# دور البوتاسيوم في فعالية مضادات الاكسدة الانزيمية وغير الانزيمية لنباتات الذرة الصفراء المزروعة تحت إجهادي الجفاف وبيروكسيد الهيدروجين

اسماعيل خليل السامرائي* اسعد كاظم عبدالله ** حمدالله سليمان راهي*

* قسم علوم التربة والموارد المائية – كلية الزراعة – جامعة بغداد

** قسم علوم الحياة – كلية التربية للعلوم الصرفة ابن الهيثم – جامعة بغداد

*00964 7811332431*

**خلاصة**

نفذت تجربة حقلية للموسم الخريفي 2011/8/1 في حقل قسم علوم المحاصيل الحقلية / كلية الزراعة/ جامعة بغداد ، لدراسة التأثير المتداخل للإجهادات المائية وبيروكسيد الهيدروجين والبوتاسيوم في فعالية مضادات الأكسدة الانزيمية وغير الانزيمية لنبات الذرة الصفراء صنف بحوث 106 . تضمنت الدراسة ثلاثة مستويات من الإجهاد المائي عندما يستنزف 40 و60 و80 % من الماء الجاهز (D1 وD2 وD3) على التتابع ، وتنقيع بذور الذرة الصفراء بثلاثة تراكيز من بيروكسيد الهيدروجين (0 و 15 و 30) مليمول ولمدة 24 ساعة. أما البوتاسيوم فقد أضيف رشاً على الجزء الخضري بتركيز 3000 ملغم k.لتر$^{-1}$ على شكل $K_2SO_4$ K%41 وذلك بعد 45 يوماً من البزوغ . أستخدم التصميم (Split Split Plot Design) ضمن تصميم القطاعات الكاملة المعشاة RCBD.أشارت النتائج إلى ان الإجهاد المائي العالي (D3)وبيروكسيد الهيدروجين بتركيز 30 مليمول أثر بشكل معنوي في زيادة فعالية مضادات الاكسدة الانزيمية ( السوبراوكسيد ديزميوتيز و الكاتليز و البيروكسديز) وغير الانزيمية ( فيتامين C و الكاروتين ) بينما سلك البوتاسيوم سلوكاً مخالفاً إذ ادى إلى انخفاض معنوية للصفات المدروسة اعلاه قياساً بعدم اضافته.

**الكلمات المفتاحية : مضادات الاكسدة ، البوتاسيوم ، الجفاف ، بيروكسيد الهيدروجين**

# Role of potassium on enzymatic and non-enzymatic antioxidant activities in maize plants growing under drought and hydrogen peroxide stresses

I. K. AL- Samerria * A. K. Abdullah ** H. S. Rahi *

*Department of soil and water resources Science, College of Agriculture, University of Baghdad.

** Department of Biology Science, College of Education (Ibn-Haitham), University of Baghdad.

## ABSTRACT

The experiment was carried out in the field, department of field crops, college of agriculture, university of Baghdad during season 2011 to study the effect of interaction of water stress and hydrogen peroxide and potassium on the activity of antioxidant enzyme and non enzyme on maize plant cultivar Bohooth 106 Included studying three levels of water stresses of 40, 60 and 80% of the available water (D1 , D2 and D3), respectively. Three levels of hydrogen peroxide of concentrations (0, 15 and 30 Mm), and foliar application of potassium at concentration of 3000 mg K. $L^{-1}$ $K_2SO_4$ without applied potassium, split–split with RCBD design with three replications was used. The results showed that water stress (D3) and $H_2O_2$ (30) Mm significantly increased the antioxidant enzyme activities, superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD) and non-enzymatic vitamin C, carotenoid significantly reduced other plant properties of the studied compared with group that not contain a potassium.

**Keywords: Antioxidats, Potassium, Drought, Hydrogen peroxide.**

## المقدمة

تتعرض النباتات إلى انواع مختافة من الإجهادات غير الحيوية كالجفاف، إذ تؤدي اجهادات الجفاف إلى مايسمى بالإجهاد المؤكسد Oxidative stress داخل خلايا النبات نتيجة التسرب العالي للالكترونات باتجاة الأوكسجين الجزيئي ($O_2$) اثناء العمليات الأيضية للبناء الضوئي والتنفس. مما يتسبب في زيادة تراكيز قيم انواع الأوكسجين الفعالة Reactive oxygen species (ROS) والتي تتضمن بيروكسيد الهيدروجين ($H_2O_2$) و جذر السوبر اوكسايد ($O^{-}_2$) و الأوكسجين المفرد ($^1O_2$) وجذر الهيدروكسيل ($OH^{\bullet}$) ، هذه الجذور الحرة تستطيع مباشرةً مهاجمة مكونات الخلية مثل الأغشية الخلوية و الاحماض النووية و البروتينات و الدهون و الصبغات النباتية مما يعرض الخلية إلى الموت [1] ولأجل مقاومة أوتحمل المستويات العالية من ROS فقد طورت النباتات نظاماً دفاعياً يحمي الخلايا ويحد من التاثيرات المؤكسدة لمجموعة ROS ، وتشمل مكونات هذا النظام مضادات الأكسدة الانزيمية Enzymatic antioxidats مثل انزيمات Superoxide dismutase (SOD) و Catalase (CAT) و Peroxidase (POD) و Monodehydroascorbate reductase (MDHAR) و Guaiacol peroxidase (GPOX) و Glutathione reductase (GR) و Dehydroascorbate reductase (DHAR) و Glutathione peroxidase (GPX) و Glutathione S-transferases (GST). وغير الانزيمية Non-enzymatic antioxidats مثل Ascorbic acid (Vitamin C) و Proline (Pro) و Carotenoids (Car) و Glutathione(GSH) و α-Tocopherols (Vitamin E) و Flavonoids[2] . يعد بيروكسيد الهيدروجين ($H_2O_2$) من مجموعة ROS الأكثر استقراراً على مستوى الخلية إذ يؤدي دوراً حيوياً في النبات من خلال أطلاق أشارات كيميائية تتسبب في مقاومة أو تحمل النبات لأجهادات حيوية وغير حيوية ، هذه الأشارات تعمل على مايسمى بالتعبير الجيني expression gene باخبار الجينات للنبات بتطوير النظام الدفاعي والذي يكون عبارة عن استحثاث النبات على نظام المقاومة الجهازية Systemic acquired resistance (SAR) أو حث نظام التأقلم الجهازية Systemic acquired acclimation (SSA)[3].

