

الدور الوقائي للزنك في إزالة سمية البورون بوجود
غياب الأوكسين بدلالة استجابة التجذير
في عقل الماش

عبدالله إبراهيم شهيد*، خالد علي حسين* ونسيم نعمة مرزة**

* قسم علوم الحياة، كلية العلوم، جامعة كربلاء، العراق

** قسم علوم الحياة، كلية العلوم، جامعة بابل، العراق

تاريخ الاستلام: 2015/Jul/27

تاريخ قبول النشر: 2015/Nov/23

Abstract

The role of Zinc in alleviating B-toxicity in terms of adventitious root formation (ARF) in cuttings of mung bean was studied. The toxic level of B in addition, to the promotory conc. of Zn-salt was determined. Two of Zn-salts were tested (sulphate, and chloride), auxin was supplied as inductive treatment to enhance rooting response.

1. The toxic level of boron was 150 ($\mu\text{g/ml}$), this reduced growth parameters in terms of rooting response to 50% compared to control.
2. Zinc sulfate at conc. 1 (ppm) and Zinc chloride at 5 (ppm) developed the highest rooting response in mung bean cuttings.
3. For Boron detoxification, Zn-(sulphate and chloride) were supplied as pre-treatment, post-treatment or simultaneously with toxic-B. The best treatment for boron detoxification occurred completely by supplying Zinc sulphate and chloride prior to toxic-B treatment (pre-treatment), but after supplying auxin inductive treatment.
4. The protective role of Zinc-sulphate and chloride significantly enhanced the average of root number/cutting to its highest level in control treatment.

Keywords

Zinc, B-toxicity, adventitious root, mung bean.

الخلاصة

إن دور الزنك في تخفيض سمية البورون بدلالة تكوين الجذور العرضية في عقل الماش قد درس بعد تحديد التركيز السام من البورون والتركيز المحفزة لكل من كبريتات وكلوريد الزنك حيث جهز الاوكسين كعامل استحثاثية لتحفيز التجذير وقد بينت النتائج الآتي:

1. ان التركيز السام من البورون 150 (مايكروغرام. مل⁻¹) حيث أختزل مؤشر النمو المتمثل بعدد الجذور العرضية المتكشفة في العقل الى النصف تقريبا مقارنة بعقل السيطرة.
2. حققت كبريتات الزنك عند التركيز 1 (ppm) يليها كلوريد الزنك عند التركيز 5 (ppm) أعلى استجابة لتجذير عقل الماش.
3. اوهدف تخفيف سمية البورون فقد جهزت كبريتات وكلوريد الزنك قبل وبعد التعرض للسمية البورون وسوية وكانت المعاملة الأفضل في ازالة سمية البورون عند تجهيز الكبريتات اوكلوريد الزنك بوجود الاوكسين قبل التعرض للتركيز السام حيث تمت ازالة سمية البورون بالكامل لكن من خلال تجهيزها لاحقا بالاكسين.
4. ان الدور الوقائي للكبريتات وكلوريد الزنك تحقق من خلال التشجيع المعنوي لمعدل عدد الجذور المتكشفة وصولاً الى مستواها في معاملة السيطرة.

الكلمات المفتاحية

الزنك، سمية البورون، الجذور العرضية، عقل الماش

1. المقدمة Introduction

البورون من العناصر الصغرى الاساسية والمدى بين التراكيز المثلى والسمية ضيق جداً [1] ويحصل تراكم البورون بشكل بارز في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة، فضلاً عن تواجده في التربة بشكل حامض البوريك H_3BO_4 الذي يمكن ان ينتشر سلبياً إلى الشعيرات الجذرية أو يؤخذ عبر القنوات [2]. كما ينتقل بسرعة إلى مناطق النمو بوساطة تيار النتح [3] ويتراكم البورون في الاوراق وخصوصاً في حوافها [4]. وسمية البورون من المشاكل الزراعية المهمة في كثير من مناطق العالم ويمكن ان تحدث في الترب الغنية بالبورون أو الترب المعرضة للري بمياه غنية بالبورون أو الأسمدة ومياه المجاري والغبار المتطاير [5].

علاوة على ذلك، فان الامتصاص المفرط للبورون يضعف الانقسام الخلوي من خلال الارتباط مع سكر (Ribose) كسكر حر أو كمكون في RNA ويتداخل ضمن الايض الابتدائي مع (Ribose) كجزء من ATP و NADPH و NADH ويؤثر في التخليق الحيوي للبروتينات [6] وكتيجة لذلك تضطرب العمليات الفسلجية بقوة مثل البناء الضوئي [7]. والنباتات النامية في الترب الغنية بالبورون تتعرض إلى الاجهاد التاكسدي لذا من المحتمل ان تنتج الكثير من الجذور الحرة [8] بالاضافة إلى ذلك تحتزل مساحة البناء الضوئي لحصول (necrosis) لحواف الاوراق الذي يمكن ان تحتزل عملية تمثيل CO_2 بشكل كبير [9].

