الجمهوريـة العربيـة السـوريـة

جـــــامعـــــة دمشـــــــق

كليـة الهنـدسـة الزراعيــة

قسـم المحاصيل الحقلية

تأثير إضافة حمضي الصفصاف والأبسيسيك في تخفيف عوامل الإجهاد التأكسدي استجابة للإجهادين الحلولي والملحي لدى بعض أصناف القمح (*Triticum spp*)

رسالة مُقدمة لنيل درجة الماجستير في علوم المحاصيل الحقلية

(قسم المحاصيل الحقلية)

إعـداد الطالبة

نبال نهاد نور الدين

إشـراف

أ. د. أيمن الشحاذه العوده

أستاذ بيئة وفيزيولوجيا المحاصيل الحقلية

كلية الزراعة – جامعة دمشق

2023م

نُوقشت هذه الرِّسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في الهندسة الزراعية، في كلية الزراعة، جامعة دمشق وأُجيزت بتاريخ 2023/8/2 من قبل لجنة الحكم المؤلفة من السادة:

د. أيمن الشحاذه العوده: الأستاذ في قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق. **(عضواً مشرفاً)**

د. حسين المحاسنة: الأستاذ في قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق. **(عضواً)**

د. نور علي: المدرس في قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق. **(عضواً)**

شهادة

نشهد بأنَّ العمل المُقدّم في هذه الرِّسالة هو نتيجة بحث علمي قامت به المرشحة **نبال نور الدين** بإشراف الدكتور **أيمن الشحاذه العوده**، الأستاذ في قسم المحاصيل الحقلية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة دمشق، وأنَّ أيَّة مراجع أخرى ذُكرت في هذه الرِّسالة موثقة في النص.

المرشحة	المشرف العلمي
نبال نور الدين	**أ. د. أيمن الشحاذه العوده**

Certificate

We hereby certify that the work described in this thesis is the result of a scientific research, performed by the candidate **Nebal Nour ALdeen**, under the supervision of Dr. **Ayman Shehada AL-Ouda**, Professor at Field Crops Department, Faculty of Agriculture, Damascus University. All reference books resorted to by the researcher has been checked by the text.

Candidate: Nebal Nour Aldeen

Chairman: Prof. Dr. Ayman Shehada AL-Ouda

تصريح

أُصرح بأنّ البحث الموصوف في هذه الرِّسالة تحت عنوان "**تأثير إضافة حمضي الصفصاف و الأبسيسيك في تخفيف عوامل الإجهاد التأكسدي استجابة للإجهادين الحلولي والملحي لدى بعض أصناف القمح (*Triticum spp*)**" لم يسبقْ أنْ قُدِّم للحصول على أيَّة درجة جامعية أخرى، وهو غير مُقدّم حالياً لذلك، وأنَّ الأعمال والنتائج المذكورة جميعها هي جهودي الشخصية، وبتوجيهٍ من المشرف العلمي، وقد نُسبتْ أيَّة معلومات أو نتائج أخرى ذُكرت في الرِّسالة إلى مصادرها ومؤلفيها في النص وفي قائمة المراجع.

المرشحة

نبال نور الدين

Declaration

I declare that the present research entitled **''Effect the Application of Salicylic and Abscisic Acids on Mitigating the Oxidative Stress Factors under Osmotic and Salinity Stresses in Some Wheat (*Triticum spp*) Varieties''** is a new research work that has never been studied by any other researchers for any other degree, and currently it is not submitted by anyone for any degree.

Candidate

Nebal Nour Aldeen

شكر وتقدير

يسرني أنْ أوجه شكري وامتناني لمن نصحني وأرشدني ووجهني، وأسهم معي في إعداد هذا البحث، أستاذي الفاضل **الأستاذ الدكتور أيمن الشحاذه العوده.**

أشكر **لجنة الحكم** لجهودها المبذولة في تحكيم هذا البحث وللملحوظات القيمة التي أدَّت إلى رفع سوية البحث وجودته.

أوجه شكري لجامعة دمشق ولإدارة كلية الزراعة بجامعة دمشق متمثلة بالسيد العميد و النائبين العلمي والإداري لدعمهم المستمر للبحث العلمي.

أوجه شكري لقسم المحاصيل الحقلية متمثلة برئيس القسم **الأستاذ الدكتور حسين المحاسنة** وكل أساتذتي الأفاضل، وجميع المعيدين وأعضاء الهيئة الفنية والمخبريين والإداريين.

أوجه شكري وأمتناني لقسم التقانات الحيوية، ولاسيما **الدكتور فهد البيسكي** لتعاونهم في توفير المواد والأجهزة لتنفيذ البحث.

وأشكر زملائي في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية وزملائي في قسم التقانات الحيوية، وأخص بالشكر **الدكتورة شهيناز عباس،** والمهندسات **بيان أندورة، رغد الحسن، ابتهال دحمان.**

وأشكر أُسرتي:

إلى من افتخرت دوماً أنني ابنته، إلى الجبل الذي أتكأت عليه دوماً، إلى عرابي الذي أضاء لي شمعة النجاح في طريق العلم، وأمسك يدي في دربه وآنسني فيه وأرشدني إلى الصبر والإرادة..

والدي رحمه الله

إلى من أبتغي جنةً تحت قدميها.. بُوركت صلواتك ودعواتك التي زرعت دربي رضاً وتوفيقاً من الله...

والدتي الغالية

إلى القلوب النقية التي أتكأتُ عليها كثيراً... والتي منحتني الحب والثقة وكانت لي عوناً وسنداً...

أخوتي (بلال، دلال، منال، آلاء)

إلى رفيق الروح ومؤنس القلب، إلى من شجعني ودعمني، وكان لي عوناً وأماناً...

خطيبي الغالي (علي)

فهرس المحتويات

العنوان	رقم الصفحة
الفصل الأول **المقدمةIntroduction**	
1-1- المقدمة Introduction	1
1-2- مشكلة البحث Research problem	2
1-3- أهمية البحث Research relevance	4
1-4- تساؤلات البحث Research questions	5
1-5- فرضيات البحث Research hypotheses	5
1-6- مسوغات البحث Research justifications	6
1-7- أهداف البحث Research objectives	7
الفصل الثاني **الدراسة المرجعية Literature Review**	
2-1- الإجهاد الحلولي Osmotic stress	8
2-2- الإجهاد الملحي Salinity stress	8
2-3- الإجهاد التأكسدي Oxidative stress	9
2-4- منظمات النمو (الهرمونات)Hormones	11
2-4-1. حمض الصفصاف Salicylic acid	11
2-4-2. حمض الأبسيسيك Abscisic acid	13
2-5- الدراسات السابقة Literature Reviews	14
الفصل الثالث **مواد البحث وطرائقه Materials and methods**	
3-1- مكان تنفيذ التجربة Research site	24
3-2- المادة النباتية Plant material	24

3-3- طرائق البحث Research Methods	25
3-3-1. طريقة العمل Methodology	25
3-4- المعاملات المدروسة Investigated treatments	26
3-5- الصفات المدروسة Investigated traits	27
3-5-1. محتوى الماء النسبي في الأوراق Leaf Relative Water Content	27
3-5-2. دليل سلامة الأغشية السيتوبلاسمية Membrane Stability Index	28
3-5-3. محتوى الأوراق من البرولين Leaf proline content	29
3-5-4. محتوى الأوراق من الأصبغة اليخضورية والكاروتينية	29
3-5-5. تركيز جذر الماء الأوكسجيني	30
3-5-6. تركيز المالونيل دي ألدهيد	30
3-5-7. نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية	31
3-5-7. 1. نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز SOD Activity	32
3-5-7. 2. نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز APX Activity	33
3-5-7. 3. نشاط أنزيم الكاتالاز CAT Activity	34
3-5-8. تركيز مضاد الأكسدة غير الأنزيمية	34
3-5-8. 1. تركيز حمض الأسكوربيك	34
3-6- تصميم التجربة والتحليل الإحصائي Experimental design and statistical analysis	35
الفصل الرابع **النتائج والمناقشة Results and discussion**	
4-1- محتوى الماء النّسبي في الأوراق	36
4-2- دليل سلامة الأغشية السيتوبلاسمية (نسبة تسرب الذّائبات)	41
4-3- محتوى الأوراق من البرولين	45
4-4- تركيز الكلوروفيل (a)	50
4-5- تركيز الكلوروفيل (b)	51

4-6- تركيز الأصبغة الكاروتينية	56
4-7- تركيز جذر الماء الأوكسجيني	61
4-8- تقدير تركيز المالونيل دي ألدهيد	67
4-9- نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز (SOD)	71
4-10- نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز (APX)	75
4-11- نشاط أنزيم الكاتالاز (CAT)	79
4-12- تركيز حمض الأسكوربيك (فيتامين C)	83
4-13- الاستنتاجات Conclusions	87
4-14- التوصيات والمقترحات Recommendations and suggestions	88
- المراجع References	89

فهرس الجداول

الرقم	العنوان	رقم الصفحة
1	توصيف المادة النباتية المدروسة	24
2	مكونات محلول هوغلاند	27
3	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في محتوى الماء النّسبي (%) لدى أصناف القمح المدروسة.	40
4	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في نسبة تسرب الذائبات (%) لدى أصناف القمح المدروسة.	44
5	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في محتوى الأوراق من البرولين (مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) لدى أصناف القمح المدروسة.	49
6	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز الكلوروفيل(a) (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) لدى أصناف القمح المدروسة.	54
7	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز الكلِّورفيل (b) (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) لدى أصناف القمح المدروسة.	55
8	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز الأصبغة الكاروتينية (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) لدى أصناف القمح المدروسة.	60
9	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز جذر الماء الأوكسجيني (ميكرومول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) لدى أصناف القمح المدروسة.	66
10	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز المالونيل دي ألدهيد (ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) لدى أصناف القمح المدروسة.	70
11	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز (وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين) لدى أصناف القمح المدروسة.	74
12	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز (ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين) لدى أصناف القمح المدروسة.	78
13	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في نشاط أنزيم الكاتالاز (ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين) لدى أصناف القمح المدروسة.	82
14	تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز حمض الأسكوربيك (ميكروغرام. غ$^{-1}$ مادة نباتية) لدى أصناف القمح المدروسة.	86

فهرس الأشكال

الرقم	العنوان	رقم الصفحة
1	المنحنى المعياري لجذر الماء الأوكسجيني.	30
2	المنحنى المعياري لمحلول برادفورد.	32
3	المنحنى المعياري لأنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز.	33
4	المنحنى المعياري لحمض الأسكوربيك.	35
5	حلقة الأسكوربات – جلوتاثيون (ASC - GSH)	77

قائمة المعادلات

الرقم	العنوان	رقم الصفحة
1	معادلة حساب محتوى الماء النسبي (RWC %)	28
2	معادلة نسبة تسرب الذائبات خلال الأغشية الخلوية	28
3	معادلة حساب تركيز الكلوروفيل (a)	29
4	معادلة حساب تركيز الكلوروفيل (b)	29
5	معادلة حساب تركيز الكاروتينات الكلية (Caro)	29
6	معادلة حساب نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز (APX)	33

قائمة الاختصارات والمصطلحات العلمية

FAO	Food and Agriculture Organization of the UN	منظمة الأغذية والزراعة العالمية
WANA	West Asia and North Africa	منطقة غرب آسيا وشمال أفريقيا
COVID-19	Coronavirus disease 2019	فيروس كورونا 2019
ROS	Reactive oxygen species	أنواع الأوكسجين النشطة
Gs	Stomatal conductance	الناقلية المسامية
T	Transpiration	فقد المياه بالنتح
CO_2	Carbon dioxide	غاز ثاني أوكسيد الكربون
ATP	Adenosine Triphosphate	الأدينوسين ثلاثي الفوسفات
O_2	Oxygen	الأوكسجين الجزيئي
$O^{\bullet-}_2$	Superoxide radical	جذر السوبر أوكسيد الحر
H_2O_2	Hydrogen peroxide	جذر الماء الأوكسجيني
$OH^{\bullet-}$	Hydroxyl radical	جذر الماءات الحر
A	Assimilation rate	معدل التمثيل الضوئي
NAR	Net assimilation rate	معدل صافي التمثيل الضوئي
PGR	Plant growth regulators	منظمات النمو النباتية (الهرمونات)
Ψ_w	Water potential	الجهد المائي
DNA	Deoxyribonucleic acid	الحمض النووي الريبوزي منقوص الأوكسجين
RNA	Ribonucleic acid	الحمض النووي الريبوزي
SOD	Superoxide dismutase enzyme	أنزيم السوبر أوكسيد ديزموتاز
APX	Ascorbate peroxidase enzyme	أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز
CAT	Catalase enzyme	أنزيم الكاتالاز

GSH	Glutathione	الغلوتاثيون
SA	Salicylic acid	حمض الصفصاف
POD	Peroxidase enzyme	أنزيم البيروكسيداز
ABA	Abscisic acid	حمض الأبسيسيك
GR	Glutathione reductase enzyme	أنزيم إرجاع الغلوتاثيون
Chl.a	Chlorophyll (a)	اليخضور (أ)
Chl.b	Chlorophyll (b)	اليخضور (ب)
Caro	Carotenoids	الكاروتينات (الأصبغة البرتقالية)
MDA	Malondyaldehyde	المالونيل دي ألدهيد
RWC%	Relative water content	محتوى الماء النسبي في الأوراق
MSI%	Membrane stability index	دليل ثباتية الأغشية
TSP	Total soluble proteins	البروتينات الذوّابة الكليّة
EL	Electrolyte leakage	تسرب الذائبات
POX	Peroxidase enzyme	أنزيم البيروكسيداز
PEG	Polyethylene glycol	السكر عديد الجلوكوز الإيثلي
AsA	Ascorbic acid	حمض الأسكوربيك (فيتامين C)
GSSG	Glutathione disulfide	ثنائي كبريتيد الغلوتاثيون
MDHAR	Monodehydroascorbate reductase enzyme	أنزيم مونوديهيدرو أكسوربات ريدوكتاز
DHAR	Dehydroascorbate reductase enzyme	أنزيم ديهيدرو أسكوربات
PPO	Polyphenol oxidase	أنزيم البولي فينول
Rubisco	Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase	أنزيم روبيسكو
FW	Fresh weight	الوزن الرطب

TW	Turgid weight	الوزن الرطب المشبع
DW	Dry weight	الوزن الجاف
TCA	Trichloroacetic acid	حمض الخليك ثلاثي الكلور
TBA	Thiobarbituric acid	حمض الثيوباربيتوريك
NBT	Nitroblue tetrazolium	نيترو بلو تيترازوليوم
EDTA	Ethylene diamine tetraacetic acid	ثنائي أمين الإيثيلين رباعي حمض الأسيتيك
CRD	Complete randomized design	التصميم العشوائي الكامل
LSD	The least significant difference	أقل فرق معنوي
CV	Coefficient of variation	معامل الاختلاف
WUE	Water use efficiency	كفاءة استعمال المياه
C_3PCR	the C3 photosynthetic carbon reduction cycles (Calvin)	حلقة ارجاع الكربون الثلاثية (حلقة كالفن)
ETC	Eectron transport chain	سلسلة انتقال الإلكترونات
P5cs	Δ-1-pyrroline-5-carboxylate synthetase gene	المورثة المسؤولة عن أنزيم Δ-1-pyrroline-5-carboxylate synthetase
P5C	1-Pyrroline-5-carboxylic acid	حمض 1- برولين-5- كربوكسيل
LCYB	Lycopene β-cyclase enzyme	أنزيم لايكوبين بيتا كاتالاز
RUE	Radiation use efficiency	كفاءة استعمال الضوء

رُتبت الاختصارات بحسب ورودها في الرِّسالة

الملخص

نُفذ البحث في مخابر قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، ومخابر الهيئة العامة للتقانة الحيوية، بهدف دراسة تأثير إضافة حمضي الصَّفصاف (1 mM) والأبسيسيك (0.5 mM) في المقدرة التكيفية لدى بعض أصناف القمح الطّري (دوما2، دوما4)، والقاسي (دوما1، دوما3)، استجابةً للإجهادين الحلولي (0.8- MPa) والملحي (75 mM) في الأصص الزراعية. وضعت التجربة وفق التصميم العشوائي الكامل (CRD)، بواقع ثلاثة مكررات.

أدَّى تطبيق الإجهادين الحلولي والملحي إلى تراجع محتوى الماء النّسبي، وزيادة كلٍّ من نسبة الذائبات المتسربة خلال الأغشية الحيوية، وتركيز مركب المالونيل دي ألدهيد لدى الأصناف المدروسة جميعها. وأبدتْ أصناف القمح القاسي مقدرة أعلى على تحمل الإجهادات اللاأحيائية المدروسة بالمقارنة مع أصناف القمح الطّري، ما يُشير إلى وجود تباين وراثي بين نوعي القمح والأصناف ضمن النوع الواحد في مستوى تحمل الإجهادات اللاأحيائية، حيث تفوق الصنف دوما 1 (أكساد1105) معنوياً في معظم الصفات المدروسة [محتوى الماء النّسبي، محتوى الأوراق من البرولين، تركيز الكلوروفيل (a,b)، ومضادات الأكسدة الأنزيمية (SOD، APX، CAT)]. وأدّت معاملات الرَّش بكلٍّ من حمض الصفصاف وحمض الأبسيسيك وبخليطٍ منهما إلى زيادة كلٍّ من محتوى الماء النّسبي، محتوى الأوراق من البرولين، تركيز الكلوروفيل (a,b)، ونشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية وغير الأنزيمية (حمض الأسكوربيك)، ما أدّى إلى الحدّ من التأثير التخريبي للإجهاد التأكسدي، حيث لُوحظ تراجع كلٍّ من تركيز جذر الماء الأوكسجيني، ونسبة تسرب الذائبات خلال الأغشية الخلوية، وتراجع تركيز مركب المالونيل دي ألدهيد. تُشير النتائج إلى دور هذه المركبات/ نواتج الاستقلاب في تعزيز أنشطة أنظمة الدفاع النباتية، وتحسين مستوى تحمل نباتات القمح بنوعيه الطري والقاسي للإجهادات اللاأحيائية.

الكلمات المفتاحية: القمح، الإجهاد الحلولي، الإجهاد الملحي، الإجهاد التأكسدي، حمض الصفصاف، حمض الأبسيسيك.

الفصل الأول

المقدمة Introduction

1-1- المقدمة Introduction:

يُعدُّ محصول القمح من أكثر المحاصيل أهميةً وانتشاراً في العالم، ويُعد الغذاء الأساسي في بلاد شمال أفريقيا وأوروبا وأمريكا الجنوبية والشمالية وأستراليا، وبعض دول آسيا، حيث بلغ إنتاج هذا المحصول قرابة 8% من مجمل إنتاج المحاصيل المزورعة في العالم خلال عام 2019 (FAO, 2021a). وبلغت المساحة المزروعة بمحصول القمح عالمياً لعام 2021 نحو 220.759 مليون هكتارٍ، وبلغ الإنتاج قرابة 770.877 مليون طنٍّ (FAO, 2022). وبلغت المساحة المزروعة في الوطن العربي نحو 10.971 مليون هكتارٍ، وبلغ الإنتاج قرابة 26.124 مليون طنٍّ (المنظمة العربيّة للتنمية الزراعيّة، 2020)، في حين بلغت المساحة المزروعة في الجمهوريّة العربيّة السوريّة لعام 2020 نحو 1.351 مليون هكتارٍ، وبلغ الإنتاج نحو 2.849 مليون طنٍّ (المجموعة الإحصائيّة الزراعية السنوية، 2021).

ينتمي القمح إلى الفصيلة النجيلية Poaceae (Gramineae) ، وهو من النباتات الحولية التي تتبع الجنس *Triticum*. ويُعتقد أنَّ الموطن الأصلي لمعظم الأنواع المزروعة من القمح هو منطقة الشرق الأوسط والهلال الخصيب (Peterson, 2013). ويُقَّدر أنّ هناك أكثر من 1200 صنفٍ من القمح مزروعة في العالم، ينتمي معظمها إلى نوعي القمح الطري والقاسي. ويُزرع القمح عالمياً ضمن مدى بيئي وجغرافي واسع، ويُعدُّ محصول القمح بنوعيه الطري (*Triticum aestivum* L.) Bread wheat، والقاسي (*Triticum durum* L.) Durum wheat من أهم محاصيل الحبوب Cereals من حيث الإنتاج والاستهلاك (Mallick et al., 2013). ويُستهلك بوصفه غذاءاً أساسياً لحوالي 40% من سكان العالم، وتعد حبوب القمح المصدر الرئيس للبروتين النباتي في الغذاء البشري، حيث تحتوي على نسبة بروتين تبلغ حوالي 13%، كما يشكل القمح نظاماً غذائياً أساسياً في جميع أنحاء أوروبا وغرب آسيا وشمال أفريقيا، ويأتي في المرتبة الثانية بعد الأرز من حيث أهميته في تحقيق الأمن الغذائي في الدول النامية (Iqbal et al., 2022).

يُعد القمح محصول استراتيجي، ويعني الإنتاج والدخل و الاستقرار بالنسبة للمزراع، ويعني الغذاء بالنسبة للمستهلك، ويتوقف استقرار الدول وأمنها الغذائي على كفاءتها في زراعة وإنتاج وتخزين القمح (خوري وقبيلي، 2003). ويوفر هذا المحصول ما يُعادل 55% من الكربوهيدرات، و20% من السعرات الحرارية، بالإضافة إلى الدهون 2%، والمعادن 2%، وبعض الفيتامينات (الثيامين، فيتامين ب) (Kumar et al., 2011).

1-2- مشكلة البحث Research problem:

مع أهمية محصول القمح غذائياً على مستوى العالم، لكن من الصعب الوصول إلى كامل طاقته الوراثية الإنتاجية الكامنة Potential yield، بسبب الإجهادات المختلفة، وبخاصةٍ الإجهادات اللاأحيائية Abiotic stresses التي تتعرض لها نباتات المحصول في المراحل التطورية المختلفة (الجفاف، الحرارة المرتفعة، الملوحة، إجهاد المعادن الثقيلة، والصقيع)، حيث تسبّب خسائر اقتصادية فادحة تصل إلى تراجع 70% من متوسط غلَّة المحاصيل الأساسيَّة الرئيسة (Khan et al., 2021)، ما يؤثر سلباً في توفير الغذاء للنمو السكاني المتزايد. أمّا على مستوى القطر العربي السّوري، فقد أدَّت الحرب التي تعرّضت لها البلاد منذ عشر سنوات، والعقوبات الاقتصادية الدولية المفروضة على الشّعب السّوري، فضلاً عن الركود الاقتصادي العالمي الأخير الناتج عن جائحة COVID-19 إلى تراجع الإنتاج المحلي من محصول القمح، حيث بلغ إنتاج القطر العربي السوري من القمح عام 2021 نحو 1.95 مليون طنٍّ فقط، وهو ربع متوسط الإنتاج قبل الحرب (2002–2011) (FAO et al., 2021b). ونتيجةً لذلك فهناك حاجة ملحَّة إلى تحسين الكفاءة الإنتاجية لأصناف القمح المزروعة تحت ظروف الإجهادات اللاأحيائية، ولاسيما إجهادي الجفاف Drought والملوحة Salinity وغيرها من الإجهادات التي تحفز استجاباتٍ متباينة في النباتات، وتؤدي إلى حدوث أضرارٍ خلوية بسبب الإجهاد التأكسدي Oxidative stress، الذي يُحرّض إنتاج أنواع الأوكسجين النشطة Reactive oxygen species (ROS) (Bali and Sidhu, 2019)، حيث يؤدي تعرّض النباتات لظروف الإجهاد المائي Water Stress إلى تراجع الناقلية المسامية (gs) Stomatal conductance، ويمكن أن تنغلق المسامات بشكلٍ كامل إذا ما تعرّضت النباتات إلى مستوياتٍ شديدة من الجفاف بهدف تقليل معدّل فقد المياه بالنتح Transpiration (T) والمحافظة على ميزان العلاقات المائية،

ولكن يؤدي انغلاق المسامات إلى توقف عملية انتشار غاز ثاني أوكسيد الكربون Carbon dioxide (CO_2) عن طريق المسامات في أثناء عملية التبادل الغازي، ما يؤدي إلى تراجع تركيز CO_2 المتاح في مراكز التثبيت ضمن الصّانعات الخضراء في خلايا النسيج المتوسط التمثيلية، فينخفض معدّل تثبيت الكربون في حلقة كالفن، ومن ثمّ معدّل استهلاك المركبات الغنية بالطاقة (ATP و NADPH)، الأمر الذي يؤدي إلى تراكم هذه المركبات وتراجع محتوى الأوراق من المستقبل النهائي للإلكترونات في سلسلة نقل الإلكترونات ($NADP^+$)، فيؤدي تحت مثل هذه الظروف الأوكسجين الجزيئي (O_2) دور المستقبل النهائي للإلكترونات، ما يؤدي إلى تشكيل جذر السوبر أوكسيد الحر ($O^{\bullet-}_2$) Superoxide radical والماء الأوكسجيني Hydrogen peroxide (H_2O_2)، ويؤدي تفاعل هذين الجذرين إلى تشكيل جذر الماءات الحر ($OH^{\bullet-}$) Hydroxyl radical ذي المقدرة التفاعلية الكبيرة، وفق تفاعل Haber-Weiss (Elstner, 1987; Cadenas, 1989). تؤثر هذه الجذور الحرة في نمو المحاصيل وإنتاجها وغلّتها من خلال تأثيرها السلبي في سير العمليات الحيوية في الخلايا النباتية أولاً، حيث تستهدف البروتينات والدهون الداخلة في تركيب الأغشية الخلوية Cytoplasmic membranes وتعمل على تخريبها، فضلاً عن تخريب الحموض النووية، وتُسبب أضراراً غير عكوسة لمسارات التمثيل الغذائي في النباتات نتيجة الإجهاد التأكسدي (Petrov et al., 2015). تُعد عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis من العمليات الأيضية المفتاحية في النباتات الخضراء، وتُسهم عملية المحافظة على معدّلاتٍ مرتفعة من التمثيل الضوئي Assimilation rate (A) ومن ثمّ معدّل صافي التمثيل الضوئي Net assimilation rate (NAR) في البيئات المجهدة حلولياً أو ملحياً في ضمان المحافظة على نمو النباتات وتطورها. وعادةً ما يُعزى التراجع في معدّل صافي التمثيل الضوئي في النباتات المجهدة إلى تراجع العوامل المسامية، فضلاً عن تخريب الأجهزة التمثيلية (Anjum et al., 2011). ويمكن تبعاً لذلك زيادة الغلّة الاقتصادية من خلال انتخاب الطرز الوراثية ذات الكفاءة التمثيلية المرتفعة تحت ظروف الإجهادات اللاأحيائية، بسبب وجود علاقة ارتباط عضوية بين معدّل التمثيل الضوئي وكمية المادة الجافة الكلية المُصنّعة والمتاحة لنمو أجزاء النبات المختلفة وتطورها (Natr and Lawlor, 2005).

3-1- أهمية البحث Research relevance:

يُعدُّ الحدّ من الخسائر الإنتاجية الناتجة عن تغير المناخ تحدياً كبيراً لقطاع الزراعة. وتتوجه البرامج والتقانات الزراعية الحديثة نحو زيادة العائد في ظل الموارد الطبيعية الزراعية المحدودة، وتحسين الكفاءة الإنتاجية لأصناف القمح المزروعة، من خلال التحسين الوراثي للمقدرة التكيفية Adaptive capacity، وتحسين مستوى التحمل للجفاف، والحرارة المرتفعة، لمواكبة التغيرات المناخية Climate changes، وتطوير عمليات الخدمة، وتحسين عوامل إدارة الأرض والمحصول.

يُعدُّ الاعتماد على برامج التربية التقليدية لتحسين التحمل للإجهادات طريقة صعبة وشاقة كونها تتطلب وقتاً وجهداً، وما يزيد الأمر تعقيداً أنَّ التحمل للإجهادات صفة كميّة معقدة يرتبط بها عدد كبير من المورثات التي تتحكم بالاستجابات الجزيئية والفيزيولوجية ومسارات التمثيل الغذائي في النباتات (Srivastava et al., 2016)، أمَّا بالنسبة إلى التعديل الوراثي، فلا يزال حلاً غير موثوقاً وغير مشروعاً في بعض البلدان مع معالجته لتحمل الإجهاد على المستوى الجزيئي، فضلاً عن عدم اختبار إنتاجية النباتات المعدلة وراثياً على المستوى الحقلي.

بناءً على ما سبق، كان لا بدّ من الوصول لحلٍ بديلٍ وسريعٍ لتعزيز تحمل النباتات للإجهادات، لذلك استُخدامت منظمات النمو النباتية (الهرمونات) Plant growth regulators (PGR)، حيث تعمل المنظمات الحيوية Bio-regulators أو منظمات نمو النبات، على تنظيم نمو النبات من خلال تشجيع أو تثبيط أو تعديل العمليات الفيزيولوجية في النبات (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016)، وتؤدي إضافتها من مصادر صناعية إلى تحفيز العمليات الحيوية والفيزيولوجية المرتبطة بنمو النباتات وتطورها وخاصة تحت ظروف الإجهادات اللاأحيائية (Sabagh et al., 2021) ، حيث تُسبّب تخليق / تراكم مجموعة متنوعة من المكونات النباتية التي تمنح النباتات المقدرة على تحمل الإجهادات اللاأحيائية، ولاسيما الإجهاد التأكسدي. وجرى تأكيد دور هذه الهرمونات في تعزيز أنشطة أنظمة الدفاع النباتية للوصول في نهاية المطاف إلى التحمل، حيث أظهرت كثير من الدراسات أنَّ التطبيق الخارجي لهذه الهرمونات بتراكيز مثالية تحت ظروف الإجهادات اللاأحيائية المختلفة يمكن أن تُنظم تصنيع الذائبات

التوافقية Osmoprotectants واستقلابها، وتُحفز التعبير المورثي Gene expression للمورثات المرتبطة بتحسين تحمل الإجهاد، وتزيد من كفاءة نظام مضادات الأكسدة النباتية Plant antioxidants، ما يؤدي إلى زيادة تحمل الإجهاد (Kaya et al., 2018). أكّدت كثير من الدراسات الدور الإيجابي لمنظمات النمو في زيادة نشاط نظام مضادات الأكسدة، وإنتاج الذائبات التوافقية وكنس الجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) تحت ظروف العديد من الإجهادات اللاأحيائية المختلفة، ما يؤدي إلى تخفيف الضرر التأكسدي على الأداء الخلوي للنبات، ومن أهم منظمات النمو حمض الصفصاف (Abdelaal et al., 2020 ; Parveen et al., 2021a ; Elhakem et al., 2020)، وحمض الأبسيسيك (Marcińska et al., 2013; Parveen et al., 2021b)، وحمض الجبريليك (Al Mahmud et al., 2019; Hamayun et al., 2010)، وحمض الأندول الخلي (Kaya et al., 2013)، وحمض الجاسمونيك (الياسمين) (Qiu et al., 2014).

1-4- تساؤلات البحث Research questions:

- هل سيكون لمعاملات الرَّش الهرموني (حمض الصفصاف، وحمض الأبسيسيك) تحت ظروف كلٍّ من الشاهد والإجهادات اللاأحيائية (الحلولي، والملحي) تأثير واضح في تحفيز استجابة التحمل للإجهاد التأكسدي؟
- هل ستختلف شدّة الإجهاد التأكسدي واستجابة التحمل الناتجة عن معاملات الرَّش باختلاف صنف القمح أو نوعه (قاسٍ، أو طري)؟
- هل ستختلف شدّة الإجهاد التأكسدي واستجابة التحمل للصنف باختلاف نوع الإجهاد أو نوع معاملة الرَّش؟

1-5- فرضيات البحث Research hypotheses:

يُفترض أنَّ تطبيق معاملات الرَّش بمنظمات النمو (الهرمونات) التي تعمل بوصفها إشاراتٍ جزيئية للإجهادات ستفضي إلى تنظيم استجابة التحمل للإجهاد التأكسدي الناتج عن الإجهادات اللاأحيائية المختلفة، وذلك

من خلال تحفيز التعبير المورثي لمجموعة من المؤشرات مثل مضادات الأكسدة بنوعيها الأنزيمية وغير الأنزيمية، وتراكم الذائبات العضوية التوافقية (البرولين)، ومحتوى الأوراق من الأصبغة اليخضورية والكاروتينات، وغيرها، حيث تعمل هذه المؤشرات نظاماً دفاعياً متكاملاً يهدف للوصول إلى التأقلم أو التكيف مع هذه الإجهادات، ما يؤدي إلى حماية النباتات من التأثير الضار لعوامل الإجهاد، ولاسيما الجذور الحرة، وحماية الخلية ومكوناتها من التخريب، وتحسين سير العمليات الحيوية والاستقلابية/الأيضية، ومن ثَمَّ المحافظة على الكفاءة التمثيلية للنباتات، وإنتاج المادة الجافة الضرورية لنمو أجزاء النباتات المختلفة وتطورها.