يؤدي البوتاسيوم دوراً مهماً في عملية البناء الضوئي وتنشيط الانزيمات وتحسين تصنيع البروتين والكاربوهيدرات والدهون وعمليات النقل ، و يمثل ايضاً دور المفتاح الرئيس في زيادة الحاصل وتحسين النوعية والإنتاج ، وزيادة مقاومة النبات للجفاف [4] و [5] كما ان البوتاسيوم له دور في حماية النبات من الإجهاد المؤكسد إذ ان تحسين تغذية النبات بالبوتاسيوم يقلل من تولد وانتاج الجذور الحرة من مجموعة ROS وذلك من خلال خفض فعالية أكسدة NADPH والمحافظة على نقل الالكترونات اثناء عملية البناء الضوئي [6]. لذا تهدف الدراسة إلى دور البوتاسيوم في تقليل من تأثيرات الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين وعلاقته بمضادات الاكسدة الانزيمية وغير الانزيمية للذرة الصفراء .

## المواد وطرائق العمل

نفذت تجربة حقلية للموسم الخريفي 2011 في حقل قسم علوم المحاصيل الحقلية الواقع ضمن دائرة عرض 33.2شمالاً وخط طول 44.24 شرقاً وارتفاع 34.1 فوق سطح البحر، زرعت بذور الذرة الصفراء في 2011/8/1 بوضع 3-4 في كل جورة (حفرة) ثم خفت البادرات البازغة إلى نبات واحد بعد أسبوعين من الزراعة

، المسافة بين خط وآخر 75 سم وبين جورة وآخرى 25 سم ، نفذت عمليات الحراثة والتنعيم والتسوية وقسمت الارض تبعاً للتصميم المستعمل( Split Split Plot Design) ضمن تصميم القطاعات الكاملة المعشاة RCBD، أشتملت الدراسة على ثلاثة مستويات من الإجهاد المائي عندما يستنزف 40 و60 و80 % من الماء الجاهز (D1 وD2 وD3) على التتابع ، تم تنقيع بذور الذرة الصفراء بثلاثة تراكيز من بيروكسيد الهيدروجين (0 و 15 و 30) مليمول ولمدة 24 ساعة، أما البوتاسيوم فقد أضيف رشاً على الجزء الخضري بتركيز 3000 ملغم k.لتر$^{-1}$ على شكل $K_2SO_4$ 41%K وذلك بعد 45 يوماً من البزوغ اذ كانت الإجهادات المائية العامل الرئيس والبوتاسيوم العامل الثانوي وبيروكسيد الهيدروجين تحت الثانوي ، في الواح ابعادها (2 م × 3 م) ، وتركت فواصل بين الالواح والمكررات بمقدار 1 م لمنع تسرب الماء والاسمدة إلى المعاملات . أستخدمت الطريقة الوزنية بأخذ عينات بوساطة مثقاب التربة قبل اكثر من يومين لمعرفة نسبة الرطوبة في التربة لغرض الري حسب المعاملات. وقد حدد الماء الجاهز من خلال الفرق بين نسبة الرطوبة عند الإجهادين 33 و 1500 كيلوباسكال ، ولحساب كمية الماء المضاف حسب المعاملات لتعويض الاستنزاف الرطوبي عند السعة الحقلية استعملت معادلة [7] قدرت فعالية الانزيمات SOD و CAT و POD حسب الطريقة الموصوفة من قبل Dhindsa وجماعته [8] و Beers and Sizer[9] و Bergmeyer[10] على التتابع. وقدر محتوى فيتامين C حسب طريقةHussain وجماعته [11] وقدر الكاروتين حسب طريقة Hiscox وجماعته [12].

