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.

وتتوقف كمية الماء التى تلزم إضافتها لخفض ملوحة التربة — ابتداء — إلى المستوى المقبول على كل من ملوحة التربة ذاتها، وملوحة مياه الرى، والمستوى الذى يُرغب فى خفض الملوحة إليه. كما تتوقف كمية الماء التى تنبغى إضافتها — كذلك — على عمق الجذور، ودرجة نفاذية التربة، وأنواع الأملاح التى توجد بمياه الرى (قيمة SAR)، وأنواع الأيونات المتبادلة، ونسبة كربونات الكالسيوم فى التربة.

وتجدر الإشارة إلى أن غسيل التربة قد يكون له تأثير سلبى على بناء التربة، ويتوقف ذلك على أنواع الأيونات المسئولة عن الملوحة، والتى توجد فى كل من التربة ومياه الرى.

وتحسب كميات الماء التى تلزم لخفض الملوحة إلى المستوى المقبول فى منطقة نمو الجذور (الكمية لكل وحدة عمق من التربة) على أساس المعادلة التالية:

$$Y = \frac{\text{درجة التوصيل الكهربائى المرغوب فيه لمستخلص التربة — درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى}}{\text{درجة التوصيل الكهربائى الأصلى للتربة — درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى}}$$

وفى الأراضى الرملية ترتبط قيمة Y بعمق الماء الذى يلزم إضافته لكل وحدة عمق من التربة على النحو التالى:

عمق ماء الغسيل لكل وحدة عمق من التربة	قيمة Y
١,٠٠	٠,١٠
٠,٦٠	٠,١٧
٠,٥٠	٠,٢٠
٠,٤٠	٠,٢٥
٠,٣٠	٠,٣٣
٠,٢٠	٠,٥٠
٠,١٥	٠,٦٠

وتعتبر كمية المياه التى تلزم لغسيل التربة هى عمق مياه الغسيل لكل وحدة عمق من التربة مضروبًا فى العمق الذى تصل إليه الجذور.

وكمثال.. نفترض أن درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى ٢,٠ مللى موز/سم، وأن ملوحة التربة فى منطقة نمو الجذور ٥,٠ مللى موز/سم، ويرغب فى خفضها إلى ٣,٠ مللى موز/سم، وأن الجذور تتعمق إلى ٥٠سم:

∴ Y= (٣-٢) / (٥-٢) = ٠,٣٣

ويعنى ذلك أن عمق مياه الغسيل لكل وحدة عمق من التربة تكون ٠,٣٠.

∴ كمية المياه التى تلزم لغسيل الأملاح إلى ما بعد منطقة نمو الجذور = ٠,٣٠ × ٥٠سم = ١٥سم ماء؛ أى ١٥٠مم مياه رى؛ أى ١٥٠٠م^{٣} للهكتار.

ويجب أن يضاف إلى هذه الكمية كمية المياه التى تلزم لتوصيل رطوبة التربة إلى السعة الحقلية، وكمية الماء التى تفقد بالتبخر خلال إجراء عملية الغسيل. ونظرًا لأن توزيع الأملاح لا يكون متجانسًا، وأنه قد يحدث بعض الجريان السطحى للماء.. لذا يراعى زيادة كمية المياه اللازمة المحسوبة للغسيل بمقدار ٢٥٪؛ الأمر الذى يعنى — فى مثالنا — إضافة ٢٠٠٠م^{٣} من الماء للهكتار؛ أى ١٢٠مم من الماء.

الغسيل أثناء النمو المحصولى

لتجنب تراكم الأملاح فى التربة أثناء نمو المحصول، يلزم دائمًا زيادة كمية مياه الرى — فى كل رية — عما يلزم لتوصيل الرطوبة فى منطقة نمو الجذور إلى السعة الحقلية؛ حيث تعمل كمية المياه الزائدة على غسيل الأملاح التى تضاف إلى التربة مع كل رية ولا تمتصها النباتات. وتتضح أبعاد هذه المشكلة عند اتباع نظام الرى بالتنقيط؛ حيث يكون الهدف هو التوفير فى مياه الرى إلى أكبر قدر ممكن.

تعرف نسبة الزيادة فى مياه الرى (عما يلزم لحاجة المحصول) — التى تلزم لغسيل الأملاح المتراكمة — باسم عامل الغسيل، وهى تتوقف على كل من: مدى ملوحة مياه الرى، ودرجة الملوحة التى يُراد المحافظة عليها فى منطقة انتشار الجذور، وهى التى تتوقف على مدى حساسية المحصول المزروع للملوحة.

ويحسب عامل الغسيل بالمعادلة التالية:

$$LR = \frac{EC_w}{EC_{dw}}$$

حيث إن:

LR = عامل الغسيل Leaching Requirement.

EC_w = درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى بالمللى موز/سم.

EC_{dw} = درجة التوصيل الكهربائى لمياه الصرف drainage water.

= درجة التوصيل الكهربائى لماء التربة عند السعة الحقلية EC_{sw}.

= ٢ × درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع EC_e.

وكمثال.. إذا كانت EC_w = ١ و EC_e المرغوب فى المحافظة عليها = ٢,٠

∴ EC_{dw} = ٢ × ٢ = ٤,٠ مللى موز/سم.

وإذا احتاج المحصول إلى ١٠ مم (= ١٠٠م٣ للهكتار) فى كل رية:

∴ LR = ١ ÷ ٤ = ٠,٢٥.

ويعنى ذلك ضرورة زيادة كمية مياه الرى — فى كل رية — بمقدار الربع؛ بهدف غسيل الأملاح التى تتجمع فى التربة نتيجة لعملية الرى ذاتها؛ لذا.. تصبح كمية مياه الرى التى ينبغى استعمالها فى كل رية ١٢,٥مم (عن Van der Zaag ١٩٩١).

وتبعًا لـ Ibrahim (١٩٩٢) فإن زيادة عامل الغسيل من ٠,١ إلى ٠,٥ أدى إلى زيادة محصول صنف الطماطم إدكاوى عند زراعته فى أرض رملية، علمًا بأنه من أصناف الطماطم القليلة التى تعرف بتحملها للملوحة.

الطرق الزراعية

يمكن الاستفادة من الأراضى الملحية غير المستصلحة فى الزراعة بمراعاة ما يلى:

١- معاملة البرايمنج للبذور:

تقلل الملوحة من إنبات البذور، وتؤدى إلى زيادة الفترة التى تلزم للإنبات؛ مما يؤدى إلى صعوبة منافسة المحصول المزروع بالبذرة مباشرة للحشائش، وذلك إذا زادت درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع عن ٨ ديسى سيمنز/م. وتؤدى معاملة البريمنج لبذور الطماطم بالنقع فى محلول ١ مول كلوريد صوديوم لمدة ٣٦ ساعة إلى التغلب على تلك المشكلة فى حالة الزراعة المباشرة فى الحقل.

٢- تقسية الشتلات:

إن تقسية الشتلات إما بتعريضها لماء رى معتدل الملوحة، وإما بمنع الرى عنها إلى أن تذبل الشتلات لمدة ٢٠- ٢٤ ساعة يمكن أن يفيد فى حالة الزراعة بالشتل فى أرض ملحية (Curatero & Fernández-Munoz ١٩٩٩).

