

فسيولوجيا الإجهاد Stress Physiology

Stress Physiology

مقدمة:

النباتات التي تتعرض لظروف غير عادية مثل الإضاءة الشديدة، البرودة الشديدة Chilling، الحرارة الشديدة – التعطيش – التغريق – الإشعاع – التلوث سواء بالغازات السامة أو زيادة تركيز غاز معين مثل الأوزون، الإصابة بالمسببات المرضية. كل تلك العوامل وغيرها من عوامل الإجهاد البيئية Environmental stress factors . كل تلك العوامل تنشط وتنشط بعضها البعض في زيادة إنتاج active oxygen species .

ومن المعروف أن نوعيات معينة من الإنزيمات تتدخل لحماية الأنسجة ضد عمليات الأكسدة الناتجة عن فعل active oxygen species والناتجة أصلاً تحت ظروف stress .

أيضاً أجريت دراسات على تأثير درجة الحرارة المنخفضة على العمليات الفسيولوجية وأوضحت نقص شديد في عملية البناء الضوئي كما أجريت دراسات على تأثير غاز الأوزون O_3 فوجد أنه يؤثر بشدة على نقص عملية البناء الضوئي – نقص واضح في طول الجذور والسيقان للنباتات وأيضاً نقص واضح في كمية محصول النبات والسبب في السمية الشديدة Phytotoxicity المتسببة عن O_3 يرجع إلى قدرته الفائقة والشديدة على التأكسد لإنتاج جزيئات سامة (generate toxic molecular specie) مثل

super oxide anion, hydroxyl radicals, hydrogen peroxide .

أجمع العلماء على أن التأثير الضار أو المميت لظروف Stress يرجع للتأثير المباشر أو الغير مباشر لعوامل الإجهاد Stress على تكوين activated oxygen radicals والتأثير على سلسلة نقل الإلكترون.

في تجربة لإثبات إنتاج وتراكم activated oxygen radicals تحت ظروف water stress لوحظ أيضاً

زيادة في هدم الأغشية وزيادة في Lipid peroxides .

Free radicals and role of antioxidants

النباتات التى تتعرض للعديد من الظروف الجوية القاسية مثل الإرتفاع الشديد لدرجة الحرارة أو النقص الشديد فى محتوى التربة من العناصر المغذية أو ظروف التعطيش (نقص الماء) أو التفریق. كذلك الظروف البيولوجية الغير عادية أو الإصابة بالمسببات المرضية أو التلوث بالأوزون أو الإضاءة الشديدة أو الإشعاع الشديد. كل تلك الظروف تؤثر سلبا على نمو النباتات وجودة وكمية المحصول.

قام العديد من العلماء بدراسة إستجابة النباتات لظروف الإجهاد السابق ذكرها stress وما يتبع ذلك من تحرر الجذيرات الحرة Free radicals والتى تسبب دمار وهدم للخلايا والأنسجة النباتية وأيضاً المواد المضادة للأكسدة والتى تقوم بحماية هذه الخلايا والأنسجة النباتية تحت ظروف stress.

من المعروف أن Reactive oxygen species (Ros) أو المسمى Free radicals يتم التغلب عليها بما يسمى المواد المضادة للأكسدة والتى تقوم بمعادلة Free radicals فى الخلايا والأنسجة النباتية. ولكن هذا المواد المضادة للأكسدة يقلل محتواها تدريجياً وذلك بزيادة ظروف الإجهاد stress أو الشيخوخة (التقدم فى العمر) وهذه الظروف يحدث عندها زيادة ملحوظة فى نشاط الإنزيمات المؤكسدة oxidative enzymes والتى تقوم بإنتاج Reactive oxygen species (Ros) وكل هذا يسبب ويؤدى إلى زيادة تدهور الخلايا أو الأنسجة النباتية ودخول النباتات فى طور الشيخوخة Senescent plants.

من المعروف أن Oxygen free radicals من أهم العوامل المؤدية لدخول النبات فى طور الشيخوخة وذلك عن طريق تنشيط عمليات الأكسدة الضارة للجزيئات البيولوجية والتى تؤدى إلى هدم الخلايا وموت النبات.

أهم العوامل التى تظهر أو تنتج فى الخلايا والأنسجة النباتية تحت ظروف الإجهاد:

- 1- Lipoygenase activity.
- 2- Activated oxygen species.
- 3- Stressed promoting compounds such as;
 - A- Ethylene.

B- Jasmonic acid.

Lipoxygenase activity هو إنزيم يهدم ويحلل Poly unsaturated fatty acids بواسطة الأكسجين

ليعطى hydro peroxide products وكذلك يلعب هذا الإنزيم دور هام فى هدم الأغشية الليبيدية

breakdown of membrane lipids induced by stress

أنواع الشوارد الحرة Types of free radicals

: Activated oxygen species includes * *

من المعروف أن أنواع الأكسجين النشطة هي المادة المؤكسدة الرئيسية والهادمة للخلايا والأنسجة النباتية

تحت ظروف stress وهذا الأنواع الأكسجينية هي:

1- Super oxide radicals O_2^-

2- Hydroxy radicals OH.

3- Singlet oxygen radicals O_2

4- Peroxyl radicals H_2O_2

5- Alkoxy radicals Ro

6- Peroxyl radicals Roo.

7- Poly unsaturated fatty acids.

8- Semi quinine free radicals

9- Atomic oxygen radicals (O^-)

10- Photolytic ozonation radicals (O_3)

11- Sulfur monoxide radicals (SO^-)

هذه المواد activated oxygen species وخاصة (OH) , (O_2) مواد مؤكسدة قوية جداً وتقوم سريعاً

بمهاجمة الجزيئات البيولوجية Biomolecules مثل جزيئات DNA مما يؤدي إلى خلل شديد في عمليات

metabolism واختلال وظيفي لا يمكن إصلاحه أو تعويضه مما يؤدي إلى موت خلايا الأنسجة النباتية.

المواد المضادة للأكسدة Antioxidants

المواد المضادة للأكسدة منها ما هو إنزيمي ومنها ما هو غير إنزيمي. ومن أمثلة الإنزيمات المضادة

للأكسدة Antioxidative enzymes.

1-Superoxid dismutase

2-Catalase

3-Peroxidase

4-Ascorbate-glutathione cycle enzymes

5-Ascorbate peroxidase

6-Mono-dehydro ascorbate reductase

7-Dehydro ascorbate reductase

8-Glutathione reductase

أمثلة للمواد غير الإنزيمية المضادة للأكسدة : Non enzymatic antioxidative

- 1- Ascorbate (Vit.C) وهذه المواد تتواجد بوفرة في الكلوروبلاست
- 2- Glutathion والميتوكوندريا والبيروكسيزوم.
- 3- &-Tocopherol (Vit.E)
- 4- Caroteine
- 5- Flavonoids.

تحت الظروف الطبيعية Normal conditions يقوم نظام الحماية من خلال المواد المضادة للأكسدة Antioxidative defense system يقوم بحماية النظام الخلوى ضد (من) الأكسجين النشط.

ولكن عند زيادة الأكسجين النشط بدرجة عالية جداً ويكون نشاطه أكبر من طاقه النظام الدفاعى للمواد المضادة للأكسدة antioxidant system كما هو الحال فى ظروف stress أو الشيخوخة فإن إجهاد

الأكسدة يظهر بوضوح Oxidative stress produced

الدور الفسيولوجى لجذيرات الأكسجين النشطة فى الأنسجة النباتية

Physiological Roles of activated oxygen radicals in plant tissues

- جذيرات الأكسجين الحرة الناتجة فى الخلايا النباتية يمكنها أن تلعب دوراً مهماً فى العمليات الفسيولوجية مثل:

- 1- Cellular damage.
- 2- Promotors of senescence.
- 3- Metabolic oxidation.

- فى الكلوروبلاست يتم إنتاج superoxide radicals (O_2) من خلال التفاعل PSI هذا الأكسجين النشط يتم السيطرة عليه من خلال تحويله إلى H_2O_2 وإذا لم يتم كنس O_2 فى صورة (scaveng) H_2O_2 والناتج من PSI فى الكلوروبلاست فإن تثبيت CO_2 إلى كربوهيدرات (CO_2 fixation) سوف يتوقف خلال ثوانى مما يؤدى لحدوث ذبول واضح.

- الإنتاج المستمر من H_2O_2 الناتج من O_2 من خلال PSI يقوم بتنشيط بعض إنزيمات Calvin cycle وكذلك أكسده وهدم نواتج عمله البناء الضوئى.

