

الإجهاد الملحي Salt Stress:

تؤثر الأملاح بشكل عام على العديد من العمليات في النبات كالإنبات والنمو والشكل الظاهري وعلى عدد من العمليات الفسيولوجية والأيضية التي يقوم بها النبات . وهناك نوعين من الملوحة هما: ملوحة التربة وملوحة الماء، ويقصد بملوحة التربة - بأنها الأراضي التي تتميز بارتفاع نسبة الأملاح الذائبة وأهمها الكلوريدات والكبريتات والكربونات بدرجة ضارة لنمو النبات. إن احتواء التربة على الأملاح الذائبة بكميات عالية سوف تقلل من الجهد المائي للماء فيصبح سالباً. لا بد من التفريق بين الإجهاد الملحي Salt stress والإجهاد الأيوني Ion stress وذلك لان المصطلح الأول يستعمل حينما يكون تركيز الملح عاليا لدرجة ينخفض معه الجهد المائي Water stress لوسط النمو لمستوى محسوس (0.05 – 0.1 ميجاباسكال)، أما إذا كان الانخفاض في الجهد المائي طفيفا وغير محسوس فإن ذلك يعني أن التأثير هنا يكون بشكل إجهاد أيوني Ion stress. ويمكن إعطاء تعريف مبسط للإجهاد الملحي بأنه عبارة عن زيادة تركيز الملح في خلايا النبات لدرجة تؤثر على الخواص الفسيولوجية للنباتات بسبب انخفاض الجهد المائي لوسط النمو. وإن الجهد المائي هو الذي يحدد اتجاه حركة الماء بين:

أ- خلية وأخرى.

ب- التربة والجذور.

ج- الجذور والأوراق.

ويتحرك الماء نتيجة الفرق بين المنطقة ذات الجهد المرتفع والمنطقة ذات الجهد المنخفض (القيمة السالبة للمحلول تعتمد على نوع الأملاح وكمية الأيونات الذائبة في الماء) فيدخل الماء إلى الجذور عندما يكون الجهد المائي لمحلول التربة أعلى من الجهد المائي لمحلول الخلايا الداخلية للجذر. أن زيادة تركيز الأملاح يقلل من سرعة دخول الماء إلى الجذور مما يسبب هبوط الجهد المائي للجذور فيتوقف امتصاص الماء والذي ينتج عنه تعرض النبات إلى جهد مائي كبير يؤدي إلى موت النبات ويسمى ذلك الجهد بالجهد الأزموزي في Osmotic Stress. [الإزموزية Osmosis: هي صافي حركة انتقال جزيئات الماء عبر غشاء نصف نافذ من منطقة ذات كثافة مائية مرتفعة (تركيز مخفف للذوائب) إلى منطقة ذات كثافة مائية منخفضة (تركيز أعلى للذوائب) دون الحاجة لاستهلاك طاقة الغشاء النصف نافذ يسمح بنفوذ الماء (المذيب) ولا يسمح

بنفوذ الذوائب (solute) مما يؤدي إلى تدرج في الضغط عبر الغشاء]. إن ارتفاع الجهد الإزموزي الناتج عن زيادة نسبة الأملاح يؤدي إلى :

1- نقص عدد الثغور التي تنتج الماء.

2- نقص في مساحة الورقة.

3- انخفاض في نمو المجموع الجذري.

وللأملاح تأثير آخر بالإضافة إلى الجهد الإزموزي وهو التأثير المباشر على فاعلية الخلايا من خلال ظهور بعض التغيرات الفسيولوجية والمورفولوجية.

فمن التغيرات الفسيولوجية:

1- وجود الأيونات في السايكوبلازم يقلل من ترطيب البروتين والأنزيمات مما يؤدي إلى خلل في عمل الأنزيمات.

2- نقص في تركيز DNA و RNA .

3- زيادة في سرعة التنفس والتي يتبعها زيادة في هدم المواد، مما يؤدي إلى التقليل في نمو النبات وانخفاض في سرعة عملية التمثيل الضوئي.