ومن الجدير بالذكر، فان تحسين حالة الزنك التغذوية للنباتات النامية في الظروف الملحية له أثر حاسم في حماية النبات من سمية العناصر كالبورون ودور الحماية هذا قد يرجع إلى حفظ تركيب وسلامة الأغشية الساييتوبلازمية

والسيطرة على أخذ الايونات السامة [10]، فضلاً عن ادوار الحماية التي يقوم بها الزنك ضد الجذور الحرة. ان دور الزنك في تخفيف سمية البورون واضح في نباتات الفاصوليا (bean) [11]. نفذت الدراسة لتقييم اثر الزنك في ازالة تاثير سمية البورون لعقل الماش الذي يعد من النباتات الحساسة للبورون [12] من خلال استجابة تجذير العقل المجهزة بالتراكيز السامة من البورون.

2. المواد وطرائق العمل Materials and Methods

Methods

استعملت بذور ماش محلية (Local Vigna radiata (L.) Wilczek) وقد انتخبت البذور المتماثلة مظهرياً لغرض اجراء التجارب اللاحقة.

غسلت البذور ونُقعت بماء الحنفية (Tap water) لمدة ليلة كاملة وزرعت بشكل متجانس في خطوط متوازية على نشارة الخشب المعقمة (Sterile sawdust) كوسط للزراعة ووضعت في غرفة النمو (Growth cabinet) من نوع (Binder KBW Plant Growth Chambers) والتي تمتاز بظروف قياسية من أضواء مستمرة وبشدة 1600-1800 لوكس ودرجة حرارة 25 ± 1 و رطوبة نسبية 60-70%. وأضيف الماء المقطر بحسب الحاجة لغاية عمر عشرة أيام وأنتخبت البادرات المتماثلة لتهيئة العقل وإجراء التجارب. هيأت العقل من بادرات متماثلة بعمر عشرة ايام حسب طريقة [13] التي تمتاز باحتوائها على بُرعم طرفي صغير (Terminal Bud)، وزوج من الأوراق الأولية كاملة الاتساع (Pair of Fully Expanded Primary Leaves)، وسويقة جنينية (Epicotyl)، وسويقة جنينية تحت الفلق (Hypocotyl) بطول 3 (سم) تحت موقع ندب

التجذير الحاوي على (5 boric acid مايكروغرام مل⁻¹) لمدة ستة أيام وهي تحت الظروف نفسها التي استعملت لتنمية البادرات أي في غرفة النمو بعدها تم حساب عدد الجذور في كل عُقلة. وحللت البيانات احصائياً باستعمال الحاسوب واعتمدت قيم (L.S.D) للمقارنة بين متوسطات المعاملات على مستوى احتمالية (0.05) في جميع التجارب [15].

3. النتائج Results

3.1. تحديد التركيز السام للبورون في عقل الماش

يوضح الشكل (1) تأثير تراكيز مختلفة من البورون بهيئة حامض البوريك في استجابة تجذير عقل الماش النامية في الضوء لمدة عشرة أيام وكان التركيزان الأوطأ 0.1 و 5 (مايكروغرام/مل) محفزة وبشكل معنوي (15.4 و 14.3 جذراً) أما التراكيز المحصورة بين (10-300) فقد كانت مثبطة وبشكل معنوي لاستجابة التجذير وكانت التراكيز العالية ذات تأثيرات سامة في مؤشرات النمو والتركيز 150 هو العتبة الذي اختزل فيه معدل التجذير إلى النصف تقريباً وبنسبة انخفاض 46% (اختزال معدل النمو بدلالة عدد الجذور في العُقلة إلى $\approx 50\%$) مقارنة بالسيطرة وعلى هذا الأساس تم اختيار التركيز 150 وأعتبر التركيز السام لعقل الماش (بدلالة استجابة التجذير العقل) في التجارب اللاحقة.

3.2. تحديد التركيز الأمثل من كبريتات الزنك لعقل الماش

يبين الشكل (2) تأثير تراكيز مختلفة من كبريتات الزنك في استجابة التجذير لعقل الماش الطرية المأخوذة من البادرات النامية في الضوء لمدة عشرة أيام حيث كشفت عقل السيطرة (المعاملة بالماء المقطر) عن (14.9)

الفلق (Cotyledonary Nodes)، وذلك بعد إزالة المجموع الجذري.

أما محلول حامض البوريك فقد حضر بمدى واسع من التراكيز المحصورة بين (0.1-300) ميكروغرام/مل⁻¹، استعمل التركيز 5 ($\mu\text{g/ml}^{-1}$) وسطاً للتجذير وذلك لدور البورون الضروري في نمو وتكشف البادئات الجذرية إلى جذور مرئية [14].