- الإصابة الميكروبية أو الفيروسية ينتج عنها زيادة فى إنتاج oxygen free radical وكذلك (NO) Nitrogen oxide. ويحدث بين جذيرات الأكسجين وأكسيد النتروجين تفاعل ينتج عنه Peroxynitrite وهذا المركب يسبب أكسدة خلايا الأنسجة النباتية وكذلك إحداث طفرات من خلال أكسدة ونترته الجزيئات الحيوية. (Oxidation and nitration of various biomolecules)

أمثلة لبعض المواد الكانسة أو المثبطة للجذيرات الحرة Scavengers and inhibitors of free radicals

- 1- Azide (inhibit myeloperoxidase).
- 2- 1.4 diazo – bicycle – (2-2-2) octan (DABCO).
- 3- Diphenylisobenzofuran (as O₂ trap).
- 4- Deuterium oxide.
- 5- Superoxide anion dismutase (SOD) convert (O₂ to H₂O₂).
- 6- Sulfite (scavenge O₂ produced by xanthin oxidase).
- 7- Benzoate (Trap for OH).
- 8- Mannitol (scavenge OH).
- 9- Ascorbic acid (it is oxidized by both H₂O₂ to dehydromonoascorbate).
- 10- Triton (iron chelator) (inhibit peroxiadase).
- 11- Catalase.
- 12- Salicyl hydroxamic acid (SHAM) (inhibit lipoxygenase).
- 13- Cyanide (metabolic inhibitor).
- 14- Detergents (chloro mercuri benzoate) (inhibit NADPH₂ oxidase).

تعتبر المواد السابق ذكرها مواد كانسة أو مثبطة لجذيرات الأكسجين النشطة Activated oxygen radical scavengers or inhibitors

ومن المعروف أن الخلية النباتية تحتوى على المواد المنظفة أو الكانسة Scavengers والخاصة بها مثل الإنزيمات – الكربوهيدرات – الأحماض النووية – الأحماض الأمينية.

Plant Response to Stress

يحدث الإجهاد بفعل تعرض النبات لظروف خارجية معاكسة وغير طبيعية ويكون لها تأثير واضح على النمو والإنتاج للنباتات.

Biotic stress: وهو الإجهاد الناتج عن الكائنات الحية مثل الإصابات الفطرية – البكتيرية – الفيروسية
abiotic stress: وهو الإجهاد الناتج عن فعل مؤثرات فيزيائية أو كيميائية (عوامل بيئية).

العوامل البيئية (abiotic) Environmental

1- water – logging

2- Drought

3- High r low temperatuse

4- Soil Salinity

5- Inadequate mineral in the soil

6- Too much or too little light

7- Phytotoxic compounds (Ozone)

وتتوقف درجة مقاومة أو حساسية النباتات لظروف الإجهاد على نوع النبات – التركيب الوراثى – مرحلة النمو.

كما أن هناك العديد من العوامل التى تحدد درجة استجابة النبات لظروف الإجهاد البيئية مثل.

١ – نوع الإجهاد الذى يتعرض له النبات.

٢ – عدد المرات التى يتعرض فيها النبات للإجهاد.

٣ – فترة التعرض لظروف الإجهاد.

٤ – درجة الإجهاد (شدة الإجهاد).

٥ – مرحلة العمرية للنبات.

٦ – التركيب الوراثى.

٧ – وجود بعض العوامل المنشطة المشجعة لمضاعفة آثار وشدة الإجهاد Stress resistance

mechanisms ميكانيكية مقاومة الإجهاد.

عملية مقاومة الإجهاد يكون من خلال أحد طريقتين:

١ – تجنب التعرض لظروف الإجهاد Avoidance mechanism

٢ – دفع النبات لتحمل للإجهاد مثل إجراء عمليات الأقلمة – تحسين النمو وذلك قبل التعرض لظروف

الإجهاد To lerance mechanism.

لنلاحظ أن بعض النباتات تتحمل لظروف الإجهاد وذلك من خلال الأقلمة مثل نبات التين الشوكي والصبار المعروف بمقاومته للجفاف حيث السيقان المتورقة والأوراق العصيرية والجذور المتعمقة فى التربة. كما يحدث بها تغيرات فسيولوجية من شأنها تزيد إسموزية العصير الخلوى لأنسجة النبات.

كما وجد فى بعض النباتات التى تتميز بتحملها لظروف الإجهاد أنه يتم بها عملية تنظيم للهرمونات الداخلية فى الأنسجة النباتية مثل ABA (abscisic acid) & Ethylene & Jasmonic acid وكل ذلك يخضع

للعمل والتحكم الجينى Gene expression.

تحمل الجفاف والملوحة To lerance to drought and Salinity

تعديل ضبط الإسموزية ودوره فى تحمل إجهاد الجفاف والملوحة

- من المعروف أن ضبط الإسموزية لخلايا الأنسجة النباتية هى الميكانيكية التى تساعد النبات على الأقلمة تحت ظروف الجفاف والملوحة.

- من المعروف أيضاً أن النبات لا يستطيع إمتصاص الماء من التربة وذلك لأن إسموزية خلايا الجذور أقل من إسموزية محلول التربة المحيطة بالنبات فى ظروف الملوحة.

- بعض النباتات حساسة بدرجة كبيرة لظروف الإجهاد وبالتالي فإن جذورها تذبل وتموت بينما بعض النباتات مقاومة لظروف الإجهاد بدون أن يحدث لخلاياها أى بلزمة.

- النباتات المقاومة لإجهاد الجفاف تتمكن من تعديل إسموزية خلاياها من خلال زيادة تركيز العصير الخلوى ببعض المكونات التى ترفع من الضغط الإسموزى لمقاومة ظروف الإجهاد.

- من المركبات التي يمكنها زيادة إسموزية الخلايا – البرولين (Proline) ، برولين بيتين (Pinitol) ، مانيتول (Manitol) ، مانيتول (praline betaine).
 - بعض النباتات تحت ظروف الإجهاد (Salt stress) من خلال تثبيط تخليق السكرز بينما ينشط تخليق سكر المانيتول (Manitol) وسكر المانيتول هو الصورة المختزلة للسكر المانوز (Mannose) وهذه الظاهرة تحدث في نباتات (Celery) الكرفس. ولذلك يمكن لبذور نباتات الكرفس الإنبات بكفاءة تحت ظروف الملوحة المرتفعة.
 - بعض النباتات تحت ظروف الإجهاد يتراكم بها سكر البنترول (Pinitol) وهو من السكريات الحلقية الكحولية ويتراكم في بعض نباتات العائلة الصنوبرية والعائلة البقولية مثل Sesbania sp عندما يتم ريها بمحلول ملحي ويتم تراكم هذا السكر البنترول في الكلوروبلاست والسيستول بينما لا يتراكم إطلاقاً في الفجوات العصارية.
 - لوحظ تراكم أحد أنواع البروتينات مثل الأسموتين (Osmotin) وهو بروتين قلوي يتراكم في أوراق نبات الدخان المعرضة لظروف الإجهاد الملحي. كما لوحظ تراكم هذا البروتين بدرجة عالية عند تعرض النبات للمسببات المرضية وهذا البروتين يثبط نمو هيفات الفطر والجراثيم أيضاً.
 - يتم تنشيط تخليق الجين المسئول عن تخليق الاسموتين (Transcription of sn Osmotin) gene تحت الظروف التالية:
- | | |
|----------------|---------------------------|
| ١ – وجود ABA | ٢ – وجود Ethylene |
| ٢ – وجود Auxin | ٤ – الإصابة بالفيروس TMV |
| ٥ – نقص الماء | ٦ – الأشعة فوق بنفسجية UV |
| ٧ – الجروح | ٨ – الإصابة الفطرية. |

Oxidative stress

يحدث هذا النوع من الإجهاد تحت ظروف إنتاج (AOS) جذيرات الأكسوجين النشطة active oxygen species والتي لها المقدرة على إتلاف عمليات التحولات الغذائية والأغشية البلازمية وأيضاً إتلاف DNA وموت الخلايا.

العوامل البيئية المسببة لظروف الإجهاد بالأكسدة Environmental factors that Oxidative stress

- 1- air pollution (Ozone & Sulfur oxide).
- 2- Oxidant Forming herbicides (paraquat dichloride).
- 3- Heavy metals.
- 4- Drought.
- 5- Heat and cold stress.
- 6- Wounding.
- 7- Uv light.
- 8- Intense light that stimulate photoinhibition.
- 9- Pathogen infection.

• لوحظ أن Ros مثل Hydrogene peroxide & super oxide anion مهمين جداً ويتم الإحتياج إليهم لتكوين اللجنين (lignification) وهذا المركب مهم جداً لأنه وسيلة حماية ودفاع ضد الإصابات المرضية Pathogen infection.

• الأوزون Ozone من أهم المركبات المسببة لعمليات الأكسدة في خلايا الأنسجة النباتية. ويتم تخليق الأوزون عند توافر كل من الهيدروكربونات (Hydrocarbones) ، أكاسيد النيتروجين (No & No2) & أكسيد الكبريت (So) والتي تتفاعل مع أشعة UV فيتم تخليق الأوزون (O₃).