6-1- مسوّغات البحث Research justifications:

بيّنت العديد من الدراسات أنّ لحمض الصفصاف تأثيراً إيجابياً في نمو نباتات القمح تحت ظروف الإجهادات اللاأحيائية كالملوحة (Abdel-Lattif et al., 2019)، والإجهاد المائي (Singh and Usha, 2003). ولكن لا تزال آلية تنظيم حمض الصفصاف لاستجابات النباتات لظروف الإجهادات اللاأحيائية غير معروفة بشكلٍ دقيق، لذلك ستنفذ هذه الدراسة للوقوف على ماهية تأثير حمض الصفصاف وحمض الأبسيسيك في استجابة نباتات القمح بنوعيه الطري والقاسي لظروف الإجهادين الحلولي والملحي.

تتجلى أهمية هذه الدراسة في الدور المتناقض الذي يمكن أن يؤديه حمض الأبسيسيك، فيمكن أن يكون حمض الأبسيسيك سبباً في زيادة معدّل تشكل جذور الأوكسجين الحرة، ويمكن في الوقت نفسه أن يكون مسؤولاً عن التخلص منها من خلال تفعيل النظام الدفاعي الأنزيمي المسؤول عن التخلص من تلك الجذور الحرة، لذلك لا بدّ من اختبار هذا الدور والوقوف على ماهيته. لتاريخه، ليس هناك حتى الآن دراسة محلية حول العلاقة المتبادلة بين تراكم حمض الأبسيسيك وحمض الصفصاف وكلٍ من إنتاج جذور الأوكسجين الحرة والأنزيمات المضادة لها في محصول القمح استجابةً لظروف الإجهادين الملحي والحلولي.

1-7- أهداف البحث Research objectives:

1. تقييم تأثير كلٍ من الإجهادين الحلولي والملحي في أنظمة النبات الدفاعية لتحديد الأهمية النسبية للأنظمة الدفاعية للإجهاد التأكسدي في تحسين مستوى التحمل لدى بعض أصناف القمح الطري والقاسي المعتمدة محلياً.
2. دراسة دور كلٍ من حمض الأبسيسيك وحمض الصفصاف في تنظيم آليات الدفاع الأنزيمية وغير الأنزيمية للحد من التأثيرات الضّارة للإجهاد التأكسدي الناجم عن تعرض نباتات القمح بنوعيه القاسي والطري للإجهادين الحلولي والملحي.
3. تحديد الآلية/الآليات التي يمكن أن يؤديها حمض الصفصاف وحمض الأبسيسيك في تقليل التأثيرات الضّارة الناجمة عن الإجهادات اللاأحيائية المدروسة، للوقوف على أهمية إضافة هذين الهرمونين الطبيعيين في تحسين تحمل نباتات القمح لإجهادي الجفاف (الحلولي) والملوحة، استناداً إلى بعض الصفات الفيزيولوجية والبيوكيميائية.

الفصل الثاني

الدراسة المرجعية Literature Review

2-1- الإجهاد الحلولي Osmotic stress:

يحدث الإجهاد الحلولي تحت ظروف كثير من الإجهادات اللاأحيائية، مثل (الجفاف، الملوحة، الحرارة المنخفضة)، التي ينخفض فيها الجهد المائي Water potential (Ψ_w) في الخلايا النباتية، ويُعدُّ من أهمِّ الإجهادات التي تؤثر في نمو النباتات وتطورها (Krasensky and Jonak, 2012). ويُعدُّ نقص المياه العذبة المُتاحة للرّي السّبب الرئيس لتدني إنتاجية النظم البيئية الزراعية، والأنواع المحصولية، حيث يؤدي وجود تركيز مرتفع من الأملاح الذوّابة في منطقة انتشار الجذور إلى تقليل كمية المياه المُتاحة للامتصاص من جذور النباتات، بسبب خفض الجهد المائي للوسط المحيط بالجذور، ما يؤدي إلى تراجع فرق التدرج في الجهد المائي، الذي يُعد بمنزلة القوة المحركة لانتقال المياه من التربة إلى الجذور، ما يؤدي إلى تراجع معدّل امتصاص المياه من قبل الجذور (Munns and Tester, 2008).

2-2- الإجهاد الملحي Salinity stress:

يُعد الإجهاد الملحي من الإجهادات اللاأحيائية الأكثر أهميةً التي تؤثر سلباً في إنتاجية كثير من الأنواع المحصولية المزروعة عالمياً، حيث يؤثر في كثير من العمليات الفيزيولوجية، ابتداءً من إنبات البذور Seed germination وانتهاءً بالعمليات التطورية، ما يؤدي إلى تراجع معدّل نمو النباتات وإنتاجيتها (Ashraf، 2004). وتُعد الملوحة من العوامل الرئيسة المحددة لإنتاج المحاصيل الحقلية في العالم، وهناك 800 مليون هكتار من الأراضي الزراعية على مستوى العالم متاثرة بدرجات مختلفة من الملوحة والتي تعادل 6% من كامل مساحة اليابسة (Munns and Tester, 2008). عموماً، تُعد ملوحة التربة Soil salinity مشكلة عالمية، لأنّها تؤثر في قرابة 20% من الأراضي الزراعية المروية، وتُخفض إنتاجية الأنواع المحصولية بشكلٍ معنوي (Qadir et al., 2014).

ونشأت معظم هذه الأراضي المتأثرة بالملوحة Salt-affected lands بفعل العوامل الطبيعية، نتيجة تراكم الأملاح لفترةٍ زمنيةٍ طويلة في المناطق الجافة وشبه الجافة Arid and semi-arid zones (Rengasamy, 2002).

يؤثر الإجهاد الملحي في النباتات من خلال الإجهاد الحلولي Osmotic stress، والسمية الأيونية Ion toxicity، والإجهاد التأكسدي (Tahjib-Ul-Arif et al., 2018)، حيث يُسبب ارتفاع تركيز الأملاح الذوّابة Soluble salts في محلول التربة اختلالاً في التوازن المعدني داخل الخلايا النباتية المتمثل بارتفاع تركيز الشوارد المعدنية الضّارة (Na^+ و Cl^-)، ما يؤدي إلى حدوث السمية الأيونية، وتعمل بالمقابل الأملاح على "مسك" Holding جزيئات الماء مُقللةً بذلك من عدد جزيئات الماء الحرة (يصبح الجهد المائي لمحلول التربة أكثر سلبية) ما يؤدي إلى تراجع فرق التدرج في الجهد المائي بين جذور النباتات والوسط المحيط، الأمر الذي يؤثر سلباً في معدّل امتصاص المياه عن طريق خلايا المجموعة الجذرية، وتُصبح تبعاً لذلك كمية المياه الممتصة غير كافية لتعويض المياه المفقودة بالنتح، ما يؤدي إلى تعرض خلايا الأجزاء الهوائية (الأوراق، والساق) إلى ظروف العجز المائي (Cheeseman, 1988)، الأمر الذي يحد من إنتاجية النباتات من خلال تراجع عملية التمثيل الضوئي واضطراب امتصاص العناصر المعدنية المغذية، بالإضافة إلى اختلال كل من ميزان العلاقات المائية والتوازن الهرموني والأيوني في النباتات، ما يؤدي إلى تراجع نمو النباتات وتطورها وبالتالي تراجع الغلة (Seleiman et al., 2022). فضلاً عن ذلك قد يؤدي الإجهاد الملحي إلى توليد مفرط للجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) داخل الخلايا بما فيها جذر الماء الأوكسجيني الحرّ H_2O_2، حيث تعمل هذه الجذور الحرّة على تخريب الأصبغة اليخضورية Chloropylls، وتخريب المواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية الخلوية (Sairam et al., 2002)

2-3- الإجهاد التأكسدي Oxidative stress:

يُسبب الجفاف والملوحة وغيرها من الإجهادات اللاأحيائية Abiotic stress استجاباتٍ متباينة في النباتات، وتؤدي إلى حدوث أضرارٍ خلوية بسبب الإجهاد التأكسدي Oxidative stress، الذي يُحرّض إنتاج الجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) (Bali and Sidhu, 2019).

يحدث الإجهاد التأكسدي نتيجة اختلال التوازن بين إنتاج Production وكنس Scavenging الجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) التي عادةً ما تتشكل تحت ظروف الإجهادات اللاأحيائية عامةً، التي تُعد نواتج استقلاب ثانوية سامة Toxic by-products لكثير من العمليات الحيوية داخل الخلايا النباتية، ويؤدي إنتاج كمية زائدة من الجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) إلى اختلال التوازن الأيضي والتأكسدي في الخلايا النباتية وتخريب مكوناتها (Hussain et al., 2018)، ويُعزى ذلك إلى انجذابها القوي للتفاعل مع مكونات الخلية ومتعضياتها مثل DNA وRNA والبروتينات والمواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية الخلوية، ما يؤدي إلى تضررها وصولاً إلى موت الخلايا (Ahmad et al., 2019)، فضلاً عن تثبيط عملية التمثيل الضوئي وتخريب الأصبغة اليخضورية وتفكيكها Pigment bleaching (Hussain et al., 2018; Noctor et al., 2018)، وخفض نشاط كثير من الأنزيمات Enzyme inactivation بما فيها أنزيمات حلقة كالفن (حلقة إرجاع الكربون التمثيلية) (Monakhova and Chernyadév, 2002). وهذا يؤدي بالنتيجة إلى الحد من نمو النباتات وتطورها، وتُسبب تراجعاً في غلَّة نباتات المحاصيل المجهدة (Shafi et al., 2009). وبيَّنت كثيرٍ من الدراسات حدوث الإجهاد التأكسدي تحت ظروف الإجهاد الملحي في كثير من الأنواع النباتية المحصولية (Sairam et al 2002, 2005; Sairam and Srivastava, 2002)، والجفاف (Menconi et al., 1995)، والحرارة المرتفعة (Poudel and Poudel, 2020).

تواجه الأنواع النباتية المختلفة جذور الأوكسجين الحرة (ROS) من خلال تطوير كثير من الآليات الدفاعية، بما في ذلك الأنزيمات المضادة للأكسدة Antioxidant enzymes، مثل أنزيم Superoxide (SOD) dismutase، وAscorbate peroxidase (APX)، وCatalase (CAT)، ومضادات الأكسدة غير الأنزيمية Nonenzymatic antioxidant، مثل الغلوتاثيون Glutathione (GSH)، والتوكوفيرول (فيتامين E) Tocopherol، وفيتامين C– Ascorbic acid، التي تفكك Detoxification الجذور الأوكسجينية الحرّة ذات التأثير التخريبي، وتحمي النبات من الضرر الناتج عن الإجهاد التأكسدي (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016). ويُعد النشاط المرتفع لمضادات الأكسدة بنوعيها الأنزيمية وغير الأنزيمية من أهم العوامل التي تميز مقدرة النباتات على

تحمل الإجهادات اللاأحيائية المختلفة، مثل الصقيع، والجفاف (Hussain et al., 2018)، والملوحة (Sairam et al., 2005)، والعناصر الثقيلة (Khan et al., 2007)، حيث أظهرت النباتات التي تتميز بالنشاط المرتفع للأنزيمات مضادات الأكسدة تحملاً كبيراً للضرر التأكسدي الناتج عن الجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) المتشكلة نتيجة هذه الإجهادات.

2-4- منظمات النمو (الهرمونات) Hormones:

تُعد منظمات النمو من العوامل الرئيسة التي تنظم جميع جوانب حياة أي كائن حي بدءاً من عملية الإخصاب وتطور الأجنة وحتى الشيخوخة والموت، فضلاً عن دورها في تحسين تأقلم الكائنات الحيَّة مع البيئة المتغيرة (Verma et al., 2016; Wani et al., 2016). طورت النباتات آليات عديدة لتحمل الظروف غير المناسبة من خلال الأنواع المختلفة من منظمات النمو النباتية التي تعمل إشاراتٍ للإجهادات اللاأحيائية، وتتحكم في استجابات النباتات لهذه الإجهادات بهدف الوصول إلى التأقلم أو التكيف معها (Upreti and Sharma, 2016).

2-4-1. حمض الصفصاف Salicylic acid:

يُعد حمض الصفصاف Salicylic acid (SA) هرموناً نباتياً طبيعياً، وهو من المركبات الفينولية Phenolic compounds الجزيئية الصغيرة السائدة في الأنسجة النباتية على شكل Glycosylated أو Methylated glucose-ester أو Amino acid conjugate أو Free state (Lee et al., 1995). أُعطي حمض الصفصاف اسم (Ortho-hydroxybenzoic acid)، وهو المادة الفعَّالة في لحاء نبات الصفصاف Willow (*Salix* sp.) من الكيميائي الإيطالي Raffaele Piria عام 1838 (Hernández and Arnao, 2018).

يُعد حمض الصفصاف من أهم منظمات النمو التي تؤثر في كثير من العمليات الفيزيولوجية والبيوكيميائية (Habibi, 2012)، ومن أهم وظائفه دوره بوصفه إشارة جزيئية للإجهادات الأحيائية Biotic stresses، فضلاً

عن دوره في تحمل الإجهادات اللاأحيائية حيث يُنشِّط هذا المركب الفينولي تفاعلاتها (Khan et al., 2015). ويُعدّ جزيء إشارة داخلي المنشأ له تأثيرات مختلفة في تحمل النباتات للإجهادات الأحيائية واللاأحيائية (Yan and Dong, 2014). وذكرت كثير من الدراسات استعمال حمض الصفصاف (SA) في تخفيف التأثير الضار للإجهادات (Maruri-López et al., 2019)، حيث ثبت دوره الفعَّال في استجابة النباتات للإجهادات المختلفة كالملوحة (Jayakannan et al., 2015)، والجفاف (Saruhan et al., 2012)، وسمية المعادن الثقيلة (Agami and Mohamed, 2013)، وإجهاد الأوزون (O_3) (Koch et al., 2000)، فضلاً عن إجهاد مبيدات الأعشاب الضَّارة Herbicides (Akbulut et al., 2018). وبرزت أهميته في تحسين التحمل للإجهاد المائي من خلال تنظيم التعبير المورثي Gene expression وتحفيزه لمجموعةٍ واسعةٍ من الاستجابات الأيضية كاستقلاب الجزيئات المشاركة في استجابة دفاع النبات (بروتينات الصدمة الحرارية، والبرولين، والجلايسين بيتين) و/ أو تفعيل النظام المضاد للأكسدة Antioxidant system (Hayat et al., 2010)، أو من خلال تأثيره في ميزان العلاقات المائية النباتية، حيث يسهم في تحفيز التعديل الحلولي من خلال تصنيع وتراكم الذائبات العضوية التوافقية (Parveen et al., 2021a). وأثبتت كثير من الدراسات أنَّ إضافته تُقلّل من الضرر التأكسدي الناتج عن الإجهادات البيئية وتُحسن نمو النباتات والإنتاجية، حيث يُحفز نشاط أنزيمات مضادات الأكسدة مثل Peroxidase (POD) وCAT وSOD وAPX التي تحمي بدورها النباتات من إنتاج جذور الأوكسجين الحرَّة (ROS) وأكسدة المواد الدهنية الداخلة في تركيب الأغشية الحيوية (Hayat et al., 2010).

يعتمد تأثير إضافة حمض الصفصاف من مصادر خارجية على كثير من العوامل مثل التركيز المستخدم والنوع النباتي ومرحلة تطور النبات وطريقة الإضافة (Vanacker et al., 2001; Horváth et al., 2007). لقد تُوصل إلى أنّ التراكيز المنخفضة من حمض الصفصاف تعزز تحمل النبات للإجهادات اللاأحيائية المختلفة بالمقارنة مع التراكيز المرتفعة التي تثبط نمو النبات وتخفض قدرته على تحمل هذه الإجهادات، ومن المحتمل أن يكون التأثير السلبي لارتفاع تركيز حمض الصفصاف (SA) في نمو النباتات ناتجاً عن خلل في استقلاب مضادات الأكسدة، حيث تُحفز تراكم جذور الأوكسجين الحرَّة (ROS)، وتُقلّل من مضادات الأكسدة الأنزيمية (SOD

وCAT وAPX) وغيرها، ما يؤدي إلى حدوث الضرر التأكسدي وموت الخلايا النباتية تدريجياً (Miura and Hasanuzzaman et al., 2013; Tada, 2014). وتؤدي المعاملة المسبقة بحمض الصفصاف (SA) في البداية إلى تشكيل الجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) وتراجع في كلٍ من الناقلية المسامية (gs) ومعدّل صافي التمثيل الضوئي (NAR) ولكنَّها تحول دون تراكم الجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) في أثناء الإجهاد الحلولي اللاحق من خلال تنشيط الأنزيمات المضادة للأكسدة (Marcińska et al., 2013).

2-4-2. حمض الأبسيسيك Abscisic acid:

من بين كثيرٍ من هرمونات الإجهاد Stress hormones، يُعد حمض الأبسيسيك Abscisic acid (ABA) الأكثر أهمية، ويرتبط تركيزه في النسغ الناقص بمستوى تحمل الإجهاد. ويرجع ذلك إلى حقيقة أنَّ الظروف البيئية غير المؤاتية مثل الجفاف، والملوحة، والبرودة/الصقيع Chilling، والحرارة المرتفعة تؤدي إلى زيادةٍ كبيرة في معدَّل تصنيع وتراكم حمض الأبسيسيك (ABA) (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016)، ويُساعد في تنظيم استجابات النباتات لتلك الإجهادات على مستوى النبات الكامل (Davies and Zhang, 1991)، وأيضاً على المستوى الخلوي Cellular level (Shinozaki and Yamaguchi-Shinozaki, 1997). يؤدي حمض الأبسيسيك كثيراً من الأدوار الرئيسة في تنظيم دورة حياة النباتات واستجابتها للعوامل البيئية (Hirayama and Shinozaki, 2007)، حيث يؤدي دوراً مهماً في تحسين تحمل النباتات لظروف العجز المائي الناجم عن جفاف التربة، ويُعدّ إشارةً كيميائية مبكرة تُصنَّع في الجذور وتُرسل مع تيار النسغ الناقص خلال الأوعية الخشبية إلى المجموع الخضري (الأوراق) لحثها على التكيف السريع مع ظروف العجز المائي الحاصل في التربة من خلال الانغلاق الجزئي للمسامات، وحدوث تبدلات استقلابية (أيضية) (Zhang et al., 2006). وعادةً ما يزيد مستوى حمض الأبسيسيك (ABA) في النباتات تحت ظروف الإجهادات ويرتبط بآليات تحمل الإجهادات اللاأحيائية (Groppa and Benavides, 2008; Christmann et al., 2006). يُحرض حمض ABA تشكل جذر السوبر أوكسيد ($O^{\cdot -2}$) والماء الأوكسجيني (H_2O_2) (Jiang and Zhang, 2001)، ويُحرّض بالمقابل التعبير المورثي للمورث المسؤول عن أنزيمات SOD وCAT، فضلاً عن أنزيمي APX و Glutathione (GR)

reductase في الأنسجة النباتية (Jiang and Zhang, 2001)، الأمر الذي يُسهم في التخلص من جذور الأوكسجين الحرة ويُحسّن من مقدرة النباتات المجهدة على تحمل الإجهاد التأكسدي (Guan et al., 2000).

2-5- الدراسات السابقة Literature Reviews:

نُفذت دراسة لتقييم تأثير الرّش بحمض الأبسيسيك ABA (0، 5، 10 µM) في تحسين بعض الخصائص الفيزيولوجية، والمورفولوجية (الشكلية)، والبيوكيميائية في بادرات القمح الطري المزروعة تحت ظروف الإجهاد الملحي NaCl (0، 50، 100 mM)، وبيَّنت النتائج أنَّ الرّش بتركيز 10µM من ABA تحت ظروف الإجهاد الملحي 100mM قد أدّى إلى تحسين نمو كلٍّ من المجموع الخضري والجذور وطولها، فضلاً عن زيادة محتوى الأوراق من الأصبغة اليخضورية Chlorophyll ، مثل Chl(a) (65.3%)، وChl(b) (149%)، والكاروتينات Carotenoids (Caro) (95.7%)، وسلامة الأغشية الخلوية (36.7%)، وأدّى إلى انخفاض تركيز كلٍّ من المالونيل دي ألدهيد Malondyaldehyde (MDA) والماء الأوكسجيني (36.8% و 29.9% على التوالي)، وذلك بالمقارنة مع الإجهاد بالتركيز الملحي السابق نفسه وبدون إضافة حمض الأبسيسيك (ABA). وأوضحت الدراسة أيضاً أنَّ إضافة ABA عند جميع المعاملات (الشاهد المروي، والإجهاد الملحي بالتراكيز المختلفة) قد أدّت إلى زيادة كلّ من محتوى الماء النسبي في الأوراق Relative leaf water content (RWC%)، ودليل ثباتية الأغشية Membrane stability index (MSI%)، وزيادة نشاط الأنزيمات المضادات للأكسدة، وأهمها السوبر أوكسيد ديسموتاز (SOD)، والأسكوربيك بيروكسيداز (APX)، والكاتالاز (CAT) (Parveen et al., 2021b).

في دراسةٍ أجراها (Parveen et al., 2021a) جرى تقييم فعّالية الرش الورقي بحمض الصفصاف SA بتراكيز مختلفة (0، 3، و6 mM) على صنفين من القمح (Fsd-2008 وS-24) تحت ظروف الشاهد المروي (100% سعة حقلية) والإجهاد المائي (60% سعة حقلية). أدّى الإجهاد المائي إلى تراجع كلّ من البروتينات الذوّابة الكليّة Total soluble proteins (TSP)، والأصبغة اليخضورية والكاروتينات، في حين أنّه لُوحظ ارتفاع في محتوى النباتات من المالونيل دي ألدهيد MDA و الماء الأوكسجيني H_2O_2 ونسبة تسرب الذائبات خلال

الأغشية الخلوية Electrolyte leakage (EL) ، وسبّب زيادةً في نشاط الأنزيمات مضادات الأكسدة مثل السوبر أوكسيد ديسموتاز SOD، والكاتالاز CAT، وتراكم البرولين وحمض الأسكوربيك. أوضحت النتائج أنّ الرش بحمض الصفصاف أدّى إلى التخفيف من التأثيرات الضّارة للإجهاد المائي في كلا الصنفين المدروسين، حيث أدّى استخدام حمض الصفصاف إلى تحسين محتوى الأوراق من Chl (a) بنسبة 22.12% و12.35%، ومحتوى Chl (b) بنسبة 29% و33.50%، ومحتوى الكاروتينات بنسبة 14% و20.92% لكلٍ من معاملتي الشاهد المروي والإجهاد المائي على التوالي بالمقارنة مع عدم الرش. كما سبّب الرش بحمض الصفصاف (SA) زيادةً واضحة في نشاط الأنزيمات مضادات الأكسدة، وتراكم كلٍّ من البرولين والجلايسين بيتين وحمض الأسكوربيك في كلا الصنفين تحت ظروف كلٍّ من الشاهد المروي والإجهاد المائي بالمقارنة مع عدم الرش، ما أدّى إلى تراجع تركيز الماء الأوكسجيني (H_2O_2)، وتركيز المالونيل دي ألدهيد الناتج عن تخرب المواد الدهنية الداخلة في تصنيع الأغشية الخلوية وتراجع نسبة تسرب الذائبات من الأغشية.

دُرس تأثير الرّي بحمض الأبسيسيك ABA بتركيز (10 µM) في الاستجابات الفيسيولوجية والبيوكيميائية لدى نباتات القمح الطري (مرحلة البادرات) تحت ظروف الإجهاد المائي. أدّت المعاملة بحمض الأبسيسيك إلى انخفاض تركيز الجذور الحرة (ROS)، ما أدّى إلى الحد من تخريب الأغشية الخلوية في النباتات المجهدة، وأوضحت النتائج أنّه عند مستوى معين من محتوى التربة المائي فإنّ تركيز الماء الأوكسجيني (H_2O_2) قد انخفض في أوراق النباتات المجهدة المُعاملة بحمض الأبسيسيك (ABA) بالمقارنة مع النباتات المجهدة فقط، وهذا يعود إلى ارتفاع نشاط الأنزيمات مضادات الأكسدة عند المعاملة بحمض ABA تحت ظروف الإجهاد المائي. ولوحظت زيادة معنوية في نشاط أنزيمات SOD وCAT وPOD لدى أوراق النباتات المعاملة بحمض ABA عند انخفاض السعة الحقلية إلى أقل من 40% بالمقارنة مع النباتات المجهدة فقط (Kong et al., 2021).

دُرس تأثير رش نباتات الشعير المجهدة مائياً بحمض الصفصاف (SA) (0.5 mM) والبرولين (10 mM) وذلك خلال موسمين زراعيين. أدّت معاملة الرش بحمض الصفصاف تحت ظروف الإجهاد المائي إلى زيادة محتوى الماء النسبي في الأوراق، وكانت نسبة الزيادة قرابة 27.9% و47.54% بالمقارنة مع معاملة الإجهاد

المائي بدون رش في كلا الموسمين على التوالي. وكان تركيز الأصبغة اليخضورية الأعلى معنوياً في أوراق النباتات المجهدة المعاملة بحمض الصفصاف. وبيّنت الدراسة أنّ الإجهاد المائي سبّب زيادة في نشاط الأنزيمات مضادات الأكسدة مثل أنزيم Peroxidase (POX) وCAT وغيرها، حيث سُجل أعلى نشاط لأنزيم CAT في النباتات المجهدة، ومع ذلك لم تُسجل أيّة فروقات معنوية بين معاملة (الإجهاد + SA) ومعاملة الشاهد المروي. أوضحت النتائج أنّ معاملة النباتات المجهدة بحمض الصفصاف أدّت إلى انخفاض كلّ من نسبة تسرب الذائبات (44.18% و43.37%)، وأكسدة المواد الدهنية الداخلة في تركيب الأغشية الخلوية بنسبة (28% و9.61%)، وانخفاض تركيز الجذور الحرة (H_2O_2 و$O_2^{\cdot-}$)، حيث انخفض تركيز H_2O_2 بنسبة 32.35% و22.85%، وذلك في كلا الموسمين الزراعيين على التوالي بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي بدون رش (Abdelaal et al., 2020).

أُجريت دراسة لتقييم دور كل من حمض الصفصاف (SA) (0.05 mM) وحمض الأبسيسيك (ABA) (0.1 µM) في تحمل بادرات صنفين من القمح، أحدهما متحمل للجفاف (CS) والآخر حسَّاس للجفاف (SQ1)، للإجهاد الحلولي المطبق باستخدام محلول سكر عديد الجلوكوز الإيثلي Polyethylene Glycol (PEG-6000) ذي الجهد الحلولي Osmotic potential (-0.75 MPa). أدَّت المعاملة بحمض الصفصاف وحمض الأبسيسيك تحت ظروف الإجهاد الحلولي المُطبَّق إلى حدوث تغيرات فيزيولوجية وبيوكيميائية، حيث تراجع طول الأوراق والجذور في كلا الصنفين بالنسبة إلى المعاملتين (PEG + SA وPEG + ABA). سبَّب الإجهاد الحلولي تراجعاً في كل من معدَّل النتح (T)، والناقلية المسامية (gs)، ومحتوى الأوراق من الأصبغة اليخضورية (جزيئات الكلوروفيل) في الصنف المتحمل (CS)، حيث بلغت نسبة الانخفاض في المؤشرات السابقة نحو 28%، و54%، و31% على التوالي بالمقارنة مع الشاهد، في حين سبَّب تراجعاً في الجهد الحلولي (-2.0 MPa)، وزيادة معنوية في معدَّل تخريب المواد الدهنية والسكريات الذوّابة Soluble carbohydrates، وكانت نسبة الزيادة في المؤشرات السابقة قرابة 43%، و50% على التوالي في الصنف الحسَّاس (SQ1). ولوحظ ازدياداً في نشاط مضادات الأكسدة الكلية (غير الأنزيمية) بعد 7 أيام من تطبيق الإجهاد الحلولي، حيث ازداد نشاط مضادات الأكسدة الكلية بمقدار

ضعفين في بادرات الصنف الحسَّاس (SQ1)، في حين كان الازدياد طفيفاً في بادرات الصنف المتحمل (CS) بالمقارنة مع البادرات غير المجهدة (الشاهد). وبيَّنت الدراسة أنَّ إضافة كل من حمض الصفصاف (SA) وحمض الأبسيسيك (ABA) قد أسهما في زيادة نشاط مضادات الأكسدة غير الأنزيمية الكلية تحت ظروف الإجهاد الحلولي، حيث كانت الأعلى معنوياً لدى الصنف المتحمل (CS) بالمقارنة مع الصنف الحسَّاس (SQ1). أدَّى الإجهاد الحلولي إلى زيادة التركيز الداخلي لحمض الأبسيسيك (ABA) بمقدار ضعفين في الصنف الحسَّاس (SQ1) وأربعة أضعاف في الصنف المتحمل (CS). وأبدى الصنف المتحمل (CS) زيادة معنوية في حمض الأبسيسيك (ABA) عند المعاملة (PEG + ABA) بالمقارنة مع الصنف الحسَّاس (SQ1)، في حين سبَّبت المعاملة (PEG + SA) ازدياداً في تركيز ABA لكلا الصنفين. تبين من خلال هذه الدراسة أنَّ المعاملة بحمض الأبسيسيك (ABA) وحمض الصفصاف (SA) قد أسهمت بتحسين تحمل بادرات القمح للضرر الناتج عن الإجهاد الحلولي من خلال زيادة محتوى الأوراق من الذائبات العضوية التوافقية (البرولين، والسكريات الذوَّابة)، وأيضاً زيادة نشاط مضادات الأكسدة غير الأنزيمية الكلية (Marcińska et al., 2013).

وفي دراسةٍ أجراها (Habibi, 2012) لبحث تأثير حمض الصفصاف في التخفيف من الضرر التأكسدي الناتج عن الإجهاد المائي في محصول الشعير Barley (*Hordeum vulgare*) أظهرت النتائج زيادةً في كلٍ من تراكم المادة الجافة، ومعدَّل صافي تمثيل الكربون (NAR) عند المعاملة بحمض الصفصاف (SA). ويُعزى ذلك لتأثيره الإيجابي في الناقلية المسامية (gs) ومحتوى الماء النسبي في الأوراق (RWC %) بالمقارنة مع النباتات المجهدة التي لم تُعامل بحمض الصفصاف (SA). أمّا بالنسبة إلى نشاط الأنزيمات مضادات الأكسدة فقد بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي تفوقاً معنوياً لنشاط أنزيمي SOD وCAT عند معاملة (الإجهاد المائي + الرش بحمض الصفصاف SA) بالمقارنة مع معاملة الإجهاد المائي فقط، في حين لم يُلحظْ وجود أيّة فروقاتٍ معنويةٍ بالنسبة إلى نشاط أنزيميَ (APX وPOD) عند المعاملتين السابقتين. ويُشير ذلك إلى أنَّ نظام مضادات الأكسدة الأنزيمية المحرَّض بفعل حمض الصفصاف (SA) يُساعد في حماية النباتات تحت ظروف الإجهاد المائي من خلال منع

اختلال التوازن بين التشكيل والتخلص من جذور الأوكسجين الحرَّة (ROS)، التي تُسبَّب الإجهاد التأكسدي، الذي عادةً ما يُستدل عليه من تراكم مركب المالونيل دي ألدهيد (MDA).

