قسم البيولوجيا وعلم البيئة النباتية

كلية علوم الطبيعة والحياة

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة1

فزيولوجيا الإجهاد (الغير حيوية)

Physiologie de Stress (Abiotique)

3A LMD

الأستاذ الدكتور

باقة مبارك

Physiologie de Stress

Crédits **06**

Coefficients **03**

Contenu de la matière :

1° Introduction générale : l adaptation et Modification physiologique et Biochimique des plantes sous stress et reconnaitre le rôle des stress dans les répartition des plantes sur le globe.

2° Stress abiotique: Stress Hydrique, Thermique, Salin.

3° Stress biotique: Maladies, Insectes.

4° Pollution et environnement.

5° Travail personnel : Des comptes rendus sur des TP ou sorties sur terrain si possibles.

Mode d évaluation: CC + Exposés.

Références: livres et polycopiés, Thèses et Mémoires, Sites Internet, etc …

======00000000000======

الموضوع الأول

مقدمة عامة Introduction

نادرا ما تتواجد الكائنات النباتية تحت الظروف البيئية النموذجية، وغالبا ما تتواجد تحت ظروف أو عوامل بيئية في حديها الأقصى مسببة ما يسمى **بالإجهاد Stress**، سواء كان جهدا حراريا، ضوئيا، مائيا أو ملحيا وما إلى دلك. وعليه فإن دراسة الكائنات النباتية تحت تأثير هده العوامل البيئية المحددة أو ما يسمى **Facteurs limitants** المؤدية إلى الإجهادات المختلفة التي تدخل ضمن مجال **فزيزلزجيا الإجهاد Physiologie de Stress** الذي يعتبر فرعا أو مجالا ضمن فزيولوجيا البيئة النباتية أو **Ecophysiologie Végétale.**

إن مجال فزيولوجيا البيئة النباتية أو **Ecophysiologie Végétale** يتضمن عدة علوم متداخلة ومترابطة مكملة لبعضها كعلم البيئة **Ecologie** والجغرافيا النباتية **Biogéographie** وعناصر علم الفزيزلوجيا النباتية **Physiologie Végétale.** ولا يكفي استخدام مكونات علم النبات **Botanique** فقط بل لابد من الاستعانة بالعلوم الأخرى مشكلة مع بعضها. فهناك العوامل البيئية والجوية التي يتعرض لها النبات ولها أثرها الواضح في حياته وتوزيعه وانتشاره، ويقتضي قياس ودراسة هده العوامل إلماما واسعا بعلم الطقس أو علم الأرصاد الجوية **Météologie**، وعلم التربة **Pédologie** الذي تنتشر فيه جذور النباتات وتمتص منه الماء H_2O والعناصر المعدنية المغذية Eléments minéraux، وكدالك علم المياه أو الهيدرولوجيا **Hydrologie**، وما إلى دلك من العلوم الطبيعية الأخرى..

إن **النظم البيئية** أو **Ecosystème** التي هي عبارة عن تمط من أنماط البيئة في مساحة محددة ومعينة وناتجة عن تفاعل الكائنات مع البيئة المحيطة بها والمحدودة حسب توع الكائن الحي. وعليه مهما كان هدا النظام البيئي كبيرا أو صغيرا يتشكل من جزأين رئيسيين هما:

1- **المكونات الحية Biotique** كالكائنات النباتية والحيوانية والكائنات المجهرية Microorganisme كالبكتريا وغيرها.. والصفات أو الطرق التي تتفاعل مع بعضها ضمن الوسط كالتراكم والتنافس والتعايش والافتراس وما إلى دلك..

2- **المكونات الغير حية Abiotique** والمشكلة من العناصر والمركبات الغير عضوية كالكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والماء والعناصر الأخرى الكبرى والصغرى، وأية عوامل بيئية أو فيزيائية كالعوامل المناخية من رطوبة **Humidité** ورياح **Vent** وحرارة Température وضوء Lumière ومكونات التربة الغير حية وغيرها، المؤثرة جميعها على الكائن النباتي مشكلة ما يسمى **بالتلاؤم أو الإجهاد Stress.**

وعليه فإن **الإجهاد** ناتج عن تأثير ما يسمى **العوامل البيئية المحددة Facteurs Ecologiques Limitants** التي هي عبارة عن كل عنصر من عناصر الوسط أو البيئة التي لها القدرة على التأثير المباشر أو غير المباشر ولو مرة واحدة أثناء دورة حياة النبات سواء كان التأثير سلبيا أو ايجابيا حتى ولو كان هدا التأثير لفترة قصيرة.

ومن العوامل البيئية المحددة الأساسية ما يلي:

1- الحرارة العالية **Température élève ou Chaleur**.

2- الحرارة المنخفضة Faible température ou froid et gel

3- المياه الزائدة Inondation, Anoxies, excès d eau .

4- العجز المائي أو الجفاف أو الجهد المائي Déficit hydrique, Sécheresse ou faible potentielle hydrique .

5- الملوحة Salinité.

6- الإشعاع، الضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية Radiation, lumière visible, Ultraviolet.

7- المركبات الكيميائية كالمبيدات والعناصر المعدنية الثقيلة والملوثات الكيميائية Produit chimique, Pesticides, Métaux lourds et les polluants atmosphériques.

8- الكائنات الحية الممرضة والمنافسة Biotique Pathogène, Compétitive.

إن معرفة الطريقة التي تتأقلم بها الغطاءات النباتية من العوامل البيئية المحددة والمؤدية إلى الإجهاد سواء **بتفاعلات كيميائية وفزيولوجية أو بتغيرات مورفولوجية**

En modifiant leur physiologie et leur métabolisme et leur morphologie.

وهدا يعتبر حقلا مهما للفيزيولوجيين physiologistes لمعرفة كيفية توزيع الغطاءات النباتية وكيفية زيادة إنتاجية ومر دودية المحاصيل الغذائية المهمة.

لما نتكلم عن كيفية زيادة الإنتاجية والمردودية فإننا نتكلم عن **تدفق الطاقة Flow of energy** أي المكونات الغذائية الأساسية للطاقة اللازمة لنشاط الخلية الحية أو الكائن الحي ليقوم بالوظائف الحيوية من **نمو وتكاثر Croissance et Production**.

إن **الطاقة** énergie في البيئات الطبيعية النموذجية في توازن ديناميكي في النسج الغذائية و الشبكة الغذائية، وتحكمها قوانين وأسس من أهمها القانون الأول والثاني من قوانين **الديناميكا الحرارية،** حيث ينص القانون الأول على أن: **الطاقة لا تفنى ولا تستحدث لكن تتحول من شكل إلى آخر.** أما القانون الثاني فينص على أن: **مع كل تحول للطاقة فإن جزء من الطاقة المبذولة لإنجاز أي عمل معين يتحول إلى طاقة حرارية.**

والمصدر الأساسي للطاقة هو **الشمس Soleil** والمشكلة لأغلب العوامل المحددة من حرارة وضوء ورطوبة ورياح وعوامل أخرى غير مباشرة والتي قد تكون مسببة للإجهادات المختلفة.

الموضوع الثانـي

الإجهاد STRESSS

الكائنات النباتية في محيطها أو البيئة التي تعيش فيها معرضة لعدة أنواع من التأثيرات أو الإجهادات أهمها: الحرارة والبرودة، فائض الماء في التربة والعجز المائي، الملوحة، الإشعاعات، المواد الكيميائية، والعوامل الحيوية **Biotique** كالأمراض والظواهر المتعلقة بها كالتنافس والتطفل والتعايش والافتراس...

من الصعب تحديد معنى الإجهاد في العلوم البيولوجية، فقد أعتبر بعض الباحثين أن المصطلحات المستعملة في العلوم الفيزيائية يمكن إسقاطها مباشرة على حياة الكائن الحي أو **Etre vivant** .

وقد عرف الإجهاد على أنه (**كل عائق خارجي يخفض الإنتاجية إلى حدود أدنى مما يفترض أن تحققه القدرات الوراثية للنبات).** وبعضهم عرف الإجهاد على **(أنه كل قوة تطبق لها تأثير ضار يعطل النشاطات الأيضية المعتادة لأي جهاز نباتي).**

ومنه متى أصبح الماء H_2O عاملا محددا للإنتاج فإننا نتكلم عن **الإجهاد المائي Stress hydrique** أو العجز المائي أو النقص المائي **Déficit hydrique** المؤدي إلى الجفاف **Sécheresse**. ومتى أصبحت المركبات الملحية عاملا محددا للإنتاج والنمو فإننا نتكلم عن **الإجهاد الملحي Salinité** وهكذا ...

وعليه يكون الإجهاد في العلوم الطبيعية **(القوة المطبقة على وحدة المساحة والتي ينشأ منها تأثيرا وإجهادا)**، ومنه فإن **الإجهاد** يعني **(تأثير** أي **عامل يخل بالوظيفة المعتادة للكائن الحي).** و بالتالي يعتبر الإجهاد عائقا أمام تحسين المردود، ومانعا

للحياة الطبيعية للنبات، لدلك من الضروري فهم **الآليات أو الميكانيزمات** التي يؤثر الإجهاد على النبات من أجل وضع إستراتيجية أو آلية للتقليل من الآثار السلبية لهده الإجهادات المتباينة...

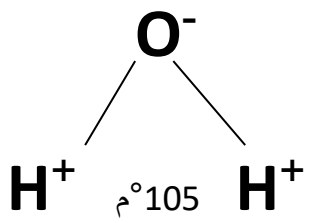
ومن **ميكانيزمات تكيف** النباتات للإجهادات المختلفة ما يلي:

التحمل Tolérance، التأقلم Adaptation ثم **المقاومة Resistance.**

ودلك **بتحورات في الصفات المورفولوجية أو تفاعلات وتنظيمات فيزيولوجية.**

وسنتكلم عن دلك لاحقا خلال كل إجهاد مطبق على الكائن الحي النباتي.

الماء H_2O



قبل أن نتكلم عن الإجهاد المائي يجب أن نتكلم عن الماء وأهميته، والذي يعتبر العامل البيئي الأساسي المؤثر على الكائنات الحية عموما...

الماء Water عامل حيوي مهم جدا للكائنات الحية في جميع عملياته الحيوية، إذ أن معظم الوظائف الفزيولوجية مرتبطة بالماء والمواد الدائبة فيه... يتغير محتوى الماء في النباتات حسب الأنواع النباتية وأعضاء النبات والوسط الذي ينمو فيه. دور الماء في النبات يمكن إيجازه فيما يلي:

1- الإنتباج الخلوي

يعتبر الماء المسئول الأساسي عن صلابة الأنسجة النباتية، ويضمن الوضع القائم للأعضاء التي تفتقد إلى الأنسجة الدعامية، وعندما تكون التغذية المائية للنبات غير كافية فإن خلاياه تفقد الماء مما يؤدي إلى انكماش الخلايا، ويترجم دلك ظاهريا بذبول النبات كما أن الإنتباج الخلوي مقرونا بالنمو ويسمح بتغلغل الجذور في الترب المختلفة.

2- نقل العناصر المعدنية المغذية والمزاد العضوية

إضافة إلى كون الماء يساهم في تثبيت بنية وتنظيم ميتابوزم الخلية النباتية باعتباره المادة الأساسية في السيتوبلازم ، فإنه يلعب دور الناقل للعناصر المغذية المختلفة بواسطة أوعية الخشب Xylème إلى جميع أجزاء النبات. والمواد العضوية المتشكلة في الأوراق أثناء عملية البناء الضوئي تنقل أيضا بواسطة أوعية اللحاء Phloème إلى باقي أعضاء النبات في وسط مائي إضافة إلى منتجات الإستقلاب أو الأيض الخلوي المختلفة.

3- التنظيم الحراري

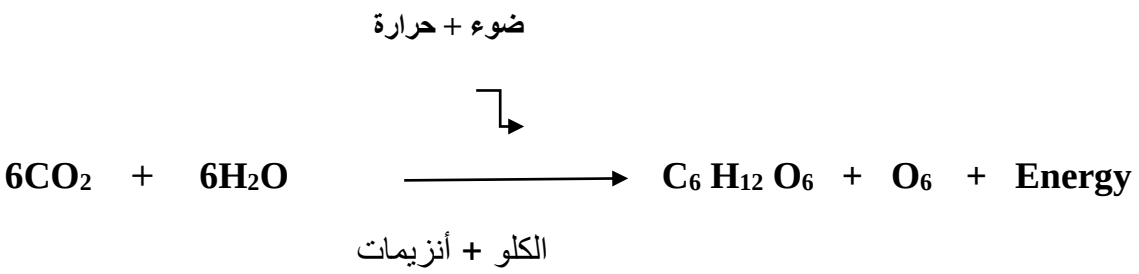
مهما يكن محتوى الماء في النبات فإن ذلك لا يمثل في الحقيقة سوى نسبة ضئيلة جدا مما تمتصه الجذور من محلول التربة حيث يمثل تقريبا 1% مما يمتصه النبات، وليس معنى ذلك أن الفارق قد استهلك من النبات، لكن الماء يتقل في تيار متواصل من التربة إلى الجو عبر النبات تحت تأثير عملية النتح أو Evapotranspiration. وتختلف كمية الماء المفقودة من نبات إلى آخر، فالنباتات العشبية قد تستبدل محتواها المائي يوميا، ويتدخل في ذلك عوامل بيئية عدة كالحرارة والرياح.. ويطرح الماء من النبات بشكل بخار أثناء عملية النتح Evapotranspiration مما يسمح بتنظيم حرارة الأجزاء الهوائية للنبات، ويساعد على التخلص من الحرارة الممتصة في شكل أشعة ضوئية عالية.

4- الاشتراك في التفاعلات البيوكيميائية أو الأيضية

إضافة إلى اعتباره وسطا ملائما لعمل الإنزيمات فإن الماء يدخل مباشرة في كثير من التفاعلات البيوكيميائية كالإماهة Hydration ، والتفاعلات للمادة النباتية. كما أن الفائض المائي في التربة يؤثر في الخصائص الفيزيائية والكيميائية وحتى الحيوية لها ويعيق تنفس الجدور وتطورها ، ويسهل ظهور وانتشار الأمراض سواء في النبات أو التربة. إضافة إلى ذلك فإن كمية الماء زيادة أو نقصانا تعتبر عاملا محددا في إنتاج المحاصيل الزراعية في كل مراحل نمو النبات.

5- الاشتراك في عملية البناء والهدم

الماء مادة خام أساسية **Substrat** لعملية البناء الضوئي **Photosynthèse** أو عملية الهدم **Respiration** ، إذ لا تستطيع النباتات الخضراء أو تبني المواد السكرية أو غيرها اللازمة في غياب الماء وإن توفر لها ثاني أكسيد الكربون والضوء كما هو معروف سواء في المعادلة الكيميائية لعملية البناء أو الهدم.



6- عملية التكاثر في النباتات

الماء يلعب دورا هاما في تكاثر النباتات خاصة الغير زهرية أو الغير وعائية حيث تحتاج السابحات الذكرية المتحركة في الوسط الرطب أو المائي حتى تصل إلى البيضة وتخصيبها. والنباتات اللازهرية تنتظر عادة هطول الأمطار أو تكثف بخار الماء مكونة طبقة رقيقة فوق سطح التربة أو سطح النبات فتجعل عملية الإخصاب ممكنة. والماء له دورا أساسيا في نقل حبوب اللقاح الخاصة بالنباتات المائية وحتى النباتات الزهرية بعد التلقيح بعد سقوطها على الميسم الزهري.

7- إزالة مثبطات الإنبات وتحفيز الإنبات

تتميز كثير من النباتات كالفول ***Vicia faba*** و الحرمل ***Rhazys stricts*** بوجود عائقات أو مثبطات الإنبات في صورة مواد كيميائية بهيئات مختلفة تذوب في الماء، هذه المواد متواجدة بالقشرة أو القصرة Cortex وحتى في الجنين ، ولا يتم إنبات مثل هذه البذور إلا إذا توفر ماء كاف ووافر حتى يغسل ويذيب ما تحويه هذه البذور من مثبطات الكيميائية المعيقة للإنبات.

سبحان من قال في كتابه الكريم **(وجعلنا من الماء كل شيء حيا).**

يمكن إجمال دور الماء وأهميته فيما يلي:

- الماء مكوّن أساسيّ في جميع العمليات الحيوّية كعمليّة التمثيل الضوئيّ والهدم وآلية الجهاز الثغري.
- إن هيولة أو بورتوبلازم الخلية لا يتكوّن أو يتواجد دون الماء.
- النباتات تعتمد في غذائها على الأملاح والمعادن المتواجدة في التربة التي تنمو فيها، لكن هذه النباتات لا تستطيع الحصول على هذه المواد دون الماء الذي ينقل الأملاح والمعادن المغذية من التربة إلى جميع النباتات.
- يعمل الماء على تنظيم الضغط بزيادته أو نقصانه داخل الخلية النباتية بما يناسب نمو النبتة.
- إن عمليّة غلق وفتح ثغور أوراق النباتات تحدث بشكل طبيعيّ ومنظّم بفضل الماء.
- إن درجات الحرارة المرتفعة لا تناسب النباتات وهنا يأتي دور الماء في تلطيف وحفظ الحرارة خارج و داخل أعضاء النبات.
- أيّ عمليّة حيوية أو كيميائيّة تحدث غالباً في الوسط الناقل والمغذي وهو الماء.
- عملية التكاثر أو النمو لا يمكن أن تحدث دون وجود ماء عند أغلبية النباتات.
- معظم الثمار تتكوّن بشكل كبير من الماء ونقصان الماء يعني ثمار جافّة غير صالحة للتغذية.
- للماء دور فعال في تمرير الأشعة المرئيّة وفوق البنفسجيّة للنباتات، لإتمام عمليّة البناء الضوئيّ، والحصول على ما تحتاجه من ضوء.
- إنّ نوعية و جودة أيّ محصول زراعيّ تعتمد بشكل كبير على نسبة ونوعية الماء الموجودة في النبتة.

دورة الماء في الطبيعة Water Cycle

توزيع الماء على سطح الكرة الأرضية

تشكل المساحة المشغولة بالمحيطات والبحار على سطح الكرة الأرضية عالما محيطيا واحدا متميزا يمثل بالغطاء المائي على سطحها لمساحة الأرضية 510 مليون كلم مربع منها 361 مليون كلم مربع مشغول بمياه البحار والمحيطات أي ما يعادل 71 % وعليه فإننا نرى أن المساحة المشغولة بالماء تفوق مرتين ونصف مساحة اليابسة، إذ يقسم سطح اليابسة إلى قسمين:

- قسم دو تصريف مائي محيطي بحري ترد إليه الأنهار مباشرة.
- قسم دو تصريف داخلي لا يملك اتصالات مع المحيطات والبحار.

إن احتياطي الماء على سطح الكرة الأرضية كبير جدا يغطي حجما قدره 1370 كلم مربع، ويزيد عن اليابسة الموجودة فوق مستوى البحار ب 13 مرة. إن حجم المياه ضمن اليابسة يقدر ب 751.2 ألف كلم مربع، يتمركز في البحيرات وما قدره 1.5 ألف كلم مربع يتواجد في الأودية والأنهار.

الماء في الطبيعة

تتميز المياه على سطح الكرة الأرضية بحركتها المستمرة، وتتحول من خلال هذه الحركة من شكل إلى آخر. تشارك في هذه الحركة كل المياه الموجودة على سطح الأرض من مياه البحار والمحيطات ومياه اليابسة السطحية والباطنية وحتى الجوية. تشكل هذه المياه في حركتها المستمرة دورة متكاملة سببها الرئيسي تأثير الأشعة الشمسية الواردة إلى سطح الأرض والمقدرة طاقتها ا لحرارية ب **(16^{60} x 13.4) حريرة** في السنة. تولد الطاقة الحرارية الشمسية الكثير من الظواهر المناخية أو الميتيولوجية Météologique كاختلاف الضغط الجوي من مكان لآخر، اتجاه الرياح وشدتها، وتوزيع الأمطار..الخ. كما أنها السبب الهام في حدوث كل التفاعلات الأيضية داخل الكائنات الحية والتفاعلات العضوية والغير عضوية في الطبيعة. أن حركة الظواهر الطبيعية المختلفة كتبخر المياه وتشكل السحب والتهاطلات بأشكالها المطرية والثلجية وكذلك ذوبان الجليد وحركة الأنهار والأحواض المائية ورطوبة التربة تتم بصورة دائمة وتشكل حلقة طبيعية مترابطة مع بعضها تؤدي إلى إحداث دورة عامة للمياه على سطح البسيطة.

تتبخر المياه تحت تأثير الأشعة الشمسية باستمرار من سطح الأرض ومن الأحواض المائية ثم لا تلبث أن ترتفع هذه الكميات الكبرى من الماء المتبخر إلى الجو فتحملها الكتل الهوائية إلى مسافات بعيدة قد تتجاوز آلاف الكيلومترات وقد تخترق قارات كاملة. يتكاثف هذا البخار المائي في الطبقات الجوية تحت ظروف طبيعية معينة فتتشكل السحب التي تؤدي على هطول الأمطار والثلوج على سطح الأرض، والتي تعود مرة أخري بواسطة المجاري المائية إلى المجمعات المائية وبعضها يتسرب إلى أعماق الأرض مشكلة ومغذية المياه الجوفية. وتعاد هذه الحركات المائية من جديد تحت تأثير بعض العوامل البيئية ..

إن هذه الحركة الطبيعية الدائمة المتمثلة بتبادل الرطوبة بين المجمعات المائية والجو وسطح اليابسة تحت تأثير الحرارة والرياح واختلاف الضغط الجوي المؤدية إلى التهاطلات المائية تسمى بالدورة الطبيعية للمياه.

