١- نبات الجوايال Guayle:

يسمى - علميًا *Parthenium argentatum*، وهو نبات معمر يزرع لأجل إنتاج المطاط، يتحمل الملوحة إلى حد ما .. فبرغم أن الملوحة تقلل من الإنبات ونمو البادرات، ألا أن النباتات البالغة أكثر تحملاً للملوحة، وتنمو بصورة جيدة عند ريها بمياه ملحية (عن Fangmeier ١٩٨٤).

٢- الهوهوبا Jojoha:

يُحصل منه على دهون عالية الجودة، تشبه الدهون التى تستخرج من بعض الحيتان، ولها استخدامات كثيرة فى الصناعة. يتحمل الجفاف بدرجة عالية؛ كما أنه يعد من النباتات التى تتحمل الملوحة (عن Univ. Arizona ١٩٨٠).

الأساس الفسيولوجى لأضرار الملوحة وتحملها

الأساس الفسيولوجى

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 شداً أيونيًا خاصًا ينشأ عن التغير فى نسبة أيون البوتاسيوم K^+ إلى الصوديوم Na^+.

٣- يؤدى الشدّ الملحى إلى زيادة تركيز أيونا 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 أكبر 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 مردة 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).

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 للنبات 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 ملى 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 ملى 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 بطريقتين مختلفتين، 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 نسبيًّا 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).

وكما أسلفنا .. فإن التعديل الأسموزى يأخذ مجراه فى السيتوبلازم بما يعرف بالمركبات الذائبة المتوافقة compatible solutes، وهى — كما علمنا — 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 أساسيًّا 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 pump 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).

طبيعة تحمل الملوحة فى النباتات المحبة للملوحة

تنمو النباتات المحبة للملوحة — غالبًا — فى بيئات تحتوى على كلوريد الصوديوم بتركيز ١٠٠–٢٥٠ مول/م^3 (يحتوى ماء البحر على نحو ٥٠٠ مول كلوريد الصوديوم/م^3)، مع تواجد بعض الأيونات السامة الأخرى أحيانًا. فإذا أخذنا كلوريد الصوديوم فقط فى الحسبان، وافترضنا أن نسبة النتح إلى البناء الضوئى (وزن الماء المفقود بالنتح إلى الوزن الجاف للمادة العضوية التى يقوم النبات بتمثيلها) هى ٣٠٠ (وهى نسبة واقعية)، وأن تركيز الأملاح فى بيئة نمو النباتات هو ٢٠٠ مول/م^3 .. نجد أنه مقابل كل جرام من المادة الجافة العضوية التى يقوم النبات بتمثيلها، فإن عليه أن يتعامل مع ٣,٥ جم من كلوريد الصوديوم؛ إما بالتخلص منها، وإما بمنع تأثيرها السام.

ويمكن بيان خطوط دفاع النباتات ضد الكميات الهائلة التى يمتصها من كلوريد الصوديوم — مرتبة حسب أهميتها فيما يلى:

١– تمييز النباتات ضد أيونى الصوديوم والكلور عند امتصاصها للماء الأرضى الملحى؛ فلا يصلا إلى داخل النبات بتركيزات سامة.

٢– حجز الأملاح فى الفجوات العصارية، ويظهر ذلك — مورفولوجيًا — على

صورة أعضاء نباتية عصيرية succulent توجد فيها نسبة عالية من الماء إلى المواد العضوية الجافة. وقد يحدث هذا الحجز للأملاح فى الأوراق المسنة. ولا يعتقد أن تلك الوسيلة يمكن أن يكون لها أهمية فى تجنب أضرار الأملاح الزائدة فى المحاصيل الاقتصادية.

٣- يوجد فى بعض النباتات تراكيب متخصصة لفرز وطرح الأملاح منها، كما فى النجيليات المحبة للملوحة، وهى نباتات ليست بالعصيرية، ولا توجد فيها فجوات عصارية كبيرة (عن Austin ١٩٨٩).

ونجد فى أوراق بعض النباتات (مثل الجنس *Atriplex*) تراكيب متخصصة تعرف باسم الغدد الملحية Salt Glands، أو الثانات الملحية Salt Bladders تتجمع فيها الأملاح من الأنسجة المحيطة بها، ثم تفرز منها بتركيزات عالية إلى سطح الأوراق؛ حيث تغسل من عليها بواسطة الندى أو ماء المطر.

