم (عند 2000 µM) (الجدول 2). يختلف ذلك عن التأثير السلبي المعنوي عند *Vigna radiata* [70]، و*Cucurbita pepo* L. [5، 67]، والخيار [55]. قد يعود السبب إلى أن التأثير السلبي للنحاس يظهر في الاستطالة الخلوية بشكل أكبر عند التراكيز الأعلى.

2-3: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في طول الأوراق الفلقية:

لم يختلف طول الأوراق الفلقية (1.335 سم) عند 50 mM NaCl معنوياً عن الشاهد (1.480 سم). بينما انخفض معنوياً عند 100 mM إلى 1.081 سم (26.96%). في التركيز الأعلى 150 mM، وبعد نزع أغلفة البذرة لإظهار الأوراق الفلقية، وُجِدَ أن طولها بلغ 1.064 سم؛ وهو لم يختلف معنوياً عن بقية التراكيز الملحية، إلّا أنه كان أقل معنوياً مقارنة بالشاهد. يعود تأثير الملوحة في طول الأوراق الفلقية إلى قلة تشرب البذور للماء الذي ازدادت حدته وتأثيره مع زيادة انخفاض الجهد الأسموزي بزيادة التركيز، وما يتبعه من تأثير في التغيرات الفيزيولوجية ضمن الفلقات الأمر الذي انعكس على مدى تمدد الأوراق الفلقية واستطالتها [3]. وقد يكون لسمية العناصر (Na^+، Cl^-) دور في ذلك.

كانت الأوراق الفلقية في معاملات $CuSO_4$ أقل طولاً من الأوراق الفلقية في الشاهد (1.292-1.470 سم مقابل 1.480 سم) لكن الفروق لم تكن معنوية، ولأن تأثر طول الأوراق الفلقية لم يكن منتظماً مع زيادة التركيز، فلا يمكن تفسيره بالسمية الأيونية.

2-4: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في الطول الكلي للبادرة:

ظهر التأثير السلبي للملوحة والنحاس في انخفاض الطول الكلي للبادرة (طول الجذر + طول السويقة الفلقية) مقارنة بالشاهد (الجدول 2). بلغ الطول الكلي للبادرة 16.46 و5.90 سم و1.28 سم عند التراكيز 50 و100 و150 mM من كلوريد الصوديوم، بنسب انخفاض بلغت على الترتيب

(32.60، 75.84، 94.76%). وكانت الفروق معنوية بالمقارنة مع الشاهد، وبين التركيز الأقل وكل من التركيزين الأعلى. ينسجم ذلك مع الانخفاض المسجل في أطوال الجذور والسويقات الفلقية بتأثير الملوحة (الجدول 2)، ويتفق مع [33، 69].

في معاملات $CuSO_4$، لم تكن الفروق في طول البادرة عند 100، 200 µM معنوية مقارنة بالشاهد (23.99، 22.56 سم مقابل 24.42 سم)، لكنها كانت معنوية عند 500 و1000 و2000 µM (18.42، 13.89، 10.46 سم)، وبلغت عندها نسب الانخفاض على الترتيب 24.57% و43.12% و56.43% (الجدول 2). ينسجم ذلك مع تأثير النحاس في طول الجذر و/أو السويقة الفلقية، ويتفق مع [5].

2-5: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في نسبة طول السويقة الفلقية إلى طول الجذر الأولي للبادرة:

لم تكن فروق نسبة طول السويقة الفلقية إلى طول الجذر S/R معنوية في معاملات NaCl (50 و100 و150 NaCl mM) مقارنة بالشاهد (0.1551 و0.1622 و0.3164 مقابل 0.1738 في الشاهد). بشكل مشابه لم تكن الزيادة الحاصلة في S/R معنوية في معاملات 100، 200، 500، 1000 µM $CuSO_4$ مقارنة بالشاهد، بينما كانت معنوية عند 2000 µM إذ بلغت 250.12% (0.4347). ولم تكن الفروق معنوية بين جميع معاملات كبريتات النحاس. توضح هذه النتائج أن تراكيز NaCl الأقل من 150 mM تثبط نمو السويقة الفلقية أكثر من نمو الجذر، بينما عند تركيز 150 mM من NaCl وجميع تراكيز $CuSO_4$ يحدث تثبيط لنمو الجذر بدرجة أكبر من السويقة الفلقية. وفي تراكيز $CuSO_4$ المرتفعة، تعطي البادرات نسبة مرتفعة بين السويقة الفلقية والجذر (S/R)، مما يدل على قصر طول الجذر لضعف نموه مقارنة بالسويقة، واحتمال إنتاج شتول ضعيفة نظراً لعدم قدرة الجذر على تدعيمها وإمدادها بما يكفي من الماء والعناصر المغذية.

