الفصل الثانى عشر

شـــد الملوحـــة

تقسم الأراضى — كما أسلفنا — من حيث كونها ملحية أو صودية — تبعًا لعمل الملوحة بالولايات المتحدة — كما يلى:

١- أراضى غير ملحية وغير صودية:

وفيها لا يزيد معامل التوصيل الكهربائى (EC) لمستخلص التربة المشبع عن ٤,٠ ملى موز/سم، ولا تزيد نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) عن ١٥٪.

٢- أراضى ملحية:

وفيها يزيد الـ EC عن ٤,٠ ملى موز/سم، ولا يزيد الـ ESP عن ١٥٪.

٣- أراضى صودية:

وفيها لا يزيد الـ EC عن ٤,٠ ملى موز/سم، ويزيد الـ ESP عن ١٥٪.

٤- أراضى ملحية صودية:

وفيها يزيد الـ EC عن ٤,٠ ملى موز/سم، ويزيد الـ ESP عن ١٥٪.

يكون pH الأراضى الملحية — عمومًا — أقل من ٨,٥، وpH الأراضى الملحية الصودية حوالى ٨,٥، وpH الأراضى الصودية أعلى من ٨,٥ (عن Singh & Chatrath ٢٠٠١).

وتعرف الأراضى غير الصالحة للزراعة باسم "الأراضى ذات المشاكل" Problem Soils، وهى الأراضى التى يوجد فيها انحراف حاد — عن المجال المناسب للنمو النباتى الطبيعى — فى واحد أو أكثر من العوامل البيئية الأرضية، مثل: الملوحة الأرضية، والرطوبة الأرضية، والعناصر الغذائية، والـ pH.

وتوجد ثلاثة بدائل للاستفادة من تلك الأراضى ذات المشاكل، وهى:

١-إصلاح التربة.. وهى طريقة تتبع بنجاح عندما يكون الانحراف فى العامل البيئى قليلاً، ولكنها لا تكون اقتصادية إذا كان الانحراف كبيرًا.

٢-استخدام التربة ذات المشاكل فى زراعة أنواع برية من النباتات يمكنها النمو فيها، على أن يتم استئناسها لصالح الإنسان بهدف استخلاص مركبات غذائية، أو دوائية منها، أو الاستفادة منها مباشرة كغذاء للإنسان، أو كعلف للماشية، أو لإنتاج الزيوت أو المركبات الأخرى التى تدخل فى الصناعة.. ويحظى هذا الاتجاه باهتمام كبير فى الوقت الحاضر، وهو يهم فى مجال تربية النبات لأن استئناس النباتات Plant Domestication لصالح الإنسان يعد أحد أهداف التربية.

٣-تربية نباتات تتحمل الانحراف فى العوامل البيئية الأرضية، ليمكن زراعتها بنجاح فى هذه الأراضى.

ويُطلق على استخدام النباتات المحبة للملوحة والأصناف المتحملة للملوحة من المحاصيل الزراعية فى زراعة الأراضى المتأثرة بالملوحة باسم الـ biotic approach، وكذلك باسم biosaline agriculture (Ashraf & Akram ٢٠٠٩).

هذا.. ويُعبر عن الملوحة إما بالـ TDS وإما بالـ EC.

والـ TDS هى كمية الأملاح الذائبة الكلية total dissolved salts، وتُقاس إما بالـ mg/l (مجم/لتر)، وإما بالـ ppm (الأجزاء فى المليون).

أما الـ EC فهى درجة التوصيل الكهربائى electrical conductivity، وتُقاس إما بالـ dS/m (الديسى سيمنز/م)، وإما الـ mmho/cm (ملى موز/سم)، وإما بالـ umho/cm (ميكروموز/سم)، وذلك على ٢٥°م.

علمًا بأن:

واحد dS/m = واحد mmho/cm = ١٠٠٠ umho/cm.

واحد mg/l = واحد جزء فى المليون.

واحد EC عند ٢٥°م = ٦٤٢ جزء فى المليون.

أضرار الملوحة العالية

تظهر الآثار السلبية للملوحة العالية فى ثلاثة جوانب كما يلى:

١- بناء التربة Soil Structure:

تؤثر التركيزات العالية للأملاح – وخاصة عند زيادة نسبة ادمصاص الصوديوم إلى الكاتيونات الأخرى على سطح غرويات الطين – تأثيرًا سيئًا على الصفات الفيزيائية للتربة، حيث تتشتت الحبيبات الصغيرة (المكونة للتجمعات الكبيرة)، وتصبح مفردة؛ الأمر الذى يقلل كثيرًا من حجم مسام التربة، ويضعف نفاذيتها للماء.

٢- التفاعل بين التربة والجذور Soil/Root Interactions:

تجعل التركيزات العالية للأملاح فى المحلول الأرضى امتصاص النبات للماء والعناصر أمرًا صعبًا؛ بسبب زيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى، والتنافس الكيميائى بين أيونات الأملاح وأيونات العناصر المغذية على الامتصاص؛ مما يؤدى إلى ظهور أعراض نقص بعض العناصر.

٣- داخل النبات:

تؤدى زيادة امتصاص النبات للأملاح إلى تواجدها بتركيزات عالية فى أنسجة النبات بصورة عامة، وفى السيتوبلازم، والفجوات العصارية بصورة خاصة؛ الأمر الذى يترتب عليه ما يلى:

أ- تثبيط النشاط الأيضى، بالرغم من أن زيادة الملوحة تؤدى إلى زيادة المحتوى الكلوروفيللى للنبات.

ب- التضارب مع تمثيل البروتين.

ج- فقدان الخلايا للماء.

د- انغلاق الثغور؛ بسبب زيادة تركيز حامض الأبسيسك فى الملوحة العالية.

هـ- شيخوخة الأوراق مبكرًا.

ويؤدى عدم التوازن بين تركيز الأملاح فى كل من السيتوبلازم والفجوات العصارية إلى زيادة التأثير الضار للأملاح الزائدة؛ فتصبح سامة للنبات، بالرغم من أن تركيزها العام فى النسيج النباتى قد يكون معتدلاً (عن Yeo & Flowers ١٩٨٩، وXu وآخرين ١٩٩٤).

وتحدث الآثار السلبية التى أسلفنا بيانها بفعل عاملين تتسبب فيهما الملوحة، كما يلى:

١- نجد فى الأراضى العادية أن الكالسيوم والمغنيسيوم يكُونان أكثر الكاتيونات تواجدًا، أما عند زيادة تركيز كلوَريد الصوديوم فإن كبريتات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم، وكبريتات المغنيسيوم تترسب؛ لأن مقدرتها على الذوبان محدودة، ويؤدى ذلك بالتالى إلى زيادة نسبة أيونات الصوديوم فى المحلول الأرضى.

ونظرًا لوجود توازن ديناميكى بين الأيونات الذائبة فى المحلول الأرضى والأيونات المدمصة على سطح حبيبات التربة، فإن أيونات الصوديوم تحل محل بعض أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم على سطح حبيبات التربة. وفى بعض الأراضى الملحية — التى تزيد فيها نسبة تركيز أيون الصوديوم على نصف الكاتيونات الذائبة الكلية — يكون أيون الصوديوم هو الكاتيون الوحيد تقريبًا فى المحلول الأرضى؛ ومن ثم يكون هو الكاتيون الأساسى المدمص على غرويات التربة (Allison ١٩٦٤).

ويترتب على ذلك ما يلى:

أ- فقر التربة فى الكاتيونات المدمصة، وعدم قدرة النباتات على الحصول على حاجتها منها.

ب- امتصاص النباتات لكميات كبيرة سامة من أيونى الصوديوم والكلور.

ج- ضعف بناء التربة؛ بسبب ترسب الكالسيوم وسيادة أيون الصوديوم فى المحلول الأرضى على سطح غرويات التربة.

٢- بالنظر إلى أن الأملاح التى توجد فى التربة تزيد الضغط الأسموزى للمحلول الأراضى، وتجعل الماء الأرضى أقل تيسرًا للنباتات؛ لذا.. تقل قدرة النباتات على امتصاص الماء، وتكون استجابتها لزيادة الأملاح مماثلة تقريبًا لاستجابتها لظروف الجفاف، ولكن مع وجود بعض الاختلافات.

فمثلاً.. نجد فى كلتا الحالتين أن تركيز حامض الأبسيسك يزداد؛ مما يؤدى إلى إغلاق الثغور، وأن مستوى السيتوكينين ينخفض. ويبقى مستوى حامض الأبسيسك مرتفعًا لفترة أطول تحت ظروف الملوحة العالية منه تحت ظروف الجفاف. حتى عندما تستعيد النباتات توازنها المائى (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

مظاهر أضرار الملوحة على محاصيل الخضر

تتباين أضرار الملوحة على النباتات — حسب تركيز الأملاح فى التربة ومياه الرى — كما يلى:

١- فى التركيزات الشديدة الارتفاع تموت النباتات بسبب سمية التركيزات العالية للأيونات المكونة للأملاح، مع حدوث ارتفاع كبير فى الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى؛ فتفشل البذور فى الإنبات، ولا يمكن للجذور امتصاص حاجة النباتات من الماء، وخاصة عند ارتفاع معدل النتح.

٢- فى التركيزات المتوسطة إلى العالية من الأملاح قد تحترق الأوراق ويتوقف النمو، وهو ضرر مباشر تحدثه التركيزات المرتفعة لأيونى الصوديوم والكلور.

٣- فى التركيزات الخفيفة إلى المتوسطة من الأملاح تنخفض سرعة النمو النباتى، كما يزداد سمك الأوراق، وتزداد دكنة لونها الأخضر فى بعض الأنواع النباتية.

٤- عند استخدام المياه المرتفعة الملوحة فى الرى بالرش فإن الأوراق تمتص الأملاح؛ مما يؤدى إلى احتراقها. ويتوقف مدى الضرر على درجة الحرارة (التى تؤثر فى سرعة تبخر الماء وزيادة تركيز الأملاح)، ومعدل امتصاص الأوراق للماء.

٥- إلى جانب الأضرار الفسيولوجية المباشرة التى تقدم بيانها.. فإن زيادة تركيز الأملاح يمكن أن تؤدى - كذلك- إلى زيادة الإصابة ببعض الأمراض؛ مثل مرض عفن جذور فيتوفثورا فى الطماطم الذى يسببه الفطر *Phtophthora parasitica* (Swiecki & MacDonald ١٩٩١).

ويُعد نقص المحصول أبرز مظاهر زيادة الملوحة.

نقص المحصول

بالرغم من تأثر الأنواع النباتية - سلبيًا - بارتفاع تركيز الأملاح فى مياه الرى إلا أنها تتباين فى مدى هذا التأثير. ويقدر مدى تأثر المحصول بتركيز الأملاح بالمعادلة التالية:

$$Y = 100 - B (EC_e - A)$$

حيث إن:

Y = المحصول النسبى.

B = معدل النقص فى المحصول مع كل زيادة فى وحدة قياس الملوحة.

A = الحد الأدنى للملوحة الذى ينخفض بعده المحصول.

EC_e = درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع مقدرًا بالمللى موز/سم عند ٢٥°م (عن Ponnamperuma ١٩٨٢).

وتجدر الإشارة إلى أن العلاقة بين تركيز الأملاح والمحصول تكون غالبًا غير خطية؛ حيث تتبع منحنى "سيجمويد" معكوسًا تظهر به زيادة صغيرة - ولكنها معنوية - فى المحصول فى تركيزات الملوحة المنخفضة (عن Shannon ١٩٨٥).

كما توصل Genuchten & Gupta (١٩٩٣) إلى معادلة أخرى تصف العلاقة "السيجمويد" بين تركيز الأملاح والمحصول، كما يلى:

$$Y = 1\ (1 + (c/c_{50})^3)$$

حيث إن:

Y: المحصول النسبى.

c: متوسط تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور.

c_{50}: متوسط تركيز الأملاح – فى منطقة نمو الجذور – الذى يحدث عنده نقص قدره ٥٠٪ فى المحصول.

وتجدر الإشارة إلى أن كثيرًا من المحاصيل يمكنها تحمل مستويات عالية من الملوحة إذا كان المحلول الأرضى متوازنًا فى مستواه من الأملاح، كما فى مياه البحر (عن Ponnamperuma ١٩٨٢).

الأساس الفسيولوجى لأضرار الملوحة

تحدث أضرار الملوحة نتيجة لما تحدثه بالنباتات من أضرار فسيولوجية كما يلى:

١- تفرض الملوحة نقصًا مبدئيًا فى قدرة النبات على امتصاص الماء، بسبب ما تُحدثه الملوحة من زيادة فى تركيز الأملاح فى المحلول الأرضى.

٢- تسبب الملوحة شدًا أيونيًا خاصًا ينشأ عن التغيير فى نسبة أيون البوتاسيوم K^+ إلى الصوديوم Na^+.

٣- يؤدى الشدّ الملحى إلى زيادة تركيز أيونات الصوديوم Na^+ والكلورين Cl^- إلى مستويات ضارة بالنباتات.