## النتائج والمناقشة

بينت نتائج الجدول 1 إلى ان الإجهاد المائي و $H_2O_2$ سببا زيادة معنوية في فعالية انزيم SOD وعلى النقيض من ذلك في حالة البوتاسيوم المضاف الذي خفض من فعالية هذا الانزيم . فقد ازدادت فعالية هذا الإنزيم مع زيادة الإجهاد المائي وسجل أعلى فاعلية عند المستويين D2 و D3 بقيم بلغت 82.00 و 196.01 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ وبنسبة زيادة مقدارها 28.74 % و 207.75 % على التتابع وبفارق معنوي عن المستوى D1 الذي سجل اقل قيمة بلغت 63.69 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ .و قد يعزى إلى أن الإجهاد المائي يؤدي إلى تحفيز الخلية لأنتاج الجذور الحرة , $H_2O_2$ $^1O_2$[13] , $O^-_2$, $OH^·$ وهذه الجذور تهاجم [14] مكونات الخلية مما يؤدي إلى تلف الببيدات و البروتينات و الاحماض النوية و الأغشية الخلوية [15] سبب بيروكسيد الهيدروجين تأثيراً معنوياً في زيادة فعالية إنزيم SOD إذ سجل أعلى قيمة عند التركيزين 15 و 30 مليمول بلغت 109.05 و 135.09 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ وبنسبة زيادة 11.76 % و 38.45 % على التتابع ، وبفارق معنوي عن المستوى D1 الذي بلغ 97.57 وحدة . ملغم بروتين$^{-1}$ . تعزى الزيادة إلى ان اضافة بيروكسيد الهيدروجين تؤدي إلى زيادة في تراكم بيروكسيد الهيدروجين داخل الخلية [16] وإنخفضت فعالية إنزيم SOD معنوياً باضافة البوتاسيوم إذ أعطت معاملة اضافة البوتاسيوم فعالية اقل من عدم اضافته وبنسبة إنخفاض قدرها 53.00 % وكانت فعالية الإنزيم 72.82 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ مع اضافة البوتاسيوم و 154.98 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ مع عدم اضافته. وتأتي أهمية هذا المغذي من خلال دوره في حماية النبات من الإجهاد المؤكسد حيث إن تحسين تغذية النبات بالبوتاسيوم يقلل من انتاج ROS وذلك من خلال خفض فعالية أنزيم NADPH oxidase المؤكسد للأغشية البلازمية وخفض توليد جذر السوبر اوكسايد التابع لـ NADPH ، كما يحافظ البوتاسيوم على نقل الالكترونات اثناء عملية البناء الضوئي [6] أما معاملة التداخل الثلاثي (الإجهاد المائي وبيروكسيد

الهيدروجين و البوتاسيوم) فان اضافة البوتاسيوم قد خفف من الضرر الذي سببه العاملان الإجهاد المائي عند المستوى D1 و $H_2O_2$ بتركيزصفر مليمول وذلك بخفض فعالية الانزيم من 75.88 إلى 29.00 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$. ومن 317.77 إلى 136.81 ملغم .غم وزن طري$^{-1}$عند المعاملة D3 و 30 مليمول $H_2O_2$ .

تأثرت فعالية إنزيم CAT بمستويات الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين (جدول 2)، فقد ازدادت فعالية هذا الإنزيم مع زيادة الإجهاد المائي وسجل أعلى نشاط عند المستويين D2 و D3 بقيم بلغت 17.86 و 38.02 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ وبنسبة زيادة مقدارها 83.74 % ، 291.10 % على التتابع وبفارق معنوي عن المستوىD1الذي سجل 9.72 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ . ، إذ يمتلك انزيم CAT سرعة تحويل عالية فهو يقوم بتحويل مايقارب 6,000,000 جزيئة من بيروكسيد الهيدروجين إلى الماء والأوكسجين في الدقيقة الواحدة (2) إن تراكيز بيروكسيد الهيدروجين قد أثرت معنوياً في زيادة فعالية إنزيم CAT وبغض النظرعن اضافة وعدم اضافة البوتاسيوم إذ سجل أعلى فعالية عند التركيز 30 مليمول بقيمة بلغت 25.71 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ وبنسبة زيادة 35.52 % على التتابع . وبفارق معنوي عن معاملة المقارنة (صفر) التي اعطت 18.97 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$. يعد CAT من الإنزيمات الرئيسة الكانسة لـ $H_2O_2$إذ يحول $H_2O_2$ إلى $H_2O$ و $O_2$[17] فهو يقوم CAT بكبح $H_2O_2$ المتولد في المايتوكوندريا نتيجة نقل الالكترونات وأكسدة الأحماض الدهنية β–oxidation[18] إنخفضت فعالية إنزيم CAT معنوياً باضافة البوتاسيوم معطياً فعالية اقل من عدم اضافته وبنسبة إنخفاض قدرها 52.76 % وكانت فعالية الإنزيم 14.03 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ مع اضافة البوتاسيوم و 29.70 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ مع عدم اضافة البوتاسيوم، إن نقص البوتاسيوم يتسبب في تراكم حامض الابسسك ABA وهذا بدوره يحث على انتاج بيروكسيد الهيدروجين في أنسجة الورقة والمسبب في تلف الأغشية الخلوية [19] يؤدي البوتاسيوم تحت ظروف الإجهادات دور مهم في تصنيع البروتين من خلال مشاركته في تصنيع البيتدات المتعددة polypeptide في الرايبوزوم لذا فان هذه العملية تتطلب تراكيز عالية من البوتاسيوم [20] وبالنسبة للتداخل الثلاثي (الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين و البوتاسيوم) فان اضافة البوتاسيوم قد خفف من الضرر الذي سببه العاملان الإجهاد المائي عند المستوى D1 و $H_2O_2$ بتركيزصفر مليمول وذلك بخفض فعالية الانزيم من 10.68 إلى 5.23 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$. ومن 62.80 إلى 25.09 ملغم .غم وزن طري$^{-1}$عند المعاملة D3 و 30 مليمول $H_2O_2$.