4- كما توجد هناك بعض التأثيرات الخاصة لبعض الأيونات، فمثلاً أيونات الصوديوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والكبريت والكالسيوم والكلور لها تأثير مباشر على الخلية النباتية.

5- قصور في الجهاز الثغري للنبات (غلق الثغور).

6- تغير في قابلية امتصاص النبات للعناصر الغذائية المختلفة (N و P و k).

7- تنشيط نشاط استقلاب الخلايا وانقسامها.

ومن التغيرات المورفولوجية (المظهرية):

1- تقزم النبات.

2- تلون أوراقه بلون أخضر داكن.

3- زيادة سمك الأوراق.

4- حروق على الأوراق للنباتات الخشبية التي تسمت بأيونات الصوديوم والكلوريد إذ أن الأجزاء الخضرية تكون أكثر تأثراً بالأملاح الضارة من الجذور.

أسباب الملوحة:

1- **التربة الأم (المادة الأصل):** إذ أن التحلل المستمر للحبيبات التربة بفعل عوامل التعرية يترك أملاح كثيرة مثل الكلوريد والصوديوم والكلور وغيرها والتي مصدرها الصخور والتي قد تتجمع إذا كانت الأمطار قليلة وغير كافية.

2- **قلة الأمطار:** حيث أن في الأراضي قليلة الأمطار يتم إضافة مياه الري خلال عملية السقي إلى التربة فيتبخر الماء وتتراكم الأملاح سنوياً في التربة و بذلك تصبح التربة ملحية وتقل صلاحيتها للزراعة.

3- **حركة الماء الأرضي:** نتيجة لصعود الماء إلى السطح بفعل الخاصية الشعرية وعند التبخر سوف تزداد الأيونات وتتركز عند السطح.

4- **إضافة الأسمدة:** إن الإضافة المستمرة وبكميات غير مناسبة للأسمدة الكيميائية التي تحمل بعض الأيونات الضارة (مثل الكبريتات أو الكلوريدات) سوف تؤدي إلى زيادة تركيز أيونات هذه الأملاح في محلول التربة.

5- **البحار والمحيطات:** إن الأراضي التي كانت مغمورة بمياه البحار والمحيطات ثم جفت على مرور السنين فإن مكوناتها الكيميائية تترسب على صورة رواسب أرضية أهمها كلوريد الصوديوم.

6- **التلوث الجوي:** أن الغلاف الجوي محمل بالأتربة الحاملة للأملاح ورذاذ البحر والغازات المختلفة المتصاعدة من المصانع أو الرماد المتصاعد من فوهات البراكين.

7- **الري بمياه غير صالحة:** إن الري بمياه الميازل أو مياه الآبار الارتوازية شديدة الملوحة يؤدي بالتأكيد لي رفع ملوحة التربة، كما أن الإسراف في مياه الري يؤدي إلى ارتفاع مستوى الماء الأرضي ولذلك تكون الأراضي المنخفضة عرضة لانتقال المياه من الأراضي المرتفعة.

الأضرار الناتجة عن الملوحة:

1- **الجفاف الفسيولوجي:** على الرغم من وجود المياه بكميات كبيرة إلا أن النباتات تعجز عن امتصاصه بسبب الجهد الأزموزي الناشئ عن التركيز العالي للأملاح في محلول التربة (أي بيئة الجنور) Osmatic Potential. إن ارتفاع الضغط الأزموزي يؤدي إلى صعوبة امتصاص الجذور للماء مما يؤدي إلى جفاف النبات.

2- **الأثر السام لبعض الأيونات خاصة الكلور والصوديوم Ion Toxicity.**

3- عدم اتزان العناصر أو الأيونات Ion Imbalance داخل النبات نتيجة تأثر واضطرب

عملية الامتصاص و توزيع و انتقال هذه الأيونات.