٤- تُسقط بعض النباتات الصحراوية المحبة للملوحة أوراقها عند زيادة محتواها من الأملاح عن مستوى معين؛ الأمر الذى يمنع تراكم الأملاح فى باقى أجزاء النبات. وبالرغم من أن هذا الأسلوب فى التخلص من الأملاح ذو كفاءة عالية، إلا أن قيمته الزراعية — فى المحاصيل الاقتصادية — مشكوك فيها (عن Rains ١٩٧٩).

٥- يمكن للنباتات المحبة للملوحة وتلك التى يمكنها تحملها أن تؤمن لنفسها توازنًا أسموزيًا Osmoregulation داخليًا عن طريق خاصية النفاذية الاختيارية للأغشية الخلوية التى قد تسمح بمرور أيون معين إلى داخل الخلية، وتمنع أيونًا آخر. وقد تعمل على نقل أيون ثالث خارج الخلية. ويكون اختيار الأغشية الخلوية للأيونات التى تسمح بنفاذها حسب أهميتها للنبات ومدى حاجته إليها. ويكون للأغشية الخلوية المعرضة للبيئة الخارجية (فى الشعيرات الجذرية) دورها فى تحديد الأيونات التى يُسمح بمرورها إلى داخل النبات عندما يكون تركيز الأملاح منخفضًا أو متوسطًا. أما عند زيادة تركيز الأملاح فإن الكميات الممتصة من الأيونات غير المرغوب فيها تزداد بصورة غير

مناسبة؛ الأمر الذى يستتبع قيام الأغشية الخلوية الداخلية بعملية التنظيم الأسموزى فى الفجوات العصارية (Rains ١٩٨١).

٦- يعرف كثير من الأنواع النباتية — التى يرتبط تحملها للتركيزات العالية من كلوريد الصوديوم — بقدرتها على استبعاد أيون الكلور، أو أيون الصوديوم، أو كليهما من الوصول إلى النموات الخضرية من خلال أنظمة فيزيائية كيميائية خاصة، والتى منها إفراز الصوديوم من الجذور إلى التربة مرة أخرى، وقيام خلايا متخصصة من برانشيمية الخشب بالامتصاص. يحدث ذلك فى كل من النباتات المحبة للملوحة وتلك التى يمكنها تحملها.

ومن أمثلة تلك الحالة فى النباتات التى يمكنها تحمل الملوحة ما يلى (عن Jones ١٩٨١):

النوع النباتى	الأيون المستبعد
الشعير	الكلور والصوديوم
Festuca rubra	الكلور والصوديوم
القمح *Triticum aestivum*	الكلور والصوديوم
Agropyron elongatum	الكلور والصوديوم
فول الصويا	الكلور
الأفوكادو	الكلور
العنب	الكلور
الحمضيات	الكلور والصوديوم
الفواكه ذات النواة الحجرية	الكلور والصوديوم

وبصورة عامة .. فإنه باستثناء وجود غدد مفرزة للأملاح فى النباتات المحبة للملوحة halophytes تعمل على تخليصها من الحمل الزائد للأملاح، ولا يوجد لها نظير فى النباتات العادية glycophytes، فإن فئتى النباتات لا تختلفان فى باقى آليات تحمل الملوحة سوى كميًّا، حيث تكون النباتات المحبة للملوحة أكثر قدرة على تحديد تواجد

الأملاح فى الفجوات العصارية، وأكثر كفاءة فى استخدام المياه، وفى إنتاج المواد العضوية الذائبة المتوافقة، فضلاً عن تميز النباتات المحبة للملوحة بقدر أكبر من التأقلم الأسموزى، والتأقلم الإنزيمى، والتأقلم الثغرى. وتعطى تلك الخصائص النباتات المحبة للملوحة ميزة تنافسية فى ظروف الملوحة. ورغم أن معظم النباتات المحبة للملوحة يمكنها البقاء والنمو جيدًا فى الظروف غير الملحية، فإنها لا تكون منافسة للنباتات العادية تحت تلك الظروف (Seaman ٢٠١١).