2-6: تأثير كلوريد الصوديوم وكبريتات النحاس في الوزن الجاف للبادرة:

لم تظهر فروق معنوية في الوزن الجاف للبادرة في أي معاملة مقارنة بالشاهد (80.34 مغ)، ما عدا المعاملة 150 NaCl mM؛ إذ بلغ وزن البادرة 60.90 مع، ربما يعود ذلك إلى زيادة استهلاك

المدخرات الغذائية بالتنفس في التركيز الملحي المرتفع. أعطت التراكيز المنخفضة (50 mM NaCl، 100 μM $CuSO_4$) وزناً أقل قليلاً (78.24، 77.85 مغ) بينما أعطت بقية المعاملات أوزاناً قريبة أو أعلى قليلاً (الجدول 2). وقد يعود ذلك إلى تعويض جزئي عبر زيادة سمك أو كثافة الأنسجة رغم نقص طول الجذر. ويختلف ذلك عن نتائج [5، 32]، لكنه ينسجم مع [26] في عدم تأثر الوزن الجاف للسويقة الفلقية والجذر لبعض الأصناف بوجود الملوحة، ومع [79] في التراكيز المنخفضة من النحاس (يختلف معه في التراكيز المرتفعة).

الاستنتاجات:

1- يتحمل هجين الكوسا Luna الملوحة حتى التركيز 50 mM NaCl؛ إذ تزداد نسبة الإنبات قليلاً، وتنخفض مؤشرات الإنبات الأخرى بشكل غير معنوي.

2- الهجين حساس للملوحة في التراكيز المرتفعة؛ إذ تنخفض نسبة الإنبات، ويزداد متوسط زمن الإنبات وينخفض مؤشر الإنبات بشدة.

3- تعمل تراكيز كبريتات النحاس (100-2000 μM) على تحسين نسبة إنبات بذور هجين الكوسا Luna دون فروق معنوية في أي مؤشر من مؤشرات الإنبات.

4- مرحلة البادرات أكثر حساسية من مرحلة الإنبات لكل من NaCl و$CuSO_4$. إذ ينخفض مؤشر قوة البادرات (SVI) بزيادة التركيز الملحي حتى ينعدم النمو تقريباً عند تركيز 150 mM، بينما ينخفض تدريجياً بزيادة تركيز $CuSO_4$ بدءاً من 500 μM حتى تصبح الفروق معنوية عند 2000 μM.

5- الإجهاد الملحي (NaCl) أكثر تأثيراً من إجهاد النحاس عند التراكيز المستخدمة، بسبب تأثيره الأسموزي والأيوني المشترك.

التوصيات:

1- تجنب زراعة هجين الكوسا Luna في أراض تزيد ناقلية محلولها الأرضي عن ناقلية محلول NaCl تركيزه 50 mM (≈ 4.38 dS/m)، أو الري بمياه ملوحتها مماثلة لذلك.

2- ضرورة مراقبة محتوى النحاس القابل للامتصاص في الأراضي القريبة من مصادر التلوث (مثل المناطق الصناعية، والطرق السريعة، والأراضي التي تُستخدم فيها المبيدات الفطرية النحاسية بكثافة)؛ إذ يجب تجنب زراعة هجين الكوسا Luna في أراضٍ يصل محتوى النحاس القابل للامتصاص فيها إلى 500 µM أو أكثر.

المراجع العلمية:

1. Abd-Alla, A. M., Jones, R. A., & Abou-Hadid, A. F. (1992). Germination and early seedling growth responses of cucumber to NaCl salinity and calcium. In *Symposium on Soil and Soilless Media under Protected Cultivation in Mild Winter Climates 323* (pp. 429-442).
2. Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor determination in soybean seed by multiple criteria 1. *Crop science*, *13*(6), 630-633.
3. Abubakar, M. S. A., & Attanda, M. L. (2022). Factors that cause seed dormancy. In *Seed biology updates*. IntechOpen.
4. Abudan, Sh. (2010). A study on the role of saline water irrigation and poor natural drainage in the emergence of secondary saline patches in various areas of Syria. Al-Furat University Journal for Scientific Research and Studies, 1(1), pp. 190–211. [In Arabic]
5. Acila, S., Allioui, N., & Derouiche, S. (2026). Physiological responses of Cucurbita pepo seeds to cadmium and copper stress: Differential impacts on reserve mobilization, metabolic efficiency, and growth. *PLoS One*, *21*(1), e0341814.