حُضرت كذلك محاليل أملاح الزنك بتراكيز مختلفة (1 و 5 و 10 و 15 و 20 و 50 و 100 جزء بالمليون) وذلك بإذابة (0.1) غرام من ZnCl_2 و $\text{ZnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ في كمية قليلة من الماء المقطر ومن ثم أكمل الحجم إلى لتر واحد لتحضير المحلول الأصلي (Stock) بالتركيز (100) جزء بالمليون ومن ثم حضرت منه بقية التراكيز بطريقة سلسلة التخفيف (Serial Dilutions).

أما محلول الاوكسين (IBA) Auxin فقد حضر بتركيز 10^{-4} M وذلك بإذابة 0.0203 (غم) في 1-2 (مل) من الكحول المطلق ثم أكمل الحجم إلى واحد لتر من الماء المقطر جُهزت الأجزاء القاعدية للعقل بمحاليل الاختبار بوضع العقل في بيكرات زجاجية حجم 100 (مل) وتضمنت كل معاملة بيكرين يتسع كل واحد لستة عقل أي بواقع 12 عقلة للمعاملة الواحدة مع تغطية الجزء السفلي للدوارق بشريط لاصق اسود لمنع تأثير الضوء في الاوكسين و ثم على التجذير. عُمرت السويقة الجنينية تحت الفلق التي طولها 3 (سم) بمحلول حجمه 32 (مل) من محاليل الاختبار. وبهدف دراسة استجابة التجذير في العقل الغضة عوملت بالماء المقطر أو محاليل حامض البوريك أو محاليل املاح الزنك لمدة 24 ساعة بعدها نقلت إلى وسط

الزنك لعقل الماش في غياب الاوكسين المجهز من الخارج. حيث كشفت العقل المعاملة بالماء المقطر لمدة 24 ساعة عن 15 (جذر/ عقله¹⁻) بينما كشفت العقل المعاملة بالتراكيز المثلثي من املاح الزنك 1 جزء بالمليون، 5 جزء بالمليون لكل من كبريتات الزنك وكلوريد الزنك 22, 10.4 على التتابع في حين كشفت العقل المعاملة بالتركيز السام من البورون 150 جزء بالمليون 6.8 (جذر. عقله¹⁻). ولأجل ازالة سمية البورون فقد جهزت املاح الزنك الى العقل في حالتين، الاولى قبل تجهيز التركيز السام للبورون Pre-treatment. والثانية بعد التركيز السام للبورون Pre-treatment. وأخيراً فإن كبريتات الزنك كانت هي الملح الأفضل وذلك لتكشفها أعلى استجابة تجذير (17) جذراً عندما تجهز Pre-treatment بالتركيز المثالي 1 جزء بالمليون وكذلك Pre-treatment فقد كشفت 15.5 لذا فان كبريتات الزنك تمكنت من ازالة سمية البورون عندما تجهز قبل وبعد التعرض الى سمية البورون ولم تختلف النتيجة في الحالتين معنوياً عن السيطرة في حين لم يتمكن كلوريد الزنك من ازالة السمية. أي بعبارة أخرى فان Zn قد تمكن من ازالة التأثير السام لد B بالكامل واستجابات العقل كما لو كانت غير مجهدة (كالسيطرة).

3.5. تأثير الزنك في ازالة سمية البورون لعقل الماش بوجود الاوكسين المجهز من الخارج

يوضح الشكل (5) ازالة سمية البورون بتجهيز مركبات الزنك لعقل الماش بوجود الاوكسين المجهز من الخارج لمدة 24 ساعة حيث كشفت العقل المعاملة بالماء المقطر لمدة 24 ساعة 30 (جذر. عقله¹⁻) بينما كشفت العقل المعاملة بالتراكيز المثلثي من مركبات الزنك 1 (ppm) ZnSO₄, 5 (ppm) ZnCl₂

جذراً، اما معاملة العقل بكبريتات الزنك عند اوطا التراكيز 1 (ppm) فقد سجلت أعلى استجابة تجذير وأعطت 18.5 وان هذا التأثير التحفيزي ذا معنوية من الناحية الاحصائية على مستوى معنوية 5% وبنسبة زيادة 24.61% أما التراكيز من 5-15 جزء بالمليون فقد ثبتت استجابة التجذير بشكل طردي مع زيادة التراكيز معطية (7.5, 10.6, 12.8) جذر. عقله¹⁻ على التتابع. بينما سبب تجهيز العقل بالتركيز 20 (ppm) جزء بالمليون فما فوق لغاية 100 (ppm) تثبيطاً لاستجابة التجذير بالكامل حيث اعتمد التركيز 1 جزء بالمليون من كبريتات الخارصين على أنه التركيز الأمثل واستعمل في التجارب اللاحقة لازالة سمية البورون.