٣- يوصى فى الطماطم بإجراء زراعات قصيرة الدورة يُحصد فيها ٤-٦ عناقيد فقط، خاصة وأن العناقيد العليا تكون أكثر حساسية للشدِّ الملحى (Curatero & Fernández-Munoz ١٩٩٩).

٤- تفضل الزراعات الشتوية؛ حيث يكون ضرر الأملاح عليها أقل مما هو فى الزراعات الصيفية.

كذلك تقل أضرار الملوحة عند ارتفاع الرطوبة النسبية؛ فقد وجد لدى مقارنة صنفين من الطماطم أحدهما متحمل نسبيًا للملوحة (وهو دانيلا Daniela)، والآخر حساس نسبيًا (وهو نعومى Naomi) أن الرطوبة النسبية العالية (٧٠٪ مقارنة برطوبة نسبية ٣٠٪) تقلل كثيرًا من أضرار الملوحة على النمو فى الصنف الحساس، حيث كان النقص فى النمو النباتى ٣٤٪ فى رطوبة ٣٠٪. انخفض إلى ٢١٪ فى رطوبة ٧٠٪. أما الصنف المتحمل فلم يحدث به أى نقص فى النمو فى رطوبة ٣٠٪، بينما كان النقص قليلاً فى

رطوبة ٧٠٪. وقد كان ذلك مصاحبًا بنقص عام فى الكتلة البيولوجية فى الصنف دانيلا فى رطوبة ٧٠٪، مقارنة بالكتلة البيولوجية فى ٣٠٪ رطوبة نسبية. ويعتقد أن التأثير الإيجابى للرطوبة العالية على تحمل الصنف الحساس للملوحة العالية كان مرده إلى ما صاحب زيادة الرطوبة من زيادة فى كل من مساحة الورقة، والنمو الجذرى، ومعدل البناء الضوئى، وتوصيل الثغور، ومن نقص فى تركيز أيون الكلور فى الأوراق (An وآخرون ٢٠٠٥).

٥- تفضل الزراعة بالشتل عن الزراعة بالبذرة؛ لأن الشتلات أكثر تحملاً للملوحة من البذور.

٦- تفضل زراعة المحاصيل الأكثر تحملاً للملوحة.

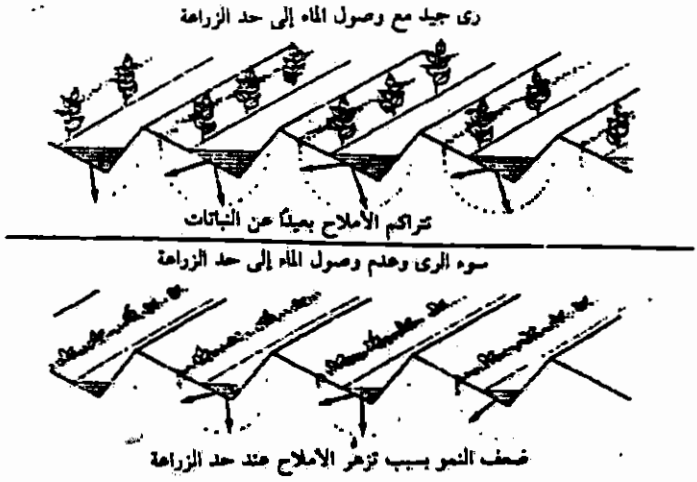
٧- يحسن اتباع طريقة الرى بالتنقيط؛ لأنها تعمل على تجميع الأملاح بعيدًا من النباتات، على أن تغسل التربة من الأملاح المتراكمة قبل زراعة المحصول التالى (الإدارة العامة للتدريب — وزارة الزراعة ١٩٨٣).

٨- اتباع طريقة الرى السطحى بالغمر مع الزراعة بأى من الطرق التالية:

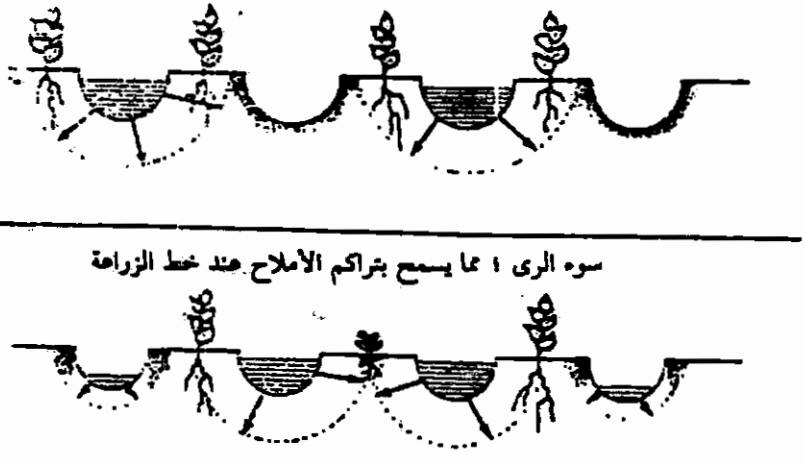
أ- على خطوط عالية، على أن تكون الزراعة فى النصف السفلى من ميل الخطوط، وأن يصل ماء الرى — عبر قنوات الخطوط — إلى حد الزراعة؛ ليكون تزهُّر الأملاح بعيدًا عن النباتات (شكل ١٢-٣).

ب- فى خطوط مفردة فى منتصف مصاطب عريضة، مع تنظيم الرى بحيث تتزهر الأملاح بعيدًا عنّ النباتات (شكل ١٢-٤).

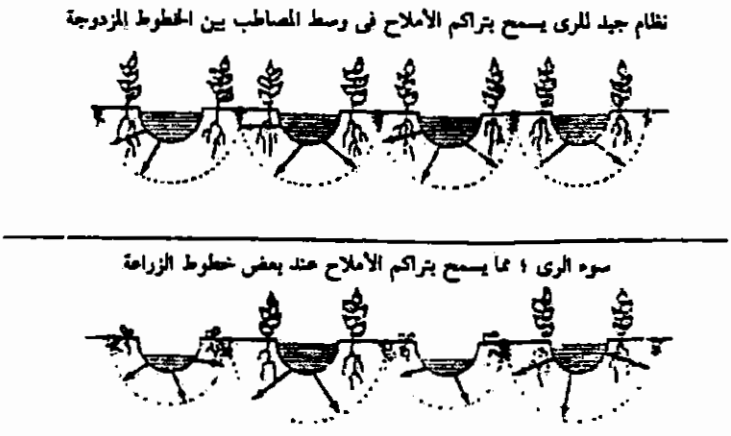
ج- فى خطوط مزدوجة على جانبى مصاطب عريضة، مع تنظيم الرى بحيث يحدث تزهُّر الأملاح فى منتصف المصاطب بعيدًا عن النباتات (شكل ١٢-٥) (عن Mayberry ١٩٨٣).



شكل (١٢-٣): تزهُّر الأملاح بعيدًا عن حد الزراعة عندما تكون الزراعة على خطوط، ويكون الرى منتظمًا.



شكل (١٢-٤): تزهُّر الأملاح بعيدًا عن النباتات عندما تكون الزراعة فى منتصف مصاطب عريضة، ويكون الرى منتظمًا.