سبب الإجهاد المائي و $H_2O_2$ زيادة معنوية في فعالية انزيم POD وعلى النقيض من ذلك في حالة البوتاسيوم المضاف الذي خفض من فعالية هذا الانزيم (جدول 3) ، فلقد سبب الإجهاد المائي زيادة معنوية في فاعلية إنزيم POD إذ سجل أعلى نشاط عند المستويين D2 و D3 بلغت قيمته 52.66 و 88.77 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ وبنسبة زيادة 41.86 % و 139.14 % على التتابع وبفارق معنوي عن المستوىD1الذي سجل 37.12وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$. يعد انزيم PODالخط الدفاعي الثاني في آلية الكنس الإنزيمي فله القدرة على تحويل بيروكسيد الهيدروجين إلى الأوكسجين والماء [21] و [22] إن تراكيز بيروكسيد الهيدروجين قد أثرت معنوياً في زيادة فعالية إنزيم POD وبغض النظر عن اضافة وعدم اضافة البوتاسيوم إذ سجل أعلى فعالية للإنزيم عند التركيز 30 مليمول بقيمة بلغت 66.91 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ وبنسبة زيادة 22.68 % على التتابع ، وبفارق معنوي عن المستوى D1 54.54 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$. ويؤدي أنزيم POD دوراً مهماً في ازالة $H_2O_2$[23] وتشير الدراسات إلى مساهمة أنزيم POD في العديد من الآليات المقاومة عن طريق تعزيز جدار الخلية عبر تكوين اللكنين lignifications وهذا المركب مهم جداً لأنه وسيلة حماية ودفاع ضد الإصابات المرضية [24] أدت معاملة اضافة البوتاسيوم إلى اختزال معنوي في فعالية إنزيم POD قياساً بمعاملة بدون اضافته إذ أعطت معاملة اضافة البوتاسيوم فعالية اقل في نشاط إنزم POD وبنسبة إنخفاض 42.76 % وكانت فعالية الإنزيم 43.33 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ مع

اضافة البوتاسيوم و 75.71 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$ مع عدم اضافة البوتاسيوم. فالبوتاسيوم يشجع تصنيع بروتينات Thioredoxin و Glutaredoxin و Cyclophilin والمعروفه بتيسير إعادة توليد الشكل المختزل لبروتين peroxyredoxin الذي يؤدي دور مهم في اختزال تكوين ROS للنباتات المعرضة للاجهادات الحيوية وغير الحيوية [25] وبالنسبة للتداخل الثلاثي (الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين و البوتاسيوم) فان اضافة البوتاسيوم قد خفف من الضرر الذي سببه العاملان الإجهاد المائي عند المستوى D1 و $H_2O_2$ بتركيزصفر مليمول وذلك بخفض فعالية الانزيم من 40.82 إلى 28.64 وحدة .ملغم بروتين$^{-1}$. ومن 134.02 إلى 64.15 ملغم .غم وزن طري$^{-1}$عند المعاملة D3 و 30 مليمول $H_2O_2$ .

يشير الجدول 4 إلى محتوى فيتامين C المضاد للأكسدة في الجزء الخضري للنباتات الذرة الصفراء المعرضة للإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين وجهد البوتاسيوم (-K) ، فلقد سبب الإجهاد المائي زيادة معنوية في محتوى فيتامين C إذ سجل أعلى القيم عند المستويين D2 و D3 بلغت 46.47 ، 61.11 ملغم .100 غم$^{-1}$ وزن جاف وبنسبة زيادة مقدارها 25.69 % و 65.29 % على التتابع وبفارق معنوي عن المستوىD1الذي سجل 36.97 ملغم .100 غم$^{-1}$ وزن جاف. إن الزيادة في فعالية مضادات الأكسدة غير إلانزيمية ascorbic acid قد تعزى إلى إن تعرض النبات للإجهاد المائي انعكس في زيادة مستوى ROS المسببة للإجهاد التأكسدي والتي تعمل على تلف مكونات الخلية ولأجل مقاومة أوتحمل المستويات العالية من ROS فقد طور النبات آلية تحفيز النظام غير إلانزيمي لمضادات الأكسدة وذلك بهدف كنس Scavenging للـ ROS[26] إذ يعد فيتامين C الخط الدفاعي الأول للمضادات الأكسدة غير الإنزيمي في مكونات الخلية المايتوكوندريا و كلوروبلاست و البيروكسيوم و السايتوسول والقوة المثبطة للأكسدة الأغشية الخلوية [27] و [28] وله القابلية على اخماد ROS لاسيما جذر السوبر أوكساييد وجذر الهيدروكسيل والأوكسجين المفرد واختزال بيروكسيد الهيدروجين إلى ماء بواسطة إنزيم Ascorbate peroxides[29] كما له الدور في كنس جذور البيروكسي radicals[30] peroxy سبب بيروكسيد الهيدروجين تأثيراً معنوياً في زيادة محتوى حامض الاسكوربك إذ سجل أعلى محتوى عند التركيزين 15 و 30 مليمول بقيم بلغت 48.26 ، 50.42 ملغم .100 غم$^{-1}$ وبنسبة زيادة قدرها 5.21 % و 9.91 % على التتابع ، وبفارق معنوي عن معاملة ( صفر $H_2O_2$ )بلغ 45.87 ملغم .100 غم$^{-1}$ . يعد Ascorbic acid الخط الدفاعي الأول من مضادات الأكسدة غير الأنزيمية الكانس لـ $H_2O_2$ في مكونات الخلية الرئيسية الكلوروبلاست و المايتوكوندريا و بيروكسيوم و سايتوسول [28] إذ توجد الاسكوربات بتراكيز عالية في كل من الكلوروبلاست والسايتول والتي لها دور مهم في ازالة $H_2O_2$ الى $H_2O$[31] و [32] في حالة اضافة البوتاسيوم فقد أبدى إنخفاضاً معنوياً في محتوى الفيتامين قدرة 12.36 % عن المعاملة بدون اضافته وكان محتوى فيتامين C 45.01 ملغم .100 غم$^{-1}$ وزن جاف عند اضافته و 51.36 ملغم .100 غم$^{-1}$ وزن جاف في حالة عدم اضافة البوتاسيوم . ويعود السبب إلى دور البوتاسيوم في كبح تولد الجذور الحرة من مجموعة انواع الاوكسجين الفعالة ROS على مستوى المكونات الرئيسه للخلية [5] ويعتقد إن انخفاض محتوى Ascorbic acid يعود إلى دور البوتاسيوم في خفض تركيز حامض الابسسك وبالتالي يؤدي إلى اختزال تكوين بيروكسيد الهيدروجين 019) كما أن البوتاسيوم يزيد من الكاربوهيدرات غير الهيكلية الكلية Total Non-Structural Carbohydrate (TNC) مثل (D-glucose) الذي يعد المركب الاساسي للتصنيع الحياتي لـ Ascorbic acid في النبات [33,34,35] وبالنسبة للتداخل الثلاثي (الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين و البوتاسيوم) فان اضافة البوتاسيوم قد خفف من الضرر الذي سببه العاملان الإجهاد المائي عند المستوى D1 و $H_2O_2$ بتركيزصفر مليمول وذلك بخفض محتوى فيتامين C من 38.38 إلى 31.06 ملغم .100 غم$^{-1}$ وزن جاف. ومن 69.10 إلى 59.10 ملغم .100 غم$^{-1}$ وزن جاف عند المعاملة D3 و 30 مليمول $H_2O_2$ .