6. Ahmad, I., Akhtar, M. J., Zahir, Z. A., & Jamil, A. (2012). Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Pak. J. Bot*, *44*(5), 1569-1574.
7. Al-Janabia, A. M. I., Al-Dulaimy, A. F., Sekhi, Y. S., Almohammedi, O. H., & Al-Taey, D. K. (2024). Effect of salt stress on growth and yield of plants: A Review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* , *1371(4)*, 042028.
8. Annual Agricultural Statistical Abstract (2023). *Department of Statistics, Directorate of Planning and International Cooperation*, Ministry of Agriculture and Agrarian Reform, Syrian Arab Republic. [In Arabic]
9. Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A. P., Kumari, A., Ghosh, T., Roy, A., Hembram, S., Gaikwad, D.J., Mondal, S. and Bhattacharya, S. (2023). Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1241736.
10. Aydin, S. S., Gökçe, E., Büyük, İ., & Aras, S. (2012). Characterization of stress induced by copper and zinc on cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings by means of molecular and population parameters. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, *746*(1), 49-55.
11. Ayoub, M. B. (2013). Assessment the Pb, Cu and Cd Deposition at Southern Bypass Roadside Soil in Damascus-Syria. *Science Journal of University of Zakho*, *1*(2), 814-820.
12. Bai, Y., Xiao, S., Zhang, Z., Zhang, Y., Sun, H., Zhang, K., Wang, X., Bai, Z., Li, C. and Liu, L. (2020). Melatonin improves the germination rate of cotton seeds under drought stress by opening pores in the seed coat. *PeerJ*, *8*, e9450.
13. Bankaji, I., Ben Hammouda, I., & Sleimi, N. (2017). Effect of priming on seed germination of Cucurbita pepo under copper stress. *American Journal of Life Science Researches*, *5*(3), 118-123.
14. Basit, A., Gulshan, A., Irfan, I., Kainat, A., Arooj , F. (2022). A systematic review on stress of heavy metals in plants. *GU Journal of Phytosciences*, 2(1), 48-59.
15. Boras, M. (1998). Seed production. *Tarabin Press*. [In Arabic]

16. Chaitanya, K. V., Krishna, C. R., Ramana, G. V., & Beebi, S. K. (2014). Salinity stress and sustainable agriculture-a review. *Agricultural Reviews*, *35*(1).
17. Chen, E. L., Chen, Y. A., Chen, L. M., & Liu, Z. H. (2002). Effect of copper on peroxidase activity and lignin content in Raphanus sativus. *Plant Physiology and Biochemistry*, *40*(5), 439-444.
18. Churchill, K. A., & Sze, H. (1984). Anion-sensitive, H+-pumping ATPase of oat roots: direct effects of Cl−, NO3−, and a disulfonic stilbene. *Plant Physiology*, *76*(2), 490-497.
19. Czabator, F. J. (1962). Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest science*, *8*(4), 386-396.
20. Doubbo Th. (2020). Effect of Treatment with Sodium Nitroprusside on Onion Seeds Germination and Seedling Growth Under Normal and Salinity Conditions. *Journal of Homs University*, 43 (14), 41-47. [In Arabic]
21. Engvild, K. C. (1986). Chlorine-containing natural compounds in higher plants. *Phytochemistry*, *25*(4), 781-791.
22. Erofeeva, E. A. (2024). Plant hormesis: the energy aspect of low and high-dose stresses. *Plant Stress*, *14*, 100628.
23. Fernandes, J. C., & Henriques, F. S. (1991). Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *The botanical review*, *57*(3), 246-273.
24. Francois, L. E. (1985). Salinity effects on germination, growth, and yield of two squash cultivars. *HortScience*, *20*(6), 1102-1104.
25. Gaur, M., Goswami, H., Sharma, S., Tyagi, R., Parki, P., & Sachdeva, M. (2026). Zucchini (*Cucurbita pepo* L.): Phytochemistry, nutritional profile, pharmacological activities and therapeutic potential: A Comprehensive Review. *International Journal of Pharmaceutical Chemistry and Analysis*,*13(1):*25-35
26. Guo, R., Shi, L., Ding, X., Hu, Y., Tian, S., Yan, D., Shao S., Gao Y., Liu R., Yang, Y. (2010). Effects of saline and alkaline stress on germination, seedling growth, and ion balance in wheat. *Agronomy journal*, *102*(4), 1252-1260.
27. Hachicha, M., & Abd El-Gawed, G. (2003). Aspects of salt-affected soils in the Arab world. In *Sustainable Strategies for Irrigation in*

