الأساس الفسيولوجى لتحمل الملوحة فى النباتات

طبيعة تحمل الملوحة فى النباتات المحبة للملوحة

تنمو النباتات المحبة للملوحة - غالبا - فى بيئات تحتوى على كلوريد الصوديوم بتركيز ١٠٠-٢٥٠ مول/م٣ (يحتوى ماء البحر على نحو ٥٠٠ مول كلوريد الصوديوم /م٣)، مع تواجد بعض الأيونات السامة الأخرى أحيانا. 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/ م٣.. نجد أنه مقابل كل جرام من المادة الجافة العضوية التى يقوم النبات بتمثيلها، فإن عليه أن يتعامل مع ٣,٥جم من كلوريد الصوديوم؛ إما بالتخلص منها، أو 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.

٢- حجز الأملاح فى الفجوات العصارية، ويظهر ذلك - مورفولوجيا - 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 كبيرة 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 لاهى بالعصيرية، ولا يوجد فيها فجوات عصارية كبيرة (عن Austin ١٩٨٩).

ونجد فى أوراق بعض النباتات (مثل الجنس Atriplex) تراكيب متخصصة تعرف باسم الغدد الملحية Salt Glands ، أو المثانات 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.

٤ـ 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 ـ فى المحاصيل الاقتصادية ـ مشكوك فيها (عن Rains ١٩٧٩).

٥ـ يمكن للنباتات أن تؤمن لنفسها توازناً آسموزيا Osmoregulation داخليا عن طريق خاصية النفاذية الاختيارية للأغشية الخلوية التى قد تسمح بمرور أيون معين إلى داخل الخلية، وتمنع أيوناً 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 منخفضاً أو متوسطاً. أما عند زيادة تركيز الأملاح فإن الكميات الممتصة من الأيونات غير المرغوب فيها يزداد بصورة غير مناسبة؛ الأمر الذى يستتبع قيام الأغشية الخلوية الداخلية بعملية التنظيم الأسموزى فى الفجوات العصارية (Rains ١٩٨١).

٦ـ يعرف كثير من الأنواع النباتية ـ التى يرتبط تحملها للتركيزات العالية من كلوريد الصوديوم ـ 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.

ومن أمثلة تلك النباتات ما يلى (عن Jones ١٩٨١):

النوع النباتى	الأيون المُستبعد
الشعير	الكلوروالصوديوم
Féstuca rubra	الكلوروالصوديوم
القمح Triticum aestivum	الكلوروالصوديوم
Agropyron elongatum	الكلوروالصوديوم
فول الصويا	الكلور
الأفوكادو	الكلور
العنب	الكلور
الحمضيات	الكلوروالصوديوم
الفواكه ذات النواة الحجرية	الكلوروالصوديوم

التنظيم الآسموزى وأهميته

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 (القلية أو المتوسطة التحمل للملوحة mesophytes).

ولكى تحقق تلك النباتات توازناً آسموزيا بين الفجوات والسيتوبلازم.. يتراكم بسيتوبلازم خلاياها تركيزات عالية جداً من المواد العضوية الذائبة organic solutes ، مثل البرولين Proline، والجليسين بيتين glycinebetaine، والسوربتول Sorbitol، والجليسرول، وحامض الأوكساليك، والبيتين betaine، وغيرها حسب النوع النباتى. كما أن الأحماض العضوية ذات

الشحنة السالبة - مثل حامض الأوكساليك - تعمل على إحداث توازن مع أيونات الصوديوم المتراكمة ذات الشحنة الموجبة، ويعرف ذلك باسم التنظيم الآسموزى Osmoregulation.

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

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

كما أن دور البرولين فى التنظيم الآسموزى فى النباتات موضع جدل. فالبرولين يتراكم فعلا فى النباتات التى تتعرض لظروف قاسية (وخاصة نقص الرطوبة الأرضية)، ولكن يبدو أن ذلك يحدث كاستجابة لصدمة آسموزية شديدة، أو - ربما - لسمية الأملاح.

ومن المعلوم أن المركبات النيتروجينية - مثل البرولين - تنظم بكفاءة عالية عملية تخزين النيتروجين الضرورى للنبات. ويعد البرولين مناسباً لتحقيق هذا الهدف؛ لأنه نشط آسموزيا، 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 الآسموزى (عن Rains ١٩٨١).

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

إن قائمة المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم cytosolutes ـ فى النباتات الراقية ـ فى ازدياد مستمر، وتتضمن كحولات السكر sugar alcohols ، والأحماض الأمينية الـdipolar ، 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 (٨ـ٢) (عن Jones ١٩٨١).

جدول (٨ـ٢) : أمثلة لأنواع المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم فى بعض الأنواع النباتية.