• يؤثر الأوزون على النباتات سلبياً فهو يعمل على

- 1- decreased photosynthetic rate
- 2- Leaf injury.
- 3- Reduced growth of shoots & roots.

4- Accelerated Senescence.

5- Reduced Crop yield.

وتتفاوت النباتات أيضاً في درجة حساسيتها أو تحملها للتعرض للأوزون.

- يسبب الأوزون عمليات أكسدة ضارة للمحتويات البيوكيماوية فيتم هدم Lipids proteins والأغشية البلازمية ، كذلك يسبب إنتاج Free radicals ، Hydroxyl radicals ، Superoxide ion ، hydrogen peroxide وذلك بتفاعل الأوزون مع الإيثيلين.
- الأوزون يشجع الجروح على تكوين الإيثيلين وتراكم Salicylic acid كما أن الأوزون يعمل على هدم الأغشية البلازمية كما سبق ذكره فيحدث للأغشية:

- 1- alter ion transport.
- 2- Increase membrane permeability.
- 3- Inhibits H⁺ Pump activity.
- 4- Collapses membrane potential.
- 5- Increases Ca⁺² uptake from apoplasm.

تحمل إجهاد الأكسدة

Tolerance to Oxidative stress

زيادة تخليق مركبات ومواد مضادات الأكسدة وكذلك إنزيمات مضادات الأكسدة يشجع وتؤدي إلى زيادة

تحمل إجهاد الأكسدة Oxidative stress.

والجدول التالي يعطي الأمثلة لظروف الإجهاد بالأكسدة بمسببات مختلفة والمواد المضادة للأكسدة أو

إنزيمات مضادات الأكسدة التي تؤدي إلى تحمل الإجهاد بالأكسدة وذلك في كل حالة من مسببات الإجهاد

بالأكسدة:

Stress Conditions, antioxidants or enzymes

ظروف الإجهاد (مسبب الإجهاد) Stress Condition	المادة أو الإنزيم المضاد للأكسدة Antioxidant or antioxidant enzyme
Chilling – high Co ₂	Anionic peroxidase
Drought – Co ₂ – Ozone – high light intensity	Ascorbate peroxidase
Chilling	Catalase
Chilling – drought , heat – Co ₂ - Ozone , So ₂	Glutathion
Chilling – drought - Co ₂ – Ozone - paryuate	Glutathion reductase

Deficiency of K , Ca , Mg , Mn , S , B-drought – Polyaminase
heat - ozone
Chilling - CO ₂ - highlight – Ozone – paraquat – Super oxide dismutase SOD
SO ₂

التعرض للأوزون أيضاً يسبب زيادة المحتوى من H₂O₂ والذي ينشط أيضاً إنتاج الساليسليك (SA) وكذلك بعض المركبات الثانوية الناتجة من التحولات الغذائية مثل **Callose & Lignins & Phytoalexins** & **extensins**.

Heat stress

النباتات التي تتعرض لدرجات حرارة مرتفعة يحدث بها تغيرات شديدة في التحولات الغذائية وتخليق أنواع جديدة من البروتين والذى يعرف باسم **Heat shock proteins (HSP)** ويحدث هذا غالباً إذا ما تعرضت النباتات لدرجات حرارة أعلى من الحد الأمثل بحوالى 5 °م. كما يحدث أيضاً هدم للخلايا – وفساد للأغشية البلازمية.

Salinity Stress physiology

ثالثاً: تأثير الإجهاد الملحي على النمو **Effect of salinity stress on growth**:
أوضح العديد من العلماء أن للإجهاد الملحي تأثير مثبط على النمو الخضري للنباتات وهذا التثبيط قد يرجع إلى الأسباب التالية:

- ١ – نقص إمتصاص النبات للماء بسبب زيادة تركيز الأملاح في وسط الإمتصاص.
- ٢ – نقص في جميع أنشطة التحولات الغذائية في الخلايا النباتية.
- ٣ – نقص واضح في النشاط المرستيمى للخلايا وكذلك نقص واضح في إستطالة الخلايا.
- ٤ – زيادة واضحة في معدل تنفس الخلايا مما يستهلك جزء وافر من الطاقة.
- ٥ – هدم الخلايا النباتية النامية وبالتالي لا تؤدي الخلايا وظيفتها المعتادة.
- ٦ – نقص إمداد الخلايا والأنسجة بإحتياجاتها الأساسية من نواتج التحولات الغذائية.
- ٧ – زيادة الأملاح في التربة تؤدي إلى نقص واضح في انقسام الخلايا وإستطالتها.
- ٨ – حدوث خلل واضح وعدم توازن في المحتوى الهرمونى الداخلى في الأنسجة النباتية.

- ٩ - النقص الواضح فى تحولات البروتين ونقص تخليق الأحماض النووية فى الأنسجة النباتية.
- ١٠ - الإجهاد الملحي يؤدى إلى نقص النمو من خلال التأثير المثبط على أنشطة التحولات الغذائية، عدم التوازن الأسموزى ، النقص الواضح فى امتصاص العناصر المغذية ، نقص تخليق البروتين ، نقص واضح فى عملية البناء الضوئى.
- ١١ - حدوث سمية Toxicity بسبب تراكم بعض الأيونات فى خلايا أنسجة النبات مثل أيونات Cl^- & Na^+ .
- ١٢ - حدوث نقص واضح وحاد فى المحتوى وكذلك إمتصاص عناصر K (البوتاسيوم) ، P (الفوسفور).
- ١٣ - نقص واضح فى إمتصاص عناصر المغذيات الصغرى.
- ١٤ - حدوث شيخوخة مبكرة للأوراق النباتية وإصفرارها وظهور بقع ميتة على الأوراق. وذلك نتيجة لتراكم العناصر السامة فى خلايا أنسجة الورقة.
- ١٥ - نقص واضح فى المساحة الورقية وبالتالي حدوث نقص فى كفاءة عملية البناء الضوئى وكذلك نقص واضح فى المحتوى الهرمونى.
- ١٦ - حدوث نقص واضح فى تركيز المحتوى من الهرمونات النباتية المنشطة مع حدوث زيادة فى المحتوى من المثبطات النباتية مثل ABA مما يؤدى إلى حدوث نقص واضح فى عمليات النمو فى النبات.
- ١٧ - حدوث زيادة واضحة فى إنتاج الجذيرات الحرة Free – radicals مثل Ros (ذرات الأكسوجين النشطة) أو OH^- مجاميع الهيدروكسيل النشطة أو NO_2 (أكسيد النيتروجين) ، SO (أكسيد الكبريت) CO_2 (مجاميع الكربوكسيل النشطة) وهذه الجذيرات الحرة لها تأثير مدمر على الأغشية الخلوية وعملية البناء الضوئى والمحتوى من DNA (الحمض النووى).

١٨ - الجذيرات الحرة الناتجة عن تأثير الإجهاد الملحي تتداخل أيضاً بدرجة كبيرة فى عمل

البروتينات - السكريات - الليبيدات - الأحماض النووية. مما يؤدى إلى اضطراب فى عمل

الخلايا وتحولاتها الغذائية مما ينعكس على النمو.

• لوحظ زيادة المحتوى من ROS (الجذيرات الحرة) نتيجة تواجد النبات فى وسط ترتفع به نسبة

الأملاح المذابة (إجهاد ملحي) وهذه الجذيرات الحرة لها تأثير مدمر على المحتوى من الأحماض

النووية DNA والبروتينات والسكريات.

• كما لوحظ زيادة المحتوى من Lipid hydro peroxide & H₂O₂ وهذه المركبات تسبب أكسدة

وتدمير الأغشية البلازمية.

• لوحظ أيضاً نشاط واضح فى المحتوى من بعض مواد مضادات الأكسدة وخاصة مضادات الأكسدة

الإنزيمية فى خلايا أنسجة الجذور.

• لوحظ زيادة فى المحتوى من أنزيمات مضادات الأكسدة أيضاً مثل البيروكسيدير (APX)

الجلوتاثيون رديكتيز (GR) ، سوبر أكسيد دسميوتيز (SOD) ، كاتاليز.

• لوحظ زيادة فى المحتوى من مضادات الأكسدة الغير أنزيمية مثل

1- Lipid – soluble membrane (a- Tocopherol & B- Carotene).

مضادات أكسدة تذوب فى الليبيدات.

2- Water – soluble (glutathione & ascorbate)

مضادات أكسدة تذوب فى الماء.

— تأثير الإجهاد على صبغات البناء الضوئى

- إحتواء بلاستيدات الميزوفيل فى الطماطم على حبيبات نشا كبيرة تتمركز فى وسط البلاستيدة.

- إحتواء البلاستيدات على قطرات الليبيدات.