Salt-prone Mediterranean Region: A System Approach. Proc. International Workshop, Cairo, Egypt (pp. 295-310).
28. Hänsch, R., & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, cl). *Current opinion in plant biology*, *12*(3), 259-266.
29. International Seed Testing Association [ISTA]. (2026). *International Rules for Seed Testing* (2026th ed.). Bassersdorf, Switzerland: ISTA. doi.org
30. Iosob, G. A., Nedeff, V. A. L. E. N. T. I. N., Sandu, I., Cristea, T. O., Prisecaru, M. A. R. I. A., & Sandu, I. G. (2019). The effect of heavy metals (copper and cadmium) on the germination of bell pepper seeds (*Capsicum annuum* L. var. Dariana Bac). *Revista de Chimie*, *70*(9), 3262-3266.
31. Iqbal, M. Z., & Rahmati, K. (1992). Tolerance of Albizia lebbeck to Cu and Fe application. *Pak. J. Bot.*, *43*(1): 445-452 427-430.
32. Iqbal, M. Z., Nayab, S., & Shafiq, M. (2018). Effects of copper on seed germination and seedling growth performance of Lens culinaris Medik. *Journal of Plant development*, *25*, 85.
33. Irik, H. A., & Bikmaz, G. (2024). Effect of different salinity on seed germination, growth parameters and biochemical contents of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seeds cultivars. *Scientific Reports*, *14*(1), 6929.
34. Jiang, W., Liu, D., & Liu, X. (2001). Effects of copper on root growth, cell division, and nucleolus of Zea mays. *Biologia Plantarum*, *44*(1), 105-109.
35. Jones Jr, R. W., Pike, L. M., & Yourman, L. F. (1989). Salinity influences cucumber growth and yield. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *114*(4), 547-551.
36. Kader, M. A. (2005). A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. In *Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales*, *138* (3-4), 65-75.
37. Kamrakji, S. S., Amer, A. W. M., El-Didy, S. M., & Tawfik, A. M. (2016). Salt accumulation in irrigated loamy soil; Lower Euphrates Valley, Syria. *Water Science*, *30*(1), 1-9.

38. Kareem, N., Javed, M., Rashid, M., Noreen, Z., Raees, K., Ilyas, A., & Ashraf, H. (2025). Early growth responses of selected cucurbit vegetables to salt stress. *International Journal of Applied and Experimental Biology*, *4*(2), 303-311.
39. Karmous, I., El Ferjani, E., & Chaoui, A. (2011). Copper excess impairs mobilization of storage proteins in bean cotyledons. *Biological trace element research*, *144*(1), 1251-1259.
40. Karmous, I., Khadija, J., Chaoui, A., & El Ferjani, E. (2012). Proteolytic activities in Phaseolus vulgaris cotyledons under copper stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *18*(4), 337-343.
41. Kattan, Z. (2006). Characterization of surface water and groundwater in the Damascus Ghotta basin: hydrochemical and environmental isotopes approaches. *Environ Geol*, *51*, 173-201.
42. Khalil, K., Dais, M., & Fares, B. (2024). Identification the sources of surface soil pollution with some heavy metals in Baniyas city by employing principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA). *Syrian Journal of Agricultural Research – SJAR*, *11*(2), 384–399. [In Arabic]
43. Laboriau, L. G. (1983). A germinação das sementes. Washington: Organização dos Estados Americanos. *Monografias científicas*, 174p.
44. Lessa, C. I. N., de Sousa, G. G., Sousa, H. C., da Silva, F. D. B., Gomes, S. P., & de Araújo Viana, T. V. (2022). Agricultural ambience and salt stress in production of yellow passion fruit seedlings. *Comunicata Scientiae*, *13*, e3703-e3703.
45. Li, W., Khan, M. A., Yamaguchi, S., & Kamiya, Y. (2005). Effects of heavy metals on seed germination and early seedling growth of *Arabidopsis thaliana*. P*lant growth regulation*, *46*(1), 45-50.
46. Lima, J. M. D. P., Sousa, G. G. D., Muengo, J. M., Pereira, M. J., Gomes, J., Sousa, H.C., Lessa, C.I., Viana, T.V.D.A., Silva, A.E.D. and Leite, K. N. (2025). Production of zucchini seedlings in different substrates under salt stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *29*(8), e289931.
47. Lin, J., Jiang, W., & Liu, D. (2003). Accumulation of copper by roots, hypocotyls, cotyledons and leaves of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Bioresource Technology*, *86*(2), 151-155.
48. Liu, H. Q., Mo, Y. F., Kong, X. Z., Liu, Y., & Liu, H. P. (2016). Effects of copper on germination of watermelon seeds and growth of

watermelon seedlings. In *Application of Materials Science and Environmental Materials (AMSEM2015) Proceedings of the 3rd International Conference* (pp. 108-113).

49. Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. 176-77.
50. Makhoul, G., Ashi, M., Al-Shahnam, M., Khoury M. (2019)) A Study on the Effect of Cement Dust from the Tartous Cement Plant on the Composition of the "Khudairi" Olive Variety. *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series*. *41*(1). In Arabic]
51. Manono, B. O. (2026). Effects of Salinity on Seed Germination: Mechanisms, Impacts, and Mitigation Strategies. *Seeds*, *5*(1).
52. Möller, A., Müller, H. W., Abdullah, A., Abdelgawad, G., & Utermann, J. (2005). Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta. *Geoderma*, *124*(1-2), 63-71.
53. Mohammed, S. (2012). Studying soil salinity and degradation in Salamiyeh scheme-Syria withintegration of remote sensing (RS) and Geographic information system (GIS). *Iraqi Journal of Science*, *53*(4. Appendix), 964-958. [In Arabic]
54. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, *59*, 651-681.
55. Munzuroglu, O., & Geckil, H. İ. K. M. E. T. (2002). Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in Triticum aestivum and Cucumis sativus. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *43*(2), 203-213.
56. Naseer, M. N., Rahman, F. U., Hussain, Z., Khan, I. A., Aslam, M. M., Aslam, , A., Waheed, H., Khan, A.U. and Iqbal, S. (2022). Effect of salinity stress on germination, seedling growth, mineral uptake and chlorophyll contents of three Cucurbitaceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, *65*, e22210213.
57. Okçu, G., Kaya, M. D., & Atak, M. (2005). Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish journal of agriculture and forestry*, *29*(4), 237-242.

58. Oliveira, C. E. D. S., Steiner, F., Zuffo, A. M., Zoz, T., Alves, C. Z., & Aguiar, V. C. B. D. (2019). Seed priming improves the germination and growth rate of melon seedlings under saline stress. *Ciência Rural*, *49*(7), e20180588.
59. Ouzounidou, G., Čiamporová, M., Moustakas, M., & Karataglis, S. (1995). Responses of maize (*Zea mays* L.) plants to copper stress-I. Growth, mineral content and ultrastructure of roots. *Environmental and experimental botany*, *35*(2), 167-176.
60. Parrotta, L., Guerriero, G., Sergeant, K., Cai, G., & Hausman, J. F. (2015). Target or barrier? The cell wall of early-and later-diverging plants vs cadmium toxicity: differences in the response mechanisms. *Frontiers in plant science*, *6*, 133.
61. Qin, R., Wang, C., Chen, D., Björn, L. O., & Li, S. (2015). Copper-induced root growth inhibition of *Allium cepa* var. agrogarum L. involves disturbances in cell division and DNA damage. *Environmental toxicology and chemistry*, *34*(5), 1045-1055.
62. Rawabi.agri. (2021, January 22). Squash-LunaF1. [Posts on acebook]. https://www.facebook.com/rawabi.agri/posts/squash-LunaF1
63. Sahyouni, F. (2003). Basics of plant physiology (Theoretical part). *Homs University Publications.*352p. [In Arabic]
64. Sahyouni, F., and Soufan, N. (2007) A study of the salt tolerance of some types of cabbage vegetables during the germination and seedling growth stage. *Journal of Homs University,29*. [In Arabic]
65. Sfaxi-Bousbih, A., Chaoui, A., & El Ferjani, E. (2010). Copper affects the cotyledonary carbohydrate status during the germination of bean seed. *Biological trace element research*, *137*(1), 110-116.
66. Soltani, E., Ghaderi-Far, F., Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2015). Problems with using mean germination time to calculate rate of seed germination. *Australian Journal of Botany*, *63*(8), 631-635.
67. Stratu, A., Lobiuc, A., & Costică, N. (2015). The influence of copper on seed germination and growth in the first ontogenetic stages in the species *Brassica oleracea* L. and *Cucurbita pepo* L. *LUCRĂRI ŞTIINŢIFICE SERIA HORTICULTURĂ, vol. 58*(1), 73-78.
68. Tajbakhsh, M., Zhou, M. X., Chen, Z. H., & Mendham, N. J. (2006). Physiological and cytological response of salt-tolerant and non-tolerant barley to salinity during germination and early

growth. *Australian Journal of Experimental* Agriculture, 46(4), 555-562.