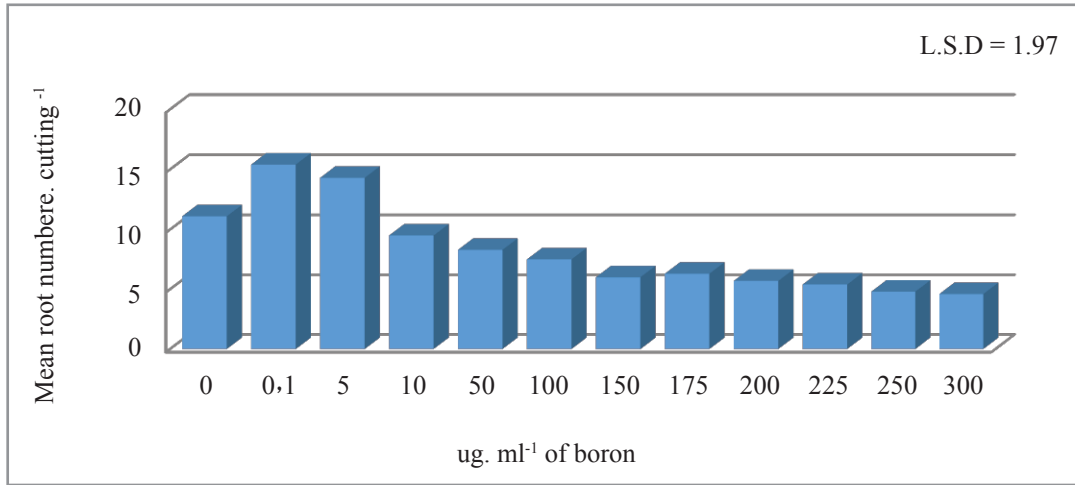
3.3. تحديد التركيز الأمثل من كلوريد الزنك لعقل الماش يشير الشكل (3) إلى تأثير تراكيز مختلفة من ملح كلوريد الزنك في استجابة التجذير لعقل الماش حيث كشفت عقل السيطرة المعاملة بالماء المقطر (11.3) جذراً أما العقل المعاملة بتراكيز مختلفة من كلوريد الزنك لمدة 24 ساعة فكان التركيز الأوطأ (1) جزء بالمليون غير مؤثراً معنوياً وكانت الاستجابة الأعلى عند التركيز 5 جزء بالمليون متمثلة بـ 12.5 جذر في حين كانت التراكيز الأعلى من 5 جزء بالمليون مثبطة لاستجابة التجذير وبشكل خطي مع زيادة التركيز وصولاً إلى التركيز 15 جزء بالمليون اما التراكيز العالية من 20 الى 100 فقد ثبتت استجابة التجذير بالكامل. وأخيراً فقد اعتبر التركيز 5 جزء بالمليون هو الأمثل في تجارب معالجة سمية البورون لعقل الماش.

3.4. تأثير الزنك في ازالة سمية البورون لعقل الماش بغياب الاوكسين المجهز خارجياً

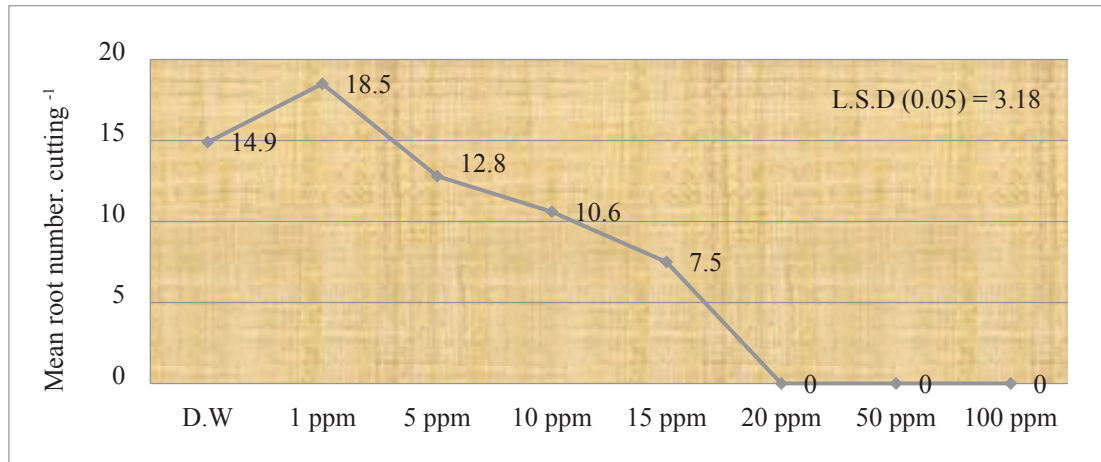
يوضح الشكل (4) ازالة سمية البورون بتجهيز مركبات

وعلى مستوى 5% من خلال رفع مستوى التجذير للعقل بالتركيز المثالي لكبريتات الزنك عند معاملتها بالبورون السام الى 27.4 جذر في العقلة الواحدة وكذلك الحال بالنسبة لكلوريد الزنك. ومن الواضح ان سُمية الـ B سببت تغيرات مهمة في المؤشرات المدروسة (عدد الجذور العرضية المتكشفة في العقل) وعند تجهيز الزنك قبل التعرض لسمية البورون التركيز السام من B فانه يثبط التأثيرات الضارة لإجهاد البورون وهذا واضح من خلال زيادة اعداد الجذور المتكشفة بوجود الاوكسين اوبغيابه أي له دور وقائي.