شكل (١٢-٥): تزهُّر الأملاح بعيدًا عن النباتات عندما تكون الزراعة فى خطوط مزدوجة على جانبى مصاطب عريضة، ويكون الرى منتظمًا.

٩- التخلص من الملوحة بزراعة *S. soda* كنبات مرافق:

دُرس تأثير زراعة النبات المُخَلِّص من الملوحة (desalinating plant): *Salsola soda* مرافقًا للفلفل تحت ظروف EC متوسطة، وعالية (٤,٠، و٧,٨ ديسى سيمنز/م، على التوالى) على نمو ومحصول الفلفل. وقد تبين أن تواجد *S. soda* أنقص درجة التوصيل الكهربائى لبيئة الزراعة بمقدار ٤٥٪، وأدى إلى زيادة المحصول الكلى، والمحصول الصالح للتسويق، والكتلة البيولوجية الكلية للفلفل بمقدار ٢٦٪، و٣٢٪، و٢٢٪، على التوالى؛ بما يعنى أن زراعة *S. soda* كمحصول مرافق companion plant فى ظروف الملوحة المعتدلة يمكن أن يحد من نقص المحصول الذى تحدثه الملوحة (Colla وآخرون ٢٠٠٦).

المعاملات الكيميائية

أجريت محاولات لتحسين إنبات البذور فى الأراضى الملحية بتعريضها لمعاملات خاصة قبل زراعتها؛ ومن أمثلة ذلك ما يلى:

١-وجد Bano وآخرون (١٩٨٧) أن نقع بذور الطماطم فى محلول كلوريد الكولين Choline Chloride (وهو منظم النمو Chlormequat) بتركيز ٢ ملى مول أدى إلى تحسين إنباتها بعد ذلك فى أطباق بترى تحتوى على محلول Hoagland & Arnon المغذى مضافًا إليه كلوريد الصوديوم بتركيزات وصلت إلى ٥٠,٠ ملى مكافئ/لتر.

٢-وجد Wiebe & Muhyaddin (١٩٨٧) أن نقع بذور الطماطم لمدة ٨ أيام فى محلول مهوى من البوليثيلين جليكول ٤٠٠٠ (PEG 4000) بتركيزات ١٢ بارًا على ١٦°م أدى إلى تحسين إنباتها عند زراعتها بعد ذلك فى تربة طميية رملية تحتوى على تركيزات تتراوح بين صفر و ٨ جم من كلوريد الصوديوم، وكبريتات المغنيسيوم/كجم من التربة.

٣-تفيد دراسات Cano وآخرين (١٩٩١) إمكانية زيادة قدرة نباتات الطماطم على تحمل الملوحة بنقع البذور فى محاليل ملحية من كلوريد الصوديوم قبل الزراعة؛ حيث تحدث تغيرات فسيولوجية فى الجنين تزيد من مقاومته لأضرار الملوحة.

٤-كما تفيد بعض الدراسات إمكانية استعمال منظمات النمو: AMO-1618، وPhosfon، وCCC لزيادة القدرة على تحمل الملوحة فى بعض النباتات؛ مثل: القمح، والسبانخ، وفول الصويا؛ حيث أفادت معاملة البذور - بها - فى بعض الحالات.

٥-كما وجد أن بعض المركبات الطبيعية - مثل الكولين، والبيتين betaine - تعمل كمواد حامية من البلزمة osmo-protectants للبكتيريا *Escherichia coli* (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧)، وربما يمكن تطوير هذا الاكتشاف ليُستفاد منه فى النباتات الراقية.

٦- المعاملة بالمنتج التجارى سُلتراد فى الأراضى الملحية والملحية الصودية:

يحتوى المنتج التجارى سُلتراد Saltrad على ٦,٨٪ أكسيد كالسيوم مخلبى، و٤,٨٪ كبريت، و٩٪ أحماض عضوية. يُستخدم هذا المركب فى معاملة مشاكل الأراضى الملحية والصودية، وذلك بمعدل ٣٠- ٧٥ لتر/هكتار (١٢,٦ - ٣١,٥ لتر/ فدان) حسب نسبة الصوديوم المتبادل بالتربة ويوصى بتجزئ هذه الكمية على ٤- ٥ دفعات، مع

المعاملة بها عن طريق ماء الرى بالتنقيط. هذا مع العلم بأن كل مكون من مكونات المنتج يحفز تأثير المكونات الأخرى (Tradecorp — إسبانيا).

التطعيم

تتضمن آليات تحمل الملوحة فى النباتات المطعومة، ما يلى:

١–وجود خصائص للمجموع الجذرى للأصل تلعب دورًا نشطًا فى امتصاص الماء والأيونات، مثل طول وكثافة النمو الجذرى وعدد الشعيرات الجذرية وطولها؛ ومن ثم مساحتها السطحية.

٢–الآليات الفسيولوجية والبيوكيميائة، والتى تتضمن:

أ– استبعاد الأيونات من النمو الخضرى والاحتفاظ بأيونات الأملاح بالجذور.

ب– المحافظة على تركيز مناسب لأيون البوتاسيوم.

ج– تراكم المحاليل والمركبات الأسموزية المتوافقة.

د– حث توليد نشاط مضاد للأكسدة.

هـ– حث تغيرات فى النمو بفعل الهرمونات التى تتكون نتيجة للتطعيم؛ مثل حامض الأبسيسك الذى يلعب دورًا أساسيًّا فى الإرسال بالإشارات بين الجذور والنموات الخضرية وبين الخلايا فى ظروف الشدِّ الملحى، وكذلك فى تنظيم توصيل الثغور. كذلك تلعب السيتوكينينات — التى يتم تمثيلها فى الجذور وتنتقل للنموات الخضرية من خلال نسيج الخشب — دورًا فى عديد من العمليات الحيوية، وخاصة فى تنظيم شيخوخة الأوراق. وتشترك متعددات الأمين فى تنظيم عديد من العمليات الخلوية ونشاط الإنزيمات وسلامة الأغشية الخلوية وثباتها (Colla وآخرون ٢٠١٠).

٣–حث تمثيل إنزيمات مضادة للأكسدة فى الخضر المطعومة تلعب دورًا فى تحمل الملوحة (جدول (١٢–١).

جدول (١٢-١): الإنزيمات المضادة للأكسدة كدلائل على تحمل الملوحة فى الخضر المطعومة (عن Colla وآخرين ٢٠١٠).

الطعم	الأصل	الإنزيمات المضادة للأكسدة[أ]
الخيار	*Cucurbita maxima* × *C. moschata*	SOD, POD, CAT, APX
	Cucurbita ficifolia	SOD, Cu/Zn-SOD, POD, Mn-SOD
	Cucurbita moschata	SOD, POD, CAT
البطيخ	*Cucurbita maxima* × *C. moschata*	SOD
	Lagenaria siceraria	SOD, POD, CAT
الطماطم	*Solanum lycopersicun*	SOD, POD, APX, AsA, CAT, DHAR, GR
الباذنجان	*Solanum torvum*	SOD, POD, APX, GR CAT, AsA, GSH

أ- الإنزيمات:

SOD = superoxide dismutase

CAT = catalase

POD = peroxidase

APX = ascorbate peroxidase

DHAR = dehydroascorbate reductase

GR = glutathione reductase

AsA = ascorbate (الصورة المختزلة)

GSH = glutathione (الصورة المختزلة)

زراعة الأنواع والأصناف المتحملة للملوحة

معادلة تقدير القدرة على تحمل الملوحة

أمكن التوصل إلى المعادلة التالية لتقدير القدرة على تحمل الملوحة:

$$Y_r - 1/[1+(c/c_{50})^3]$$

حيث إن:

Y_r = المحصول النسبى.

c = متوسط تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور.