ونجد أن النباتات الحساسة للملوحة تنتقل فيها الأيونات إلى النموات الخضرية

(مع تيار ماء النتح غالبًا) بسرعة أكثر من سرعة انتقالها فى النباتات المتحملة والمحبة للملوحة (التى يقل فيها النتح بسبب صغر حجم أوراقها، أو لتشحم نمواتها الخضرية، أو لغزارة شعيراتها الغدية؛ الأمر الذى يعمل على خفض معدل النتح)؛ مما يُسرع من موت أوراقها، ومن ثم موت النبات كله (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

إن التأثير الفسيولوجى لزيادة الملوحة يرجع — كما أسلفنا — إلى أمرين أساسيين، هما: زيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى، وما يتبع ذلك من عدم قدرة النبات على امتصاص حاجته من الماء، والزيادة الكبيرة فى تركيز كلوريد الصوديوم، وما يتبع ذلك من عدم قدرة النبات على امتصاص حاجته من الكاتيونات الأخرى.

تحور التأثيرات الأسموزية للمحلول الأرضى من العلاقات المائية بالنبات، وتقلل من معدل زيادة الخلايا فى الحجم؛ الأمر الذى يقود إلى خفض فى معدل تكون الجذور والفروع والأوراق الجديدة. يخفض الضغط العالى للمحلول الأرضى — كذلك — من درجة توصيل الثغور؛ الأمر الذى يؤدى إلى خفض معدل البناء الضوئى. كما تتسبب التأثيرات الأسموزية فى زيادة سرعة وصول الأوراق المسنة لمرحلة الشيخوخة. ويعنى ذلك وجود ثلاث عمليات مستقلة تتأثر بزيادة الضغط الأسموزى (بطء تكوين الأوراق الجديدة، وموت الأوراق المسنة، ونشاط البناء الضوئى)، وهى التى تُسهم جميعها فى خفض معدل البناء الضوئى للنبات. وتتشابه هذه التأثيرات مع تأثيرات شدِّ الجفاف. تحدث التأثيرات الأسموزية فور انخفاض الجهد المائى للمحلول الأرضى، وتزول فور زيادته. وإذا كانت فترة الشدِّ قصيرة (بالساعات) فإن عودة النبات لحالته الطبيعية تكون كاملة، أما إذا كانت تلك الفترة طويلة، فإن العودة للحالة الطبيعية تكون محدودة نظرًا لأن الشدَّ ربما يكون قد قلل — بالفعل — من عدد النموات الجانبية وعدد الخلايا فى منطقة الانقسام والنمو بالجذور والأوراق، حيث يكون هناك انخفاض فعلى فى عدد الخلايا القادرة على الاستجابة.

أما التأثير على امتصاص الأيونات فإن مرده يكون إلى زيادة امتصاص أيونا الصوديوم والكلورين، وما يتبع ذلك من نقص فى امتصاص الأيونات الضرورية، وخاصة البوتاسيوم والكالسيوم. وقد يحور امتصاص الكلورين الزائد من امتصاص الأيونات الضرورية للنبات مثل الفوسفات والنترات، إلا أن هذه التأثيرات تكون معقدة وتتباين بين الأنواع النباتية. وإذا زاد امتصاص النبات للصوديوم والكلورين عن قدرة النبات على توزيعهما على مختلف الأنسجة والأعضاء، أو على قدرته على تحديد تواجدهما بالفجوات العصارية، فإن تركيزهما يزداد فى السيتوبلازم إلى مستويات سامة. ومن أبرز مظاهر ذلك التسمم موت الأوراق المسنة، أما تأثير التراكم على النمو فإنه لا يحدث إلا بعد فترة تتوقف على مستوى الشدّ الملحى وعلى مدى تحمل النوع النباتى لها. وعندما يحدث البطء فى النمو جراء تراكم أيونا الصوديوم والكلورين فإنه يكون البطء الثانى بعد الأول الذى يحدث مبكرًا جراء زيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى (عن Munns وآخرين ٢٠١١).

التأثيرات المفيدة للملوحة على محاصيل الخضر

لا تخلو زيادة الملوحة من بعض التأثيرات المفيدة التى يمكن أن تجد لها تطبيقات زراعية، كما يلى:

١- تؤدى زيادة الملوحة إلى الحد من النمو الخضرى فى الطماطم؛ الأمر الذى يمكن الاستفادة منه فى زيادة العقد المبكر، وخاصة فى ظروف الإضاءة الضعيفة. كذلك فإن زيادة الملوحة فى الوقت المناسب (فى المزارع المائية) تفيد فى الحد من النمو الخضرى فى الفراولة؛ الأمر الذى يؤدى إلى اتجاه النبات نحو النمو الثمرى.

٢- تؤدى الملوحة العالية — أحيانًا — إلى جعل الثمار المنتجة أفضل مظهرًا وأكثر مقاومة للأضرار الميكانيكية (عن Awang وآخرين ١٩٩٣).

٣- تعمل الملوحة على زيادة قدرة النباتات العشبية على تحمل الحرارة المنخفضة؛ فقد أدى تعريض جذور السبانخ لمحلول ملحى يبلغ تركيزه ٣٠٠ ملى مولار من كلوريد

الصوديوم إلى زيادة قدرة الأوراق على تحمل التجمد بمقدار ٢,٣°م فى خلال ٢٤ ساعة من المعاملة، علمًا بأن امتصاص الملح كان سريعًا خلال السبع ساعات الأولى من معاملة الملوحة، ثم انخفض بعد ذلك (Hincha ١٩٩٤).

٤- من المعروف أن زيادة الملوحة تؤدى إلى زيادة نسبة المادة الجافة وتحسين النوعية؛ بزيادة محتوى الثمار من السكريات والحموضة المعايرة؛ كما فى الطماطم، والفلفل، والفراولة.

فمثلاً.. أوضحت دراسات Mizrahi & Pasternak (١٩٨٥) أن ثمار طماطم التصنيع التى عرضت لعدة مستويات من الملوحة كان محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة أكثر مما فى نباتات الشاهد. وبالرغم من أن محصول معاملة الملوحة كان أقل، إلا أن التحسن فى نوعيتها رفع من قيمتها.

كذلك حصلت ثمار الكنتالوب التى تعرضت لمستويات من الملوحة على قيم أعلى فى اختبارات التذوق منها فى ثمار معاملة الشاهد، ولكن اختفى الفرق بينهما بعد ٣ -٤ أسابيع من التخزين فى حرارة الغرفة.

أما الخس.. فلم تكن لمعاملة الملوحة أية تأثيرات على نتائج اختبارات التذوق فيه.

وفى الكرنب الصينى كان لمعاملة الملوحة تأثير قليل على المحصول، ولكنها أحدثت زيادة فى معدل الإصابة باحتراق حواف الأوراق.

٥- من المعروف أن ثمار النباتات الأصيلة فى طفرة الطماطم nor لا تتلون بصورة عادية ولا تفقد صلابتها؛ حيث يمكن تخزينها لفترات طويلة، ولكنها تكون رديئة النوعية لعدم اكتمال نضجها بصورة طبيعية؛ حيث يكون تطورها مقيدًا بشدة على المستويات الفسيولوجية والإنزيمية، وحتى على مستوى التعبير الجينى. هذا.. إلا أن الملوحة يمكن أن تخفف من التأثيرات المتعددة لهذا الجين؛ حيث إن تعريض النباتات للأملاح — فى نهاية مرحلة تطورها — أدى إلى احمرار الثمار ونضجها جزئيًا. وقد

صاحب ذلك نقص فى وزن الثمار وصلابتها، مع زيادة فى محتواها من المادة الجافة، والحموضة المعايرة، والسكر، وأيون الكالسيوم. ولكن لم يكن للملوحة تأثير على نشاط إنزيم بولى جلالاكتورونيز polygalacturonase؛ الذى يختفى تمامًا فى الثمار الأصيلة فى هذا الجين، والذى يعد مسئولاً عن فقد ثمار الطماطم الطبيعية لصلابتها.

ولقد اقترح البعض إمكان تبادل رى الحقل الواحد بماء ردئ النوعية مع ماء آخر جيد النوعية، وخاصة خلال مراحل النمو الأكثر تحملاً والأكثر حساسية للملوحة، على التوالى. ولقد وجد أن الرى بالماء الملحى أثناء إثمار الكنتالوب والطماطم أدى إلى زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة وتحسين طعمها. ويفيد تبادل الرى بالماء العذب مع الماء الملحى فى تحقيق هذا الهدف دون التأثير سلبًا على المحصول. وكان لزيادة ملوحة مياه الرى أثره فى زيادة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى ثمار الكنتالوب بمقدار ٢٪. وفى مهاميز الأسبرجس ازدادت نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية من ٩٥ إلى ١٠٨ مجم/جم وزن طازج عندما اقتربت ملوحة التربة من ٢١ ديسى سيمنز/م.

وعلى الرغم من اختلاف الأنواع النباتية فى تحملها للملوحة، فإن محصول جميع أنواع الخضر تحسَّن عند تأخر الرى بمياه الصرف عالية الملوحة إلى المراحل المتأخرة من النمو المحصولى. وقد تميزت الخضر الورقية التى أُعطيت تلك المعاملة بأن أوراقها أصبحت أكثر اخضرارًا، وعندما كان ماء الرى غنيًّا بالكبريتات حدث تحسّن فى طعم أوراق الخضر الصليبية (Shannon & Grieve ٢٠٠٠).

ومن المعروف إمكان استخدام الماء المالح قليلاً brackish water فى رى نباتات الكنتالوب بالتبادل مع الماء العذب أو مخلوطًا معه، دون توقع حدوث نقص كبير فى المحصول، وذلك إذا ما روعى التوقيت والتركيز المناسبين، فى الوقت الذى يمكن توقع حدوث تحسُّن فى صفات جودة الثمار فيما يتعلق بنسبة السكريات والمواد الصلبة الذائبة الكلية (Del Amor وآخرون ١٩٩٩).

تأثير الشد الملحى على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

لا تتحمل الطماطم التركيزات المرتفعة من الملوحة الأرضية، حيث تؤدى زيادتها إلى إحداث نقص كبير فى معدل النمو النباتى يزداد بزيادة تركيز الأملاح (Hassan & Desouki ١٩٨٢)، ويصاحب ذلك نقص كبير فى المحصول. ويمكن لنباتات الطماطم تحمل ملوحة تصل إلى ٢٠٠٠ — ٢٥٠٠ جزء فى المليون (درجة توصيل كهربائى EC تتراوح بين ٣,١ و٣,٩ ملى مون) دون أن يتأثر نموها بدرجة ملحوظة. وعلى الرغم من قدرة النباتات على النمو فى مستويات الملوحة الأعلى من ذلك — وحتى ٦٤٠٠ جزء فى المليون (EC = ١٠ ملى مون) — إلا أن نموها ومحصولها يتأثران سلبيًّا بكل ارتفاع فى مستوى الملوحة (Lorenz & Maynard ١٩٨٠)، ولا يكون إنتاجها اقتصاديًّا فى مستويات الملوحة الأعلى من ذلك.

ويمكن القول — بصفة عامة — أن أصناف الطماطم الكريزية الثمار (الـ cerasiforme) أكثر تحملاً للملوحة عن غالبية الأصناف العادية، حيث إنها تتحمل مستويات أعلى من الملوحة الأرضية قبل أن يبدأ محصولها فى الانخفاض (Caro وآخرون ١٩٩١).

إنبات البذور

تقلل الملوحة العالية من إنبات بذور الطماطم وتزيد من الفترة التى تلزم لإنباتها إلى درجة تجعل الزراعة بالبذور مباشرة فى الحقل الدائم غير مناسبة على الإطلاق عندما تصل ملوحة مستخلص التربة المشبع إلى ٨ ديسى سيمنز/م (EC = 8 dS/m).

إن الملوحة العالية تؤثر سلبيًّا على إنبات بذور الطماطم؛ حيث تؤدى إلى جانب تأخير الإنبات. إلى نقص كل من معدل الإنبات، ونسبة الإنبات النهائية، ومعدل استطالة البادرة. وقد توصل Badia & Meiri (١٩٩٤) من دراستهما عن تأثير مستويات مختلفة

من الملوحة الأرضية (تراوحت فيها درجة التوصل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع بين ١,٣، و٧,٧ ملى موز/ سم) على إنبات بذور صنفى الطماطم إم ٨٢ M82، وبيتو ٩١ Peto 91 أن أعلى مستويات الملوحة أدى إلى انخفاض نسبة الإنبات النهائية إلى ٦٧٪ فى الصنف إم ٨٢، و ٨٨٪ فى الصنف بيتو ٩١، بينما ازدادت فترة الإنبات بمقدار ٢٠٨٪، و١٨٠٪ فى الصنفين، على التوالى.