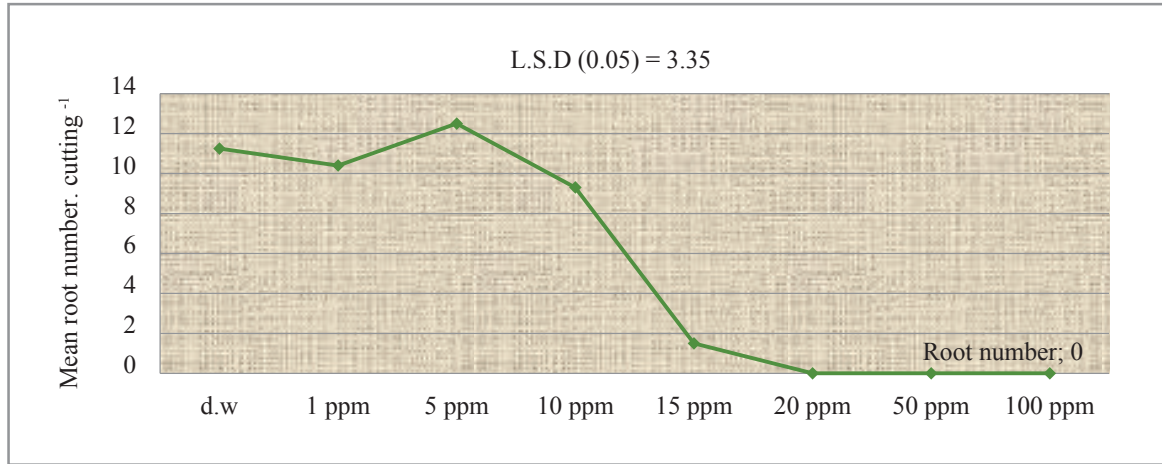
30.3 28.5 ,على التابع في حين كشفت العقل المعاملة بالتركيز السام من البورون 150 (ppm), 12.25 جذر. عقلة¹⁻ ولأجل ازالة سمية البورون فقد جهزت مركبات الزنك الى العقل في حالتين، الاولى قبل تجهيز التركيز السام للبورون (قبل المعاملة Pre-treatment) حيث كانت النتيجة 27.4 جذراً للكبريتات و22.0 جذراً لكلوريد، وفي الحالة الثانية بعد تجهيز التركيز السام للبورون (بعد المعاملة Post-treatment) حيث كانت النتيجة 24.8 للكبريتات و10.25 لكلوريد. ان هذا التأثير التحفيزي ذا معنوية من الناحية الاحصائية



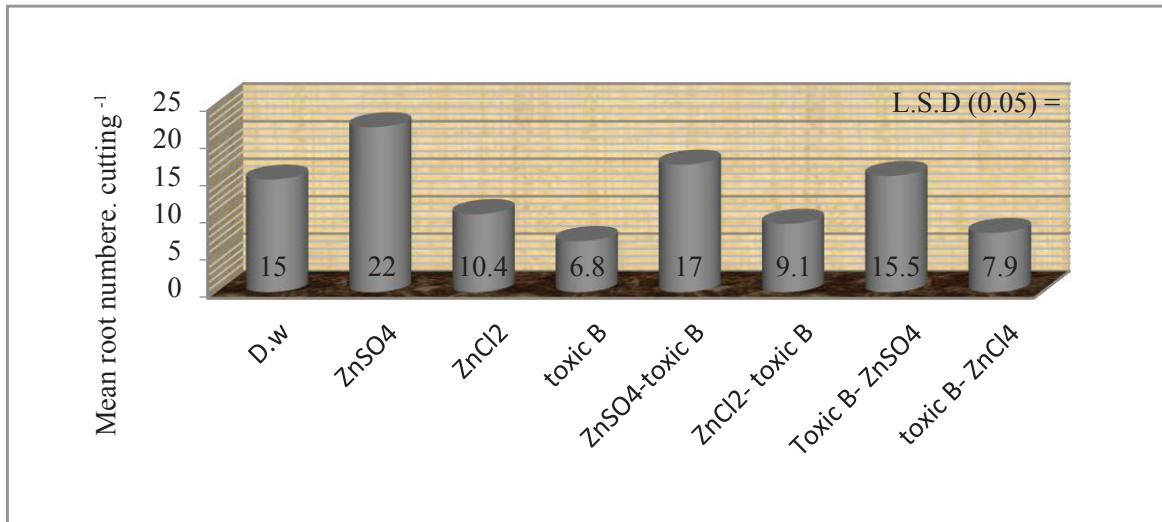
شكل (1): تأثير تراكيز مختلفة من البورون (ميكروغرام/مل) في استجابة تجذير عقل الماش.