C_{50} = متوسط تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور التى يحدث معها انخفاض فى المحصول قدره ٥٠٪ (Van Genuchten & Gupta ١٩٩٣).

تقسيم الخضر حسب تحملها للملوحة

تتفاوت محاصيل الخضر كثيرًا فى مدى حساسيتها أو تحملها لشدِّ الملوحة، ويتضح ذلك من جدول (١٢-٢) الذى يبين التحمل النسبى لمحاصيل الخضر، وذلك مقارنة بالتحمل النسبى لمحاصيل الفاكهة (جدول ١٢-٣)، والمحاصيل الحقلية (جدول ١٢-٤)، وكذلك التحمل النسبى لمحاصيل الخضر والمحاصيل الحقلية للكلوريد (جدول ١٢-٥) (Mass ١٩٨٤، وUSDA ٢٠٠٧). هذا علمًا بأن القيم المبينة فى تلك الجداول هى للاسترشاد بها فقط، أما القيم الفعلية لتحمل الملوحة.. فإنها تتوقف على الظروف الجوية، والعوامل الأرضية، والمعاملات الزراعية التى يعطاها المحصول.

جدول (١٢-٢): التحمل النسبى لمحاصيل الخضر للملوحة.

المحصول	قيمة الـ EC الحرجة التى يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الملوحة عنها (ديسى سيمنز/سم)[أ]	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها وحدة EC ٪	مستوى التحمل
الخرشوف	–	–	متوسط التحمل
الأسبرجس	٤,١	٢,٠	متحمل
الفاصوليا (الخضراء والجافة)	١,٠	١٩,٠	حساسة
فاصوليا المنج	١,٨	٢٠,٧	حساسة
بنجر المائدة [ب]	٤,٠	٩,٠	متوسط التحمل
البروكولى	٢,٨	٩,٢	متوسط الحساسية
كرنب بروكسل	–	–	متوسط الحساسية
الكرنب	١,٨	٩,٧	متوسط الحساسية
الجزر	١,٠	١٤,٠	حساس

يتبع

تابع جدول (١٢-٢).

الحصول	قيمة الـ EC الحرجة التي يتأثر الحصول سلبًا بزيادة الملوحة عنها (دسي سيمنز/سم)[أ]	النقص في الحصول مع كل زيادة قدرها وحدة EC ٪	مستوى التحمل
القنبيط	–	–	متوسط الحساسية
الكرفس	١,٨	٦,٢	متوسط الحساسية
الذرة السكرية	١,٧	١٢,٠	متوسط الحساسية
الخيار	٢,٥	١٣,٠	متوسط الحساسية
الباذنجان	١,١	٦,٩	متوسط الحساسية
الكيل	–	–	متوسط الحساسية
كرنب أبو ركبة	–	–	متوسط الحساسية
الخس	١,٣	١٣,٠	متوسط الحساسية
الكنتالوب	–	–	متوسط الحساسية
البامية	–	–	حساسة
البصل	١,٢	١٦,٠	حساس
الجزر الأبيض	–	–	حساس
البسلة	–	–	حساسة
الفلفل	١,٥	١٤,٠	متوسط الحساسية
البطاطس	١,٧	١٢,٠	متوسط الحساسية
القرع العسلي	–	–	متوسط الحساسية
الفجل	١,٢	١٣,٠	متوسط الحساسية
السبانخ	٢,٠	٧,٦	متوسطة الحساسية
الكوسة الاسكالوب	٣,٢	١٦,٠	متوسطة الحساسية
الكوسة الزوكيني	٤,٧	٩,٤	متوسطة التحمل
الفراولة	١,٠	٣٣	حساسة
البطاطا	١,٥	١١	متوسطة الحساسية
الطماطم	٢,٥	٩,٩	متوسطة الحساسية
الطماطم الشيري	١,٧	٩,١	متوسطة الحساسية
اللفت	٠,٩	٩	متوسطة الحساسية
البطيخ	–	–	متوسطة الحساسية
الطرطوفة	٤,٠	٩,٦	متوسطة الحساسية
اللوبيا	٤,٩	١٢,٠	متوسطة التحمل

أ- كل وحدة EC = ٦٤٠ جزءًا في المليون من الأملاح.

ب- أقل تحملاً للملوحة أثناء إنبات البذور ونمو البادرات.

جدول (١٢-٣): التحمل النسبى لبعض محاصيل الفاكهة للملوحة للمقارنة مع محاصيل الخضر.

المحصول[أ]	قيمة الـ EC الحرجة التى يتأثر المحصول سلبيًا بزيادة الملوحة عنها (ديسى سيمنز/متر)[ب]	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها وحدة EC (٪)	مستوى التحمل
اللوز	١,٥	١٩,٠	حساس
التفاح	–	–	حساس
المشمش	١,٦	٢٤,٠	حساس
الأفوكادو	–	–	حساس
نخيل البلح	٤,٠	٣,٦	متحمل
التين	–	–	متوسط التحمل
العنب	١,٥	٩,٦	متوسط الحساسية
الجريب فروت	١,٨	١٦	حساس
الجوايال	١٥,٠	١٣	متحمل
الجوجوبا (الهوهوبا)	–	–	متحمل
الليمون الأضاليا	–	–	حساس
الليمون البنزهير	–	–	حساس
المانجو	–	–	حساسة
الزيتون	–	–	متوسط التحمل
البرتقال	١,٧	١٦,٠	حساس
الباباظ	–	–	متوسط التحمل
الخوخ	١,٧	٢١,٠	حساس
الكمثرى	–	–	حساسة
البرسيمون	–	–	حساس
الأناناس	–	–	متوسط التحمل
البرقوق	١,٥	١٨,٠	حساس
الرمان	–	–	متوسط التحمل
السابوتة	–	–	حساسة
التانجرين (واليوسفى)	–	–	حساس

أ- قُيِّم تحمل الملوحة على أساس النمو النباتى وليس المحصول.

ب- كل وحدة EC = ٦٤٠ جزءًا فى المليون من الأملاح.

جدول (١٢-٤): التحمل النسبي لبعض المحاصيل الحقلية للملوحة للمقارنة مع محاصيل الخضر.