4- ارتفاع رقم حموضة تربة pH: فعندما تصبح درجة pH (10) فإن كاتيون الصوديوم سوف يسود في محلول التربة مع حصول إنخفاض في نسبة الأملاح الذائبة عند ذلك تسمى تربة ملحية صودية Saline alkaline مما يؤدي إلى تلف وتدهور الخواص الطبيعية للتربة مما يؤثر على المسامية في بروتوبلازم خلايا الجذر فتضعف قدرته على إمتصاص الأغذية النباتية.

إن الإجهاد الناشئ عن ملوحة التربة ومياه الري يسمى بالإجهاد الملحي Salt Stress وفيه تحدث أضرار ناتجة عن إجهاد الماء Water Stress، كما أن زيادة امتصاص النبات للأملاح تؤدي لزيادة تركيزها في أنسجته عموما وفي الساييتوبلازم والفجوات العصارية بصفة خاصة مما يؤدي إلى تنشيط النشاط الأيضي في النبات وأهمها:

1- بناء وتمثيل البروتينات.

2- فقد الخلايا الماء.

3- غلق الثغور.

4- التأثير السام للأيونات الخاصة بالأملاح الزائدة.

وبشكل عام يمكن القول بأن تأثير الشد الملحي الحاصل بسبب زيادة تركيز الملوحة على نمو النبات يمكن أجمالها بالنقاط التالية:

1- نقص معدل الإنبات ونسبته.

2- نقص في المجموع الخضري للنبات.

3- نقص في طول الجذور.

4- نقص في الوزن الأخضر والجاف للنبات.

5- نقص مساحة الأوراق ومحتواها من الكلوروفيل.

6- نقص المحتوى المائي للجذور والمجموع الخضري.

7- نقص محتوى الكربوهيدرات للمجموع الجذري والخضري.

8- زيادة البرولين.

العوامل التي تحدد مدى استجابة النبات للملوحة:-

أولاً:- عوامل التربة وتشمل:

1- **خصوبة تربة:** إن حساسية النباتات للملوحة تختلف تبعاً لخصوبة التربة ففي الأراضي غير الخصبة تظهر أعراض الملوحة ونقص الإنتاج مضاعفاً.

2- **درجة حرارة التربة:** حيث تؤثر على دخول الأيونات وحركتها في الجذور، فكلما قلت درجة حرارة التربة تزداد لزوجة الماء وتزداد مقاومة الجذر لحركة الماء فيزداد تأثير الشد الناتج من وجود الأملاح.

3- **المحتوى الرطوبي:** عند استعمال السنادين في الزراعة فإن التربة تكون محدودة الكمية فيتغير محتوى الرطوبة فيها بسرعة، إن شدة تأثير الأملاح تتناسب مع تركيزها في محلول التربة وليس مع كميتها، فعند تبخر الماء من التربة تقل كمية الماء فيزداد تركيز الأملاح رغم بقاء كمية الأملاح ثابتة في التربة، فتركيز الأملاح عندما تكون رطوبة التربة 50% تساوي نصف تركيزها عندما تصل الرطوبة إلى 25%.

4- **تهوية التربة:** إن سوء التهوية يزيد من تركيز أيونات الكربونات كما ويتجمع الكحول من التنفس اللاهوائي فتزداد مقاومة الجذر لحركة الماء ويقل نشاطه في امتصاص العناصر الغذائية الضرورية.

ثانياً :- عوامل تخص النبات وهذه تشمل:

1- **اختلاف الأصناف النباتية:** فهناك اختلافات كثيرة بين الأصناف من حيث مقاومتها للملوحة.

2- **مرحلة نمو النبات:** وهذه تختلف من نبات لآخر ففي مرحلة إنبات البذور قد تمنع الأملاح الموجودة في مهد البذرة الإنبات أو تأخر الإنبات لما تسببه من ارتفاع في الضغط الإزموزي بحيث لا تستطيع البذور الاستفادة من الماء الموجود. وقد وجد أن المدة اللازمة لإنبات البذور تناسب طردياً مع الضغط الأزموزي أي مع قدرة البذور على امتصاص الماء، وفي مرحلة نمو البادرات قد يكون لأيونات بعض الأملاح التأثيرات التالية:

أ- تأثير سام على الأجنة والبادرات، قنبات القطن يكون أكثر حساسية للملوحة خلال النمو الخضري.