هذا إلا أن تعريض بذور الطماطم أثناء استنباتها لملوحة عالية يُحدث تغيرات فسيولوجية فى أجنة البذور تجعل البادرات والنباتات الناتجة منها أسرع تأقلمًا على ظروف الملوحة العالية بعد ذلك. ويحدث نفس التأثير — ولكن بدرجة أقل — عند تعريض البادرات التى فى مرحلة ظهور الورقة الحقيقية الرابعة لمعاملة الملوحة العالية. وقد وجد Cano وآخرون (١٩٩١) أن تشريب بذور الطماطم بالماء فى ملوحة عالية (٠,١ مولار كلوريد صوديوم) أدى إلى زيادة المحصول عندما نُميّت النباتات — بعد ذلك — فى ملوحة مرتفعة نسبيًا. وكان ذلك مصاحبًا بزيادة فى نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم فى النموات الخضرية وزيادة فى وزن الثمار، مقارنة بمعاملة الشاهد التى لم تُشرَّب فيها البذور بالمحلول الملحى.

النمو النباتى والمحصول

• يتبين من دراسات Snapp & Shennan (١٩٩٤) أن زيادة الملوحة الأرضية تؤدى إلى جعل جذور الطماطم أقل سمكًا، مع زيادة سرعة وصولها إلى مرحلة الشيخوخة بنحو ٥٠٪، وتجعل المجموع الجذرى أكثر قابلية للإصابة بفطر *Phytophthora parasitica* مسبب مرض عفن الجذر الفيتوفثورى.

• هذا.. ويكون نمو الجذور بطيئًا عندما تصل الملوحة إلى ٤—٦ ديسى سيمنز/م، إلاّ أنها تكون أقل تأثرًا عن النموات الخضرية (Curatero & Fernández – Munoz ١٩٩٩).

• وعلى الرغم من أن أى زيادة فى درجة ملوحة المحاليل المغذية المستعملة فى رى نباتات الطماطم فى المزارع المائية يترتب عليها حدوث نقص تدريجى فى محصول الثمار، إلا أن النمو النباتى والمحصول — تحت ظروف الحقل — يتوقفان على أقل درجة من الملوحة يتعرض لها أى جزء من المجموع الجذرى. وقد ثبت ذلك من دراسة قُسِّم فيها المجموع الجذرى إلى أربعة أجزاء، وضع كل واحد منها فى آنية مستقلة، واستعمل فى كل آنية منها محلول مغذٍ يختلف فى درجة ملوحته (Papadopoulos & Rending ١٩٨٣). ويستدل من ذلك على أنه فى حالات الرى بالتنقيط (والتى يوجد فيها أجزاء من المجموع الجذرى للنبات الواحد فى مواقع مختلفة حول النقاط تختلف فى شدة ملوحتها) يتوقف النمو الكلى للنبات على أقل تركيز للأملاح فى المواقع التى تصل إليها الجذور، وليس على متوسط تركيز الأملاح فى كل منطقة النمو الجذرى.

• ولم تؤد زيادة ملوحة المحلول المغذى إلى ٥,٥ ملى موز/سم — بإضافة كلوريد الصوديوم إليه — إلى نقص محصول الطماطم، فى الوقت الذى حَسَّنت فيه هذه الدرجة المتوسطة من الملوحة جميع خصائص الجودة فى الثمار باستثناء إحداث نقص فى محتواها من عنصر الكالسيوم. كما وجد أن الملوحة العالية المُحَدثة بزيادة البوتاسيوم كانت أكثر ضررًا على النباتات عن تلك المحدثة بزيادة الصوديوم.

وبالمقارنة.. وجد Adams & Ho (١٩٨٩) أن الملوحة العالية (٨ ملى موز/سم) أحدثت نقصًا فى المحصول ظهر فى صورة نقص فى وزن الثمرة، استمر طيلة موسم الحصاد، مع نقص فى عدد الثمار ظهر بعد ٤ أسابيع من بداية موسم الحصاد. كما وجد أن إحداث تلك الزيادة العالية فى الملوحة بزيادة تركيز أى من العناصر الكبرى الضرورية للنبات (البوتاسيوم، والمغنيسيوم، والكالسيوم، والنيتروجين النتراتى) أو الصوديوم أحدثت تأثيرًا متماثلاً فى كل الحالات.

• كذلك وجد Alarcón وآخرون (١٩٩٤) أن زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى مياه الرى من صفر إلى ١٤٠ ملى مولارًا أحدثت نقصًا معنويًّا فى محصول الطماطم تمثَّل فى

نقص كل من عدد الثمار وحجمها. وقد احتوت ثمار النباتات التى أُعطيت معاملة الملوحة العالية تركيزات أعلى من السكريات المختزلة، والأحماض العضوية عن ثمار الكنترول، كما كانت فترة حياتها الكلية (من بداية العقد إلى مرحلة الشيخوخة) أقصر من ثمار الكنترول.

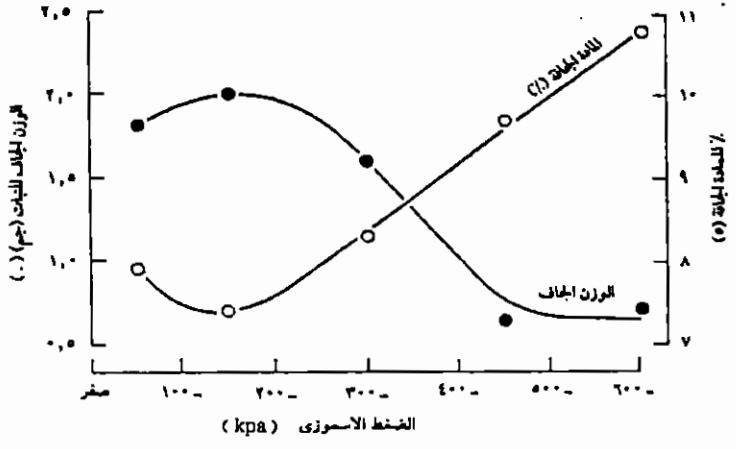
• كذلك درس Bolarin وآخرون (١٩٩٣) تأثير إضافة كلوريد الصوديوم بتركيز صفر، و ٣٥، ٧٠، و١٤٠ مللى مولار إلى ماء الرى أو المحلول المغذى على نمو ومحصول نباتات الطماطم، مع بدء المعاملة إما عند زراعة البذور، وإما عند مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الرابعة، واستمرارها — فى كلتا الحالتين — إلى نهاية الحصاد (حتى ١٨٠ يومًا من الزراعة). كان متوسط درجة التوصيل الكهربائى للتربة فى منطقة نمو الجذور ١,٧، و٥,٣، و٨,٠، و ١٤,٦ مللى موز/سم لمعاملات تركيزات كلوريد الصوديوم صفر، و٣٥، و٧٠، و١٤٠ مللى مولا، على التوالى. وقد وُجِدَ أن تحمل الملوحة — معبرًا عنه بزيادة الوزن الجاف للنمو الخضرى للنباتات — ازداد مع تقدم النباتات فى العمر، عندما كانت بداية معاملة الملوحة عند زراعة البذور، بينما وصل تحمل الملوحة أقصاه عند عمر ٤٥ يومًا فى النباتات التى بدأت فيها معاملة الملوحة عند مرحلة نمو الورقة الحقيقية الرابعة. وقد تساوت النباتات المكتملة النمو فى تحملها للملوحة فى كلتا المعاملتين. وكان محصول الثمار أعلى عندما بدأت معاملة الملوحة عند زراعة البذور، وذلك مقارنة بالمحصول عندما بدأت المعاملة فى مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الرابعة. وقد نقص الوزن الجاف للنمو الخضرى مع زيادة محتواه من كل من الكلور والصوديوم.

• يقل المحصول عند زراعة الطماطم فى محلول مغذٍ ذات ضغط أسموزى ٢,٥ ديسى سيمنز/م أو أعلى من ذلك، ومع زيادة الـ EC عن ٣,٠ ديسى سيمنز/م ينخفض المحصول بمقدار ٩٪ – ١٠٪ مع كل زيادة مقدارها ديسى سيمنز واحد/م. ويكون مرد الانخفاض فى المحصول فى الحدود الدنيا للـ EC العالى إلى نقص فى متوسط وزن الثمرة، بينما يعزو الانخفاض فى المحصول فى المستويات العليا من الـ EC المرتفع إلى نقص عدد الثمار. ولهذا السبب يمكن إنتاج الأصناف المتوسطة فى حجم ثمارها فى

مستويات متوسطة من الملوحة لأن تأثير الملوحة على حجم ثمارها لا يكون ملحوظًا (Cuartero & Fernández – Munoz ١٩٩٩).

• ويوضح شكل (١٢–١) تأثير الملوحة على كل من الوزن الجاف، ونسبة المادة الجافة فى نبات الطماطم. يتضح من الشكل أن الزيادة التدريجية فى الملوحة — معبرًا عنها بالضغط الأسموزى — تؤدى إلى زيادة طفيفة فى الوزن الجاف للنبات عند ضغط أسموزى قدره 100 kPa — يعقبها نقص حاد فى الوزن الجاف للنبات عند زيادة الملوحة عن ذلك. وفى المقابل يحدث نقص طفيف فى نسبة المادة الجافة فى النبات بزيادة الضغط الأسموزى إلى 100 kPa — تعقبه زيادة مضطردة فى نسبة المادة الجافة، مع استمرار الزيادة فى الملوحة. ومعنى ذلك أن العلاقة عكسية بين الوزن الجاف للنبات، ونسبة المادة الجافة به (Adams ١٩٨٦).

• ويستدل من دراسات Satti وآخرين (١٩٩٤) تأثُر النمو النباتى الكلى سلبيًّا بازدياد ملوحة التربة، متمثلاً فى نقص الوزن الكلى للنبات، وارتفاعه، وعدد الأوراق، ووزن الثمار، ومتوسط وزن الثمرة. ولكن إضافة نترات الكالسيوم أدت إلى خفض التأثير الضار لزيادة كلوريد الصوديوم.



شكل (١٢–١): تأثير الملوحة على كل من الوزن الجاف (٥)، ونسبة المادة الجافة (٥) فى نبات الطماطم.

نوعية الثمار

• تؤدى زيادة الملوحة إلى زيادة محتوى ثمار الطماطم من السكريات والمادة الجافة بصورة عامة. وقد وجد Adams (١٩٩١) أن الملوحة العالية (٨ مللى موز/سم) — سواء أُحدِثت بزيادة تركيز أى من العناصر الكبرى (النيتروجين النيتراتى، أو البوتاسيوم، أو الكالسيوم)، أو الصوديوم — أدت إلى نقص محصول الطماطم، إلا أنها أدت — كذلك — إلى زيادة نسبة ثمار الدرجة الأولى. هذا.. إلا أنه فى مستوى الملوحة الأعلى من ذلك (١٢ مللى موز/سم) حدث انخفاض فى عدد الثمار/نبات، والوزن الجاف للثمرة، ومحتواها من السكريات، وكان النقص فى هذه القياسات أشد عندما استعملت العناصر الكبرى الضرورية فى الوصول إلى هذا المستوى المرتفع من الملوحة، مقارنة باستعمال كلوريد الصوديوم لهذا الغرض.

• وقد وجد Sanden & Uittien (١٩٩٥) أن زيادة الثمار فى الحجم ترتبط عكسيًا مع كل من الزيادة فى ملوحة المحلول المغذى، وفترة التعرض للملوحة العالية أثناء تكوين الثمار.

• تُحسِّن الملوحة من طعم ثمار الطماطم بزيادتها لكل من السكريات والأحماض، لكن تزداد حالات الإصابة بتعفن الطرف الزهرى (Curatero & Fernández – Munoz ١٩٩٩).

• يرجع التحسن فى طعم ثمار الطماطم الذى يحدث عن تعريض النباتات للشدِّ الملحى إلى زيادة محتوى تلك الثمار من كل من: السكريات والأحماض العضوية والأحماض الأمينية (Zushi & Matsuzoe ٢٠١١).

• يزداد تركيز الأحماض الأمينية الحرة — بما فى ذلك الـ glutamate — تحت ظروف الملوحة العالية (درجة توصيل كهربائى قدرها ٤ ديسى سيمنز/م لمحلول الرى مقارنة بـ ١,٦ ديسى سيمنز/م فى الكنترول)؛ الأمر الذى قد يُسهم فى التحسن فى طعم

الثمار الذى يلاحظ فى ظروف الملوحة العالية.

أما تعريض الطماطم لظروف نقص الرطوبة الأرضية (الرى بمعدل ٢٥٪ من الكنترول)، فقد أسهم فى زيادة تركيز الحامضين الأمينيين proline، وzeta-aminobutyrate، علمًا بأن كليهما ازداد – كذلك – تحت ظروف الملوحة العالية (Zushi & Matsuzoe ٢٠٠٦).

• ويؤدى كل من الشدّ الرطوبى والشدّ الملحى إلى نقص كلاً من الكاروتينات وحامض الأسكوربيك فى الثمار (De Pascale وآخرون ٢٠٠٧).

• أدى رى الطماطم النامية فى مزرعة صوف صخرى بمحلول مغذٍ ملحى بلغت درجة توصيله الكهربائى ٨ مللى سيمنز/سم (يعادل ١٠٪ ماء بحر) إلى زيادة محتوى الثمار من المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة، ولكن مع إحداث المعاملة لخفض فى كمية محصول الثمار (Incerti وآخرون ٢٠٠٧).