- لوحظ أن حبيبات النشا الكبيرة الموجودة بالبلاستيدات تكون محاطة بغشاء رقيق.

- فى حالة عدم وجود حبيبات النشا فإن الجراننا تكون عديدة وصغيرة.
- لوحظ إنتفاخ البلاستيدات وتآكل الجراننا.
- لوحظ وجود العديد من الريبوسومات فى البلاستيدات.
- لوحظ إنكماش وتقلص حجم البلاستيدات الخضراء.
- لوحظ أن البلاستيدات فى بعض الحالات تصبح بدون جراننا تقريباً $granalless$.
- نقص كفاءة تفاعل Hill.
- نقص كفاءة الفسفرة الضوئية وخاصة عند المعاملة بملح Na_2SO_4 .
- أكسدة الكاروتين والذى بدوره يحمى الكلوروفيل من الأكسدة فعند أكسدته يهدم الكلوروفيل بسرعة.
- كما لوحظ نقص كفاءة عملية البناء الضوئى ولكن بطريقة مختلفة تتوقف على نوع النبات فمثلاً:
- (١) فى البصل: نقص كفاءة البناء الضوئى كان من خلال غلق الثغور لعدم حدوث توازن مائى.
- (٢) البقوليات: ترجع إلى نقص كمية CO_2 المتحصل عليها نتيجة لنقص إنفتاح الثغور.
- (٣) القطن: يرجع النقص فى كفاءة البناء الضوئى نتيجة للتأثير على
- أ - تفاعل Hill ، ب - عملية تثبيت CO_2 من خلال دورة تفاعل الظلام.
- o لوحظ نقص واضح فى المحتوى من صبغات البناء الضوئى تحت ظروف الإجهاد الملحى وذلك لأن إنزيمات هدم الكلوروفيلات تنشط تحت ظروف الإجهاد.
- o لوحظ أيضاً حدوث تحور وتشوه فى حجم وشكل البلاستيدات الخضراء تحت ظروف الإجهاد الملحى وكذلك هدم ما بها من معقد البروتين - الكلوروفيل.
- o لوحظ تثبيط نشاط الإنزيمات التى تساعد على تخليق الكلوروفيلات.
- o زيادة المحتوى من أيونات Cl & Na فى الكلوروبلاست يؤثر على تخليق ونشاط الإنزيمات المرتبطة بالحديد وكذلك إنزيمات Cytochrome Oaidase.

○ الإجهاد الملحي يؤدي إلى نقص المحتوى من صبغات البناء الضوئي نتيجة لنقص تخليق السيتركرومات في جذور النبات ونقص إنتقاله إلى المجموع الخضرى للنبات وفى المقابل يحدث زيادة واضحة فى تخليق هرمونات مثبطة لتخليق الكلوروفيلات مثل هرمون ABA (حمض الإيثيسيك) وهذا الهرمون يؤدي إلى تنشيط هدم الكلوروفيلات مما يؤدي إلى دخول الأوراق فى طور الشيخوخة.

○ يحدث تنشيط للتنفس الضوئي تحت ظروف الإجهاد الملحي مما يؤدي سرعة عمليات الهدم لصبغات البناء الضوئي فى الكلوروفيلات وخاصة تحت ظروف نقص المحتوى المائى بفعل الإجهاد.

○ لوحظ النقص الواضح فى المحتوى من الكاروتين تحت ظروف الإجهاد الملحي ومن المعروف أن للكاروتين دور فى منتهى الأهمية فى حماية الكلوروفيل من الهدم تحت ظروف الأكسدة الضوئية عن طريق التنفس الضوئي أو بفعل الجذيرات الحرة Free radicals مما ينتج عنه فى النهاية نقص المحتوى من الكلوروفيلات بصورة كبيرة.

تأثير الإجهاد الملحي على المحتوى من البرولين فى الأنسجة النباتية Effect of salinity stress on proline accumulation plant tissues

من أهم المحتويات البيوكيماوية تأثراً فى النبات تحت ظروف الإجهاد الملحي أو المائى هو المحتوى من الحمض الأميني "برولين" والذي له علاقة وثيقة الصلة فى ميكانيكية مقاومة النبات لظروف الإجهاد.

من الوظائف الحيوية الهامة والتي يؤديها تراكم الحمض الأميني برولين تحت ظروف الإجهاد عدة وظائف من أهمها.

وظيفة البرولين في الخلايا المعرضة للإجهاد الملحي:

- ضبط الضغط الأسموزى.
- مخزن للكربون والنيتروجين اللازمين للنمو تحت الإجهاد.
- مضاد للتسمم بالأمونيا.

• ثبات البروتين والأغشية.

• تكنس الجزيرات الحرة.

• تحسن ثبات بعض أنزيمات الميتوكوندريا وأنزيمات السيتوبلازم.

• حماية الأنزيمات والأغشية ضد الملوحة.

• زيادة إنحلال البروتين.

وتراكم البرولين يكون بسبب الإضطراب في هدم الأحماض الأمينية المتعلق بتكسير البروتين والشيخوخة الناتجة من الملوحة.

تراكم الجلوتامات والأمونيا في النباتات المعرضة للإجهاد الملحي يؤدي إلى إستحثاث تكوين البرولين بالتأثير المباشر أو الغير مباشر من نسبة المواد البنائية /المواد الناتجة.

سبب آخر لتراكم البرولين في النبات هو نقص نشاط كل من Proline Dehydrogenase &

Proline Oxidase .

بعض العلماء أشارو إلى أهمية الكربوهيدرات الذابة في إستحثاث تراكم البرولين عن طريق تثبيط أنزيمات هدم البرولين مما يؤدي إلى زيادة بناء وتراكم البرولين.

١ – ضبط الوسط الأسموزي لخلايا الأنسجة النباتية.

٢ – إزالة الآثار السامة لتراكم الأمونيا في الخلايا.

٣ – الحفاظ على ثبات وحيوية البروتين والأغشية السيتوبلازمية وعدم تأثرها بظروف الإجهاد المدمرة.

٤ – يعتبر من أهم مواد مضادات الأكسدة حيث يعمل على حصدوكنس الجذيرات الحرة Free

radicals من الأنسجة النباتية.

٥ – حماية وتنشيط وثبات إنزيمات الميتوكوندريا تحت ظروف الإجهاد.

٦ - يلعب البرولين دور هام جداً في حماية الأنسجة النباتية تحت ظروف الإجهاد الملحي حيث يساهم في ربط وتقييد العناصر السامة الممتصة تحت هذه الظروف.

٧ - يساهم البرولين في ضبط PH السيتوبلازم.

من المهم أن تعرف أن محتوى البرولين يزداد ويرتفع تحت ظروف الإجهاد وذلك لحماية النبات من هذه الظروف ويرجع زيادة المحتوى من البرولين وزيادة تراكمه إلى نقص أكسدته من ناحية أو من زيادة هدم البروتين وتحوله إلى أحماض أمينية منها البرولين.

٥ لوحظت علاقة وثيقة بين زيادة تراكم البرولين وزيادة المحتوى من السكريات الذائبة والتي تساعد على ضبط إسموزية الخلايا والأنسجة.

٥ من المعروف تراكم الجذيرات الحرة Free radicals يتم التحكم فيه بواسطة المواد الكانسة Free radicals Scavengers مثل Catalase & Peroxidase & Super oxide & dismutase .Sugars & Proline

٥ البرولين من المواد الكانسة Scavengers الفعالة في أصطياد (OH) ويقوم بحماية الأغشية البلازمية من الأكسدة enhance membrane lipid peroxidation

تأثير الإجهاد الملحي على تراكم الأيونات Effect of salinity stress on ion contents

لوحظ في النباتات النامية تحت ظروف الملوحة المرتفعة حدوث تراكم بعض الأيونات في أنسجة جذورها مثل الصوديوم والكلوريد ويتراكم وجود الصوديوم غالباً في الفجوات العصارية Vacuoles وذلك لزيادة الضغط الإسموزي للعصير الخلوي لمقاومة الضغط الإسموزي المرتفع لمحلول التربة النامي فيها النبات.

الصوديوم والكلوريد

وتراكم عنصر الصوديوم في الفجوات العصارية يسبب سمية كبيرة للخلايا كما أنه يتداخل مع مثل بعض الإنزيمات ويعوق عملها. كما أنه يتعارض مع البوتاسيوم في العديد من التفاعلات ويؤثر عنصر الصوديوم

كذلك تأثيراً كبيراً على حيوية الأغشية البلازمية وكذلك الخيوط السيتوبلازمية Plasmalemma حيث تفقد الأغشية البلازمية حيويتها وكذلك خاصية النفاذية الاختيارية التي تتمتع بها هذه الأغشية.