ب- تأثير يؤدي إلى إسراع نضج بعض المحاصيل بصفات جودة أقل.

3- الظروف البيئية: إن الحرارة العالية و الرطوبة النسبية تسبب زيادة في النتج فتزيد من الشد المائي الذي يتعرض له النبات وبالتالي فإن درجات الحرارة العالية ستزيد من سرعة دخول أيونات الأملاح إلى النبات فيزداد التأثير الضار لهذه الأيونات في الخلايا، كذلك فإن لمواد التلوث كالغبار وأبخرة المواد العضوية تقلل من مقاومة النبات للملوحة، أما الضوء الشديد فيسبب زيادة في عملية النتج التي بدورها قد تعرض النبات الجفاف لذا نجد أن النباتات في الظل تكون مقاومة أكثر من المعرضة للضوء الشديد.

4- المواد المضافة: حيث يمكن عكس التأثير السلبي لبعض الأيونات وذلك بإضافة أيونات أخرى، فعلى سبيل المثال لتقليل التأثير السلبي لأيونات الصوديوم نضيف أيونات الكالسيوم لأنها تقلل نفاذية الأغشية الخلوية بينما أيونات الصوديوم تزيد من النفاذية، ويختلف التأثير العكسي لأيونات الكالسيوم من نبات لآخر كما يمكننا أن نجد بعض منظمات النمو تقلل من التأثير الضار لبعض الأملاح مثل الجبرالين والكاينيتين، كما أن للتأثير النوعي للكاتيونات مثل الصوديوم الذائب فنجد إن زيادتها إلى نسبة 70% في التربة تؤدي إلى موت النبات حيث أن زيادة امتصاص الصوديوم تؤدي إلى نقص واضح في البوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم.

تصنيف النباتات حسب تحملها للملوحة:

لقد صنفنا النباتات في بعض المصادر وبحسب تحملها للملوحة إلى:

1- نباتات متحملة للملوحة Haplophytes: وهي النباتات التي تنمو تحت ظروف الملوحة بتركيزات عالية قد تصل إلى 100 - 250 مول.م³ (ماء البحر يحتوى على نحو 500 مول NaCl م.م³) مع تواجد بعض الأيونات السامة الأخرى. وهذا النوع من النباتات تستطيع التعامل مع المياه المحتوية على تراكيز مرتفعة من الأملاح في بيئة النمو بالتخلص منها أو إلغاء تأثيرها السام.

تتميز النباتات التي لها القدرة على تحمل التراكيز العالية من الأملاح بقدرتها العالية على استبعاد أيون الصوديوم أو أيون الكلوريد الأكثر ضرراً على النباتات أو الأثنين معاً وعدم وصولهما إلى النوات الخضرية من خلال أنظمة فيزيوكيميائية خاصة ، وتختلف المحاصيل فيما بينها في نوع الأيون المستبعد وكذلك كميته.

2- نباتات حساسة للملوحة Glycophytes: إن التراكيز العالية من الملح تقلل الجهد الأزموزي لمحلول التربة وتسبب إجهاداً مائياً للنباتات، كما إن بعض الأيونات مثل Na^+ تسبب سمية حادة كونه لا يعزل بسهولة داخل الفجوات، وأخيراً التفاعل مابين الملح والمغذيات يتسبب بحدوث عدم توازن غذائي Imbalance nutrition.

وهناك تقسيم آخر للملوحة من قبل باحثين آخرين تشمل ملوحة أولية Primary salinity (تنتج من تراكم الأملاح لفترات طويلة وفق العمليات الطبيعية إذ يحصل في بادئ الأمر عملية تجوية للصخور الحاوية على أملاح ذائبة مختلفة تشخص بصورة رئيسة إلى كلوريدات الكالسيوم والصوديوم والمغنسيوم)، والملوحة الثانوية Secondary salinity (وهي تراكم الملح المنقول بواسطة الرياح أو المطر وتتمثل بشكل رئيس بكلوريد الصوديوم NaCl).