69. Tarchoun, N., Saadaoui, W., Hamdi, K., Falleh, H., Pavli, O., Ksouri, R., & Petropoulos, S. A. (2024). Seed priming and biopriming in two squash landraces (*Cucurbita maxima* Duchesne) from Tunisia: a sustainable strategy to promote germination and alleviate salt stress. *Plants*, *13*(17), 2464.
70. Verma, J. P., Vimal Singh, V. S., & Janardan Yadav, J. Y. (2011). Effect of copper sulphate on seed germination, plant growth and peroxidase activity of mung bean (*Vigna radiata*). *International Journal of Botany, 7:* 200-204
71. Wainwright, S. J., & Woolhouse, H. W. (1977). Some physiological aspects of copper and zinc tolerance in Agrostis tenuis Sibth.: cell elongation and membrane damage. *Journal of Experimental Botany*, *28*(4), 1029-1036.
72. Wang, L., Wu, K., Liu, Z., Li, Z., Shen, J., Wu, Z., Liu, H., You, L., Yang, G., Rensing, C. and Feng, R. (2023). Selenite reduced uptake/translocation of cadmium via regulation of assembles and interactions of pectins, hemicelluloses, lignins, callose and Casparian strips in rice roots. *Journal of hazardous materials*, *448*, 130812.
73. Wierzbicka, M., & Obidzińska, J. (1998). The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant science*, *137*(2), 155-171.
74. Wong, S. C., Li, X. D., Zhang, G., Qi, S. H., & Min, Y. S. (2002). Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environmental pollution*, *119*(1), 33-44.
75. Woodstock, L. W., & Tao, K. L. J. (1981). Prevention of imbibitional injury in low vigor soybean embryonic axes by osmotic control of water uptake. *Physiologia plantarum*, *51*(1), 133-139.
76. Xia, K., Liu, A., Wang, Y., Yang, W., & Jin, Y. (2019). Mechanism of salt-inhibited early seed germination analysed by transcriptomic sequencing. *Seed Science Research*, *29*(2), 73-84.
77. Xiong, M., Xu, J., Zhou, Z., Peng, B., Shen, Y., Shen, H., ... & Feng, G. (2024). Salinity inhibits seed germination and embryo growth by

reducing starch mobilization efficiency in barley. *Plant Direct*, *8*(2), e564.

78. Xu, N., Lu, B., Wang, Y., Yu, X., Yao, N., Lin, Q., Xu, X. & Lu, B. (2023). Effects of salt stress on seed germination and respiratory metabolism in different Flueggea suffruticosa genotypes. *PeerJ*, *11*, e15668.
79. Yang, Z., Wang, H., Wang, R., Wang, C., Xu, B., & Qiu, H. (2023). Effects of six copper preparations on growth index, yield and quality of major melons. *Xinjiang Agricultural Sciences*, *60*(12), 3008-3017.
80. Ye, N., Li, H., Zhu, G., Liu, Y., Liu, R., Xu, W. Jing Y, Peng X, Zhang, J. (2014). Copper suppresses abscisic acid catabolism and catalase activity, and inhibits seed germination of rice. *Plant and cell Physiology*, *55*(11), 2008-2016.
81. Yıldız, M., Ciğerci, İ. H., Konuk, M., Fidan, A. F., & Terzi, H. (2009). Determination of genotoxic effects of copper sulphate and cobalt chloride in *Allium cepa* root cells by chromosome aberration and comet assays. *Chemosphere*, *75*(7), 934-938.
82. Yuan, H. M., Xu, H. H., Liu, W. C., & Lu, Y. T. (2013). Copper regulates primary root elongation through PIN1-mediated auxin redistribution. *Plant and Cell Physiology*, *54*(5), 766-778.
83. Zhang, F., Yan, X., Zeng, C., Zhang, M., Shrestha, S., Devkota, L. P., & Yao, T. (2012). Influence of traffic activity on heavy metal concentrations of roadside farmland soil in mountainous areas. *International journal of environmental research and public health*, *9*(5), 1715-1731.