المحصول	قيمة الـ EC الحرجة التي يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الملوحة عنها (ديسي سيمنز/متر)[أ]	النقص في المحصول مع كل زيادة قدرها وحدة EC (٪)	مستوى التحمل
الشعير [ب]	٨,٠	٥,٠	متحمل
الفول الرومي والبلدي	١,٦	٩,٦	متوسط الحساسية
الذرة الشامية	١,٧	١٢,٠	متوسط الحساسية
القطن	٧,٧	٥,٢	متحمل
الكتان	١,٧	١٢,٠	متوسط الحساسية
التيل	٨,١	–	متوسط التحمل
الشوفان oats	–	–	متوسط التحمل
الفول السوداني	٣,٢	٢٩,٠	متوسط الحساسية
الأرز	٣,٠	١٢,٠	حساس
الجاودار (الراي) rye	١١,٤	١٠,٨	متحمل
القرطم	–	–	متوسط التحمل
السمسم	–	–	حساس
السورجم	٦,٨	١٦,٠	متوسط التحمل
فول الصويا	٥,٠	٢٠,٠	متوسط التحمل
بنجر السكر [ب]	٧,٠	٥,٩	متحمل
قصب السكر	١,٧	٥,٩	متوسط الحساسية
دوار الشمس	–	–	متوسط الحساسية
الترتكيل triticale	٦,١	٢,٥	متحمل
القمح [ب]	٦,٠	٧,١	متوسط التحمل
لفت الزيت	–	–	متوسط التحمل
البرسيم الحجازي	٢,٠	٧,٣	متوسط الحساسية
حشيشة برمودا	٦,٩	٦,٤	متحملة
البرسيم المصري	١,٥	٥,٧	متوسط الحساسية
لوبيا العلف	٢,٥	١١,٠	متوسط الحساسية

أ- كل وحدة EC = ٦٤٠ جزءًا في المليون.

ب- أقل تحملاً للملوحة أثناء إنبات البذور ونمو البادرات.

جدول (١٢-٥): التحمل النسبى لبعض المحاصيل الزراعية (محاصيل خضر ومحاصيل حقلية للكلوريد.

المحصول	قيمة تركيز الكلورين الحرجة التى يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الكلورين عنه (مول/م٣)	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها مول واحد / م٣ (٪)
الفراولة	١٠	٣,٣
الفاصوليا	١٠	١,٩
البصل	١٠	١,٦
الجزر	١٠	١,٤
الفجل	١٠	١,٣
الخس	١٠	١,٣
اللفت	١٠	٠,٩
الأرز	٣٠	١,٢
الفلفل	١٥	١,٤
الذرة الشامية	١٥	١,٢
الكتان	١٥	١,٢
البطاطس	١٥	١,٢
البطاطا	١٥	١,١
الفول الرومى والبلدى	١٥	١,٠
الكرنب	١٥	١,٠
الكرفس	١٥	٠,٦
البرسيم المصرى	١٥	٠,٦
قصب السكر	١٥	٠,٦
السبانخ	٢٠	٠,٨
البرسيم الحجازى	٢٠	٠,٧
الخيار	٢٥	١,٣
الطماطم	٢٥	١,٠
البروكولى	٢٥	٠,٩

يتبع

تابع جدول (١٢-٥)

المحصول	قيمة تركيز الكلورين الحرجة التى يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الكلورين عنه (مول/م^3)	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها مول واحد / م^3 (٪)
الكوسة الاسكالوب	٣٠	١,٦
حشيشة السودان	٣٠	٠,٤
بنجر المائدة	٤٠	٠,٩
الكوسة الزوكينى	٤٥	٠,٩
اللوبيا	٥٠	١,٢
القمح	٦٠	٠,٧
السورجم	٧٠	١,٦
حشيشة برمودا	٧٠	٠,٦
بنجر السكر	٧٠	٠,٦
القطن	٧٥	٠,٥
الشعير	٨٠	٠,٥

ويعطى جدول (١٢-٦) بيانات أكثر تفصيلاً عن درجات التوصيل الكهربائى لكل من ماء الرى EC_w ومستخلص التربة المشبع EC_e التى لا يحدث عندها أى نقص فى المحصول، وتلك التى يحدث عندها نقص فى المحصول قدره ١٠٪، و٢٥٪، و٥٠٪ لمختلف محاصيل الخضر، مع بيان احتياجات الغسيل Leaching Requirements (اختصارًا LR) اللازمة فى كل حالة، وهو نسبة ماء الرى التى يلزم تسربها خلال طبقة التربة التى تشغلها الجذور؛ ليمكن التحكم فى الملوحة عند المستوى المحدد (عن Soil Improv. Comm., Calif. Fertiliz. Assoc. ١٩٨٠).

وقد وضعت تقديرات EC_e فى جدول (١٢-٦) على أساس أنها تصل — فى طبقة التربة التى تشغلها الجذور — إلى نحو ١٥٠٪ من قيمة EC_w للمياه المستخدمة فى الرى.

جدول (١٢-٦): درجات التوصيل الكهربائى (mS/cm) لكل من ماء الرى (EC_w) ومستخلص التربة المشبع (EC_e) – عند ٢٥ °م – التى لا يحدث عندها أى نقص فى المحصول، وتلك التى يحدث عندها نقص قدره ١٠٪، و٢٥٪، و٥٠٪ لمختلف محاصيل الخضر، ونسبة التسرب الرطوبى (LR) اللازم فى كل حالة؛ ليمكن التحكم فى الملوحة عند المستوى المحدد

المحصول	عدم حدوث نقص فى المحصول			١٠٪ نقصًا فى المحصول			٢٥٪ نقصًا فى المحصول			٥٠٪ نقصًا فى المحصول		
	LR	EC_w	EC_e	LR	EC_w	EC_e	LR	EC_w	EC_e	LR	EC_w	EC_e
البنجر	٩	٢,٧	٤,٠	١١	٣,٤	٥,١	١٥	٤,٥	٦,٨	٢١	٦,٤	٩,٦
البروكولى	٧	١,٩	٢,٨	١٠	٢,٦	٣,٩	١٤	٣,٧	٥,٥	٢٠	٥,٥	٨,٢
الطماطم	٧	١,٧	٢,٥	٩	٢,٣	٣,٥	١٤	٣,٤	٥,٠	٢٠	٥,٠	٧,٦
الكنتالوب	٥	١,٥	٢,٢	٨	٢,٤	٣,٦	١٢	٣,٨	٥,٧	١٩	٦,٠	٩,١
الخيار	٨	١,٧	٢,٥	١١	٢,٢	٣,٣	١٤	٢,٩	٤,٤	٢١	٤,٢	٦,٣
السبانخ	٤	١,٣	٢,٠	٧	٢,٢	٣,٣	١٢	٣,٥	٥,٣	١٩	٥,٧	٨,٦
الكرنب	٥	١,٢	١,٨	٨	١,٩	٢,٨	١٢	٢,٩	٤,٤	١٩	٤,٦	٧,٠
البطاطس	٦	١,١	١,٧	٩	١,٧	٢,٥	١٣	٢,٥	٣,٨	٢٠	٣,٩	٥,٩
الذرة السكرية	٦	١,١	١,٧	٩	١,٧	٢,٥	١٣	٢,٥	٣,٨	٢٠	٣,٩	٥,٩
البطاطا	٥	١,٠	١,٥	٨	١,٦	٢,٤	١٢	٢,٥	٣,٨	١٩	٤,٠	٦,٠
الفلفل	٦	١,٠	١,٥	٩	١,٥	٢,٢	١٣	٢,٢	٣,٣	٢٠	٣,٤	٥,١
الخس	٥	٠,٩	١,٣	٨	١,٤	٢,١	١٢	٢,١	٣,٢	١٩	٣,٤	٥,٢
الفجل	٤	٠,٨	١,٢	٧	١,٣	٢,٠	١٢	٢,١	٣,١	١٩	٣,٤	٥,٠
البصل	٥	٠,٨	١,٢	٨	١,٢	١,٨	١٢	١,٨	٢,٨	١٩	٢,٩	٤,٣
الجزر	٤	٠,٧	١,٠	٧	١,١	١,٧	١٢	١,٩	٢,٨	١٩	٣,١	٤,٦
الفاصوليا	٥	٠,٧	١,٠	٨	١,٠	١,٥	١٢	١,٥	٢,٣	١٨	٢,٤	٣,٦
الفراولة	٩	٠,٧	١,٠	١١	٠,٩	١,٣	١٥	١,٢	١,٨	٢١	١,٧	٢,٥