في دراسةٍ أجراها (ALsahli et al., 2019) لتقييم تأثير حمض الصفصاف (SA) في التخفيف من التأثير الضَّار للإجهاد الملحي في بادرات القمح بالاستناد إلى الصفات البيوكيميائية وبعض مضادات الأكسدة الأنزيمية الرئيسة بيَّنت النتائج تراجع كل من الوزن الجاف والوزن الرطب للبادرات، وظهور البقع الصفراء على الأوراق القديمة تحت ظروف الإجهاد الملحي، في حين لوحظ ازدياد تشكل الماء الأوكسجين (H_2O_2) وتخريب المواد الدهنية، وتراجع معنوي في سلامة الأغشية الخلوية، ولاسيما عند التركيز الملحي (125 mM). أدَّى الإجهاد الملحي إلى تحفيز إنَّتاج البرولين والسكريات الذوَّابة والأحماض الأمينية الحرَّة والبروتينات الدفاعية التي حُفّزت بشكلٍ أكبر عند المعاملة بحمض الصفصاف، ما أدَّى إلى زيادة كفاءة تحمل البادرات للملوحة. وساعدت إضافة حمض الصفصاف (SA) تحت ظروف الإجهاد الملحي على تنظيم نشاط أنزيمات مضادات الأكسدة مثل SOD وCAT وAPX بنسبة 1.76 و2.25 و2.22 ضعفاً على التوالي، ما أدَّى إلى التخلص من الجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) بكفاءةٍ أكبر وحماية النبات ضد الإجهاد التأكسدي، فضلاً عن تخفيف الضرر الناجم عن امتصاص شوارد الصوديوم (Na^+) وما تسبَّبه من اختلالٍ في التوازن الأيوني وامتصاص شوارد البوتاسيوم (K^+). وتبين أنَّ استعمال حمض الصفصاف (SA) يحد من التأثيرات السلبية للملوحة في نمو نباتات القمح وتطورها من خلال تعديل مستوى الذائبات العضوية التوافقية، وتحفيز نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية، وتنظيم امتصاص العناصر المعدنية المغذية.

أُجريت دراسة على أربعة أصناف من الشعير المزروع متباينة في تحملها للإجهاد المائي. أدَّى تراجع محتوى التربة المائي إلى تراجع مؤشرات النمو (الوزن الجاف والرطب، المحتوى المائي، المساحة الورقية، ومحتوى الأوراق من الأصبغة اليخضورية). وبيَّنت النتائج وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الطرز المدروسة من حيث محتوى البرولين والسكريات الذوَّابة وتركيز شوارد الكالسيوم (Ca^{+2}) في الأوراق والجذور. وأدَّت المعاملة بحمض الصفصاف (SA) تحت ظروف الإجهاد المائي إلى تحسين معدّل نمو النباتات، ولوحظ هذا بشكلٍ واضح من خلال ارتفاع قيم

مؤشرات النمو لكلٍ من المجموع الجذري والمجموع الخضري بدرجاتٍ متفاوتة لكل الطرز الوراثية المدروسة. وأدَّى رش المجموع الخضري بحمض الصفصاف (SA) (0.5 mM) إلى زيادة محتوى الجذور والأوراق من السكريات، والبروتينات الذوّابة، والأحماض الأمينية الحرَّة. وبيَّنت النتائج وجود فروقاتٍ معنوية بين الطرز المدروسة بالنسبة لتراكيز الشوارد المعدنية (K^+، Ca^{+2}، Mg^{+2}) عند المعاملة حمض الصفصاف (SA)، حيث لُوحظ ازدياد معدّل تراكم شوارد (K^+، Ca^{+2}) في الأجزاء النباتية المختلفة للطرز Giza 124، وتراكم شوارد (K^+، Ca^{+2}، Mg^{+2}) في الطراز Giza 129. وهذا يوضح الدور المهم لحمض الصفصاف في تنظيم كثير من العمليات الاستقلابية (الأيضية) Metabolic processes في النبات تحت ظروف الإجهاد المائي ومن ثَمَّ المحافظة على سير العمليات الحيوية (Abd El-Samad et al., 2019).

أُجريت دراسة لتحديد استجابة طرازين من القمح لإضافة حمض الصفصاف (0.25 و0.50 mM) تحت ظروف الإجهاد الملحي (75 و150 NaCl mM). سبَّب الإجهاد الملحي تراجعاً معنوياً في محتوى الأوراق من جزيئات الكلوروفيل في كلا الطرازين، وازداد التراجع الحاصل مع ازدياد شدّة الإجهاد الملحي، وأدَّى إلى زيادة البروتينات الذوَّابة، وأيضاً زيادة نشاط كل من أنزيم CAT وأنزيم SOD. بيَّنت النتائج أنَّ إضافة حمض الصفصاف (SA) بصرف النظر عن التركيز أدَّت إلى زيادة معنوية في محتوى الأوراق من جزيئات الكلوروفيل في كلا الطرازين تحت ظروف الإجهاد الملحي والشاهد المروي، وسبّب حمض الصفصاف تحت ظروف الإجهاد الملحي زيادةً في مستوى تراكم البروتينات الذوَّابة، حيث أدَّت المعاملة (NaCl mM 150 + SA mM 0.25) إلى زيادة المحتوى من البروتين بنسبة 39.66% و59.76 % في كلٍ من الأنَّماط الوراثية (SARC-4 وParwaz-94 على التوالي) بالمقارنة مع معاملة (NaCl mM 150). وأدَّت المعاملة (NaCl mM 75+ SA mM 0.50) إلى زيادة تركيز البروتينات الذوَابة في الطراز SARC-4 بنحو 41.44%، وفي الطراز Parwaz-94 بنحو 38.06% بالمقارنة مع المعاملة (NaCl mM 75) فقط. وأدَّت إضافة حمض الصفصاف (SA) إلى تحسين نشاط أنزيم CAT عند كلا المستويين من الملوحة، حيث سبَّب حمض الصفصاف (0.25 mM) زيادة نشاط أنزيم CAT في الطراز SARC-4 بنسبة 90.32% وفي الطراز Parwaz-94 بنسبة 55.25% وذلك عند مستوى الإجهاد

الملحي (NaCl mM 75). أدَّت إضافة حمض الصفصاف إلى زيادة نشاط أنزيم SOD تحت ظروف الإجهاد الملحي، حيث سبّب حمض الصفصاف (mM 0.25) زيادةً في نشاط أنزيم SOD بنسبة 53.19% و81.11% في كلٍ SARC-4 و Parwaz-94 على التوالي بالمقارنة مع معاملة الإجهاد الملحي فقط. وتُوصّل إلى أنَّ مستويي حمض الصفصاف كانَ لهما تأثير كبير في المؤشرات الفيزيولوجية والبيوكيميائية لنباتات المحصول تحت ظروف الإجهاد الملحي (Suhaib et al., 2018).

أُجريت دراسة لبحث تأثير إضافة حمض الصفصاف في نباتات القمح المعرَّضة للإجهاد الملحي بتراكيز مختلفة (NaCl mM 200, 150, 100, 50, 0) وحمض الصفصاف بتركيز mM 1. أدَّى الإجهاد الملحي إلى تراجع كلٍ من محتوى الماء النسبي للأوراق (RWC%)، ومحتوى الأوراق من جزيئات الكلوروفيل الكلي، في حين ازداد كل من تركيز المالونيل دي الألدهيد (MDA)، وتركيز H_2O_2. وبيَّنت النتائج تراجع محتوى كل من حمض الأسكوربيك(AsA) Ascorbic acid، والغلوتاثيون (GSH)، وأيضاً تراجع نسبة الغلوتاثيون إلى ثنائي كبريتيد الغلوتاثيون Glutathione disulfide (GSH/GSSG) تحت ظروف الإجهاد الملحي بسبب زيادة كمية GSSG. ولُوحظ تراجع معنوي في نشاط كل من أنزيم (APX)، و(POD)، و Monodehydroascorbate reductase (MDHAR)، وDehydroascorbate reductase (DHAR)، بينما تراجع نشاط أنزيم (CAT) عند جميع مستويات الملوحة المطبقة باستثناء التركيز الملحي mM 100، حيث لوحظ ارتفاع نشاط CAT عنده. ولوحظ أيضاً تراجع كلٍ من H_2O_2 وGSSG، بالإضافة إلى زيادة في محتوى كل من حمض الأسكوربيك (AsA) والغلوتاثيون (GSH) ولاسيما عند التركيز NaCl mM 100 في بادرات القمح المعاملة بحمض الصفصاف (SA) بالمقارنة مع الباردات غير المعاملة. أما بالنسبة إلى مضادات الأكسدة الأنزيمية، فقد أدَّت إضافة حمض الصفصاف (SA) إلى زيادة نشاط أنزيم (APX) بالمقارنة مع البادرات التي لم تُعامل بحمض الصفصاف، وازداد نشاط أنزيم (CAT) تحت ظروف الإجهاد الملحي. وأدَّت إضافة حمض الصفصاف (mM 1) تحت ظروف الإجهاد الملحي إلى تحسين العوامل الفيزيولوجية والإنتاجية وتقليل الأكسدة في كلا الصنفين، حيث أظهر الصنف "BARI Gom 25" تحملاً أفضل للإجهاد الملحي المطبق (Fardus et al., 2017).

وبُحث في تأثير حمض الصفصاف في الحد من تأثير الإجهاد التأكسدي الناتج عن إجهاد المعادن الثقيلة Heavy metals stress، حيث أُجريت دراسة لتقييم تأثير الرش بحمض الصفصاف (SA) (0.5 mM) للحد من تأثير سمية الكوبالت (Co) في أوراق القمح، وطبق الإجهاد بمستوياتٍ مختلفة من الكوبالت (0، 50، 150، 250، 350 µM) على شكل $CoCl_2$. جرى تقييم بناءً على كثير من مؤشرات النمو والعمليات الفيزيولوجية، وبيَّنت النتائج أنَّ عنصر الكوبالت سبَّب انخفاضاً كبيراً في الوزن الجاف والرطب، وارتفاع النبات، والمحتوى المائي للنبات، فضلاً عن محتوى الأوراق من الأصبغة التمثيلية الكلية. وأدَّى إلى تراكم كلٍ من H_2O_2 ومركب المالونيل دي ألدهيد (MDA)، وتحريض نشاط بعض الأنزيمات المضادة للأكسدة، حيث لوحظ زيادة في نشاط أنزيم (SOD) مع زيادة تركيز الكوبالت، ثمَّ تراجع عند التراكيز المرتفعة، وأيضاً زيادة كبيرة في نشاط أنزيمات (APX) و Polyphenol oxidase (PPO)، في حين انخفض نشاط (CAT) بشكلٍ كبير. أدَّى رش بادرات القمح بحمض الصفصاف إلى زيادةٍ كبيرة في جميع مؤشرات النمو المدروسة، ويُعزى ذلك إلى الانخفاض في تراكم H_2O_2 ومركب المالونيل دي ألدهيد (MDA) وتحسين نشاط الأنزيمات مضادات الأكسدة، وهذا يعكس دور حمض الصفصاف (SA) في تحسين نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية عن طريق تنشيط (SOD وPPO) والتقليل من الضرر التأكسدي الناتج عن سميّة عنصر الكوبالت (Mohamed et al., 2019).

وفي دراسةٍ أخرى، جرى تقييم دور حمض الصفصاف (SA) في تحسين تحمل نبات القمح للإجهاد الناتج عن إضافة عنصر الرصاص (Pb)، حيث أُضيف حمض الصفصاف (SA) بتراكيز مختلفة (0، 2، 8 µM)، الرصاص بتراكيز (0، 2 mM). أدَّى ازدياد تركيز عنصر الرصاص إلى تقليل ارتفاع النبات، والوزن الجاف والرطب، ومحتوى الأوراق من الأصبغة التمثيلية (Chl a وChl b، Chl a: b)، حيث أدَّى إلى زيادة تدهور أصبغة الكلوروفيل (Chl)، وزيادة تسرب الذائبات، وتراكم مركب المالونيل دي ألدهيد (MDA) الناتج عن أكسدة الدهون وتخريبها، بالإضافة إلى زيادة واضحة في تراكم كل من الكربوهيدرات القابلة للذوبان الكلية والبروتين، ولوحظت زيادة نشاط الأنزيمات مضادات الأكسدة (SOD)، و (CAT)، و (POD). وبيَّنت النتائج أنَّ إضافة حمض الصفصاف (SA) تحت ظروف الإجهاد المطبق أدَّى إلى تحسين عملية التمثيل الضوئي من خلال تشجيع

التصنيع الحيوي للكلوروفيل ومنع تدهوره نتيجة الإجهاد، فضلاً عن الحد من تسرب الذائبات (EL) وتراكم مركب (MDA). وأدَّت المعاملة بحمض الصفصاف (SA) إلى زيادة معدَّل تراكم البرولين وزيادة نشاط الأنزيمات المضادة للأكسدة (SOD، وCAT، وPOD). تكشف هذه الدراسة أنَّ التطبيق الخارجي لحمض الصفصاف (SA) مفيد لنمو نباتات القمح وتطورها عن طريق الحد من التأثيرات السيئة لإجهاد المعادن الثقيلة، حيث أدَّى حمض الصفصاف (SA) إلى تحسين العمليات الفيزيولوجية بشكلٍ مباشر أو غير مباشر، ما ساعد نباتات محصول القمح في التغلب على الأكسدة الناجمة عن سمية عنصر الرصاص (Alamri et al ., 2018).

نُفذت دراسة لتقييم دور أنظمة الدفاع التأكسدية في تحسين تحمل الإجهاد المائي لدى ثلاثة طرز وراثية متباينة الاستجابة من القمح الطري، حيث طُبق الإجهاد المائي خلال مراحل مختلفة بعد مرحلة الإزهار. بيّنت النتائج حدوث زيادة في معدّل تخريب المواد الدهنية، وتراجع سلامة الأغشية السيتوبلاسمية، ومحتوى الأوراق من الأصبغة اليخضورية والكاروتينية. ولوحظ ازديادٌ في نشاط الأنزيمات المضادة للإجهاد التأكسدي مثل APX وGR وأنزيم Non-specific peroxidase غير المتخصص بشكلٍ معنوي، ولوحظ أنّ نشاط الأنزيمات السابقة كان الأعلى معنوياً لدى الطراز PBW175 حيث أبدى مستوى أقل من تخريب للمواد الدهنية (محتوى منخفض من مركب MDA)، وحافظ على ثبات الأغشية السيتوبلاسمية واستقرارها(نسبة تسرب الذائبات الأدنى معنوياً)، وحافظ أيضاً على تراكيز مرتفعةٍ من كلٍّ من الأصبغة اليخضورية والكاروتينية تحت ظروف الإجهاد المائي، في حين كان كلٌّ من النشاط الأنزيمي وثباتية أغشية ومحتوى من الأصبغة اليخضورية والكاروتينية أقل لدى الطراز الحسّاس WH542. وأبدى الطراز HD2404 استجابة متوسطة. يتضح من هذه الدراسة أنّ مستوى تحمل الإجهاد المائي لدى الطراز PBW175 كان مرتبطاً بالنشاط الأنزيمي للأنزيمات الكانسة لجذور الأوكسجين الحرة (Sairam and Saxena, 2000).

نُفذت تجربة مخبرية لتقييم تأثير حمض الصفصاف في نمو بادرات القمح واستقلابها تحت ظروف الإجهاد المائي. أبدت البادرات المعاملة بحمض الصفصاف بصرف النظر عن التركيز (1، 3 mM) تحت ظروف الإجهاد المائي محتوى مائياً أعلى معنوياً وكمية أكبر من المادة الجافة، ونشاطاً أعلى للأنزيم روبيسكو Rubisco والأنزيم

المضاد لجذر السوبر أوكسيد الحر (SOD)، ومحتوى أعلى من جزيئات اليخضور بالمقارنة مع البادرات غير المعاملة. وساعدت المعاملة بحمض الصفصاف تحت ظروف الإجهاد المائي في المحافظة على نشاط الأنزيم Nitrate reductase. وحافظت – وبخاصة عند تركيز 3 mM من حمض الصفصاف – على محتوى الأوراق من البروتين والآزوت بالمقارنة مع البادرات غير المجهدة مائياً. تُشير النتائج إلى الدور المهم الذي يؤديه حمض الصفصاف في تنظيم استجابة نباتات القمح لظروف الإجهاد المائي، وتقترح إمكانية استعمال حمض الصفصاف منظم نمو في تحسين نمو نباتات القمح تحت ظروف الإجهاد المائي (Singh and Usha, 2003).

الفصل الثالث

مواد البحث وطرائقه Materials and methods

3-1- مكان تنفيذ البحث Research site: نُفذ البحث في مخابر قسم المحاصيل الحقلية، كلية الزراعة، جامعة دمشق، ومخابر الهيئة العامة للتقانة الحيوية، خلال عام 2022.

3-2- المادة النباتية Plant material: أُجريت الدراسة على أربعة أصناف معتمدة من محصولي القمح بنوعيه، القمح الطري Bread wheat (*Triticum aestivum* L.)، والقمح القاسي Durum wheat (*Triticum durum* L.). وحُصِل على البذار من قسم الحبوب، إدارة بحوث المحاصيل في الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية بدمشق، والمركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) (الجدول، 1).

الجدول رقم (1): توصيف المادة النباتية المدروسة.

التسلسل	الصنف	الصفات
1	دوما4 (أكساد901) قمح طري	يصلح للزراعة في منطقة الاستقرار الثانية في محافظات (حماة، حلب، الرقة، والحسكة)، يتحمل الجفاف، والحبوب ذات محتوى بروتيني جيد، ويبدي مقاومة لأمراض الصدأ الأصفر وصدأ الورقة، وصدأ الساق والسبتوريا. مبكر في عدد الأيام حتى الإسبال (119 يوماً)، وعدد الأيام حتى النضج التام (163 يوماً)، ارتفاع النبات قرابة 69 سم، مقاوم للانفراط والرقاد، متوسط الإنتاجية قرابة 2375 كغ. هكتار$^{-1}$.
2	دوما2 (أكساد885) قمح طري	يصلح للزراعة في منطقة الاستقرار الثانية في محافظات (درعا، إدلب، حلب، الرقة، والحسكة)، يتميز بتحمل الجفاف، ومقاوم لمرضي صدأ الورقة وصدأ الساق، ويمتاز بصفات تصنيعية جيدة، والحبوب كبيرة الحجم. مبكر بالنضج، عدد الأيام حتى الإسبال نحو 119 يوماً، وعدد الأيام حتى النضج التام قرابة 159 يوماً، ارتفاع النبات 67 سم، مقاوم للانفراط والرقاد، متوسط الإنتاجية قرابة 2257 كغ. هكتار$^{-1}$.
3	دوما1 (أكساد1105) (قمح قاسٍ)	عدد الأيام حتى الإسبال 93 يوماً، عدد الأيام حتى النضج 135 يوماً، ارتفاع النبات 78سم، وزن الألف حبة 37.6غ، متوسط الإنتاجية بعلاً قرابة 3350 كغ. هكتار$^{-1}$.
4	دوما3 (أكساد1229) (قمح قاسٍ)	يزرع في منطقة الاستقرار الثانية، مقاوم للرقاد والانفراط، ومقاوم لأمراض الصدأ والتفحم المغطى. عدد الأيام حتى الإسبال نحو 90 يوماً، وعدد الأيام حتى النضج 131 يوماً، ارتفاع النبات 78سم، وزن الألف حبة 36.4غ، ومتوسط الإنتاجية بعلاً قرابة 3200 كغ. هكتار$^{-1}$.

3-3- طرائق البحث Research Methods

3-3-1. طريقة العمل Methodology:

جرى أولاً تعقيم حبوب القمح المتجانسة والسليمة وذات الحيوية المرتفعة والنقية Pure من أصناف القمح الطري (*Triticum aestivum* L.)، والقمح القاسي (*Triticum durum* L.) المختلفة بوساطة محلول هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز (3%) مدّة 15 دقيقة، ثمّ زُرعت في أصصٍ زراعية مملوءة بالبيتموس Peat بتاريخ 2021/1/26، وجرى الري بالماء العادي حتى اكتمال عملية الإنبات واسترساء البادرات، ثمّ أُبقي على خمس بادرات في كل أصيص، ورويت الأصص بكميةٍ كافية من محلول هوغلاند Hogland's nutrient solution (Hoagland and Arnon, 1950) بتركيز كامل بالتناوب مع الماء المقطر المضاعف، حتى تتكيف البادرات مع الظروف البيئية. وبدءاً من تاريخ 2021/2/25 طُبّق الإجهاد الحلولي Osmotic stress متوسط الشدة باستعمال محلول سكر عديد الجلوكوز الإيثيلي (PEG-6000) ذي الجهد الحلولي (MPa -0.8) (Agarwal et al., 2005a)، والإجهاد الملحي Salinity stress (NaCl mM 75) (Datta et al,. 2009)، فضلاً عن الشاهد المطلق (محلول هوغلاند فقط بدون العامل المجهد) كلاً على حدة، من خلال إضافة المستويات الملحية والحلولية المحددة مع محلول Hogland المغذي (نصف تركيز)، رُشَّ كامل النباتات بوساطة حمض الأبسيسيك (0.5 mM)، ومحلول السكروز Sucrose (2%) الذي يحتوي على حمض الصفصاف (1 mM) (Agarwal et al., 2005a) بما يضمن تغطية كامل النباتات بكمياتٍ متساوية من المحاليل المذكورة ابتداءً من اليوم العاشر من تطبيق الإجهادين الحلولي والملحي، حيث طُبقت المعاملات مدّة 45 يوماً حتى تاريخ 2021/4/11، ثمّ أخذت عينات ورقية من الأوراق الأولى مكتملة النمو والاستطالة، ووُضعت في المجمدة على درجة حرارة -60 مئوية إلى حين تسجيل قراءات الصفات المدروسة.

3-4- المعاملات المدروسة Investigated treatments:

- **معاملات الشاهد المروي:**

1. **الشاهد المطلق:** رُويت الأصص الزراعية بكميةٍ كافية من محلول هوغلاند (كامل التركيز) من بداية التجربة وحتى نهايتها، بمعدّل ثلاثة أصص (مكررات) لكل صنف من الأصناف المدروسة (الجدول، 2).
2. **الشاهد + 1 mM من حمض الصفصاف.**
3. **الشاهد + 0.5 mM من حمض الأبسيسيك.**
4. **الشاهد + خليط من حمض الصفصاف(1 mM) وحمض الأبسيسيك (0.5 mM).**

- **معاملات الإجهاد الملحي:**

5. **الإجهاد الملحي:** رُويت الأصص الزراعية بكميةٍ كافية من المحلول الملحي (75 mM NaCl)، مع الرّش بالماء المقطر، وعُدت شاهداً ملحياً بالمقارنة مع المعاملة التي يرافق فيها إضافة المحلول الملحي أيّاً من الحمضين المدروسين، وأُفيدت لحساب نسبة الانخفاض/الزيادة في المؤشرات المدروسة بتأثير الإجهاد الملحي فقط بالمقارنة مع الشاهد المطلق.
6. **إجهاد ملحي + 1 mM من حمض الصفصاف.**
7. **إجهاد ملحي + 0.5 mM من حمض الأبسيسيك.**
8. **إجهاد ملحي + خليط من حمض الصفصاف(1 mM) وحمض الأبسيسيك (0.5 mM).**

- **معاملات الإجهاد الحلولي:**

9. **الإجهاد الحلولي:** رُويت الأصص الزراعية بكميةٍ كافية من المحلول الحلولي Osmotic stress solution (-0.8 MPa PEG-6000)، مع الرّش بالماء المقطر، وعُدت شاهداً حلولياً بالمقارنة مع المعاملة التي يرافق فيها إضافة المحلول الحلولي أيّاً من الحمضين المدروسين، وأُفيد لحساب نسبة الانخفاض/الزيادة في المؤشرات المدروسة بتأثير الإجهاد الحلولي فقط بالمقارنة مع الشاهد المطلق.
10. **إجهاد حلولي + 1 mM من حمض الصفصاف.**
11. **إجهاد حلولي + 0.5 mM من حمض الأبسيسيك.**
12. **إجهاد حلولي + خليط من حمض الصفصاف(1 mM) وحمض الأبسيسيك (0.5 mM).**

الجدول رقم (2): مكونات محلول هوغلاند.

اسم المركب	الصيغة الكيميائية	الوزن الجزيئي	الكمية في 1 لتر من المحلول
Potassium nitrate	KNO_3	101.1	5 ml of 1 M
Calcium nitrate	$Ca(NO_3)2\ 4H_2O$	236.15	5 ml of 1 M
Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	136.09	1 ml of 1 M
Magnesium sulfate	$MgSO_4.7H_2O$	246.47	2 ml of 1 M
Micronutrient stock solution			1 ml of stock solution
Iron chelate	Fe-EDTA		1-5 ml of 1000 mg/l
Minus nitrogen			
Monocalcium phosphate	$Ca(H_2PO_4)2{\cdot}H_2O$	252	10 ml of 0.05 M
Calcium sulfate dehydrate	$CaSO_4{\cdot}2H_2O$	172.17	200 ml of 0.01 M
Potassium sulfate	K_2SO_4	174.26	5 ml of 0.5 M
Magnesium sulfate	$MgSO_4.7H_2O$	246.47	2 ml of 1 M
Micronutrient stock solution			1 ml of stock solution
Iron chelate	Fe-EDTA		1-5 ml of 1000 mg/l
Micronutrient stock solution			
Boric acid	H_3BO_3		2.86 g
Manganese chloride – 4 hydrate	$MnCl_2{\cdot}4H_2O$		1.81 g
Zinc sulfate – 7 hydrate	$ZnSO_4{\cdot}7H_2O$		0.22 g
Copper sulfate – 5 hydrate	$CuSO_4{\cdot}5H_2O$		0.08 g
85% Molybdic acid	MoO_3		0.02 g

(Hoagland and Arnon, 1950)

3-5- الصفات المدروسة Investigated traits

3-5-1. محتوى الماء النسبي في الأوراق Leaf Relative Water Content (%RWC):

قُدِّر المحتوى النسبي للماء في الأوراق من خلال قطع ورقتين كاملتي الاستطالة عند قاعدة النصل من ثلاثة نباتات بشكلٍ عشوائي من كل صنف، ومعاملة، ومكرر في نهاية فترة تطبيق المعاملات، ووضعت الأوراق في أكياسٍ بلاستيكية محكمة الإغلاق للحد من فقد المياه بالتبخر – نتح، ونُقلت مباشرةً إلى المخبر، حيث سُجل الوزن

الرطب للأوراق Fresh weight (FW) في أقل من 15 دقيقة، غُمِرت الأوراق بشكلٍ كامل في الماء المقطر ضمن أنابيب اختبار مدّة 16-18 ساعة عند درجة حرارة الغرفة (20ْ م) والإضاءة الخافتة في المخبر. ثمّ جُففت الأوراق بلطف في نهاية فترة النقع لإزالة الماء الزائد العالق على سطوحها، وسُجلت الوزن الرطب المشبع Turgid weight (TW)، ثمّ وضعت الأوراق في أكياس ورقية، ونُقلت إلى مجفف مسخَّن بشكلٍ مسبق على درجة حرارة 105ْم مدّة نصف ساعة، وذلك لقتل الأنسجة النباتية وإيقاف عملية فقد المادة الجافة بالتنفس Respiration، ثمّ خُفضت درجة حرارة المجفف إلى 80ْم وتُركت العينات فيه مدّة 72 ساعة، أو إلى حين الوصول إلى الوزن الجاف الثابت Dry weight (DW). وحُسب محتوى الماء النسبي في الأوراق (RWC%) من المعادلة الرياضية الآتية (Schonfeld et al., 1988):

$$\textbf{(1)} \quad \textbf{RWC\% = (FW-DW) / (TW-DW) × 100}$$

3-5-2. دليل سلامة الأغشية السيتوبلاسمية Membrane Stability Index (MSI%):

أُخذت عينات أقراص ورقية من الورقتين الثانية والثالثة كاملتي الاستطالة من النباتات بشكلٍ عشوائي من كل صنف، ومعاملة، ومكرر في نهاية فترة تطبيق المعاملات، ووضع عدد محدد من الأقراص الورقية (20 قرصاً) في عبوة تحتوي على 10 ml من الماء المقطر، تُركت العبوات على الهزاز مدّة 3 ساعات، ثمّ قِيس الامتصاص الأولي (A_1) عند طول موجة 280 nm باستعمال جهاز قياس الطيف الضوئي Spectrophotometer، ثمّ نُقلت المحاليل من كل عبوة على حدة إلى أنابيب اختبار مزودة بسدادة ووضعت في حمام مائي (درجة الغليان) مدّة 30 دقيقة، ثمّ قِيس الامتصاص النهائي (A_2) للمحلول عند طول الموجة السابقة نفسها. وحُسبت استناداً إلى ما سبق نسبة تسرب الذائبات Solute leakage وفق المعادلة الرياضية الآتية (Leopold et al., 1981):

$$\textbf{(2)} \quad \textbf{Solute leakage percentage} = (A_1 / A_2) \times 100$$

3-5-3. محتوى الأوراق من البرولين Leaf proline content (mg. g^{-1} Fresh leaf):

أُخذ 0.5 غ من مسحوق العينات المجمدة والمطحونة في الآزوت، وجرى مجانستها في 2 ml من المحلول المائي لحمض السلفوساليسيليك (3%)، ثمّ فُصل المستخلص بوساطة جهاز الطرد المركزي على سرعة 10000 دورة/دقيقة مدّة 10 دقائق، ثمّ جُمع محلول الاستخلاص، وأُكمل حجمه إلى 5 ml باستخدام حمض السلفوساليسيليك (3%). ولتقدير محتوى المستخلص من البرولين أُخذ منه 2 ml وأضيف إليه 2 ml من محلول النينهيدرين لتنشيط التفاعل، و2 ml من حمض الخل الثلجي، ووضعت الأنابيب في حمام مائي عند درجة الغليان مدّة ساعة واحدة، ثمّ رُفعت الأنابيب وبُرّدت بشكلٍ مفاجئ لإيقاف التفاعل وذلك بوضعها في وعاء يحتوي على الثلج، بعد ذلك أُضيف لكل أنبوب 4 ml من التولوين (ملوّن)، ورجّ مدّة عشرة ثوانٍ، ثمّ تُرك حتى ينفصل المزيج إلى طورين، حيث أُخذ الطور العلوي وقيست درجة امتصاصه عند طول موجة 520 nm في جهاز قياس الطيف الضوئي. وحُسب تركيز البرولين في العينات النباتية باستخدام منحني معياري حاسوبياً باستعمال كميات معروفة من البرولين (Bates et al., 1973).

3-5-4. محتوى الأوراق من الأصبغة اليخضورية والكاروتينية (mg. g^{-1} Fresh leaf):

قيس تركيز الكلورفيل a وb والكاروتينات الكلية بحسب طريقة (Guóth, 2009)، حيث أُخذ 0.25 غ من العينات الورقية من كل صنف، ومعاملة، ومكرر وأُضيف لها الأسيتون المطلق المجمد (100%) حتى زوال اللون لمدة 24 ساعة، ثمَّ تمَّ تثقيل المستخلص على درجة حرارة 4 م° لمدة 15 د و 5000 دورة/د، وقيست درجة الامتصاصية في جهاز قياس الطيف الضوئي عند طولي الموجتين 662 و645 nm لتقدير تركيز الكلوروفيل a وb على التتالي، وعند طول الموجة 470 نانومتر لتقدير تركيز الكاروتينات الكلية، وحُسب محتوى الأوراق من الكلوروفيل a وb والكاروتينات الكلية وفق المعادلات الآتية (Lichtenthaler and Buschmann, 2001):

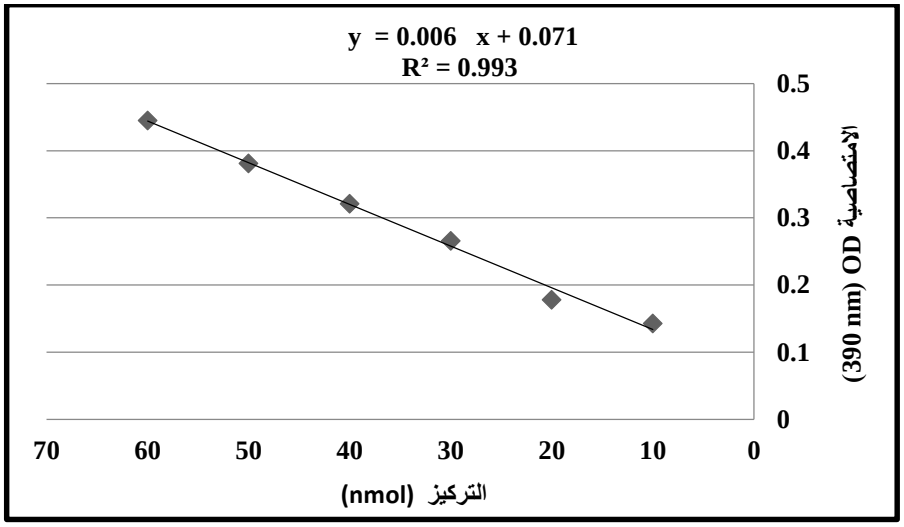
$$\textbf{(3)} \quad \text{Chla } (\mu g.\ mL^{-1}) = 11.24\ A_{662} - 2.04\ A_{645}$$

$$\textbf{(4)} \quad \text{Chlb } (\mu g.\ mL^{-1}) = 20.13\ A_{645} - 4.19\ A_{662}$$

$$\textbf{(5)} \quad \text{Caro } (\mu g.\ mL^{-1}) = (1000\ A_{470} - 1.90\ \text{Chla} - 63.14\ \text{Chlb}) / 214$$

3-5-5. تركيز جذر الماء الأوكسجيني (H_2O_2) (μ mol. g^{-1} Fresh leaf):

قِيس المحتوى من H_2O_2 بحسب (Velikova et al., 2000)، حيث أُخذ 0.25 غ من مسحوق العينات المجمدة والمطحونة في الآزوت السائل، وجرت مجانستها في 1 ml من حمض الخليك ثلاثي الكلور (TCA) بتركيز 0.1 % (w/v) ضمن حمام ثلجي، ثمّ ثُفل المزيج باستخدام جهاز الطرد المركزي بسرعة 15000 دورة/دقيقة مدّة 15 دقيقة وعلى درجة حرارة 4م°. أخذ 500 µL من الرشاحة الناتجة وأضيف لها 250 µL من محلول منظم فوسفات البوتاسيوم تركيز 10 mM عند pH 7 و500 µL من يود البوتاسيوم (KI) تركيز 1 M. تركت العينات بعد التحريك الجيد مدّة 30 دقيقة على درجة الحرارة العادية، وقُرئ امتصاص العينة للأشعة الضوئية على طول موجة 390 nm بوساطة جهاز قياس الطيف الضوئي. استخدم منحنى معياري، رسم باستخدام تراكيز معلومة من H_2O_2 التجاري (MERCK,35%)، لحساب تركيز H_2O_2 في العينة (الشكل، 1).