في الطبيعة نصادف نوعين من الدورات المائية المستمرة هما:-

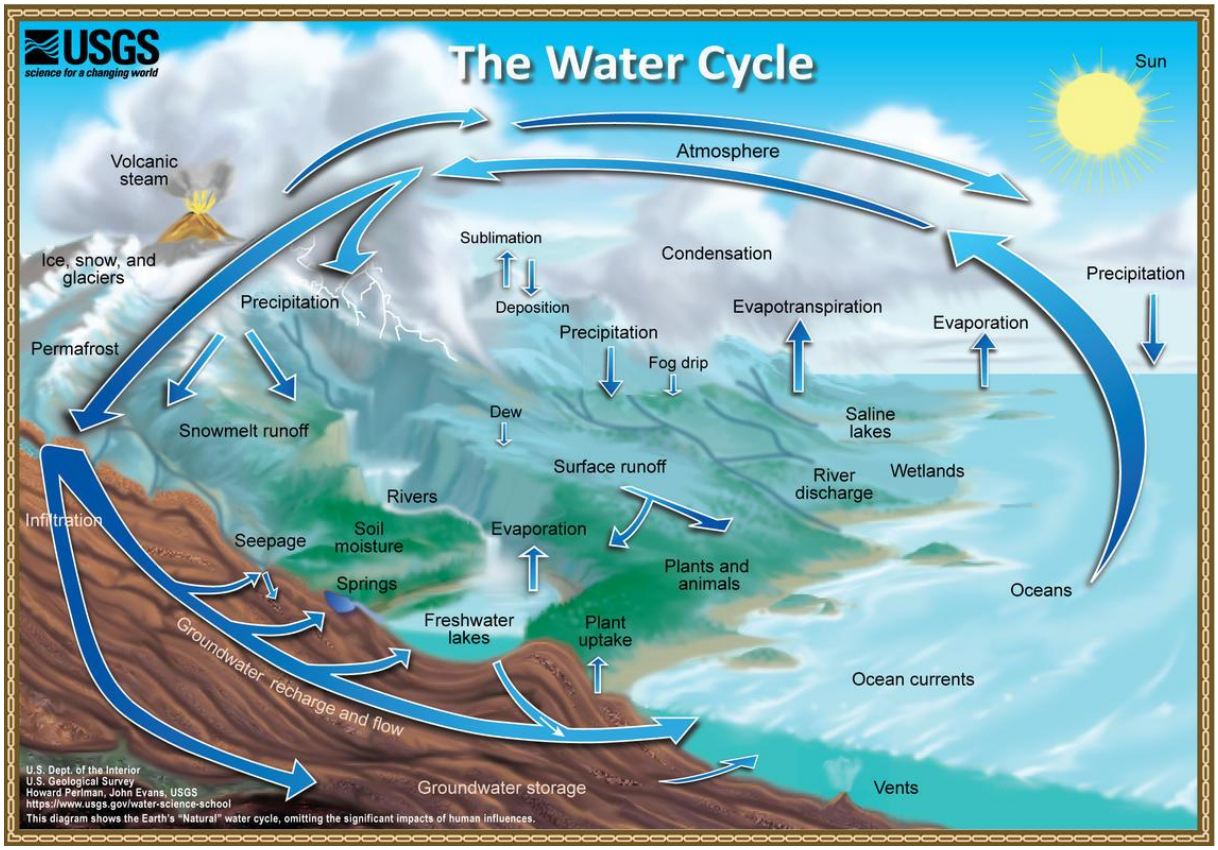
1- **الدورة المائية الصغرى أو المحيطية :**

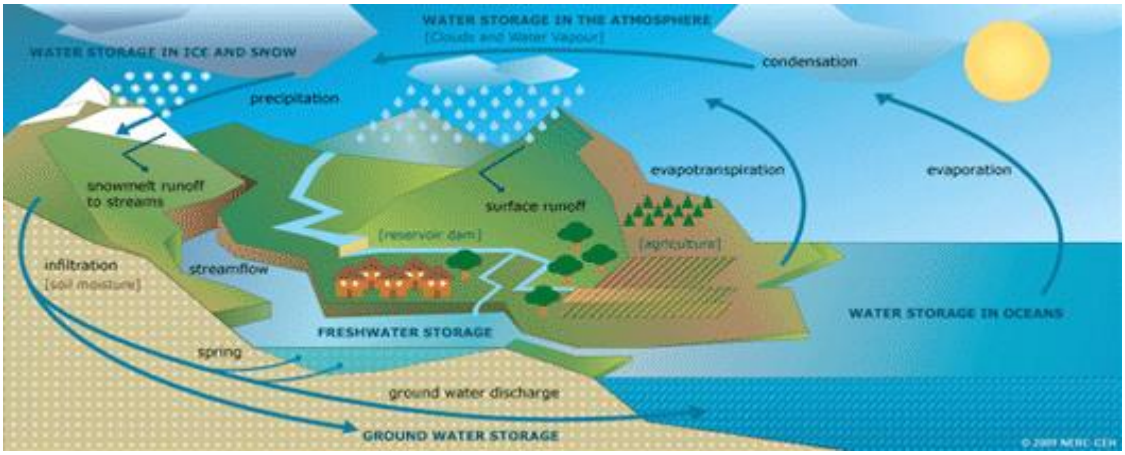
وهي التي تنتج من تبخر مياه المجمعات المائية كالبحار والمحيطات وترتفع إلى الأعلى وتتكاثف تحت تأثير العوامل البيئية المعروفة مشكلة هواطل على البحار والمحيطات نفسها ولا تدخل إلى اليابسة .

2- **الدورة المائية الكبرى أو القارية – المحيطية:**

وتشمل الجزء الباقي من بخار الماء المتصاعد من سطح المجمعات المائية والتي تابعت طريقها إلى البر واليابسة ولم تسقط بشكل هواطل على البحار والمحيطات وتتكاثف هذه الأبخرة المحمولة بالهواء تحت تأثير بعض العوامل البيئية مشكلة الهوطل الجوية على اليابسة ليسيل على سطح الأرض ويغذى المياه الجوفية في حركية مستمرة ليعود إلى المجمعات المائية الكبرى وتعود الدورة من جديد وهكذا..

تشاهد دورة أخري للمياه في طبيعة اليابسة تعرف **بالدورة المائية القارية الداخلية أو المحلية،** وتتم ضمن الأحواض القارية المغلقة ولا تتصل بالبحار والمحيطات مباشرة بل عن طريق بخار الماء المنطلق أو المجاري المائية الطبيعية إلى المجمعات المائية الكبرى المحيطية أو البحرية. كمية الماء المشاركة في الدورة المائية الداخلية أو المحلية قدرت ب **7.7 ألف كلم مكعب في السنة.**


USGS
science for a changing world
The Water Cycle
Sun
Atmosphere
Volcanic steam
Ice, snow, and glaciers
Sublimation
Condensation
Deposition
Precipitation
Evapotranspiration
Evaporation
Precipitation
Permafrost
Precipitation
Fog drip
Dew
Saline lakes
Snowmelt runoff
Surface runoff
River discharge
Wetlands
Rivers
Infiltration
Seepage
Soil moisture
Evaporation
Plants and animals
Springs
Oceans
Freshwater lakes
Plant uptake
Groundwater recharge and flow
Ocean currents
Groundwater storage
Vents
U.S. Dept. of the Interior
U.S. Geological Survey
Howard Perlman, John Evans, USGS
https://www.usgs.gov/water-science-school
This diagram shows the Earth's "Natural" water cycle, omitting the significant impacts of human influences.


WATER STORAGE IN THE ATMOSPHERE
[Clouds and Water Vapour]
WATER STORAGE IN ICE AND SNOW
condensation
precipitation
evapotranspiration
evaporation
snowmelt runoff to streams
surface runoff
[reservoir dam]
[agriculture]
infiltration
[soil moisture]
streamflow
WATER STORAGE IN OCEANS
FRESHWATER STORAGE
spring
ground water discharge
GROUND WATER STORAGE

الموضوع الثالث

الإجهاد المائي أو الجفاف

Le Stress Hydrique, Sécheresse

يعتبر الجفاف العامل الرئيسي المحدد للمردود في المناطق الجافة وشبه الجافة، على اعتبار انه مسئول 50% عن ضعف الإنتاج في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط حسب كثير من الباحثين. وتنتج هذه الظاهرة في الفترة التي يقل فيها التساقط، فتؤدي إلى انخفاض المحتوى المائي مما يجعل النباتات تعاني من **عجز مائي Déficit hydrique** يكون في الغالب مصحوبا بالتبخر الشديد بسبب ارتفاع درجة الحرارة، وتصاحب هذه الظاهرة إجهادات لا حيوية تؤثر على مختلف5 مراحل النمو والمتمثلة أساسا في **الإجهاد المائيStress hydrique والإجهاد الحراري Stress thermique** وأحيانا **الإجهاد الملحي Stress saline.**

إن تفاقم مشكلة الجفاف أو العجز المائي جعل الكثير من الباحثين يهتمون بها سعيا لفهم الآليات التي تسمح للنبات **بالتأقلم Adaptation** مع هذه الظاهرة أو بانتخاب أصناف تتميز ب**الكفاءة الوراثية** في مقاومة مختلف العوائق المحددة للإنتاج. وبغرض تحديد تأثير التغيرات البيئية أو المناخية على الإنتاج فإن اهتمام الباحثين منصب على دراسة و إيجاد **العوامل الفينولوجية Phénologiques** و**المورفوفيزيولوجية Morpho-physiologiques** المرتبطة بالإنتاج تحت ظروف النقص المائي.

وعليه **الجفاف Sécheresse هو جملة معقدة من التأثيرات المتفاعلة والمتداخلة مع بعضها والتي تأخذ أشكالا متباينة من مكان لآخر ومن سنة لأخرى.**

وقد يقصد بالجفاف نقص ماء التربة الميسور الذي يؤدي إلى نقص كميه الماء الداخلي للنبات بدرجه تقلل من نموه. وقد عرفه (Kramer, 1969) بأنه الفترة الزمنية الطويلة التي ينعدم فيها

سقوط الأمطار والتي تكون كافية لإلحاق الضرر بالنبات. وبعضهم عرف الجفاف بأنه الحالة التي يصبح فيها معدل فقدان الماء أكثر من معدل امتصاصه (Clarck *et al.*,1986) ..

للجفاف أثر سيء على نجاح زراعة المحاصيل وخفض الإنتاج، وهذا الانخفاض يكون سبب تأخير المحاصيل، وتضعيفها أو تلفها، وتعريض المحاصيل للإصابة بالأمراض والحشرات وتغيير في نوعيه البذور.. الخ. وضرره يزداد بزيادة العوامل الجوية المختلفة من درجات الحرارة المرتفعة والرطوبة المنخفضة، والرياح التي تزيد من سرعة النتح والتي بدورها تزيد من حدوث نقص الماء الداخلي (حبيلة، 2001، مي، 2008). وعليه يعتبر الجفاف السبب الرئيسي في انخفاض الإنتاج بنسب تتراوح بين 10 – 80% حسب الأعوام في المناطق الجافة **Aride** وشبه الجافة **Semi aride**.

تأثير النقص المائي على النبات

تنتج التأثيرات السلبية للإجهاد المائي عن جفاف بروتوبلازم الخلايا، إذ أن فقدان الماء يؤدي إلى انكماش بروتوبلازم الخلايا ومنه ارتفاع تركيز المحاليل، الشيء الذي يسبب أضرارا كبيرة على المستويين **البنيوي و الإستقلابي**. الإجهاد المائي الشديد يمكن أن يحدث **انخفاض في الكمون المائي الإجمالي، الكمون الحلولي وكمون الإنتباج** إلى مستويات دنيا ومنه توقيف أو إبطاء بعض الوظائف الحيوية **كالتركيب الضوئي، التنظيم الثغري و الإستقلاب** بصورة عامة (Turner, 1979) .

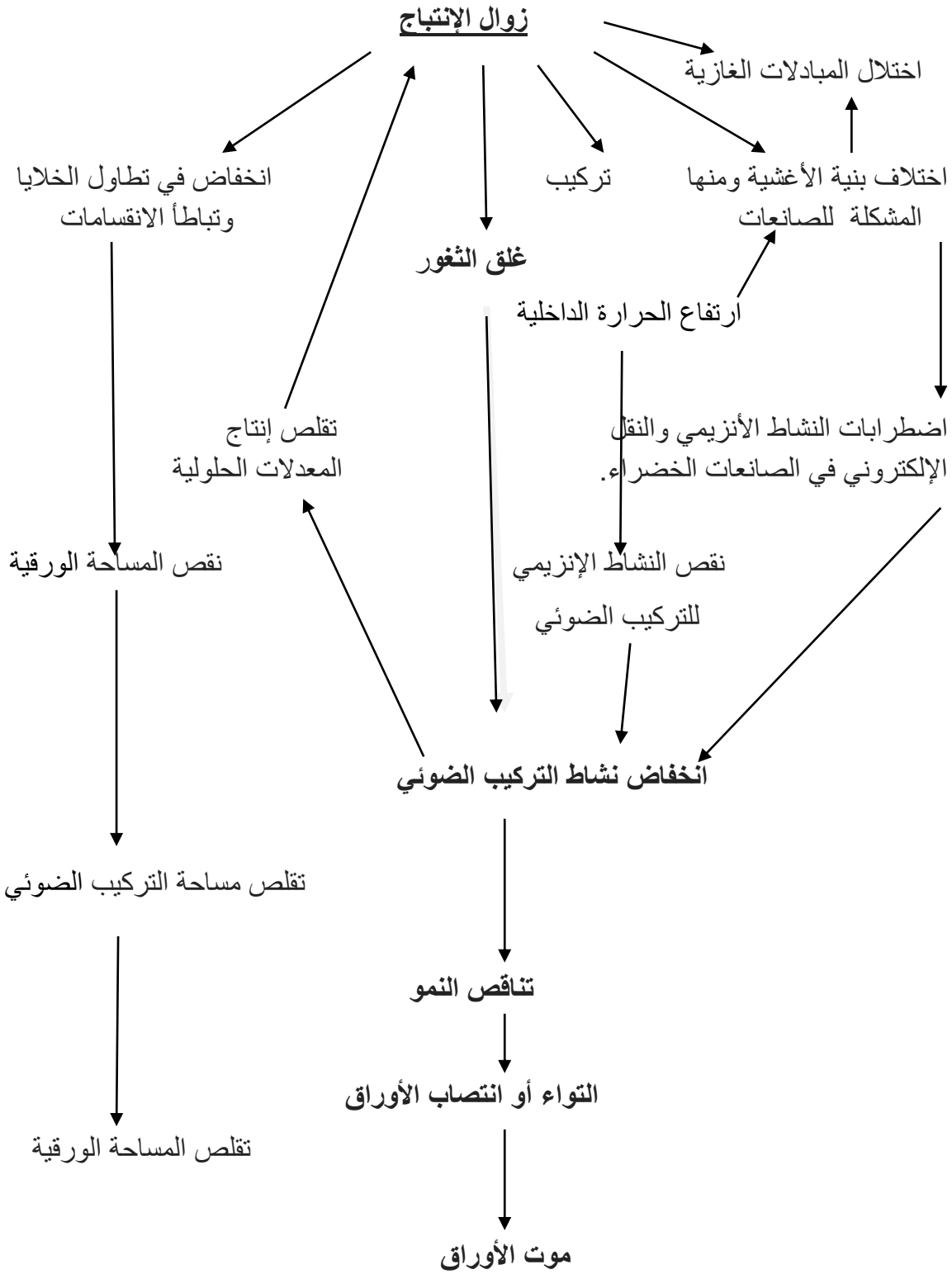
يمكننا تلخيص مجمل تأثيرات النقص المائي على النبات في النقاط التالية:-

- يؤثر الإجهاد المائي على العلاقات النائية في الخلية حيث يغير من الجهد الكلي للماء والجهد الأسموزي وجهد الضغط، مما يسبب انغلاق الثغور الذي يؤثر بدوره على دخول CO_2 الذي يؤثر على عملية البناء الضوئي.
- يحث على زيادة درجة الشيخوخة، تساقط الأوراق وعدم تكوين الأزهار.
- يؤثر على الأنسجة النباتية بحيث تتعرض للعديد من التغيرات منها تغيرات إنزيمية وتغيرات في محتواها من الكاربوهيدرات والبروتينات.

- يؤثر على الأنسجة والهرمونات النباتية بتغيير تركيزها وتتفاعل طبقا لذلك، منها حمض الأبسيسيك (ABA)، السيتوكينين (Cytokinine)، حمض الجبريلين (Geberriline)، الإيثيلين (Etyline)، والأكسين(Auxine).
- أوضحت الدراسات أن الإجهاد المائي المعدل أو الشديد يسبب زيادة في نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة. وقد بينت الكثير من الأبحاث أن الإجهاد المائي يمكن أن يستحدث حالة من الإجهاد التأكسدي في النبات، بزيادة أشكال الأكسيجين الفعالة Réaction (R.O.S Oxygéne Species مثل جزيئة الأكسيجين الحرة O_2 وبيروكسيد الهيدروجين H_2O_2، وجذور الهيدروكسيل OH الناتجة عن الاختزال غير التام بالأوكسجين O_2 **(Asada, 2000)**. تعد جذور الأوكسجين الفعالة مصدر أساسي لأضرار الخلايا تحت ظروف الإجهاد المائي، وهي عالية السمية للخلايا حيث تتفاعل بصورة مباشرة مع مكونات الخلية وتتفاعل مع اللبيد المتواجد بجدار الخلية مسببة تلفا بسبب حصول ثقوب فيه والتي تؤدي إلى حدوث تسرب في محتواها وجفاف سريع بها وبالتالي موتها. ويسبب في الخلية أضرار بالغلاف الخلوي، حيث يؤثر في الفعالية التنفسية للميتوكوندري وتحطم صبغة الكلوروفيل وبذلك تقلل من قدرة تثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) بالبلاستيدات الخضراء **(محب، 2011).**
- يؤدي الإجهاد إلى نقص واضح وكبير في البناء الضوئي بسبب انغلاق الثغور نتيجة نقص الماء بالخلايا الحارسة **(محب، 2011).**

تتغير الاستجابة للعجز المائي عند النبات حسب النوع والإجهاد المطبق "الشدة والمدة "، ويترجم عجز مائي مطبق فجأة بذبول عام للنبتة في حالة عدم ريها من جديد.

والشكل التالي يلخص مختلف المسارات الفيزيولوجية وبعض التغيرات المورفولوجية في النباتات المجهدة:-



شكل يوضح تأثير الإجهاد المائي على بعض الظواهر الفزيومورفولوجية حسب Gate, 1995

بعض المعايير المورفولوجية و الفيزيولوجية في ظل الإجهاد المائي

1- من الناحية المورفولوجية Morphologique

يؤثر الجفاف على جميع مراحل النمو، فهو يحور الشكل الظاهري والتشريحي للنبات و ينقص في امتلاء الخلايا مما يمنع انقسامها واستطالتها. وعندما يدوم الجفاف مده طويلة يصبح الذبول دائم ويؤدي إلى موت النبات (Bradly, 1973).

الورقة Feuille

تعتبر الورقة العضو الأكثر تأثرا بالإجهاد المائي حيث يتوقف نمو النصل ثم تلتف الورقة، وبعد الإزهار تشيخ الأوراق. و قد لاحظ كثير من الباحثين تأثير الإجهاد المائي بقياس الأوراق النهائية، إذ يمكن لهذا المعيار أن يكون أساسيا في فهم آلية مقاومة الإجهاد المائي. ويقلل الإجهاد المائي من المساحة الورقية وبالتالي يقلل من المساحة المستقبلة للضوء مما يؤثر سلبا في بناء المركبات العضوية.

النمو ومراحل التطور Croissance et Développement

الجفاف أو الإجهاد المائي يؤثر سلبا على سير النمو والتطور ويعرقل النمو سواء كان ذلك على مستوى طول النبات أو قطر الساق وقصر السلاميات، عدد الأشطاء والتفريغ وإيقاف نموها أو ما يسمى عموما بالنمو الخضري La croissance végétale. كما يؤثر الجفاف على عدد وأبعاد الخلايا المكونة لأعضاء النبات المختلفة، وأي نقص مائي حتى ولو كان طفيفا يمكنه أن يحدث تغييرا في تركيب الأغشية وقد يسرع من تفكك ARNm ويعيق بناء البروتينات ويقلل من الانقسامات الخلوية، وتكوين الأعضاء الحديثة كالأوراق. حيث أن خفض الإنتباج الأدنى للخلايا يؤدي لتباعد لييفات سيليلوز الجذر الخلوية مسببا بذلك تشويهها، ودون الحد من الانكماش أو الإنتباج يلاحظ توقف النمو ولا يمكن للنباتات استعادته.