يتضح من الجدول (5) إن الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين أثرا وبشكل معنوي في محتوى الكاروتين ، إذ يلاحظ حصول زيادة معنوية في هذه الصفة عند تعرض نباتات الذرة الصفراء إلى الإجهاد المائي وبكلا مستوييه D2 و D3 حيث سجل أعلى محتوى بقيم بلغت 0.093 و0.075 ملغم. غم وزن طري$^{-1}$ وبنسبة زيادة قدرها 78.84 % و 44.23 % على التتابع قياساً بالمستوى D1 0.052 ملغم . غم وزن طري$^{-1}$. يعتقد أن إجهاد الجفاف المصاحب لأرتفاع درجات الحرارة يحث المايتوكوندريا والبلاستيدات الخضر والبيروكسومات والسايتوسول على زيادة إنتاج الجذور الحرة من مجموعة الأوكسجين الفعالة ROS والتي تؤدي إلى تحلل الأغشية الخلوية وأكسدة الانزيمات والأحماض النووية وخفض تراكيز السايتوكاينينات والجبرلينات والاوكسينات [36] إذ يؤدي الكاروتين دوراً مهماً في حماية الكلوروفيل وأجهزة البناء الضوئي من الأكسدة الضوئية وأخماد التأثير الضار لـ ROS لاسيما الأوكسجين المفرد المتولد في الكلوروبلاست كما له دور في تبديد الزيادة في الطاقة المهيجة للكلوروفيل [37] كما يقوم الكاروتين بالأرتباط مع الكلوروفيل والبروتين لتكوين معقد من الكلوروفيل– الكاروتين– البروتين الذي يعمل على حصاد الضوء وبالتالي حماية الكلوروفيل من الأكسدة الضوئية [38]أثرت معاملات بيروكسيد الهيدروجين معنوياً في زيادة تركيز الكاروتين إذ سجل أعلى محتوى لهذه الصفة عند التركيزين 15 و 30 مليمول بقيم بلغت 0.077 ، 0.074 ملغم .غم وزن طري$^{-1}$ وبنسبة زيادة 13.23 % و 8.82 % على التتابع ، قياساً بمعاملة صفر بيروكسيد الهيدروجين 0.068 ملغم .غم وزن طري$^{-1}$ .و الكاروتينات تعد من الصبغات المساعده لعملية البناء الضوئي التي تعمل على حصاد الضوء وحماية الكلوروفيل من الجذور الحرة وإجهادات الأكسدة [39]إذ يعمل الكاروتين على كبح الكلوروفيل الثلاثي والأوكسجين المفرد المتسببه في تهديم DNA وتحليل بروتين (D1D1protein) في أغشية الثايوكليدات [40] ويقوم بيروكسيد الهيدروجين بحث جينات Cat2 و Apx1 و Chl AOX و mit AOX و CSD2 و PrxR و 2–cysteine و NADPH oxidases وهذه الجينات ضرورية في حماية البلاستيدات الخضر ضد اجهادات الأكسدة [41] كما تفوقت معاملات اضافة البوتاسيوم باعطائها أعلى محتوى للكاروتين بلغت 0.079 ملغم . غم وزن طري $^{-1}$ على عدم اضافة البوتاسيوم 0.067ملغم . غم وزن طري $^{-1}$ وقد أبدت زيادة مقدارها 17.91 %. وان اضافة البوتاسيوم أدت إلى زيادة محتوى الاوراق من الكاروتين قياساً بعدم اضافته ويعتقد ان البوتاسيوم يثبط فعالية أنزيم lipoxygenase المحلل للأغشية الخلوية والمسبب في انتاج الجذور الحرة [42] وبالنسبة للتداخل الثلاثي (الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين و البوتاسيوم) فان اضافة البوتاسيوم قد خفف من الضرر الذي سببه العاملان الإجهاد المائي عند المستوى D1 و $H_2O_2$ بتركيزصفر مليمول وذلك بزيادة محتوى الكاروتين من 0.039 إلى 0.053 ملغم .غم وزن طري$^{-1}$. ومن 0.068 إلى 0.087 ملغم .غم وزن طري$^{-1}$ عند المعاملة D3 و 30 مليمول $H_2O_2$.