أما الكلوريد فإن تراكمه يسبب سمية أكثر من الصوديوم ويسبب نقص شديد فى كفاءة عملية البناء الضوئى. كما يؤدى أيضاً إلى نقص إمتصاص النبات للعديد من العناصر المغذية.

عنصر البوتاسيوم

أما عنصر البوتاسيوم فقد لوحظ حدوث نقص شديد لمحتواه فى أنسجة النباتات النامية تحت ظروف الملوحة المرتفعة حيث يقوم عنصر الصوديوم بالإحلال محل عنصر البوتاسيوم مما يؤثر على نفاذية الأغشية البلازمية. ويرجع السبب لنقص محتوى عنصر البوتاسيوم فى الأنسجة النباتية إما لهروبه وخروجه من الجذر إلى الوسط المحيط بالجذر من التربة الزراعية أو إلى نقص إمتصاصه بسبب تداخل عنصر الصوديوم فى إمتصاص البوتاسيوم وذلك لحدوث ظاهرة التضاد بين عنصرى الصوديوم والبوتاسيوم.

أيضاً لوحظ نقص واضح فى المحتوى من عناصر الفوسفور – الحديد – الزنك – النتروجين وذلك إما لهروب هذه العناصر من الجذر إلى خارج النبات أو لعدم إستطالة جذر النبات إمتصاص هذه العناصر بسبب الإسموزية المرتفعة جداً لمحلول التربة الخارجى المحيط بالجذر وكذلك للنقص الواضح فى إمتصاص الماء نظراً لظروف الإجهاد المرتفعة النامى فيها النبات.

عنصر الفوسفور

لوحظ نقص واضح فى محتوى النبات من عنصر الفوسفور تحت ظروف الإجهاد الملقى وذلك لأن عنصر الفوسفور غير متاح إمتصاصه تحت ظروف PH مرتفعة بسبب الوسط الملقى النامى فيه النبات (وسط قلوئى شديد) كما لوحظ تناقص شديد فى إنتقال الفوسفور من الجذر إلى الساق بسبب إرتفاع الضغط الإسموزى لخلايا الجذر. كما أن النقص فى محتوى عنصر الفوسفور قد يرجع أيضاً إلى نقص إمتصاص النبات للماء بسبب الإسموزية المرتفعة لمحلول التربة.

النيتروجين

لوحظ نقص واضح فى المحتوى من النيتروجين للأعضاء النباتية المختلفة. كما لوحظ أيضاً تداخل الكلوريد بشدة وخاصة مع النترات. كما يرجع نقص المحتوى من النيتروجين لنقص إمتصاصه بسبب نقص إمتصاص الماء المتاح تحت ظروف الإجهاد الملحي. كما يرجع السبب لنقص المحتوى أيضاً بسبب تأثير الكلوريد على النفاذية الاختيارية لأغشية خلايا الجذر.

الكالسيوم

يحدث تناقص فى المحتوى من الكالسيوم وذلك بزيادة تركيز الأملاح فى البيئة النامي فيها النبات. حيث لوحظ حدوث تضاد عنصرى الصوديوم والكالسيوم مما يسبب تثبيط فى إمتصاص عنصر الكالسيوم نظراً لوجود عنصر الصوديوم بوفرة.

تأثير الإجهاد الملحي على المحتوى من السكريات Effect of salinity stress on Sugars Contents

أدت الملوحة الزائدة إلى نقص محتوى النبات من السكريات المختزلة بينما أدت إلى زيادة المحتوى من السكريات الغير مختزلة والذائبة. وذلك يرجع إلى تثبيط نشاط الإنزيمات المحللة hydrolytic enzymes. ويؤدى تراكم السكريات الذائبة والغير مختزلة إلى زيادة الضغط الإسموزى للعصير الخلوى للخلايا والأنسجة مما يؤدى إلى معادلة الضغط الإسموزى مع الضغط الإسموزى الخارجى الناتج عن الإجهاد الملحي.

محتوى الهرمونات الداخلية (ABA):

- الإجهاد سواء إجهاد مائي أو ملحي أو درجة حرارة منخفضة يعمل على تكوين الأبسيسك.
- الأبسيسك يتحكم فى نمو النبات وتطورة وكذلك يتحكم فى كثير من العمليات الفسيولوجية مثل غلق الثغور وتشكيل الجنين وتكوين البذور وتكوين مخزون البروتين والدهون والإنبات والشيخوخة والدفاع عن الخلية ضد الميكروبات والطفيليات.
- كما يلعب الأبسيسك دوراً هاماً فى تكيف النبات لظروف البيئة.

- أثناء النمو الخضري وتكوين الجذور يتكون الأبسيسك وتنقله إلى المجموع الخضري تحت ظروف الإجهاد.

- وفي النباتات البرية محتوى الأبسيسك يزيد في حالة الإجهاد المائي ولكن عند إزالة الإجهاد المائي ينقع تكوين الأبسيسك ويعود إلى مستواه قبل الإجهاد.

- زيادة الأبسيسك يقلل نقص الماء عن طريق نقص فتحه للشغور وينظم الأبسيسك عملية التكيف مع ظروف البيئة عن طريق خطوتين هما:

أولاً: يعمل الأبسيسك عن طريق التأثير على إنتقال الإشارات في الخلية .

ثانياً: أو ينظم عن طريق جينات أو نواتج الجينات والتي تؤثر على عملية التكيف.

تأثير الإجهاد الملحي على المحتوى من مضادات الأكسدة Effect of salinity stress on the contene of antioxidants

لوحظ زيادة المحتوى من مضادات الأكسدة الأنزيمية والغير إنزيمية بسبب الإجهاد الملحي ومثال ذلك زيادة

أنشطة إنزيمات مضادات الأكسدة مثل Peroxdase , Catalase , Superoxid dismutase

glutathione reductase , dehydro ascorbate reductase

كما لوحظ زيادة المحتوى من مضادات الأكسدة الغير إنزيمية مثل

Total phenols , a- Tocopherol , Citric acid , ascorbic acid , polypeptides , putruscin, glutathione.

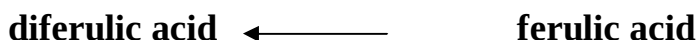
ومضادات الأكسدة هذه تعمل كمواد كاسنة Scavengers للجذيرات الحرة Free radicals الناجمة عن

الإجهاد الملحي والذي يؤثر على التحولات الغذائية المضطربة والتي ينتج عنها ROS.

-نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية:

البيروكسيديز في النبات تدخل في تكوين الجدار الخلوي وبالأخص تكوين اللجنين والسيوبرين.

زيادة نشاط البيروكسيديز يقلل نمو النبات؛ وذلك بسبب أن البيروكسيديز يحفز تحول



كما يقوم بتقليل ذوبان الجليكوبروتين الغني بالهيدروكسي برولين كما يؤدي إلى تيبس في جدار الخلية.

ولاصلاح الضرر الناتج من AOS :

يكون النبات نظام مضاد للأكسدة معقد وأول مركبات هذا النظام هي الكاروتينويد والأسكوربات والجلوتاثيون والتوكوفيرول والأنزيمات مثل السوبر أكسيد ديسميوتيز والكاتاليز والجلوتاثيون بيروكسيديز والأسكوربيك بيروكسيديز والأنزيمات الداخلة في دورة الأسكوربات جلوتاثيون مثل: الأسكوربيك بيروكسيديز و Mono dehydro Ascorbate reductase و dehydro

Glutathion Reductase و Ascorbate reductase .

ومعظم هذه المكونات لجهاز الدفاع المضاد للأكسدة توجد في مناطق تختلف في النبات وقد لاحظ أحد العلماء زيادة الأسكوربيك بيروكسيديز في الكلوروبلاست المفصول من النباتات المتحملة للإجهاد الملحي (NaCl) ونفس النتيجة وجدت في نباتات الفجل بالنسبة للأسكوربيك بيروكسيديز الموجود في السيتوسول.

كما لوحظ في أنواع القمح المتحملة للصوديوم كلوريد زيادة نشاط APX و SOD و DHAR .

وقال أحد العلماء أن النبات يمتلك أنظمة مضادة للأكسدة في شكل أنزيمات مثل: SOD و APX و GR و DHAR و CAT بالإضافة لحمض الأسكوربيك والجلوتاثيون وألفا توكوفيرول والكاروتينويد والفلافونيدات وغيرهم.

وهذه مضادات أكسدة تزيد في حالة الإجهاد ويزداد نشاطها في النباتات المتحملة للإجهاد الملحي أكثر من المعرضة له.

زيادة نشاط مضادات الأكسدة يقلل إجهاد الأكسدة ويزيد الضغط الأسموزي وزيادة إختيارية إمتصاص الأيونات المفيدة ويمنع التراكم الزائد للأيونات السامة وبذلك يساعد في تحمل الإجهاد الملحي.