وفي دراسة على نبات عباد الشمس *Heliantus annus* وجد أن النقص المائي خلال المرحلة الخضرية يقلص بشكل ملحوظ من طول الساق ويقلل من تركيب المادة الجافة. وفي

دراسات عديدة على أصناف عديدة من نبات القمح *Triticum* Sp. عرضت لمستويات متباينة من الإجهاد المائيStress hydrique ، أنه كلما كان هذا الأخير شديدا تقلصت المساحة الورقية أكثر وقل طول الساق وتأثر الوزن الجف و المردود. و عليه تتغير حساسية النبات وتتأثر بتغير مراحل النمو كما هو موضح في الجدول التالي الخاص بالنباتات النجيلية:-

استجابات النجيليات للإجهاد المائي خلال تطورها حسب Aussin, 1987

مرحلة التطور	تأثير الإجهاد المائي	العواقب على المحصول
البذرة	تأخر ونقص الانتاش	تأثر مكونات المردود إدا كان عدد النبتات/ م2 أقل من 1000.
النبتة	ارتفاع نسبة موت الخلف و انخفاض تمثيل الآزوث	انخفاض عدد السنابل والمردود / م2 وتسارع في شيخوخة الأوراق.
- **الإشطاء وبداية الإسبال** - **تطاول السوق وتطور السنابل.** - **خروج المآبرAnthère** - **النضج.**	موت المنشآت الزهرية، وتقلص طول السوق، وتسارع في الشيخوخة sénescence	انخفاض عدد الحبوب والمردود. تراكم السكريات المنحلة في السوق محددا تناقص قدرة التركيب الضوئي خلال امتلاء الحبوب. واختزال حجم البدرة.

الجذور Les racines (Roots)

قليل من الدراسات التي تطرقت للصفات الجذرية في ظل الإجهاد المائي رغم أهميتها في مقاومة الجفاف والنقص المائي. إذ أن الجذور هي الأعضاء الأساسية الأولى التي تتأثر بالنقص المائي عموما، حيث لوحظ أن عدد الجذور ودرجة انتشارها تتأثر كثيرا في حالة العجز المائي. وتختلف مورفولوجيا الجهاز الجذري Système racinaire من نوع نباتي إلى آخر وهي محددة بالعامل الوراثي ومرتبطة أيضا بالشروط الترابية والمناخية المتباينة.

التكاثر والنضج Reproduction et Muration

بينت الدراسات العديدة أن فترة الإزهار والنضج هي الأكثر حساسية للإجهاد المائي، وأهم عارض لدلك ظاهرة **الابيضاض** Glaucescence التي تؤدي إلى تقليص معتبر للمردود في نبات القمح حسب العديد من الباحثين. ويؤدي النقص المائي الذي يصادف مرحلة التكاثر إلى تحديد عدد السنابل وإجهاض السنيبلات في طرفي السنبلة ، ويخفض من حيوية حبوب الطلع ودلك بسبب نقص الماء والعناصر الغذائية.

العجز المائي الذي يصادف مرحلة النضج غير ملائم تماما ، حيث ينقص بشكل كبير من وزن وأعداد البذور والثمار نتيجة تباطؤ أو توقف هجرة المواد الغذائية المركبة في الأوراق، وهو ما قد يمثل السبب الرئيسي في محدودية المردود النهائي.

من الناحية الفيزيولوجية Physiologique

التركيب الضوئي Photosynthèse

أكدت الكثير من الأبحاث تأثير الإجهاد المائي على مختلف عمليات **التركيب الضوئي** (Oosterhuis et Walker, 1987)، ويرجع ذلك إلى تلف الأجهزة الأنزيمية للبلاستيدات. فالنقص الشديد للماء يؤثر مباشره على الأنظمة اليخضورية الضوئية، ويؤدي ذلك إلى خفض محتوى الأوراق من الصبغات الخضراء والصبغات التمثلية الأخرى. حيث يرى كثير من الباحثين أن ذلك يتم بطرق متناسقة:

- إما بغلق الثغور أو بارتفاع المقاومة الثغرية مما يحدد انتشار المبادلات الغازية كغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 إلى داخل الأوراق ومنه تحديد معدل التركيب الضوئي و المر دودية والإنتاجية.
- بالتأثير على تفاعلات الإستقلاب في مستوى الخلية وعظياتها المسئولة على ذلك.
- التقليل من المساحة الورقية.
- خفض فقد الماء عن طريق فتح وغلق الجهاز الثغري أو آلية النتح.

التنفس Respiration

يسبب نقص الماء في الأغشية الخلوية ضعف نفاذية الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون ويؤدي ذلك إلى زيادة شدة التنفس، فعندما تقترب انسجه الأوراق من الذبول يتحلل ما بها من النشا وتتحول إلى سكريات دائبة. و بارتفاع كميه السكريات الدائبة تزيد من سرعه التنفس وهذا ما يلاحظ عاده عند بداية الذبول (Levitt, 1972).

النتح Transpiration

للمحافظة على المحتوى المائي الداخلي يبدي النبات جملة من الآليات، كبعض الصفات المورفولوجية للأوراق كالتنظيم الثغري والتفاف الأوراق التي تساهم في تقليص فقدان الماء من النبات. وظاهرة التفاف الأوراق تعتبر كمؤشر لانكماش الخلايا ووسيلة لتفادي جفاف الأنسجة بالتقليل من عملية النتح Evapotranspiration . وعليه تتمثل **أهم آليات المحافظة على المحتوى المائي خلال الجفاف أو النقص المائي في تنظيم آلية فتح وغلق الثغور، التفاف نصل الورقة وتقليص امتصاص الأشعة الضوئية.**

إن **عملية النتح مرتبطة** بعدة عوامل داخلية أو مورفولوجية أهمها **المساحة الورقية Surface foliaire سمك طبقة الكيوتيكل Cuticule وعدد ومكان توضع الثغور Stomata على سطح الورقة .** وهي من العوامل التي يتكيف معها النبات حسب شدة الإجهاد المائي Déficit hydrique . لوحظ أيضا أن ظاهرة **الابيضاض** Glaucescence تخفض النتح الكيوتيكيلي وتؤثر بقوة على المردود وعلى فعالية استغلال الماء بتأخير موت الأوراق. ولخص الباحث (Monneveux, 1989)

أهم معايير التكيف مع الجفاف أو النقص المائي في النجيليات (Graminée (Poacae في الجدول التالي:-

المعايير المورفوفيزيولوجية للتأقلم مع الجفاف في النجيليات حسب Monneveux, 1989

معايير التأقلم	أمثلة
معايير مرتبطة بالدورة البيولوجية	- التبكير
معايير مورفولوجية	- تفرع الجهاز الجدري - وضع ومساحة الورقة - حجم السوق أو القصبات - طول السفا - التواء الأوراق - كثافة Trichome - الابيضاضGlaucescence ولون الأوراق - وجود المواد الشمعية - كثافة وحجم الثغور، وانضغاط الميزوفيل - سمك الكيوتيكل وعدد وقطر أوعية الخشب الجذرية
معايير مورفوفيزيولوجية	- الآثار الثغرية وغيرها للإجهاد المائي على التركيب الضوئي. - تقليص النتح بغلق الثغور. - المحافظة على كمون مائي مرتفع. - التعديل الحلولي بتراكم الشوارد المعدنية، البرولين والسكريات الدائبة.

تثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون:

إن جفاف الأوراق نتيجة لنقص الماء يمكن أن يؤثر في عملية تثبيت ثاني أكسيد الكربون وذلك بتقليل أو خفض فتح الثغور، فيقلل بذلك انتشاره خلال البشرة أو بتغيير نفاديه الأغشية التي يعبر من خلالها ثاني أكسيد الكربون في صوره ماده أوليه لعملية البناء الضوئي تستغل من طرف النبات في بناء السكريات الأولية .

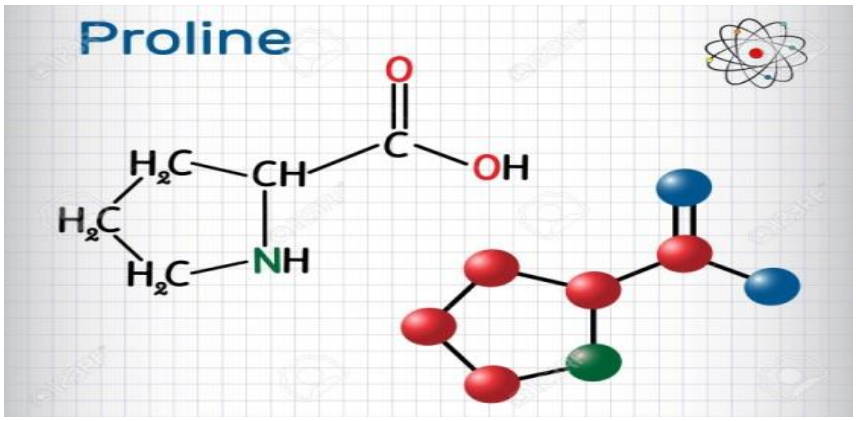
تأثير الإجهاد المائي على الخصائص البيوكيماوية

1- السكريات

السكريات من الكربوهيدرات التي تمثل أحد أصناف الغذاء الرئيسية الثلاثة، وتصنف حسب تركيبها الكيميائي إلى أحاديات السكاريات وهو التركيب الأبسط مثل الغلوكوز، والثنائية مثل السكروز، وعديدات السكريات مثل النشاء و السيليلوز .

إن تحمل الجفاف يعود للاستعمال التدريجي للمدخرات النشوية حسب ما لاحظه وأشار الكثير من الباحثين إلى نقص السكريات في النبات تحت ظروف الجفاف، وهذا راجع إلى الدور الوقائي الذي تلعبه السكريات الذائبة على مستوى الأنظمة الغشائية بصفة عامة والميتوكوندرية بصفة خاصة. بالإضافة إلى ذلك فإن النقص الذي يحدث في كمية السكريات يرجع بالدرجة الأولى إلى مساهماتها في حمايه التفاعلات المؤدية إلى تركيب الأنزيمات الشيء الذي يسمح للنبات بتحمل أفضل المؤثرات خاصة الجفاف حسب كثير من الباحثين. ولوحظ أيضا أن السكريات الذائبة يتناسب محتواها وفقا لأصناف النبات كما في القمح حيث تزداد في المراحل الأولى للجفاف ثم تتناقص عند الأصناف المقاومة، فالأصناف التي لها قدرة عالية على الاحتفاظ المائي هي التي تتميز بتجميع أكبر للسكريات الذائبة التي تمكنها من الحفاظ على حياه أطول.

2- البرولين Proline



البرولين حمض أميني يمتلك خواص كيميائية مشابهه لخواص جميع الأحماض الأمينية. إلا أنه يختلف عنها في كونه ينفرد بصيغة كيميائية معينة تكون فيها المجموعة الأمنية NH_2 ليست حرة، حيث انه يحتوي على أمين ثانوي في حلقة البيروليدين الأمنية.

تخليق البرولين:

يتم تخليق البرولين في الأوراق ثم ينتقل إلى الجذور لكي يتراكم، وتتغير نسبة البرولين حسب الأنواع، إضافة إلى ذلك فانه يتغير ويرتفع بارتفاع درجة الحرارة، وعند تعرض النبات للجفاف وأي إجهاد. ويبدأ البناء التركيبي للبرولين مع الجليتاميك Glutamique ينتهي بواسطة حمض الكربوكسيليك برولين.

هدم البرولين:

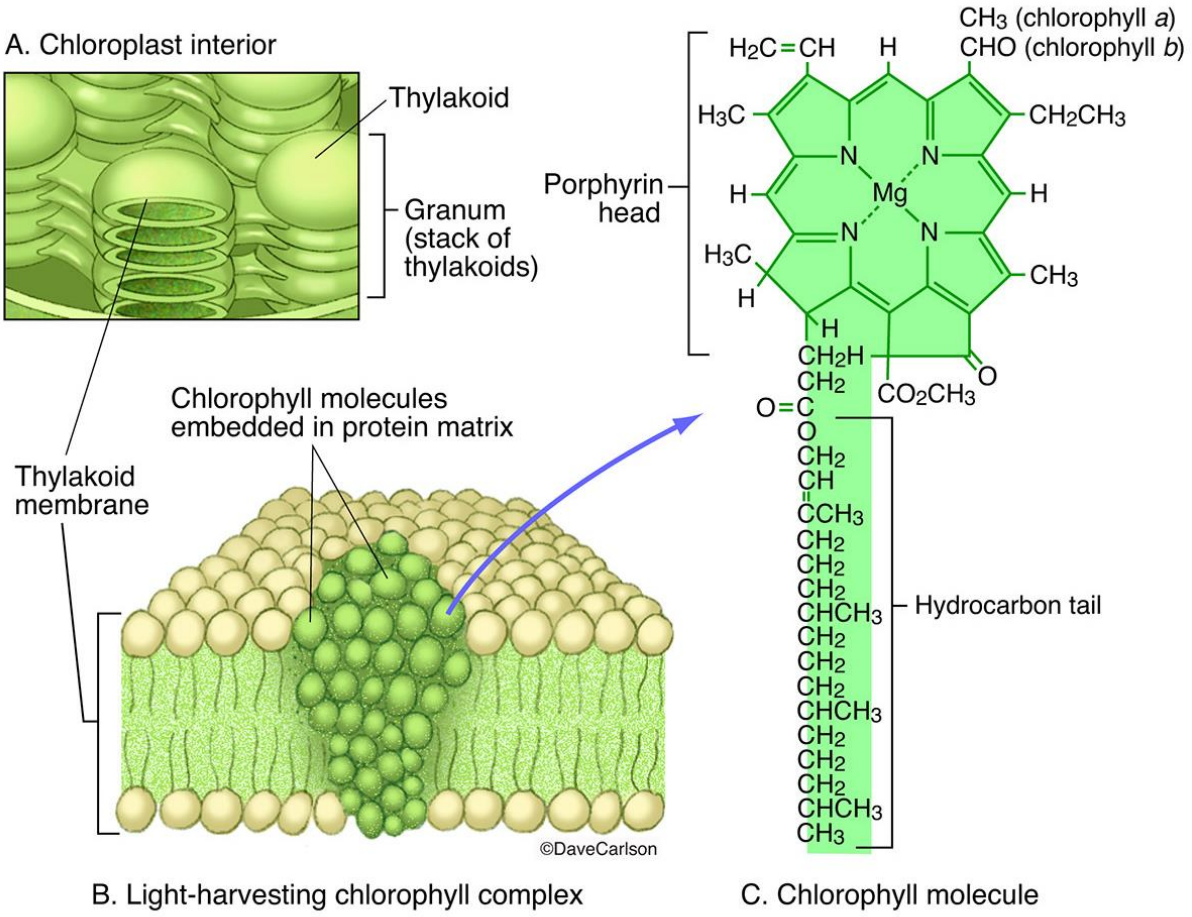
تبدأ أول خطوة في هدم البرولين بالمركب (P5c (Acide Proline-5 في الغشاء الداخلي للميتوكندري موجهة بواسطة أنزيم برولين أوكسيداز (Proline Oxydase)، حيث يحول هذا المركب إلى glutamate عن طريق إنزيم P5C Déshydrogénase . وقد اثبت كثير من العلماء والباحثين أن عمليه هدم البرولين عند البكتيريا والحشرات تبدأ بتحويل البرولين إلى P5C لكن في بضع الحالات يحول إلى P2C عن طريق وسيط البرولين في الميتوكندريا في وجود الأكسجين. إن هدم البرولين يتوقف على طول مده التراكم عند النبات، ثم ينشط من جديد بعد عمليه السقي.

علاقة البرولين بالجفاف:

إن الجفاف يؤثر على التركيب الكيميائي للنباتات، حيث يرتفع محتوى البرولين عند أوراق الأنسجة النباتية نسبيا مع انخفاض محتوى الماء في وسط التربة. وقد لوحظت هذه العلاقة بين محتوى البرولين ونسبه الرطوبة في التربة عند كثير من النباتات. إذ يعتبر البرولين المؤشر الحقيقي للمقاومة ضد الجفاف بالحفاظ على جهد مائي داخلي. وهو المركب الأسموزي الأكثر توزعا في النباتات المجهدة، لذلك يعتبر عاملا محددا لتأثير الإجهاد المائي ومؤشر مهم للتأقلم.

إن تواجد البرولين يعتبر ذو أهمية كبيرة عند العديد من النباتات خاصة القمح والشعير، وتحفيز تراكمه في الأنسجة النباتية مرتبط بتغيرات المحتوى المائي الضروري، الأمر الذي يحث على تخليقه عند النباتات التي لها القدرة على تحمل الجفاف. وتزيد كميه البرولين في الخلايا النباتية استجابة لدرجة الحرارة المرتفعة و الإجهادات المختلفة التي يكون محتواها المائي ضعيف.

3- الكلوروفيل Chlorophylle



يؤدي النقص المائي إلى غلق الثغور وهذا راجع إلى تراكم حمض الأبسيسيك، كما أن انخفاض الضغط المائي يؤخر تخليق الكلوروفيل a ويعيق تراكم الكلوروفيل b. كما أن نقص نشاط عمليه التركيب الضوئي تحت ظروف النقص المائي يرجع إلى حدوث تلف في النظام الضوئي تحت هذه الظروف الإجهادية، ويرجع ذلك إلى حدوث تلف في النظام الأنزيمي للبلاستيدات الخضراء والكلوروفيل أثناء النقص المائي حيث يتغير تركيب البروتوبلازم الخلوي. وحدوث اضطراب في كل العمليات الحيوية كعمل الميتوكوندري ودورة كريبس ونشاط السيتوكرومات وهذا حسب العديد من الباحثين.

استجابة النبات للنقص المائي

من أهم المعاني التي يكتسبها **مفهوم التأقلم** مع الجفاف هو قدرة النبات على إعطاء منتوج مقبول تحت ظروف النقص المائي. و**النبات المتأقلم** هو النبات الذي يتحمل أو يقاوم عجزا مائيا معينا. وقد **عرف** بأنه قدرة النبات المعرض لفترة جفاف تدوم جزء من دورة حياته على البقاء حيا ويستطيع الإنتباج بمستوى مقبول مقارنه بنبات آخر غير متكيف في دورة حياته على البقاء حيا و متكيف مع الجفاف.

تستجيب النباتات إلى الإجهاد المائي بآليات تختلف والنوع النباتي، وهده الآليات يمكن فصلها عن بعضها والتي قد تكون متكاملة. لاحظ كثير من الباحثين مدى تعقيد الظواهر الفيزيومورفولوجية للتأقلم مع العجز المائي عند النباتات، فقط سجل **تراكم لحمض البرولين** عند النباتات المعرضة للإجهاد المائي الذي يؤدي إلى **جفاف الأوراق** المسنه و**تخفيض القدرة على امتصاص الماء** من طرف النباتات، مما يؤدي في النهاية إلى تقليص الإنتاج. فالنباتات المعرضة للإجهاد المائي تبدي استجابات مؤقتة لتنظيم حالتها المائية، ولوحظ من خلال الأبحاث العديدة في هذا المجال أن تلك الاستجابات ذات طبيعة **مورفوفيزيولوجيه ومورفولوجية Morpho physiologique وأخرى مرتبطة بدورة حياة النبات**. والجدول التالي يلخص أهم تلك الاستجابات:-

بعض آليات التأقلم مع الجفاف Sécheresse

الآليات	المعايير	المصادر
تفادي وتجنب الجفاف	- التبكير Précocité	Grignac, 1986 Ali Dib *et al.,* 1992
تحسين امتصاص النبات	- نسبة النمو للقسم الترابي إلى القسم الهوائي	Benlaribi *et al.,* 1990
تخفيض فقدان الماء	- التفاف الأوراق - تقليص المساحة الورقية	Morgan, 1989
القدرة على تحريك المواد الأيضية المخزنة	- طول النبات - طول معلاق السنبلة في القمح	Mc William, 1989 Nachit et Ketata, 1991
القدرة على التعديل الاسموزي	- تراكم المواد المعدلة الحلوليةOsmoticum - المحتوى النسبي للماء	Monneveux et nemmar, 1996. Schonfield, 1988.
المحافظة على النشاط التركيبي الضوئي.	- محتوى الأوراق من اليخضور	Cummuluru et al., 1989

ومن الآليات المرتبطة بدورة حياة النبات ما يلي:

1- الهروب (التبكير) Echappement

يطلق عليه أيضا التفادي ويسمح بتجنب الإجهاد الحادث خلال دورة حياة النبات بطريقتين:

- **إما بالتبكير في النضج أو النمو السريع والإزهار المبكر:** ويكون غالبا عند الحبوب المزروعة في المناطق الاستوائية.
- **او بالتقصير في الدورة الزراعية:** ويكون في المناطق الاستوائية الجافة عند نباتات الذرة البيضاء، الفول السودان. فنتائج التبكير مرتبطة بمدى حساسية النبات لفترة الإضاءة ودرجة الحرارة.

فتطور آليات تأقلم النبات مرتبطة بدورة حياته أي **النمو السريع والإزهار المبكر أو التبكير**، وأخرى فيزيولوجية أي **مقاومة جفاف الأنسجة** لتفادي الفترات الحرجة في

حياته، فكثير من الباحثين أشاروا إلى أن الأصناف النباتية ذات المردود العالي هي دائما تلك التي تحدث عندها مرحلتي الإزهار و النضج المبكر تحت ظروف العجز المائي، فقد بين بعضهم في دراسته على 53 صنف من القمح والشعير والتريتيكل تحت ظروف العجز المائي أن **التبكير** بيوم واحد يؤدي إلى ارتفاع المحصول ب 3 قنطار \ الهكتار. **والنتائج الإيجابية للتبكير تبقى مرهونة بمدى حساسية النبات للفترة الضوئية ودرجات الحرارة العالية.**

2- التجنب Évitement

و يتعلق هذا النوع من المقاومة على **قدره النبات بالمحافظة على جهد مائي مرتفع وذلك لرفع قدرته على امتصاص الماء** مما يتميز بعدة صفات مورفولوجية للجذر كالعمق والتشعب، فتتميز هذه النباتات بكونها تتوسع في مجموعها الجذري مع اختزال المجموع الخضري، الشيء الذي يحقق توازنه مائيا سليما.