• يؤدى رى الطماطم بالماء المالح قليلاً إلى رفع محتوى الثمار من الجلوكوز من حوالى ١٠٠ (فى حالة الرى بالماء غير الملحى) إلى ٢٠٠ مجم/ديسى لتر، لكن ذلك يكون مصاحبًا بزيادة فى نسبة الثمار المصابة بتعفن الطرف الزهرى ونقص فى محصول الثمار. وتُعالج مشكلة تعفن الطرف الزهرى بزيادة تركيز الكالسيوم فى المحلول المغذى. أما نقص المحصول فيعالج بزيادة كمية الماء المستخدمة فى الرى بالماء الملحى بالقدر الذى يكفى لغسيل الملح المتراكم فى منطقة نمو الجذور؛ حيث يحافظ ذلك الإجراء على كل من جودة الثمار وكمية المحصول (Plaut & Grava ٢٠٠٠).

• أحدث رى الطماطم بماء ملحى (مضاف له كلوريد الصوديوم) ذات درجة توصيل كهربائى ١٥,٧ ديسى سيمنز/م – مقارنة بالرى بماء عذب ذات ملوحة ٠,٥ ديسى سيمنز/م – التغيرات الآتية فى ثمار الطماطم:

١– انخفاض فى وزن الثمرة وفى محتواها من الماء.

٢– زيادة فى تركيز محتوى الثمار من المواد الصلبة والكربوهيدرات والصوديوم والكلوريد.

٣- زيادة الحموضة المعايرة.

٤- انخفاض شدة التلون الأحمر جوهريًا.

٥- انخفاض تركيز الفوسفور والبوتاسيوم والمغنيسيوم والنترات بالثمار.

٦- ازدياد تركيز الكاروتينات الكلية والليكوبين بزيادة الملوحة من ٠,٥ إلى ٤,٤ ديسى سيمنز/م، ثم انخفاضه بزيادة الملوحة عن ذلك (De Pascale وآخرون ٢٠٠١).

• دُرس تأثير درجات التوصيل الكهربائى (EC) للمحلول المغذى المنخفضة (٠,٢ سيمنز/م)، والمتوسطة (٠,٣٥ سيمنز/م)، والعالية (٠,٥ سيمنز/م) على صفات جودة ثمار الطماطم المنتجة، ووجد أن الطماطم المنتجة فى الملوحة العالية كانت أعلى جوهريًا فى الطعم واللون الأحمر، وأصغر حجمًا، وأكثر صلابة (إحساس فى الفم) أو أقل صلابة (إحساس باللمس). ولقد ارتبطت كافة صفات الجودة المقيسة (اللون الخارجى، والـ pH، والحموضة المعايرة، والمواد الصلبة الذائبة، والصلابة) جيدًا مع تقديرات الجودة الحسية (الاحمرار، والطعم، والحموضة، والحلاوة، وطراوة الملمس باليد)، إلاّ أن التحليل الحِسّى هو الذى أظهر أن الصلابة الخارجية والداخلية تختلفان فى استجابتهما لمعاملات الـ EC، وربما أنهما يسلكان آليات تركيبية أو فسيولوجية مختلفة (Cliff وآخرون ٢٠١٢).

• دُرس تأثير الملوحة العادية بالمحلول المغذى (EC = ٢,٤ ديسى سيمنز/م) والملوحة العالية (٤,٨ ديسى سيمنز/م) فى مزارع الصوف الصخرى على بعض صفات جودة ثمار الطماطم على مدار العام. وقد أظهرت تركيزات الليكلوبين والمواد الصلبة الذائبة الكلية اختلافات موسمية، وكان التأثير الأكبر فى الليكوبين، كما تسبب الـ EC العالى فى زيادة تركيز الليكوبين بنسبة ١٨٪ والمواد الصلبة الذائبة الكلية بنسبة ٢٠٪. وإلى جانب تأثير EC المحلول المغذى المستعمل، فإن عوامل أخرى أثرت على الصفات المدروسة، وكان أهمها تأثير درجة الحرارة على الليكوبين، والفترة الضوئية على المواد الصلبة الذائبة الكلية (Kubota وآخرون ٢٠١٢).

• تتوفر بثمار الطماطم نُظُم مضادة للأكسدة تحميها من الشدّ التأكسدى الذى يستحثه الشدّ الملحى. فعندما أُضيف كلوريد الصوديوم للمحلول المغذى للطماطم بتركيز ١٠٠ ملى مول حافظت الثمار على مستوى أكسدة الدهون lipid peroxidation وفوق أكسيد الأيدروجين فيها. وفى الزراعة الصيفية للصنف House Momotaro أُرجعت نُظُم تضادية الأكسدة إلى التفاعلات الإنزيمية لكل من الـ ascorbate peroxidase والـ glutathione reductase، بينما أُرجعت فى الصنف Mini Carol إلى تفاعلاتها غير الإنزيمية لكل من الـ ascorbate والـ glutathione. أما فى الزراعة الشتوية فلم تتأثر نظم تضادية الأكسدة فى أى من الصنفين. هذا بينما ازداد محتوى البرولين بالنباتات فى موسمى الزراعة فى كلا الصنفين (Zushi & Matsuzoe ٢٠٠٩).

الإصابات المرضية

تؤدى الملوحة الأرضية العالية إلى زيادة قابلية نباتات الطماطم للإصابة بمسببات الأمراض، مثل نيماتودا تعقد الجذور، والفطريات المسببة لمرض تساقط البادرات (مثل: *Rhizoctonia solani*، و *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*). كما وجد Swiecki & McDanald (١٩٩١) أن تعريض نباتات الطماطم للملوحة العالية أدى إلى زيادة إصابتها بالفطر *Phytophthora parasitica* مسبب مرض عفن الجذور الفيتوفثورى، سواء أكان تعرض النباتات للملوحة قبل أو بعد حقنها بالفطر، ولكن معاملة الملوحة التى أجريت فى مراحل النمو المبكرة (قبل الإزهار) كانت أكثر تأثيرًا من التى أجريت فى المراحل المتأخرة (بعد الإزهار). وتجدر الإشارة إلى أن الملوحة العالية أثّرت سلبيًّا كذلك على أعداد الجراثيم السابحة التى أنتجها الفطر فى التربة وعلى حركتها؛ مما يعنى شدة تأثر الطماطم بالفطر فى الملوحة العالية، حتى مع ضَعْف تواجد الفطر فى التربة.

التغيرات الفسيولوجية التى يحدثها تعرض نباتات الطماطم للملوحة العالية

• يستفاد من دراسات Longuenesse & Leonardi (١٩٩٤) أن تركيز الأملاح فى

المحلول المغذى يؤثر على نباتات الطماطم النامية فى مزارع الصوف الصخرى. فبعد أسبوع واحد من استعمال محلول مغذٍ ملحى بلغت درجة توصيله الكهربائى ٦ ملى موز/سم — مقارنة باستعمال المحلول المغذى العادى الذى بلغت درجة توصيله الكهربائى ١,٨ ملى موز/سم — انخفضت كفاءة البناء الضوئى بمقدار ٥٠٪، ونقص معدل النتح بنسبة ٥٠٪، وتوصيل الثغور stomatal conductance بنسبة ٨٠٪ فى النباتات المعرضة لظروف الملوحة العالية، وذلك عندما كان تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى عاديًا (٣٥٠ جزءًا فى المليون). ولكن عندما رُفِعَ تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى أكثر من ٨٠٠ جزء فى المليون لم تختلف القياسات السابقة معنويًا بين النباتات التى استعمل معها المحلول المغذى الملحى وغير الملحى؛ مما يدل على أن النقص الذى حدث فى معدلى النتح والبناء الضوئى كان مرده إلى نقص توصيل الثغور تحت ظروف الملوحة العالية.

• كذلك درس Xu وآخرون (١٩٩٤) تأثير الملوحة العالية فى المحلول المغذى (EC = ٤,٥ ملى موز/سم)، مقارنة بالملوحة المنخفضة نسبيًا (EC = ٢,٣ ملى موز/سم)، والشد الرطوبى العالى (امتلاء ٥٥٪ من السعة الشعرية بالماء)، مقارنة بالشد الرطوبى المنخفض (امتلاء ٩٥٪ من السعة الشعرية بالماء) على بعض الخصائص الفسيولوجية لنباتات الطماطم النامية فى مزرعة لاأرضية أساسها البيت موس. وجد الباحثون أن زيادة أى من ملوحة المحلول المغذى أو الشد الرطوبى أدت إلى نقص معدل البناء الضوئى، وكان مرد ذلك إلى نقص مماثل أحدثته معاملتى الملوحة والشد الرطوبى فى توصيل الثغور والنسيج الوسطى، مع تأثير أكبر للمعاملتين على توصيل الثغور. كذلك أدت زيادة الملوحة إلى زيادة محتوى الأوراق من الكلوروفيل؛ الأمر الذى انعكس على صورة زيادة نسبية فى معدل البناء الضوئى — مقارنة بالكنترول (معاملة الملوحة المنخفضة) — فى مطلع النهار عندما كانت الإضاءة ما زالت ضعيفة. وقد انخفض كذلك الجهد المائى للأوراق بزيادة أى من الملوحة أو الشد الرطوبى؛ مما أدى فى نهاية الأمر

إلى انخفاض معدل البناء الضوئى. وقد كان للملوحة العالية والشد الرطوبى العالى تأثيرات متجمعة على كل من البناء الضوئى والعمليات الفسيولوجية المرتبطة به.

• وفى دراسة لاحقة (Xu وآخرون ١٩٩٥ أ) وجد الباحثون أن معاملتى الملوحة العالية والشد الرطوبى العالى — المبينتان أعلاه — أحدثتا — منفردتين أو مجتمعتين — نقصًا فى كل من النتح الثغرى stomatal transpiration، والنتح الأديمى cuticular transpiration.

• وفى دراسة أخرى وجد Xu وآخرون (١٩٩٥ب) أن زيادة الضغط الأسموزى إلى EC = ٤,٠ مللى موز/سم أدت إلى نقص إنتاج الطماطم من المادة الجافة فى مزارع تقنية الغشاء المغذى، ولكن ليس فى مزارع الصوف الصخرى، بينما أدت هذه المعاملة إلى زيادة كفاءة البناء الضوئى فى كلا النوعين من المزارع. ولم تكن صفتا إنتاج المادة الجافة وكفاءة البناء الضوئى مرتبطتين فى مختلف معاملات الملوحة.

• كذلك تؤدى زيادة الملوحة إلى زيادة إنتاج نباتات الطماطم لغاز الإثيلين، ولكن يختلف التأثير باختلاف تركيز الملح. فقد أدت زراعة الطماطم فى محلول مغذٍ يحتوى على كلوريد الصوديوم بتركيز ٨٠ مللى مولا إلى تأخير النمو الخضرى بما يوازى ستة أيام من النمو، مع زيادة أولية فى إنتاج النباتات من الإثيلين، ولكن إنتاج الإثيلين انخفض إلى المستوى الطبيعى بعد خمسة أيام من معاملة الملوحة، كما كان النمو الخضرى الكلى للنباتات مماثلاً لنمو نباتات معاملة الشاهد. وبالمقارنة .. أدت زراعة الطماطم فى محلول مغذٍ يحتوى على تركيز ١٦٠ جزءًا فى المليون من كلوريد الصوديوم إلى ضعف النمو بشدة، مع زيادة مستمرة فى إنتاج الإثيلين عن المستوى الطبيعى (Botella وآخرون ١٩٩٣).

• أدت زيادة الملوحة إلى زيادة تركيز الأيونات فى أوراق الطماطم، وخاصة المسنة بها، بينما ازداد تراكم البروتين فى الأوراق الحديثة بصورة أكبر (عن Soliman & Doss ١٩٩٢).

• أدت زيادة الملوحة من ٣ إلى ٨ ديسى سيمنز/سم إلى نقص تراكم المادة الجافة فى كل من الخيار والطماطم، وإلى نقص كل من امتصاص الكالسيوم والمحصول بصورة أكثر وضوحًا فى الخيار منه فى الطماطم (عن Ho & Adams ١٩٩٤).

• وتؤدى زيادة الملوحة إلى زيادة تركيز أيون الصوديوم بجذور وأوراق الطماطم، ويرتبط تحمل الملوحة بتنظيم تراكم الصوديوم بحيث يزيد تركيزه فى الأوراق المسنة عما فى الأوراق الحديثة.

• وبينما لا يتأثر تركيز أيونا الكالسيوم والبوتاسيوم فى جذور الطماطم فى ظروف الملوحة العالية، فإن تركيزهما ينخفض فى الأوراق. وتؤدى زيادة الكالسيوم والبوتاسيوم فى المحلول المغذى فى ظروف الملوحة إلى زيادة امتصاصهما؛ ومن ثم زيادة نسبة كل من أيونى الكالسيوم والبوتاسيوم إلى الصوديوم إلى نسبة تقارب النسبة فى الظروف العادية.