وقد وجد أن المقاومة الكبيرة للملوحة بالنسبة للقمح مرتبط بقدرة العالية على زيادة نشاط مضادات الأكسدة الأنزيمية مثل SOD&GR&CAT مما يقلل إنتاج H_2O_2 و Lipid Peroxidation و زيادة ثبات الغشاء.

التأثير المفيد لتراكم المواد الأسموزية مثل السكريات الذائبة و البرولين والبوتاسيوم يؤدي إلى زيادة RWS وثبات الأنزيمات الضرورية مثل SOD و GR و CAT مما يؤدي إلى نشاطها الكبير تحت الإجهاد الملحي.

المحتوى الكلى للفينولات:

الفينولات هي نواتج هدم ثانوية مثل الفلافونويد والتانينات واللجنين والهيدروسنانات إستروهي كثيف في أنسجة النبات.

Polyphenols- تمتلك تركيبة كيميائية مثالية للتخلص من الجذيرات الحرة وهي أكثر فاعلية في التجارب المعملية أكثر من التوكوفيرول والأسكوربات .

Flavonoids- لها القدرة على تغيير عملية الـ Peroxidation عن طريق تغيير نظام تعبئة الدهون وتقلق السوائل في الأغشية وهذا التغير يمنع تشرب الجذيرات الحرة ويمنع عملية الـ Peroxidation (عملية تكوين H_2O_2) ولذلك فهي تحمي النباتات أيضا من فوق أكسيد الهيدروجين.

- الفينولات تؤخر أو تمنع الأكسدة الخارجية للدهون عن طريق وظيفتها في أسر الجذيرات الحرة وكذلك فهي مضادات أكسدة.

تزداد الفينولات الكلية مع زيادة مستوى الملوحة في التربة والتي تعمل على مقاومة هذه الملوحة. المركبات الفينولية تعتبر وسيلة تكيف خلوية لأسر جذيرات الأكسجين الحرة أثناء الإجهاد وهذه المركبات مع الأسكوربات تتأكسد في داخل الخلية مما يؤدي إلى ضرر بالخلية أيضا. الإجهاد الملحي يؤدي إلى زيادة تكوين اللجنين

- نشاط مضادات الأكسدة الغير أنزيمية:

١ - الأسكوربيك:

تنقسم مضادات الأكسدة الغير أنزيمية إلى طائفتين:

١ - الأسكوربيك.

٢ - الصبغات مثل الكاروتينويد.

الأسكوربيك هو أهم مضادات الأكسدة لأنه لا يتفاعل فقط مع H_2O_2 ولكن أيضا مع $O\& OH\&$

Lipid hydroperoxidase.

يدخل الأسكوربيك في العديد من الأنشطة الحيوية في النبات مثل :

(١) أنزيم مساعد لأنزيم آخر.

(٢) مضاد أكسدة.

(٣) معطي أو مستقبل في نقل الألكترونات في غشاء البلازما أو في الكلوروبلاست.

وجميعهم يساعد النبات في مقاومة الأكسدة.

يستعمل الأسكوربيك بيروكسيد حمض الأسكوربيك ويؤكسد إلى Mono dehydro Ascorbate والذي يتحول إلى Dehydro ascorate ويتعرض كل من MDA&DHA للإختزال وذلك لإعادتها مستودع الأسكورات.

وهذا النوع من مضادات الأكسدة يحدث بجوار PSI ولذا يقلل هروب الـ ROS أو تفاعلهم مع بعضهم البعض.

الأسكوربيك هو أكبر نواتج الهدم في الكلوروبلاست في النباتات المتقدمة ويقدر بـ ١٠% من الكربوهيدرات الذائبة في الأوراق.

٢ - المحتوى الكلى للفينولات:

الفينولات هي نواتج هدم ثانوية مثل الفلافونويد والتانينات واللجنين والهيدروسنومات إستروهي كثيفى في أنسجة النبات.

Polyphenols- تمتلك تركيبة كيميائية مثالية للتخلص من الجذيرات الحرة وهي أكثر فاعلية في التجارب المعملية أكثر من التوكوفيرول والأسكورات .

Flavonoids- لها القدرة على تغيير عملية الـ Peroxidation عن طريق تغيير نظام تعبئة الدهون وتقلق السوائل في الأغشية وهذا التغير يمنع تشرب الجذيرات الحرة ويمنع عملية الـ Peroxidation (عملية تكوين H_2O_2) ولذلك فهي تحمى النباتات أيضا من فوق أكسيد الهيدروجين.

- الفينولات تؤخر أو تمنع الأكسدة الخارجية للدهون عن طريق وظيفتها في أسر الجذيرات الحرة وكذلك فهي مضادات أكسدة.

تزداد الفينولات الكلية مع زيادة مستوى الملوحة في التربة والتي تعمل على مقاومة هذه الملوحة.

المركبات الفينولية تعتبر وسيلة تكيف خلوية لأسر جذيرات الأكسجين الحرة أثناء الإجهاد وهذه المركبات مع الأسكوربات تتأكسد في داخل الخلية مما يؤدي إلى ضرر بالخلية أيضا.

الإجهاد الملحي يؤدي إلى زيادة تكوين اللجنين.

-محتوى الجلوتاثيون المختزل:

الأهمية الفسيولوجية للجلوتاثيون في النبات تنقسم إلى مجموعتين :

١ - هدم الكبريت والدفاع في النبات والحيوانات & الجلوتاثيون مضاد للأكسدة و Redox

.Buffer

٢ - تأثيره في التعبير عن جينات الدفاع حيث يدخل الجلوتاثيون في التحكم في تفاعلات الأكسدة

والإختزال في إنقسام الخلية.

والأنزيمات التي تنظم عملية إعادة الجلوتاثيون والأسكوربات هي:

- 1) Ascorbic Peroxidase.
- 2) Glutathion reductase.
- 3) Super oxide dismutase.
- 4) Monodehydroascorbate reductase.

وتدخل هذه الأنزيمات في إعادة تكوين مضادات الأكسدة في خلايا النبات.

ودائرة الهدم هذه موجودة في كل من الكلوروبلاست والسيتوسول والتي تؤكسد بنجاح وتعيد إختزل

مضادات الأكسدة باستخدام NADH&NADPH كمعطيات للألكترونات ويعمل الأسكوربيك كعامل

مختزل في إعدام بناء ألفا توكوفيرول وفي دورة Zeaxanthin.

الدور الثالث للأسكوربيك على سطح Thylakoid في الكلوروبلاست والذي يعمل كعامل مختزل.

يختزل الأسكوربيك إلى Mono Dehydroascorbate radical كنتيجة لعملية Thylakoid.

ويعاد بناء الأسكوربيك بواسطة عملية تعتمد على الضوء في Thylakoid والتي تستخدم Ferredoxin كمصدر للعامل المختزل.

وفي حالة الأكسدة الكاملة لـ DHA فإن GSH هو العامل المختزل في عملية إعادة بناء الأسكوربيك والجلوتاثيون المتأكسد والمتكون يعاد إختزاله عن طريق GR حيث يلعب APX دور هام في هذه العملية.

العملية التي تحدث في الكلوبلاست والمتعلقة بامتصاص أو سحب الأكسجين ووظيفة APX وإختزال الأكسجين الجزيئي تسمى حديثاً باسم Mehler Ascorbate Peroxidase .Photorespiration

يعمل GSH كمضاد للأكسدة بطرق عديدة هي :

١ - يتفاعل يميائيا مع الأكسجين الذري والسوبر أكسيد والهيدروكسيل وبذلك يعمل بطريقة مباشرة على أسر الجذيرات الحرة .

٢ - يعمل على زيادة ثبات تركيبة غشاء النبات بواسطة إزالة Acyle peroxide المتكون بواسطة تفاعل Lipid Peroxidation.

٣ - عامل مختزل والذي يعيد دورة الأسكوربيك من الشكل المتأكسد إلى الشكل المختزل بواسطة أنزيم dehydroascorbate reductase.

٤ - GSH يختزل dehydroascorbate بواسطة عملية غير أنزيمية عند $pH > 7$ وتركيز

GSH أكبر من $1 \mu M$ وهذا يحدث في الكلوروفيل الذي يصل pH الخاصة به إلى ٨ وتركيز

GSH إلى $5 \mu M$.

دور بعض مواد النمو ومضادات الأكسدة فى التغلب على الأثر الضار للإجهاد الملحي
**Effect of some growth substances and antioxidants on
counteracting the Harmfull effect of salinity stress**

أولاً: دور مواد النمو

لوحظ أن لمواد النمو مثل الأوكسينات والجبريلين والكينين أثر فعال فى التغلب على الأثر الضار للإجهاد الملحي. وذلك من خلال إحداث تراكم لنواتج التحولات الغذائية مثل البرولين – الأمينات – السكريات – الأيونات – البولى أمينات وهذا يؤدى إلى زيادة الضغط الإسموزى للعصير الخلوى لمقاومة الإجهاد الملحي الخارجى علاوة على أن هذه المواد أيضاً تعمل كمضادات أكسدة.