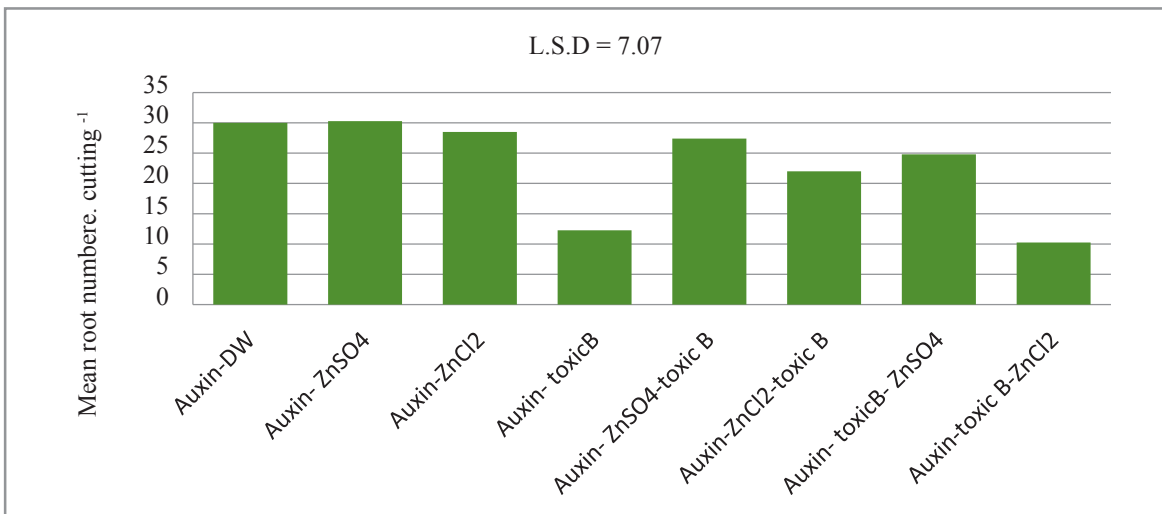
شكل (2): تأثير تراكيز مختلفة من كبريتات الزنك (ppm) ZnSO₄ في استجابة تجذير عقل الماش.



شكل (3): تأثير تراكيز مختلفة من كلوريد الزنك ($ZnCl_2$ (ppm) في استجابة تجذير عقل الماش.



شكل (4): تأثير الزنك في ازالة سمية البورون لعقل الماش بغياب الاوكسين المجهز.



شكل (5): تأثير الزنك في ازالة سمية البورون لعقل الماش بوجود الاوكسين المجهز.

6. المناقشة Discussion

سُمية البورون في حين كانت التراكيز 20, 50, 100 جزءاً بالمليون من كبريتات الزنك وكلوريد الزنك مثبطة بالكامل لاستجابة التجدير. أن تركيز الزنك العالي في طور التحفيز يؤثر في تركيز الاوكسين وبذلك يحسن استجابة التجدير [17]. وبعبارة أخرى فان أيونات الزنك لا يمكن الاستغناء عنها في البناء الحيوي لعوامل النمو ونقص الزنك يوقف بناء التريوفان (المادة الاصل لبناء IAA). [18] فضلاً عن نتائج الدراسة الحالية والتي بينت أن التراكيز العالية من أملاح الزنك كانت مثبطة للتجدير وهذا يتفق مع [19] حول كون الزنك يعمل كمغذي في تراكيز معينة تلك التي هي أقل من 50 (ppm) بينما يؤثر عكسياً في النمو عند التراكيز العالية حيث يتسبب في خفض الوزنين الطري والجاف ومحتوى الكلوروفيل والكاروتينات في أوراق *Cyamopsis tetragenotobe* والباميا *Abelmischnus esculentus*.