جدول (1) تأثير الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين والبوتاسيوم في فعالية إنزيم SOD ( وحدة . ملغم بروتين$^{-1}$ ) .

| Water stress | - K | | | + K | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2O_2$ | | | $H_2O_2$ | | | |
| | 0 | 15 | 30 | 0 | 15 | 30 | |
| D1 | 75.88 | 80.35 | 93.49 | 29.00 | 42.60 | 60.83 | |
| D2 | 89.02 | 91.24 | 128.04 | 50.14 | 59.96 | 73.64 | |
| D3 | 247.83 | 271.27 | 317.77 | 93.57 | 108.88 | 136.81 | |
| Water stress | K | | | | | | Mean |
| | - K | | | + K | | | |
| D1 | 83.24 | | | 44.14 | | | 63.69 |
| D2 | 102.76 | | | 61.24 | | | 82.00 |
| D3 | 278.95 | | | 113.08 | | | 196.01 |
| Mean | 154.98 | | | 72.82 | | | Mean |
| $H_2O_2 * K$ | $H_2O_2$ | | | | | | |
| | - K | | | + K | | | |
| 0 | 137.57 | | | 57.57 | | | 97.57 |
| 15 | 147.62 | | | 70.48 | | | 109.05 |
| 30 | 179.76 | | | 90.42 | | | 135.09 |
| Mean | 154.98 | | | 72.82 | | | |
| LSD 0.05 | | | | | | | |
| D*K* $H_2O_2$ | K* $H_2O_2$ | D* $H_2O_2$ | | D*K | $H_2O_2$ | K | D |
| 4.617 | 86.802 | 86.992 | | 22.90 | 1.702 | 1.390 | 1.702 |

جدول (2) تأثير الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين والبوتاسيوم في فعالية إنزيم CAT ( وحدة . ملغم بروتين$^{-1}$ ).

| Water stress | - K | | | + K | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2O_2$ | | | $H_2O_2$ | | | |
| | 0 | 15 | 30 | 0 | 15 | 30 | |
| D1 | 10.68 | 11.38 | 14.14 | 5.23 | 7.03 | 9.88 | |
| D2 | 21.45 | 20.28 | 27.00 | 9.96 | 13.14 | 15.38 | |
| D3 | 47.02 | 52.63 | 62.80 | 19.53 | 21.05 | 25.09 | |
| Water stress | K | | | | | | Mean |
| | - K | | | + K | | | |
| D1 | 12.06 | | | 7.38 | | | 9.72 |
| D2 | 22.91 | | | 12.82 | | | 17.86 |
| D3 | 54.15 | | | 21.89 | | | 38.02 |
| Mean | 29.70 | | | 14.03 | | | Mean |
| $H_2O_2 * K$ | $H_2O_2$ | | | | | | |
| | - K | | | + K | | | |
| 0 | 26.38 | | | 11.57 | | | 18.97 |
| 15 | 28.09 | | | 13.74 | | | 20.91 |
| 30 | 34.64 | | | 16.78 | | | 25.71 |
| Mean | 29.70 | | | 14.03 | | | |
| LSD 0.05 | | | | | | | |
| D*K* $H_2O_2$ | K* $H_2O_2$ | D* $H_2O_2$ | | D*K | $H_2O_2$ | K | D |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.248 | 17.837 | 17.359 | 5.163 | 2.921 | 2.385 | 2.921 |

جدول (3) تأثير الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين والبوتاسيوم في فعالية إنزيم POD ( وحدة . ملغم بروتين$^{-1}$ ) .

| Water stress | - K | | | + K | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2O_2$ | | | $H_2O_2$ | | | |
| | 0 | 15 | 30 | 0 | 15 | 30 | |
| D1 | 40.82 | 39.45 | 46.06 | 28.64 | 31.37 | 36.41 | |
| D2 | 55.58 | 59.75 | 76.50 | 39.74 | 40.04 | 44.37 | |
| D3 | 110.58 | 118.64 | 134.02 | 51.89 | 53.38 | 64.15 | |
| Water stress | K | | | | | | Mean |
| | - K | | | + K | | | |
| D1 | 42.11 | | | 32.14 | | | 37.12 |
| D2 | 63.94 | | | 41.38 | | | 52.66 |
| D3 | 121.08 | | | 56.47 | | | 88.77 |
| Mean | 75.71 | | | 43.33 | | | Mean |
| $H_2O_2 * K$ | $H_2O_2$ | | | | | | |
| | - K | | | + K | | | |
| 0 | 68.99 | | | 40.09 | | | 54.54 |
| 15 | 72.61 | | | 41.59 | | | 57.10 |
| 30 | 85.52 | | | 48.31 | | | 66.91 |
| Mean | 75.71 | | | 43.33 | | | |
| LSD 0.05 | | | | | | | |
| $D*K* H_2O_2$ | $K* H_2O_2$ | $D* H_2O_2$ | | D*K | $H_2O_2$ | K | D |
| 10.84 | 32.857 | 34.925 | | 9.361 | 5.240 | 4.279 | 5.240 |

جدول (4) يبين تأثير الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين والبوتاسيوم في محتوى فيتامين C ( ملغم . 100 غم وزن جاف$^{-1}$).