كما يحافظ النبات على الانسداد في حاله الجهد المائي المنخفض، ويمكن إرجاع ذلك إلى ظاهره التعديل الأسموزي وهي آلية فعالة لتحمل الجفاف أو الإجهاد المائي، والتي تسمح بحماية الأغشية و النظم الأنزيمية خاصة على مستوى الأعضاء الفتية، وتتمثل في قدره النبات على تجميع بعض المدخرات على المستوى الفجوي .

3- المقاومة Resistance

إن لم يتمكن النبات من التجنب أو الهروب من النقص المائي، فلا بد من مقاومته والذي لا يمكن الحدوث إلا في بعض الحدود، حيث يتميز النبات المقاوم للنقص المائي بخصائص مورفولوجية وأيضية تسمح له بالحفاظ على محتوى مائي مرتفع داخل الأنسجة، وترتبط هذه الخصائص بالطبيعة الميتابوليزمية الخاصة بهذه الأنسجة وبالخصائص الكيميائية لبرتوبلازمها. وقد **أسندت طبيعة التأقلم ومقاومة النقص المائية** داخل النبات إلى تركيب جزيئاته وخصائص التأقلم، نذكر منها:

- ❖ التعديل الأسموزي وانخفاض الجهد المائي والحفاظ على جهد الإنتباج أو تراكم الايونات المعدنية داخل الفجوات والمركبات العضوية والبرولين.
- ❖ قدره الغشاء البلازمي على الحصول على الايونات السالبة.

التحمل Tolérance

تمتلك بعض النباتات كالعصاريات آلية تحمل أحسن من بعض الأخر تجاه العجز المائي مما يكون السبب في بقاء النباتات العصيرية على قيد الحياة تحت ظروف الجفاف الشديد وذلك بسبب محتواها من المادة الجافة وعمليات الأيض المختزلة لديها واحتياجها لكميات قليله من الكربوهيدرات. وبذلك يمكنها تحمل سرعه التمثيل الضوئي الذي يمكن أن يكون مميتا بالنسبة للنباتات ذات الأيض النشيط. وتتميز النباتات المتحملة للجفاف بثباتية كبيرة للتراكيب الغشائية.

ورغم أن النباتات تتحمل حدودا واسعة من التغيرات في محتواها المائي بين حالة الانتباج الكاملة والنقص المائي المميت، فان التكيفات المورفولوجية والتنظيمات الفيزيولوجية تصبح ضرورية لتكيف المبادلات المائية مع تغيرات الوسط الخارجي سواء الجوية أو الترابية. ويعرف النقص المائي بأنه كل تغيير نسبي ذو شدة معينة يحدث تأثيرا معاكسا على نمو النباتات.

آليات مقاومة النبات للجفاف

أجمع الباحثون أن أهم آليات التأقلم مع الجفاف هو **<u>التعديل الأسموزي</u>** **Régulation Osmotique** الذي يسمح بالحفاظ على إنتباج خلايا النباتات المجهدة بتراكم عدة مواد منحلة كالنترات NO_3، السكريات، الأحماض الأمينية (البرولين)، الأحماض العضوية وأملاح البوتاسيوم. **ووجد أن البرولين والسكريات تظهر بسرعة أكبر في سيتوبلازم الخلايا تحت تأثير الإجهاد المائي.**

أ- دور البرولين

لوحظ أن تراكم البرولين عند النباتات المجهدة يعتبر عاملا محددا لتأثير الإجهاد المائي، واعتبر مؤشرا مهما عن التأقلم مع الإجهادات المختلفة كالبرودة والملوحة والجهاد المائي... ذلك أن البرولين يحافظ على الضغط الحلولي المرتفع، وهو غير مرتبط بمرحلة معينة من النمو، إنما هو نتيجة مباشرة للإجهاد وبزيادة مضطردة للفعل. وعليه فهو استجابة وقائية للنباتات تجاه كل العوامل المحددة والمجهدة للكائن الحي النباتي.

ب- دور السكريات الذائبة

لوحظ أن تحمل الجفاف أو العجز المائي قد يكون راجعا للاستعمال التدريجي للمدخرات النشوية. وأشار الكثير من الباحثين إلى الدور الوقائي الذي تلعبه السكريات الذائبة على مستوى الأنظمة الغشائية بصفة عامة والغشية الميتوكوندرية بصفة خاصة. إضافة إلى ذلك فالسكريات الذائبة تساهم في حماية الظواهر أو التفاعلات المؤدية إلى تركيب الأنزيمات الشيء الذي يسمح للنبات بتحمل أفضل لمؤثرات النقص المائي.

وعليه فإن السكريات والبرولين مع مواد أخرى تساهم في ظاهرة التعديل الأسموزي أو الحلولي التي تحمي الأغشية والأنظمة الأنزيمية وذبك بالمحافظة على إنتباج الخلايا بتخفيض كمونها الحلولي لتعويض انخفاض الكمون المائي للأوراق.

دور بعض أعضاء النبات وبنيتها في تحقيق المردود

يتحقق المردود النهائي في النبات بتداخل مجموعة من الآليات تساهم فيها أعضاء النبات المختلفة بتكوينها المورفولوجي ووظيفتها الفيزيولوجية. ومن هذه الأعضاء:-

1- **الأوراق** feuilles

تلعب الورقة النهائية كما في النجيليات دورا أساسيا في امتلاء البدورGrains، فمصدر المواد العضوية التي تخزن في البدرة هي عملية البناء الضوئي Photosynthèse التي تحدث في الأوراق الخضراء خلال مراحل النمو المختلفة خاصة في المراحل الأخيرة. في ظل العجز المائي تشيخ الورقة النهائية بسرعة مما يحدد أو يقلل من فعاليتها، فتأخذ بعض الأعضاء دورا مكملا لها خاصة الساق حيث تخزن فيه المواد المركبة ثم تهاجر نحو البدور.

اعتبر أن قدرة حياة الورقة النهائية تقدر بتطور مساحتها الخضراء وهو مؤشر على مستوى عمل جهاز التركيب الضوئي في وجود عجز مائي. ومنه تساهم الأوراق وخاصة النهائية منها خلال مراحل النمو الأخيرة بشكل كبير خاصة عند النجيليات Graminées ، ومنه فبتأخر شيخوخة الأوراق يمكن تحسين امتلاء الثمار والبدور.

2- **الساق** Tige

الساق هو المقرر الرئيسي لتوضع المادة الجافة الغير مهيكلة المشكلة أساسا من الجلوجوز والفراكتوز والسكروز والتي تهاجر نحو الحبوب أو البذور المساهمة في امتلاءها وتحسنها. وتساهم المادة الجافة المشكلة في الساق قبل الإزهار لنسبة أكثر من 30% في امتلاء البذور والثمار ، كما أن 50% من المواد الناتجة عن التركيب الضوئي تخزن أولا

في الساق لمدة محدودة قبل أن تنتقل إلى الثمار والبذور، وعليه ترتفع مساهمة الساق في زيادة مردودية الثمار والبذور بامتلائها بمادتها الجافة في حالة وجود عجز مائي حسب العديد من الباحثين.

3- طول النبات

ارتبط من مدة طويلة طول النبات بآلية المقاومة ، حيث كلما كان النبات مرتفعا كانت جذوره أكثر عمقا ، وبالتالي امتصاص أكبر كمية من الماء، ومنه تحريك تلك المدخرات نحو الثمار والبذور تحت ظروف الاجهادات المختلفة. والأصناف النباتية ذات السوق القصيرة لها قدرة ضعيفة على تخزين المواد الغذائية والماء بكميات كافية مما يجعلها ضعيفة المقاومة أمام إجهادات الوسط.

4- **السنابل في النجيليات** Epix

أظهرت دراسات عديدة أهمية السنابل في تركيب المواد العضوية التي تساهم في امتلاء البذور. ويؤدي الإجهاد المائي إلى إضعاف الأعضاء التي تقوم بالتركيب الضوئي أي الأوراق مما يستدعي تدخل السنبلة. وتمتاز بعض الأصناف بسفاة طويلة قادرة على تعويض الأوراق الضعيفة أو الميتة في عملية التركيب الضوئي وتعويض وزيادة المواد العضوية النباتية.

----------0000000000000----------

الموضوع الرابع

الإجهاد الحراري

Le Stress Thermique

إن حساسية الكائنات النباتية للمجالات الحرارية متباينة ومختلفة، فهناك المؤثرة كليا وقد تكون قاتلة، والمتحملة، وهناك الحرارة التي يتأقلم معها النبات وينمو بصورة طبيعية في المجالات المحددة. وعليه فالدرجات المتطرفة **Extrême** تسبب ما يسمى **بالإجهاد الحراري** **Stress thermique**. ومنه الإجهاد تحت الدرجات الدنيا (البرد والإنجماد مسببة **Le stress au froid** أو **Le stress au gel** ، وأيضا الإجهاد تحت الدرجات العالية أو القصوى **Le stress au température élevée**.

قبل أن نتكلم عن الإجهاد الحراري لابد أن نتكلم عن العمل البيئي المحدد والمؤثر الذي هو يسمى بالحرارة **Température**.

الحرارة Température

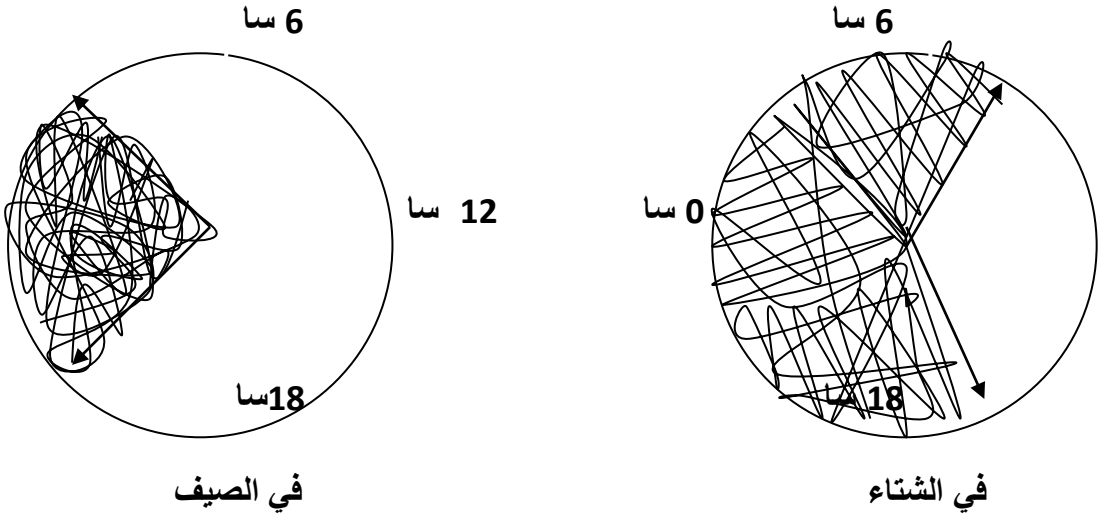
تنتج الحرارة من انكسار الفوتونات المنبعثة من مصدر حراري ثم انكسارها على جسيمات ميكروسكوبية كالجزيء أو ماكروسكوبية كالأجسام الصلبة والنباتات، وبتغير سرعة تحرك جزيئات تلك المادة بالزيادة أو النقصان وتبعا لسرعة ودرجة اصطدام تلك الجزيئات مع الأجسام الأخرى تنبعث الحرارة بدرجات متباينة.

إن مصدر الحرارة التي تؤثر على الحياة على ظهر البسيطة متمثلة في الشمس وباطن الأرض المنصهر، التفاعلات الكيميائية ، الطاقة النووية، الاحتكاك والكهرباء. لكن المصدر الأساسي المؤثر على **النمو والتكاثر** **La Croissance et la Reproduction** بالنسبة للكائنات النباتية هي الحرارة المنبعثة من أشعة الشمس والتي يصل جزء يسير منها إلى النبات، حيث أن أغلبها ينعكس قبل الدخول إلى الغلاف الجوي الأرضي، ومع ذلك يكفي هذا الجزء اليسير لاستمرار الحياة لكل الكائنات الحية سواء النباتية والحيوانية.

الدورة الضوئية Photopériode

نتيجة للعلاقة المترابطة والمتداخلة بين الضوء والحرارة لا بد أن نشير إلى الدورة والفترة الضوئية **Photopériode** والتي يعبر عنها بالفترة من الضوء التي يتعرض لها النبات للقيام بوظائفه على أحسن وجه، وهي مختلفة بين الصبيحة والظهيرة والمساء، وحتى بين الفصول السنوية وأيضا على مستوى أماكن الكرة الأرضية.

في اليوم الواحد أي 24 ساعة بتعاقب طورين، طور ضوئي نهاري يسمى **Photophase** ، وطور ظلامي ليلي يسمى **Scatophase**. كما تختلف الدورة الضوئية من منطقة إلى أحرى باختلاف فصول السنة وتكون في الفصول المعتدلة 12 ساعة ليلا ظلامي و 12 ساعة نهارا ضوئي أي الربيع والخريف. وعليه فالدورة أو الفترة الضوئية القصيرة تمتاز بسيادة الطور الظلامي **Scatophase**، والدورة أو الفترة الضوئية الطويلة تمتاز بسيادة الطور الضوئي **Photopase**، والشكل رقم 01 يمثل التغيرات النسبية للطورين الضوئي الأبيض **Photophase** و الظلامي الأسود **Scatophase** خلال الانقلاب الشمسي الصيفي والشتوي في أوربا الوسطى:-



الشكل 01:- يمثل التغيرات النسبية للطورين الضوئي الأبيض **Photophase** و الظلامي الأسود **Scatophase** خلال الانقلاب الشمسي الصيفي والشتوي في أوربا الوسط

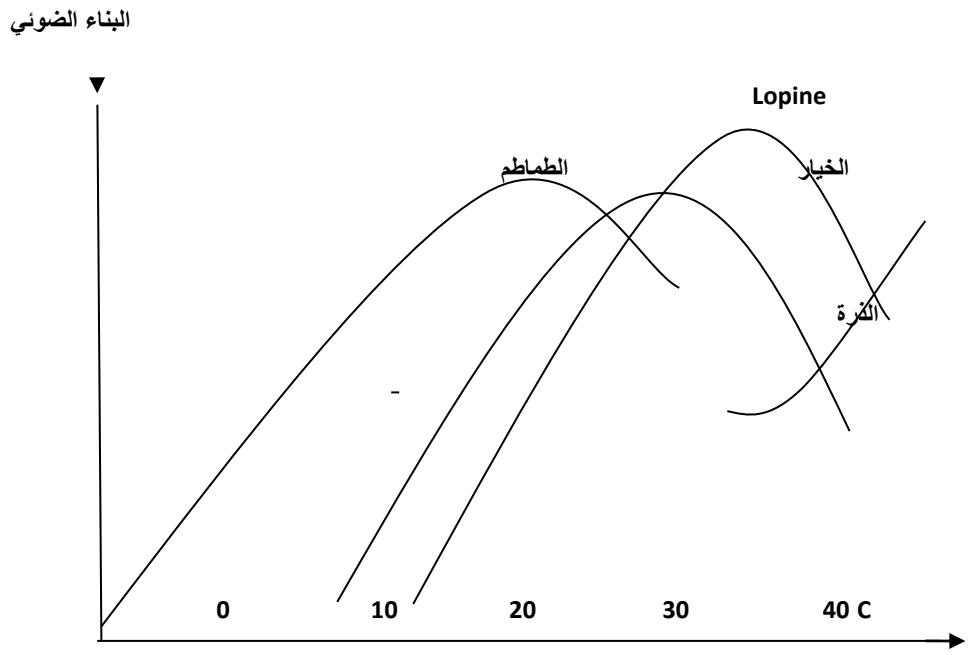
التوزيع الحراري

ينشأ التفاوت اليومي أو الفصلي الحاصل في درجة الحرارة بسبب دوران الأرض حول محورها ودورنها حول الشمس، ويكون التفاوت في درجات الحرارة اليومية أو السنوية في المناطق الاستوائية ضئيلا، بينما يصل هذا التفاوت إلى 50 درجة مئوية في الأجزاء الشمالية أو الجنوبية

للكرة الأرضية. تتزايد عمليات الأيض في النبات بمعدل يتراوح بين 1 إلى 3 أضعاف لكل زيادة مقدارها 10 درجات مئوية. ودرجات الحرارة الملائمة لنمو المجموع الجذري عادة تكون أقل من المجموع الخضري، لدلك تستطيع الجذور أن تنمو عندما تكون الأجزاء الخضرية ساكنة.

كما هو معروف فإن الدرجات الحرارية الحدية التي يتأثر نمو النبات عندها متمثلة في:-

1- **الدرجة الدنيا:-** وهي أقل درجة حرارية يمكن للنبات النمو فيها، لكن تكون العمليات الحيوية فيها متدنية بشكل كبير، و تبلغ 5 درجات مئوية غالبا لمعظم النبات.
2- **الدرجة المثلى:-** وهي الدرجة التي يمكن للنبات أن ينمو فيها وتكون العمليات الحيوية في أعلى مستو لها، وتختلف حسب نمو النبات.
3- **الدرجة القصوى:-** وهي أعلى درجة حرارية يمكن للنبات أن ينمو فيها وتكون العمليات الحيوية للنبات في أدنى مستو لها، وتبلغ 45 درجة مئوية وتختلف باختلاف النوع النباتي كما هو موضح في الشكل التالي رقم 02 :-



شكل 02:- درجة الحرارة الحدية لبعض النباتات

تختلف الدرجة الحدية **Extrême** للعمليات الفيزيولوجية في النوع النباتي، ولكل عملية فيزيولوجية درجاتها الحدية الخاصة، كما تختلف درجات الحرارة الحدية للأجزاء

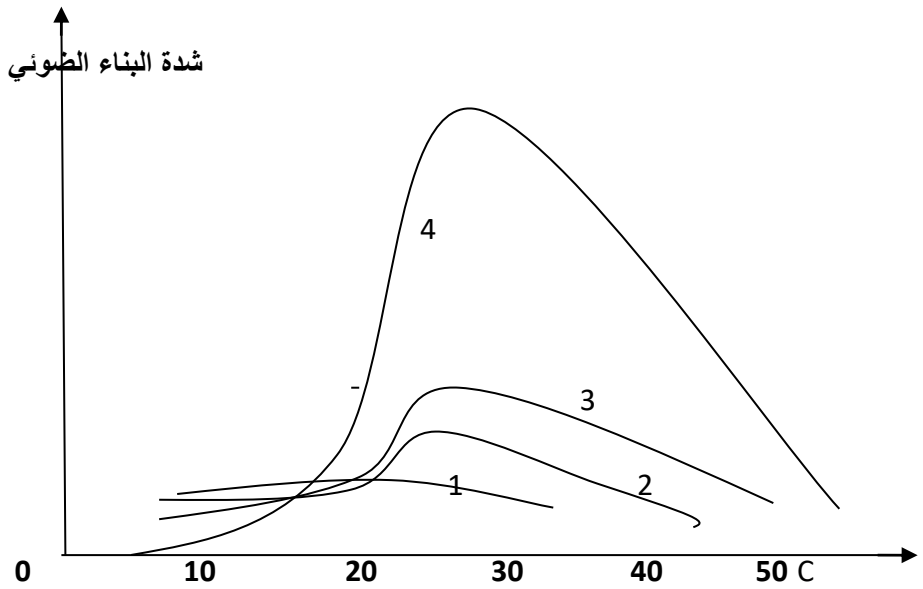
النباتية حيث تكون البراعم الزهرية ذات حساسية أكبر للدرجات الحرارية المنخفضة. كما تختلف الدرجات الحدية أيضا لعمر الجزء النباتي، فالأوراق الصغيرة تختلف درجاتها الحدية عن الأوراق المسنة، والجذور في نباتات المناطق المعتدلة تتطلب درجات حرارية أقل من البراعم لتنمو.

التأثير السلبي لارتفاع درجة الحرارة

تحدث الحرارة المرتفعة أضرارا بالغة للنبات تتمثل في:-

1- **الجفاف Sécheresse :- عند ارتفاع درجات الحرارة يتزايد معدل فقد النبات للماء عن طريق الثغور بعملية النتح** Evapotranspiration **، وبتزايد هذه العملية سواء بالتبخر من سطح التربة أو بعملية النتح** Transpiration **يصبح التوازن المائي بين الوسط الخارجي والوسط الداخلي للنبات سالبا أي كمية الماء المفقودة عن طريق النتح تفوق كمية الماء الممتصة بواسطة الجهاز الجذري مسببة بلزمة بروتوبلازم الخلايا، فيبدأ النبات بالذبول وغالبا ما تؤدي إلى موت النبات بتوقف العمليات الأيضية المختلفة التي تعتمد على الماء وطبيعته.**

2- **تزايد معدلات الهدم:- بارتفاع درجات الحرارة عن الحد الأقصى تزداد عمليات الهدم في النبات أي زيادة عملية التنفس. وعملية الأيض في النبات تعتمد على التوازن بين عملية البناء الضوئي** Photosynthèse **وعملية الهدم أو التنفس** Respiration **، وهذه تختلف بين نبات وآخر فمثلا في البطاطا** Solanum Sp. **درجة الحرارة التي يبدأ عندها النمو في استهلاك المواد المصنعة بعملية البناء الضوئي بواسطة التنفس هي 36 درجة مئوية كما يوضحه الشكل 03 الذي يوضح العلاقة بين البناء الضوئي والضوء ودرجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكاربون في نبات البطاطا:-**



1- في الضوء الضعيف وتركيز منخفض CO_2.

