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.