الشكل رقم (1): المنحنى المعياري لجذر الماء الأوكسجيني.

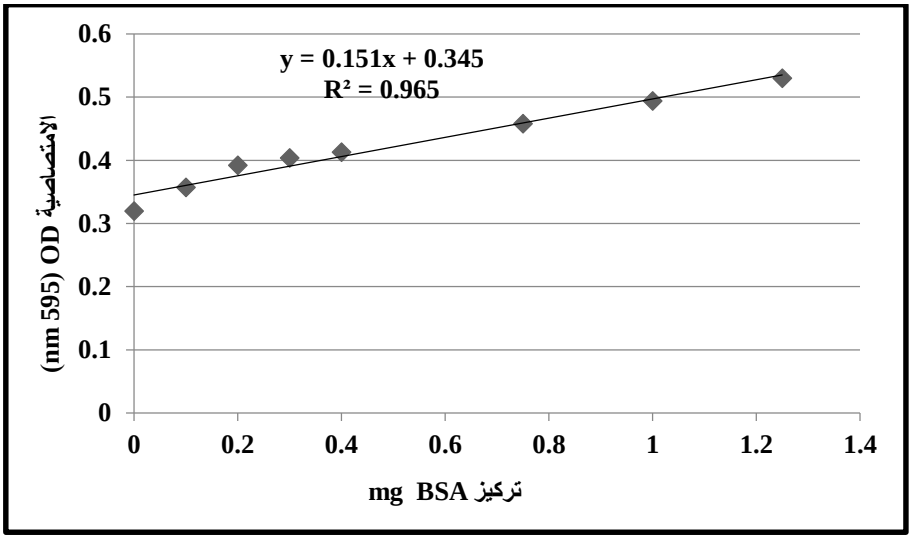
3-5-6. تركيز المالونيل دي ألدهيد (MDA) (μ mol. g^{-1} Fresh leaf):

قِيس تركيز مركب المالونيل دي ألدهيد (MDA) بحسب (Velikova et al., 2000)، وذلك باستخدام محلول الثيوباربيتوريك (TBA) الذي يحدد المحتوى من MDA بوصفه ناتجاً نهائياً لأكسدة الليبيدات. أُخذ 0.25 غ من العينات المجمدة والمطحونة في الآزوت السائل، وجرى مجانستها في 1 ml من حمض الخليك

ثلاثي الكلور بتركيز 0.1 % (w/v) ضمن حمام ثلجي، ثمَّ ثُفل المزيج باستخدام جهاز الطرد المركزي بسرعة 1500 دورة/دقيقة مدّة 15 دقيقة وعلى درجة حرارة 4 م°. أُخذ 500 µL من الرشاحة الناتجة وأضيف إليها 1 مل من محلول TBA بتركيز 0.5 % (w/v) والمحضّر باستخدام محلول TCA بتركيز 20 %(w/v). وضع الخليط في حمام مائي على درجة حرارة 100 م° مدّة 30 دقيقة، ثمّ أوقف التفاعل بوضع العينات في الثلج عدة دقائق. وقُرئ امتصاص العينة للأشعة الضوئية على طول موجة 532 nm بواسطة جهاز قياس الطيف الضوئي، وحُسب تركيز المعقد MDA-TBA (صبغة حمراء) انطلاقاً من معامل الامتصاص 155 mmol/ cm.

$$MDA + TBA \longrightarrow TBAR\ (\text{معقد أحمر}) + 2H_2O$$

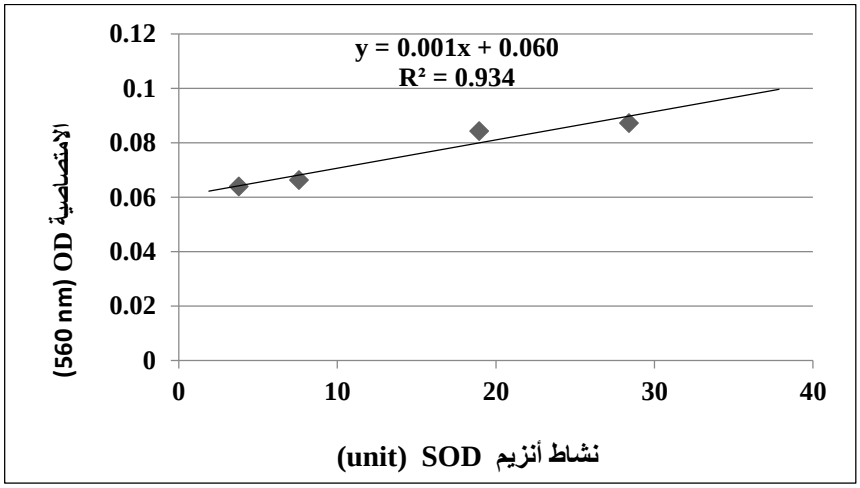
3-5-7. نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية: جرت جميع الاختبارات الأنزيمية عند درجة حرارة 4 م° وعند حجم تفاعل نهائي 2 ml، بحسب طريقة (Murshed et al., 2008). واستُخلصت الأنزيمات وفق الآتي: أخذ 0.5 غ من مسحوق العينات المجمدة والمطحونة في الآزوت السائل، وجرت مجانسته في 1 ml من محلول منظم فوسفاتي بتركيز 50 mmol و pH 6، الذي يحتوي على 40 mmol كلوريد البوتاسيوم KCl و2 mmol كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ و1 mmol حمض الأسكوربيك (AsA). وضع الخليط السابق في جهاز الطرد المركزي مدّة 15 دقيقة وبسرعة 15000 دورة/دقيقة وعلى درجة حرارة 4 م°، ثمَّ استخدمت الرشاحة الناتجة لقياس نشاط الأنزيمات المضادة للأكسدة بصورةٍ مباشرة، وأيضاً لقياس تركيز البروتينات. قِيس تركيز البروتينات بطريقة (Bradford, 1976)، حيث أخذ 200 µl من المستخلص الأنزيمي وأضيف إليه 1.5 ml من محلول برادفورد (SIGMA, SLBB8733V)، وحرك المزيج ثمّ تُرك بدرجة حرارة الغرفة مدّة 30 دقيقة، ثمّ قرئت الامتصاصية على طول موجة 595 nm. حُسب تركيز البروتين في المستخلص الأنزيمي من خلال رسم منحنى معياري باستخدام تراكيز معلومة من مستخلص الألبومين BSA (الشكل، 2).



الشكل رقم (2): المنحنى المعياري لمحلول برادفورد.

3-5-7. 1. نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز SOD Activity (unit. mg^{-1} protein):

قُدِّر نشاط أنزيم SOD حسب طريقة (Giannopolitis and Ries, 1977) بإضافة 100µL من المستخلص الأنزيمي الذي حُضر وفقاً ل (Murshed وزملائه، 2008) إلى 1.5 ml من محلول التفاعل الحاوي على محلول منظم فوسفاتي بتركيز 50 mmol وpH 7.8 والميثيونين بتركيز 13 mmol، ونيترو بلو تيترازوليوم (NBT) بتركيز 75 µmol وEthylene diamine tetraacetic acid (EDTA) بتركيز 0.1 mmol والريبوفلافين بتركيز 2 µmol. ثمَّ عرض الخليط بعد التحريك الجيد إلى الإضاءة الاصطناعية مدّة 5 دقائق لتفعيل الإرجاع الضوئي لمادة NBT ومن ثمَّ تغير لونها الذي سيثبطه أنزيم الـ SOD. وقِيست نسبة هذا التثبيط. بعد ذلك قُرئ امتصاص العينة للأشعة الضوئية على طول موجة 560 nm بوساطة جهاز قياس الطيف الضوئي، حيث يمنع الـ SOD الموجود في الخلاصة الإرجاع الضوئي الكيميائي لـ NBT إلى أزرق الفورمازان. حسب نشاط الـ SOD بالوحدة استناداً إلى المنحنى القياسي الذي رسم باستخدام تراكيز معلومة من SOD التجاري (الشكل، 3)، وعرفت الوحدة الواحدة من نشاط SOD على أنّها كمية الأنزيم التي تسبب تثبيطاً ضوئياً بنسبة 50% لـ NBT.



الشكل رقم (3): المنحنى المعياري لأنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز.

3-5-7. 2. نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز APX Activity (mmol. min^{-1}. mg^{-1} protein):

قُدِّر نشاط أنزيم APX (Murshed et al., 2014) من خلال تقدير أكسدة الأسكوربات بقياس الانخفاض في الامتصاصية مدّة 3 دقائق عند طول موجة ضوئية 290 nm لمحلول التفاعل (1 ml) الحاوي على محلول فوسفات البوتاسيوم بتركيز 50 mmol وpH 7 و0.25 mmol من ASA و5 mmol H_2O_2 و100µL من المستخلص الأنزيمي، وقِيس النشاط الأنزيمي عن طريق تتبع أكسدة الأسكوربات على طول موجة 290 nm مدّة 3 دقائق. وحُسب نشاط APX باستخدام معامل التحلل 2.8 mmol.cm^{-1}، وعُرفت الوحدة الواحدة من نشاط APX على أنّها كمية الأنزيم المطلوبة لاستهلاك 1 mmol في الدقيقة من حمض الأسكوربيك، وحسب نشاط الأنزيم من المعادلة الآتية:

$$(6)\quad \text{APX activity (mmol. min}^{-1}\text{. mg}^{-1}\text{ protein)} = \left(\frac{\Delta Abs \times Vt}{\Delta T \times \varepsilon \times I \times Vs}\right) / P$$

ΔAbs : التناقص بالامتصاصية خلال الزمن.

Δ T : التغير في الزمن (min).

Vt: حجم محلول التفاعل (ml).

Vs: حجم المستخلص الأنزيمي المضاف (ml).

Ɛ: معامل التحلل لحمض الأسكوربيك (2.8 mmol.cm^{-1}).

I: قطر cuvette المستخدم (1 cm).

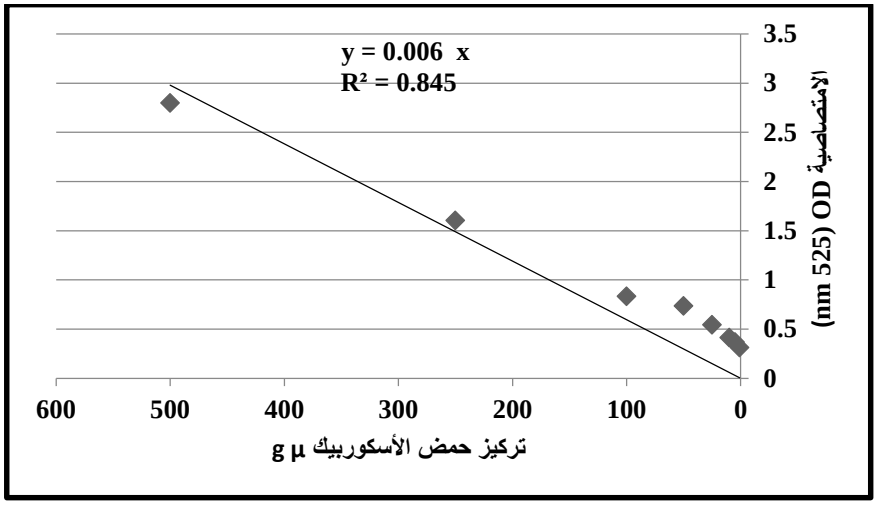
P: تركيز البروتين في العينة (mg).

3-5-7. 3. نشاط أنزيم الكاتالاز CAT Activity (mmol. min^{-1}.mg^{-1} protein):

قُدِّر نشاط أنزيم CAT حسب طريقة (Noctor et al., 2016) من خلال تقدير تناقص تركيز H_2O_2 بقياس الانخفاض في الامتصاصية مدّة 3 دقائق عند طول موجة ضوئية 240 nm لمحلول التفاعل الحاوي على محلول فوسفات البوتاسيوم بتركيز 100µL و EDTA بتركيز 1 mmol (7.5 pH) و 20 µL H_2O_2 و100 µL من المستخلص الأنزيمي، وحُسب نشاط CAT باستخدام معامل التحلل 40 $mol^{-1}.cm^{-1}$.

3-5-8. تركيز مضادات الأكسدة غير الأنزيمية Non Enzyme Antioxidant Concentration:

3-5-8. 1. تركيز حمض الأسكوربيك (ASA، فيتامين C)(µg. g^{-1} plant material) : قُدِّر تركيز فيتامين C بحسب طريقة (De Pinto et al., 1999)، حيث أخذ 0.5 غ من مسحوق العينات المجمدة لكل صنف ومعاملة، ومكرر، وجرت مجانسته في 1 ml من محلول الاستخلاص TCA تركيز 6% (w/v)، ووضع المحلول في جهاز الطرد المركزي مدّة 15 دقيقة وبسرعة 11000 دورة/د وعلى درجة حرارة 4 م°، ثمَّ أخذ 100µL من الرشاحة الناتجة وأضيف إليها 400 µL من محلول منظم فوسفاتي 0.2mM و7.4 pH. بعد ذلك حضن المزيج السابق على درجة حرارة الغرفة مدة 15 دقيقة. ثمَّ أُضيف لكل عينة 1.5 ml من المزيج الملون (5 ml من TCA 10% + 4 ml من حمض الأورثو فوسفوريك H_3PO_4 42% + 4 ml من Dipyridyl α-α 4% + 2 ml من كلوريد الحديد $FeCl_3$ 3%)، ثمَّ حُرك المزيج جيداً وحُضّن على درجة حرارة 42 م° مدّة 40 دقيقة، ثمّ قيست الامتصاصية على طول موجة 525nm. وحُسِبَ تركيز حمض الأسكوربيك في العينة، باستخدام منحنى معياري رسم باستخدام تراكيز معلومة من محلول ASA التجاري (SCP, 14530/1d) (الشكل، 4).



الشكل رقم (4): المنحنى المعياري لحمض الأسكوربيك.

3-6- تصميم التجربة والتحليل الإحصائي Experimental design and statistical analysis:

نُفذت التجارب المخبرية ضمن الأصص الزراعية وفق التصميم العشوائي الكامل Complete Randomized Design (CRD) العاملية، بمعدّل ثلاثة مكررات لكل معاملة وطبيعة إجهاد وطراز وراثي. وحُسِبت قيمة أقل فرق معنوي (LSD) عند مستوى معنوية 0.01، ومعامل الاختلاف (%CV) بين المتغيرات المدروسة والتفاعلات المتبادلة لكل صفة من الصفات المدروسة باستخدام برنامج التحليل الإحصائي Mstat-C.

الإجهاد الملحي															
رش بحمض الأبسيسيك				رش بالماء المقطر				رش بخليط من الحمضين				رش بحمض الصفصاف			
دوما 2	دوما 1	دوما 3	دوما 4	دوما 2	دوما 4	دوما 3	دوما 1	دوما 2	دوما 3	دوما 1	دوما 4	دوما 3	دوما 2	دوما 4	دوما 1
دوما 3	دوما 2	دوما 1	دوما 4	دوما 3	دوما 1	دوما 4	دوما 2	دوما 4	دوما 1	دوما 2	دوما 3	دوما 4	دوما 1	دوما 2	دوما 3
دوما 4	دوما 3	دوما 2	دوما 1	دوما 1	دوما 3	دوما 2	دوما 4	دوما 2	دوما 3	دوما 4	دوما 1	دوما 2	دوما 3	دوما 1	دوما 4
الشاهد المروي															
رش بحمض الصفصاف				رش بحمض الأبسيسيك				رش بالماء المقطر				رش بخليط من الحمضين			
دوما 1	دوما 3	دوما 2	دوما 4	دوما 3	دوما 2	دوما 1	دوما 4	دوما 2	دوما 1	دوما 3	دوما 4	دوما 1	دوما 4	دوما 3	دوما 2
دوما 4	دوما 2	دوما 1	دوما 3	دوما 2	دوما 4	دوما 3	دوما 1	دوما 3	دوما 4	دوما 1	دوما 2	دوما 3	دوما 1	دوما 2	دوما 4
دوما 3	دوما 1	دوما 4	دوما 2	دوما 1	دوما 3	دوما 4	دوما 2	دوما 1	دوما 4	دوما 2	دوما 3	دوما 2	دوما 3	دوما 4	دوما 1
الإجهاد الحلولي															
رش بالماء المقطر				رش بحمض الصفصاف				رش بخليط من الحمضين				رش بحمض الأبسيسيك			
دوما 1	دوما 2	دوما 3	دوما 4	دوما 1	دوما 2	دوما 4	دوما 3	دوما 4	دوما 3	دوما 1	دوما 2	دوما 3	دوما 2	دوما 4	دوما 1
دوما 2	دوما 3	دوما 1	دوما 4	دوما 2	دوما 3	دوما 1	دوما 4	دوما 2	دوما 1	دوما 4	دوما 3	دوما 1	دوما 4	دوما 3	دوما 2
دوما 3	دوما 4	دوما 2	دوما 1	دوما 4	دوما 1	دوما 2	دوما 3	دوما 1	دوما 3	دوما 2	دوما 4	دوما 3	دوما 2	دوما 1	دوما 4

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة Results and discussion

4-1- محتوى الماء النّسبي في الأوراق (%): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq0.01$) في صفة محتوى الماء النّسبي في الأوراق بين الأصناف المدروسة ومعاملات الإجهاد (الشَّاهد، الإجهاد الحلولي، والإجهاد الملحي)، ومعاملات الرَّش [(حمض الصّفصاف، حمض الأبسيسيك، خليط منهما، بالإضافة إلى الشَّاهد (الرَّش بالماء المقطر)]، والتفاعلات المتبادلة بينها. يُلحظ أنَّ محتوى الماء النّسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً لدى الأصناف دوما1 (أكساد1105)، ودوما2 (أكساد885)، ودوما3 (أكساد1229) وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (83.09، 82.86، 82.67 % على التوالي)، في حين كان متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق الأدنى معنوياً لدى صنف القمح الطري دوما4 (أكساد901) (78.64%). ويُلحظ أنَّ متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً لدى القمح القاسي (متوسط الصنفين) (82.88%)، بالمقارنةِ مع القمح الطري (متوسط الصنفين) (80.75%) (الجدول، 3). ويُعزى التباين في محتوى الماء النسبي في الأوراق إلى حدٍ ما بين الأصناف إلى التباين في معدّل تصنيع الذائبات العضوية التوافقية (البرولين، والسكريات الذوّابة بالكحول)، التي تؤدي إلى خفض الجهد المائي داخل الخلايا النباتية (الجذور والأجزاء الهوائية)، ما يزيد من فرق التدرج في الجهد المائي بين التربة والنبات، فيزداد معدّل امتصاص المياه من جذور النباتات، لأنّ فرق التدرج في الجهد المائي هو القوة المحركة لانتقال المياه من الوسط ذي الجهد المائي المرتفع (الأقل سلباً) إلى الوسط ذي الجهد المائي المنخفض (الأكثر سلباً)، ما يمكّن النباتات من امتصاص كمية من المياه كافية إلى حدٍّ ما لتعويض المياه المفقودة بالنتح والمحافظة على قيمٍ مرتفعة نسبياً من جهد الامتلاء، أو محتوى الماء النسبي في الأوراق. ويُلحظ أنَّ متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الشَّاهد (بدون إجهاد) (85.99 %)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الإجهاد الحلولي (81.57%)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الإجهاد الملحي (77.88%). ويُعزى ذلك إلى إتاحة كميةٍ أكبر من المياه في وسط النمو الخالي من الذائبات العضوية والمعدنية، التي تعمل على مسك جزيئات الماء مقللةّ من عدد جزيئات الماء الحرّة والقابلة للامتصاص، فتكون كمية المياه

الممتصة أكبر، ما يؤدي إلى وصول كميةٍ أكبر من جزيئات الماء إلى الأوراق، فتزداد قيمة جهد الامتلاء، ومحتوى الماء النسبي في الأوراق. ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الرَّش، أنَّ متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً عند معاملة رش أوراق النباتات من الأصناف المختلفة بمحلول حمض الأبسيسيك (ABA) (0.5 mM) (86.12%)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بمحلول حمض الصّفصاف (1 mM) (81.80%)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشَّاهد (الرَّش بالماء المقطر فقط)، ومعاملة الرَّش بخليطٍ من حمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (79.39، 79.94% على التوالي) (الجدول، 3). تؤدي عملية رش الأوراق بحمض الأبسيسيك إلى تقليل الناقلية المسامية، ما يُقلل من معدّل فقد المياه بالنتح، ويُسهم أيضاً حمض الأبسيسيك في زيادة معدّل استطالة الجذور، وعدد الشعيرات الجذرية الفعّالة في امتصاص المياه، ويؤدي بالمقابل إلى تقليص معدّل نمو الأوراق، فنزداد كمية المياه الممتصة من ناحية وتقل كمية المياه المفقودة بالنتح من ناحيةٍ أخرى، ما يؤدي إلى ازدياد محتوى الماء النسبي في الأوراق، في حين أنّه في معاملة الشاهد يكون عادةً معدّل فقد المياه بالنتح أكبر، بسبب الانفتاح الكلي للمسامات، ما يؤدي إلى تراجع محتوى الماء النسبي في الأوراق. ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف المدروسة ومعاملات الإجهاد، أنَّ متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً لدى صنفي القمح دوما1 ودوما3 عند معاملة الشَّاهد وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (88.42، 87.42% على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى صنفي القمح دوما4 ودوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (75.09، 77.29% على التوالي) (الجدول، 3). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف المدروسة ومعاملات الرَّش الورقي، يُلحظ أنَّ متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً لدى الأصناف دوما1 ودوما2 ودوما3 عند معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (87.98، 87.78، 86.22 % على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى صنف القمح الطري دوما4 عند كلٍّ من معاملة الرَّش بالماء المقطر، ومعاملة الرَّش بخليط من حمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (75.66، 76.72 %على التوالي). ويمكن أن تُعزى الزيادة في محتوى الماء النّسبي نتيجة الرَّش بحمض الصّفصاف إلى زيادة تصنيع البرولين ودوره في آلية التعديل الحلولي، وأما

الزيادة الطفيفة في محتوى الماء النّسبي عند معاملتي الرَّش بحمض الصّفصاف والرَّش بخليط من الحمضين يمكن أن تُعزى إلى دور حمض الصّفصاف في تعزيز الناقلية المسامية المتزامن مع زيادة معدّل التمثيل الضوئي Photosynthetic rate (Shemi et al., 2021)، ما يؤدي إلى زيادة كفاءة استعمال المياه (WUE) تحت ظروف الإجهاد، ويعود ذلك إلى زيادة تركيز شوارد الكالسيوم Ca^{2+} في الخلايا النباتية (Ahmad et al., 2018a). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الورقي، أنَّ متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً لدى معاملتي الشَّاهد والإجهاد الحلولي عند الرَّش بحمض الأبسيسيك، ومعاملتي الشَّاهد عند الرَّش بكلٍّ من حمض الصّفصاف والماء المقطر وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (87.61، 86.73، 86.26، 85.76 % على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي عند الرَّش بالماء المقطر، والرَّش بخليط من الحمضين الأبسيسيك والصفصاف وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (74.12، 76.15% على التوالي) (الجدول، 3). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف المدروسة ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الورقي، فقد كان متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق الأعلى معنوياً لدى صنف القمح القاسي دوما1 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بحمض الأبسيسيك (ABA)، ولدى صنف القمح القاسي دوما1 عند معاملة الإجهاد الحلولي والرَّش بحمض الأبسيسيك (ABA)، والصنف دوما1 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بالماء المقطر، والصنف دوما3 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بحمض الأبسيسيك (ABA)، وصنف القمح الطري دوما2 عند معاملة الإجهاد الحلولي والرَّش بحمض الأبسيسيك (ABA)، وصنف القمح القاسي دوما3 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بحمض الصّفصاف (SA)، وصنف القمح القاسي دوما3 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بالماء المقطر، والصنف دوما2 عند الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الأبسيسيك (ABA)، والصنف دوما1 عند الشَّاهد والرَّش بخليط من الحمضين، والصنف دوما2 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بحمض الأبسيسيك (ABA)، والصنف دوما1 عند الشَّاهد والرَّش بحمض الصفصاف (SA)، والصنف دوما3 عند الإجهاد الحلولي والرَّش بحمض الأبسيسيك (ABA)، وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (90.30، 89.33، 88.67، 88.23، 88.19، 88.00، 87.70، 87.66، 87.55، 87.50، 87.17، 86.78 % على التوالي)، في حين كان متوسط محتوى الماء النّسبي في

الأوراق الأدنى معنوياً لدى صنفي القمح دوما4، ودوما1 تحت ظروف الإجهاد الملحي والرَّش بالماء المقطر، والصنفين دوما1 ودوما4 تحت ظروف الإجهاد الملحي والرَّش بخليط من الحمضين، وصنف القمح الطري دوما4 تحت ظروف الإجهاد الحلولي والرَّش بالماء المقطر، وصنف القمح الطري دوما4 تحت ظروف الإجهاد الملحي والرَّش بحمض SA وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (71.18، 73.36، 74.00، 74.02، 74.50، 74.69 % على التوالي) (الجدول، 3). يُعد حمض الأبسيسيك (ABA) بمنزلة إشارة كيميائية ترسلها الجذور إلى الأوراق لتحث المسامات على الانغلاق كلياً أو جزيئاً تحت ظروف الإجهاد المائي، تبعاً لشدّة الإجهاد المائي ومدّته، وعندما يُضاف حمض الأبسيسيك إلى النباتات فإنّه يُحسن من علاقاتها المائية من خلال حث المسامات على الانغلاق الجزئي، ما يُقلل من معدّل فقد المياه بالنتح مع المحافظة على استمرار عملية التبادل الغازي وانتثار غاز ثاني أكسيد الكربون اللازم لاستمرار عملية التمثيل الضوئي، ويؤدي حمض الأبسيسيك أيضاً إلى تحفيز نمو المجموع الجذري وتثبيط نمو المجموع الخضري تحت ظروف الجفاف، ما يزيد من قدرة الجذور على امتصاص الماء من طبقات التربة العميقة، وبالمقابل تقل كمية الماء المفقودة بالنتح نتيجة تناقص حجم المجموع الخضري (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016). عموماً، تُعد المحافظة على قيمٍ مرتفعة من محتوى الماء النّسبي في الأوراق من أهم الصفات الفيزيولوجية المحددة لسلامة الأغشية السيتوبلاسمية واستقرارها في البيئات المجهدة، ويُعد محتوى الماء النّسبي في الأوراق من المؤشرات التي تعكس حالة النباتات المائية (Sinclair and Ludlow, 1985)، حيث يُساعد في إعطاء فكرة غير مباشرة عن حجم المجموع الجذري أو المقدرة على التعديل الحلولي Osmotic adjustment، وتُساعد هاتان الآليتان في استخلاص كمية أكبر من المياه من التربة وامتصاصها لتعويض المياه المفقودة بالنتح، ما يساعد في المحافظة على ميزان العلاقات المائية (Reynolds et al., 2000). توافق هذه النتائج (Parveen et al., 2021b; Fardus et al., 2017; Agarwal et al., 2005a). ووافقت هذه النتائج أيضاً ما توصل إليه التومي في محصول القمح (2012)، وما توصلت إليه التمو (2007؛ 2013)، والادلبي (2021) في محصول الشعير.