هذا.. ويعطى Staples & Toennissen (١٩٨٤) شرحًا تفصيليًّا متقدمًا عن فسيولوجيا القدرة على تحمل الملوحة فى النباتات.

وسائل النباتات فى الحد من التأثير السام للأملاح

على الرغم من احتياج بعض النباتات للصوديوم – وخاصة تلك المحبة للملوحة halophytes – فإن التركيز العالى من كلوريد الصوديوم يعد سامًّا، ويؤثر فى النمو النباتى. ويرجع التغير فى نسب الأيونات فى النباتات إلى تدفق أيون الصوديوم من خلال المسارات التى تقوم – أصلاً – بوظيفة الحصول على أيون البوتاسيوم. وتتشابه حساسية إنزيمات السيتوبلازم للملح فى كل من النباتات المحبة للملوحة والنباتات العادية glycophytes؛ مما يدل على أن الحفاظ على نسبة عالية من تركيز الـ K^+/Na^+ يعد أمرًا أساسيًّا للنباتات فى الأراضى الملحية.

ومن بين الوسائل التى تلجأ إليها النباتات للمحافظة على نسبة عالية من تركيز الـ K^+/Na^+ فى السيتوبلازم، ما يلى:

١- إقصاء أيون الصوديوم خارج الخلية.

٢- تجميع أيونات الصوديوم فى الفجوات العصارية.

إن زيادة تركيز الأملاح فى المحلول الأرضى يقلل من جهده المائى (يزداد ضغطه الأسموزى)، ويتعين – حينئذٍ – خفض الجهد المائى بالنبات لما يساوى حوالى ٥٠ ملل مول كلوريد صوديوم. ويتحقق ذلك بتعديل الماء النباتى ومحتواه من المواد الذائبة. فمثلاً.. عندما تغمر جذور النباتات بماء البحر فإنها تتجاوب مع هذا الجهد المائى المنخفض بتراكم تركيزات عالية (أكثر من ٥٠٠ ملل مول) من الصوديوم والكلورين فى خلاياها. هذا.. إلا أن نفس هذه الأملاح الضرورية للتعديل الأسموزى تكون سامة، ويتعين فصلها عن آليات الأيض بالخلايا. ويتحقق ذلك بتحديد تواجدها فى أماكن محددة من الخلية لا يحدث معها ضرر (compartmentation)؛ حيث تأخذ العمليات الأيضية الحساسة للأملاح مجراها فى السيتوبلازم، بينما يخزن الملح الضرورى للتعديل الأسموزى فى الفجوات العصارية (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

وبصورة عامة.. تستجيب النباتات للملوحة العالية بطرق مختلفة؛ كما يلى:

١-تحد النباتات الحساسية للملوحة من امتصاص الملح وتعدل ضغطها الأسموزى بتمثيل المواد الذائبة المتوافقة (مثل البرولين والجليسين بيتين والسكريات).

٢-تقوم النباتات المتحملة للملوحة بعزل الأملاح وتجميعها فى الفجوات العصارية؛ وبذا فإنها تتحكم فى تركيز الملح بالسيتوبلازم، وتحافظ على نسبة عالية من K^+/Na^+ بالسيتوبلازم.

وقد يوفر استبعاد الأيونات درجة من التحمل فى التركيزات المنخفضة نسبيًا من كلوريد الصوديوم، ولكنه لا يفيد فى التركيزات العالية من الملح؛ مما يؤدى إلى تثبيط عمليات الأيض الرئيسية؛ ومن ثم تثبيط النمو (Yamaguchi & Blumwald ٢٠٠٥).

إن التعديل الأسموزى يأخذ مجراه فى السيتوبلازم بما يعرف بالمركبات الذائبة المتوافقة compatible solutes، وهى مركبات عضوية — مثل الجليسين بيتين والمانيتول، والبرولين — لا تضر الأيض وإنما قد تفيده. وتتطلب عملية الـ compartmentation أن تمتلك النباتات المتحملة للملوحة آلية تمكنها من المحافظة على فرق فى تركيز الأيونات عبر الغشاء البلازمى المحيط بالفجوات العصارية. وتعتمد هذه الآلية على تركيب الغشاء وعلى البروتينات التى تنقل الأيونات عبره.

إن الأيونات تدخل الخلايا النباتية عن طريق بروتينات تعد جزءًا أساسيًا من الأغشية الخلوية. ويمكن لهذه البروتينات أن تشكل قنوات channels تنتشر من خلالها الأيونات عبر تدرج جهد كهروكيميائى electrochemical potential gradient، أو أن تعمل كحوامل carriers، حيث يرتبط البروتين بأيون على أحد جانبى الغشاء البلازمى ويطلقه فى الجانب الآخر. وتتم كلتا العمليتين للبروتينات بمضخات أيونية ion pumps تعمل بالطاقة. تستخدم المضخات الطاقة المخزنة فى الـ ATP (وفى حالة الغشاء البلازمى للفجوات العصارية تستخدم الطاقة المخزنة فى كل من الـ ATP والـ pyrophosphate) فى

تحريك البروتونات عبر الغشاء، مولدة فرقًا فى تركيز أيون الأيدروجين (الـ pH) وجهدًا كهربائيًا (ΔE). ويكون الفرق فى الجهد الكهربائى هو المسئول عن حركة الكاتيونات إلى الداخل من خلال القنوات، بينما يكون الفرق فى تركيز أيون الأيدروجين هو المسئول عن حركة الأيونات عن طريق الحوامل، وهى التى يحدث فيها الالتحام بين البروتونات والأيونات (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

٣- حث وتنشيط الأنظمة الدفاعية المضادة للأكسدة:

ففى الكنتالوب.. تستجيب النباتات لشدّ الملوحة بزيادة أنظمة دفاعاتها الإنزيمية وغير الإنزيمية المضادة للأكسدة، وتظهر تلك الزيادات بوضوح أكبر فى أصناف الكنتالوب الأكثر تحملاً للملوحة مثل: Galia C8، وGalia F1 عما فى الأصناف المتوسطة التحمل مثل: Besni، وMidyat (Fikret وآخرون ٢٠٠٦).