2- في قوة 1/25 وتركيز CO_2 معدل لتركيزه الطبيعي.

3- في الضوء الطبيعي وتركيز CO_2 معدل لتركيزه الطبيعي.

4- في الضوء الطبيعي وتركيز CO_2 يساوي 1.22 %.

شكل 03:- يوضح العلاقة بين البناء الضوئي والضوء ودرجة الحرارة وتركيزCO_2 في نبات البطاطا.

إن تأثير درجة الحرارة معقد في عملية التنفس شأنها في ذلك شأن تأثيرها في العمليات الحيوية الأخرى. على العموم تؤدي زيادة الحرارة إلى زيادة عملية التنفس أو الهدم والعكس صحيح أيضا وهذا حسب نوع النبات، فنباتات المناطق المعتدلة الحارة يتوقف فيها التنفس في مجال حراري بين 0.0 – 05 درجات مئوية تحت الصفر، أما نباتات المناطق الباردة كبعض المخروطيات أو الصنوبريات ***Pinus sp.*** و الأشنيات **Lichens** لا تتوقف فيها عملية التنفس بانخفاض الحرارة إلى 10-20 درجة مئوية تحت الصفر. و في الدرجات العالية أكثر من 45 درجة مئوية تتأثر فيها عملية التنفس أكثر من عملية البناء الضوئي. لذلك فإن النباتات التي تعيش في مستوى الطبقات السفلى في الغابات بالمناطق المعتدلة حيث درجة الحرارة غير مرتفعة يكون عندها صافي الزيادة اليومية مرتفعا لما يقوم به النبات من عملية البناء الضوئي مما يمكنه من

النمو بصورة جيدة بالرغم من أن قوة الإضاءة ضعيفة داخل الغابة، وعليه فإن درجة الحرارة المثلى للتنفس تكون أعلى منه في عملية البناء الضوئي.

3- البناء الضوئيPhotosynthèse

تأثير درجة الحرارة على معدل عملية البناء الضوئي يتوقف على نوع النبات كما هو موضحا في الجدول 01 محسوبا بالمليغرام CO_2 في 50 سم3 من سطح الورقة في الساعة حسب Lundegardh.

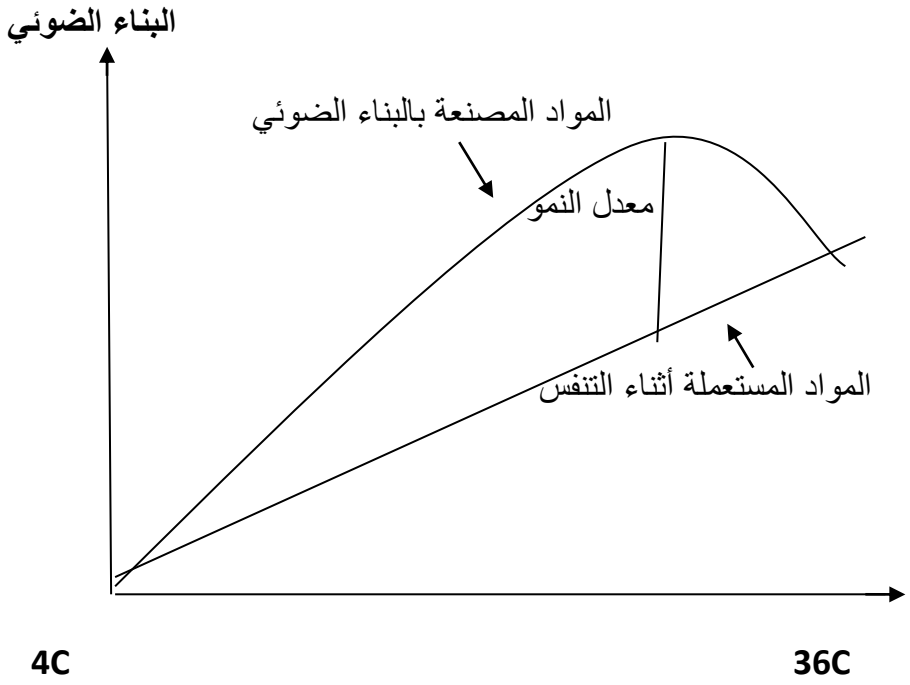
جدول01: العلاقة بين درجة الحرارة ومعدل البناء الضوئي محسوبا **بالمليغرام** CO_2 في 50 سم3 من سطح الورقة في الساعة حسب Lundegardh.

النوع	صفر	10م	20م	30م	40م
البطاطا	0.9	4.2	9.5	4.6	سالب
الطماطم	3.3	6.0	8.4	3.9	سالب
البنجر السكري	3 .0	6.0	8.5	7.0	3.8
نباتات قرنية	1.6	2.3	4.6	6.8	4.8
Anemone	2.8	5.5	5.2	3.2	سالب

يتضح أن العلاقة بين درجات الحرارة ومعدل البناء الضوئي تختلف باختلاف الأنواع النباتية. ففي نبات الأنمون Anémone أو الأقحوان الذي يعيش في المناطق المعتدلة الشمالية داخل الغابات يكون معدل البناء الضوئي عند أشده في درجة حرارة 15 درجة مئوية. بينما نباتات المناطق الأكثر دفئا كالبطاطس***Solanum* sp** والطماطم ***Lycopersicum* sp** يبلغ معدل البناء الضوئي أشده عند درجة حرارة 20- 25 درجة مئوية، أمابالنسبة لنباتات المناطق المدارية (النباتات القرنية) فتكون في درجة الحرارة 30ن النباتات قد تكيفت خلال الأجيال المتعاقبة إلى درجة الحرارة السائدة في المناطق التي تنتشر فيها.

عملية البناء الضوئي تبدأ في نباتات المناطق الشبه مدارية الشبه حارة في درجة حرارية تقارب الدرجتين تحت الصفر، أما في نباتات المناطق المعتدلة تبدأ عملية البناء الضوئي تحت درجات أكثر انخفاضا، فبعض النباتات الخروطية كالعرعر **Jumporus** و الأشنات يبدأ فيه البناء الضوئي تحت درجة 20 درجة مئوية تحت الصفر.

عند دراسة العلاقة بين معدل البناء الضوئي ودرجة الحرارة لابد من ملاحظة أن هذه العلاقة ليست دائما ثابتة في النبات الواحد، بل تتوقف على العوامل الأخرى المرافقة، بالدرجة الأولى **قوة الإضاءة وتركيز ثاني أكسيد الكاربون** كما هو موضح في الشكل 03:-



شكل 03:- العلاقة بين درجة الحرارة وكل من البناء الضوئي والتنفس

ففي نبات البطاطس وجد أن درجة الحرارة المثلى لعملية البناء الضوئي هي حوالي 10 درجة مئوية في حالة الإضاءة الطبيعية وتركيز CO_2 أقلمن 0.03 في المائة، وحوالي 18 درجة مئوية في قوة إضاءة 1/25 من قوتها الكاملة وتركيز مماثل من CO_2 ، وحوالي 20 درجة مئوية في إضاءة كاملة وتركيز طبيعي من CO_2 ، 30 درجة مئوية في حالة إضاءة كاملة وتركيز مرتفع من CO_2 بمقدار 1.22 %.

4- الإنبات Germination

إذا لم توجد عوامل بيئية محددة أخرى فإن بذور أي نوع نباتي تنبت في مجال معين من درجة الحرارة وتختلف من نوع إلى آخر، ولكنها لا تنبت في درجات الحرارة أعلى أو أقل من هذا المجال كما يتضح من الجدول التالي الذي يوضح درجة الحرارة الدنيا والمثلى والقصوى لغنيات بدور بعض الأنواع بالدرجة المئوية:-

جدول02: يوضح درجة الحرارة الدنيا والمثلى والقصوى لإنبات بدور بعض الأنواع النباتية بالدرجة المئوية.

النوع	درجة الحرارة الدنيا	درجة الحرارة المثلى	درجة الحرارة القصوى
القمح	3	25	32-30
العنب	2-1	35	45
البرسيم	1	30	37
البنجر السكري	5-4	25	30
عباد الشمس	9-8	28	35
الأرز	12-10	32-30	38-36
التبغ	14-13	28	35
القطن	12	32	40

تأثير ارتفاع درجة الحرارة على إنتاجية النبات

يكون تأثير الحرارة المرتفعة على إنتاجية النبات بالتأثير على الإزهار **Florison** وعملية التلقيح **Pollinisation** وحتى الإثمار. تحت تأثير الحرارة المرتفعة تتساقط الأزهار وتقل حيوية حبوب اللقاح في الدرجات الحرارية العالية، الأمر الذي يصعب معه نمو الأنبوبة اللقاحية اللازمة لحدوث التلقيح والإخصاب **Fertilisation**، وبدلك لا تتكون الثمار وإن تشكلت تكون أقل حلاوة لنقص السكريات المغذية التي تهدم أثناء التنفس.

للتغلب على أضرار ارتفاع الحرارة أو لتجنب تأثير الحرارة العالية يمكن عمل التالي:-

1- تغطية النبات أو الشتلات الصغيرة بالقماش الشبكي، القش، التبن، الخيش و البيلاستيكي...
2- طلاء الجانب المعرض للشمس والحرارة من جذوع الأشجار عادة بمادة بيضاء عاكسة للأشعة والحرارة كمحلول الجير مثل أشجار الموالح، التفاح وغيرها من الأشجار...
3- الزراعة المتقاربة لكي تحمي الأشجار بعضها البعض و عدم تقاربها للحد الأدنى حتى لا تتنافس على الضوء والمغذيات...
4- زراعة الشجيرات الصغيرة الحجم تحت الأشجار الكبيرة الحجم كزراعة الموالح تحت أشجار النخيل والشتلات تحت الموالح كما في الواحات وهكذا...
5- الزراعة المحمية بالصوبات الزجاجية أو البيوت المحمية البلاستيكية أو القشية وما إلى ذلك مع استخدام التهوية الملائمة...

التأثير السلبي لانخفاض درجة الحرارة

تسبب الحرارة المنخفضة هبوطا في معدل العمليات الحيوية داخل النبات مما يؤثر على النمو، ويعتمد هذا على عمر النبات ومدة التعرض لهذه الحرارة ، فعلى سبيل المثال شتلات نبات الذرة ***Zea mays*** التي تعرضت إلى درجة حرارية منخفضة 03 درجات مئوية لمدة 24 ساعة تتطلب 04 أيام للعودة إلى الحالة الطبيعية من النمو وظهور أوراق جديدة. وعليه فإن الأنسجة النباتية في الدرجات الحرارة الدنيا أو المنخفضة تتعرض لكثير من الأضرار ومنها:-

1- **تجمد البروتوبلازم:-** حيث أن انخفاض الحرارة يؤدي إلى تجمد الماء ومنه ترسب البروتينات المكونة للبروتوبلازم الخلوي مشكلا بلورات مما يؤدي إلى موت الخلايا ومنه النبات.

2- **الجفاف الخلوي:-** قبل حدوث الجفاف الخلوي الناشئ عن الحرارة المنخفضة، يحدث تغيير في نفاذية الأغشية الخلوية بحيث أن الماء الموجود في الخلية يبدأ بالانتشار باتجاه الفراغات الخلوية الموجودة بين الخلايا ويتجمد، وباستمرار خر وج الماء من الخلية يفقد البروتوبلازم مزيدا من الماء فتتأثر المكونات البروتوبلازمية مسببة تجمدا وتحورا للمادة الهلامية. وتختلف خلايا الأنواع النباتية في قدرتها على تحمل انخفاض درجات الحرارة وآلية المقاومة.

3- **الصقيع:-** حيث يؤدي إلى تشكل البلورات الإبرية الثلجية التي تكون طبقة رقيقة على سطح التربة والنبات وداخل الخلايا النباتية نتيجة انخفاض الحرارة إلى تحت درجة التجمد أو الصفر المئوي مما يؤثر كما مر سابقا على بروتوبلازم الخلايا والأغشية الخلوية فتتأثر العمليات الأيضية المختلفة.

وعليه يتسبب الانخفاض الحراري في إبطاء معدلات العمليات الأيضية المختلفة، وينعكس ذلك على النمو وتخزين المواد الغذائية والإثمار وتكوين البدور وغيرها من العمليات المعقدة التي تعتبر حصيلة النظم الفيزيولوجية أثناء نمو وتشكل الأعضاء النباتية المختلفة.

علاقة درجات الحرارة بالإرباع Vernalisation ou Springification

إن لدرجة الحرارة المنخفضة أثر كبير على تكوين الأصول الزهرية وتكشفها، فكثير من النباتات لا تزهر إذا عرضت إلى فترة ضوئية مناسبة ما لم تتعرض في مراحل نموها الأولى إلى درجة حرارية منخفضة.

ومن المعروف أن لبعض النباتات الحولية سلالة ربيعية وأخرى شتوية. في الربيعية يبدأ النمو في الربيع وتنشأ الأزهار في الصيف وتتكون الثمار والبذور في بداية الخريف. ويعتبر تأثير الحرارة المنخفضة على الأزهار ثانويا بالنسبة لتأثير الضوء. أما بالنسبة للسلالات الشتوية فالوضع مختلف فالقمح الشتوي مثلا يقضي فصل الشتاء في مرحلة خضرية ولا يزهر إلا بعد تعرضه لفترات طويلة لدرجات الحرارة المنخفضة في الشتاء ولا يستجيب لمؤشر الفترة الضوئية الملائمة **Photopériode** إلا بعد هذا التعرض. و الأمر نفسه ينطبق على النباتات ثنائية الحول كالجزر والكرنب والبنجر السكري، وهذه تنتج أعضاء خضرية خلال فصل نموها الأولى ولا تزهر إلا في الفصل الموالي بعد تعرضها للحرارة الشتوية المنخفضة. وقد ثبت ضرورة تعرض هذه النباتات لفترة باردة. وقد اتضح أنه إذا عملت النباتات ثنائية الحول بالتبريد فإنها تزهر في فصل نموها الأول أي يمكن تقصير دورة حياتها. ويمكن تحقيق ذلك في مرحلة من مراحل نمو النبات بعد الإنبات **Germination**، فمثلا إذا عرضت بذور القمح الشتوي أو بذور نباتات ثنائية الحول بعد أن تتشرب بالماء وتبدأ عملية الإنبات إلى درجة حرارية منخفضة على مدى 45-60 يوما، فإنها تتصرف وكأنها اجتازت شتاءا باردا وتزهر في فصل النمو الأول إن توفرت الدورة الضوئية والعوامل البيئية الأخرى.

يطلق على عملية تبريد النبات كي يكمل ويتابع دورة حياته بالإرباع أو التربيع Vernalisation ou Springification ... وعليه فالإرباع هو إكساب النبات القدرة على الإزهار أو تعجيل الإزهار بعملية التبريد froid.

----------00000000----------

الموضوع الخامس

الإجهاد الملحي Le Stress Salin

الملوحة

عبارة عن التركيز الكلي للأملاح المعدنية الذائبة في مستخلص التربة المائي (عمراني و باقة، 2006). وتتواجد الأملاح الذائبة بشكل دائم في التربة، بعضها يمثل مواد غذائية للنبات، وبعضها إن تواجد بتركيزات مرتفعة، يمثل مصدر ضرر بالنسبة للنبات.

الأراضي الملحية وتواجدها في العالم

الأراضي الملحية هي التي تحوي كميات زائدة من الأملاح الذائبة مثل كلوريد الصوديوم والمغنزيوم وكبريتاتها. وأن أيونات الصوديوم والكالسيوم والمغنيزيوم والبوتاسيوم والكلوريدات والكبريتات والكاربونات والبيكاربونات والنترات هي المسئولة عن الملوحة في محلول التربة. وقد يوجد عدد آخر من الأيونات بتراكيز عالية لكنها لا تساهم في الملوحة (محمد، 1999).

إن من الظواهر المرتبطة بالتبخر، والتي نواجهها في الأراضي التي تروى في الأقاليم الجافة، تركز الأملاح الذائبة عند سطح التربة أو قريبا منه. فقد تحتوي الأراضي الملحية في آفاقها العليا أملاحا بكميات كافية تمنع نمو كثير من النباتات المنزرعة. و عليه تعتبر ملوحة الأرض مشكلة حادة حيث تحد من إنتاجية الأراضي واقتصادياتها.

تعتبر التربة المملحة مثالا نموذجا للترب الرديئة في مكوناتها وصفاتها، حيث يلاحظ التدهور بشكل واضح في المؤشرات التالية:-

- الصفات الكيميائية.
- الصفات الفيزيوكيميائية.
- الصفات المائية.
- الصفات المورفولوجية .
- الصفات الميكروبيولوجية

وهذه تختلف جذريا عن نفس هذه المؤشرات في الترب العادية، وعليه تكون الترب الأولى غير ملائمة من الناحية الزراعية والإنتاجية لكثير من النباتات.

جزء كبير من الترب المتملحة يكون تملحها ثانويا، أي أن الأملاح تتراكم نتيجة عمليات أخرى ليست لها علاقة بعمليات تجوية الصخور وتكون التربة، بل في الغالب تكون لعمليات الري بالمياه الملوثة والمجاري وقد تكون بدائية وغير عقلانية.

تشكل الأراضي المتأثرة بالأملاح في العالم حوالي 23% من مساحة الأراضي المزروعة، وتنتشر الأراضي الملحية في حوالي 100 دولة في العالم وغالبا في المناطق الجافة **Aride** وشبه الجافة **aride Semi** (محمد وآخرون، 2001). تقع أغلب الأراضي العربية ضمن الأراضي الصحراوية أو الأراضي الجافة وشبه الحافة حسب المرجع السابق، وهذه الضر وف الجافة وشبه الجافة ونتيجة تجمع المياه وسوء إدارة تلك الأراضي وتأثر التربة بالأملاح بالقدر الكافي، تؤدي إلى ضعف الإنتاج ونمو كثبر من النباتات.

في شمال إفريقيا وجد أن الأملاح هي العامل المحدد لكثير من المحاصيل، وخاصة حين ارتفاع درجة الحرارة وزيادة البخر و تراكم الأملاح نتيجة تجمع مياه الأمطار في الوديان ذات النفاذية البطيئة، وكثير من الوديان مغلقه ليست لها نفاد إلى البحار فتظل المياه راكدة حتى تتبخر تاركة تراكيز معتبرة من الملوحة، وكما هو معروف فإن التبخر الكثيف للماء من الترب بزيادة الحرارة وقلة التساقط مما يؤدي على زيادة تراكم الأملاح في هذه الترب (محمد وآخرون، 2001).

تقسيم الأراضي الملحية

هناك نظم مختلفة لتقسيم الأراضي أهمها: **- النظام الدولي، النظام الأمريكي و النظام الروسي**. سنتطرق إلى هذه النظم بصورة مختصرة.

تقسيم الأراضي حسب النظام الدولي

وهو الذي تأخذ به المنظمات الدولية مثل اليونسكو ومنظمة الفاو FAO. في هذا التصنيف تدخل التربة تحت نظامين: نظام السولونشاك **Solon Chak** والسولونيتش **Solonets**. ويتدرج تحت نظام ترب السولونشاك والسولونيتش بعض الوحدات.

أ- **ترب السولونشاك :-** من خصائص هذه الترب أنها تحتوي على كميات كبيرة من الأملاح خاصة في السطح وحتى عمق 125 سم، وتمتاز بأنها رطبة، وقد يطلق عليها أحيانا اسم الترب الملحية الرطبة، وتتناقص نسبة الملوحة في هذه الأراضي في الصيف.

ب- **ترب السولونيتس :-** ما يميز هذا النوع وجود أفقين الواحد فوق الآخر، حيث يشكل الأفق العلوي طبقة تصل فيها نسبة عنصر الصوديوم المتبادل إلى السعة التبادلية الكاتيونية إلى حوالي 15%، وذلك في الطبقات العليا من السطح وحتى عمق 40 سم أو أكثر قليلا، أما في الأفق الثاني فتزيد نسبة عنصر الصوديوم المتبادل إلى السعة التبادلية الكاتيونية عن 15%، وذلك في الطبقات السفلية.

ومن مميزات هذا النوع من الأراضي أنها تتشقق في فصل الصيف عندما تقل الرطوبة وتصبح وكأنها تتألف من كتل طينية جامدة، أما في فصل الشتاء والربيع حيث تهطل فيهما أمطار غزيرة، فيلاحظ أن الطبقة السطحية تكون شديدة الرطوبة وذلك لأن الطبقات السفلية متراصة وغير منفذة مما يؤدي إلى تجمع المياه في الطبقة السطحية.

تقسيم الأراضي حسب النظام الأمريكي أو نظام USDA

يصنف هذا النظام الأراضي في العالم إلى **مجموعة من الرتب، وتحت رتب**، وإلى **مجموعات عظمى وتحت مجموعات**، والى **عائلات وأصناف.** تقع الأراضي الملحية ضمن **مرتبة أريدسولز Aridsoles** أو الأراضي الجافة، حيث تتميز هذه الأخيرة بالجفاف وبوجود طبقات سطحية ناصعة اللون، وتحتوي على أفق أو أكثر مثل أفق الطين أو الجبس أو كاربونات الكالسيوم أو الملح (سعيد، 2006).

تقسيم الأراضي حسب النظام الروسي أو نظام كوفودا

وفيه يتم تقسيم الأراضي إلى:-

1- **السولونشاك** أراضيه بها نسبة عالية من الأملاح.
2- **شبه سولونشاك** أراضيه تكون أقل ملوحة.
3- **السولوقيتس** ذو أراضي ملحية عالية ذات كساء خضري.
4- **التاكير** ذو أراضي ملحية جرداء.