النوع النباتى	العائلة	المركب العضوى
Suaeda monoica	Chenopodiaceae	Glycinebetaine
Suaeda maritima		
Atriplex spongiosa		
Spinaceae oleracea		
Beta vulgaris		
Spartina x townsendii	Graminae	
Diplochne fusa		
Puccinellia matitima	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) طرزاً 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.

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، والحاجة 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 دائماً على حساب نمو النبات وقدرته الإنتاجية. ولذا.. نجد أن النباتات الملحية تكون - دائماً - أقل نمواً 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 Austin١٩٨٩).

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 - غالباً - على النمو النباتى الجيد. ولذا.. نجد أن أنواع الجنس Lycopersicon البرية التى تتحمل الملوحة يكون نموها ضعيفاً مقارنة بنمو أصناف الطماطم التجارية (عن Tal ١٩٨٤).

علاقة الأساس الفسيولوجى لتحمل الملوحة بالاتجاه الذى يسلكه المربى فى تربية المحصول

يتوقف الاتجاه الذى يسلكه المربى لتحسين تحمل نباتاته للملوحة (أو الأساس الفسيولوجى المناسب لصفة تحمل الملوحة) على تركيز الأملاح فى الوسط أو البيئة التى يراد زراعة تلك النباتات فيها، كما يلى :

١- عندما تتوفر الأملاح فى البيئة بصورة غير عادية، ولكن بتركيزات منخفضة نسبياً :

يكون تحقيق التوازن الآسموزى مع الأملاح الخارجية - فى هذه الحالة - مقبولاً أيضياً؛ ذلك لأن ضرر الملح - عندما يوجد بتركيزات منخفضة فى البيئة الخارجية - يرجع أساساً إلى امتصاصه بكميات كبيرة، ثم انتقاله إلى مختلف الأنسجة النباتية. ويؤدى مجرد الحد من امتصاص الملح - فى هذه الحالة - إلى زيادة تحمل النبات للملوحة. ويعد الأرز والذرة من المحاصيل التى تستجيب لهذا الاتجاه فى التربية.

٢- عندما تتواجد الأملاح بتركيزات متوسطة :

لا يكفى مجرد التمييز ضد أيونى الصوديوم والكلور فى الامتصاص عندما يتواجدان فى المحلول الأرضى بتركيزات عالية، بل ينبغى أن يكون النبات قادراً على تحقيق توازن آسموزى مع الكميات التى تُمتص منهما، والتى يتعين فصلها فى الفجوات العصارية، مع

زيادة تركيز المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم لتحقيق التوازن المطلوب. ويعد الشعير والقمح وجنساهما (Hordeum، و Triticum) من النباتات التى تستجيب لهذا الاتجاه فى التربية لتحمل الملوحة، ولكن يحد من التقدم فى التربية - فى تلك الحالات - أن قدرة هذه النباتات على تكوين مزيد من الفجوات العصارية الكبيرة محدودة.

٣- عندما تتواجد الأملاح فى البيئة الخارجية بتركيزات عالية :

يتعين فى هذه الحالات أن تكون النباتات قادرة على تخصيص حجيرات للأملاح مفصولة عن السيتوبلازم، كما فى النباتات العصيرية، أو أن يوجد فيها غدد ملحية للتخلص من الأملاح الزائدة، وخاصة فى النباتات غير العصيرية السريعة النمو. وهذه النباتات تكون بطبيعتها من المحبة للملوحة (Yeo & Flowers ١٩٨٩).

تقييم النباتات لتحمل الملوحة

يُواجَه المربى الذى يهتم بتحسين تحمل النباتات للملوحة بمشكلة كبرى، وهى أن صفة التحمل ليست صفة بسيطة، وإنما هى محصلة لعدة صفات تعتمد على أسس فسيولوجية مختلفة يصعب - غالبا - تحديدها. إن الشكل الظاهرى النهائى للنبات (والمتمثل فى استجابته للملوحة) ربما لايكون دليلاً على قيمته الوراثية الحقيقية - بالنسبة لتحمله للملوحة - لأن الصفات المفيدة يمكن أن يختفى دورها فى وجود عوامل أخرى؛ فيبدو النبات حساساً.

إن تقييم النباتات للملوحة - بزراعتها فى وسط ملحى - قد يترتب عليه إظهار بعض الاختلافات المورفولوجية المتوفرة، ولكن عدم ظهور اختلافات مورفولوجية لايعنى عدم وجود تباينات وراثية مفيدة. ومن الأهمية بمكان التعرف على تلك التباينات؛ ليمكن جمعها فى تركيب وراثى واحد (عن Yeo & Flowers ١٩٨٩).

العمر المناسب للتقييم

قيم الباحثون النباتات لتحمل الملوحة فى مراحل مختلفة من نموها؛ بدءا بمرحلة تشبع