تقسيمات التربة تبعاً لاحتوائها على الأملاح:

تقسم الترب بشكل عام تبعاً لاحتوائها على الأملاح إلى ثلاثة أنواع وهي:

1- الأرض الملحية الصودية Saline sodic soils: تحتوي هذه الأراضي على كميات عالية من الأملاح المتعادلة، فضلاً عن ارتفاع الصوديوم المتبادل وتؤدي إلى الإضرار بنمو النبات، ويرتفع فيها التوصيل الكهربائي لمستخلص عجينة التربة المشبعة عن 4 مليموز.سم⁻¹، وتزيد نسبة الصوديوم المتبادل ESP عن 15%، وعادة يكون pH لها في حدود 8.5 بسبب وجود تراكيز مرتفعة من الأملاح المتعادلة. ويجب التخلص من الأملاح الزائدة بالغسيل ثم إضافة الجبس الزراعي كمصدر لعنصر الكالسيوم مع الغسيل لمعادلة قلوية التربة ولتحويل الطين الصوديومي إلى طين مشبع بالكالسيوم ليلائم نمو النبات.

2- التربة الصوديومية أو القلوية Sodic or Alkali: وتتصف بأن درجة حموضة التربة تصل إلى 8.4، فضلاً عن احتوائها على نسبة مرتفعة من الأملاح وزيادة نسبة الصوديوم المتبادل ESP بها عن 15%.

3- التربة الملحية الصودية: وهي مزيج من التربة الملحية والصودية وتكون هذه التربة شديدة الخطورة على نمو النبات تتصف بكون Ph أكبر من 8.4 ودرجة التوصيل الكهربائي EC ترتفع عن 2 مليموز.سم⁻¹، فضلاً عن كون نسبة الصوديوم المتبادل ESP بها أكبر من 15%.

إن تراكم الأملاح يسبب ضرراً كبيراً لتركيب التربة وفعالية النبات فتراكم أيونات الصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم والكلوريد والكبريتات يمكن أن تسهم في مشكلة الملوحة. التراكيز العالية من الصوديوم في التربة تسبب ضرراً للنبات بشكل مباشر فضلاً عن تكسير تركيب التربة وإنقاص المسامية ونفاذية الماء. وتوصف التربة بأنها ملحية إذا احتوت على تلك الأيونات بشكل ذائب مما يؤدي إلى رفع قيمة التوصيل الكهربائي لمستخلص التربة المشبعة Electrical conductivity of soil extract (EC Soil Ext.) إلى حدود تقدر بأكثر من 4 ملي

سيمنز.سم⁻¹ (ms/cm) (وتستخدم في الوقت الحاضر وحدة ds.m⁻¹ للتعبير عن التوصيل الكهربائي لمستخلص التربة المشبعة أو محاليل الأملاح). وعليه فقد صنفت النباتات المختلفة حسب استجابتها إلى ثلاثة مستويات رئيسية:

1- **النباتات الحساسة Sensitive or susceptible plants**: وهي النباتات التي تقل إنتاجيتها للنصف عندما تزداد الملوحة لمحلول التربة المشبعة بمدى من (4 - 8 ملي سيمنز.سم⁻¹).⁽¹⁾

2- **النباتات المعتدلة Moderate plants**: وهي النباتات التي تقل إنتاجيتها للنصف عندما تزداد الملوحة لمحلول التربة المشبعة بمدى من (8-12 ملي سيمنز.سم⁻¹).

3- **النباتات المقاومة Resistant plants**: وهي النباتات التي تقل إنتاجيتها للنصف عندما تزداد الملوحة لمحلول التربة المشبعة بمدى من (12-15 ملي سيمنز.سم⁻¹).