الجدول رقم (3): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في محتوى الماء النّسبي (%) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)														معاملات الرَّش (C)				
	الشّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)			
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	متوسط الأصناف (A)
دوما1	88.67 a-c	87.17 a-f	90.30 a	87.55 a-e	**88.42 a**	80.71 k-q	83.14 f-n	89.33 ab	81.05 j-q	**83.56 cd**	73.36 uv	77.52 p-u	84.30 d-l	74.00 t-v	**77.29 gh**	**80.91 bc**	**82.61 b**	**87.98 a**	**80.87 bc**	**83.09 A**
دوما2	85.35 b-i	84.86 c-k	87.50 a-e	83.62 e-m	**85.33 bc**	79.92 m-r	82.89 g-o	88.19 a-d	80.83 k-q	**82.96 c-e**	76.10 r-u	79.75 m-s	87.66 a-e	77.65 P-t	**80.29 ef**	**80.46 bc**	**82.50 b**	**87.78 a**	**80.70 bc**	**82.86 A**
دوما3	87.70 a-e	88.00 a-d	88.23 a-d	85.75 b-h	**87.42 ab**	78.06 p-t	82.36 h-o	86.78 a-g	79.77 m-s	**81.74 de**	75.85 r-u	76.93 q-u	83.65 e-m	78.94 o-s	**78.84 fg**	**80.54 bc**	**82.43 b**	**86.22 a**	**81.49 bc**	**82.67 A**
دوما4	81.31 i-p	85.00 c-j	84.41 d-l	80.46 l-q	**82.79 c-e**	74.50 t-v	79.32 n-s	82.63 g-o	75.69 s-u	**78.04 fg**	71.18 v	74.69 t-v	80.48 l-q	74.02 t-v	**75.09 h**	**75.66 d**	**79.67 c**	**82.51 b**	**76.72 d**	**78.64 B**
المتوسط (B×C)	**85.76 a-c**	**86.26 ab**	**87.61 a**	**84.35 bc**		**78.30 ef**	**81.93 d**	**86.73 a**	**79.33 e**		**74.12 h**	**77.22 fg**	**84.02 c**	**76.15 gh**		**المتوسط (C)**				
المتوسط (B)	**85.99 A**					**81.57 B**					**77.88 C**					**79.39 C**	**81.80 B**	**86.12 A**	**79.94 C**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	1.634	1.415	2.830	1.203	2.406	2.084	4.167
CV (%)	%2.36						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمّام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

4-2- دليل سلامة الأغشية السيتوبلاسمية (نسبة تسرب الذّائبات) (%): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq 0.01$) في صفة نسبة تسرب الذّائبات في الأغشية السيتوبلاسمية بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش، والتفاعلات المتبادلة بينها. ويُلحظ أنَّ متوسط نسبة تسرب الذّائبات كان الأعلى معنوياً لدى صنف القمح الطري دوما2 (53.98 %)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ صنف القمح الطري دوما4 (51.81 %)، ثمّ وبفروقاتٍ معنويةٍ صنف القمح القاسي دوما3 (37.75 %)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى صنف القمح القاسي دوما1 (30.03 %) (الجدول، 4). ويُلحظ أنَّ متوسط نسبة تسرب الذّائبات كان الأعلى معنوياً لدى القمح الطري (52.89 %) بالمقارنةِ مع القمح القاسي (33.89 %)، ما يُشير إلى أنّ أصناف القمح القاسي المدروسة أكثر كفاءةً في المحافظة على استقرار الأغشية السيتوبلاسمية وثباتيتها في البيئات المجهدة. يُعزى التباين في نسبة الذائبات المتسربة في الأغشية السيتوبلاسمية بين الأصناف المدروسة بشكلٍ رئيس إلى التباين في محتوى الماء النسبي في الأوراق، حيث كان متوسط محتوى الماء النسبي في الأوراق الأعلى معنوياً لدى صنف القمح القاسي دوما1 (أكساد$_{1105}$)، ودوما2 (أكساد$_{885}$)، ودوما3 (أكساد$_{1229}$) وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (83.09، 82.86، 82.67 % على التوالي)، في حين كان متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق الأدنى معنوياً لدى صنف القمح الطري دوما4 (أكساد$_{901}$) (78.64%) (الجدول، 3)، أو إلى التباين في المقدرة على التعديل الحلولي، حيث تساعد الذائبات العضوية في حماية الأغشية السيتوبلاسمية من التخرب، فتضمن سلامة الخلية النباتية وبقائها على قيد الحياة خلال فترة الإجهاد (Choudhary et al., 2023). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الإجهاد أنَّ متوسط نسبة تسرب الذّائبات كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي (55.51 %)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الإجهاد الحلولي (43.14 %)، في حين كان متوسط نسبة تسرب الذّائبات في الأغشية السيتوبلاسمية الأدنى معنوياً لدى معاملة الشَّاهد (31.54 %) (الجدول، 4)، ما يُشير إلى أهمية توافر المياه بكمياتٍ كافية للمحافظة على استقرار الأغشية السيتوبلاسمية وثباتيتها، حيث يؤدي الجفاف إلى أكسدة المواد الدهنية المفسفرة Lipid peroxidation الداخلة في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية وتخريبها بفعل جذور الأوكسيجين الحرة (ROS) المتشكلة (Smirnoff, 1993)، ومن ثمَّ تكوين غشاء سيتوبلاسمي غني بالفجوات

Porous membrane، وتفقد الأغشية السيتوبلاسمية خاصيتها الاصطفائية Selectivity، ويؤدي ذلك إلى خروج كثير من الذائبات المعدنية والعضوية (K^+، أحماض عضوية، أحماض أمينية، أحماض نووية فيتامينات ....الخ) المفيدة لحياة الخلية النباتية، ويمكن بالمقابل أن تدخل بعض المواد السامة، ما يؤدي إلى موت الخلية النباتية. ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الرَّش أنَّ متوسط نسبة تسرب الذّائبات كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الرَّش بالماء المقطر (51.45 %)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (ABA) (41.68 %)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معالمة الرّش بخليط من الحمضين الأبسيسيك والصفصاف (48.43 %)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (39.62 %) (الجدول، 4). تُشير النتائج إلى أهمية المحافظة على محتوى الخلايا النباتية المائي، لضمان استقرار Stability الأغشية السيتوبلاسمية وسلامتها، وترتبط حياة الخلية النباتية بكفاءة الصنف في المحافظة على سلامة الأغشية السيتوبلاسمية ضمن ظروف الإجهادين الحلولي والملحي. ويؤدي الإجهاد الحلولي والملحي (تراجع محتوى الماء النسبي في الأوراق) إلى تخريب الأغشية السيتوبلاسمية بشكلٍ غير مباشر من خلال تقليل معدّل التمثيل الضوئي، أو معدّل تثبيت الكربون خلال تفاعلات الظلام في حلقة إرجاع الكربون الثلاثية (C_3PCR)، ما يؤدي إلى تراجع معدّل استهلاك المركبات الغنية بالطاقة المُصنَّعة (ATP، NADPH)، الأمر الذي يؤدي إلى تعطيل إعادة توليد المستقبل النهائي للإلكترونات، المركب $NADP^+$ الذي يُعد بمنزلة المستقبل النهائي للإلكترونات في سلسلة انتقال الإلكترونات Electron Transport Chain (ETC) خلال تفاعلات الضوء، عندئذٍ يعمد الأوكسجين الجزيئي إلى تلقف هذه الإلكترونات ويتفاعل معها ليشكل جذر السوبر أوكسيد الحر ($O_2^{\cdot -}$)، الذي ما إن يتفاعل مع جذر الماء الأوكسجيني (H_2O_2) ليشكّل جذر الماءات الحر ($OH^{\cdot -}$)، الذي يُعد ذا مقدرة تفاعلية عالية جداً، حيث يُهاجم المواد الدهنية المُفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية ويعمل على تخريبها (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط نسبة تسرب الذّائبات كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الملحي (68.03 %)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الشَّاهد (21.22%) (الجدول، 4). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش، أنَّ متوسط نسبة تسرب

الذّائبات كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الرَّش بالماء المقطر (62.77 %)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الرَّش بخليط من الحمضين (26.32 %). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط نسبة تسرب الذّائبات كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي عند الرَّش بالماء المقطر (68.03%)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الشَّاهد عند كلٍّ من معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (ABA) ومعاملة الرَّش بحمض الصّفصاف بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (30.00، 30.09 % على التوالي) (الجدول، 4). ويعود ذلك إلى زيادة تركيز البرولين وكذلك زيادة نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية وغير الأنزيمية التي تعمل على كنس الجذور الحرّة المتولدة تحت ظروف الإجهادات اللاأحيائية وحماية أغشية الخلايا من تأثيرها التخريبي. ويعمل حمض الصّفصاف على التقليل من تركيز شوارد الصوديوم Na^{+} والكلور Cl^{-} الضّارة في سيتوبلازم الخلية وزيادة تركيز شوارد الكالسيوم Ca^{+2} ومن ثمَّ حماية الخلايا من التأثير الضار لهذه الشوارد تحت ظروف الإجهاد الملحي (Jayakannan et al., 2013).

أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش فقد كان متوسط نسبة تسرب الذّائبات الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بالماء المقطر فقط (79.80 %)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند الشَّاهد وكلٍّ من معاملة الرَّش بخليط من الحمضين، ومعاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك، ومعاملة الرَّش بحمض الصّفصاف بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (19.35، 20.25، 21.04 % على التوالي) (الجدول، 4). توافق هذه النتائج ما توصل إليه (Parveen et al., 2021b)، ونتائج (Agarwal et al., 2005a)،(Alsahli et al., 2019) في محصول القمح.

الجدول رقم (4): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في نسبة تسرب الذائبات (%) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)										معاملات الرَّش (C)				
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	متوسط الأصناف (A)
دوما1	24.24 y	21.04 z	20.25 z	19.35 z	**21.22 k**	39.81 n	23.93 y	32.26 t	23.16 y	**29.79 i**	52.68 i	36.98 p-s	30.23 uv	36.45 q-s	**39.08 f**	**38.91 h**	**27.32 l**	**27.58 l**	**26.32 m**	**30.03 D**
دوما2	46.08 l	36.38 rs	38.27 n-p	38.11 n-q	**39.71 f**	62.44 ef	47.88 k	55.45 h	51.05 ij	**54.21 c**	79.80 a	59.80 g	69.76 c	62.76 e	**68.03 a**	**62.77 a**	**48.02 f**	**54.49 c**	**50.64 e**	**53.98 A**
دوما3	31.62 tu	27.46 wx	24.27 y	28.95 vw	**28.08 j**	46.07 l	33.17 t	26.26 x	37.78 o-r	**35.82 h**	62.33 ef	42.05 m	46.10 L	46.99 kl	**49.37 e**	**46.67 g**	**34.23 j**	**32.21 k**	**37.91 i**	**37.75 C**
دوما4	38.87 no	35.48 s	37.20 o-r	37.08 p-s	**37.16 g**	56.17 h	50.40 j	52.25 i	52.13 i	**52.74 d**	77.31 b	60.90 fg	67.86 d	56.09 h	**65.54 B**	**57.45 b**	**48.93 f**	**52.44 d**	**48.43 f**	**51.81 B**
المتوسط (B×C)	**35.20 g**	**30.09 hi**	**30.00 i**	**30.87 h**		**51.12 c**	**38.85 f**	**41.56 e**	**41.03 e**		**68.03 a**	**49.93 d**	**53.49 b**	**50.57 cd**		**المتوسط (C)**				
المتوسط (B)	**31.54 C**					**43.14 B**					**55.51 A**					**51.45 A**	**39.62 D**	**41.68 B**	**40.83 C**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	0.514	0.445	0.891	0.491	0.983	0.851	1.704
CV (%)	1.82						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

3-4- محتوى الأوراق من البرولين (مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq0.01$) في صفة تركيز البرولين بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش والتفاعلات المتبادلة بينها. يُلحظ أنَّ متوسط تركيز البرولين كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 (23.97 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنفان دوما3 ودوما4 بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (20.80، 20.63 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 (18.71 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز البرولين كان الأعلى معنوياً لدى القمح القاسي (22.38 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) بالمقارنةِ مع القمح الطري (19.67 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) (الجدول، 5). عموماً، يُعزى بشكلٍ عام التباين في تركيز البرولين في الأوراق إلى التباين في محتوى الماء النسبي في الأوراق، حيث كان الأعلى معنوياً في الأصناف التي حافظت على محتوىً مرتفع من الماء النسبي في الأوراق، مثل الصنف دوما1 (أكساد1105) (83.09 %)، والصنف دوما3 (أكساد1229) (82.67 %)، حيث تسمح المحافظة على قيمٍ مرتفعة من الجهد المائي في الأوراق (محتوى الماء النسبي) في استمرار انفتاح المسامات، والمحافظة على ناقليةٍ مساميةٍ أكبر، ما يسمح في انتثار كميةٍ أكبر من غاز الفحم، ومن ثمّ تصنيع كميةٍ أكبر من المادة الجافة، التي تُعد بمنزلة المادة الأولية لتصنيع المركبات العضوية الأخرى كلها، بما في ذلك البرولين. وما يؤكد ذلك أيضاً أنَّ متوسط محتوى الماء النّسبي في الأوراق كان الأعلى معنوياً لدى القمح القاسي (متوسط الصنفين) (82.88%)، بالمقارنةِ مع القمح الطري (متوسط الصنفين) (80.75%). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز البرولين كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد الملحي (25.80 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الإجهاد الحلولي (22.90 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشَّاهد (14.39 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). أمَّا بالنسبة إلى معاملات الرَّش فقد كان متوسط تركيز البرولين الأعلى معنوياً عند معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (24.65 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بخليط من الحمضين (21.44 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معالمة الرّش بحمض الصفصاف (20.88 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الرَّش بالماء المقطر (17.15 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). أدَّت

معاملات الرَّش بكل من حمض الصّفصاف، وحمض الأبسيسيك، وبخليط من الحمضين إلى زيادة معنوية في تركيز البرولين لدى الصنف دوما1 بنسبة (4.35%، 30.27%، 4.58% على التوالي)، ولدى الصنف دوما2 بنسبة (36.73%، 51.23%، 38.84% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 بنسبة (28.69%، 48.76%، 24.11% على التوالي)، ولدى الصنف دوما4 بنسبة (24.82%، 49.96%، 41.33% على التوالي). ويعود ذلك إلى التأثير المعزز لكلا الحمضين في تراكم البرولين، حيث أشار (Misra and Saxena, 2009) إلى دور حمض الصّفصاف في زيادة تراكم البرولين حتى في حالة ظروف النمو الطبيعية، من خلال تنظيم كلٍّ من تصنيعه واستقلابه في النبات، في حين يُحفز حمض الأبسيسيك التعبير المورثي للمورثة (P5cs) المسؤولة عن أنزيم Δ-1-pyrroline-5-carboxylate synthetase الذي يتوسط التصنيع الحيوي للبرولين في القمح (Pál et al., 2018). عموماً، يُساعد تراكم البرولين في تحسين تحمل النباتات لإجهادي الجفاف والملوحة، حيث يعمل على خفض قيمة الجهد المائي داخل الخلايا النباتية (يصبح الجهد المائي أكثر سلباً) نتيجة شدّ جزيئات الماء، ما يزيد من فرق التدرج في الجهد المائي بين النبات والوسط المحيط، فيزداد معدّل امتصاص الماء من النبات، وتصبح كمية المياه الممتصة إلى حدٍ ما كافية لتعويض الماء المفقود بالنتح، والمحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية الضروري لاستمرار استطالتها، وضمان استمرار الانفتاح الجزئي للمسامات، وانتشار غاز الفحم اللازم لعملية التمثيل الضوئي وتصنيع المادة الجافة. إنَّ زيادة معدّل تصنيع البرولين تحدد وبشكل كبير كفاءة الطراز الوراثي في استعادة النمو، حيثُ يشكل البرولين مصدراً مهماً للطاقة والكربون، الذي يمكن أن تستخدمه الخلايا النباتية في استعادة نموها عند زوال العامل البيئي المحدد للنمو. وترتبط تبعاً لذلك القدرة على استعادة النمو طرداً مع كمية الذّائبات الحلولية Osmoprotectants المُصَّنعة خلال فترة الإجهادات اللاأحيائية المختلفة (AL-Ouda، 1999)، ويؤدي البرولين دوراً مهماً في التخفيف من التأثيرات الضّارة للجفاف وإجهاد الملوحة، فضلاً عن حماية الصّانعات الخضراء، الميتوكوندريا، والحموض النووية، والأغشية الخلوية من الضرر الناجم عن الإجهاد التأكسدي. ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز البرولين كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملتي الإجهاد الملحي والإجهاد الحلولي بدون فروقاتٍ معنويةٍ

بينهما (27.85، 27.35 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما3 عند معاملة الشَّاهد (12.21 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). سبّب كلٌّ من الإجهاد الحلولي والإجهاد الملحي ازدياداً معنوياً في تركيز البرولين في الأصناف المدروسة جميعها، وكانت نسبة الزيادة في الصنف دوما1 (72.92%، 90.36% على التوالي)، وفي الصنف دوما2 (70.25%، 102% على التوالي)، وفي الصنف دوما3 (86.03%، 140% على التوالي)، وفي الصنف دوما4 (56.97%، 124% على التوالي). يُفسَر تراكم البرولين Proline في النباتات المُجهدَة من خلال تحفيز تصنيعه الحيوي مع وقف عملية هدمه نتيجة انخفاض نشاط الأنزيمات المؤكسدة للبرولين (Amini and Ehsanpour, 2005). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش فقد كان متوسط تركيز البرولين الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (28.44 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الرَّش بالماء المقطر (14.20 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز البرولين كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الأبسيسيك (29.75 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشَّاهد والرَّش بالماء المقطر (10.47 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) (الجدول، 5). يُعد البرولين أحد مضادات الأكسدة القوية (Gill and Tuteja, 2010) لأنَّه يمتلك المقدرة على التفاعل مع المركبات الكيميائية الأخرى مثل الهرمونات النباتية، ومن ثمَّ يُسهم في تحسن تحمل النباتات للإجهاد (Per et al., 2017). يؤدي البرولين دور الكانس Scavenger لجذر الهيدروكسيل الحرّ، حيث اقتُرحت عملية دورة برولين– برولين Proline-proline cycle، وفيها يلتقط البرولين أول جذر هيدروكسيل $OH^{\bullet-}$ بوساطة تجريد H متبوعاً بتجريد H الثاني، والذي يلتقط أيضاً $OH^{\bullet-}$ آخر، ويؤدي ذلك فيما بعد إلى تشكيل 1-Pyrroline-5-carboxylic acid (P5C) الذي يُعاد تدويره بعد ذلك إلى البرولين باستخدام المركب الغني بالطاقة NADPH، ويمكن للبرولين أن يُفقِد جزيء الأوكسجين المفرد Singlet molecular oxygen فعّاليته عن طريق التبريد الفيزيائي (Signorelli et al., 2013, 2014 ; Mohanty and Matysik, 2001). وأفاد (Ejaz et al., 2020) أن البرولين الحر والبرولين متعدد الروابط الببتيدية Polypeptide-bound

proline يتفاعلان مع H_2O_2 و $OH^{\cdot}$ ويشكلان مركبات حرة مستقرة من الجذور الحرّة، من مشتقات البرولين وهيدروكسي البرولين (4–هيدروكسي البرولين و3–هيدروكسي البرولين). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز البرولين كان الأعلى معنوياً لدى الصنفين دوما3 ودوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الأبسيسيك بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (33.52، 32.29 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الأصناف دوما2 ودوما3 ودوما4 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بالماء المقطر بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (9.01، 9.45، 9.97 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي) (الجدول، 5). توافق هذه النتائج ما توصل إليه (Marcińska et al., 2013)، ونتائج (Alsahli et al., 2019) في محصول القمح.

الجدول رقم (5): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في محتوى الأوراق من البرولين (مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)										معاملات الرَّش (C)				
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	متوسط الأصناف (A)
دوما1	14.33 xy	15.90 s-u	21.15 mn	16.38 r-u	**16.72 g**	24.78 g-i	27.33 cd	31.89 b	25.38 e-h	**27.35 ab**	27.28 cd	25.11 f-i	32.29 ab	26.74 c-e	**27.85 a**	**21.83 de**	**22.78 c**	**28.44 a**	**22.83 c**	**23.97 A**
دوما2	9.01 z	14.20 v-y	16.51 r-t	14.90 u-x	**13.65 i**	15.34 s-v	19.18 op	21.80 lm	20.18 no	**19.13 f**	18.27 Pq	24.92 f-i	26.15 d-g	24.11 h-j	**23.36 d**	**14.21 j**	**19.43 h**	**21.49 ef**	**19.73 gh**	**18.71 C**
دوما3	9.45 z	13.53 w-y	13.11 y	12.75 y	**12.21 j**	17.58 p-r	26.47 c-f	27.40 cd	22.29 k-m	**23.43 d**	22.74 j-m	24.04 h-j	33.52 a	26.72 c-e	**26.76 b**	**16.59 i**	**21.35 ef**	**24.68 b**	**20.59 fg**	**20.80 B**
دوما4	9.97 z	15.13 t-w	17.94 p-r	16.80 q-s	**14.96 h**	15.65 s-v	21.14 m-n	26.95 c-e	23.10 j-l	**21.71 e**	22.34 k-m	23.62 i-k	27.06 cd	27.89 c	**25.23 c**	**15.99 i**	**19.96 gh**	**23.98 b**	**22.60 cd**	**20.63 B**
المتوسط (B×C)	**10.47 i**	**14.69 h**	**17.18 g**	**15.21 h**		**18.34 f**	**23.53 d**	**27.01 b**	**22.74 de**		**22.66 e**	**24.42 c**	**29.75 a**	**26.36 b**		**المتوسط (C)**				
المتوسط (B)	**14.39 C**					**22.90 B**					**25.80 A**					**17.15 D**	**20.88 C**	**24.65 A**	**21.44 B**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	0.429	0.371	0.743	0.463	0.926	0.802	1.605
CV (%)	3.53						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَّام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

4-4- تركيز الكلوروفيل (a) (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq0.01$) في صفة تركيز الكلوروفيل (a) في الأوراق بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش، والتفاعلات المتبادلة بينها. ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل (a) كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 (2.471 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنفان دوما3 ودوما4 وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (2.242، 2.224 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 (2.081 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل (a) كان الأعلى معنوياً لدى القمح القاسي (2.356 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، بالمقارنةِ مع القمح الطري (2.152 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل (a) كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الشَّاهد (2.469 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الإجهاد الحلولي (2.334 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي (1.961 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)(الجدول، 6). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل (a) كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (2.463 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ كلّاً من معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك ومعاملة الرَّش بخليط من الحمضين وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (2.233، 2.223 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الرَّش بالماء المقطر (2.100 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل (a) كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الشَّاهد (2.666 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الملحي (1.587 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش فقد كان متوسط تركيز الكلوروفيل (a) الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند الرَّش بحمض الصّفصاف (2.689 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الرَّش بالماء المقطر (1.885 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل (a) كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الشَّاهد عند الرَّش

بحمض الصّفصاف (2.734 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي عند الرَّش بالماء المقطر (1.770 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل (a) كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بحمض الصّفصاف (2.940 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد المحلي والرَّش بالماء المقطر (1.298 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). (الجدول، 6).

4-5- تركيز الكلوروفيل(b) (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq0.01$) في صفة تركيز الكلوروفيل(b) بين الأصناف ومعاملات الإجهاد الحلولي والملحي ومعاملات الرَّش والتفاعلات المتبادلة بينها. ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل(b) كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 (2.581 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، وتلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنفين دوما3 ودوما4 وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (2.054، 1.960 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 (1.497 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل(b) كان الأعلى معنوياً عند القمح القاسي (2.317 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) بالمقارنةِ مع القمح الطري (1.728 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) (الجدول، 7). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل(b) كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الحلولي (2.594 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الشَّاهد (1.802 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي (1.673 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). أمَّا بالنسبة إلى معاملات الرَّش كان متوسط تركيز الكلوروفيل(b) الأعلى معنوياً لدى كلٍّ من معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف، ومعاملة الرَّش بخليط من الحمضين، ومعاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (2.164، 2.090، 1.983 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الرَّش بالماء المقطر (1.855 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) (الجدول، 7). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل(b) كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند

معاملة الإجهاد الملحي (3.220 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الملحي (0.803 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). بيّنت النتائج تراجع تركيز الكلوروفيل (a) معنوياً تحت ظروف الإجهاد الحلولي لدى الصنف دوما1 بنسبة (20.44%)، في حين لم يكن التراجع في باقي الأصناف معنوياً، في حين أدّى الإجهاد الحلولي إلى ازدياد معنوي في تركيز الكلوروفيل (b) في الأصناف المدروسة جميعها دوما1 ودوما2 ودوما3 ودوما4 بنسبة (91.17%، 99.35%، 36.94%، 41.94% على التوالي)، في حين سبّب الإجهاد الملحي تراجعاً معنوياً في تركيز الكلوروفيل(a) في الأصناف المدروسة جميعها بنسبة (18.60%، 41.58%، 20.12%، 17.52% على التوالي). أما بالنسبة إلى الكلوروفيل (b)، لوحظ ازدياد معنوي لدى الصنف دوما1 تحت ظروف الإجهاد الملحي بنسبة 126%، في حين لوحظ انخفاضه معنوياً بنسبة (65%) تقريباً في باقي الأصناف. أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش كان متوسط تركيز الكلوروفيل (b) الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (2.872 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند كلٍّ من معاملة الرَّش بالماء المقطر (1.210 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). وأدَّت معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك وبخليط من الحمضين إلى زيادة معنويةً في تركيز الكلوروفيل (a) لدى الصنف دوما1 بنسبة (14.86%، 3.41%، 3.97% على التوالي)، ولدى الصنف دوما2 بنسبة (20.80%، 10.95%، 8.94% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 بنسبة (19.14%، 7.64%، 4.61% على التوالي)، ولدى الصنف دوما4 بنسبة (15.07%، 4.16%، 6.41% على التوالي). ولوحظ ازدياد معنوي في تركيز الكلوروفيل (b) عند معاملات الرَّش السابقة لدى الصنف دوما1 بنسبة (11.31%، 8.33%، 2.90% على التوالي)، ولدى الصنف دوما2 بنسبة (36.11%، 19.66%، 38.92% على التوالي)، لدى الصنف دوما3 بنسبة (26.06%، 22.99%، 18.55% على التوالي)، في حين لوحظ ازدياد معنوي لدى الصنف دوما4 عند معاملتي الرَّش بحمض الأبسيسيك والرَّش بخليط من الحمضين فقط وبنسبة (4.53%، 11.53% على التوالي). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل(b) كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الحلولي عند معاملة الرَّش بالماء المقطر

ومعاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (SA) وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (2.639، 2.635 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي عند الرَّش بالماء المقطر (1.290 مغ. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف وتفاعلات الإجهاد وتفاعلات الرَّش أنَّ متوسط تركيز الكلوروفيل(b) كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي وكلٍّ من الرَّش بحمض الصّفصاف (3.790 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بالماء المقطر (0.386 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). (الجدول، 7). عموماً يسبَّب الإجهاد الملحي تدهوراً في جزيئات الكلوروفيل في النباتات الحسّاسة للملوحة، ويعود سبب الانخفاض في محتوى النبات من الكلوروفيل تحت ظروف الإجهاد الملحي إلى انخفاض تركيب الكلوروفيل أو زيادة هدمه نتيجة زيادة نشاط الأنزيم المفكك لليخضور Chlorophyllase، ويشمل هذا التدهور بشكل أساسي الكلوروفيل (a)، وهذا ما يفسر انخفاض الكلوروفيل (a) بنسبة أكبر من الكلوروفيل (b) تحت ظروف الإجهاد الملحي (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016)، فضلاً عن توليد الجذور الأوكسجينية الحرّة (ROS) في أغشية الصّانعات الخضراء الداخلية Thylakoids تحت ظروف الجفاف نتيجة تراجع كفاءة الأجهزة التمثيلية وتراجع معدّل عملية التمثيل الضوئي، ما يؤدي إلى أكسدة الصّانعات الخضراء (Ahmad et al., 2018b). عموماً، تُعزى المحافظة على تراكيز مرتفعة من الكلوروفيل عند معاملات الرّش السابقة تحت ظروف الإجهاد إلى الدور الفعَّال لحمض الصّفصاف (SA) وحمض الأبسيسيك (ABA) في زيادة كفاءة النبات في امتصاص العناصر المغذية، وأيضاً تحسين بعض العمليات الفيزيولوجية والبيوكيميائية، وزيادة نشاط أنزيم Rubisco وتحسين كفاءة الأنظمة الضوئية، وتحفيز نشاط مضادات الأكسدة التي تعمل على كنس الجذور الحرّة وحماية الخلية ومكوناتها من التأكسد (Singh and Usha, 2003). توافق هذه النتائج ما توصل إليه (Parveen et al., 2021b; Agarwal et al., 2005a) في محصول القمح.

الجدول رقم (6): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز الكلوروفيل(a) (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)															معاملات الرَّش (C)				
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	متوسط الأصناف (A)
دوما1	2.725 b	2.940 a	2.476 e-h	2.524 d-f	**2.666 a**	2.168 q-s	2.599 cd	2.436 e-i	2.481 e-g	**2.421 c**	2.128 s	2.526 d-f	2.351 i-n	2.299 k-p	**2.326 ef**	**2.341 de**	**2.689 a**	**2.421 bc**	**2.434 bc**	**2.471 A**
دوما2	2.222 o-s	2.663 bc	2.282 l-q	2.381 g-m	**2.387 cd**	2.147 rs	2.397 g-l	2.316 j-o	2.216 o-s	**2.269 g**	1.298 y	1.787 vw	1.690 wx	1.575 x	**1.587 j**	**1.889 i**	**2.282 ef**	**2.096 h**	**2.058 h**	**2.081 C**
دوما3	2.251 n-r	2.780 b	2.461 e-i	2.359 h-n	**2.462 b**	2.187 p-s	2.483 d-g	2.281 l-q	2.428 f-j	**2.345 e**	1.798 vw	2.168 q-s	1.971 tu	1.739 vw	**1.919 i**	**2.079 h**	**2.477 b**	**2.238 Fg**	**2.175 g**	**2.242 B**
دوما4	2.248 n-r	2.554 c-e	2.288 l-p	2.345 i-n	**2.359 de**	2.168 q-s	2.390 g-l	2.244 n-s	2.410 f-k	**2.303 fg**	1.854 uv	2.272 m-q	1.998 t	1.917 tu	**2.010 h**	**2.090 h**	**2.405 cd**	**2.177 g**	**2.224 fg**	**2.224 B**
المتوسط (B×C)	**2.362 cd**	**2.734 a**	**2.377 cd**	**2.402 c**		**2.168 e**	**2.467 b**	**2.319 d**	**2.384 c**		**1.770 h**	**2.188 e**	**2.003 f**	**1.883 g**		**المتوسط (C)**				
المتوسط (B)	**2.469 A**					**2.334 B**					**1.961 C**					**2.100 C**	**2.463 A**	**2.233 B**	**2.223 B**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	0.0208	0.0180	0.0361	0.0341	0.0683	0.0591	0.1183
CV (%)	2.27						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَّام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

الجدول رقم (7): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز الكلّورفيل (b) (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)										معاملات الرَّش (C)				
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				متوسط الأصناف (A)
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	
دوما1	1.496 tu	1.993 no	1.659 rs	1.730 r	**1.720 f**	2.860 cd	2.833 cd	2.640 ef	2.876 cd	**2.802 b**	3.385 b	3.790 a	2.796 d	2.911 c	**3.220 a**	**2.580 b**	**2.872 a**	**2.365 d**	**2.505 c**	**2.581 A**
دوما2	1.084 w	1.457 u	1.325 v	1.679 rs	**1.386 h**	2.161 j-l	2.430 g	2.298 i	2.314 hi	**2.301 d**	0.386 y	1.054 w	0.722 x	1.051 w	**0.803 j**	**1.210 L**	**1.647 j**	**1.448 k**	**1.681 j**	**1.497 C**
دوما3	1.938 o-q	2.183 jk	1.953 op	2.125 k-m	**2.050 e**	2.654 e	2.877 cd	2.679 e	2.256 ij	**2.616 c**	0.679 x	1.586 st	1.851 q	1.868 Pq	**1.496 g**	**1.757 I**	**2.215 e**	**2.161 e**	**2.083 f**	**2.054 B**
دوما4	2.029 m-o	2.079 l-n	2.076 l-n	2.026 n-o	**2.052 e**	2.880 cd	2.400 gh	2.555 f	2.786 d	**2.655 c**	0.709 x	1.288 v	1.242 v	1.455 u	**1.175 i**	**1.873 H**	**1.922 gh**	**1.958 g**	**2.089 f**	**1.960 B**
المتوسط (B×C)	**1.637 f**	**1.928 c**	**1.753 e**	**1.890 c**		**2.639 a**	**2.635 a**	**2.543 b**	**2.558 b**		**1.290 g**	**1.929 c**	**1.653 f**	**1.821 d**		المتوسط (C)				
المتوسط (B)	**1.802 B**					**2.594 A**					**1.673 C**					**1.855 D**	**2.164 A**	**1.983 C**	**2.090 B**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	0.0294	0.0255	0.0510	0.0278	0.0557	0.0483	0.0966
CV (%)	2.28						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

4-6- تركيز الأصبغة الكاروتينية (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq0.01$) في صفة تركيز الأصبغة الكاروتينية بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش والتفاعلات المتبادلة بينها. ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز الأصبغة الكاروتينية كان الأعلى معنوياً لدى الصنفين دوما2 ودوما3 وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (0.748، 0.737 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف دوما4 (0.690 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 (0.559 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز الأصبغة الكاروتينية كان الأعلى معنوياً لدى القمح الطري (0.719 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) بالمقارنةِ مع القمح القاسي (0.648 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز الأصبغة الكاروتينية كان الأعلى معنوياً لدى معاملتي الإجهاد الملحي والشَّاهد بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (0.742، 0.739 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الحلولي (0.568 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). إن الانخفاض في الكاروتينات تحت ظروف الإجهاد الملحي يعود إلى هدم البيتا–كاروتين وتشكيل Zeaxanthins التي تشارك على ما يبدو في الحماية من التثبيط الضوئي (Sultana et al., 1999).

أمَّا بالنسبة إلى معاملات الرَّش، فيُلحظ أنَّ متوسط تركيز الأصبغة الكاروتينية كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (0.748 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملتا الرَّش بحمض الأبسيسيك والرَّش بالماء المقطر وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (0.685، 0.666 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الرَّش بخليط من الحمضين (0.634 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) (الجدول، 8). أدَّت معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك وبخليط من الحمضين إلى زيادة تركيز الكاروتينات معنوياً لدى الصنف دوما1 بنسبة (7.69%، 7.19%، 11.20% على التوالي)، وأدَّت المعاملة بحمض الصّفصاف إلى زيادة تركيز الكاروتينات معنوياً لدى الصنف دوما2 ودوما3 ودوما4 بنسبة (7.35%، 26.05%، 23.05% على التوالي)، في حين أدَّت المعاملة بخليط من الحمضين إلى انخفاض معنوي لدى

الصنف دوما2 بنسبة (9.49%)، وأدَّت المعاملة بحمض الأبسيسيك إلى زيادة معنوية في تركيز الكاروتينات لدى الصنف دوما4 بنسبة (13.19%). توافق هذه النتائج ما توصل إليه (Parveen et al., 2021b).

ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز الأصبغة الكاروتينية كان الأعلى معنوياً لدى الصنفين دوما4 ودوما3 عند معاملة الإجهاد الملحي، والصنف دوما2 عند معاملة الشَّاهد وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (0.876، 0.873، 0.840 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي (0.406 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق). سبّب الإجهاد الحلولي انخفاضاً في تركيز الكاروتينات في الأصناف المدروسة جميعها دوما1 ودوما2 ودوما3 ودوما4 بنسبة (46.14%، 39.51%، 27.07%، 27.86% على التوالي)، وسبّب الإجهاد الملحي انخفاضاً معنوياً في تركيز الكاروتينات لدى الصنفين دوما1 ودوما2 بنسبة (56.27%،24.13% على التوالي)، في حين سبّب ازدياداً غير معنوياً لدى الصنف دوما3 بنسبة (7.48%)، وازدياداً معنوياً لدى الصنف دوما4 بنسبة (20.12%). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش فقد كان متوسط تركيز الأصبغة الكاروتينية الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما3 عند معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (0.866 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند المعاملة بكلٍّ من الرَّش بخليط من الحمضين، والرَّش بحمض الصّفصاف، والرَّش بحمض الأبسيسيك بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (0.531، 0.552، 0.555 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي) (الجدول، 8). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز الأصبغة الكاروتينية كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي عند الرَّش بحمض الصّفصاف (0.856 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الحلولي عند الرَّش بالماء المقطر (0.516 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) (الجدول، 8). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش، أنَّ متوسط تركيز الأصبغة الكاروتينية كان الأعلى معنوياً لدى الصنفين دوما3 ودوما4 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الصّفصاف بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (1.035، 1.028 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي وكلٍ من الرَّش بالماء

المقطر، والرَّش بحمض الأبسيسيك، والرَّش بخليط من الحمضين، والرَّش بحمض الصّفصاف بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (0.397، 0.403، 0.406، 0.417 مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق على التوالي). (الجدول، 8). عموماً، ترتبط الأصبغة الكاروتينية مع جزيئات الكلوروفيل وبروتينات مركز التفاعل، تؤدي الكاروتينوئيدات دوراً أساسياً في تحسين تحمل النباتات لظروف الجفاف بوصفها أصبغة مرافقة، وصمام أمان حيوي، يُنظّم وصول كميةٍ من الأشعة الضوئية إلى الأصبغة اليخضورية بما يُناسب كفاءة عملية التركيب الضوئي، ومن ثمّ كفاءة استعمال الضوء Radiation use efficiency (RUE)، لأنّ سرعة انتقال الفوتونات الضوئية التي تمتصها أقل من كفاءة انتقالها بين جزيئات اليخضور (98 – 99%)، ما يمنحها الفرصة للتخلص من الأشعة الضوئية الزائدة، وتحول دون حدوث التثبيط الضوئي (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016). لذلك عادةً ما تتأثر الصفات المدروسة جميعها، ولاسيما عملية التركيب الضوئي وتصنيع المادة الجافة Dry matter عند المستويات المرتفعة من الإجهاد الحلولي في وسط النمو. وتوافق هذه النتائج ما توصل إليه (Farooq et al., 2009) حيث أشاروا إلى أنّ للكاروتينوئيدات (الأصبغة البرتقالية) دوراً إضافياً، فهي بالإضافة إلى كونها أصبغة مرافقة للأصبغة اليخضورية، فهي تنظم وصول الطاقة الضوئية إلى جزيئات اليخضور بما يُناسب كفاءة استعمال الضوء للحيلولة دون حدوث التثبيط الضوئي إذا ما تراجعت كفاءة استعمال الضوء في البيئات المجهدة. وتُعد الكاروتينات من مضادات الأكسدة غير الأنزيمية، ويعود ذلك في المقام الأول إلى مقدرة الهيكل المترابط المزدوج للكاروتينات على إلغاء تحديد موقع الإلكترونات غير، التي تُعد مسؤولة بشكلٍ أساسي عن الكفاءة المرتفعة للبيتا كاروتين لإخماد الأكسجين المفرد ($^1O_2$) دون أن تحلله، فضلاً عن التفاعل الكيميائي للبيتا كاروتين مع العديد من الجذور الحرّة أهمها جذر الهيدروكسيل الحر ($^{\bullet-}OH$)، وجذور السوبر أوكسيد الحر ($^{\bullet-}O_2$). ويمكن القول: إنّ التراكيز المرتفعة من الأصبغة الكاروتينية تعمل على حماية جهاز التمثيل الضوئي، والإسهام في استقرار معقدات حصد الطاقة وأغشية الصّانعات الخضراء في ظل ظروف الإجهاد التأكسدي (Ahmad et al., 2010; Khan and Khan, 2017) وهذا ما يُفسّر ارتفاع تركيزها في الأصناف الأكثر حساسيةً لظروف الإجهاد الحلولي والملحي، مثل الصنفين دوما2، ودوما3، بالمقارنة مع باقي الأصناف المدروسة (دوما1، ودوما4)، اللذين أظهرا –بناءً على

الصفات السابقة المدروسة– مستويات تحمل أفضل، أي إنها تحتاج إلى تركيز أقل من الأصبغة الكاروتينية، لأنّ كفاءتهما في استعمال الطاقة الضوئية المُحرّضة أكبر، ما يحول دون احتمال وجود كمية زائدة من الطاقة المحرضة، التي يمكن أن تُخرب مركز التفاعل في النظام الضوئي الثاني، الحسّاس بشكلٍ مفرط لوجود كميةٍ زائدة من الطاقة الضوئية المُحرّضة.

الجدول رقم (8): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز الأصبغة الكاروتينية (مغ. غ$^{-1}$ وزن رطب أوراق) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)										معاملات الرَّش (C)				متوسط الأصناف (A)
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	
دوما1	0.908 b-d	0.735 h-k	0.729 h-k	0.657 l-n	**0.757 c**	0.489 st	0.503 st	0.533 o-t	0.529 p-t	**0.513 f**	0.397 v	0.417 uv	0.403 uv	0.406 uv	**0.406 g**	**0.598 h**	**0.552 i**	**0.555 i**	**0.531 i**	**0.559 C**
دوما2	0.949 b	0.813 e-g	0.820 ef	0.780 f-i	**0.840 ab**	0.574 o-q	0.652 l-n	0.594 n-p	0.536 o-s	**0.589 e**	0.720 i-l	0.944 bc	0.879 c-e	0.714 i-m	**0.814 b**	**0.748 cd**	**0.803 b**	**0.764 bc**	**0.677 ef**	**0.748 A**
دوما3	0.735 h-k	0.732 h-k	0.652 l-n	0.572 o-r	**0.673 d**	0.536 o-s	0.830 ef	0.601 no	0.693 j-m	**0.665 d**	0.790 f-h	1.035 a	0.873 de	0.793 f-h	**0.873 a**	**0.687 e**	**0.866 a**	**0.708 de**	**0.686 e**	**0.737 A**
دوما4	0.646 mn	0.746 g-j	0.675 k-m	0.679 j-m	**0.686 d**	0.466 tu	0.548 o-s	0.507 q-t	0.505 r-t	**0.506 f**	0.776 f-i	1.028 a	0.954 b	0.747 g-j	**0.876 a**	**0.629 gh**	**0.774 bc**	**0.712 de**	**0.644 fg**	**0.690 B**
المتوسط (B×C)	**0.810 b**	**0.756 c**	**0.719 d**	**0.672 e**		**0.516 h**	**0.633 f**	**0.558 g**	**0.566 g**		**0.671 e**	**0.856 a**	**0.777 bc**	**0.665 ef**		**المتوسط (C)**				
المتوسط (B)	**0.739 A**					**0.568 B**					**0.742 A**					**0.666 B**	**0.748 A**	**0.685 B**	**0.634 C**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	0.0208	0.0180	0.0361	0.0197	0.0394	0.0341	0.0683
CV (%)	4.83						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

4-7- تركيز جذر الماء الأوكسجيني (ميكرومول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p \leq 0.01$) في صفة تركيز جذر الماء الأوكسجيني (H_2O_2) بين الأصناف المدروسة ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش، والتفاعلات المتبادلة بينها. يُلحظ أنَّ متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 (1025.40 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف دوما1 (723.60 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف دوما4 (430.63 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما3 (363.30 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني كان الأعلى معنوياً لدى القمح الطري (728.02 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، بالمقارنةِ مع القمح القاسي (543.45 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) (الجدول، 9).

يُلحظ أنَّ متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني كان الأعلى معنوياً لدى معاملتي الإجهاد الحلولي والشَّاهد وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (693.03، 686.17 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي (528.00 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الرَّش، أنَّ متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الرَّش بخليط من حمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك (681.82 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بالماء المقطر (654.68 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، وتلاه بفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (623.42 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني الأدنى معنوياً لدى معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (583.12 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). أدَّت معاملات الرَّش بحمض الصّفصاف وبحمض الأبسيسيك وبخليط من الحمضين تحت ظروف الشاهد إلى ازدياد تركيز H_2O_2 على الرغم من زيادة نشاط أنزيمي الكاتالاز والأسكوربيك بيروكسيداز، ويُلحظ أنّ هذه الزيادة مستقلة عن تثبيط أو تراجع نشاط هذين الأنزيمين، ويمكن أن تُفسّر بزيادة نشاط أنزيم NADPH Oxidase الذي يتوسط إضافة الإلكترون إلى الأوكسجين الجزيئي (O_2) وتشكيل جذر السوبر أوكسيد (Agarwal et al., 2005a).

ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف المدروسة ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني كان الأعلى معنوياً لدى صنف دوما2 عند معاملة الشَّاهد (1194.36 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الحلولي (995.81 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني الأدنى معنوياً الصنفين دوما3 ودوما4 عند معاملة الإجهاد الملحي وبدون وجود فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (289.17، 298.44 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي). سبّب الإجهاد الحلولي زيادة معنوية في تركيز جذر الماء الأوكسجيني لدى أصناف القمح دوما1 ودوما3 بنسبة (149.86%، 68.24% على التوالي)، في حين كانت نسبة الزيادة في تركيز H_2O_2 أقل معنوياً لدى الأصناف دوما2 ودوما4 بنسبة (5.12%، 31.82% على التوالي). وسبّب الإجهاد الملحي زيادة معنوية في تركيز H_2O_2 لدى الصنف دوما1 بنسبة (62.00%)، وزيادة غير معنوية للصنف دوما3 بنسبة (10.50%)، في حين كانت نسبة الزيادة الأدنى معنوياً لدى الصنفين دوما2 ودوما3 (12.06%، 48.62% على التوالي). تُعزى الزيادة في تركيز H_2O_2 تحت ظروف الإجهاد إلى تراجع الناقلية المسامية تحت ظروف الإجهاد، ما يؤدي إلى تراجع تركيز CO_2 المتاح في مراكز التثبيت في الصّانعات الخضراء في خلايا النسيج المتوسط التمثيلية، فينخفض معدّل تثبيت الكربون في حلقة كالفن، ومن ثم معدّل استهلاك المركبات الغنية بالطاقة (ATP وNADPH)، الأمر الذي يؤدي إلى تراكم هذه المركبات وتراجع محتوى الأوراق من المستقبل النهائي للإلكترونات في سلسلة نقل الإلكترونات ($NADP^+$)، فيؤدي الأوكسجين الجزيئي (O_2) دور المستقبل النهائي للإلكترونات، ما يؤدي إلى تشكيل جذر السوبر أوكسيد الحر ($O_2^{\cdot-}$)، والماء الأوكسجيني (H_2O_2) (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش فإنَّ متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند كلٍّ من معاملة الرَّش بالماء المقطر ومعاملة الرَّش بخليط من الحمضين وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (1093.50، 1069.20 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، في حين كان متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما3 عند كلٍّ من معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك ومعاملة الرَّش بحمض الصّفصاف، فضلاً عن معاملة الرَّش بخليط من الحمضين السابقين وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها

(344.74، 360.29، 372.97 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي) (الجدول، 9). أدَّت معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف إلى زيادة معنوية في تركيز H_2O_2 لدى الصنف دوما1 بنسبة (6.11%)، في حين كانت الزيادة الأدنى معنوياً في تركيز H_2O_2 لدى الصنفين دوما2 ودوما4 بنسبة (8.89%، 11.66% على التوالي)، تلاهما لدى الصنف دوما3 (3.97%)، في حين لم يكن لمعاملة الرش بحمض الأبسيسيك تأثير كبير في زيادة تركيز H_2O_2 لدى الأصناف جميعها (دوما1، دوما2، دوما3، ودوما4) بنسبة (7.03%، 13.79%، 8.11%، 12.10% على التوالي)، أما بالنسبة إلى معاملة الرَّش بخليط من الحمضين فقد أدَّت إلى زيادة كبيرة ومعنوية في نسبة تركيز الماء الأوكسجيني لدى الصنف دوما1 (23.72%)، في حين كانت نسبة الزيادة الأدنى معنوياً لدى باقي الأصناف (2.22%، 0.59%، 5.76% على التوالي)، ويفسر ذلك بأنّ إضافة حمض الأبسيسيك وحمض الصّفصاف تُسبب زيادة متوازنة في إنتاج كل من الجذور الحرّة (ROS)، ونشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية (Agarwal et al., 2005a ; Razmi et al., 2017). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش، أنَّ متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الحلولي والرَّش بالماء المقطر (759.04 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الشَّاهد عند كلٍّ من الرَّش بخليط من الحمضين والرَّش بحمض الصّفصاف، فضلاً عن الرَّش بحمض الأبسيسيك وبدون وجود فروقاتٍ معنويةٍ بينها (697.31، 710.62، 713.31 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، في حين كان متوسط تركيز جذ الماء الأوكسجيني الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الأبسيسيك (379.66 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) (الجدول، 9). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش، أنَّ متوسط تركيز جذر الماء الأوكسجيني كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الشَّاهد ومعاملات الرَّش بكلٍّ من حمض الأبسيسيك والرَّش بخليط من الحمضين، فضلاً عن الرَّش بحمض الصّفصاف وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (1220.00، 1201.33، 1196.11 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، في حين كان متوسط جذر الماء الأوكسجيني الأدنى معنوياً لدى الصنفين دوما3 ودوما4 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الأبسيسيك، والصنف دوما3 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض

الصّفصاف وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (228.00، 27.00، 278.00 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي). (الجدول، 9). عموماً، يتشكل الماء الأوكسجيني (H_2O_2) نتيجة تحول جذر السوبر أوكسيد الحر ($O_2^{\cdot-}$) بوجود إلكترون (e^-)، وبروتونين ($2H^+$)، تكمن خطورة الماء الأوكسجيني في إمكانية اختراقه للأغشية السيتوبلاسمية، ولا يمكن احتجازه ضمن الفجوات للحد من تأثيره الضار، ويتحول بوجود مرجع معدني إلى جذر الماءات الحر ($OH^{\cdot-}$)، ويتم تفكيك H_2O_2 بوساطة أنزيم الكاتالاز CAT، وأنزيم الأسكوربيك بيروكسيداز APX (دورة ASC- GSH) (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016). يؤدي الماء الأوكسجيني بتراكيز منخفضة دوراً مهما بوصفه جزيء إشارة لكثير من الاستجابات الفيزيولوجية والبيوكيميائية في النبات سواءٌ في ظل ظروف النمو المثلى أو ظروف الإجهادات المختلفة، وذلك بالمشاركة مع منظمات النمو النباتية التي تشكل معها أنظمة إشارات معقدة، حيث يُشارك في انغلاق المسامات بتأثير حمض الأبسيسيك، وتحفيز التعبير المورثي لكثير من المورثات المسؤولة عن صفات التحمل للكثير من الإجهادات، مثل تحفيز التعبير المورثي لمضادات الأكسدة الأنزيمية وغير الأنزيمية (Mittler et al., 2004 ; Ye et al ., 2011). تتجلى الأهمية الحيوية للماء الأوكسجيني (H_2O_2) من خلال المحافظة على تركيزه ضمن حدود مقبولة وغير سامة (تمنع العمليات الحيوية والفيزيولوجية وتؤدي إلى موت الخلية المبرمج)، وذلك من خلال ضبط كلٍ من توليده وكنسه بوساطة أنزيمي APX وCAT (Hossain et al., 2015). ولابدّ من الإشارة إلى الدور الحيوي المهم لهذه الجذور الحرّة وبشكل خاص H_2O_2 عند مستوياتها القاعدية Basal levels للحفاظ على حياة الخلية، حيث تؤدي دور الإشارات الجزيئية للإجهادات المختلفة ومن ثمَّ تحفز الاستجابات المناسبة (Noctor et al., 2018; Mittler et al ., 2017)، حيث أشار (Agarwal et al., 2005a) إلى وجود علاقة مباشرة بين O_2/ H_2O_2 الناتجة عن أنزيمNADPH Oxidase وتحفيز مضادات الأكسدة الأنزيمية ونشاطها. عموماً، يُعد الماء الأوكسيجيني (H_2O_2) في النباتات من أكثر جذور الأوكسيجين الحرة ثباتاً، ويُنظم العمليات الأساسية، مثل الأقلمة/التكيف Acclimation، والدفاع، والتطور Development (Slesak et al., 2007). ويؤدي الماء الأوكسيجيني (H_2O_2) دوراً مزدوجاً في النباتات، فهو عند التراكيز المنخفضة يؤدي دوراً بوصفه إشارة تأقلمية Acclamatory signal، تُمكن النباتات من تحمل

الإجهادات (Mittler et al., 2004)، وعند التراكيز المرتفعة فإنّه يُساهم في تنظيم عملية الموت المبرمج للخلايا النباتية (Dat et al ., 2000). ويُصنّع الماء الأوكسجيني استجابةً لكثير من الإجهادات اللاأحيائية، ويعتقد كثير من الباحثين أنّ الماء الأوكسيجيني (H_2O_2) عامل أساسي يتوسط ظاهرة الأقلمة والتحمل لكثير من الإجهادات اللاأحيائية عند التراكيز المنخفضة (Neill et al., 2002). توافق هذه النتائج (Fardus et al., 2017; Agarwal et al., 2005a; Parveen et al., 2021b) في محصول القمح.

الجدول رقم (9): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز جذر الماء الأوكسجيني (ميكرومول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)												معاملات الرَّش (C)				
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	متوسط الأصناف (A)
دوما1	401.22 no	701.96 h	555.24 l	640.31 Ij	**574.68 f**	1002.51 e	903.31 f	1058.65 cd	866.63 f	**957.78 c**	650.00 i	547.00 kl	295.38 qr	1034.00 de	**638.34 e**	**684.58 f**	**726.42 e**	**636.43 g**	**846.98 d**	**723.60 B**
دوما2	1160.0 b	1196.11 ab	1220.0 a	1201.33 ab	**1194.36 a**	1100.52 c	996.00 e	882.65 f	1004.07 e	**995.81 b**	1020.0 de	796.65 g	725.27 h	1002.20 e	**886.03 d**	**1093.50 a**	**996.25 b**	**942.64 c**	**1069.20 a**	**1025.40 A**
دوما3	297.18 qr	382.43 no	418.00 n	400.40 no	**374.50 h**	500.00 m	420.45 n	388.22 no	396.22 no	**426.22 g**	328.40 pq	278.00 q-s	228.00 S	322.30 pq	**289.17 i**	**375.19 j**	**360.29 jk**	**344.74 k**	**372.97 jk**	**363.30 D**
دوما4	635.33 ij	562.00 kl	596.01 j-l	611.19 i-k	**601.13 f**	433.12 n	388.00 no	360.08 op	388.07 no	**392.31 h**	326.43 pq	282.18 qr	270.00 rs	315.16 p-r	**298.44 i**	**464.96 h**	**410.72 i**	**408.69 i**	**438.14 hi**	**430.63 C**
المتوسط (B×C)	**623.43 e**	**710.62 b**	**697.31 bc**	**713.31 b**		**759.04 a**	**676.94 cd**	**672.40 cd**	**663.75 d**		**581.21 f**	**482.70 g**	**379.66 h**	**668.41 d**		**المتوسط (C)**				
المتوسط (B)	**686.17 A**					**693.03 A**					**528.00 B**					**654.68 B**	**623.42 C**	**583.12 D**	**681.82 A**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	17.41	15.08	30.16	14.89	29.78	25.79	51.57
CV (%)	3.76						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

4-8- تقدير تركيز المالونيل دي ألدهيد (MDA) (ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq0.01$) في صفة تركيز المالونيل دي ألدهيد بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش، والتفاعلات المتبادلة بينها. يُلحظ أنَّ متوسط تركيز المالونيل دي ألدهيد كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 (146.59 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف دوما4 (118.23 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنفين دوما3 ودوما1 بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (91.17، 91.64 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز المالونيل دي ألدهيد كان الأعلى معنوياً لدى القمح الطري (132.41 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) بالمقارنةِ مع القمح القاسي (91.40 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) (الجدول، 10). ويُلحظ أنَّ متوسط نسبة تسرب الذّائبات كان الأعلى معنوياً لدى القمح الطري (52.89 %) بالمقارنةِ مع القمح القاسي (33.89 %). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز المالونيل دي ألدهيد كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي (137.19 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الإجهاد الحلولي (105.32 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الشَّاهد (93.14 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). يُعزى ارتفاع تركيز المالونيل دي ألدهيد تحت ظروف الإجهاد إلى تراجع معدَّل تثبيت الكربون في حلقة إرجاع الكربون الثلاثية (PCR)، ما يؤدي إلى تراجع معدّل استهلاك المركبات الغنية بالطاقة، ومن ثَمَّ تراجع إعادة تشكيل المستقبل النهائي للإلكترونات المركب ($NADP^+$)، عندئذ يقوم الأوكسجين الجزيئي(O_2) بتلقف الإلكترونات ليشكل جذر السوبر أكسيد الحر ($O_2^{\bullet-}$) الذي ما إن يتفاعل مع جذر الماء الأوكسجيني (H_2O_2) حتى يشكل جذر الماءات الحر ($OH^{\bullet-}$) الذي يتسم بمقدرة تفاعلية كبيرة، حيث يُؤكسد المواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية السيتوبلاسمية ويعمل على تخريبها Lipid peroxidation (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016). عموماً، يُعبّر تركيز مركب المالونيل دي ألدهيد MDA عن مقدار التخريب الذي لحق بالمواد الدهنية المفسفرة الداخلة في تركيب الأغشية الخلوية. ويُعد ارتفاع تركيز مركب المالونيل دي ألدهيد دليلاً على الضرر الكبير الذي لحق بالأغشية السيتوبلاسمية تحت ظروف الإجهاد الحلولي، الذي يزداد بازدياد شدّة الإجهاد

الحلولي في وسط النمو، لأنّ الليبيدات/المواد الدهنية المفسفرة هي الأكثر تأثراً بالإجهاد التأكسدي (Ahmad et al., 2010). ويؤكد ذلك أنّ معظم الأصناف التي كانت فيها نسبة تسرب الذائبات خلال الأغشية السيتوبلاسمة الأعلى معنوياً كان فيها تركيز مركب المالونيل دي ألدهيد (MDA) الأعلى معنوياً أيضاً، حيث كان متوسط نسبة الذائبات المتسربة في الأغشية السيتوبلاسمية الأعلى معنوياً لدى صنف القمح الطري دوما2 (53.98 %)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ صنف القمح الطري دوما4 (51.81 %)، ثمّ وبفروقاتٍ معنويةٍ صنف القمح القاسي دوما3 (37.75 %)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى صنف القمح القاسي دوما1 (30.03 %) (الجدول، 4). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز المالونيل دي ألدهيد كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الرَّش بالماء المقطر (134.31 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (107.18 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الرّش بخليط من الحمضين الصفصاف والأبسيسك (105.80 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (100.25 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) (الجدول، 10). يُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز المالونيل دي ألدهيد كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الملحي (184.33 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الشَّاهد (75.71 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). سبّب الإجهادان الحلولي والملحي ازدياداً معنوياً في تركيز المالونيل دي ألدهيد لدى الصنف دوما1 بنسبة (10.69%، 79.67% على التوالي)، ولدى الصنف دوما2 بنسبة (34.73%، 96.16% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 بنسبة (7.97%، 40.85% على التوالي)، ولدى الصنف دوما4 بنسبة (57.80%، و102.23% على التوالي). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش، فقد كان متوسط تركيز المالونيل دي ألدهيد الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند الرَّش بالماء المقطر (179.92 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند كلٍ من معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك ومعاملة الرَّش بحمض الصّفصاف بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (82.78، 83.37 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي). أدَّت معاملات الرَّش بكلٍ من حمض الصّفصاف

وحمض الأبسيسيك والرَّش بخليط منهما إلى انخفاضٍ معنوي في تركيز المالونيل دي ألدهيد لدى الصنف دوما1 بنسبة (26.25%، 26.76%، 22.70% على التوالي)، ولدى الصنف دوما2 بنسبة (28.89%، 18.13%، 27.07% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 بنسبة (15.01%، 14.95%، 10.25% على التوالي)، في حين كانت نسبة الانخفاض الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما4 (27.53%، 21.33%، 20.48% على التوالي)، ويعود ذلك إلى زيادة نشاط مضادات الأكسدة التي تعمل على كنس الجذور الحرّة وتمنع أكسدة المواد الدهنية الداخلة في تركيب الأغشية ومن ثمَّ تحمي الخلية ومكوناتها من الضرر التأكسدي، فضلاً عن ذلك يؤدي حمض الصّفصاف دوراً مهماً في زيادة الناقلية المسامية بالتزامن مع تحفيز الأنظمة الضوئية وحمايتها ما يؤدي إلى تحسين كفاءة استعمال الضوء واستمرار عملية التمثيل الضوئي ومن ثّم استمرار استهلاك المركبات الغنية بالطاقة، ما يحول دون تشكل جذور الأوكسجين الحرّة تحت ظروف الإجهاد (Razmi et al., 2017). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز المالونيل دي ألدهيد كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي عند الرَّش بالماء المقطر (178.27 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الشَّاهد عند كلٍ من معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف ومعاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (89.07، 90.87 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي) (الجدول، 10). يُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز المالونيل دي ألدهيد كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بالماء المقطر (245.72 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الشَّاهد وكلٍ من الرَّش بحمض الصّفصاف والرَّش بحمض الأبسيسيك بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (65.50، 68.75 ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي). (الجدول، 10). عموماً، يؤثر الإجهاد التأكسدي في المكونات الخلوية جميعها، لكن تُعد الليبيدات/المواد الدهنية المفسفرة الأكثر تأثراً (Ahmad et al., 2010). وافقت هذه النتائج ما توصل إليه (Fardus et al., 2017).

الجدول رقم (10): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز المالونيل دي ألدهيد (ميكرو مول. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)											معاملات الرَّش (C)				
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	متوسط الأصناف (A)
دوما1	86.86 tu	65.49 z	68.74 yz	81.72 vw	**75.71 k**	96.15 m-p	73.08 x	82.37 vw	72.46 xy	**81.01 j**	156.07 d	111.48 k	97.23 l-n	107.92 k	**118.18 e**	**113.03 f**	**83.35 k**	**82.78 k**	**87.37 j**	**91.64 C**
دوما2	125.26 g	118.60 ij	119.53 h-j	118.91 Ij	**120.58 d**	168.77 c	118.14 ij	131.92 f	120.61 h-i	**134.86 c**	245.72 a	147.09 e	190.45 b	154.06 d	**184.33 a**	**179.92 a**	**127.94 e**	**147.30 b**	**131.20 d**	**146.59 A**
دوما3	87.17 tu	82.99 vw	82.27 vw	84.96 uv	**84.28 i**	94.12 n-q	83.93 uv	79.71 w	89.59 r-t	**86.84 h**	122.78 gh	91.51 q-s	96.61 m-o	98.63 l-m	**102.38 f**	**101.36 h**	**86.14 j**	**86.20 j**	**90.97 i**	**91.17 C**
دوما4	93.21 o-r	89.18 s-t	92.90 o-s	92.75 p-s	**92.01 g**	147.09 e	100.64 l	110.24 k	116.28 j	**118.56 c**	188.50 b	120.92 hi	134.18 f	131.92 f	**141.13 B**	**142.93 c**	**103.58 g**	**112.44 f**	**113.65 f**	**118.23 B**
المتوسط (B×C)	**98.12 g**	**89.07 i**	**90.86 i**	**94.52 h**		**126.53 c**	**93.95 h**	**101.06 f**	**99.74 fg**		**178.27 a**	**117.75 e**	**129.62 b**	**123.13 d**		**المتوسط (C)**				
المتوسط (B)	**93.14 C**					**105.32 B**					**137.19 A**					**134.31 A**	**100.25 D**	**107.18 B**	**105.80 C**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	0.998	0.864	1.730	1.098	2.196	1.902	3.804
CV (%)	1.57						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَّام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

4-9- نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز (SOD) (وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq0.01$) في نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش والتفاعلات المتبادلة بينها. ويُلحظ أنَّ متوسط نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 (65.67 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف دوما3 (58.12 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 (28.86 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، ويُلحظ أنَّ متوسط نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز كان الأعلى معنوياً لدى القمح القاسي (75.39 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين) بالمقارنةِ مع القمح الطري (37.41 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين) (الجدول، 11). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الإجهاد أنَّ متوسط نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد الملحي (55.28 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الإجهاد الحلولي (53.23 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشَّاهد (40.45 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين). عموماً، يزداد توليد الجذور الحرّة تحت ظروف الإجهادات المختلفة، وللحد من التأثير الضار لهذه الجذور الحرّة، تُحفّز مضادات الأكسدة الأنزيمية وغير الأنزيمية (Gill and Tutej, 2010)، حيث لوحظ زيادة في نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز تحت ظروف كثيرٍ من الإجهادات. يقوم أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز SOD بتفكيك Dismutation جذر السوبر أوكسيد الحرّ ($O_2^{\cdot-}$) الى ماء أوكسجيني (H_2O_2) وأوكسجين جزيئي O_2، يُوجد هذا الأنزيم لدى الكائنات الحية الهوائية وفي معظم المكونات الخلوية التي يمكن أن تشكل جذور سوبر أوكسيد الحرّة. تزداد فعالية هذا الأنزيم استجابة للعديد من الإجهادات البيئية، وتتوقف درجة تحمل الأنواع النباتية أو الطرز الوراثية للإجهاد التأكسدي على كمية هذا الأنزيم وفعاليته (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016). أمَّا بالنسبة إلى معاملات الرَّش فقد كان متوسط نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز الأعلى معنوياً عند معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (60.77 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (49.18 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الرّش بخليط من الحمضين الصفصاف والأبسيسيك (47.27 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الرَّش بالماء المقطر (41.39 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين). أدَّت المعاملة بحمض الصّفصاف وحمض

الأبسيسيك وخليط من الحمضين إلى زيادة معنوية لدى أصناف القمح المدروسة جميعها، وكانت نسبة الزيادة لدى الصنف دوما1 8.96%، 26.80%، 3.83% على التوالي)، ولدى الصنف دوما2 نحو(42.59%، 128.22%، 46.32% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 قرابة (14.74%، 36.34%، 7.81% على التوالي)، ولدى الصنف دوما4 نحو (28.37%، 51.57%، 23.58% على التوالي). ويُعزى ذلك إلى دور كل من حمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك في تعزيز نشاط النظام المضاد للأكسدة من خلال تحفيز التعبير للمورثات المسؤولة عن مضادات الأكسدة الأنزيمية ومنها أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز (Agarwal et al., 2005b)، ما يؤدي إلى الحفاظ على توازن توليد الجذور الحرّة وكنسها وحماية الخلايا من تأثيرها الضار. توافق هذه النتائج (Parveen et al., 2021b ; Alsahli et al., 2019). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد، أنَّ متوسط نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي (76.80 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الشَّاهد (22.71 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين). سبّب الإجهاد الحلولي زيادة معنوية في تركيز أنزيم SOD لدى أصناف القمح دوما1 ودوما2 ودوما4 بنسبة (47.91%، 11.11%، 22.91% على التوالي)، في حين كانت الزيادة الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما3 (6.93%). وسبّب الإجهاد الملحي زيادة معنوية في تركيز أنزيم SOD لدى أصناف القمح دوما1 ودوما3 ودوما4 بنسبة (77.05%، 7.29%، 122.83% على التوالي)، في حين كانت الزيادة الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 (34.48%). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش كان متوسط نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (75.95 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الرَّش بالماء المقطر (18.71 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش، أنَّ متوسط نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد الحلولي والرَّش بحمض الأبسيسيك (67.20 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشَّاهد والرَّش بالماء المقطر (34.41 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين) (الجدول، 11). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد

ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الأبسيسيك (87.68 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند كلٍ من معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بالماء المقطر ومعاملة الشَّاهد والرَّش بحمض الصّفصاف بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (13.23، 14.46 وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين على التوالي). (الجدول، 11). توافقت هذه النتائج مع نتائج (Parveen et al., Agarwal et al., 2005a; Alsahli et al., 2019 .(2021b;

الجدول رقم (11): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في نشاط أنزيم السوبر أوكسيد ديسموتاز (وحدة. مغ$^{-1}$ بروتين) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)															معاملات الرَّش (C)				متوسط الأصناف (A)
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	
دوما1	42.14 q	46.57 op	59.67 g-i	54.54 k-m	**50.73 g**	62.33 g	69.76 e	80.53 b	65.28 f	**69.47 b**	74.61 d	78.78 bc	87.68 a	66.12 f	**76.80 a**	**59.69 e**	**65.04 c**	**75.69 a**	**61.98 d**	**65.67 A**
دوما2	20.33 wx	14.46 y	36.55 r	19.51 x	**22.71 j**	22.59 vw	29.46 st	42.98 q	27.23 tu	**30.57 i**	13.32 y	36.12 r	48.56 no	35.33 r	**33.31 h**	**18.71 n**	**26.68 m**	**42.70 k**	**27.36 m**	**28.86 D**
دوما3	50.60 n	53.40 m	66.00 f	58.72 h-j	**57.18 d**	47.09 op	62.28 g	76.11 cd	56.93 jk	**60.60 c**	54.29 k-m	58.72 h-j	65.10 f	48.20 no	**56.58 de**	**50.66 h**	**58.13 f**	**69.07 b**	**54.62 g**	**58.12 B**
دوما4	24.57 uv	29.51 st	36.01 r	34.59 r	**31.17 hi**	30.20 s	53.58 lm	69.17 e	56.22 j-l	**52.29 fg**	54.75 k-m	57.52 ij	60.83 gh	44.56 pq	**54.42 ef**	**36.51 l**	**46.87 i**	**55.34 g**	**45.12 j**	**45.96 C**
المتوسط (B×C)	**34.41 i**	**35.99 h**	**49.56 f**	**41.84 g**		**40.55 g**	**53.77 d**	**67.20 a**	**51.42 e**		**49.22 f**	**57.79 c**	**65.54 b**	**48.55 f**		**المتوسط (C)**				
المتوسط (B)	**40.45 C**					**53.23 B**					**55.28 A**					**41.39 D**	**49.18 B**	**60.77 A**	**47.27 C**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	معاملات الرَّش (C)	AB	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	1.277	1.106	0.778	2.212	1.557	1.348	2.697
CV (%)	2.51						

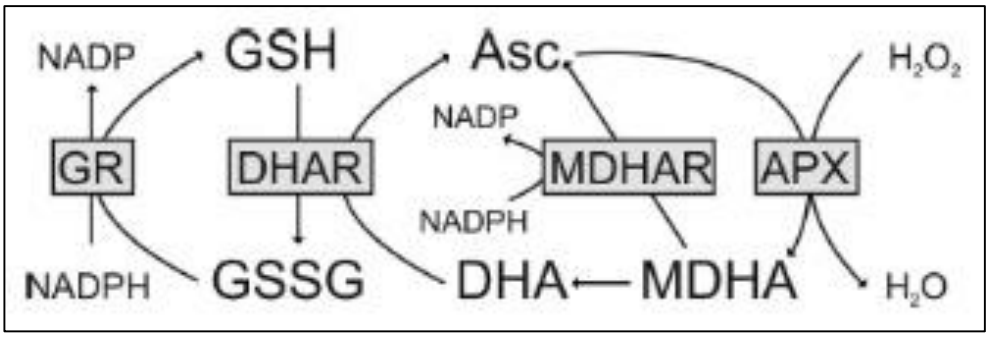
يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

4-10- نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز (ملمول. د-1. مغ-1 بروتين): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq0.01$) في نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش والتفاعلات المتبادلة بينها. ويُلحظ أنَّ متوسط نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 (2.653 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف دوما3 (2.254 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 (1.291 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، ويُلحظ أنَّ نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز كان الأعلى معنوياً لدى القمح القاسي (2.453 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين) بالمقارنةِ مع القمح الطري (1.531 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، (الجدول، 12). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الإجهاد أنَّ متوسط نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد الحلولي (2.221 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الإجهاد الملحي (2.214 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشَّاهد (1.632 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين). أمَّا بالنسبة إلى معاملات الرَّش فقد كان متوسط نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز الأعلى معنوياً عند معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (2.777 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (2.145 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملتي الرَّش بالماء المقطر والرَّش بخليط من الحمضين بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (1.503، 1.544 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين على التوالي) (الجدول، 12). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي (2.947 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الشَّاهد (1.085 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين). سبّب الإجهاد الحلولي زيادة معنوية في تركيز أنزيم APX لدى أصناف القمح دوما2 ودوما3 ودوما4 بنسبة (22.82%، 34.29%، 48.29% على التوالي)، في حين كانت الزيادة الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 (8.87%)، في حين سبّب الإجهاد الملحي زيادة معنوية في جميع الأصناف المدروسة (54.46%، 51.80%، 66.26%، 11.45% على التوالي). عموماً، يزداد توليد الجذور الحرّة تحت ظروف الإجهادات المختلفة، وللحد من التأثير

الضار لهذه الجذور الحرّة، تُحفّز مضادات الأكسدة الأنزيمية وغير الأنزيمية (Gill and Tutej, 2010)، حيث لوحظ زيادة في نشاط أنزيم الأسكوربيك بيروكسيداز تحت ظروف كثير من الإجهادات. أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش فقد كان متوسط نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز الأعلى معنوياً لدى الصنفين دوما1 ودوما3 عند معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (3.269، 3.248 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الرَّش بالماء المقطر (0.831 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الأبسيسيك (3.128 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشَّاهد والرَّش بالماء المقطر (1.231 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين) (الجدول، 12). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما3 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الأبسيسيك، والصنف دوما1 عند معاملة الإجهاد الحلولي والرَّش بحمض الصّفصاف بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (3.918، 3.902 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بالماء المقطر والصنف دوما3 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بخليط من الحمضين، بالإضافة إلى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الحلولي والرَّش بالماء المقطر بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (0.666، 0.743، 0.818 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين على التوالي) (الجدول، 12).

عموماً، يُعد أنزيم الأسكوربيك بيروكسيداز APX من أهم مضادات الأكسدة الأنزيمية في النباتات، وله دور حيوي مهم في دورة ASC- GSH، حيث يعمل على ضبط تركيز الماء الأوكسجيني بشكل دقيق عن طريق تفكيكه إلى ماء باستخدام حمض الأسكوربيك عامل إرجاع (Caverzan et al., 2012)، يوجد أنزيم APX بشكل واسع في الخلايا النباتية في كل من البيروكسيزوم، والميتوكوندريا، والسيتوبلازم، والصانعات الخضراء (الستروما، والثيلاكويد)، وهذا ما يجعله أكثر كفاءة بالمقارنة مع الأنزيمات الأخرى (Hussain et al., 2019).



الشكل رقم (5): حلقة الأسكوربات – جلوتاثيون (ASC-GSH)

سبّب الإجهاد الحلولي زيادة معنوية في تركيز أنزيم APX لدى أصناف القمح دوما2 ودوما3 ودوما4 بنسبة (22.82%، 34.29%، 48.29% على التوالي)، في حين كانت الزيادة الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 (8.87%)، في حين سبّب الإجهاد الملحي زيادة معنوية في جميع الأصناف المدروسة (54.46%، 51.80%، 66.26%، 11.45% على التوالي). عموماً، يزداد توليد الجذور الحرّة تحت ظروف الإجهادات المختلفة، وللحد من التأثير الضار لهذه الجذور الحرّة، تُحفَّز مضادات الأكسدة الأنزيمية وغير الأنزيمية (Gill and Tutej, 2010)، حيث لوحظ زيادة في نشاط أنزيم الأسكوربيك بيروكسيداز تحت ظروف كثير من الإجهادات.

أدَّت المعاملة بحمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك وخليط من الحمضين إلى زيادة معنوية في تركيز APX لدى صنف القمح دوما2 بنسبة (58.24%، 142.96%، 20.21% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 بنسبة (44.23%، 94.95%، 1.98% على التوالي)، ولدى الصنف دوما4 بنسبة (72.28%، 121.42%، 15.92% على التوالي)، أمّا بالنسبة إلى الصنف دوما1 فقد أدَّت المعاملة بحمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك إلى زيادة معنوية في تركيز APX بنسبة (21.74%، 39.10% على التوالي)، في حين أدَّت المعاملة بخليط من الحمضين السابقين إلى زيادة منخفضة نسبياً في تركيز APX (9.65%). ويُعزى ذلك إلى دور كل من حمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك في تعزيز نشاط النظام المضاد للأكسدة من خلال تحفيز التعبير لمورثي للمورثات المسؤولة عن مضادات الأكسدة الأنزيمية ومنها أنزيم الأسكوربيك بيروكسيداز (Agarwal et al., 2005b)، ما يؤدي إلى الحفاظ على توازن توليد الجذور الحرّة وكنسها وحماية الخلايا من تأثيرها الضار. توافق هذه النتائج (Parveen et al., 2021b; Alsahli et al., 2019).

الجدول رقم (12): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في نشاط أنزيم الأسكوربات بيروكسيداز (ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)															معاملات الرَّش (C)				
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	متوسط الأصناف (A)
دوما1	2.040 j-l	2.225 i	2.947 e	1.772 no	**2.246 c**	1.859 mn	3.902 a	3.135 d	2.165 ij	**2.765 b**	3.151 d	2.454 gh	3.724 b	2.459 gh	**2.947 a**	**2.350 d**	**2.861 b**	**3.269 a**	**2.132 e**	**2.653 A**
دوما2	0.666 y	1.171 st	1.471 pq	1.034 t-v	**1.085 i**	0.818 w-y	1.448 q	2.594 fg	0.883 v-x	**1.436 g**	1.011 uv	1.326 qr	1.992 k-m	1.080 tu	**1.352 h**	**0.831 k**	**1.315 h**	**2.019 f**	**0.999 j**	**1.291 D**
دوما3	1.248 rs	1.844 mn	2.476 gh	1.431 q	**1.749 f**	1.676 o	2.872 e	3.352 c	2.923 e	**2.706 b**	2.075 i-l	2.494 gh	3.918 a	0.743 xy	**2.308 c**	**1.666 g**	**2.403 d**	**3.248 a**	**1.699 g**	**2.254 B**
دوما4	0.969 u-w	1.655 o	2.131 i-k	1.032 t-v	**1.447 g**	1.437 q	2.383 h	2.709 f	1.387 qr	**1.979 d**	1.080 tu	1.967 lm	2.879 e	1.622 op	**1.887 e**	**1.162 i**	**2.002 f**	**2.573 c**	**1.347 h**	**1.771 C**
المتوسط (B×C)	**1.231 j**	**1.724 g**	**2.256 d**	**1.317 i**		**1.447 h**	**2.651 c**	**2.947 b**	**1.839 f**		**1.829 f**	**2.060 e**	**3.128 a**	**1.476 h**		المتوسط (C)				
المتوسط (B)	**1.632 C**					**2.221 A**					**2.124 B**					**1.503 C**	**2.145 B**	**2.777 A**	**1.544 C**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	0.0361	0.0312	0.0625	0.0441	0.0882	0.0763	0.1528
CV (%)	3.68						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَّام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

4-11- نشاط أنزيم الكاتالاز (ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq0.01$) في نشاط أنزيم الكاتالاز بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش والتفاعلات المتبادلة بينها. يُلحظ أنَّ متوسط نشاط أنزيم الكاتالاز كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 (33.92 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف دوما3 (28.83 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 (19.71 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، ويُلحظ أنَّ نشاط أنزيم الكاتالاز كان الأعلى معنوياً لدى القمح القاسي (31.37 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين) بالمقارنةِ مع القمح الطري (21.06 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين). ويُلحظ بالنسبة لمعاملات الإجهاد أنَّ متوسط نشاط أنزيم الكاتالاز كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد الملحي (31.02 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الإجهاد الحلولي (26.07 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشَّاهد (21.57 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين). أمَّا بالنسبة إلى معاملات الرَّش فقد كان متوسط نشاط أنزيم الكاتالاز الأعلى معنوياً عند معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (31.42 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك (28.24 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، تلاه وبفروقاتٍ معنوية معاملة الرّش بخليط من الحمضين الصفصاف والأبسيسيك (23.92 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الرَّش بالماء المقطر (21.29 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط نشاط أنزيم الكاتالاز كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي (41.84 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما4 عند معاملة الشَّاهد (15.70 ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين). سبّب الإجهادان الحلولي والملحي زيادة معنوية في نشاط أنزيم الكاتالاز لدى الصنف دوما1 بنسبة (24.41%، 41.68% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 بنسبة (15.34%، 49.13% على التوالي)، في حين سببا انخفاضاً معنوياً لدى الصنف دوما2 بنسبة (15.68%، 27.98% على التوالي)، أما بالنسبة إلى الصنف دوما4 فقد سبب الإجهاد الحلولي ازدياداً غير معنوياً في نشاط أنزيم CAT بنسبة (8.17%)، في حين سبب الإجهاد الملحي ازدياداً معنوياً بنسبة (54.01%). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش فقد كان متوسط نشاط

أنزيم الكاتالاز الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند الرّش بحمض الصّفصاف (39.84 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنفين دوما2 ودوما 4 عند معاملة الرَّش بالماء المقطر بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (15.80، 16.12 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين على التوالي). أدَّت المعاملة بحمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك وبخليط من الحمضين إلى زيادة نشاط أنزيم الكاتالاز لدى أصناف القمح المدروسة جميعها، وكانت نسبة الزيادة لدى الصنف دوما1 نحو (42.08%، 27.67%، 14.15% على التوالي)، ولدى الصنف دوما2 نحو (79.15%، 49.50%، 27.41% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 نحو (31.78%، 24.07%، 2.26% على التوالي)، في حين كانت نسبة الزيادة لدى الصنف دوما4 قرابة (50.56%، 38.10%، 10.18% على التوالي)، ويُعزى ذلك إلى دور كلٍّ من حمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك في تعزيز نشاط النظام المضاد للأكسدة من خلال تحفيز التعبير المورثي للمورثات المسؤولة عن مضادات الأكسدة الأنزيمية ومنها أنزيم الكاتالاز (Agarwal et al., 2005b)، ما يؤدي إلى الحفاظ على توازن توليد وكنس الجذور الحرّة وحماية الخلايا من تأثيرها الضار. ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط نشاط أنزيم الكاتالاز كان الأعلى معنوياً عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الصّفصاف (38.09 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً عند معاملة الشَّاهد وكلٍ من الرَّش بالماء المقطر والرَّش بخليط من الحمضين بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (18.91، 19.45 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين على التوالي) (الجدول، 13). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط نشاط أنزيم الكاتالاز كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما1 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بحمض الصّفصاف (51.09 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما4 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بالماء المقطر والصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بالماء المقطر، بالإضافة إلى الصنف دوما4 عند كلٍ من معاملة الشَّاهد والرَّش بخليط من الحمضين ومعاملة الإجهاد الحلولي والرَّش بالماء المقطر بدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (13.09، 13.59، 14.16، 14.19 ملمول. د-1. مغ-1 بروتين على التوالي) (الجدول، 13). عموماً، يعمل أنزيم الكاتالاز CAT على تفكيك الماء الأوكسجيني إلى ماء وأوكسجين ويساعد ذلك في تقليل تركيز الماء الأوكسجيني، ويحول

دون تفاعله مع جذر السوبر أوكسيد الحر، ما يُعطل تشكيل جذر الماءات الحر ($OH^{\cdot -}$) ذي المقدرة التفاعلية الكبيرة (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016). توافقت هذه النتائج مع ما توصل إليه (Fardus et al., 2017 Parveen et al., 2021b; Agarwal; et al., 2005a).

الجدول رقم (13): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في نشاط أنزيم الكاتالاز (ملمول. د$^{-1}$. مغ$^{-1}$ بروتين) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)										معاملات الرَّش (C)				
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (C×A)				متوسط الأصناف (A)
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	
دوما1	22.98 n-p	27.86 h-j	27.09 h-k	23.74 m-o	**25.42 d**	28.59 g-i	40.58 cd	36.23 e	32.65 f	**34.51 c**	32.56 f	51.09 a	44.09 b	39.62 d	**41.84 a**	**28.04 e**	**39.84 a**	**35.80 b**	**32.01 cd**	**33.92 A**
دوما2	18.87 st	29.00 gh	20.44 p-s	20.36 q-s	**22.17 e**	15.91 uv	28.48 g-i	25.25 j-n	22.08 o-r	**22.93 e**	13.59 vw	29.16 gh	26.62 h-l	19.17 st	**22.14 e**	**16.12 ij**	**28.88 e**	**24.10 g**	**20.54 h**	**22.41 C**
دوما3	20.72 p-s	24.58 k-o	27.14 h-k	19.51 rs	**22.99 e**	23.90 m-o	31.89 f	27.84 h-j	24.32 l-o	**26.99 d**	30.90 fg	43.04 bc	38.73 de	33.40 f	**36.52 b**	**25.17 fg**	**33.17 c**	**31.23 d**	**25.74 f**	**28.83 B**
دوما4	13.09 w	18.65 st	16.87 tu	14.19 vw	**15.70 g**	14.16 vw	23.67 m-o	22.57 o-q	19.00 st	**19.85 f**	20.16 q-s	29.05 gh	26.02 i-m	19.03 st	**23.57 e**	**15.80 j**	**23.79 g**	**21.82 h**	**17.41 i**	**19.71 D**
المتوسط (B×C)	**18.91 h**	**25.02 e**	**22.88 f**	**19.45 gh**		**20.64 g**	**31.16 c**	**27.97 d**	**24.51 e**		**24.30 e**	**38.09 a**	**33.87 b**	**27.81 d**		المتوسط (C)				
المتوسط (B)	**21.57 C**					**26.07 B**					**31.02 A**					**21.29 D**	**31.42 A**	**28.24 B**	**23.92 C**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	1.051	0.910	1.821	0.754	1.509	1.307	2.613
CV (%)	4.61						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01.

12-4- تركيز حمض الأسكوربيك (فيتامين C) (ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء): بيَّنت نتائج التحليل الإحصائي وجود فروقاتٍ معنويةٍ ($p\leq 0.01$) في صفة تركيز حمض الأسكوربيك بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش والتفاعلات المتبادلة بينها. ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز حمض الأسكوربيك كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما4 (21.20 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنفان دوما3 ودوما2 وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (20.05، 19.69 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما1 (18.69 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). ويُلحظ أنَّ متوسط تركيز حمض الأسكوربيك كان الأعلى معنوياً لدى القمح الطري (20.44 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) بالمقارنةِ مع القمح القاسي (19.37 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، (الجدول، 14). ويُلحظ بالنسبة إلى معاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز حمض الأسكوربيك كان الأعلى معنوياً لدى معاملة الشَّاهد (23.57 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الإجهاد الحلولي (19.08 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد المحلي (17.08 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). أمَّا بالنسبة إلى معاملات الرَّش كان متوسط تركيز حمض الأسكوربيك الأعلى معنوياً لدى معاملة الرَّش بحمض الأبسيسيك ABA (22.31 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بخليط من الحمضين (20.45 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ معاملة الرَّش بحمض الصّفصاف (19.92 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان متوسط تركيز حمض الأسكوربيك الأدنى معنوياً لدى معاملة الرَّش بالماء المقطر (16.95 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) (الجدول، 14). تعمل إضافة حمض الأبسيسيك ABA على تحفيز دورة ASC-GSH (Wei et al., 2015)، ويحفز حمض الصّفصاف التعبير المورثي للأنزيمات الداخلة في دورة ASC-GSH وأهمها (DHAR، MDHAR، GR، APX، SOD) التي تعمل على التخلص من الجذور الحرّة (H_2O_2 و$O_2^{\cdot-}$) بالتزامن مع إعادة تشكيل الأسكوربيك (Li et al., 2013). توافق هذه النتائج (Fardus et al., 2017). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد أنَّ متوسط تركيز حمض الأسكوربيك كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما4 عند معاملة الشَّاهد (25.43 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)،

في حين كان الأدنى معنوياً لدى كلٍّ من الأصناف دوما1 ودوما2 ودوما4 ودوما3 عند معاملة الإجهاد الملحي وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينها (16.83، 17.00، 17.14، 17.33 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). سبّب الإجهادان الحلولي والملحي انخفاضاً معنوياً في تركيز حمض الأسكوربيك في الأصناف المدروسة جميعها، وكانت نسبة الانخفاض لدى الصنف دوما1 (15.78%، 38.52% على التوالي)، ولدى الصنف دوما2 (42.28%، 60.49% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 (35.45%، 43.08% على التوالي)، ولدى الصنف دوما4 (22.96%، 49.32% على التوالي). ويُعزى تراجع تركيز حمض الأسكوربيك تحت ظروف الإجهادين الحلولي والمحلي إلى تراجع نشاط أنزيمي Dehydroascorbate reductase (DHAR) و Monodehydroascorbate reductase (MDHAR) اللذين يعملان على إعادة توليد حمض الأسكوربيك ضمن حلقة الأسكوربيك – جلوتاثيون (ASC-GSH) في الخلايا (Fardus et al., 2017). أمَّا بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الرَّش كان متوسط تركيز حمض الأسكوربيك الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما4 عند الرَّش بحمض الأبسيسيك (24.34 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى الصنفين دوما1 ودوما2 عند الرَّش بالماء المقطر (15.56، 15.56 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي). أدَّت المعاملة بكلٍ من حمض الصّفصاف وحمض الأبسيسيك ومعاملة الرَّش بخليط منهما إلى زيادة معنوية في تركيز حمض الأسكوربيك لدى الصنف دوما1 بنسبة (21.14%، 34.96%، 24.35%على التوالي)، ولدى الصنف دوما2 بنسبة (34.89%، 37.14%، 34.25% على التوالي)، ولدى الصنف دوما3 بنسبة (9.48%، 27.25%، 15.97% على التوالي)، ولدى الصنف دوما4 بنسبة (7.74%، 28.24%، 10.80% على التوالي). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز حمض الأسكوربيك كان الأعلى معنوياً معاملة الشَّاهد عند الرَّش بحمض الأبسيسيك (25.70 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)، في حين كان الأدنى معنوياً لدى معاملة الإجهاد الملحي عند الرَّش بالماء المقطر (11.84 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء). ويُلحظ بالنسبة إلى التفاعل بين الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش أنَّ متوسط تركيز حمض الأسكوربيك كان الأعلى معنوياً لدى الصنف دوما4 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بحمض الأبسيسيك (29.48 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء)،

تلاه وبفروقاتٍ معنويةٍ الصنف دوما3 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بحمض الأبسيسيك، والصنف دوما2 عند معاملة الشَّاهد والرَّش بحمض الصّفصاف وبدون فروقاتٍ معنويةٍ بينهما (26.64، 26.00 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء على التوالي)، في حين كان متوسط تركيز حمض الأسكوربيك الأدنى معنوياً لدى الصنف دوما2 عند معاملة الإجهاد الملحي والرَّش بالماء المقطر (9.35 ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) (الجدول، 14). عموماً، يُعد حمض الأسكوربيك ($C_6H_8O_6$) من أقوى مضادات الأكسدة غير الأنزيمية التي تعمل على كنس كثير من الجذور الحرّة (H_2O_2، $^1O_2$، $O_2^{\bullet-}$، $HO^{\bullet}$)، والحفاظ على تراكيزها ضمن حدود مقبولة غير سامة في الخلايا النباتية، ويعمل بوصفه ركيزة طبيعية لكثيرٍ من عمليات الأكسدة في النباتات (Mehlhorn et al., 1996 ; Shigeoka et al., 2002)، ويعمل الأسكوربيك على كنس الجذور الحرَّة بشكلٍ مباشر أو غير مباشر، حيث يحافظ على الحالة المرجعة reduced state لـ ألفا– التوكوفيرول α-tocopherol عن طريق إعادة تأهيله لجذر توكوفيروكسيل Tocopheroxyl radical (الشحاذة العودة وزملاؤه، 2016)، ويُسهم حمض الأسكوربيك في التصنيع الحيوي للزياكسانثين Zeaxanthin، وتبديد الطاقة الضوئية الزائدة في أغشية الصانعات الخضراء الداخلية Thylakoid membrane حيث يعد عاملاً مساعداً لأنزيم Violaxanthin de-epoxidase ومن ثمَّ يمنع الإجهاد التأكسدي (Khan and Khan, 2017).

الجدول رقم (14): تأثير معاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش الهرموني في تركيز حمض الأسكوربيك (ميكروغرام. غ$^{-1}$ أوراق خضراء) لدى أصناف القمح المدروسة.

الأصناف (A)	معاملات الإجهاد(B)															معاملات الرَّش (C)				متوسط الأصناف (A)
	الشَّاهد المروي					الإجهاد الحلولي					الإجهاد الملحي					المتوسط (A×C)				
	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	المتوسط (A×B)	الرَّش بالماء المقطر	رش SA	رش ABA	رش SA+ABA	
دوما1	19.00 n-q	18.24 qr	24.00 e	21.66 h	**20.73 c**	16.00 s	19.65 l-n	20.00 k-m	18.38 p-q	**18.51 d**	11.68 w	18.66 o-r	19.00 n-q	18.00 r	**16.83 f**	**15.56 i**	**18.85 g**	**21.00 cd**	**19.35 fg**	**18.69 C**
دوما2	23.67 ef	26.00 bc	22.67 g	25.31 cd	**24.41 b**	13.66 u	18.33 qr	20.69 i-k	18.00 r	**17.67 e**	9.35 x	18.64 o-r	20.65 i-k	19.36 m-o	**17.00 ef**	**15.56 i**	**20.99 cd**	**21.34 c**	**20.89 c-e**	**19.69 B**
دوما3	24.00 e	21.53 hi	26.64 b	22.66 g	**23.71 b**	15.49 st	21.67 h	19.33 m-o	20.00 k-m	**19.12 d**	13.66 u	15.00 t	21.67 h	19.00 n-q	**17.33 ef**	**17.72 h**	**19.40 f**	**22.55 b**	**20.55 de**	**20.05 B**
دوما4	25.00 d	24.00 e	29.48 a	23.22 e-g	**25.43 a**	19.26 m-p	21.35 h-j	23.00 fg	20.53 j-l	**21.03 c**	12.67 v	16.00 s	20.54 jk	19.33 m-o	**17.14 ef**	**18.98 fg**	**20.45 e**	**24.34 a**	**21.03 cd**	**21.20 A**
المتوسط (B×C)	**22.92 b**	**22.44 c**	**25.70 a**	**23.21 b**		**16.10 h**	**20.25 e**	**20.76 d**	**19.23 f**		**11.84 i**	**17.08 g**	**20.46 de**	**18.92 f**		المتوسط (C)				
المتوسط (B)	**23.57 A**					**19.08 B**					**17.08 C**					**16.95 D**	**19.82 C**	**22.31 A**	**20.45 B**	

المتغير	الأصناف (A)	معاملات الإجهاد (B)	AB	معاملات الرَّش (C)	AC	BC	ABC
LSD (0.01)	0.440	0.381	0.762	0.257	0.514	0.445	0.890
CV (%)	2.07						

يشير اختلاف الأحرف الصغيرة في السطر الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين المعاملات ضمن الصنف الواحد، وفي العمود الواحد إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ بين الأصناف ضمن المعاملة الواحدة 0.01.

يشير اختلاف الأحرف الكبيرة أمَّام المتوسطات على مستوى الأصناف ومعاملات الإجهاد ومعاملات الرَّش إلى وجود فروقاتٍ معنويةٍ عند مستوى معنويةٍ 0.01

- الاستنتاجات Conclusions:

1. أدّى الإجهادان الحلولي والملحي إلى تحفيز الإجهاد التأكسدي، حيث سببا ازدياداً في تركيز مركب المالونيل دي ألدهيد، ونسبة تسرب الذائبات في الأغشية الخلوية نتيجة تخريبها في جميع الأصناف المدروسة، وتباينت الأصناف في مقدرتها على المحافظة على استقرار الأغشية السيتوبلاسمية وسلامتها.
2. أدّت معاملات الرش بحمض الصفصاف وحمض الأبسيسيك، وبخليط منهما إلى تراجع مؤشرات الإجهاد التأكسدي (نسبة تسرب الذائبات، وتركيز المالونيل دي ألدهيد، وتركيز جذر الماء الحر)، نتيجة زيادة تركيز البرولين، والكاروتينات، فضلاً عن زيادة نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية وغير الأنزيمية، ما يُشير إلى دورها في تحسين مستوى التحمل للإجهادات اللاأحيائية.
3. تباينت الأصناف المدروسة في استجابتها للإجهادين، ومعاملات الرش؛ حيث لوحظ وجود فروقات معنوية بينها بالنسبة إلى نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية (SOD، APX، CAT)، وغير الأنزيمية (حمض الأسكوربيك)، وتركيز البرولين، ما يُشير إلى وجود تباين وراثي في مستوى تحمل الإجهادات اللاأحيائية بين الأصناف المدروسة.
4. لُوحظ بشكلٍ عام أنَّ أصناف القمح القاسي أكثر تحملاً للإجهادات اللاأحيائية بالمقارنة مع القمح الطري.
5. لوحظ تفوق الصنف دوما1 (أكساد1105) في تركيز البرولين، ونشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية، وانخفاض نسبة تسرب الذائبات تحت ظروف الإجهادين بالمقارنة مع بقية الأصناف المدروسة، ما يُشير إلى امتلاكه مقدرة أكبر على تحمل الإجهاد التأكسدي، التي كانت الأدنى معنوياً لدى صنف القمح الطري دوما2 (أكساد885).
6. تباينت معاملات الرش بحمض الصفصاف وحمض الأبسيسيك وبخليط منهما في تحفيز مؤشرات التحمل للإجهاد، حيث تفوقت معاملة الرش بحمض الصفصاف في زيادة تركيز الكلوروفيل (a,b)،

وتركيز الأصبغة الكاروتينية، ونشاط أنزيم CAT، في حين تفوقت معاملة الرش بحمض الأبسيسك في تحسين محتوى الماء النسبي، وتركيز البرولين، ونشاط أنزيمي SOD وAPX، وتركيز حمض الأسكوربيك.

- **التوصيات والمقترحات Recommendations and suggestions:**

1. الاستفادة من الصنف دوما1 (أكساد1105) في برامج التربية والتحسين الوراثي لتحمل الإجهادات اللاأحيائية، حيث أظهر مقدرة كبيرة على تحمل الإجهاد التأكسدي.
2. القيام بعملية الرش بحمض الصفصاف وحمض الأبسيسيك عند تعرض نباتات القمح للجفاف أو الملوحة وخاصة لدى الأصناف ذات المقدرة الوراثية المنخفضة للتصنيع الحيوي لهذين الهرمونين لتحسين مقدرتها على تحمل الإجهادات.
3. دراسة تأثير معاملات الرش في الأصناف المدروسة تحت ظروف الزراعة الحقلية، ومقارنتها مع النتائج المخبرية للتأكد من أداء الأصناف على مستوى النبات الكامل وخلال كامل موسم النمو.
4. دراسة تأثير الرش بحمض الصفصاف وحمض الأبسيسيك في أثناء مراحل النمو المختلفة، ولاسيما المراحل الحرجة في حياة النبات، تحت ظروف الإجهادين المائي والملحي، لتحديد المرحلة الأكثر استجابةً.
5. استعمال التقانات الحيوية لفهم آلية تأثير هذه الهرمونات في تحفيز التعبير المورثي للمورثات المسؤولة عن الصفات المدروسة التي ارتبطت وراثياً بتحسين مستوى التحمل.
6. التوسع في دراسة الأنظمة الدفاعية الأنزيمية لدى نباتات القمح.