مصادر تراكم الأملاح في التربة

1- **البحار والمحيطات:-** وقد ترسبت منها الأملاح قديما، وأدى تتابع حدوث التبخر وحركة الماء الأرضي إلى تحرك هذه الأملاح نحو سطح التربة وتراكمها مما يؤدي إلى تكون الأراضي الملحية.

2- **الأمطار:-** يختلط رذاذ المياه المالحة بالأمطار الساقطة عل سطح تربة سواحل البحيرات والبحار والمحيطات، ويؤدي ذلك إلى تكوين أراضي يسود فيها ملح كلوريد الصوديوم، وغالبا ما تميل في الأراضي الساحلية نسبة الصوديوم المتبادل إلى الارتفاع.

3- **حركة الماء:-**

- حركة الماء المالح إلى السطح في المناطق الداخلية.
- حركة الماء المالح في جوف الأرض ليظهر في منخفضات مختلفة.
- تحرك مياه البحار نحو اليابسة وتغمرها في المناطق الساحلية والوديان، أو قد تنتقل مياه البحار على شكل رذاذ تحمله الرياح.
- انتقال الأملاح مع مياه الأنهار من داخل القارات إلى دلتا هذه الأنهار حيث تختلط مع الأملاح المنقولة من البحار والمحيطات.

4- **مادة الأصل:-** تعتبر مادة الأصل بما تحتويه من معادن وصخور والتي تتكون بفعل عوامل التجوية مصدرا هاما للأيونات الشائعة في التربة والتي تتكون منها معظم الأملاح. وعند ذوبان هذه الأملاح تتحرك في الأرض حسب حركة واتجاه المياه وحسب اختلاف طبقات الأرض. وتتركز هذه الأملاح على نطاق واسع أو ضيق حسب عوامل المناخ السائدة في المنطقة (محمد وآخرون، 2001).

5- **النشاط الإنساني:-** يؤدي الرأي بمياه رديئة النوعية، وكذلك استخدام الأسمدة الكيميائية المعدنية بكميات كبيرة إلى الإسراع في عملية تمليح الأرض. وحتى لو كان الري بمياه جيدة، فإن الإسراف في كميات تلك المياه مع سوء الصرف يؤدي إلى نفس النتيجة من زيادة تجمع الأملاح وتدهور التربة.

الظروف المناسبة لتجمع الأملاح في الأرض

تتجمع الأملاح في الأراضي عند توفر ظروف معينة كالآتي:-

- من **الناحية الجيومورفولوجية،** فإن الأملاح تتجمع عادة في المناطق المنخفضة كالوديان والأنهار ودلتاها وشواطئ البحيرات والبحار والمحيطات.
- من **الناحية الهيدروجيولوجية،** تتجمع الأملاح في المساحات ذات مستوى مائي أراضي مرتفع، بحيث يستطيع هذا الماء المالح أن يصل إلى سطح الأرض بالخاصية الشعرية، وتتجمع الأملاح بتبخر المياه.

- من **الناحية الهيدرولوجية**، تتجمع الأملاح في المناطق التي لا يحدث فيها جرف للأرض بواسطة الماء الجاري، حيث يحكم النتح والبخر ميزان الماء الأرضي.
- من **الناحية المناخية**، تتجمع الأملاح في المناطق الجافة والتي يزيد فيها البخر عن التساقط.
- و**في الأراضي المروية**، حيث يحكم تجمع الأملاح فيها إضافة للعوامل السابقة الذكر، عوامل أخرى كقوام تربة الأرض، احتواء قطاعها على طبقات غير منفذة، خواص الماء الجوفي بما في ذلك عمقه وميله واتجاهه وتركيز الأملاح فيه، تركيبها الكيميائي، مقدار الماء المضاف في كل رية، فترات الري وطريقة إضافته، الغطاء النباتي والنشاط البشري (سعيد، 2006).

التمليح البيئي نتيجة الري بالماء المالح

يتأثر التمليح البيئي للأراضي نتيجة ملوحة ماء الري، بعدد من العوامل، بجانب العامل الأصلي وهو تركيز الأملاح في ماء الري ونوعية الأملاح، نوجزها فيما يلي:-

- خواص الأرض التي تروى بالماء المالح.
- المناخ السائد بالمنطقة خاصة درجة الحرارة ومعدل سقوط الأمطار.
- حالة الصرف بالمنطقة، وكذلك مقدار الماء المتاح للري.

وعند ثبوت هذه العوامل، تصبح مقارنة تأثير الماء ذو التركيزات المختلفة أو ذو التركيب الكاتيوني أو الأنيوني المختلف ممكنة (سعيد، 2006).

كيفية حدوث التمليح البيئي نتيجة الري بماء مالح

عند إضافة ماء ملحي إلى الأرض تحتفظ هذه الأخيرة بجزء من الماء يعادل السعة الحقلية لها وبالتالي تحتفظ الأرض بمقدار من الأملاح يعادل مقدار الماء الذي تحتفظ به الأرض مضروبا في تركيز الأملاح في الماء المستعمل.

كما أن الماء الزائد عن السعة الحقلية يأخذ طريقة إلى المصرف، أو يأخذ طريقه من سطح الأرض إلى باطنها حتى يصل إلى المصرف، حيث يحل محل المحلول الأرضي، أي أن الأرض تفقد من أملاحها الأصلية جزء يطرده ماء الري الزائد، بصرف النظر عن درجة ملوحة هذا الماء (سعيد، 2006). منه يتضح ما يلي:-

- يزداد مقدار الأملاح الذي تحتفظ به الأرض الطينية في قطاعها عن المقدار الذي تحتفظ به الأرض الرملية نتيجة للفرق بين السعة الحقلية المرتفعة للأرض الطينية والمنخفضة للأرض الرملية.
- لا يختلف مقدار الأملاح الذي تحتفظ به الأرض بزيادة مقدار الماء المضاف، لأن مقدار الأملاح الذي تحتفظ به الأرض يتوقف على مقدار الماء الذي تحتفظ به عند السعة الحقلية لهذه الأرض، وما زاد على ذلك يطرده المصرف بغض النظر عن حجمه.
- عندما يكون الماء المضاف للأرض في الرية الواحدة كافيا للوصول بالأرض إلى حالة الاتزان. إن عدد الريات بالماء المالح لا يؤذي إلى تزايد مقدار الأملاح الذي تحتفظ به الأرض، وذلك لأن الأرض تحتفظ بالأملاح الموجودة في مقدار الماء الذي تحتفظ به عند السعة الحقلية.
- الأرض الخالية من الأملاح أو ذات التركيز المنخفض من الأملاح تحتفظ بمقدار من الملح يزيد عن المقدار الذي تحتفظ به في ماء السعة الحقلية، ولم يتضح بعد كيفية الاحتفاظ بهذا الملح.
- الأرض ذات مستوى الماء الأرضي البعيد وذات الصرف الجيد لا يتجمع فيها من الأملاح غير ما يكون في مقدار الماء الذي تحتفظ به الأرض عند السعة الحقلية، بغض النظر عن ماء الري الذي أضيف مرة أو عدد الريات التي أعطيت للحقل. أما إذا كان مستوى الماء الأرضي قريبا من سطح الأرض فإن عوامل أخرى تتدخل ومنها:-
  - زيادة أو نقص تركيز الأملاح في الماء الأرضي.
  - مقدار البخر من السطح.

بناء على ذلك يتضح أن الري بماء مالح لأرض ذات صرف سيء يعني إضافة مقادير من الأملاح إلى هذه الأرض مع كل رية دون طرد للأملاح من الأرض، وهكذا يتزايد محتوى القطاع الأرضي من الأملاح في كل رية (سعيد، 2006).

الإجهاد الملحي

الإجهلد في العلوم الطبيعية أو الفيزيائية كما مر معنا يعني **القوة المطبقة على وحدة المساحة في وحدة زمنية والتي ينشا منها إجهاد،** أما في علوم الحياة **الإجهاد يعني في الغالب تأثير أي عامل يخل بالوظيفة المعتادة للكائن الحي.** يعتبر الإجهاد عائقا أمام تحسين المردود، وفي بعض الأحيان

مانعا لنمو النبات، لذلك من الضروري فهم الآلية التي يؤثر بها على النبات من أجل وضع إستراتيجية تقلل من تأثيراته. والإجهاد كما هو معروف عدة أنواع حسب العامل المسبب والمؤثر. حيث يعامل كثير من العلماء وجود الأملاح المعدنية المذابة في المحلول المغذي أو محلول التربة على أنها نوع من الإجهاد للنبات، وبذلك يسمى إجهاد ملحي **Stress Salin**.

أنواع النباتات حسب الملوحة

يمكن تقسيم النباتات من حيث تأثيرها بالأملاح الذائبة في البيئة التي تنمو فيها إلى نباتات:-

- نباتات غبر ملحية **Non Halophytes** أو **Glycophytes**.
- نباتات ملحية **Halophytes.**

1- النباتات غير الملحية

وهي النباتات التي يزدهر نموها ي الأراضي الغير ملحية. كما أنها لا تستطيع النمو في الأراضي ذات التراكيز العالية من الأملاح الذائبة، وتقع معظم المحاصيل الاقتصادية ضمن هذه المجموعة. وقد قسمت محاصيل الحقل، أي محاصيل الخضر والفواكه ونباتات المراعي والأشجار حسب درجة تحمل كل من هذه الأملاح إلى:-

- **محاصيل حساسة للملوحة،** تتحمل درجة توصيل كهربائي 1-4 ميليموز في السم .
- **نصف متحملة للملوحة،** تتحمل درجة توصيل كهربائي 4-10 ميليموز في السم.
- **متحملة للملوحة،** تتحمل درجة توصيل كهربائي 10-12 ميليموز في السم.

يمكن تقدير درجة تحمل محصول معين للأملاح بالطرق التالية:-

- قدرة النبات على البقاء في الأراضي الملحية.
- نسبة المحصول الناتج من النبات النامي في أرض ملحية إلى محصول نفس النبات عندما ينمو في أرض غير ملحية تحت نفس الظروف.

2- النباتات الملحية

وهي نباتات تستطيع أن تقاوم مقادير معينة من الأملاح، وتنمو في الأراضي الملحية، ونموها لا يكون جيدا. في مثل هذه الأرضي تمتص هذه النباتات كل ما تستطيع الحصول عليه من أملاح وتجمعها في خلاياها فيرتفع الضغط الأسموزي لعصارتها الخلوية عن الضغط الأسموزي للمحلول الأرضي. وتحتوي عصارة خلاياها دائما مقادير من الكلوريد Cl^- أكبر من المقادير التي توجد في عصارة خلايا النباتات الأخرى، ولو أن امتصاصها للكبريتات عادة محدود. وبمرور الوقت

ومداومة النتح يمكن أن يزداد تركيز الأملاح في هذه النباتات لدرجة تضر بها، ولكنها تتجنب ذلك بأحد آليات تحمل النبات للملوحة الذي سيذكر لاحقا.

العلاقة بين أملاح التربة ونمو النبات

تعتبر الملوحة من أكبر العوامل التي تؤثر على المردود الفلاحي للأراضي المروية وغير المروية. وتضعف الملوحة نمو النبات وبالتالي تقل إنتاجيته وجودته. تقسم المشاكل التي تنشأ عن الملوحة بالنسبة للنبات إلى ثلاث مشاكل رئيسية :-

- **مشاكل تعود للضغط الأسموزي:** سببها تركيز الأملاح الكلية في المحلول الأرضي، مما يؤدي إلى تثبيط امتصاص النبات للماء والمواد الغذائية ما يؤدي إلى تقليل المحصول كمية وجودة.
- **مشاكل تعود للسمية:** ترجع إلى الزيادة الكبيرة في تركيز أنيون أو كاتيون معين على حساب أملاح أخرى معيقا امتصاصها أو امتصاص هذا الأنيون أو الكاتيون ويتراكم في الأوراق وتحترق كالبورون والليثينيوم والسيلينيوم. وتظهر أعراضا مميزة لزيادة الكلور أو الصوديوم على بعض النباتات كأشجار الفاكهة حسب كثير من الباحثين.
- **مشاكل تعود إلى تفرق حبيبات التربة:** وبالتالي تسد المسام مما يؤدي إلى انخفاض في المسامية الكلية حسب كثير من الباحثين.

لقد صنف **Breinstein عام 1964** تأثير الملوحة إلى ثلاثة أقسام وهي:

1- **إجهاد أسموزي.**
2- **إجهاد السمية.**
3- **إجهاد غذائي أو إجهاد نقص العناصر،** ويحدث نتيجة لنقص عنصر ما أو نتيجة لامتصاص الملح الذي يؤثر على امتصاص العناصر الأخرى كالبوتاسيوم والمغنيزيوم مما يؤدي إلى انخفاض في النمو.

كيف تؤثر الملوحة على النبات؟

للملوحة تأثير كبير على مختلف مراحل نمو وتطور النباتات، وعلى كل الوظائف الأيضية أو الفيزيولوجية للنبات، وتأثيرها متعلق بنوعية التربة، خصائصها الفيزيائية والكيميائية، نوع الملح، حركة الأيونات و نوع النبات. ومن بين تأثيراتها المختلفة على النبات نذكر ما يلي:

1- **تثبيط النمو والتكشف**: لكي ينمو النبات في بيئته، لابد من المحافظة على حالة الاتزان بينه وبين البيئة التي ينمو فيها، وهذا يتطلب طاقة كان من الممكن استغلالها في النمو، ومنه فالملوحة تسبب انخفاضا في النمو والتكشف والذي قد يؤدي إلى تأخير الإزهار وإكمال دورة الحياة.
2- **الاختلال الأيضي**: في غالبية النباتات تتسبب الملوحة في تأثير كبير على كل العمليات الأيضية نوجزها فيما يلي:-
   - انخفاض في معدل عملية البناء الضوئي.
   - أو زيادة في عملية البناء الضوئي.
   - تميه البروتينات مما يؤدي عموما إلى تراكم المركبات النيتروجينية وخاصة البرولين.
   - اختلال في أيض الأحماض النووية.
   - زيادة أو نقصان في نشاط الإنزيمات مثل Peroxidase, Catalase, Amylase.

آليات تكيف النبات للإجهاد

يمكن تقسيم طرق أو آلية تأقلم النبات مإ الإجهاد عموما كما مر معنا سابقا إلى:-

التحمل، التأقلم و المقاومة.

1- التحمل Tolérance

نتكلم عن **التحمل عندما يكون نمو النباتات عاديا وطبيعيا مقارنة بنفس العينات النباتية النامية في الظروف الغير ملحية**، وعن الحساسية عند ظهور أعراض النقص أو المعاناة. وبالنسبة للنباتات أليفة الملوحة Halophytes فهي تعيش في الأوساط الملحية، وتتطلب الأملاح حتى تكمل دورة حياتها، وإذا كانت التراكيز عالية فهي تقاومها، أما النباتات غير أليفة الملوحة Glycophytes فتتحمل التراكيز المنخفضة من الملوحة.

إن تحمل الأملاح من طرف الأنواع النباتية مرتبط بقدرتها على التنظيم وبطور النبات، حيث وضحت تحاليل المقارنة للتغذية المعدنية أن النوع الأكثر تحملا هو الذي له القدرة على تقل الصوديوم +Na في الأجزاء الهوائية للنبات، وفرز الأملاح الزائدة على سطح الأوراق، مما يجعله يحافظ على التركيز الثابت للملوحة في النسيج النباتي.

2- التأقلم مع الملوحة Adaptation

وهو قابلية النبات للتكيف مع ظروف الوسط الملحي، وتختلف حسب الأنواع النباتية، فالتكيف في هذه الأوساط يترجم مدى المقاومة للأملاح (فرشة، 2001).

تخفض الملوحة القدرة على النمو والإنتاج لمعظم محاصيل الحبوب، وتؤثر على استقلاب النتروجين، وللتأقلم مع ظروف الوسط يستعمل النبات العديد من الآليات الفيزيولوجية كخفض امتصاص الايونات السامة والمتراكمة في فجوات الجذور وخفض الأيونات المتراكمة في الأعضاء الفتية والقمم النامية من الجزء الهوائي، وطرح الكلور من الأعضاء الهوائية، لأن الكلور في البيئة المالحة يبطل امتصاص ونقل الأيونات لمسافات كبيرة، والتي تكون ضرورية للنمو، خاصة النترات NO_3^- ، كما يكون تكيف النباتات الملحية Halophytes كبيرا، لأن حجم التأقلم مع الاحتواء على الملوحة يدل على الطاقة والميتابوليزم.

3- **مقاومة الملوحة Resistance**

مقاومة الملوحة من طرف النبات ظاهرة معقدة جدا، نظرا لتدخل العوامل المورفولوجية والتطورية الخاصة بالعملية الفيزيائية والبيوكيميائية في هذه الظاهرة، وإمكانية مقاومة النبات للملوحة متعلقة **بتركيز الأملاح في الوسط الخارجي، نوع النبات مقاوم أو حساس، الضغط الأسموزي للنبات الذي يتغير في حالة الإجهاد الملحي، نوع التربة وأطوار نمو النبات** (عمراني و باقة، 2006).

تحدث المقاومة نتيجة لعدة آليات والتي تسمح للنبتة بإكمال نشاطاتها الأيضية دون أن تتأثربالوسط الخارجي الذي يكون مجهدا جدا، ومن الآليات أو الميكانيزمات نذكر ما يلي:-

1- التعديل الأسموزي

أطلق مصطلح التعطيل الأسموزي من قبل العالم **برينشطاين Breinstein** سنة 1961 على التغيرات التي تطرأ على الجهد الأسموزي في الأوراق بسبب تغير الجهد

الاسموزي للتربة بسبب الملوحة، ثم استعمل هذا المصطلح كثيرا فيما بعد في أبحاث الجهد المائي والملحي.

والتعديل الأسموزي هو ارتفاع الضغط الأسموزي للمحتوى الخلوي نتيجة تراكم الملاح والمواد الذائبة من أجل ميكانيزم المقاومة. لوحظت قدرة التعديل الأسموزي في العديد من النباتات كالقطن، الأرز،القمح، الشعير، عباد الشمس وفي مختلف الأعضاء النباتية.

2- توزيع الأيونات

من أهم آليات مقاومة ملوحة الصوديوم مضخة الصوديوم- بوتاسيوم التي غالبا ما تكون في الجذور وتعمل على إعادة الصوديوم إلى البيئة الخارجية ، وتدخل البوتاسيوم معتمدة على إنزيمات **ATPases** .

3- إفراز الملح

يفرز النبات الملح عبر الغدد الملحية إلى السطح الخارجي للأجزاء الهوائية له، مما يسمح بالحفاظ على تركيز ثابت للأملاح في الخلايا.

4- تجميع الأملاح

يجمع النبات الأملاح في أنسجته طوال موسم النمو حتى إذا وصلت إلى تركيز معين بموت النبات حسب العديد من الباحثين.

5- الطرد أو الإقصاء

يكون الطرد أو الإقصاء للأيونات بالحد من دخول أيونات الصوديوم والكلور إلى داخل النبات، حيث يتم إيقافها على مستوى مراكز الامتصاص، وتتراكم داخل أنسجة الجذور بفضل تأثير الكالسيوم **+Ca** على النفاذية الخلوية.

6- طرق أخرى لمقاومة الملوحة

للتغلب على الضرر البالغ على نمو وإنتاج المحاصيل النباتية نتيجة نموها تحت الظروف القاسية للملوحة، ومقاومة التراكيز المرتفعة للأملاح الذائبة في مياه الري والأراضي الزراعية، يجب الاهتمام بالوسائل الزراعية الحديثة واستخدام الأسمدة البوتاسية بالقرب من الجذور النباتية نظرا لارتفاع نسبة كلوريد الصوديوم بين حبيبات التربة، أو باستخدام واحد أو أكثر من منظمات النمو الكيميائية مثل الجبريلين، السيتوكينين أو الإيثلين وغيرها.. بواسطة عملية النقع لبدور النباتات في محاليل تلك

المنظمات بتراكيز محددة وذلك قبل نثرها في الأرض، أو برش النباتات النامية بتلك المحاليل بتراكيز محددة أيضا (الشحاث، 2000).

========0000000000000========

الموضوع السادس

التلوث والبيئة Pollution et environnement

لعل من أسوأ الآثار التي تمخضت عنها الحضارة البشرية وأشدها ضرراً هو التلوث البيئي، ولقد أدت النهضة الكبيرة في مختلف المجالات الصناعية والزراعية التي حدثت خلال العقدين الماضيين إلى تراكم الكثير من المواد الملوثة للبيئة في العديد من المناطق، مما قد يتسبب عنه الكثير من المشاكل للأغطية النباتية وللتربة وللمسطحات المائية، ووصول الملوثات إلى المياه الجوفية وما يترتب على ذلك من أضراراً على صحة الإنسان والحيوان، وتغيير في التوازن الطبيعي للبيئة.

إن مشكل التلوث Pollution ليس جديدا، حيث بدأ مند زمن ليس بقريب. لكنه ازداد خطرا خلال العقود الأخيرة مع التطور الصناعي الكثيف والمجهود التقني الكبير ووسائل المواصلات المختلفة. فأصبح التلوث بأنواعه المختلفة من المشاكل العويصة والخطيرة التي تعاني منها المجتمعات الحديثة.