علاوة على ذلك فإن مواد النمو (الهرمونات النباتية) أيضاً تؤدى إلى تنشيط عمليات فسيولوجية معينة يكون من نتيجتها التغلب على الأثر الضار للإجهاد الملحي على المحتوى البيوكيمائى والنمو للنبات وذلك من خلال:

§ تعمل الهرمونات على زيادة وتنشيط نمو الجذر وفى نفس الوقت تقليل مقاومة الجذر لإنسياب الماء إلى الداخل (زيادة إمتصاص الماء)

§ تعمل الهرمونات على التغلب على الخلل والتغيرات التى حدثت فى المحتوى من العناصر – صبغات البناء الضوئى – المحتوى الداخلى من الهرمونات النباتية.

§ تعمل الهرمونات على زيادة إمتصاص الماء من خلال الجذور وبالتالي زيادة إمتصاص العناصر المغذية.

§ تؤدى الهرمونات إلى زيادة المحتوى من البوتاسيوم (K) عن طريق زيادة إمتصاصه – كما تؤدى إلى زيادة تراكم السكريات فى أنسجه النباتات.

§ المعاملة بالهرمونات النباتية النشطة تؤدى إلى زيادة نسبة المنشطات إلى المثبطات من المحتوى الداخلى للهرمونات النباتية مما ينشط النمو وبالتالي التغلب على الأثر الضار للإجهاد الملحي.

§ تؤدي الهرمونات إلى زياده المحتوى من الكربوهيدرات – البرولين – الأحماض العضوية – ومن المعروف أن هذه المواد معروف عنها أنها منظمات أسموزيه Osmoregulators وكذلك كمضادات أكسدة للجذيرات الحرة Free radicals الناتجة عن الإجهاد الملحي.

§ تؤدي الهرمونات للتغلب على الأثر الضار للملوحة من خلال تنشيط تخليق الكلورفيلات وتنشيط هدم صبغات البناء الضوئي.

§ تؤدي الهرمونات أيضاً إلى زيادة المحتوى من الكاروتين – الجلوتاثيون – التوكوفيرول وبعض الإنزيمات مثل Catalase & GR & APX & SOD وكلها مضادات أكسدة وتحمي الخلايا من ROS الناتج من الإجهاد الملحي.

ثانياً: دور مضادات الأكسدة

Role of antioxidant materials on mitigate the harmful effect of salinity stress.

تتواجد مضادات الأكسدة بصورة طبيعية في خلايا أنسجه النبات وهذه المواد تنشط عند تعرض النبات لظروف الإجهاد Stress المختلفة وتعمل هذه المواد على كنس وأصطياد الجذيرات الحرة أو الشوارد الحرة Free radicals وحماية الخلية ومكوناتها من الأضرار الناتجة عن أكسدة الشوارد الحرة لأي من الأغشية البلازمية DNA.

ومضادات الأكسدة منها ما هو إنزيمي وما هو غير إنزيمي ومنها:

Superoxide dismutase (SOD)

- Catalase (CAT)
- Ascorbate peroxidase (APX)
- Glutathion reductase (GR)
- monodehydro ascorbate reductase (MDAR)
- Flavonoids.
- Carotenoids.
- Ascorbic
- Citric
- a- Tocopherol
- Poly and dipeptides
- Salicylic.

دور حمض الساليسيك في تقليل تأثير الإجهاد الملحي:

١. يقلل الساليسيك نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم في الجذور ويزيد تراكم الصوديوم في خلايا الأوراق يعمل كـ Osmolyte غير عضوي ويؤدي إلى زيادة جهد الماء ومحتوى الماء.
٢. ولذا فإن الساليسيك يحسن الأداء الضوئي للنبات تحت ظروف الإجهاد وطيف الكلوروفيل يعطي إشارة عن قدرة النبات على تحمل الإجهاد.
٣. وهذا يدل على أن المعاملة بـ حمض الساليسيك يحسن معدل التحول الغذائي للكربون تحت الضغط الأسموزي.
٤. في وجود حمض الساليسيك يتراكم مواد مختلفة مثل السكريات والكحولات والبرولين ويقوم POD&APX&GR & SOD بتغيرات مختلفة عند $10-10 \mu\text{m}$ و $4-10 \mu\text{m}$ من الساليسيك.
٥. المعاملة بالساليسيك يزود مستوى GSH ويزود نسبة GSH إلى GSSG وذلك يشير إلى قوى مضادة للأكسدة.
٦. الأوراق المعاملة بتركيزات عالية من الساليسيك ($5 \mu\text{m}$) يراكم الكلوروفيل وأشباه الكاروتينات والأوراق المعاملة بالساليسيك يبدو نشاط عالي للسوبر أكسيد ديسميوتيز.
٧. المعاملة بالساليسيك يلاشي التغير في مستوى الهرمونات الضوئية في بذور القمح تحت الإجهاد الملحي وهذا يمنع أي انخفاض في IAA&Cytokine ويقلل التأثير المثبط للإجهاد على نمو النبات.
٨. زيادة مستوى APA في بذور القمح المعاملة بالساليسيك.

دور الأسكوربيك والجلوتاثيون والسيتريك والتوكوفيرول في تقليل الإجهاد الملحي:

كل هذه المواد تقلل التأثير الضار لـ ROS عن طريق عدة أسباب:

(١) يمنع Lipid Peroxidation.

(٢) يدخل في إنتقال الإلكترونات في النظام الضوئي الثاني ونظام مضاد الأكسدة في الكلوروبلاست .

(٣) يزيد ثبات الغشاء ومضادات الأكسدة تعمل على أسر Oxygen Free Radical

(٤) Lipid Peroxy radical & Singlet Oxygen .

(٥) يتفاعل مع Peroxyl radical المتكون في الغشاء المزدوج.

(٦) يأسر فوق أكسيد الهيدروجين ويتفاعل غير أنزيميا مع ROS الأخرى مثل Single

Oxygen و Super oxide radical و Hydroxyl radical.

(٧) إعادة تكوين مضادات الأكسدة الذائبة في الماء وحمض الأسكوربيك عن طريق دورة الأسكورات جلوتاثيون.

(٨) يقوم بتثبيت تركيب الغشاء.

(٩) يقلل نفاذية Digalactosyl glycerol vesicle للجلوكوز والبروتين.

دور Polyamine في تقليل الإجهاد الملحي:

١. يشمل الأسبرمين والاسبيرميدين والذي يعمل على تكيف النبات مع الإجهاد.

٢. تلعب دورا كبيرا في النظام المضاد للأكسدة وحماية الغشاء من الـ Peroxidation.

تأثير البولي أمين في تقليل تأثير الملوحة على النمو نتيجة عدة عوامل هي:

١. تنشيط جهاز المناعة المضاد للأكسدة.
٢. يقلل مستوى السوبر أكسيد وفوق أكسيد الهيدروجين في الأوراق.
٣. يقلل فوق أكسيد الهيدروجين وبالتالي يقلل تدمير الخلايا.
٤. يختزل ال ROS عن طريق إخماد الأكسجين الذري ويشير الكلوروفيل عن طريق زيادة مستوى الكاروتين وبذلك يحافظ على غشاء الكلوروبلاست.
٥. يقلل تسريب الغلاف ويقلل محتوى MDA ويقلل Lipid peroxidation في أوراق النبات.
٦. نتيجة طبيعته (poly cationic) وبذلك يمنع تدمير الخلايا.
٧. يزيد نشاط APX&GR&CAR&GSH في كل مستويات الملوحة.
٨. يستحث تكوين الكلوروفيل ويمنع تكوين الكلوروفيل.
٩. يزيد كل التركيزات العضوية والتي تعزي تدخل PAS في العمليات الحيوية مثل الإتزان الأيوني وتكوين DNA&RNA والبروتين.

التغيرات الفسيولوجية الناتجة عن الإجهاد الناشئ عن التعطيش

Drought stress

- ١ — إرتفاع معدل النتح يؤدي إلى الذبول وخروج الماء من الخلايا الحارسة يؤدي إلى غلق الثغور.
- ٢ — يحدث الذبول الناتج عن نقص المحتوى المائي على عدة مراحل:
- درجه ما قبل الذبول: حيث تفقد الخلايا الماء بدرجة جزئية ولا يحدث بسبب ذلك ذبول وتحدث هذه الحالة أثناء الظهيرة.