References المراجع

1- الإدلبي، ريم. (2021). **تقييم التباين الوراثي في كفاءة استعمال بعض مدخلات الإنتاج الزراعي (المياه والأسمدة المعدنية) لدى بعض أصناف الشعير المزروعة (*Hordeum Vulgare* L.).** دكتوراه. قسم المحاصيل الحقلية. كلية الزراعة. جامعة دمشق.

2- التمو، منور. (2007). **دراسة خصائص بعض التراكيب الوراثية من الشعير وتقويم أهميتها كمصادر وراثية لتحمل الجفاف.** ماجستير. قسم المحاصيل الحقلية. كلية الزراعة. جامعة دمشق.

3- التمو، منور. (2013). **التباين الوراثي في استجابة بعض طرز الشعير (*Hodeum* spp) لتحمل الجفاف: تقييم الصفات الفيسيولوجية والبيوكيميائية والجزيئية.** دكتوراه. قسم المحاصيل الحقلية. كلية الزراعة. جامعة دمشق.

4- التومي، عمر. (2012). **تقييم أهم الآليات التكيفية المورفوفسيولوجية المحددة لكفاءة محصول القمح (*Triticum* spp) الإنتاجية في نظم الزراعة الجافة.** دكتوراه. قسم المحاصيل الحقلية. كلية الزراعة. جامعة دمشق.

5- خوري، بولص ؛ وقبيلي، صالح (2003). تقويم مدخلات من القمح القاسي في ظروف المنطقة الساحلية السورية – **مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الزراعية.** مج 25. عدد (3). ص 93 - 102.

6- الشحاذة العودة، أيمن؛ خيتي، مأمون؛ رباح نصر، ريما .(2016) . **فيزيولوجيا المحاصيل الحقلية**. الجزء النظري. كلية الزراعة، منشورات جامعة دمشق.

7- **المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية** (2020). وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي – الجمهورية العربية السورية.

8- المنظمة العربية للتنمية الزراعية، جامعة الدول العربية، الخرطوم (2020). **الكتاب السنوي للإحصاءات الزراعية العربية**، مج (40).

1. Abd El-Samad, H. M., Shaddad, M. A. K., & Ragaey, M. M. (2019). **Drought strategy tolerance of four barley cultivars and combined effect with salicylic acid application.** American Journal of Plant Sciences, 10(4), 512-535.

2. Abdelaal, K. A., Attia, K. A., Alamery, S. F., El-Afry, M. M., Ghazy, A. I., Tantawy, D. S., Al-Doss, A.; El-Shawy, E.-S.E.; Abu-Elsaoud, A.; Hafez, Y.M. (2020). **Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters**. Sustainability, 12(5), 1736.

3. Abdel-Lattif, H. M., Abbas, M. S., & Taha, M. H. (2019). **Effect of salicylic acid on productivity and chemical constituents of some wheat (Triticum aestivum L.) varieties grown under saline conditions**. JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences, 29(4).

4. Agami, R. A., & Mohamed, G. F. (2013). **Exogenous treatment with indole-3-acetic acid and salicylic acid alleviates cadmium toxicity in wheat seedlings.** Ecotoxicology and Environmental Safety, 94, 164-171.

5. Agarwal, S., Sairam, R. K., Srivastava, G. C., & Meena, R. C. (2005,a). **Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes.** Biologia Plantarum, 49(4), 541-550.

6. Agarwal, S., Sairam, R. K., Srivastava, G. C., Tyagi, A., & Meena, R. C. (2005,b). **Role of ABA, salicylic acid, calcium and hydrogen peroxide on antioxidant enzymes induction in wheat seedlings**. Plant Science, 169(3), 559-570.

7. Ahmad, P., Alyemeni, M. N., Ahanger, M. A., Egamberdieva, D., Wijaya, L., & Alam, P. (2018 a). **Salicylic acid (SA) induced alterations in growth, biochemical attributes and antioxidant enzyme activity in faba bean (Vicia faba L.) seedlings under NaCl toxicity**. Russian Journal of Plant Physiology, 65(1), 104-114.

8. Ahmad, P., Jaleel, C. A., Salem, M. A., Nabi, G., & Sharma, S. (2010). **Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress.** Critical reviews in biotechnology, 30(3), 161-175.

9. Ahmad, R., Hussain, S., Anjum, M. A., Khalid, M. F., Saqib, M., Zakir, I., ... & Ahmad, S. (2019). **Oxidative stress and antioxidant defense mechanisms in plants under salt stress.** Plant abiotic stress tolerance: Agronomic, molecular and biotechnological approaches, 191-205.

10. Ahmad, Z., Waraich, E. A., Akhtar, S., Anjum, S., Ahmad, T., Mahboob, W., ... & Rizwan, M. (2018 b). **Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches**. Acta Physiologiae Plantarum, 40, 1-13.

11. Akbulut, G. B., Yigit, E., Kaya, A., & Aktas, A. (2018). **Effects of salicylic acid and organic selenium on wheat (Triticum aestivum L.) exposed to fenoxaprop-p-ethyl**. Ecotoxicology and Environmental Safety, 148, 901-909.

12. Al Mahmud, J., Biswas, P. K., Nahar, K., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2019). **Exogenous application of gibberellic acid mitigates drought-induced damage in spring wheat.** Acta Agrobotanica, 72(2).

13. Alamri, S. A. D., Siddiqui, M. H., Al-Khaishany, M. Y., Ali, H. M., Al-Amri, A., & AlRabiah, H. K. (2018). **Exogenous application of salicylic acid improves tolerance of wheat plants to lead stress.** Adv. Agric. Sci, 6(2).

14. AL-Ouda, A. S. (1999). **Genetic variability in temperature and moisture stress tolerance in sunflower (Helianthus annus L.) hybrids: Assessment of some physiological and biochemical traits** (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis Submitted to Crop Physiology Dept., UAS, Bangalore, India.

15. Alsahli, A., Mohamed, A. K., Alaraidh, I., Al-Ghamdi, A., Al-Watban, A., El-Zaidy, M., & Alzahrani, S. M. (2019). **Salicylic acid alleviates salinity stress through the modulation of biochemical attributes and some key antioxidants in wheat seedlings.** Pak. J. Bot, 51(5), 1551-1559.

16. Amini, F., & Ehsanpour, A. A. (2005). **Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na+/K+ changes in two tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) cultivars under in vitro salt stress.** American Journal of Biochemistry and Biotechnology, 1(4), 212-216.

17. Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). **Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress**. African journal of agricultural research, 6(9), 2026-2032.

18. Ashraf, M. (2004). **Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants.** Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 199(5), 361-376.

19. Bali, Aditi Shreeya, and Gagan Preet Singh Sidhu. **"Abiotic stress-induced oxidative stress in wheat." Wheat Production in Changing Environments: Responses, Adaptation and Tolerance** (2019): 225-239.

20. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). **Rapid determination of free proline for water-stress studies.** Plant and soil, 39(1), 205-207.

21. Bradford, M. M .1976. **A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein due binding.** Annals of Biochemistry, 72: 248- 254.

22. Cadenas, E. (1989). **Biochemistry of oxygen toxicity.** Annual review of biochemistry, 58(1), 79-110.

23. Caverzan, A., Passaia, G., Rosa, S. B., Ribeiro, C. W., Lazzarotto, F., & Margis-Pinheiro, M. (2012). **Plant responses to stresses: role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection**. Genetics and molecular biology, 35, 1011-1019.

24. Cheeseman, J. M. (1988). **Mechanisms of salinity tolerance in plants.** Plant physiology, 87(3), 547-550.

25. Choudhary, S., Wani, K. I., Naeem, M., Khan, M. M. A., & Aftab, T. (2023). **Cellular responses, osmotic adjustments, and role of osmolytes in providing salt stress resilience in higher plants: Polyamines and nitric oxide crosstalk.** Journal of Plant Growth Regulation, 42(2), 539-553.

26. Christmann, A., Moes, D., Himmelbach, A., Yang, Y., Tang, Y., & Grill, E. (2006). **Integration of abscisic acid signalling into plant responses.** Plant biology, 8(03), 314-325.

27. Dat, J., Vandenabeele, S., Vranova, E. V. M. M., Van Montagu, M., & Van Breusegem, F. (2000). **Dual action of the active oxygen species during plant stress responses.** Cellular and Molecular Life Sciences CMLS, 57(5), 779-795.

28. Datta, J. K., Nag, S., Banerjee, A., & Mondai, N. K. (2009). **Impact of salt stress on five varieties of wheat (Triticum aestivum L.) cultivars under laboratory condition.** Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 13(3).

29. Davies, W. J., & Zhang, J. (1991). **Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil.** Annual review of plant biology, 42(1), 55-76.

30. De Pinto, M. C., Francis, D., & De Gara, L. (1999). **The redox state of the ascorbate-dehydroascorbate pair as a specific sensor of cell division in tobacco BY-2 cells.** Protoplasma, 209(1), 90-97.

31. Dubey, R.S. (1997). **Photosynthesis in plants under stressful conditions.** In: M. Pessarakli, ed. Han Photosynthesis. New York: Marcel Dekker: 859-875.

32. Ejaz, S., Fahad, S., Anjum, M. A., Nawaz, A., Naz, S., Hussain, S., & Ahmad, S. (2020). **Role of osmolytes in the mechanisms of antioxidant defense of plants.** In Sustainable Agriculture Reviews 39 (pp. 95-117). Springer, Cham.

33. Elhakem, A. (2020). **Salicylic acid ameliorates salinity tolerance in maize by regulation of phytohormones and osmolytes**. Plant, Soil and Environment, 66(10), 533-541.

34. Elstner, E. F. 1987. **Metabolism of activated oxygen species in: D. D. Davies (ed.). The Biochemistry of Plants**. Biochemistry of Metabolism 11, 253-315. Academic Press San Diego, USA.

35. FAO. (2021,b). **Special report: 2021 FAO Crop and Food Supply Assessment Mission to the Syrian Arab Republic– December 2021.** Rome.

36. FAO. (2021,a). **World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021.** Rome.

37. FAO. 2022. **Food and Agriculture Organization of the United Nation. FAOSTAT Statical Database.**[Rome] .

38. FARDUS, J., MATIN, M. A., Hasanuzzaman, M., HOSSAIN, M. S., NATH, S. D., HOSSAIN, M. A., ... & HASANUZZAMAN, M. (2017). **Exogenous salicylic acid-mediated physiological responses and improvement in yield by modulating antioxidant defense system of wheat under salinity**. Notulae Scientia Biologicae, 9(2), 219-232.

39. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: **Effects, mechanisms and management**. Agronomy for Sustainable Development, 29, 185-212.

40. Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). **Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants.** Plant physiology, 59(2), 309-314.

41. Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). **Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants.** Plant physiology and biochemistry, 48(12), 909-930.

42. Groppa, M. D., & Benavides, M. P. (2008**). Polyamines and abiotic stress: recent advances.** Amino acids, 34(1), 35-45.

43. Guan, L. M., Zhao, J., & Scandalios, J. G. (2000**). Cis-elements and trans-factors that regulate expression of the maize Cat1 antioxidant gene in response to ABA and osmotic stress: H2O2 is the likely intermediary signaling molecule for the response.** The Plant Journal, 22(2), 87-95.

44. Guóth, A. (2009). **Chlorophyll a fluorescence induction parameters of flag leaves characterize genotypes and not the drought tolerance of wheat during grain filling under water deficit.** Acta Biologica Szegediensis, 53(1), 1-7.

45. Habibi, G. (2012). **Exogenous salicylic acid alleviates oxidative damage of barley plants under drought stress.** Acta Biologica Szegediensis, 56(1), 57-63.

46. Hamayun, M., Khan, S. A., Khan, A. L., Shin, J. H., Ahmad, B., Shin, D. H., & Lee, I. J. (2010). **Exogenous gibberellic acid reprograms soybean to higher growth and salt stress tolerance.** Journal of agricultural and food chemistry, 58(12), 7226-7232.

47. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). **Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages.** In Ecophysiology and responses of plants under salt stress (pp. 25-87). Springer, New York, NY.

48. Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). **Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review.** Environmental and experimental botany, 68(1), 14-25.

49. Hernández-Ruiz, J., & Arnao, M. B. (2018). **Relationship of melatonin and salicylic acid in biotic/abiotic plant stress responses.** Agronomy, 8(4), 33.

50. Hirayama, T., & Shinozaki, K. (2007). **Perception and transduction of abscisic acid signals: keys to the function of the versatile plant hormone ABA.** Trends in plant science, 12(8), 343-351.

51. Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). **The water-culture method for growing plants without soil.** Circular. California agricultural experiment station, 347(2nd edit).

52. Horváth, E., Szalai, G., & Janda, T. (2007). **Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling.** Journal of Plant Growth Regulation, 26(3), 290-300.

53. Hossain, M. A., Bhattacharjee, S., Armin, S. M., Qian, P., Xin, W., Li, H. Y., ... & Tran, L. S. P. (2015**). Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: insights from ROS detoxification and scavenging**. Frontiers in plant science, 6, 420.

54. Hussain S, Rao MJ, Anjum MA, Ejaz S, Zakir I, Ali MA, Ahmad N, Ahmad S (2019) **Oxidative stress and antioxidant defense in plants under drought conditions.** In: Hasanuzzaman M, Hakeem KR, Nahar K, Alharby HF (eds) Plant abiotic stress tolerance. Springer, Cham, pp 207–219.

55. Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S., & Wang, L. (2018). **Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities.** Frontiers in plant science, 9, 393.

56. Iqbal, M. J., Shams, N., & Fatima, K. (2022). **Nutritional quality of wheat. In Wheat.** IntechOpen.

57. Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., & Shabala, S. (2015). **Salicylic acid in plant salinity stress signalling and tolerance.** Plant Growth Regulation, 76(1), 25-40.

58. Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., & Shabala, S. (2013). **Salicylic acid improves salinity tolerance in Arabidopsis by restoring membrane potential and preventing salt-induced K+ loss via a GORK channel.** Journal of Experimental Botany, 64(8), 2255-2268.

59. Jiang, M., & Zhang, J. (2001). **Effect of abscisic acid on active oxygen species, antioxidative defence system and oxidative damage in leaves of maize seedlings.** Plant and Cell Physiology, 42(11), 1265-1273.

60. Kaya, C., Ashraf, M., Dikilitas, M., & Tuna, A. L. (2013). **Alleviation of salt stress-induced adverse effects on maize plants by exogenous application of indoleacetic acid (IAA) and inorganic nutrients-A field trial**. Australian Journal of Crop Science, 7(2), 249-254.

61. Kaya, C., Aydemir, S., Akram, N. A., & Ashraf, M. (2018). **Epibrassinolide application regulates some key physio-biochemical attributes as well as oxidative defense system in maize plants grown under saline stress.** Journal of Plant Growth Regulation, 37(4), 1244-1257.

62. Khan, M. I. R., & Khan, N. A. (Eds.). (2017). **Reactive oxygen species and antioxidant systems in plants: role and regulation under abiotic stress.** Singapore: Springer Singapore.

63. Khan, M. I. R., Ashfaque, F., Chhillar, H., Irfan, M., & Khan, N. A. (2021). **The intricacy of silicon, plant growth regulators and other signaling molecules for abiotic stress tolerance: An entrancing crosstalk between stress alleviators.** Plant Physiology and Biochemistry, 162, 36-47.

64. Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2015). **Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants.** Frontiers in plant science, 6, 462.

65. Khan, N. A., Samiullah, Singh, S., & Nazar, R. (2007). **Activities of antioxidative enzymes, sulphur assimilation, photosynthetic activity and growth of wheat (Triticum aestivum) cultivars differing in yield potential under cadmium stress.** Journal of Agronomy and Crop Science, 193(6), 435-444.

66. Koch, J. R., Creelman, R. A., Eshita, S. M., Seskar, M., Mullet, J. E., & Davis, K. R. (2000). **Ozone sensitivity in hybrid poplar correlates with insensitivity to both salicylic acid and jasmonic acid. The role of programmed cell death in lesion formation**. Plant Physiology, 123(2), 487-496.

67. Kong, H., Zhang, Z., & Qin, J. (2021). **Interactive effects of abscisic acid (ABA) and drought stress on the physiological responses of winter wheat (Triticum aestivum L.).** Pakistan Journal of Botany, 53(5), 1545-1551.

68. Krasensky, J., & Jonak, C. (2012). **Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks.** Journal of experimental botany, 63(4), 1593-1608.

69. Kumar, P., Yadava, R. K., Gollen, B., Kumar, S., Verma, R. K., & Yadav, S. (2011). **Nutritional contents and medicinal properties of wheat: a review.** Life Sciences and Medicine Research, 22(1), 1-10.

70. Lee, H. I., Leon, J., & Raskin, I. (1995). **Biosynthesis and metabolism of salicylic acid.** Proceedings of the national academy of sciences, 92(10), 4076-4079.

71. Leopold, A. C., Musgrave, M. E., & Williams, K. M. (1981). **Solute leakage resulting from leaf desiccation**. Plant Physiology, 68(6), 1222-1225.

72. Li, G., Peng, X., Wei, L., & Kang, G. (2013). **Salicylic acid increases the contents of glutathione and ascorbate and temporally regulates the related gene expression in salt-stressed wheat seedlings**. Gene, 529(2), 321-325.

73. Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2001). **Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy**. Current protocols in food analytical chemistry, 1(1), F4-3.

74. Mallick, S. A., Azaz, K., Gupta, M., Sharma, V., & Sinha, B. K. (2013). **Characterization of grain nutritional quality in wheat**. Indian journal of plant physiology, 18, 183-186.

75. Marcińska, I., Czyczyło-Mysza, I., Skrzypek, E., Grzesiak, M. T., Janowiak, F., Filek, M., ... & Grzesiak, S. (2013). **Alleviation of osmotic stress effects by exogenous application of salicylic or abscisic acid on wheat seedlings.** International journal of molecular sciences, 14(7), 13171-13193.

76. Maruri-López, I., Aviles-Baltazar, N. Y., Buchala, A., & Serrano, M. (2019). **Intra and extracellular journey of the phytohormone salicylic acid.** Frontiers in Plant Science, 423.

77. Mehlhorn, H., Lelandais, M., Korth, H. G., & Foyer, C. H. (1996). **Ascorbate is the natural substrate for plant peroxidases.** FEBS letters, 378(3), 203-206.

78. Menconi, M. C. L. M., Sgherri, C. L. M., Pinzino, C., & Navari-Lzzo, F. (1995). **Activated oxygen production and detoxification in wheat plants subjected to a water deficit programme.** Journal of Experimental Botany, 46(9), 1123-1130.

79. Misra, N., & Saxena, P. (2009). **Effect of salicylic acid on proline metabolism in lentil grown under salinity stress.** Plant Science, 177(3), 181-189.

80. Mittler, R. (2017). **ROS are good**. Trends in plant science, 22(1), 11-19.

81. Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., & Van Breusegem, F. (2004). **Reactive oxygen gene network of plants.** Trends in plant science, 9(10), 490-498.

82. Miura, K., and Y. Tada. 2014. **Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid.** Frontiers in Plant Science, 5(4):1-12.

83. Mohamed, H. E., & Hassan, A. M. (2019). **Role of salicylic acid in alleviating cobalt toxicity in wheat (Triticum aestivum L.) seedlings**. J. Agric. Sci, 11.

84. Mohanty, P., & Matysik, J. (2001). **Effect of proline on the production of singlet oxygen.** Amino acids, 21(2), 195-200.

85. Monakhova, O. F., & Chernyadév, I. I. (2002). **Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil draught.** Applied Biochemistry and Microbiology, 38(4), 373-380.

86. Munns R, Tester M. 2008. **Mechanisms of salinity tolerance.** Annual Review of Plant Biology 59: 651–681.

87. Murshed, R., Lopez-Lauri, F., & Sallanon, H. (2008). **Microplate quantification of enzymes of the plant ascorbate–glutathione cycle**. Analytical Biochemistry, 383(2), 320-322.

88. Murshed, R., Lopez-Lauri, F., & Sallanon, H. (2014). **Effect of salt stress on tomato fruit antioxidant systems depends on fruit development stage**. Physiology and Molecular Biology of Plants, 20, 15-29.

89. Natr, L., & Lawlor, D. W. (2005). **Photosynthetic plant productivity**. Photosynthesis Handbook,(2nd Ed). M. Pessarakli. CRC Press, New York, USA, 501-524.

90. Neill, S. J., Desikan, R., Clarke, A., Hurst, R. D., & Hancock, J. T. (2002). **Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants.** Journal of experimental botany, 53(372), 1237-1247.

91. Noctor, G., Reichheld, J. P., & Foyer, C. H. (2018, August). **ROS-related redox regulation and signaling in plants.** In Seminars in cell & developmental biology (Vol. 80, pp. 3-12). Academic Press.

92. Pál, M., Tajti, J., Szalai, G., Peeva, V., Végh, B., & Janda, T. (2018). **Interaction of polyamines, abscisic acid and proline under osmotic stress in the leaves of wheat plants.** Scientific reports, 8(1), 1-12.

93. Parveen, A., Ahmar, S., Kamran, M., Malik, Z., Ali, A., Riaz, M., ... & Ali, S. (2021 b). **Abscisic acid signaling reduced transpiration flow, regulated Na+ ion homeostasis and antioxidant enzyme activities to induce salinity tolerance in wheat (Triticum aestivum L.) seedlings.** Environmental Technology & Innovation, 24, 101808.

94. Parveen, A., Arslan Ashraf, M., Hussain, I., Perveen, S., Rasheed, R., Mahmood, Q., ... & Abd Allah, E. F. (2021 a). **Promotion of growth and physiological characteristics in water-stressed triticum aestivum in relation to foliar-application of salicylic acid.** Water, 13(9), 1316.

95. Per, T. S., Khan, N. A., Reddy, P. S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M. I. R., & Anjum, N. A. (2017). **Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics.** Plant physiology and biochemistry, 115, 126-140.

96. Peterson, P. M. (2013). **Poaceae (Gramineae).** eLS: Encyclopedia of Life Sciences.

97. Petrov, V., Hille, J., Mueller-Roeber, B., & Gechev, T. S. (2015). **ROS-mediated abiotic stress-induced programmed cell death in plants.** Frontiers in plant science, 6, 69.

98. Poudel, P. B., & Poudel, M. R. (2020). **Heat stress effects and tolerance in wheat: A review.** J. Biol. Today's World, 9(3), 1-6.

99. Qadir, M., Quillérou, E., Nangia, V., Murtaza, G., Singh, M., Thomas, R. J., ... & Noble, A. D. (2014, November). **Economics of salt-induced land degradation and restoration.** In Natural resources forum (Vol. 38, No. 4, pp. 282-295).

100. Qiu, Z., Guo, J., Zhu, A., Zhang, L., & Zhang, M. (2014). **Exogenous jasmonic acid can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress.** Ecotoxicology and environmental safety, 104, 202-208.

101. Razmi, N., Ebadi, A., Daneshian, J., & Jahanbakhsh, S. (2017). **Salicylic acid induced changes on antioxidant capacity, pigments and grain yield of soybean genotypes in water deficit condition.** Journal of Plant Interactions, 12(1), 457-464.

102. Rengasamy, P. (2002). **Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview.** Australian Journal of Experimental Agriculture, 42(3), 351-361.

103. Reynolds, M., Skovmand, B., Trethowan, R., & Pfeiffer, W. Evaluating a **Conceptual Model for Drought Tolerance.** Production in Water-Limited Environments, 49.

104. Sabagh, A. E., Mbarki, S., Hossain, A., Iqbal, M. A., Islam, M. S., Raza, A., ... & Farooq, M. (2021). **Potential role of plant growth regulators in administering crucial processes against abiotic stresses.** Frontiers in Agronomy, 3, 648694.

105. Sairam, R. K., & Saxena, D. C. (2000). **Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance.** Journal of Agronomy and Crop Science, 184(1), 55-61.

106. Sairam, R. K., & Srivastava, G. C. (2002). **Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress**. Plant Science, 162(6), 897-904.

107. Sairam, R. K., Rao, K. V., & Srivastava, G. C. (2002). **Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration**. Plant science, 163(5), 1037-1046.

108. Sairam, R. K., Srivastava, G. C., Agarwal, S., & Meena, R. C. (2005). **Differences in antioxidant activity in response to salinity stress in tolerant and susceptible wheat genotypes.** Biologia Plantarum, 49(1), 85-91.

109. Santos, C. V. (2004). **Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves.** Scientia horticulturae, 103(1), 93-99.

110. Saruhan, N., Saglam, A., & Kadioglu, A. (2012). **Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes.** Acta Physiologiae Plantarum, 34(1), 97-106.

111. Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B. F., & Mornhinweg, D. W. (1988). **Water relations in winter wheat as drought resistance indicators**. Crop Science, 28(3), 526-531.

112. Seleiman, M. F., Aslam, M. T., Alhammad, B. A., Hassan, M. U., Maqbool, R., Chattha, M. U., ... & Battaglia, M. L. (2022). **Salinity stress in wheat: effects, mechanisms and management strategies.** Phyton (0031-9457), 91(4).

113. Shafi, M., Bakht, J., Hassan, M. J., Raziuddin, M., & Zhang, G. (2009). **Effect of cadmium and salinity stresses on growth and antioxidant enzyme activities of wheat (Triticum aestivum L.).** Bulletin of environmental contamination and toxicology, 82(6), 772-776.

114. Shemi, R., Wang, R., Gheith, E. S., Hussain, H. A., Cholidah, L., Zhang, K., ... & Wang, L. (2021). **Role of exogenous-applied salicylic acid, zinc and glycine betaine to improve drought-tolerance in wheat during reproductive growth stages.** BMC Plant Biology, 21(1), 1-15.

115. Shigeoka, S., Ishikawa, T., Tamoi, M., Miyagawa, Y., Takeda, T., Yabuta, Y., & Yoshimura, K. (2002). **Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes.** Journal of experimental botany, 53(372), 1305-1319.

116. Shinozaki, K., & Yamaguchi-Shinozaki, K. (1997**). Gene expression and signal transduction in water-stress response.** Plant physiology, 115(2), 327.

117. Signorelli, S., Arellano, J. B., Melø, T. B., Borsani, O., & Monza, J. (2013). **Proline does not quench singlet oxygen: evidence to reconsider its protective role in plants.** Plant Physiology and Biochemistry, 64, 80-83.

118. Signorelli, S., Coitiño, E. L., Borsani, O., & Monza, J. (2014). **Molecular mechanisms for the reaction between• OH radicals and proline: insights on the role as reactive oxygen species scavenger in plant stress**. The Journal of Physical Chemistry B, 118(1), 37-47.

119. Sinclair, T. R., & Ludlow, M. M. (1985). **Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential**. Functional Plant Biology, 12(3), 213-217.

120. Singh, B., & Usha, K. (2003). **Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress**. Plant Growth Regulation, 39(2), 137-141.

121. Slesak, I., Libik, M., Karpinska, B., Karpinski, S., & Miszalski, Z. (2007). **The role of hydrogen peroxide in regulation of plant metabolism and cellular signalling in response to environmental stresses.** Acta Biochimica Polonica, 54(1), 39-50.

122. Smirnoff, N. (1993). **The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation.** New Phytologist, 125(1), 27-58.

123. Srivastava, A. K., Pasala, R., Minhas, P. S., & Suprasanna, P. (2016). **Plant bioregulators for sustainable agriculture: integrating redox signaling as a possible unifying mechanism.** Advances in agronomy, 137, 237-278.

124. Suhaib, M., Ahmad, I., Munir, M., Atta, B., & Abuzar, M. K. (2018). **Physiological and Bio-Chemical Responses of Two Different Wheat Genotypes to Applied Salicylic Acid under Salt Stress**. Pakistan Journal of Agricultural Research, 31(1).

125. Sultana, N., Ikeda, T., & Itoh, R. (1999). **Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains.** Environmental and Experimental Botany, 42(3), 211-220.

126. Tahjib-Ul-Arif, M., Roy, P. R., Al Mamun Sohag, A., Afrin, S., Rady, M. M., & Hossain, M. A. (2018). **Exogenous calcium supplementation improves salinity tolerance in BRRI dhan28; a salt-susceptible high-yielding Oryza sativa cultivar.** Journal of Crop Science and Biotechnology, 21(4), 383-394.

127. Upreti, K. K., & Sharma, M. (2016). **Role of plant growth regulators in abiotic stress tolerance.** Abiotic stress physiology of horticultural crops, 19-46.

128. Vanacker, H., Lu, H., Rate, D. N., & Greenberg, J. T. (2001). **A role for salicylic acid and NPR1 in regulating cell growth in Arabidopsis**. The Plant Journal, 28(2), 209-216.

129. Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). **Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines.** Plant science, 151(1), 59-66.

130. Verma, V., Ravindran, P., & Kumar, P. P. (2016). **Plant hormone-mediated regulation of stress responses.** BMC plant biology, 16(1), 1-10.

131. Wani, S. H., Kumar, V., Shriram, V., & Sah, S. K. (2016). **Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants.** The Crop Journal, 4(3), 162-176.

132. Wei, L., Wang, L., Yang, Y., Wang, P., Guo, T., & Kang, G. (2015). **Abscisic acid enhances tolerance of wheat seedlings to drought and regulates transcript levels of genes encoding ascorbate-glutathione biosynthesis.** Frontiers in plant science, 6, 458.

133. Yan, S., & Dong, X. (2014). **Perception of the plant immune signal salicylic acid.** Current opinion in plant biology, 20, 64-68.

134. Ye, N., Zhu, G., Liu, Y., Li, Y., & Zhang, J. (2011). **ABA controls H2O2 accumulation through the induction of OsCATB in rice leaves under water stress.** Plant and cell physiology, 52(4), 689-698.

135. Zhang, J., Jia, W., Yang, J., & Ismail, A. M. (2006). **Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses.** Field Crops Research, 97(1), 111-119.

ABSTRACT

The research was carried out in the laboratories of the Field Crops Department, Agriculture Faculty, Damascus University, and the General Commission for Biotechnology laboratories, in order to evaluate the effect of salicylic acid (1 mM) and abscisic acid (0.5 mM) on the adaptive capacity of some bread wheat ($Duma_2$, $Doma_4$), and durum ($Douma_1$, $Doma_3$) varieties in response to osmotic stress (-0.8 Mpa PEG-6000) and salt stress (75 mM NaCl) in agricultural pots. The experiment was carried out according to a complete randomized design (CRD), with three replications.

The application of both osmotic and salt stresses led to a decrease in the relative water content, an increase in the solutes leakage percentage, and the malonyldaldehyde concentration in all investigated varieties. Durum wheat varieties showed a higher ability to withstand the studied abiotic stresses compared to the bread wheat ones, indicating that there is a genetic variation between the two types of wheat, and the cultivars within the same species in the level of tolerance to abiotic stresses, where the variety Duma1 (ACSAD1105) was significantly superior in most of the studied traits [Relative water content, leaf proline content, chlorophyll concentration (a,b), and enzymatic antioxidants (SOD, APX, CAT)].

Spraying treatments with salicylic acid, abscisic acid, and a mixture of them increased the relative water content, leaf proline content, chlorophyll (a,b) concentration, and enzymatic and non-enzymatic (ascorbic acid) antioxidant activity, which led to a reduction in the destructive effect. For oxidative stress, a decrease in the peroxide radical concentration, the solutes leaking percentage through cellular membranes, and a decrease in the malonyl dialdehyde compound concentration were observed. The results indicate the role of these compounds/metabolites in enhancing the plant defense systems activities, and improving the tolerance level of both bread and durum wheat plants to abiotic stresses.

Keywords: Abscisic acid, osmotic stress, oxidative stress, salicylic acid, salt stress, wheat.

Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Agriculture
Field Crops Department

The Effect of Salicylic and Abscisic Acids Application on Mitigating the Oxidative Stress Factors under Osmotic and Salinity Stresses in Some Wheat (*Triticum* spp.) Varieties

A dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master in Faculty of Agriculture

(Field Crops Department)

by

Eng. Nebal Nour Aldeen

Supervisor

Prof. Dr. Ayman Shehadeh AL-Ouda

Department of Field Crops

Faculty of Agriculture

Damascus University

2023