يعتبر تلوث الهواء حاليا من بين الانشغالات الكبرى ليس فقط من قبل الأخصائيين في هذا الميدان بل من مختلف الهيئات والمواطنين. فالتسممات الكبرى المختلفة التي ظهرت في القرن الماضي أدت بأغلب البلدان والباحثين إلى التعمق في البحث ودراسة التلوثات الهوائية وخلق هيئات متخصصة وتشريع قوانين في هذا الميدان مهمتها مراقبة تطور التلوث واتخاذ إجراءات ضرورية وإلزامية محاولة منها للتخلص أو الإقلال من هذا الخطر الداهم. إضافة إلى ذلك سعيها إلى مراقبة المصانع المختلفة واتخاذ إجراءات وقائية معتبرة ضد تلوث الهواء والماء وتأثيراتها على الكائنات الحية والطبيعة عموما. تحمل نفايات المصانع ووسائل النقل و الملوثات المختلفة جزيئا ت صلبة عالقة إضافة إلى الغازات السامة كأكسيد النتروجين والكاربون والكبريت وغيرها والتي تقلل من الرؤيا وتؤثر على الجهاز التنفسي وإلحاق الأذى بالكائنات الحية والمزروعات و الغطاءات النباتية التي تعتبر رئة الكرة الأرضية. فبازدياد نشاط المجموعات الصناعية وتوسع البناء الأسمنتي أدى إلى تقلص الأراضي الزراعية وازيا د التلوث بأنواعه، لذا وجب الاهتمام والتشبث بالوعي العالي إلى مشكل التلوث قبل فوت الأوان.

وعليه فالتلوث هو حدوث تغيّرات بيولوجية، أو فيزيائية، أو كيميائية على مكوّنات عناصر البيئة الحيّة المختلفة من حيوان، ونبات، وإنسان، أو عناصر البيئة غير

الحيّة من هواء، وماء، وتربة. وذلك بتنوع مصادر التلوث، فمنها ما هو بشري كمصادر التلوث التي تنجم عن الاستخدام المفرط للمبيدات العشبية، والتطور الصناعي، ومنها ما هو طبيعي كالغبار والغازات الناتجة عن البراكين والعواصف الغبارية والرملية. **بمعني أخر التلوث يعني إدخال أي مواد أو مؤثرات إلى أماكن تواجد الكائنات الحية شريطة أن تصل إلى مستواها المؤثر والضار على هذه الكائنات.**

أنواع التلوث

يقسم التلوث حسب مسبباته إلى:

1- **التلوث الميكروبي:** حيث تلعب الجراثيم المرضية الدور الأكبر في إحداث التلوث والأمراض. وتنتقل من و إلى الهواء والماء والأغذية والتربة التي تعتبر من المصادر الرئيسية مسببة أمراضا للنباتات والحيوانات و الإنسان، وأخطرها المسببة للأوبئة والأمراض كوباء الكوليرا و التيفوئيد المنتقلة من المياه الراكضة والملوثة بهذه المسببات ونفايات المجاري. وعليه كثير من الجراثيم لها القدرة على إفراز السموم وتحليل المواد الغذائية وإحداث روائح غير مستحبة و تسممات غذائية بإحداث تغيرات كيميائية في هذه الأغذية مما يفقدها صلاحيتها وتلفها وتأثيرها على مستهلكها.

2- **التلوث الكيميائي:** الناتج من تراكم المخلفات الصناعية الكيميائية وتحللها متراكم ثاني أكسيد الكاربون CO_2 وكبريتيد الهيدروجين H_2S الناتج من التجريد اللاهوائي من المخلفات الزراعية. فمخلفات المصانع وما تحويه من مواد كيميائية ضارة تنساب في المياه والهواء مؤثرة على الصحة العامة كأكاسيد الكبريت ومركبات النيتروجين والرصاص وغبار المصانع والمواد الحبيبية وعوادم السيارات وآثرها السلبية على الصحة والبيئة. وما حدث في لندن سنة 1952 من ظاهرة ركود الهواء الجوي وظهور كتامة بنية عرفت باسم SMAGE حيث ارتفعت نسبة الوفيات من 300 إلى 700 فرد في الفترة من 4 إلى 15 ديسمبر. كمثال من أمثلة التلوث الكيميائي.. والزيادة في استعمال المبيدات العشبية ومبيدات الآفات الحشرية أدى إلى تراكم هذه المواد في التربة والماء وبالتالي انتقال ضررها إلى النباتات ووصولها إلى غذاء الكائنات الحية المختلفة بأضرارها المعروفة.

3- **التلوث الإشعاعي:** لبس أقل من ذلك من تسرب الإشعاع من المحطات النووية أثناء السلم أو الأسلحة النووية المشعة أثناء التجارب والحروب.. وبرز في العصر الحديث أيضا أنواع التلوث الإشعاعي التدريجي، كالاستعمال الطبي المفرط للأشعة السينية والنظائر المشعة، إضافة إلى الإضاءة التي تؤدي إلى التلوث بالأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet. ولا ننسى التلوث الإشعاعي نتيجة استخدام Microwave التي تنقل الطاقة، واستعمال المحطات النووية والخلايا الشمسية لإنتاج الطاقة الكهربائية وتحويل أو تكرير المياه المالحة إلى عذبة، كل هذه غالبا ما تكون مصحوبة بأخطار إشعاعية.

التلوث الإشعاعي والحراري

4- **التلوث الحراري:** عادة ما يصحب إنتاج الطاقة تشكل طاقة حرارية يصعب التخلص من الزائد منها، مؤديا إلى رفع المتوسط الحراري للوسط وهذا يؤثر خاصة على الأحياء

المائية، وهناك من يعتقد جازما أن دفن النفايات النووية وغيرها واستعمال الطاقة الشمسية سيؤدي إلى رفع في درجة الحرارة إلى مستوى الخطر.

حرائق العابات وأنواع التلوث الناتجة عنها

و عليه من العوامل التي ساعدت على بروز مشكل التلوث ما يلي:

- عدد السكان: ربما ازدياد سكان العالم مع ما نتج عنه من النشاط السكاني المختلف والغير عقلاني، مع ثبوت الماء والهواء ومكونات الأرض، ونتيجة لتراكم مخلفات النشاط الإنساني واحتياجاته، أدى إلى مشكل التلوث على وجه البسيطة عموما.

- تقلص المساحات المزروعة: تكاثر السكان والتطور الحضاري أدي إلى التجني على سلامة الأراضي الزراعية وتقليصها، فشق الطرقات وإنشاء المصانع وتكنولوجيا المواصلات المختلفة أفقدت الطبيعة جزء من حيويتها، وليس هناك شك في قدرة مكونات الطبيعة في تخفيف نسبة الملوثات وامتصاصها لو بقيت على حالتها الأصلية.

- التقدم الصناعي: مما لاشك فيه إطلاقا أن التقدم الصناعي والتكنولوجي خاصة الغير عقلاني وزيادة وسائل النقل المتباينة سواء البسيطة أو المعقدة وتراكم نفاياتها المتباينة، أدى إلى تفاقم مشكل التلوث. فاستعمال المخلفات البترولية مثلا ومشتقات البلاستيك بأنواعه أدى إلى تراكم كميات كبيرة من هذه المواد التي صعب التخلص منا مع العلم أن تحللها في الطبيعة يدوم سنوات طويلة حسب الدراسات المختلفة، ولا يخفى على عاقل أضرارها الصحية على الكائنات الحية.

- **المبيدات الكيميائية:** طرح أنواع مختلفة من المبيدات والمسمدات الكيميائية واستعمالاتها المستمرة لإبادة الأعشاب الضارة ومكافحة الحشرات وزيادة تراكمها في التربة، وصعوبة التخلص منها، أدى إلى ظهور أجيال من هذه الآفات تملك مقاومة معتبرة وزيادة تكاثرها المضطردة وهكذا..

- **الحرب الكيميائية ضد الميكروبات المرضية:** إن استعمال المكونات الكيميائية المختلفة وطرحها في الطبيعة مع زيادة تراكمها زاد من التلوث البيئي، كما أدي إلى زيادة نوع على حساب نوع آخر وظهور طفرات جديدة لهذه الكائنات قد يكون لها أثر أخطر من الأولى على صحة الكائنات الحية المختلفة.

- **السباق في التكنولوجيا النووية في السلم والحرب:** أثرها ليس بخاف على أحد، إضافة إلى ظهور مخلفات جديدة ونفايات جديدة أثناء التصنيع والتجارب المخبرية و حتى في الطبيعة بطريقة أو أخرى، أثرها أخطر من سابقاتها...

التأثيرات الفيزيولوجية للتلوث والملوثات

تلوث الهواء

التلوث الهوائي بمخلفات المصانع

أولا التلوث بغبار الأسمنت:

لم يهتم الباحثين سابقا في الدول المصنعة حاليا بمشكل تلوث الهواء بغبار الاسمنت ألا بعد منتصف القرن التاسع عشر:-

1- تأثير الغبار على التربة

عامل بعض الباحثين نباتات الشوفان بغبار الاسمنت وبكمية تتراوح بين 1-48 غ م^2 يوميا، فلوحظ نقصان إنتاج نبات الشوفان عند معاملته ب 1غ فقط من الاسمنت، فاستنتج بأن pH العالية للتربة هي المسببة لنقصان هذه الإنتاجية. والكمية العالية من الغبار سببت اصفرار وتبقع و تبقع أوراق نبات الشوفان. غبار الأسمنت يكون قشرة صلبة على سطح التربة بعد ملامسته للماء وبالتالي يؤثر على خواص التربة الكيميائية والفيزيائية والحيوية، حيث تقل نفاذيتها وقابليتها للاحتفاظ بالماء، وقد يرتفع الأس الهيدروجيني للتربة نتيجة تكوين هيدروكسيد الكالسيوم و الأمونيوم بإضافة الماء لغبار الأسمنت، ويقل الكاربون العضوي في التربة الملوثة وذلك لقلة تفسخ المادة العضوية، إذ يقلل غبار الأسمنت نشاط أحياء التربة. ووجد أيضا اختلاف في تركيز النتروجين بين التربة الملوثة بالغبار والتربة الغير ملوثة كتبة الشاهد، وكانت التربة الملوثة غنية بعنصر بعنصري المالسيوم و البوتاسيوم..

2- تأثير الغبار على المكونات الخلوية

بين بعض الباحثين أن غبار الأسمنت بوجود الرطوبة والماء، وتكون هذه الأيونات محاليل قاعدية ذات أس هيدروحيني قد يبلغ 10-12، وبين بالفحص ألمجهري ضرر هذه المحاليل حيث تقوم بقتل أو التأثير على الخلايا العمادية و البارنشيمية في الورقة، كما لوحظ تكون قشرة من الغبار تغطي السطح العلوي لأوراق النباتات ما يؤثر على الأيضية كعملية البناء الضوئي والتنفس في الورقة ومسببا تساقطها.

كما يؤثر غبار الأسمنت على النباتات مسببا على النباتات مسببا اصفرار أوراقها نتيجة لزيادة نسبة البوتاسيوم المرتفعة بالغبار، وقد يكون اصفرار الأوراق ناتجا من ضرر في نسيج الورقة أو نقصان شدة الضوء التي تصلها. كما لوحظ زيادة إنتاج النشا في بعض النباتات المعاملة بغبار الاسمنت والمعرضة لأشعة الشمس، ويبدو هذه منطقيا لأن النبات أصبح كنباتات الظل لتأثير طبقة الغبار الأسمنتي العازلة للضوء.

كما أن النباتات الدنيئة أو اللازهرية كالأشنيات والتي تتواجد غالبا مع الأشجار في معيشة تكافلية نجدها تختفي تماما في المنطقة التي يوجد بها تلوث بغبار الاسمنت، فوجود أو غياب مثل هذه النباتات على الأشجار يدل على وجود أو عدم وجود تلوث حسب Marcel و Tony عام 1972. وقد أشار André سنة 1956 أن الغبار يوفر

العناصر المعدنية الضرورية لتغذية الطحالب المجهرية عند سقوط هذه العناصر مع مياه الأمطار.

تأثير غبار الأسمنت على الناحية المورفولوجية للنبات

يمكن تلخيص هذه التأثيرات في النقاط التالية:

1- الغبار يكون أيونات الهيدروكسيد بوجود الرطوبة، وتكون هذه الأيونات مع محاليل قاعدية ذات أس هيدروجيني 10-12، وتعمل على قتل الخلايا العمادية والبارنشيمية للورقة ولها تأثير على طبقة الكيوتيكل بعد نفاذيتها ومن ثمة كل محتويات الخلايا.

2- الكميات العالية من غبار الاسمنت الساقط ة على التربة تعمل على اصفرار وتبقع أوراق نبات الشوفان ، قد لا تظهر هذه الأعراض على بعض الحشائش.

3- نقصان في تركيز الكلوروفيل في المناطق المعرضة لكميات عالية من غبار الأسمنت.

4- الغبار يشكل طبقة فاصلة بين الأشعة الضوئية والورقة ويترتب عن ذلك تغيير في نظام البلاستيدات الخضراء مما يؤدي إلى قلة تخليق الكلوروفيل الكلي.

5- اصفرار الأوراق قد يكون نتيجة لزيادة نسبة البوتاسيوم المرتفعة في غبار الاسمنت أو قد يكون اصفرار الأوراق ناتج عن الضرر المسبب لنسيج الورقة.

تأثير غبار الأسمنت على الناحية الفيزيولوجية للنبات

وتلخص هذه التأثيرات في النقاط التالية:-

1- طبقة الغبار يمنع وصول الضوء لأوراق الطماطم والفاصوليا مثلا بكميات كافية وبالتالي تقلل من الإنتاج لضعف عملية التمثيل الضوئي.

2- بعد تحليل الغبار وحد أنه يتكون أكسيد الكالسيوم CaO وثاني أكسيد السيليكون SiO_2 وثاني أكسيد الأمونيوم Al_2O_2 . ووجد أن مرب CaO بوجود الرطوبة يتحول إلى مادة هلامية ثم تتبلور ومن ثمة تترسب على سطح النبات فتسد فتحات التبادلات الغازية، كما تقلل من عملية النتح بسبب غلق الفتحات والثغور، وهذا يعيق عملية البناء والتمثيل والتبادل الغازي .

3- لوحظ نقصان الكلوروفيل الكلي والكلوروفيل أ في النباتات القريبة من مصانع الأسمنت، ويعود سبب نقصان الكلوروفيل أ لقلة امتصاص فوتونات الضوء الضرورية لتخليق الكلوروفيل أ بينما تشجع تخليق الكلوروفيل ب المحب للضوء لتخليقه وهكذا.

ثانيا التلوث بثاني أوكسيد الكبريت SO_2

إن تركيز ثاني أكسيد الكبريت في أجواء المنطق القريبة من المركبات الصناعية قد يصل إلى 3000 ميكروجرام في المتر المكعب، ويشكل ضررا كبيرا خاصة بالنسبة للنباتات الأكثر حساسية لهذا التلوث، ويمكنها أن تؤثر ابتداء من تركيز 500 ميكروجرام في المتر المكعب. وتعتمد درجة خطورة هذا الملوث على الظروف المناخية ومدة تعرض النبات لهذا التلوث.

1- تأثيره على حركة الثغور

تعتبر الثغور الطريق الأساسي للتبادلات الغازية في النبات، وعن طريق الثغور يدخل غاز ثاني أكسيد الكاربون إلى داخل أنسجة الورقة. لقد لوحظ أن هناك علاقة ما بين الثغور وظهور الموت الموضعي **Necrosic** على سطح الورقة. كما أظهرت تجارب بعض الباحثين أن الثغور تنغلق في وجود ثاني أكسيد الكبريت. وبين أن هذه الظاهرة ما هي إلا حركة نشطة كوسيلة مقاومة وتتوقف شدتها على الرطوبة النسبية وعلى محتوى ثاني أكسيد الكاربون في الجو. وعليه فوجد ثاني أكسيد الكبريت يؤدي إلى درجة انخفاض في فتح الثغور ومنه التأثير الغير مباشر على عملية التمثيل الضوئي.

2- تأثيره على المكونات الخلوية

مباشرة بعد مرور الملوث ثاني أوكسيد الكبريت عبر ثغور البشرة السفلى يكوم على اتصال مباشر مع خلايا النسيج الأسفنجي ويتراكم في الفراغات البينية، ثم يتجه إلى النسيج العمادي ثم البشرة العليا للورقة. وتبين حتى الآن أنه يحدث لهذه الخلايا انكماش خلوي **Plasmolyse** و يصحبها أضرار غير عكسية.

حتى الآن فإن المعلومات قليلة بالنسبة لتأثير ثاني أكسيد الكبريت على الجدار الخلوي والمكونات الخلوية الأخرى وباستخدام الميكروسكوب الإلكتروني لوحظ انتفاخ **Thylakoids** داخل البلاستيدات المعاملة بثاني أوكسيد الكبريت بدون أي تخريب ملاحظ على الخلايا، وهذا الانتفاخ عكسي أي يزول بزوال المؤثر. يرى الباحثون أو هذه الظاهرة يمكن أن تعمل على تدهور مفعول الأنزيمات الضرورية لتثبيت ثاني أوكسيد الكاربون.

تأثيره على عملية البناء الضوئي

أشار **Hill** و **Thomas** 1976 في دراسة تطبيقية على تأثير ثاني أوكسيد الكبريت على جهاز البناء الضوئي لنبات البرسيم إلى النتائج التالية:

- يحدث تخريب جزئي للأوراق المسنة الملوثة بثاني أوكسيد الكبريت مع ملاحظة نمو سريع للبراعم وظهور أوراق جديدة لتعويض عملية التمثيل الضوئي أي حدوث عملية أصلاح لعملية البناء الضوئي خلال عشرة أيام ب 75% و 80% خلال 15 يوما.
- في حالة التعرض لفترات قصيرة و بتراكيز عالية فإنه يكون مصحوبا بانخفاض سريع في عملية البناء الضوئي ويكون متبوعا بإصلاح إلى المستوى العادي أو أكثر خلال بضع ساعات. وإذا كانت هذه التعرضات متكررة يوميا فيلاحظ انخفاض في التمثيل.
- من التحاليل التي أجريت على الكلوروفيل أوضحت نقصانه في حالة التلوث المستمر و يصحبه تخريب للخلايا. في حالة زوال المؤثر وبدون حدوث تخريب و خسارة للخلايا فإن هذا الملوث لم يؤثر على البروتوبلازم أو على أي تركيب خلوي في النبات.
- أثبتت دراسة أخرى ل **Zeigler** سنه 1972 أن ثاني أكسيد الكبريت يمكن أن يعمل على تثبيت ثاني أكسيد الكاربون وذلك بتأثيره على **Ribulose1,5 diphophate** وذلك بتثبيطه لنشاط أنزيم **Carboxyl dismutase** ...

-

ثالثا التلوث بأكسيد الآزوت NO_2, NO

تعتبر أكاسيد النتروجين ضمن المركبات الأساسية للتلوث الجوي، مئات الأطنان تطرح يوميا إلى الجو تقدر بحوالي 200ميكروجرام/ م3 في الهواء، وتصل في بعض الحالات إلى أكثر من 2000 ميكروجرام/ م3. ولا يمكن تقدير ورؤية الخسائر والتخريب الذي تبديه التراكيز المختلفة للملوث. لاحظ كثير من الباحثين أنه يصاحب تعرض النبات لهذا الملوث نقصان في النمو وإنتاج النبات عموما كالبرسيم و الطماطم والحوامض وغيرها... يرى بعض الباحثين أن النقصان في عملية البناء الضوئي والنمو عند تعرض النبات لأكاسيد الأزوت ربما لتراكم المواد السامة نتيجة تعرضها للتلوث ثم السقوط المبكر للأوراق.

أكاسيد النتروجين تدخل هي الأخرى كبقية الملوثات الغازية ولا تحث على غلق الثغور، وبالتالي فالثغور ليست هي الطريق الذي تؤثر به أكاسيد النتروجين على عملية البناء الضوئي. ووجد أن نسبة تثبيط عملية البناء الضوئي تصل 80% في الفراغات البين خلوية التي تزيد من حموضة الوسط فتحث على غلق الثغور ولبست نتيجة وجود أوكسيد النتروجين.

عموما فإن النباتات القريبة من مصادر التلوث بأكاسيد النتروجين تكون أكثر عرضة لتراكيز عالية من هذه الأكاسيد وبالتالي تبدي انخفاضا معتبرا في عملية البناء الضوئي. إن تأثير أكسيد النتروجين مستقلة عن مصادر التلوث الأخرى تكون أقل ضررا ولكن يمكن أن يحدث خسائر كبيرة فيما لو أثرت مجتمعة مع ملوثات أخرى فتصبح التراكيز المنخفضة خطيرة للنباتات.

الملوثات الصناعية وتأثيراتها

• العناصر المعدنية الثقيلة.

1- الزئبق

إن كمية الزئبق التي تحركت وتحررت إلى داخل الغلاف الحيوي تزايدت منذ عصر النهضة الصناعية. وبينت تقديرات تدفق الزئبق من كل من المصادر الطبيعية والبشرية أن انتشار الزئبق من المصادر البشرية قد تجاوز المصادر الطبيعية. أغلب الزئبق في الغلاف الجوي يكون على الصور المعدنية التي تتحرك داخل الغلاف الجوي وبالتالي يمكن أن تنتشر على بعد آلاف الكيلومترات مؤدية إلى تلوث كل من التربة والمسطحات المائية. إن كمية الزئبق المتحررة نتيجة النشاط البشري قد انخفضت نتيجة لمنع استخدامه في بعض المسارات الصناعية وتوقف انبعاثه من بعض المناجم القديمة

- أثناء حركة الزئبق بين كل من الغلاف الجوي والغلاف الأرضي والغلاف المائي فإنّه يخضع لسلسلة من التحولات الفيزيائية والكيميائية المعقدة مثل الميثلة الحيوية واللاّحيوية أو الأكسدة مما يزيد من مدى سمية هذا المعدن ومعدل تيسره الحيوي.