علاقة صفة تحمل الملوحة بالنمو النباتى فى النباتات المحبة للملوحة

ينبغى أن تكون الإنزيمات، أو الأغشية الخلوية، ومكونات تلك الأغشية فى السيتوبلازم — فى النباتات المحبة للملوحة — قادرة على تحمل التركيزات العالية للأيونات غير العضوية، والمواد العضوية الذائبة التى توجد فى خلاياها، أو تكون النباتات مزودة بخصائص لفصل تلك المواد عن الأجزاء النباتية الحساسة فى حجيرات خاصة، فيما يعرف بالـ Compartmentation.

ويتطلب تراكم المواد العضوية الذائبة فى تلك النباتات، الحاجة إلى أن تكون إنزيماتها قادرة على تحمل الملوحة (الأمر الذى قد يجعلها أقل كفاءة من نظيراتها فى النباتات العادية)، وتخصيص حجيرات للأملاح فيها، والتمييز ضد أيونى الصوديوم والكلور عند امتصاص النبات للماء الملحى من التربة. كل ذلك يتطلب بذل طاقة، تكون دائمًا على حساب نمو النبات وقدرته الإنتاجية. ولذا .. نجد أن النباتات الملحية تكون — دائمًا — أقل نموًّا وإنتاجية من النباتات العادية، كما أنها تعطى أعلى نمو ممكن لها عندما تنمو فى بيئات يقل فيها تركيز الأملاح عما تكون عليه الحال فى البيئات التى تنمو فيها بصورة طبيعية (عن Rains ١٩٧٩، و Austin ١٩٨٩).

ويتعين الانتباه إلى تلك الحقيقة عند محاولة الاستفادة من صفة تحمل الملوحة (التى توجد فى النباتات البرية المحبة للملوحة) بمحاولة إدخالها فى النباتات المزروعة؛ ذلك

لأن النباتات البرية تصل إلى مرحلة الإزهار والإثمار فى وقت قصير على حساب نموها الخضرى (بهدف زيادة قدرتها على البقاء)، بينما يكون الهدف من زراعة المحاصيل الزراعية هو المحصول الاقتصادى الذى يعتمد — غالبًا — على النمو النباتى الجيد. ولذا .. نجد أن أنواع الجنس *Lycopersicon* البرية التى تتحمل الملوحة يكون نموها ضعيفًا مقارنة بنمو أصناف الطماطم التجارية (عن Tal ١٩٨٤).

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).

وجد ارتباط قوى جدًّا فى الشعير بين قدرة النباتات على الاحتفاظ بتركيز عالٍ 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).

هذا .. وتحد معظم الأنواع المحصولية 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 تمتلىء أماكن تخزين الأملاح بالأملاح، فإن الأملاح تتسرب منها وتؤثر فى الأنسجة الحساسة؛ مما يؤثر فى الحالة العامة للنبات.

الحد من تراكم الأيونات

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

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 الجلوماتك — 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 سلبيًّا 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 — لسمية 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 أمينى مركزى فى عملية تنظيم تمثيل الأحماض الأمينية الأساسية الأخرى. وبذا .. فإن النبات المعرض للملوحة يمكنه استخدام البرولين كمخزون نيتروجينى، وفى التنظيم الأسموزى (عن Rains ١٩٨١).

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

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

ويبدو أنه توجد علاقة قوية بين نوع المركبات العضوية الذائبة التى تتراكم فى

السيتوبلازم فى ظروف الملوحة العالية وبين الوضع التقسيمى، كما هو موضح فى جدول (١٠-٢) (عن Jones ١٩٨١).

جدول (١٠-٢): أمثلة لأنواع المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم فى بعض الأنواع النباتية.

النوع النباتى	العائلة	المركب العضوى
Suaeda monoica	Chenopodiaceae	Glycinebetaine
Suaeda maritima		
Atriplex spongiosa		
Spinacea oleracea		
Beta vulgaris		
Spartina x 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 بيبتيدات 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 تُعَدل 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).

اتجاهات التربية لتحمل الملوحة

يمكن تحسين تحمل الملوحة فى النباتات بأى من الوسائل التالية:

١- استئناس وتطوير النباتات المحبة للملوحة halophytes كمحاصيل بديلة، وهو الأمر الذى تناولناه بالشرح من قبل فى هذا الفصل.

٢- اللجوء إلى التهجينات النوعية، ونتناول هذا الأمر بالدراسة تحت مختلف المحاصيل فى الفصل الحادى عشر.

٣- الاستفادة من التباينات المتوفرة بالفعل فى مختلف المحاصيل الزراعة، كما سيأتى بيانه فى الفصل التالى.