| Water stress | - K | | | + K | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2O_2$ | | | $H_2O_2$ | | | |
| | 0 | 15 | 30 | 0 | 15 | 30 | |
| D1 | 38.38 | 40.26 | 41.87 | 31.06 | 34.37 | 35.88 | |
| D2 | 46.33 | 48.39 | 50.53 | 42.94 | 44.63 | 46.07 | |
| D3 | 62.41 | 64.99 | 69.10 | 54.10 | 56.96 | 59.10 | |
| Water stress | K | | | | | | Mean |
| | - K | | | + K | | | |
| D1 | 40.17 | | | 33.77 | | | 36.97 |
| D2 | 48.41 | | | 44.54 | | | 46.47 |
| D3 | 65.50 | | | 56.72 | | | 61.11 |
| Mean | 51.36 | | | 45.01 | | | |
| $H_2O_2 * K$ | $H_2O_2$ | | | | | | Mean |
| | - K | | | + K | | | |
| 0 | 49.04 | | | 42.70 | | | 45.87 |
| 15 | 51.21 | | | 45.32 | | | 48.26 |
| 30 | 53.83 | | | 47.01 | | | 50.42 |
| Mean | 51.36 | | | 45.01 | | | |
| LSD 0.05 | | | | | | | |
| D*K* $H_2O_2$ | K* $H_2O_2$ | | D* $H_2O_2$ | D*K | $H_2O_2$ | K | D |
| 2.065 | 13.171 | | 5.851 | 2.742 | 0.823 | 0.672 | 0.823 |

جدول (5) تأثير الإجهاد المائي وبيروكسيد الهيدروجين والبوتاسيوم في محتوى الكاروتين ( ملغم . غم وزن طري$^{-1}$ ).

| Water stress | - K | | | + K | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $H_2O_2$ | | | $H_2O_2$ | | | |
| | 0 | 15 | 30 | 0 | 15 | 30 | |
| D1 | 0.039 | 0.047 | 0.052 | 0.053 | 0.062 | 0.060 | |
| D2 | 0.086 | 0.092 | 0.089 | 0.096 | 0.103 | 0.095 | |
| D3 | 0.065 | 0.074 | 0.068 | 0.073 | 0.089 | 0.087 | |
| Water stress | K | | | | | | Mean |
| | - K | | | + K | | | |
| D1 | 0.046 | | | 0.058 | | | 0.052 |
| D2 | 0.089 | | | 0.098 | | | 0.093 |
| D3 | 0.068 | | | 0.083 | | | 0.075 |
| Mean | 0.067 | | | 0.079 | | | Mean |
| $H_2O_2 * K$ | $H_2O_2$ | | | | | | |
| | - K | | | + K | | | |
| 0 | 0.063 | | | 0.074 | | | 0.068 |
| 15 | 0.071 | | | 0.084 | | | 0.077 |
| 30 | 0.069 | | | 0.080 | | | 0.074 |
| Mean | 0.067 | | | 0.079 | | | |
| LSD 0.05 | | | | | | | |
| D*K* $H_2O_2$ | K* $H_2O_2$ | D* $H_2O_2$ | | D*K | $H_2O_2$ | K | D |
| 0.0072 | 0.0227 | 0.0113 | | 0.007 | 0.0029 | 0.0024 | 0.0029 |

## المصادر


1. Cui, Y., Zhao, N. (2011) Oxidative stress and chang in plant metabolism of maize (Zea mays L.) growing in contaminated soil with elemental sulfur andtoxic effect of zinc. 8(4): 112-123.
2. Gill, S.S., Tuteja, N. (2010) Reactive oxygen specics and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Pl. physiol. Bioch. 48: 909 – 930.
3. Hung, K.T., Kao, C. H. (2007) Hydrogen Peroxide, Calcium, and Leaf Senescence in Rice. Crop. Environment. Bioinformatics 4: 145-150.
4. Amtmann, A., Troufflard, S., Armengand, P. (2008) The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. physiol plant. 133 : 682 – 691.
5. Römheld, V., Kirkby, E.A., (2010) Research on potassium in agriculture: needs and prospects. Plant Soil.
6. Cakmak, I. (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of biotic stresses in plants. J. plant Nutr. Soil Sci. 168: 521 – 530.

7. Kovda, V.A., VandenBerg C., Hangun, R.M. (1973) Drainage and salinity. FAO .UNE Co. London.
8. Dhindsa, R.A., Plumb-Dhindsa, P., Thorpe, T.A. (1981) Leaf senescence correlated with increased permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. J. Exp. Bot. 126: 93- 101.
9. Beers, R.F.J., Sizer. I.W., (1952) Catalase Assay.Journal of Biological chemistry. 159: 133- 140.
10. Bergmeyer H.U. (1974) Method of Enzymatic Analysis 1, Academic Press, New York.2nd Edition, 495.
11. Hussain, I., Khan, L., Khan, M.A., Khan, F.U., Ayaz, S., Khan, F.U. (2010) UV Spectrophotometric Analysis Profile of Ascorbic Acid in Medicinal Plants of Pakistan. World Appl. Sci. J. 9(7): 800- 803.
12. Hiscox, J.D, Israelstam, G.F. (1979) A method for extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. Can. J. Bot. 57: 1332-1334.
13. Yasar, F., Ellialtioglu S. Yildiz, K. (2008) Effect of salt stress on antioxidant defense systems, lipid peroxidation, and chlorophyll content in green bean.Russian J. Pl. Physiol. 55: 782-786.
14. Kusvuran, S. (2010) Influence of Drought Stress on Growth, Ion Accumulation and Antioxidative Enzymes in Okra Genotypes. Int. J. Agric. Biol. 14(3): 401-406.
15. Kafkas, E., Atasay, A., Sabir, F.K., Akgul H., Uckun, K. (2009) Effects of different irrigation intervals and fertilizer applications on certain chemical contents of 'Breaburn' apple cultivar.African J. Biotechnol., 8: 2138-2142.
16. Hung, K.T., Hsu, Y.T., Kao, C.H. (2006) Hydrogen peroxide is involved in methyl jasmonate-induced senescence of rice leaves. Physiol. Plant. 127:293-303.
17. He .L , Gao, Z., Li, R. (2009) Pretreatment of seed with H2O2 enhances drought to lerance of wheat ( Triticum aestivum L. ) seedlings . AFr. J. Biotechnol. 8(22): 6151 – 6157.
18. Scandalios, J.G., Guan, L.M, Polidoros, A. (1997). Oxidative stress and the Molecular biology of antioxidant defenses.Cold spring Harbor Lab. Press Planvies NY. 343-406.
19. Liu, C,H., Chao, Y.Y., Kao, C.H. (2012) Abscisic acid is an inducer of hydrogen peroxide production in leaves of rice seedling grown under potassium deficiency. Botanical Studies. 53: 229- 237.
20. Jones, R.G., Pollard, A. (1983). Proteins Enzymes and Inorganics Ions. In Inorganic Plant Nutrition; Lauchil, A., Bileski, R.L., Eds.; Springer . New York, NY, USA, 528- 562.