تأثير الإجهاد الملحي على إنبات البذور:

يحدث تثبيط في معدل الإنبات لبذور النباتات الحساسة للأملاح Glycophytes بسبب انخفاض الجهد الأزموزي في بيئة التربة المحيطة نتيجة زيادة تركيز الأملاح. كما إن بذور النباتات الملحية Halophytes يثبط إنباتها كون أغلب هذه النباتات تفضل بذورها الإنبات في الماء النقي أو التركيزات المخففة من الأملاح في الماء. وربما يرجع تأثير الأملاح على إنبات البذور إلى سمية أيونية أو إلى تأثير إزموزي نتيجة نقص جهد الماء في البيئة المحيطة للبذور.

تأثير إجهاد الملوحة على الكائنات الحية الدقيقة في التربة:

تؤثر ملوحة التربة على نشاط وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة بالتربة إذ تقلل من نمو النباتات النامية والتي تلعب الكائنات الحية الدقيقة دوراً في نموها وإنتاجها. إن الكائنات الحية الدقيقة يقل نشاطها بواسطة إجهاد الضغط الأزموزي والسمية النوعية للأيونات لا سيما أيونات الصوديوم والكلوريد. وعليه قد تكون المناطق شديدة الملوحة خالية من الحياة النباتية ولكنها لا تزال تعد ملجأً لميكروبات متعددة، وتعد الميكروبات المستوطنة في الترب الملحية متكيفة على النمو تحت هذه الظروف حيث أن لها القدرة على تحمل التغيرات السريعة التي تحدث عندما تخفف محاليل الترب الملحية بواسطة الري أو الأمطار. إن أعداد الكائنات الحية الدقيقة المستوطنة في التربة الملحية الصودية منخفضة وهي مشغولة بوظائفها الحيوية العادية ولا يتوقع أن تتأثر كثيراً في ظل ظروف الملوحة. إن المصلحات العضوية قد تشجع وتحفز النشاط الميكروبي الذي يكون

مفيدا لبناء التربة وقد تحسن نفاذية التربة وتزيد كمية المواد الغذائية المتيسرة. وفي التربة السودية تزداد أهمية أحياء التربة نتيجة لدورها في إنتاج الأحماض العضوية وغير العضوية وعليه فإن المعاملات الكيميائية التي تهدف إلى تقليل نسب إدمصاص (Adsorption) الصوديوم في التربة الملحية مثل مصلاحات الجبس قد يكون لها تأثير مثبط على بعض أصناف الكائنات الدقيقة. لقد أوضحت دراسات عديدة أن عدد الميكروبات في التربة الملحية السودية منخفض وأنه ازداد بإضافة الجبس أو الكبريت وأن *Streptomyces* كانت موجودة بأعداد كبيرة في البداية (قبل إضافة الجبس) ولكن بدأت تتناقص بعد ذلك بإضافة الجبس. أما *Azotobacter* فإن أعدادها تزايدت مما يشير إلى وجود سلالات عديدة منها تستطيع أن تقاوم الرقم الهيدروجيني (pH= 9-10)، كما تزايدت أعداد الميكروبات المحللة للسليلوز بوضوح بإضافة الجبس. وبالمقابل تناقصت أعداد الفطريات نسبياً مع زيادة الملوحة ولكن لم تتأثر أعداد *Actinomyces* بالملوحة. كما وجد أن هناك علاقة بين وجود الملح وتنشيط جنس *Nitrobacter* وربما يعود سببها لسمية الأمونيا الحر تحت الظروف السودية. ومن كل ذلك يتضح أن الكائنات الحية الدقيقة يقل نشاطها وتكاثرها وحيويتها في التربة الملحية والسودية وذلك بسبب الإجهادات الأزموزية والسمية التي تنتج من ذلك.

المصادر:

- صقر، محب طه. 2006. أساسيات كيموحيوية وفسولوجية النبات. كلية الزراعة-جامعة المنصورة. مصر. ع ص230.
- المعيني، أياد حسين علي ومحمد عويد غدير العبيدي. 2018. الأسس العلمية لإدارة وإنتاج وتحسين المحاصيل الحقلية. وزارة التعليم العالي والبحث العلمي- العراق. ع ص 1067.
- Mahajan, S., N. Tuteja. 2005. Salinity and drought stresses: an overview. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 444. 139-158.