هذا.. وتستمر المحافظة على تركيزات النترات بالجذور فى ظروف الملوحة العالية عما يكون عليه الحال فى الأوراق (Curatero & Férnandez-Munoz ١٩٩٩).

• أدت زراعة الطماطم فى محاليل مغذية تحتوى على ٧٠,٤ ملى مول كلوريد صوديوم إلى خفض كل من معدل البناء الضوئى بالأوراق، ومحتواها من الكلوروفيل، ودرجة توصيلها الغازى، وأدت إضافة الكالسيوم بتركيز ٢٠ ملى مول إلى منع تلك الأضرار، ولكنها لم تمنع الآثار السلبية لزيادة كلوريد الصوديوم على طول الأوراق ومعدل استطالتها — والذى كان مرده إلى ارتفاع الضغط الأسموزى وليس إلى تأثيرات خاصة بأيون الصوديوم — والذى انعكس سلبيًا — كذلك — على الوزن الجاف للنباتات (Montesano & van Iersel ٢٠٠٧).

• دُرس تأثير مستويات مختلفة من الملوحة، هى: ٢,٧، و٤,٥، و٦,٠، و٧,٥، و٨,٦ ديسى سيمنز/م — بإضافة كلوريد الصوديوم إلى المحلول المغذى — على النمو النباتى ومحتوى الأوراق من مختلف العناصر فى الطماطم، ووجد ما يلى:

١- أدت زيادة الملوحة فى المحلول المغذى إلى خفض الوزن الجاف للنباتات من ٥٣٤ إلى ٣٧٥ جم/نبات.

٢-أحدثت زيادة الملوحة - كذلك - زيادة خطية فى محتوى الأوراق من الصوديوم (من ٠,٣٧٪ إلى ١,٣٩٪)، والكلوريد (من ١,٧٥٪ إلى ٥,٧٣٪)، وكذلك فى محتوى الثمار من العنصرين (من ٠,٠٨٪ إلى ٠,٢٦٪ للصوديوم، ومن ٠,٦٣٪ إلى ١,٣٤٪ للكلوريد). وكان محتوى العنصرين أعلى فى الأوراق السفلى (تحت العنقود الأول عنها فى الأوراق الأعلى (تحت العنقود الخامس).

٣- أحدثت زيادة الملوحة خفضًا خطيًا فى محتوى الأوراق من النترات (من ١,٢١٪ إلى ٠,٥٠٪)، والنيتروجين الكلى (من ٣,٣١٪ إلى ٣,٠٣٪)، والكبريتات (من ٣,٧١٪ إلى ٣,١٢٪)، والبوتاسيوم (من ٢,٧٦٪ إلى ١,٥١٪). وكان الانخفاض فى البوتاسيوم أكثر وضوحًا فى الأوراق العليا منه فى الأوراق السفلى.

٤- انخفضت جميع العناصر الكبرى - عدا الكالسيوم - فى أنسجة الثمرة بزيادة الملوحة، وإن كان النقص فى مستوى الثمار من الفوسفور لم يظهر إلاّ فى العنقود الخامس.

٥- لم تؤد زيادة الملوحة إلى خفض تركيز العناصر الكبرى فى النبات إلى مستوى النقص، الذى تظهر معه أعراض النقص، وذلك باستثناء الحالة مع عنصر البوتاسيوم (Giuffrida وآخرون ٢٠٠٩).

تأثير التغير اليومى - بين النهار والليل - فى مستوى الملوحة

نتناول هذا الموضوع بالدراسة بالنسبة للمزارع اللاأرضية فقط، وهى النوعية الوحيدة من المزارع التى يمكن فيها التحكم فى ملوحة الوسط الذى تنمو فيه الجذور، وتغيير مستوى الملوحة نهارًا عما يكون عليه الحال ليلاً.

تُنتج الطماطم تجاريًا فى مزارع تقنية الغشاء المغذى - وغيرها من المزارع المائية أو اللاأرضية - عند مستوى ثابت من الملوحة يتراوح - عادة - بين ٣٠ و٧٥ ملى مولارًا

(mM) من الأيونات الكلية، وهو ما يعادل ضغطًا أسموزيًا (π) يتراوح بين ٠,٠٧ و٠,١٨ ميجاباسكال (MPa)، أو درجة توصيل كهربائى (EC) تتراوح بين ٢ و ٥ ملليموز/سم (أو dS/m). ويعتبر هذا المستوى الثابت للملوحة الكلية محصلة لعديد من الدراسات التى أجريت فى هذا المجال. وتؤدى التركيزات الأقل من ذلك للمحاليل المغذية إلى أن يصبح تركيز العناصر الغذائية منخفضًا إلى مستويات حرجة للنمو النباتى، كما قد تؤدى التركيزات الأعلى إلى إحداث تأثيرات سلبية على النمو النباتى من خلال ما تحدثه من ارتفاع فى الضغط الأسموزى لبيئة نمو الجذور.

فمن المعروف أن ارتفاع الضغط الأسموزى فى بيئة الجذور يقلل من تيسر الماء للنبات. ومع زيادة معدلات النتح، فإن الضغط الأسموزى المرتفع قد يُخفض الجهد المائى فى النبات، وهو ما يرتبط بعدم امتلاء الخلايا؛ الأمر الذى يرتبط بضعف ازدياد الخلايا فى الحجم؛ وبالتالى نقص النمو. كذلك قد يؤدى ارتفاع الضغط الأسموزى فى بيئة الجذور إلى نقص النمو بسبب انغلاق الثغور الذى يحدث إما كنتيجة لعدم امتلاء الخلايا فى الأوراق، وإما بسبب ما قد يصدر من الجذور من إشارات signals بهذا الخصوص. ويؤدى انغلاق الثغور إلى ضعف النمو بسبب انخفاض معدل البناء الضوئى فى مثل هذه الظروف.

ومن المعروف أن تغير الضغط الأسموزى فى بيئة الجذور يتبعه — دائمًا — تغيرات فورية فى الجهد المائى، ومعدل اتساع الخلايا (زيادتها فى الحجم). وتأسيسًا على ذلك، اقترح بعض الباحثين أن إحداث تغييرات — لفترات قصيرة — فى مستوى ملوحة الوسط الذى تنمو فيه الجذور يمكن أن يترتب عليه تحسنًا فى النمو النباتى وفى كمية المحصول ونوعيته. وبالفعل.. وُجِدَ أن خفض مستوى ملوحة المحلول المغذى نهارًا مع بقائه مرتفعًا ليلاً أدى إلى زيادة النمو الخضرى لبادرات الطماطم. وقد اختبر Van Ieperen (١٩٩٦أ) هذا الأمر فى نباتات الطماطم المثمرة، حيث قام بإنتاج الطماطم فى مزارع تقنية الغشاء المغذى مع استعمال محاليل مغذية اختلفت فى مستوى ملوحتها بين النهار والليل

(نهار/ليل) على النحو التالى: ٥/٥، و٩/٩، و٩/١، و١/٩ ملى موز/سم، وكانت نتائج الدراسة كما يلى: ازداد المحصول كثيرًا فى المعاملة ٩/١، وانخفض فى المعاملة ١/٩، ولكن كان الانخفاض فى المحصول أشد فى المعاملة ٩/٩. وقد أُرجعت معظم الاختلافات فى المحصول بين المعاملات إلى الاختلافات فى متوسط وزْن الثمرة، فيما عدا فى المعاملة ٩/٩ التى نقص فيها عدد الثمار — كذلك — بعد ١٢ أسبوعًا من بداية الحصاد. وقبل وصول النباتات إلى مرحلة الإثمار نقص النمو الخضرى للنباتات الصغيرة فى المعاملة ٩/٩، وبدرجة أقل فى المعاملة ١/٩، وذلك مقارنة بالمعاملة ٥/٥، ولكنه لم يتأثر فى المعاملة ٩/١ مقارنة بالكنترول (٥/٥)، كما حُصِلَ على نتائج مماثلة بالنسبة لمساحة أوراق النبات. وبعد ١٢ أسبوعًا من بداية الحصاد انخفض عدد العناقيد الثمرية فى المعاملتين ٩/٩، و١/٩، كما ازداد توزيع المادة الجافة إلى الجذور على حساب النموات الخضرية، وذلك مقارنة بما حدث فى المعاملتين ٩/١، و٥/٥، ولكن توزيع المادة الجافة إلى الثمار ازداد فى المعاملة ٩/١، ونقص فى المعاملة ٩/٩، وذلك مقارنة بالمعاملة ٥/٥. أما نسبة المادة الجافة فى الثمار فإنها كانت أعلى ما يمكن فى المعاملة ٩/٩، وأقل قليلاً فى المعاملة ٩/١، وذلك مقارنة بالمعاملة ٥/٥، بينما كانت نسبة المادة الجافة فى الثمار فى المعاملة ١/٩ وسطًا بين النسبة فى المعاملتين ٥/٥، و٩/٩. وفى دراسة لاحقة (Van Ieperen ١٩٩٦ب).. بين الباحث التأثيرات الديناميكية للتغيرات اليومية فى الضغط الأسموزى للمحلول المغذى على النتح ونمو النباتات.

الفلفل

• أدت زيادة ملوحة المحاليل المغذية من صفر إلى ١٠٠ ملى مولار من كلوريد الصوديوم إلى نقص تراكم المادة الجافة فى نباتات الفلفل. ومن بين أربعة أصناف تم اختبارها كان الصنف إتش دى أى ١٧٤ HDA 174 أفضلها نموًّا فى تركيز ٥٠ ملى مولار من كلوريد الصوديوم، كما كان أكثرها تراكمًا للصوديوم فى الأوراق. وقد نقص — بصورة عامة — تركيز البوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، بينما ازداد تركيز الصوديوم

والزنك فى الأعضاء النباتية بزيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحاليل المغذية. وكان النمو النباتى أضعف ما يمكن عندما بلغ تركيز الصوديوم فى نصل الورقة بين ٠,٥٪، و٤٪ على أساس الوزن الجاف (Cornillon & Palloix ١٩٩٥، و١٩٩٧).

• وفى دراسة أخرى أدت زيادة تركيز الملوحة من ٥٠ إلى ١٠٠ ملى مولار من كلوريد الصوديوم فى المحاليل المغذية إلى نقص النمو النباتى، وزيادة محتوى النباتات من كل من الصوديوم، والكلور، والبرولين، وزيادة مقاومة الثغور، بينما انخفض محتوى النباتات من كل من البوتاسيوم، والنيتروجين الكلى، والكلوروفيل (Gunes وآخرون ١٩٩٦). كذلك أدت زيادة الملوحة بين صفر و١٠٠ ملى مكافئ من كلوريد الصوديوم/لتر فى المحاليل المغذية إلى نقص محتوى الأوراق من البوتاسيوم، والفوسفور، والكالسيوم، وزيادة محتواها من الصوديوم، بينما أدت زيادة الملوحة إلى زيادة محتوى الثمار من جميع تلك العناصر (Gomez وآخرون ١٩٩٦).

• هذا.. ولم يتأثر الفلفل بالملوحة العالية حتى ٦٠ ملى مولار فى المحاليل المغذية، ولم يتجه أى من الصوديوم إلى الأوراق أو الثمار، وإنما تراكم فى نسيج النخاع فى قاعدة الساق وفى الجذور، بينما تناقص تركيز الصوديوم تدريجيًّا فى خلايا النخاع وفى العصير الخلوى باتجاه القمة النامية للنبات (Blom-Zandstra وآخرون ١٩٩٨).

• كان لزيادة تركيز الملوحة من ٢ إلى ٣، و٤،و٦، و٨ ديسى سيمنز/م، بإضافة أى من كلوريد الصوديوم أو كبريتات الصوديوم إلى المحلول المغذى للفلفل (الذى كانت درجة توصيله الكهربائى ابتداءً ٢,٠ ديسى سيمنز/م).. كان لها تأثيرًا سلبيًّا على محصول الثمار وأحجامها وجودتها، كما أدت الملوحة العالية إلى انخفاض المحصول الصالح للتسويق وزيادة فى إصابة الثمار بتعفن الطرف الزهرى. هذا.. إلاّ أن التأثير السلبى لملح الكبريتات على المحصول وصفات الجودة كان أقل من التأثير السلبى لملح الكلوريد (Navvarro وآخرون ٢٠٠٢).

• أدى رى الفلفل بماء بلغت درجة توصيله الكهربائى ٤,٤ ديسى سيمنز/م إلى نقص الوزن الجاف للنبات (الأوراق والسيقان) بمقدار ٤٦٪، والمحصول الصالح للتسويق بمقدار ٢٥٪. وبزيادة درجة التوصيل الكهربائى إلى ٨,٥ ديسى سيمنز/م بلغ الانخفاض فى الصفتين ٨٤٪، و٥٨٪، على التوالى. لم تؤثر زيادة تركيز الصوديوم والكلور فى ماء الرى جوهريًا على مستوى البوتاسيوم فى الأوراق والثمار. وبالمقارنة.. فإن تعريض النباتات لشدّ الجفاف أدى إلى زيادة تركيز البوتاسيوم فى الأوراق. ويستدل مما تقدم بيانه أن الصوديوم والبوتاسيوم قد يلعبا دورًا متشابهًا فى المحافظة على ضغط الامتلاء فى ظروف شدّ الملوحة وشدّ الجفاف، على التوالى (De Pascale وآخرون ٢٠٠٣).