يمثل الحرق البارد وحرق الفضلات أحد مصادر انتشار الزئبق الهامة من مصانع الكلور والصودا الكاوية التي تستخدم الزئبق المعدني في عملية التحلل الكهربائي أثناء إنتاج الكلور.

- بينت العديد من الدراسات أنه بالرغم من أن الزئبق المنبعث من المصانع ينتشر على مسافات بعيدة ولا يترسب حول بجوار المصانع سوى كميات قليلة إلاّ أن التربة المجاورة لهذه المصانع تحتوي على تراكيز من الزئبق تصل إلى 75مرة ضعف القيم المرجعية. كما أن الزئبق المترسب في التربة يتعرض للعديد من التحولات البيولوجية والكيميائية مثل أكسدة **Hg** واختزال **Hg2+** أو الميثلة و التي تعتمد على حموضة التربة والحرارة ومحتوى التربة من حمض الهيوميك. إن حركة الزئبق في التربة من خلال تكوين مركبات زئبق لا عضوية ذائبة مثل **HgOH** و **HgCl2** ذات أهمية نسبية في وجود المادة العضوية وذلك نتيجة الارتباط القوي للزئبق بالمواد الدبالية.

- تكون مركبات الزئبق الغير عضوية ذائبة ,وترتبط ارتباطا قويا مع المواد الذبالية فتشكل مادة سمية، وتتراكم في أغشية النبات مما يؤدي إلى تثبيط نموه, كما قد تحمل وتخزن بتراكيز عالية في الجذر الخلوية أو ارتباطها مع مركبات أخرى مما يؤدي إلى اختلال النفاذية الغشائية, وقد تتدفق هذه المعادن الثقيلة داخل السيتوزول وتنقل إلى داخل الفجوات العصارية.

ب-الكادميوم

إن الكادميوم واحد من أهم العناصر الثقيلة والسامة في البيئة وذلك بسبب حركته العالية وسميته عند التراكيز المنخفضة بالنسبة للنبات، وقابليته إلى الانتقال عبر السلسلة الغذائية يتواجد في التربة والهواء والماء وبشكل خاص في المناطق المزدحمة بالسيارات، كما تعد المصانع وإضافة الأسمدة الفوسفاتية المحتوية على عنصر الكادميوم ومياه المجاري والمبيدات من أهم مصادر التلوث.

ج- الزنك

الزنك من العناصر المهمة بالنسبة للنبات حيث يلعب دور مهما من خلال تأثيره في مختلف العمليات الأيضية كفعالية الأنزيمات وتصنيع البروتين والكاربوهيدرات والأحماض النووية وأيض الدهون، وقد يتواجد على شكل معقدات مع الـ **DNA** و **RNA** ، ويؤثر على ثباتية هذه المركبات. ويعد الزنك من العناصر الغذائية الصغرى الضرورية غير الأساسية للنبات ولكن يصبح ذو تأثير ضار عندما يتواجد بتراكيز عالية في التربة.

الغازات الملوثة

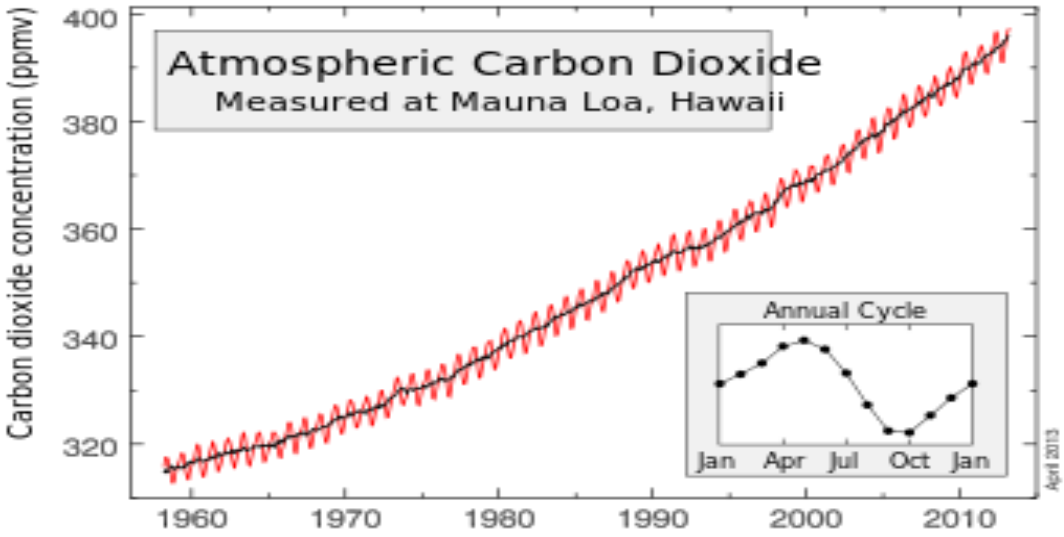
أ- الكربون

إن زيادة ثاني الكاربون عن 0.03 % في الغلاف الجوي قد يسبب الضرر البليغ، وأول اكسيد الكربون CO مصدره الإحتراق، والصورة الثابتة لمركبات الكربون هو CO_2 حيث يتأكسد CO إلى CO_2 في وجود O_2 لذا يعتبر CO مصدراً لـــ CO_2، وقد يكون مصدر CO_2 هو تنفس الكائنات الحية جميعها إلا أن النباتات تقلل من تركيزه باستهلاكه (أواختزاله) في عملية البناء الضوئي، ويعتبر CO أكثر ضرراً من CO_2، والسبب أن CO يستهلك O_2 ليتحول إلى الصورة الثابتة CO_2. عند تحوله إلى الصورة الثابتة CO قد يذوب في الماء ليتحول إلى حامض الكربونيك.

$$CO + \frac{1}{2}O \longrightarrow CO_2$$

يسبب هذا العامل المؤدي إلى الاحتباس الحراري مما يؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة التي تحدث الحرائق والأمراض والجفاف. فيتعرض بذلك النبات إلى مختلف الإجهادات التي تؤثر على نموه

وتكاثره. إن ارتفاع الحرارة يؤثر على عمليات الإستقلاب مما يؤدي إلى زيادة معدل فقدان النبات للماء مسببا اختلال في بروتوبلازم الخلايا وذلك بتوقف العمليات الأيضية المختلفة. كما يحدث عجز مائي الذي يؤدي إلى التبخر الشديد واختلال التنظيم الثغري، وتقل مساحة الأوراق مما يؤثر على بناء المركبات العضوية كما هو في المنحنى الآتي:



تأثير ثنائي أكسيد الكربون على الغلاف الجوي لمدة 50 سنة

تلوث المياه الجارية

تلوث المسطحات المائية والجارية

يختلف أثر تلوث المياه الجارية ابتداء من قذف المخلفات وما بها من مواد عضوية في مجرى النهر وانتقالها على مهبط النهر وحتى مصبه. في المنطقة الأولى عملية التحليل السريع لهذه المواد تؤدي إلى زيادة الاحتياج البيو كيميائي للأوكسجين أو **DBO** وانخفاض سريع في نسبة الأوكسجين المذاب وارتفاع في ايونات NH_4**.**

تختلف الكائنات البكتيرية والفطرية باختلاف المواد الملوثة ومنها بكتريا النشادر وبكتريا الكبريت التي هي عبارة عن خيوط هلامية. أما في مخلفات مصانع السكر والحليب فالفطريات المتواجدة مثل الفيوزاريوم **Fusarium** وأنواع كثيرة من البكتريا **Mucor ,** **Aspergillus, Lactus**وغيرها..حيث تكون خيوطها قطنية، وتوجد منتشرة خاصة في مخلفات مصانع الورق أيضا. ومن بين الطحالب يلاحظ وجود الطحالب الزرقاء الخيطية **Cyanophytes** والطحالب العصوية **Diatomes** خاصة..

أما إذا اتجهنا ناحية مهابط الأنهار، فيلاحظ انخفاض في **DBO** ، بينما ترتفع نسبة الأوكسجين المذاب، ويلاحظ وجود طحالب المياه الغنية بالعناصر المعدنية، وتكاثر هذه الأخيرة بسرعة شديدة ومنها البكتريا الخيطية والفطريات التي تظهر في مصب الأنهار، ومن بين هذه الطحالب

- الطحالب الزرقاء الخيطية مثل **Oscillatoria , Phormidium**.
- الطحالب الخضراء الخيطية مثل**Cladophora, Spirogyra** .
- الطحالب وحيدة الخلية مثل **Euglena** .
- الطحالب العصوية مثل **Diatomes** .

-

تلوث البحيرات والمستنقعات

تلوث المسطحات المائية

إن قلة وغياب تجدد المياه وضعف التيارات المائية يجعل من البحيرات وسطا حساسا للموارد العضوية المكونة للمياه الملوثة. فالكثير من البحيرات الواقعة في المناطق العامرة بالسكان تكون غنية بالعناصر المغذية، وبالتالي يمكن أن تحدث تغيرات في المجاميع النباتية البرية **Phytoplanctoniques** فيزداد انتشار الكائنات الحيوانية الأولية **Peridentes** وكذلك طهور الطحالب الزرقاء الخيطية **Cyanophytes**.

وأظهر بعض الباحثين العلاقة بين تركيز الفوسفات في المياه وأنواع العصويات **Diatomes** التي تتطلب القليل من الفوسفات. ومن ضمن النباتات المائية أو **Planctons** أنواع عديدة منها **Oligotrophera** التي تتطلب الكثير من الفوسفات وتتكاثر بسرعة كبيرة.

إن الارتفاع الكثيف في النباتات المائية تؤدي إلى قلة شفافية المياه نتيجة تركيز الكائنات المائية في الطبقات العلوية. وهذا النوع من التكاثر والتضاعف الذي يظهر في حالة تكوين أزهار المياه، متبوع بوفرة المواد العضوية، ثم بالكائنات الغير ذاتية التغذية أو **Hétérotrophes** التي تعمل على تقليل نسبة الأوكسجين في المياه..

تلوث مياه السواحل

ضمن النباتات البحرية المنتشرة في السواحل الطحالب الدنيئة كأنواع Fucus, Pelvetia, Aspophylum والتي تختفي أولا في حالة حدوث التلوث وتستبدل بالطحالب الخضراء Enteroçmorpha, Ulva التي تتحمل التلوث المعتدل.

تنتشر الطحالب الخضراء بكثرة في مصب قنوات المياه الملوثة. ويعمل التلوث على زيادة تكاثر Péridiniens وهي كائنات حيوانية أولية بحرية من جنس Gymnodinium وكذلك العصويات Diatomes والطحالب البنية التي قد تصل إلى 60 مليون من الخلايا في اللتر.

إن عملية اختفاء أنواع من الطحالب وظهور أنواع أخرى ناتجة أصلا عن تأثير بعض المركبات العضوية على الطحالب الدالة أو المؤشرة على التلوث. هذه الأخيرة يكون نموها محفز بواسطة الفيتامينات ب1، ب2، ب12 الضرورية والمتوفرة في المياه الملوثة. زيادة على ذلك فإن التجارب بامتصاص C_{14} تبين أن أنواع Ultra, Enteromorpha لها القابلية على تمثيل الأحماض الأمينية بسرعة أكبر من الأنواع الأخرى، لذلك فإن نموها يكون بسرعة كبيرة، ويمكن أن يكون بسرعة مفرطة في بعض الحالات. إن استبعاد الطحالب البنية الحساسة للتلوث يقلل التنافس للأنواع المقاومة.

مكافحة تلوث البيئات المائية

إن مكافحة ومقاومة تلوث البيئة المائية يتطلب الالتزام بشروط محددة و التطبيق الصارم للعمليات الأساسية، وعليه يجب :-

1- إعداد قوائم إقليمية للملوثات الموجودة في المياه الملوثة.

2- التوسع في البحوث العلمية لدراسة تأثير التجمعات البكتيرية المختلفة على مركبات معينة، وإجراء دراسات منظمة على تفاعلات الفوسفور والأزوت والمواد العضوية الاخرى في التربة والمياه الجوفية.

3- تحديد أنسب الطرق لمعالجة مياه المجاري من المواد السامة والملوثة. وغسل ناقلات البترول وسفن الشحن في الموانئ.

4- الاختيار والاستعمال الأمثل للمبيدات، والتوسع في المكافحة البيولوجية ، مع تثقيف الفرد بضرورة المحافظة على البيئة الطبيعية.

وعليه فإنه بالنسبة إلى:-

أ- المخلفات المنزلية:

- **المواد الصلبة العالقة:** تستهلك كمية كبيرة من الأوكسجين ويمكن معالجتها بالترشيح Filtration.
- **المواد العضوية الدائبة:** تعطي مذاقا ورائحة كريهة، وتكون سامة للحياة المائية، يمكن معالجتها بالكاربون المشع C_{14}.
- **المواد المعدنية الذائبة:** وتزال بالتبادل الأيوني.
- **مغذيات النبات:** ومعظمها النتروجين والفوسفور وتساعد الطحالب على النمو والتكاثر. ويزال النتروجين باستعمال الكائنات الدقيقة التي تحلل المركبات الأزوتية إلى نشادر. ويزال الفوسفور بإضافة كبريت الألومنيوم أو الجير إلى الماء، فيترسب على هيئة فوسفات الألومنيوم والكالسيوم.
- **الأحياء الدقيقة:** وهي ممرضة ويتم التخلص منها بمعالجة الماء بالكلور في حالة البكتريا أو ترسيبها بالجير في حالة الفيروسات.

ب- مخلفات التصنيع:

- **المخلفات السائلة:** صناعة الألبان مثلا تحتوي على اللاكتوز والمازئين والدهن والأحياء الدقيقة ... مخلفات المجازر تحتوى على الدهون وبعض الجزيئات الصغيرة من اللحم.
- **المخلفات الصلبة:** يتم التخلص منها بوضعها في مقالب خاصة أو بحرقها.

ج- مخلفات وسائل النقل المائية:

كالملوثات الناتجة عن السفن والناقلات البحرية التي تشمل الزيت والنفايات غالبا وغيرها...

د- مخلفات المياه المستعملة في المناجم:

اغلب المياه الحمضية عن المناجم مصدرها الفحم وغالبا تكون كبريتات وحمض الكبريت وأوكسيد الحديد، يمكن معالجة هذه المياه بمعادلتها بالجير.

ه- مخلفات العمليات الزراعية.

- **مخلفات بقايا المحاصيل والمخلفات الحيوانية:** وتعتبر ذات فائدة تفوق ضررها، والمعالجة تنتشر في الحقول وتستخدم كسماد.
- **مخلفات المخصبات النباتية:** كمركب الفوسفور والنتروحين التي تعتبر مغذيات تساعد على تكاثر ونمو الطحالب والنباتات المائية التي تلوث وتفسد المياه السطحية، ومخلفات النترات التي تكون أشد ضررا من الفوسفات لأن هذه الاخيرة تحجزه التربة وبالتالي لا يترسب إلى المياه الجوفية على عكس النترات التي تتحول إلى نتريت وهي مادة سامة للعديد من الحيوانات... والمبيدات الحشرية التي تعتبر سامة ومؤثرة، وتلوث المياه بصورة عامة.

كيفية التعامل مع الطبيعة

التلوث الحراري

ينشأ التلوث الحراري عادة من المياه الساخنة التي استخدمت في عملية التبريد في المراكز الحرارية والنووية وأغلب المعامل الصناعية والتي تصب مباشرة في مياه الأنهار والبحيرات والبحار. ومع التقدم الصناعي والتكنولوجي وزيادة انتشار المراكز الحرارية النووية ازدادت خطورة هذا التلوث. ووجد أن ارتفاع درجة ماء البحر على 10 درجات مئوية يشكل خطورة على بعض العشائر الحيوية.

كثير من الكائنات المائية حساسة للتغيرات الخفيفة لدرجة الحرارة، والأنواع التي لا تتحمل ارتفاع درجة الحرارة تموت. أما الأنواع التي تتكيف مع ارتفاع درجة فيطلق عليها Eurythermes ولها القابلية على مقاومة التغيرات المعتبرة من درجة الحرارة. التلوث الحراري يحدث تدهور في النظام البيئي ابتداء بالتغير في تركيب Phytoplanctons. لاحظ هذا كثير من الباحثين بتجاربهما التي أجريت على عدة بحيرات بشرق أمريكا حيث تصب المياه الساخنة الآتية من المحطات الحرارية وأدت إلى ارتفاع درجة حرارة الوسط إلى 15 درجة مئوية. انصبت دراستهم على تأثير التغيرات الحرارية على ميتابوليزم الكائن الحي. و استنتج أن درجات الحرارة العالية الناتجة عن التسخين، تحفز عملية التمثيل الضوئي بينما درجات الحرارة المنخفضة بعدم وجود ماء المحطات الحرارية، تثبط عملية التمثيل الضوئي. كما لوحظ أن ارتفاع درجة الحرارة يعمل على إبادة بعض الأنواع المائية، فأنواع من الأسماك تأثرت بالارتفاع المفاجئ للحرارة. لكنها استطاعت المقاومة حتى 40 درجة مئوية، بينما وجد أصناف أخرى تموت عند 26 درجة مئوية.

يختلف تأثير هذا التلوث الحراري باختلاف ظروف الوسط البيئي لصفة خاصة، كانخفاض مستوى سطح الماء و سرعة سريانه و وجود الملوثات الأخرى وما على ذلك.

المراجع

المراجع REFERENCES

- مي، م.، **2008.** موسوعة علم النبات. دار الدجلة. بغداد. العراق. ص 155، 175.

- **فرشة، ع. ا.، 2001.** دراسة تأثير الملوحة على نمو وإنتاج القمح الصلب (*Triticum durum* Desf) وإمكانية معاكسة ذلك بواسطة الهرمونات النباتية (Kinétine, GA3, AIA). رسالة ماجستير في فسيولوجيا النبات. كلية علوم الطبيعة والحياة. جامعة منتوري. قسنطينة.

- **روبرت، م. ديفلين و فرانسيس ويذام، 1993.** فيسيولوجيا النبات. الدار العربية للنشر والتوزيع. ص: 683 – 922.
- **رياض، ع. أ.، 1984.** الماء في حياة النبات. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي. جامعة الموصل. العراق.
- **الشحات، ن. أ.، 1990، 2000.** الهرمونات النباتية والتطبيقات الزراعية. مكتبة مدبولي. القاهرة. مؤسسة عزالدين للطباعة والنشر. مصر. ص: 485 – 539.
- **الصعيدي، ح.، 2005.** تربية النباتات تحت ظروف الإجهادات المختلفة والموارد الشحيحة والفيسيولوجية لها. دار النشر للجامعات. مصر. ص: 86 – 190.

- **عمراني ن. و باقة م.، (**2005). النمو الخضري والتكاثري، المحتوى الكيميائي للفول *Vicia faba* (صنف Aquadulce) المعامل بمنظمي النمو الكينيتين والأمينوعزين2 النامي تحت الإجهاد الملحي. ماجستير. كلية علوم الطبيعية والحياة. جامعة منتوري قسنطينة .

- **محب، ط. ص.، 2011.** تأثير الإجهاد المائي على العمليات الفيزيولوجية للنبات. جامعة المنصورة القاهرة.
- **محمد بن حمد محمد الوهيبي، 1999.** التغذية المعدنية في النباتات. النشر العلمي والمطابع. جامعة الملك سعود. ص 196 – 202.
- **محمد حمد الوهيبي، 1997.** العلاقات المائية في النباتات. مطابع جامعة المالك سعود. ص 224.
- **محمد حمد الوهيمي، 1999.** التغذية المعدنية في النباتات. النشر العلمي والمطابع. جامعة الملك سعود. ص 196– 202.

- **مذكرات الدكتوراه والماستير** حتى سنة 2020 (المتطرقة إلى الإجهادات المختلفة). كلية علوم الطبيعة والحياة. جامعة الإخوة منتوري قسنطينة. الجزائر.

Ali Did, et Monneveux, 1992. Adaptation à la sécheresse et notion d'isotope chez le blé dure .I. Caractères morphologique d'enracinement. Agronomie 12 :371-397.

Benlaribi, M ., Monneveux,. et Grignac, P., 1990. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Agronomie, 10: 305–322.

Google Sites …

Grignac, P., 1965. Contribution à l'étude de *T. durum* Desf. Thèse de Doctorat. 152 P.

Kramer, 1981. Water relation of P.J. Plantes. New York. London. Académique Press. 651.

Levitt, J., 1972. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press. New York. San Fransisco. London. 697P.

Monneveux, and Nemmar, M., 1986. Contribution à l'étude de la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum durum* Desf). Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie. 6(6): 583–590.

Monneveux, P., 1989. Quelques strategies adapter pour l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieu arides. 2éme journées scientifiques du réseau biotechnologies végétales. AUPELF-UREF. Tunis, 4-9. Des 1989.

Turner, N. C., 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in corps plants. In: Stress physiologie in corps plants. Mussell, H. et Staples, R. C. (Eds). Wiley. Inter Sciences, New York, pp. 303-372.

Turner, N. et Kramer, P., 1980. Adaptation of plants to water and High température stress. New York. Wiley.

المراجع الغير مذكورة مأخوذة عن:

Benlaribi, M ., Monneveux,. et Grignac, P., 1990. Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Agronomie, 10: 305–322.

----------000000000000----------