ومن جانب آخر، فقد تبين أن كبريتات الخارصين تمكنت من إزالة سمية الـ B في حالة تجهيزها قبل أو بعد المعاملة بالتركيز السام للـ B وفي الحالتين بوجود / غياب الاوكسين (شكل 4 و 5). أما بصدد كلوريد الخارصين فقد كان أقل تأثيراً من الكبريتات حيث تمكن من إزالة سمية البورون عندما يجهز قبل التركيز السام للـ B في حالة وجود / غياب الاوكسين بينما لم يتمكن من ذلك في حالة تجهيزه بعد التركيز السام من الـ B لا في حالة وجود الاوكسين ولا في حالة غيابه. وبهذا يكون ملح كبريتات الخارصين هو الأفضل وان وجودها المسبق في العقل او تجهيزها لاحقاً يعد من الآليات الوقائية والعلاجية على التتابع للتخلص من سمية الـ B وجعل العقل تستجيب بدلالة تكوين الجذور العرضية كما لو كانت عقل غير مجهدة. ولكون الوقاية خير من العلاج

تم التحري عن دور الزنك في تحسين تحمل نبات الماش (الحساس) لسُمية البورون بدلالة استجابة التجدير حيث تم تحديد مستوى سُمية البورون في عقل الماش بالاعتماد على إختزال مؤشرات النموبدلالة عدد الجذور العرضية المتكشفة في العقل الى النصف (50%) فضلاً عن ظهور الاعراض المورفولوجية المرافقة للتسمم. حيث بينت نتائج الدراسة الحالية ان عدد الجذور قد اختزل إلى النصف تقريبا 6.3 في التركيز السام للبورون 150 (مايكروغرام. مل⁻¹) مقارنة مع عقل السيطرة 11.1 وبنسبة انخفاض 46.8%. حيث اشار [2] الى أن أستعمال المحاليل الغذائية الحاوية على تراكيز عالية من B ينتج عنه زيادة في امتصاص B بوساطة النبات أكثر من المستوى الطبيعي ويؤدي الى التسمم وتتفق مع [14] اللذين وجدا انخفاضاً في استجابة تجدير عقل الماش المعرضة لسُمية البورون. وان الانخفاض في استجابة التجدير يعزى إلى الانخفاض الحاصل في متطلبات التجدير الاساسية كالاوكسين (IAA) والكاربوهيدرات والبروتينات [16].

أن الحالة الغذائية للنباتات كثيراً ما تؤثر بالإيجاب في قابلية التكيف إلى الظروف البيئية المجهدة، ولمعرفة التركيز الأمثل من أملاح الزنك في إزالة سُمية البورون في عقل الماش فقد بينت نتائج الشكلين (2 و 3)، ان لنوع الملح تأثيراً في استجابة التجدير لعقل الماش حيث تفوقت كبريتات الزنك على كلوريد الزنك المستعملة في معدل عدد الجذور العرضية المتكشفة لعقل الماش فكانت أعلاها 18.5 و 12.5 جذراً في الكبريتات والكلوريد عند التركيزين 1 و 5 جزء بالمليون على التتابع والتي اعتمدت في ازالة

والسيطرة على أخذ الأيونات السامة وكذلك من ضرر مهاجمة ل ROS [21]. حيث بين [16] دور الزنك في تنشيط مضادات الاكسدة الانزيمية مثل Catalase و superoxide dismutase و ascorbate peroxidase واللاانزيمية مثل Ascorbate و Glutathione و proline ومن ثم خفض اكسدة الدهون للاغشية والحفاظ على استقرارية الاغشية ومنع الضرر السايوتوبلازمي التاكسدي. كما ان واحدة من الاليات المعتمدة في حماية الخلايا من اجهاد البورون هي المستوى الابتدائي العالي لل ASA و GSH والتخليق الحيوي الجديد de nova لها عند تجهيز كبريتات الزنك [22] فضلاً عن دوره في استعادة العدد الكامل من الحزم الوعائية التي اختزلت بسبب سمية البورون [23].

يفضل اضافة Zn بائياً من الملحين اعلاه قبل التركيز السام من B. أن أيونات الزنك عرفت بانها مثبطات قوية لانزيم NADPH oxidase في خلايا جذور الفاصوليا والقطن ونقص الزنك يسبب زيادة في فعالية هذا الانزيم وانتاج superoxide anion (O_2^-). هذا وان استئناف تجهيز الزنك للنبات اعلاه لمدة 12 او 24 ساعة سبب اختزالاً مميزاً في فعالية الإنزيمات وكذلك توليد O_2^- [10]. بالاضافة الى ذلك، فان الانتاج العالي من H_2O_2 عند الاجهاد التأكسدي يثبط تكوين الجذور في عقل الماش [20] لذا فان تحسين حالة الزنك التغذوية للنباتات النامية في ظروف ملحية كان له دور في حماية النباتات من سُمية الاملاح وهذا الدور محسوب للـ Zn في حفظ تركيب وسلامة الغشاء البلازمي