21. Nadall, S.M., Balogy E.R., Jochvic, N.L. (2011) Hydrogen Peroxide is scavenged by antioxidant enzymes in wheat plants. Pl. Cell Physiol. 29: 534-541.
22. Vaidyanathan, H., Sivakumar, P., Chakrabarty, R., Thomas, G. (2003) Scavenging of reactive oxygen species in NaCl-stressed rice (Oryza sativa L.) differential response in salt-tolerant and sensitive varieties. Plant Sci. 165: 1411-18.
23. Kawano, T. (2003) Roles of the reactive oxygen species generating peroxidase reactions in plant defense and growth induction.Plant Cell Rep. 21: 829-937.
24. Tripathi, B.N., Bhatt, I., Dietz, K.J., (2009) Peroxiredoxins: A less studied component of hydrogen peroxide detoxification in photosynthetic organism. Protoplasma, 235: 3-15.
25. Alscher, R.A., Erturk, N., Heath, L.S. (2002). Role of superoxide dismutases ( SoDs) in controlling oxidative stress in plant J. Exp. Bot. 53:1331 – 1341.
26. Maxwell, S.R.J. (1995) Prospects for use of antioxidant therapies, Drugs, 49: 345-361.
27. Quan, L.J., Zhang, B., Shi, W.W., Li, H.Y. (2008) Hydrogen Peroxide in plants; A versatile Molecule of Reactive Oxygen Species Network. Supported by the National Natural Science Foundation of China (30170238; 30670070).
28. Noctor, G. Foyer, C.H. (1998). Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol Biol. 49: 249-279.
29. Sies, H. (1993) Strategies of antioxidant defence. Eur. J. Biochem. 215: 213-219.
30. Foyer, C.H., Lelandais, M., Edwards, E.A., Mullineaux, P.M. (1991) The role of ascorbate in plants interactions with photosynthesis,and regulatory significance.In active oxygen/oxidative stress and plant metabolism. Current Topics in plant physiology (eds Pell E. and Steffen K.), Am. Soc. Plant Physiologists 6:131-144.
31. Polle, A., Chakrabariti, K., Schurmann, W., Rnnenberg, H. (1990). Composition and properties of Hydrogen peroxide Decomposing systems in extra-cellular and Total Extracts from needles of Norway spruce. Plant Physiol. 94: 312-319.
32. De Tullio, Arrigoni, M.C., Hopes, O. (2004) disillusions and more hopes from vitamin C. Cell. Mol. Life Sci. 61: 209-219.
33. Hancock, R.D., and R. Viola, 2005. Biosynthesis and catabolism of L-ascorbic in plants.Crit. Rev. Plant Sci. 24: 167-188.
34. Ibrahim, M.H., Jaafar, H.Z.E., Karimi, E., Ghasemzadeh, A. (2012) Primary, Secondary Metabolites, Photosynthetic Capacity and Antioxidant Activity of the Malaysian Herb Kacip Fatimah (Labisia pumila Benth) Exposed to Potassium fertilizeation under Greenhouse Conditions. Int. J. Sci. 13: 15321- 15342.
35. Taiz, L., Zeiger, E. (2010) Plant Physiology .5th(ed.), Sianauer Associates, Sunderland, UK: 625.

36. Ann, B.M., Gothandam, K.M. (2012) Overview of Genetic Manipulation in plant caroteniod Biosynthesis pathway . Res. J. Biotech. 7(3): 113 – 124.
37. Dall' Osto, L., Cazzaniga, S., Havaux, M., Bassi, R. (2010) Enhanced photoprotection by protein – bound Vs Free Xanthophyll Pools : a comparative analysis of chlorophyll b and xanthophyll biosynthesis mutants. Molec. Pl. 3: 576 – 593.
38. Gomathi, R., Rakkiyapan, P. (2011) Comparative lipid peroxidation, leaf membrane thermostability, and antioxidant system in four sugarcane genotypes differing in salt tolerance.Int. J. Plant Physiol. Biochem. 3(4): 67-74.
39. Trebst, A. (2003) Function of β- Carotene and Tocopherol in Photosystem II. Biochemie der Pflanzen, Ruhr- Universitat. Bochum, 58: 609- 620.
40. Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., Van Breusegem, F. (2004) Reactive oxygen gene network of plant.TRENDS Pl.t Sci. 9(10): 490-498.
41. Lester, G.E. (2005) Supplemental Foliar Potassium Applications during Muskmelon Fruit Development Can Improve Fruit Quality, Ascorbic Acid, and Beta- carotene Contents. J. AMER. Soc. HORT. Sci. 130(4): 649- 653.