طبيعة تحمل الملوحة فى النباتات العادية المتحملة لها

إن من أهم آليات تحمل الملوحة فى النباتات العادية (الـ glycophytes)، ما يلى:

اختيارية الأيونات Ion Selectivity

لقد أُرجعت الحساسية للملوحة فى بعض الأنواع المحصولية إلى فشل النباتات فى إبقاء أيونا الصوديوم والكلوريد بعيدًا عن مسار الماء المتحرك تحت تأثير النتح؛ ومن ثم سيتوبلازم النموات الخضرية. إن النباتات التى تحد من امتصاص الأيونات السامة وتحافظ على مستويات طبيعية من الأيونات المغذية يمكن أن تكون أكثر تحملاً للملوحة عن تلك التى لا تحد من تراكم الأيونات والتى تفتقد التوازن الأيونى. ويمكن لآليات امتصاص الأيونات الاختيارى القادرة على التمييز بين الأيونات المتشابهة كيميائيًا مثل أيونى الصوديوم والبوتاسيوم أن تُسهم فى تحمل الملوحة. وتُعد التربية لهذا الغرض من أبسط الطرق لتحسين تحمل الملوحة فى الأصناف الحساسة (Shannon ١٩٩٧).

إن قدرة النبات على المحافظة على نسبة عالية من البوتاسيوم إلى الصوديوم

(K^+/Na^+) فى السيتوبلازم لهى أمر على درجة عالية من الأهمية فى تحمله للملوحة. ولقد استهدفت جهود مربى النبات تحسين تلك النسبة من خلال الحد من امتصاص الصوديوم Na^+ وانتقاله إلى النموات الخضرية (Shabala وآخرون ٢٠٠٨).

وقد وجد ارتباط قوى جدًا فى الشعير بين قدرة النباتات على الاحتفاظ بتركيز عال من البوتاسيوم ضد التسرب — تحت ظروف الملوحة — وتحملها للملوحة.

هذا.. علمًا بأن نسبة البوتاسيوم K^+ إلى الصوديوم Na^+ تنخفض بشدة تحت ظروف الملوحة؛ نتيجة لكل من التجمع الزائد للصوديوم فى السيتوبلازم، والزيادة فى تسرب البوتاسيوم من الخلايا. ويحدث التسرب بفعل ما يحدثه كلوريد الصوديوم من depolarization بالأغشية البلازمية تحت ظروف الملوحة (Chen وآخرون ٢٠٠٥).

ونجد أن معظم الأنواع المحصولية تحد من امتصاص الملح ووصوله إلى مسار تيار ماء النتح -- إلى حد ما — من خلال تحديد تواجده فى الفجوات العصارية، وربما يمكن لبعض الأنواع التخلص من الأيونات من خلال الغدد الملحية، أو بتخزين الملح فى الجذور أو الأوراق أو أعناق الأوراق أو السيقان. وما لم يستمر النبات فى النمو بحيث لا تمتلئ أماكن تخزين الأملاح بالأملاح، فإن الأملاح تتسرب منها وتؤثر فى الأنسجة الحساسة؛ مما يؤثر فى الحالة العامة للنبات.

الحد من تراكم الأيونات

إن الحد من تراكم الأيونات فى الجذور والسيقان يُعد أحد أكثر آليات تحمل الملوحة شيوعًا فى النباتات.

وعلى الرغم من حساسية جميع أصناف الفاصوليا للملوحة العالية، إلا أنه توجد اختلافات بين الأصناف فى شدة تلك الحساسية، وتعتمد خاصية التحمل للملوحة فى الأصناف الأكثر تحملاً على قدرة جذورها على تقييد انتقال الصوديوم الممتص من الجذور إلى النموات الخضرية، حيث يبقى تركيز الصوديوم فى النموات الخضرية منخفضًا.

وتجدر الإشارة إلى أن إضافة كلوريد الصوديوم إلى المحاليل المغذية للفاصوليا أحدثت زيادة فى تركيز البوتاسيوم والكالسيوم فى النبات، وفى انتقال البوتاسيوم من الجذور إلى النموات القمية، وانتقال الكالسيوم من السيقان وأعناق الأوراق إلى الوريقات، والمغنيسيوم من الجذور إلى الوريقات (Yamanouchi وآخرون ١٩٩٧).

التنظيم الأسموزى

نجد أن معظم النباتات الثنائية الفلقة المحبة للملوحة halophytes عصيرية succulent، ويتراكم فى فجواتها العصيرية تركيزات عالية من أيونى الصوديوم والكلور. كما يكون تركيز هذين الأيونين فى سيتوبلازم هذه النباتات أعلى مما فى النباتات العادية (القليلة أو المتوسطة التحمل للملوحة mesophytes).

ويفيد التعديل الأسموزى Osmotic Adjustment، الذى يحدث خفضًا فى جهد الضغط الأسموزى النباتى من خلال إحداث زيادة فى محتواه من المواد الذائبة (أو إحداث خفض فى محتواه من الرطوبة) — استجابة لانخفاض فى الجهد المائى الخارجى — يفيد فى استمرار المحافظة على امتلاء الخلايا. ويؤدى ضعف القدرة على التعديل الأسموزى إلى فقد امتلاء الخلايا وانغلاق الثغور؛ الذى يتبعه نقص فى تبادل الغازات وضعف البناء الضوئى، كما يكون لفقد امتلاء الخلايا تأثيرات ضارة على انقسام الخلايا واستطالتها.

ولكى تحقق تلك النباتات توازنًا أسموزيًّا Osmoregulation بين الفجوات والسيتوبلازم.. يتراكم بسيتوبلازم خلاياها تركيزات عالية جدًّا من المركبات العضوية المتوافقة الذائبة compatible osmolytes عند تعرضها للشدّ الملحى (أو الجفافى)، والتى من أهمها ما يلى:

١- المركبات الكربوهيدراتية:

السكروز — السوربيتول sorbitol — المانيتول manitol — الجليسرول glycerol — الأرابينيتول arabinitol — البينيتول pinitol — مركبات polyols أخرى.

٢- المركبات النيتروجينية:

البروتينات — البرولين — البيتين betaine — حامض الجلوتامك — حامض الأسبارتك — الجليسين — الجليسين بيتين glycine betaine — الكولين choline — البوتريسين putrescine.

٣- الأحماض العضوية:

حامض الأوكساليك — حامض الماليك (Sairam & Tyagi ٢٠٠٤). علمًا بأن الأحماض العضوية ذات الشحنة السالبة تعمل على إحداث توازن مع أيونات الصوديوم المتراكمة ذات الشحنة الموجبة.

ومن المعلوم أن نشاط عديد من الإنزيمات يتأثر سلبيًا بالمركبات الذائبة غير العضوية، بينما يكون ضرر المركبات العضوية الذائبة معدومًا أو قليلاً فى التركيزات العالية.

وبالرغم من الدراسات العديدة التى أجريت على موضوع التنظيم الأسموزى فى النباتات، فإنه لا يوجد اتفاق بين الباحثين لا على دوره، ولا على أهميته.. حتى لقد ذكر البعض منهم أن تراكم البرولين والجليسين بيتين يكون مصاحبًا بزيادة القدرة على تحمل الملوحة فى بعض الأنواع النباتية، إلا أن ذلك الأمر لا يحدث فى كل الحالات. كذلك ذكر البعض أن تراكم الجليسين بيتين فى النباتات يساعدها على زيادة تحملها للملوحة، ولكن ذلك التراكم ليس شرطًا لا غنى عنه لتحمل الملوحة فى النباتات الراقية.