- الذبول المؤقت: وهي حالة مؤقتة أيضاً وفيها يحدث معدل النتج بدرجة أكبر من معدل الامتصاص في الجو الحار وتتلاشى هذه الحالة أثناء الغروب والليل حيث تغلق الثغور تماماً وينخفض معدل النتج بدرجة ملحوظة.
- الذبول الدائم: وهي مرحلة متقدمة لا يشفى منها النبات إلا بإضافة ماء للتربة وإذا أستمّر الذبول الدائم عدة أيام يموت النبات وفي حالة الذبول الدائم يتوقف النمو تماماً نتيجة لمعدل الفقد الماء يكون أكبر من معدل الإمتصاص باستمرار وتتغلق الثغور تماماً.
- أقصى درجات الذبول: باستمرار الحالة السابقة تزداد أعراض الذبول وتعم جميع أوراق النبات ابتداء من الأوراق السفلى.

التغيرات البيوكيماوية الداخلية في المحتوى من مضادات الأكسدة تحت ظروف التعطيش

يؤدي الإجهاد المائي إلى حدوث عدم توازن بين المحتوى من مضادات الأكسدة في الأنسجة النباتية وبين الجذيرات الحرة Free radicals ومنها (Ros) والنتيجة عن عمليات الأكسدة تحت ظروف الإجهاد المائي. من المعروف أن كل من **Tocopherol & Carotenoids (vitamin E)** و **ascorbate (vit.c)** و **glutathion** تؤدي وتساعد هذه المواد من مضادات الأكسدة على حماية أغشية جهاز البناء الضوئي تحت ظروف إجهاد الأكسدة.

- وجد أيضاً تركز **Tocopherol a-** داخل البلاستيدات الخضراء وهذا المركب أيضاً يلعب دور مهم جداً في عملية البناء الضوئي وخاصة في القسفرة الضوئية غير الدائرية **Non cyclic photo phosphorylation** وبالذات في (PSI). **Photosystemt** ومعنى ذلك أن مضاد الأكسدة (**a-Tocopherol**) يقوم بحماية جهاز البناء الضوئي علاوة على أن هذا المركب أيضاً يشجع على تكوين وتخليق مضادات أكسدة أخرى مثل **ascorbate (ASA)** و **Carnosic acid (CA)**

- الإجهاد المائي (Drought stress) يؤدي كذلك وبشدة إلى نقص واضح وكبير في تمثيل CO_2 في عملية البناء الضوئي وذلك لإغلاق الثغور بفعل نقص الماء بالخلايا الحارسة. كما يؤدي نقص الماء أيضاً (water stress) إلى نقص شديد في نشاط إنزيمات البناء الضوئي وخاصة

.Ribulosebiphoscarboxylase (RBP caeboxylase)

- يؤدي Drought stress إلى إنتاج Ros بوفرة وهذه الجذيرات الحرة يمكن كبحها بمواد مضادات الأكسدة. وعموماً فإن النباتات تحت ظروف الإجهاد المائي يحدث بها العديد من التغيرات مثل:

1- increased production of ROS and of oxidized target molecules.

زيادة إنتاج الشوارد الحرة والمركبات المؤكسدة الضارة.

2-increases in the expression of genes for antioxidant functions.

زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة.

3-increases Scavenging capacity for Ros resulting in tolerance against drought stress.

زيادة المواد الكانسة للجذيرات الحرة لمقاومة إجهاد الجفاف.

4- increases in the levels of antioxidants and antioxidative system.

زيادة المحتوى من مضادات الأكسدة ونظام مضادات الأكسدة.

- ومن أهم نواتج تأثير Ros هو أكسدة الأغشية البلازمية Lipid Peroxidation وكذلك إحداث خلل كبير جداً بين الطاقة المنتجة داخل الخلية والطاقة المستهلكة مما يؤدي كذلك إلى تخليق مواد سامة تعمل على الأضرار بمكونات الخلية.

من المواد الهامة جداً والتي تعمل على إزالة الأثر السام الناتج عن تفاعلات Ros مركبات عديدة منها.

- 1- Superoxide dismutase (SOD)
- 2- Catalase (CAT)
- 3- Ascorbate Peroxidase (APX)
- 4- Peroxidase (POD)
- 5- Glutathion reductase (GR)
- 6- Mono dehydro ascorbate reductase (MDAR)

- 7- Flavonoids
- 8- Anthocyanins
- 9- Carotenoids
- 10- Ascorbic acid

• ونظراً لأهمية الدور الذى يلعبه الأسكوربيك كمضاد للأكسدة والحفاظ على مكونات الخلية من

الأكسدة والهدم والدمار فإنه يمكن إيجاز أهم الأدوار التى يلعبها (AA) حمض الاسكوربيك فى

خلايا الأنسجة النباتية كالتالى:

- 1- as an enzyme Co-factor.
- 2- as antioxidant.
- 3- as doner acceptor in electron transport at the plasma membrane or in chloroplasts.

كل من هذه الأدوار التى يلعبها الاسكوربيك لها علاقة وثيقة جداً بمقاومة الإجهاد Oxidatio stress. كما

أن له علاقة وثيقة أيضاً بعملية البناء الضوئى وكذلك تخليق مركب مضاد الأكسدة a- Tocopherol

التغيرات المورفولوجية والفسولوجية الناتجة عن الإجهاد الناشئ عن البرودة Cold stress

- ١ - نقص المحتوى المائى فى الأنسجة النباتية مما يؤدى إلى موت النبات فى النهاية.
- ٢ - البرودة فوق درجة التجمد تسبب أضرار كبيرة للنبات الإستوائية وتحت الإستوائية وقد يموت النبات فى النهاية وخاصة إذا ما تعرضت لدرجة ٠.٥ - ٥.٥ م لمدة ٣٦ ساعة وذلك بسبب التحولات الغذائية المضطربة تحت هذه الظروف.
- ٣ - انخفاض الحرارة لدرجة التجمد تؤدى إلى تجمد الماء داخل وبين الخلايا مكوناً بللورات ثلجية تعمل على تهتك الجدر والأغشية البلازمية مما يؤدى إلى موت الخلايا.
- ٤ - انخفاض درجة الحرارة يؤدى إلى سحب الماء من الخلايا إلى المسافات البينية مما يؤدى إلى جفاف البروتوبلازم فتتغير صفاته وربما يتجمد.

التغيرات البيوكيماوية الناشئة عن إجهاد البرودة:

١ - لوحظ نقص واضح في محتوى الكلوروبلاست من a- Tocopherol تحت ظروف البرودة. وهذا المركب من أهم مركبات مضادات الأكسدة في الكلوروبلاست.

٢ - تنشيط بعض التفاعلات والتحورات في التحولات الغذائية ويتبعها إنتاج Free radicals مثل (ROS) والتي لها تأثير مدمر على الأغشية البلازمية والمحتوى من DNA.

الإجهاد الناشئ عن الحرارة المرتفعة

Heat stress

التغيرات الفسيولوجية الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة:

١ - يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة معدل النتج بدرجة أكبر من معدل الإمتصاص مما يؤدي إلى نقص شديد في المحتوى المائي للأنسجة مما يؤدي أيضاً إلى موت الأوراق والأفرع وقد يموت النبات في النهاية.

٢ - ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى حدوث اضطرابات في التحولات الغذائية بالخلايا فمثلاً يزيد معدل الهدم (التنفس) بدرجة أكبر من معدل البناء فيصبح النبات قزماً ويموت في النهاية.

٣ - ارتفاع درجة حرارة التربة في بعض الأحيان إلى ٧٠ م° يؤدي إلى موت سيقان النباتات الصغيرة الملاصقة للتربة.

٤ - بعض النباتات تتحمل درجات الحرارة المرتفعة وذلك بإحاطة سيقان بعض الأشجار بطبقة سميكة من الفلين (القلف) وهو رديء التوصيل للحرارة.

٥ - تعرض النباتات لدرجات حرارة مرتفعة يؤدي إلى نقص في تخليق البروتينات الطبيعية وكذلك يحدث تغير في عمليتي النسخ والترجمة Translation & Transcription مما يؤدي للحصول على بروتين جديد يعرف بإسم Heat shock protein (HSP) ويتخلق هذا البروتين إذا ما تعرض النبات لدرجة حرارة بأعلى من الحد الأمثل بحوالي ٥ م°.

٦ - درجة الحرارة المرتفعة تؤدي إلى حدوث أضرار في التركيب الخلوي وكذلك تراكيب العضيات في

الخلية ويحدث أيضاً تدهور في وظيفة الأغشية البلازمية كما يحدث أيضاً تغيير في التعبير الجيني

Gene expression

التغيرات البيوكيميائية الناشئة عن الإجهاد الحراري:

لوحظ أن تحت تأثير الحرارة المرتفعة يتم إنتاج ROS بكميات وفيرة وهذه الجذيرات الحرة لها تأثير مدمر

على نواتج التحولات الغذائية كما أنها تقوم بأكسدة الأغشية البلازمية وإتلافها كما أنها تدمر المحتوى من

DNA.