• أحدث الشدّ الأسموزى (٤ ديسى سيمنز/م) بأى من العناصر المغذية أو بكلوريد الصوديوم خفضًا فى إنتاج الكتلة البيولوجية والمحصول المبكر والكلى فى الفلفل، لكن تأثير الملوحة كان أشد من تأثير العناصر المغذية. وقد ازداد محتوى الثمار من كل من المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية فى كلتا المعاملتين، مقارنة بالوضع فى ثمار الكنترول (٢,٠ ديسى سيمنز/م). وأدى شد كلوريد الصوديوم إلى زيادة محتوى الفينولات بنحو ١٠٪، والكاروتينويدات بنحو ٤٠٪، مقارنة بالوضع فى ثمار الكنترول (Giuffrida وآخرون ٢٠١٤).

• هذا.. ويؤدى تعرض نباتات الفلفل القابلة للإصابة بالفطر *P. capsici* للملوحة العالية (١٤,٤ ديسى سيمنز/م) إلى تهيئتها للإصابة بالفطر (Sanogo ٢٠٠٤).

البطاطس

يمكن للبطاطس أن تنمو بصورة جيدة عندما لا تزيد درجة التوصيل الكهربائى (EC) لمستخلص التربة المشبع عن ٢,٠ مللى موز/سم، وينخفض المحصول بنسبة ١٥٪ عند ارتفاع درجة التوصيل الكهربائى إلى ٣,٠ مللى موز/سم.

وتؤدى الزيادة الكبيرة فى امتصاص النبات لعنصر الصوديوم إلى احتراق حواف

الأوراق. ولا تظهر هذه الأعراض عند توفر الكالسيوم بكثرة فى التربة؛ لأنه ينافس الصوديوم على الامتصاص. ولكن الرى بطريقة الرش بمياه تحتوى على أيون الصوديوم بتركيز يتراوح بين ٥ و١٠ ملى مكافئ/لتر يؤدى إلى ظهور أعراض احتراق حواف الأوراق.

وقبل أن تظهر أعراض احتراق حواف الأوراق فى وجود تركيزات عالية من ملح كلوريد الصوديوم، فإن التركيزات المتوسطة من الملح تؤدى إلى ظهور الأعراض التالية:

١- نقص عدد سيقان النبات، وعدد الأفرع، وعدد الأوراق، والنمو الخضرى بوجهٍ عامٍ.

٢- ضعف النمو الجذرى.

٣- نقص المحصول.

٤- نقص نسبة النشا فى الدرنات، مع زيادة نسبة الصوديوم والكلور.

٥- كذلك وجد Nachmias وآخرون (١٩٩٣) أن زيادة ملوحة مياه الرى تؤدى إلى زيادة إصابة البطاطس بمرضَىّ: الندوة المبكرة، وذبول فيرتسيلليم.

وقد نمّا Levy وآخرون (١٩٨٨) نباتات البطاطس — من ستة أصناف — فى مستويات ملوحةٍ تراوحت بين ٢٠,٥، و٥١,٣ ملى مول من كلوريد الصوديوم، ووجدوا أن زيادة الملوحة صاحبها ما يلى:

١- نقص الجهد المائى والجهد الأسموزى للأوراق والدرنات.

٢- زيادة محتوى الدرنات من المواد الصلبة الذائبة، والبرولين، والمادة الجافة.

٣- نقص محصول الدرنات.

وكان الصنف ألفا متوسط التحمل للملوحة مقارنةً بالأصناف الأخرى التى شملتها الدراسة.

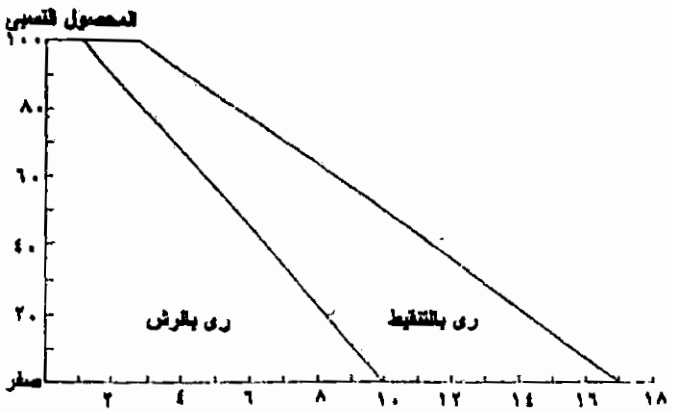
كما يستدل من دراسات Levy (١٩٩٢) التى قارن فيها بين تأثيرات ثلاثة

مستويات من الملوحة (منخفضة: ١,٠–١,٤ ملى موز، ومتوسطة: ٣,٨–٤,٣ ملى موز ومرتفعة: ٦,١–٦,٩ ملى موز)، أن الملوحة أخرت الإنبات، وأسرعت شيخوخة النموات الهوائية، وكان لها تأثير سلبى على معدل النمو الخضرى والدرنى، وأدت إلى نقص المحصول، وتزايد النقص فى المحصول مع زيادة تركيز الأملاح. وقد توقف مقدار النقص فى المحصول فى تركيزى الملوحة المتوسط والمرتفع على بداية معاملة الرى بالماء الملحى، كما يلى:

النسبة المئوية للنقص فى المحصول – مقارنة بالكنترول – فى تركيز الأملاح

موعد بداية المعاملة	المتوسط	المرتفع
عند الزراعة	٢١– ٥٤	٤٢– ٥٩
بعد الزراعة بقليل	صفر – ١٧	٢١– ٧٩
بعد ٦٦ يومًا من الزراعة	٦– ١٥	٢٢– ٣١

ويكون تأثر محصول البطاطس بملوحة مياه الرى أشدّ عن إجراء الرى بطريقة الرش منه عند إجراء الرى بطريقة التنقيط (شكل ١٢–٢).



شكل (١٢–٢): التأثير النسبى لملوحة مياه الرى على محصول البطاطس عند إجراء الرى بأى من طريقى الرش أو التنقيط (عن Van der Zaag ١٩٩١).

وقد درس Nadler & Heuer (١٩٩٥) تأثير مستويات مختلفة من ملوحة مياه الرى (١,٥، و٣,٠، و٦ مللى موز/سم فى تربة ملوحتها — ابتداء — ٢,٠ مللى موز/سم)، والرطوبة الأرضية (٣ مستويات: رى بوفرة، ورى بنحو ٦٠٪ من المعاملة السابقة خلال كل فترة النمو، ومنع الرى لمدة أسبوعين).. درسا تأثير تلك المعاملات على محصول ونوعية درنات البطاطس. وقد وجدا أن المحصول الكلى لم يتأثر بأى من المعاملات، بينما انخفضت نسبة الدرنات غير الصالحة للتسويق جوهريًا بمعاملة الملوحة العالية (٦ مللى موز/سم)، وبنقص الرطوبة الأرضية. كذلك ازدادت نسبة المادة الجافة فى الدرنات مع زيادة ملوحة مياه الرى، وكذلك مع نقص الرطوبة الأرضية، بينما ازداد محتوى الدرنات من البرولين بزيادة الملوحة فقط، وازداد محتواها من السكريات المختزلة بنقص الرطوبة الأرضية فقط. ولم تكن لأى من المعاملات تأثير على لون البطاطس المحمرة.

وتجدر الإشارة إلى أن زيادة ملح كلوريد الصوديوم فى مياه الرى تؤثر سلبيًا على امتصاص النبات لبعض العناصر الضرورية؛ ذلك لأن زيادة تركيز الصوديوم تثبط امتصاص البوتاسيوم — وأحيانًا كذلك — الكالسيوم والمغنيسيوم، وزيادة تركيز أيون الكلور تثبط امتصاص النترات بواسطة النبات.

وعند زيادة تركيز أيون الصوديوم فى المحلول الأرضى، فإنه يشجع تكوين كربونات الصوديوم التى تُحدث زيادة كبيرة فى pH التربة؛ يترتب عليها تثبيت بعض العناصر فى صورة غير صالحةٍ لامتصاص النبات؛ مثل عناصر: الفوسفور، والحديد، والزنك، والمنجنيز. هذا إلا أن وجود كربونات الكالسيوم فى التربة يمنع تكوين كربونات الصوديوم بها (Van der Zaag ١٩٩١).

وكثيرًا ما تحتوى الأراضى الملحية ومياه الرى الملحية — إلى جانب كلوريد الصوديوم — على تركيزات عالية من البورون. وعلى الرغم من أن البورون يُعد من

العناصر الضرورية للنبات، إلا أن وجوده بتركيزات عاليةٍ يكون له تأثيرات سامة. وتظهر أعراض التسمم من البورون فى البداية على الأوراق القديمة فى صورة اصفرار، وبقع، وجفاف فى أطراف وحواف الوريقات. ومع ازدياد تراكم البورون فى أنسجة الورقة يمتد الاصفرار والجفاف تدريجيًا بين العروق حتى يصل إلى وسط الورقة. ويحدث الضرر لمحصول البطاطس عند زيادة تركيز البورون فى المحلول الأرضى أو فى مياه الرى عن ١-٢ ملى مكافئ/لتر.

الكنتالوب

وجد أن رى صنفا الكنتالوب Galia، وAmarillo Oro – تحت ظروف الحقل – بمياه ملحية تبلغ درجة توصيلها الكهربائى ٦,١ ديسى سيمنز/م – مقارنة بالرى بماء عادى فى ملوحته (EC: ١,٣ ديسى سيمنز/م) – من بداية مرحلة الإثمار – لم يؤثر على المحصول الصالح للتسويق، ولكنه أدى إلى زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية فى كلا الصنفين (Botia وآخرون ٢٠٠٥).

الخيار

• أوضحت دراسات Jones وآخرون (١٩٨٩) التى قيموا فيها تأثير ٧ تركيزات من الملوحة تراوحت بين صفر، و١٥ ملى موز/سم على ٦ أصناف من الخيار أن الملوحة – فى ذلك المدى – لم تؤثر على نسبة إنبات البذور بعد ٥ أيام من بداية المعاملة، ولكنها أنقصت نمو الجذير. ومع زيادة الملوحة من صفر إلى ١٢ ملى موز/سم نقص طول البادرات ووزنها الجاف، وصاحب ذلك زيادة فى محتواها من الكالسيوم والصوديوم، ونقص محتواها من البوتاسيوم والمغنيسيوم. وعندما قورن تأثير مستويين من الملوحة، هما: ١,٦، و٤ ملى موز/سم فى النباتات الكبيرة، وجد أن الملوحة العالية أنقصت المحصول جوهريًا فى خمسة أصناف من ستة، ولكنها لم تؤثر فى نوعية الثمار. وقد وجد ارتباط فى أحد أصناف الخيار بين طول البادرة عند ملوحة ٩ ملى موز/سم والمحصول النسبى فى ملوحة ٤ ملى موز/سم.

• كذلك وجد أن كلاً من الوزن الطازج والجاف للجذور والنموات الخضرية ينخفض فى الخيار النامى فى مزارع تقنية الغشاء المغذى بزيادة تركيز ملوحة المحلول المغذى من ٢,٥ إلى ٨,٥ ملى موز/سم، دون أن تتأثر نسبة الجذور إلى النموات الخضرية، وصاحبت زيادة الملوحة نقص جوهرى فى المحصول الكلى، مع نقص جوهرى فى امتصاص النباتات للماء، ومحتواها النسبى من الرطوبة، ومعدل النتح، وتوصيل الثغور، ونقص فى محتوى الجذور والنموات الخضرية من الكالسيوم والبوتاسيوم، وزيادة فى محتواها من الكلور والصوديوم، بينما لم يتأثر معدل البناء الضوئى بمستوى الملوحة (Al-Harbi & Barrage ١٩٩٣ أ). هذا ولم تؤثر تدفئة المحلول المغذى إلى ٢٧°م — بصورة دائمة — على النمو النباتى، أو المحصول، أو على استجابة النباتات لمستويين من الملوحة، هما ٢,٥، و٨,٥ ملى موز/سم (Al-Harbi & Barrage ١٩٩٣ ب).