كما أن دور البرولين فى التنظيم الأسموزى فى النباتات موضع جدل. فالبرولين يتراكم فعلاً فى النباتات التى تتعرض لظروف قاسية (وخاصة نقص الرطوبة الأرضية)، ولكن يبدو أن ذلك يحدث كاستجابة لصدمة أسموزية شديدة، أو — ربما — لسمّية الأملاح.

ومن المعلوم أن المركبات النيتروجينية — مثل البرولين — تنظم بكفاءة عالية عملية تخزين النيتروجين الضرورى للنبات. ويعد البرولين مناسبًا لتحقيق هذا الهدف؛ لأنه

نشط أسموزيًا، ومتوافق مع مكونات السيتوبلازم، ويمكن أن يتحول بسهولة إلى حامض الجلوتامك، وهو حامض أميني مركزي في عملية تنظيم تمثيل الأحماض الأمينية الأساسية الأخرى. وبذا.. فإن النبات المعرض للملوحة يمكنه استخدام البرولين كمخزون نيتروجيني، وفي التنظيم الأسموزي (عن Rains ١٩٨١).

ومن النباتات التي يتراكم فيها البرولين بكثرة في ظروف الملوحة العالية كل من *Triglochin maritima*، و*Puccinellia maritima*، وكثير من الطحالب والبكتيريا.

إن قائمة المركبات العضوية الذائبة في السيتوبلازم cytosolutes — في النباتات الراقية — في ازدياد مستمر، وتتضمن كحولات السكر sugar alcohols، والأحماض الأمينية الـ dipolar، ومشتقاتها. ومن الأمثلة الهامة لذلك مركب dimethylsulphonopropionate الذي يشيع وجوده في الطحالب البحرية. وتوجد المركبات الـ Sulphonic في النباتات الراقية، مثل: *Wedelia biflora*، و*Ulva lactuca* اللذين يتغير تركيز المركب فيهما بتغير تركيز الأملاح في وسط نموهما.

ويبدو أنه توجد علاقة قوية بين نوع المركبات العضوية الذائبة التي تتراكم في السيتوبلازم في ظروف الملوحة العالية وبين الوضع التقسيمي، كما هو موضح في جدول (١٢-٧) (عن Jones ١٩٨١).

جدول (١٢-٧): أمثلة لأنواع المركبات العضوية الذائبة في السيتوبلازم في بعض الأنواع النباتية.

المركب العضوي	العائلة	النوع النباتي
Glycinebetaine	Chenopodiaceae	*Suaeda monoica*
		Suaeda maritima
		Atriplex spongiosa
		Spinacea oleracea
		Beta vulgaris

يتبع

تابع جدول (١٢-٧)

النوع النباتى	العائلة	المركب العضوى
Spartina × *townsendii*	Graminae	
Doplochne fusa		
Puccinellia maritima	Graminae	Proline
Triglochina moritima		
Plantago maritima	Plantaginaceae	Sorbitol
Plantago capensis		
Medicago sativa	Leguminoseae	Prolinebetaine
Wedelia biflora	Compositae	Beta-dimethyl-sulphonio-propionate

كذلك تتراكم — فى السلالات التى تتحمل الملوحة — عند تعرضها لظروف الملوحة العالية — أنواع مختلفة من البروتينات — مثل البروتين 26k المسمى أوزموتين osmotin. وقد وجد Jain وآخرون (١٩٩٣) طرزًا محددة لتراكم البولى ببيتيدات Polypeptides تحت ظروف الملوحة، تختلف باختلاف السلالات المتحملة للملوحة. وبالرغم من عدم التوصل إلى حقيقة الدور الفسيولوجى الذى تلعبه هذه البروتينات على وجه التحديد.. إلا أنه يعتقد بأنها تسمح للنباتات بعمل التأقلمات الحيوية والبنائية التى تمكنه من التعامل مع مستويات الملوحة العالية.

زيادة كفاءة استخدام المياه

من الآليات الأخرى التى يمكنها منع فقد امتلاء الخلايا وزيادة كفاءة استخدام المياه زيادة مقاومة الأوراق (بوجود عدد أقل من الثغور، وزيادة مقاومة النسيج الوسطى، وزيادة سمك طبقة الأديم)، وزيادة نسبة الجذور إلى النموات الخضرية (Shannon ١٩٩٧).

ويتبين مما تقدم أن تحمل الملوحة يتوقف على مجموعة من الخصائص، هى:

١-مورفولوجى النبات.

٢-القدرة على تحديد تواجد الأملاح — التى تُعدِّل بها جهدها المائى — فى الفجوات العصارية.

٣- القدرة على إنتاج وتراكم المركبات العضوية الذائبة المتوافقة فى السيتوبلازم.

٤- القدرة على تنظيم النتح.

٥- خصائص الأغشية الخلوية.

٦- القدرة على تحمل تواجد نسبة عالية من الصوديوم إلى البوتاسيوم فى السيتوبلازم.

٧- وجود الغدد الملحية التى تمكنها من التخلص من الأملاح المتراكمة فيها (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

معاملات يوصى بها للتغلب على شد الملوحة فى محاصيل الخضر

خفض معدل التسميد الآزوتى وزيادة التسميد باليوريا

يُفضل عندما تكون الملوحة أعلى من المستوى الحرج لنباتات الفلفل (< ٢,٠ ديسى سيمنز/م) خفض معدل التسميد الآزوتى عما يوصى به فى غياب الشدّ الملحى (< ٢,٠ ديسى سيمنز/م)، لكن الملوحة يسود تأثيرها ولا يكون خفض معدل التسميد الآزوتى مؤثرًا عندما تصل الملوحة إلى ٦,٠ ديسى سيمنز/م (Semiz وآخرون ٢٠١٤).

وعند المستوى المثالى من التسميد بالنيتروجين فى الفلفل (٢٧٠ كجم N/هكتار، أو حوالى ١٣٣ كجم/فدان) أدت زيادة ملوحة مياه الرى (EC_{iw}) عن ٢,٠ ديسى سيمنز/م إلى نقص المحصول، بينما لم ينخفض المحصول عندما كان التسميد بالنيتروجين منخفضًا (١٣٥ كجم/ هكتار، أو نحو ٥٧ كجمN /فدان) إلاّ عندما زادت ملوحة ماء الرى (EC_{iw}) عن ٤,٠ ديسى سيمنز/م. وعندما كانت ملوحة ماء الرى ٦,٠ ديسى سيمنز/م غطّى تأثير الملوحة السلبى على المحصول على تأثير مستوى التسميد بالنيتروجين. ويعنى ذلك أنه عند زيادة الملوحة عن الحد الحرج للمحصول تقل الحاجة للتسميد بالنيتروجين عن المستوى المناسب الذى يُعطاه فى غياب شد الملوحة (Semiz وآخرون ٢٠١٤).

ولم تكن لزيادة تركيز النترات فى المحلول المغذى من صفر إلى ٥، أو ٢٠ ملى