- [6] Reid, R. J., Hayes, J. E., Post, A., Stangoulis, J. C. R. and Graham, R. D. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant Cell Environ.*, **25**: 1405-1414, (2004).
- [7] Landi, M., Degl'Innocenti, E., Pardossi, A., Guidi, L. Antioxidant and photosynthetic responses in plants under boron toxicity: A Review. *Amer. J. of Agric. and Biol. Sci.*, **7** (3), 255-270, (2013a).
- [8] Landi, M., Pardossia, A., Remorinib, D. and Guidi L. Antioxidant and photosynthetic response of a purple-leaved and a green-leaved cultivar of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to boron excess. *Environ. Exper. Bot.*, **85**, 64- (2013 b).
- [9] Guidi, L., Degl'Innocenti, E., Carmassi, G., Massa, D. and Pardossi, A., Effects of boron on leaf chlorophyll fluorescence of green tomato grown with saline water. *Environ. Exp. Bot.*, **73**, 57-63, (2011).
- [10] Cakmak, I. and Marschner, H., Zinc-dependent

المصادر References

- [1] Nable, R. O., Bañuelos, G. S. and Paull, J. G. Boron toxicity. *Plant and Soil*, **193**, 181-198, (1997).
- [2] Dannel, F., Pfeffer, H. and Rombeld, Effect of pH and boron concentration in nutrient solution on translocation of boron in the xylem of sunflower. In boron in soils and Plants (Bell, R. W. and Rerkasem, B. eds.), Bordrecht, The Nether lands: Kluwer Academic Publishers, 183-186, (1997).
- [3] Brown, P. H and Shelp, B. J. Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, **193**, 85-101, (1997).
- [4] Gupta, U. C. Introduction In: Boron and its Role in Crop Production, U. C. Gupta (Ed.). CRC Press, Boca Raton, FL, USA. (1993).
- [5] Luis, M. C., Begona, B., Juan, J. R., Miguel, A. R., Eva, S. R., Maria, M. R. W., Luis, R., and Juan, M. R. Parameters symptomatic for boron toxicity in leaves of tomato plants. *J. Bot.* 1-17, (2012).

- [18] Stanislawski, J. J., Role of IAA in plant growth. *Wiadomo, ści Bot. aniczne* **21**, 43-59 (in Polish), (1977).
- [19] Mangal, M., Agarwal, M. and Bhargava, D., Effect of Cadmium and Zinc on growth and Biochemical Parameters of Selected Vegetables.. *J. of Pharmacognosy and Phytochem.*, **2** (1), 106-114, (2013).
- [20] Pal Singh, H., Kaur, S., Batish, D.R and Kohli, R.K., Caffeic acid inhibits in vitro rooting in mung bean (*Vigna radiata* L. Wilczek) hypocotyls by inducing oxidative stress. *Plant Growth Regul.*,: **57**, 21-30, (2009).
- [21] Cakmak, I., The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, **168**, 521-530, (2005).
- [22] علوان، عبدعون هاشم، عبدالله إبراهيم شهيد، خالد علي حسين الميكانيكيات الدفاعية المضادة للأكسدة وعلاقتها بالبورون والزنك في انواع نباتية مختلفة. جامعة كربلاء / المؤتمر العلمي الثاني لكلية العلوم، (2014).
- [23] حسين، خالد علي، عبدالله إبراهيم شهيد، عبدعون هاشم علوان، الاستجابة التشريحية المصاحبة لدور الزنك في ازالة سمية البورون في انواع نباتية مختلفة في تحملها للبورون مجلة جامعة كربلاء (قيد النشر)، (2015).
- changes in ESR signals, NADPH oxidase and plasma membrane permeability in cotton roots. *Physiol. Plant*, **73**, 132-186, (1988).
- [11] Gunes, A., A. Inal, and E. G. Bagci., Recovery of bean plants from boron-induced oxidative damage by zinc supply. *Russ. Plant Physiol.*, **56**, 503-509, (2009).
- [12] Maas, E. V., Salt tolerance of plants. In *Handbook of Plant Science in Agriculture*,. Ed. B. R. Christie.. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. **2**, 57, (1987).
- [13] [13] Hess, C.E., The mung bean bioassay for detection of root promoting substances. *Plant Physiol.*, **36** (l): suppl. 21, (1961).
- [14] Shaheed, A. I. and Muhammed, A. J., The role of salicylic acid in alleviating boron toxicity in Mung bean cuttings. *Iraq. Nat. J. chem.*,**39**, 589- 604, (2010).
- [15] Steel, R. G. D., Torrie, J.H. and Dickie, D. A., *Principles and Procedures of Statistics-a Biometric Approach*. 3rd edition. McGraw-Hill Publishing Company. Toronto, (1997).
- [16] اليساري، خالد علي حسين، دراسة فسيولوجية بايوكيميائية وتشريحية للنباتات تختلف في تحملها لسمية البورون. جامعة كربلاء. كلية التربية للعلوم الصرفة. اطروحة دكتوراة، (2014).
- [17] Schwambach, J., Fadanelli, C. F and ett-Neto, A. G., Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiol.*, **25**, 487-494, (2005).