• وأدت زيادة الملوحة فى مياه الرى عن ١,٣ ملى موز/سم (حوالى ٨٣٠ جزءًا فى المليون) إلى تأخير الإنبات، ولكن لم تنخفض نسبة الإنبات النهائية حتى مع زيادة تركيز الأملاح إلى ١٦,٢ ملى موز/سم (حوالى ١٠٣٧٠ جزءًا فى المليون). وانخفض معدل نمو الجذور بزيادة تركيز الأملاح، كما قل معدل النمو النباتى بزيادة تركيز الأملاح عن ١,٣ ملى موز/سم، ووصل النقص إلى ٢٠٪، و٥٤٪، و٨٥٪ عندما بلغ تركيز الأملاح فى مياه الرى ٢,٧، و٥,٠، و١٠,٧ ملى موز/سم، على التوالى. وازداد تركيز الكلور عن الصوديوم — فى جميع الأجزاء النباتية — بزيادة تركيز ملح كلوريد الصوديوم فى مياه الرى، وظهرت أعراض أضرار الملوحة بوضوح عندما ازداد تركيز الكلور عن ٠,٤٪ والصوديوم عن ٣,٦٪ على أساس الوزن الجاف. وتبين من هذه الدراسة — التى أجريت على صنف الخيار بيبنكس Pepinex — أن المحصول ينخفض بنسبة ١٥,٩٪ مع كل زيادة قدرها وحدة EC (١ ملى موز/سم، أو ٦٤٠ جزءًا فى المليون) فى مياه الرى عن ١,٣ ملى موز/سم، وكان مرد هذا الانخفاض إلى نقص عدد الثمار التى تم حصادها،

بينما لم يكن التأثير على حجم الثمار كبيرًا . وقد بدا واضحًا من الدراسة أن هذا الصنف كان أكثر تحملاً للملوحة أثناء الإنبات عما فى مراحل النمو التالية (Chartzoulakis ١٩٩١، و١٩٩٢).

• وقد أوضح Chartzoulakis (١٩٩٤) فى دراسة لاحقة على صنف الخيار ذاته — بيبنكس — أن الرى بمحلول ملحى من كلوريد الصوديوم بتركيز ٨,٥ ملى مولار لم يؤثر على النمو النباتى، ولكن تعريض النباتات إلى درجات أعلى من الملوحة (من ٢٥ إلى ١٩٠ ملى مولار) أدت إلى غلق الثغور وخفض معدل البناء الضوئى بصورة جوهرية، مع تناقص فى الجهد المائى للأوراق، والجهد الأسموزى، وجهد الانتفاخ بتزايد تركيز الملوحة. كذلك نقص معدل زيادة مساحة الورقة ومساحتها النهائية مع زيادة تركيز كلوريد الصوديوم، وانخفض معدل النمو النسبى بمقدار ٢٢٪، و٤٩٪، و٨٠٪ عند مستوى ملوحة ٢٥، و٥٠، و١٢٠ ملى مولار، على التوالى. أى أن الملوحة أثرت على نمو الخيار من خلال تأثيرها السلبى على كل من معدل البناء الضوئى والمساحة الورقية التى يتم فيها البناء الضوئى.

• ويستدل من دراسات Ho & Adams (١٩٩٤ أ) أن زيادة درجة التوصيل الكهربائى للمحاليل المغذية من ٣ إلى ٨ ملى موز/سم أدت إلى نقص الوزن الجاف الكلى للنبات، كما أدت إلى نقص امتصاص الكالسيوم، ونقص ما وصل منه إلى الأوراق العليا للنبات، ونقص المحصول.

• وحصل Al-Harbi (١٩٩٥) على نتائج مشابهة لما سبق بيانه، حيث وجد أن الوزن الجاف لجذور الخيار ونمواته الهوائية تناقص مع زيادة تركيز الأملاح من ٢,٠ إلى ٨,٠ ملى موز/سم، ومع زيادة نسبة الصوديوم إلى الكالسيوم عند مستوى ملوحة ٤,٠ ملى موز/سم. وصاحب ارتفاع الملوحة تراكم فى كل من الصوديوم والكلور فى النباتات، مع نقص فى تراكم الكالسيوم. وتبعًا لكل من Adams & Ho (١٩٩٥) فإن زيادة الملوحة من ٣ إلى ٩ ملى موز/سم أدت إلى نقص إنتاج المادة الجافة فى الخيار، ولكن مع زيادة نسبتها فى الثمار على حساب الجزء العلوى من النمو الخضرى، ونقص

امتصاص الكالسيوم. وقد أدت زيادة الرطوبة النسبية أثناء النهار إلى نقص تراكم الكالسيوم فى أوراق الخيار. كذلك يستدل من دراسات Chartzoulakis (١٩٩٥) أن زيادة الملوحة فى المياه عن ١٠ ملى مولار كلوريد صوديوم أحدثت نقصًا معنويًا فى المحصول وعدد الثمار/نبات، مصحوبًا بزيادة فى محتواها من الكلوريد، والصوديوم، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، ومن ثم إلى تحسين طعمها فى اختبارات التذوق.

• وأوضحت دراسات Tazuke (١٩٩٧) أن معدل النمو النسبى لثمار الخيار كان طبيعيًا مع زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحاليل المغذية حتى ٦٠ ملى مولارًا، ولكن تأثر معدل النمو النسبى للثمار بعد ذلك سلبيًا بزيادة تركيز الملح، كما بدأت العوامل البيئية الأخرى — عند هذا المستوى المرتفع من الملوحة — فى التفاعل مع الأملاح فى التأثير سلبيًا على معدل نمو الثمار.

وقد قُدِّر المحصول النسبى — معبرًا عنه كنسبة مئوية — عند تغير درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى بالمعادلة التالية:

$$y = -16.8x + 115$$

حيث إن x = هى درجة التوصيل الكهربائى EC معبرًا عنها بالملى موز/سم فى حرارة ٢٥°م.

وقد اقتُرِحَ حد أقصى للملوحة التى يمكن أن تتحملها نباتات الخيار قدره ٣٠ جزءًا فى المليون من الصوديوم، و٥٠ جزءًا فى المليون من الكلور فى مياه الرى، مع عدم زيادة درجة توصيلها الكهربائى عن ٠,٥ ملى موز/سم. هذا إلا أنه يمكن زيادة تلك المستويات إلى الضِعف بأمان إذا استعملت كميات زائدة من مياه الرى لغسيل الأملاح المتراكمة فى التربة (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

• وتبعًا لدراسات Ho & Adams (١٩٩٤ ب) فإنه فيما بين مستويى ملوحة ٣، و٨ ملى موز/سم فى المحلول المغذى لمزارع تقنية الغشاء المغذى انخفض الوزن الجاف

لنباتات الخيار بنسبة ٩٪ مع كل زيادة قدرها وحدة EC كاملة (٦٤٠ جزءً فى المليون من الأملاح). هذا إلا أن محصول الثمار لم ينخفض إلا عندما زادت درجة التوصيل الكهربائى للمحلول المغذى عن ٥,٥ ملى موز/سم. وقد أدت الملوحة العالية إلى انخفاض نسبة ما وصل إلى النموات الخضرية من المادة الجافة، مقارنة بما وصل إلى الثمار. كذلك أدت كل وحدة EC زيادة عن ٣ ملى موز/سم إلى نقص محتوى الكالسيوم بنسبة ١٦,٦٪ فى الأوراق، و١١٪ فى الثمار.

- وقد وجد Lechino وآخرون (١٩٩٧) أن تعريض جذور الخيار لمحلول ملحى من كلوريد الصوديوم بتركيز نهائى (فى المحلول المغذى) قدره ١٠٠ ملى مولار/لتر أدت إلى زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: كاتاليز Catalase، وجلوتاثيون ردكتيز Glutathione Reductase، ومحتوى مضادات الأكسدة: حامض الأسكوربيك، والجلوتاثيون المختزل.

- وأوضحت دراسات Rosendahl & Rosendahl (١٩٩١) أن تلقيح نباتات الخيار بفطر الميكوريزا *Glomus etunicatum* أدى إلى زيادة تحملها لمستوى ملوحة قدره ٠,١ مولار من كلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى.

الكوسة

بالمقارنة بمحاصيل الخضر الأخرى، فإن الكوسة تعد من النباتات متوسطة التحمل للملوحة، حيث أنها تتحمل مستويات من كلوريد الصوديوم تصل إلى ٢,٨ ملى موز/سم (حوالى ١٨٠٠ جزء فى المليون) فى مياه الرى، و٥,١ ملى موز/سم فى مستخلص التربة المشبع (حوالى ٣٢٥٠ جزء فى المليون) قبل أن يبدأ محصولها فى التأثر بزيادة مستويات الملوحة عن ذلك. وقُدِّر انحدار المحصول الصالح للتسويق على درجة التوصيل الكهربائى (EC) بنحو ١٢,٨٪ بالنسبة لمياه الرى، و١١,٦٥٪ بالنسبة لمستخلص التربة المشبع. وقد ازداد تركيز أيون الصوديوم فى جذور نباتات الكوسة بزيادة تركيز الأملاح، حيث وصل إلى ١٤٠٠ ملى مول/كجم من الوزن الجاف للجذور عند ١٥,٢ ملى

موز/سم. وبينما لم يتأثر تركيز الصوديوم فى الأوراق حيث ظل منخفضًا مع زيادة تركيز الأملاح، فقد ازداد فيها تركيز أيون الكلور إلى أن وصل إلى ٣٢٠٠ ملى مول/كجم من الوزن الجاف للأوراق عند ١١,٤ ملى موز/سم. ولم يتأثر امتصاص البوتاسيوم والكالسيوم كثيرًا بزيادة تركيز الأملاح (Graifenberg وآخرون ١٩٩٦).

وقد درس Villora وآخرون (١٩٩٧) تأثير زراعة نباتات الكوسة فى تركيزات متزايدة من ملح كلوريد الصوديوم (بإضافات من الملح تراوحت بين صفر، و ١٢٠ جم/م^{٣} من التربة) على تركيز مختلف العناصر فيها، ووجدوا — خلافًا لما وجده Graifenberg وآخرون (١٩٩٦) — أن تركيز الصوديوم ازداد فى الأوراق بزيادة تركيز الملح فى التربة. وبزيادة تركيز الملح فى التربة حدث نقص مقابل فى محتوى الأوراق من البوتاسيوم، مع زيادة فى محتوى الثمار من البوتاسيوم ونقص فى محتواها من الصوديوم. وعمومًا.. فقد ازداد مجموع محتوى الأوراق من الصوديوم + البوتاسيوم، بينما نقصت فيها نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم مع زيادة ملوحة التربة، وفى المقابل ازداد مجموع محتوى الثمار من الصوديوم + البوتاسيوم، بينما ازدادت فيها نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم مع زيادة ملوحة التربة. وقد تشابه التغير فى تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم — عند زيادة تركيز ملوحة التربة — مع التغير فى تركيز الصوديوم فى الأوراق، ومع التغير فى تركيز البوتاسيوم فى الثمار.

البصل

يقتصر امتصاص جذور البصل للماء على الـ ٢٥ سنتيمترًا السطحية من التربة بسبب عدم تعمق جذور البصل فيها. ويبلغ أعلى ضغط انتفاخى Turger Pressure (TP) فى أوراق البصل ٠,٤ ميجا باسكال MPa، وهى قيمة منخفضة مقارنة بالأنواع المحصولية الأخرى، والتى قد يصل فيها الـ TP إلى ١,٠ ميجا باسكال. وتقل درجة توصيل ثغور البصل بسرعة مع انخفاض الـ TP فى الأوراق من ٠,١٥ إلى ٠,٠٥، علمًا

بأن سرعة انخفاض توصيل الثغور فى البصل تبلغ ثلاثة أضعاف سرعة انخفاضها فى محصول مثل الفاصوليا فى نفس المدى من الـ TP. ولذا.. تنخفض معدلات النتح والبناء الضوئى بشدة مع هذا الانخفاض فى الـ TP. كذلك ينخفض معدل نمو الأوراق خطيًا مع انخفاض الـ TP من ٠,٢٥ إلى ٠,٠٧٥ ميجا باسكال.

وعند تعرض جذور البصل لملوحة عالية فإن النباتات تستجيب لزيادة الضغط الأسموزى فى بيئة الجذور بزيادة الضغط الأسموزى بالأوراق بمقدار النصف فقط؛ ولذا.. ينخفض الـ TP فى الظروف الملحية — على خلاف ما يحدث فى محاصيل أخرى — ويحدث نقص ملموس فى معدل البناء الضوئى، ومعدل نمو الأوراق، وبالتالى فى معدل نمو المحصول. وقد وجد أن النمو يقل بمقدار ٥٠٪ بزيادة الضغط الأسموزى للمحلول الملحى (محلول كلوريد الصوديوم) فى بيئة نمو الجذور إلى ٠,١٢٥ ميجا باسكال، بينما تطلب حدوث نقص مماثل فى النمو فى محاصيل مثل الكرنب، والخس، والفاصوليا زيادة الضغط الأسموزى للمحلول الملحى إلى ٠,٤ ميجا باسكال (عن Brewster ١٩٩٤).

وقد أدى تعريض نباتات البصل لشدٍّ ملحى قدره ١٠٠ ملى مول كلوريد صوديوم بدءًا من ٧٤ يومًا قبل الحصاد — أو بعد ذلك فى مواعيد مختلفة — وحتى الحصاد إلى نقص وزن الأبصال والوزن الطازج خطيًا مع التبكير فى بدء معاملة الملوحة، وكذلك أدت معاملة الملوحة إلى تقليل محتوى الأبصال من الكبريت وتقليل حرافتها، وازدادت تلك التأثيرات مع التبكير فى بدء معاملة الملوحة (Chang & Randle ٢٠٠٥).

الفاصوليا

• من المعلوم أن الفاصوليا تعد من أكثر محاصيل الخضر حساسية للملوحة. ويبدأ محصول الفاصوليا فى الانخفاض بزيادة درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى عن ٠,٧ ملى موز، ويصل الانخفاض فى المحصول إلى ٥٠٪ عند EC لمياه الرى مقداره ٢,٤ ملى موز (عن Scholberg & Locasico ١٩٩٩).

• وقد انخفضت نسبة إنبات البذور ووزن النمو الخضرى خطيًّا مع الزيادة فى درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى من ١,٠ إلى ٤,٠ مللى موز (Scholberg & Locasico ١٩٩٩).

• وفى دراسة أجريت فى مزرعة مائية استعملت فيها محاليل مغذية تراوح تركيز كلوريد الصوديوم فيها بين صفر، و١٠٠ مللى مولار، أدى تركيز ٢٥ مللى مولار إلى نقص وزن النبات، ولكنه لم يؤثر على معدل النمو النسبى relative growth rate. وقد ازداد معنويًّا محتوى أوراق النباتات من أيونى الكلوريد والصوديوم بزيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى. وعند تركيز ١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم ازداد معنويًّا محتوى النباتات من السكريات الكلية والبرولين (Cachorro وآخرون ١٩٩٣).

• وقد قدرت العلاقة بين المحصول النسبى من البذور الجافة (Yr) ودرجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع (EC_e) بالمعادلة التالية:

$$Yr = 100 - 32.15\ (EC_e - 0.81)$$

وبزيادة الـ EC_e عن ٠,٨١ ديسى سيمنز/م dS/m انخفض محصول البذور الجافة خطيًّا بزيادة الملوحة، وعند EC_e قدره ٤,٠ لم يُنتج أى محصول (Kanber & Bahceci ١٩٩٥).

• ويعتقد بأن جزءًا من حساسية الفاصوليا لأيون الصوديوم مردها إلى عدم تمييز نباتات الفاصوليا بين أيونى الصوديوم والبوتاسيوم، حيث يزداد امتصاص الصوديوم على حساب البوتاسيوم. وفى وجود مستويات مرتفعة نسبيًّا من البوتاسيوم يزداد امتصاص العنصر إلى درجة معادلة تأثير زيادة التركيزات المرتفعة من كلوريد الصوديوم. هذا إلا أن زيادة تركيز كلوريد البوتاسيوم منفردًا كان سامًّا لنباتات الفاصوليا، لأنه تسبب فى زيادة غير مرغوب فيها فى امتصاص البوتاسيوم، بينما أدى تواجد كلوريد الصوديوم مع كلوريد البوتاسيوم إلى معادلة هذا التأثير الضار جزئيًّا بخفض امتصاص البوتاسيوم (Benlloch وآخرون ١٩٩٤).

البسلة

أدى تعريض بادرات البسلة لمستوى من الملوحة قدره ٣٠ ملى مول كلوريد صوديوم لمدة ٣ أو ٦ أيام إلى إحداث زيادة فى كل من: محتوى البرولين الحر، وتركيز ثانى أكسيد الكربون عند الـ compensation، والـ photorespiration، ومقاومة الثغور stomatal resistance، ونشاط إنزيم (s)-2-hydroxy-acid oxidase وإنزيم phosphoglycolate phosphatase. كذلك أدى التعريض للملوحة إلى انخفاض معدل البناء الضوئى، والنتح، والمحتوى البروتينى، ومحتوى الماء النسبى (Fedina & Tsonev ١٩٩٧).

وأوضحت دراسات Speer وآخرون (١٩٩٤) أن استعمال النيتروجين النشادرى فى المحاليل المغذية بتركيز ٣ مول/م^{٣} كمصدر وحيد للنيتروجين أدى — مقارنة باستعمال النيتروجين النتراتى بتركيز ٣ أو ١٤ مول/ م^{٣}– إلى زيادة حساسية البسلة بشدة للتركيزات المعتدلة من الملوحة (٥٠ مول كلوريد صوديوم/م^{٣}). وقد ظهرت أعراض أضرار الملوحة على صورة ذبول فى حواف الوريقات ثم تحلل تلك الحواف، وتوافق ذلك مع زيادة فى تركيز كلوريد الصوديوم فى الأوراق، وتراكم الأمونيوم (حتى ٢٠ مول/م^{٣})، والأحماض الأمينية (حتى ١١٠ مول/م^{٣}) فى الأوراق، وبطء امتصاص الأمونيوم، ونقص المحتوى البروتينى للنباتات.

وقد ظهر الفرق بين أيونى الأمونيوم والنترات — فى إحداثهما لزيادة الحساسية للملوحة — متمثلاً فى زيادة سرعة ظهور أعراض أضرار الملوحة المذكورة أعلاه عند الاعتماد على النيتروجين النشادرى فقط كمصدر للنيتروجين، مقارنة بالاعتماد على النيتروجين النتراتى. وقد كانت قدرة النباتات المسمدة بالأمونيوم على فصل كلوريد الصوديوم وعزله عن البروتوبلازم (compartmentation capacity) أقل بكثير من قدرة النباتات المسمدة بالنيتروجين النتراتى. وبدا أن سمية الأيونات كان مردها إلى إحداثها لخلل فى الأيض فى أجزاء من النسيج الوسطى للنباتات المسمدة بالأمونيوم، أعقبه تحرر سريع للمحاليل فى

البروتوبلازم؛ توافق مع ظهور الأعراض المتطورة لأضرار الملوحة. وعلى الرغم من أن تركيز الأمونيوم فى الأوراق ازداد بصورة درامية فى المراحل المتأخرة من ظهور الأضرار، إلا أن التركيز كان شديد الانخفاض عند بداية ظهور الأضرار إلى درجة لا يمكن معها أن يكون مسئولاً عن تلك الأضرار (Speer & Kaiser ١٩٩٤).

الخس

وجد أن الشد الملحى حتى ١٥٠ ملل مول كلوريد صوديوم يمكن أن يؤثر إيجابيًا على بعض خصائص جودة الخس بعد الحصاد، وخاصة مرونة الأنسجة (التى يمكن إرجاعها إلى زيادة الشد الملحى لعدد الخلايا وخفضه لحجمها)، وزيادة متانة الأوراق؛ ومن ثم زيادة فترة صلاحيتها للتخزين بعد الحصاد؛ إلاّ أن نمو الأوراق (وزنها الطازج ومساحتها) وخصائصها المتطورة، مثل لونها ومحتواها الكلوروفيللى تنخفض بزيادة الشد الملحى (Garrido وآخرون ٢٠١٤).

القنبيط

أدت زيادة درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع من ٢,٠ إلى ٦,٠ ديسى سيمنز/م إلى نقص المحصول الصالح للتسويق من ٢٦,٩ إلى ٩,٦ طن/هكتار (من ١١,٣ إلى ٤,٠ طن/فدان) فى القنبيط، ومن ١٥,٨ إلى ٤,٩ طن/هكتار (من ٦,٦ إلى ٢,١ طن/فدان) فى البروكولى، وصاحب ذلك انخفاضًا فى المساحة الورقية بفعل الشدّ الملحى بنسبة ٥٥٪ فى القنبيط، و٥٧٪ فى البروكولى. وبينما ارتبط كل من محتوى الأوراق من المادة الجافة والوزن النوعى للورقة إيجابيًا مع درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع، فإن كلاً من وزن الرأس وقطرها ارتبطا جوهريًا بدرجة التوصيل الكهربائى. ولقد اعتُبِرَ كلا المحصولين متوسط التحمل للملوحة؛ فقد كان الحد الأقصى لتحمل الملوحة فيهما هو EC مقداره ١,٥٢ للقنبيط، و١,٢٨ للبروكولى، وكان النقص النسبى فى المحصول بعد كل زيادة مقدارها وحدة EC عن الحد الأقصى الذى يمكن تحمله هو ١٤,٣٪ للقنبيط، و١٥,٨٪ للبروكولى. وقد ازداد تركيز الصوديوم والكلوريد والكبريت فى

رؤوس القنبيط والبروكولى، بينما انخفض تركيز النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم بزيادة درجة التوصيل الكهربائى للتربة (de Pascale وآخرون ٢٠٠٥).

وأدت زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى للقنبيط من صفر إلى ٥٠، و١٠٠، و١٥٠ مللى مول لمدة ٣٠ يومًا إلى تقليل الوزن الجاف لكل من الجذور والنموات الخضرية، والمحتوى المائى النسبى relative water content، ومحتوى الأوراق والجذور من البوتاسيوم، والبروتينات الذائبة الكلية، والمركبات الفينولية الكلية، ومستوى الـ malondialdhyde، ونسب البوتاسيوم إلى الصوديوم والكالسيوم إلى الصوديوم بالجذور. كما أدت زيادة الملوحة إلى زيادة المحتوى المائى للأوراق، ومحتوى الأوراق والجذور من كل من الصوديوم والكلورين، والبرولين الحر بالأوراق، وكذلك محتواها من كل من الجليسين بيتين وحامض الأسكوربيك، وزيادة فى نشاط كل من السوبر أوكسيد دسميتويز superoxide dismutase والبيروكسيديز peroxidase، والكاتاليز catalase (Batool وآخرون ٢٠١٣).

الأسبرجس

يعد الأسبرجس من محاصيل الخضر الأكثر تحملاً للملوحة العالية فى التربة ومياه الرى، إلاّ أنه لا يتحمل التعرض الفجائى للملوحة العالية، كما يتأثر سلبيًّا بالارتفاع الكبير فى مستوى الملوحة.

ففى إحدى الدراسات.. وجد أن نسبة إنبات بذور الأسبرجس انخفضت من ٩٠٪ فى الكنترول إلى ٥٠٪، و١٢٪ فى ٥٠، و١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم، على التوالى. كذلك ماتت بادرات الأسبرجس لدى تعرضها — فجأة — لتركيز ٥٠ أو ١٠٠ مللى مول من كلوريد الصوديوم، إلاّ أن تعريض النباتات لظروف الملوحة بصورة تدريجية جعلها أكثر تحملاً؛ فلم يتأثر طول نمواتها الهوائية، بينما ازداد طول جذورها، ولكن توقفت الزيادة فى الوزن الجاف للجذور عند ١٠٠ مللى مول كلوريد الصوديوم (Uno وآخرون ١٩٩٦).

وعندما كان الرى بمياه مملحة بكميات متساوية من كلوريد الصوديوم وكلوريد الكالسيوم.. نقص محصول المهاميز بمقدار ٢٪ مع كل زيادة مقدارها وحدة ملوحة واحدة تزيد عن ٤,١ ديسى سيمنز/م. وقد أُرجع النقص فى المحصول أساسًا إلى النقص فى متوسط وزن المهماز الواحد. وقد اعتبرت نباتات الأسبرجس المكتملة التكوين من أكثر المحاصيل المتحملة للملوحة. وفى هذه الدراسة أظهر الأسبرجس نفس القدرة على تحمل الملوحة فى كل من مرحلتى إنبات البذور وإنتاج المهاميز حتى ملوحة تربة مقدارها ٧,٢ ديس سيمنز/م؛ أما فى ملوحة أعلى من ذلك.. فإن إنبات البذور كان أقل قدرة على التحمل عن تكوين المهاميز. كذلك كان النمو النباتى خلال موسم النمو الأول أكثر حساسية للملوحة — بصورة جوهرية — عما فى الأعوام التالية (Francois ١٩٨٧).

وقد أمكن إنتاج الأسبرجس بنجاح كبير باتباع طريقة الرى بالتنقيط، مع استعمال مياه للرى بلغت درجة توصيلها الكهربائى ٩ مللى موز/سم، علمًا بأن درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع تحت تلك الظروف كان ١٣ مللى موز/سم.

كذلك يُعد الأسبرجس شديد التحمل لزيادة تركيز البورون فى كل من التربة ومياه الرى، ولا تُحدث تركيزات من العنصر تصل إلى ثلاثة أجزاء فى المليون أى ضرر جوهرى للنباتات.

وسائل خفض الملوحة أو الحد من أضرارها

الغسيل السابق للزراعة

تحتاج الأراضى الشديدة الملوحة إلى الغسيل — قبل زراعتها بالخضر الحساسة للملوحة — بنحو ١٠٠٠ — ٢٠٠٠ م^{٣} ماء للفدان؛ ليمكن التخلص مما يوجد فيها من أملاح، ويمكن إضافة تلك الكمية من الماء بطريقة الرش. كذلك يلزم توفير صرف جيد فى الأراضى التى يرتفع فيها مستوى الماء الأرضى، وتحسين نفاذية الأراضى القليلة النفاذية بإضافة الجبس الزراعى إليها لكى يحل الكالسيوم محل الصوديوم، مع غسيل الأملاح الزائدة بالرى الغزير، وتفضل إضافة الماء بطريقة الغمر فى تلك الحالات.