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

البذرة بالماء، ومروراً بإنباتها (فى الدراسات المختبرية)، وبزوغ البادرات من التربة، ومراحل: نمو البادرات، وتكوين الخلفات، والنبات البالغ. ولا يوجد اتفاق بين الباحثين حول العلاقة بين تحمل الملوحة ومرحلة النمو النباتى. ويمكن أن نجد فى داخل المحصول الواحد ـ مثل الشعير ـ اختلافات بين السلالات فى تحملها للملوحة فى مختلف مراحل نموها (Norlyn ١٩٨٠). كما أن طبيعة تحمل الملوحة ـ أى أساسها الفسيولوجى ـ يختلف باختلاف مرحلة النموالنباتى.

وقد أظهرت نتائج عديد من الدراسات أن الملوحة يمكن أن تقلل من سرعة إنبات البنور، بينما قد لايكون لها تأثير فى نسبة الإنبات النهائية. كما أظهرت بعض النباتات تحملاً أكبر للملوحة فى طور البادرة عما فى مراحل النمو التالية، بينما كان العكس صحيحاً فى نباتات أخرى. ويصر بعض الباحثين على أن تحمل الملوحة فى مرحلة إنبات البنور هى أفضل دليل على تحمل النبات للملوحة؛ لأن عدم قدرة البنور على الإنبات فى وجود الملوحة يجعل أية قدرة محتملة لتحمل الملوحة ـ فى مراحل النمو اللاحقة لذلك ـ عديمة الجدوى إذا كانت زراعة النباتات فى أراض ملحية، أو كان ريها بمياه يرتفع فيها تركيز الأملاح منذ البداية (عن Ramage ١٩٨٠).

## الاعتماد على خاصية تراكم المركبات العضوية الذائبة

برغم أن عديداً من المركبات العضوية الذائبة تتراكم فى السيتوبلازم ـ فى النباتات التى تتحمل الملوحة لدى تعرضها لظروف الملوحة ـ إلا أنه لايمكن الاعتماد على تلك الخاصية كوسيلة روتينية للتقييم للملوحة فى مختلف الأنواع النباتية؛ لاختلافها فى أنواع المركبات التى تتراكم فيها، ولاختلاف الآراء حول كون تلك المركبات وسيلة من جانب النبات لزيادة قدرته على تحمل الملوحة، أم أنها تتكون بسبب الأضرار التى تحدثها الملوحة العالية.

## الرى بمياه البحر لتقييم تحمل النباتات للملوحة

يحتوى ماء البحر على تركيزات منخفضة جداً من عنصرى النيتروجين والفوسفور، وكميات وافرة من عنصرى البوتاسيوم والكالسيوم، وتركيزات عالية من عنصرى المغنيسيوم

والكبريت. ولكن الصفة المميزة الواضحة لمياه البحر هى احتواؤها على تركيز عالٍ جداً من عنصرى الصوديوم والكلور يصل إلى نحو ٠,٥ مولار كلوريد صوديوم. ومن جميع هذه العناصر.. فإن الصوديوم ليس من العناصر الضرورية للنباتات الراقية، بينما يعد الكلور من العناصر الصغرى (جدول ٨ ـ٣).

جدول (٨ ـ٣) : متوسط تركيز مختلف العناصر فى مياه البحر (عن Cooper ١٩٨٢)

| العنصر | التركيز (جزء فى المليون) |
|---|---|
| النيتروجين | ٠,٥ |
| الفوسفور | ٠,٠٥ |
| البوتاسيوم | ٣٨٠ |
| الكالسيوم | ٤٠٠ |
| المغنيسيوم | ١٢٧٠ |
| الحديد | ٠,٠١ |
| المنجنيز | ٠,٠٠٥ |
| البورون | ٤,٦ |
| النحاس | ٠,٠٤ |
| الموليبدنم | ٠,٠٠١ |
| الزنك | ٠,٠١ |
| الصوديوم | ١٠٥٦٠ |
| الكلور | ١٨٩٨٠ |
| الكبريت | ٨٨٤ |
| البروم | ٦٥ |
| الاسترونتيم | ١٣ |
| السيليكون | ٢ |
| الألومنيوم | ١ |
| الفلور | ١,٤ |
| اليود | ٠,٠٥ |

وبالمقارنة بمياه البحر.. فإن المحلول الأرضى يكون فى معظم الأراضى مخففاً، ويمثل تركيز الأيونات فيه محصلة النقص فى تلك العناصر الناشئ عن امتصاص النبات لها، والزيادة الناشئة عن تيسرها من صورها غير الذائبة فى التربة. وتتأثر تلك المحصلة بعديد من العوامل، مثل : الأمطار، والرى، والتسميد، ونشاط الجذور والكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة. أما المحاليل المغذية.. فإنها تحتوى على تركيزات عالية ـ بالتركيز المناسب للنمو النباتى ـ من جميع العناصر الضرورية للنبات (جدول ٨ـ٤).

جدول (٨ ـ٤) : مقارنة بين تركيز العناصر المغذية الكبرى للنبات (بالجزء فى المليون) فى المحلول الأرضى لتربة عادية، وفى محلول مغذ قياسى، وفى ماء البحر (عن Epstein وآخرين ١٩٧٩).

| العنصر | المحلول الأرضى | المحلول المغذى | ماء البحر |
|---|---|---|---|
| البوتاسيوم | ٣٠ | ٢٣٥ | ٣٨٠ |
| الكالسيوم | ٧٥ | ١٦٠ | ٤٠٠ |
| المغنيسيوم | ٧٥ | ٢٤ | ١٢٧٢ |
| النيتروجين | ١٠٠ | ٢٢٤ | ٠,٠٠١ ـ ٠,٧٠ |
| الفوسفور | ٠,٠١٥ | ٦٢ | ٠,٠٠١ ـ ٠,١٠ |
| الكبريت | ٣٨ | ٣٢ | ٨٨٤ |

## الرى بمحاليل ملحية مجهزة لتقييم تحمل النباتات للملوحة

لم يقتصر تقييم النباتات لتحمل الملوحة على استعمال كلوريد الصوديوم فقط فى وسط النمو؛ حيث استخدمت أيضا أملاح كلوريد الكالسيوم، وكلوريد البوتاسيوم، وكبريتات البوتاسيوم، وكلوريد المغنيسيوم، وكبريتات المغنيسيوم، وكربونات الصوديوم، وبيكربونات

الصوديوم، وكبريتات الصوديوم. وقد استخدمت تلك الأملاح إما منفردة، وإما فى توافيق مختلفة مع كلوريد الصوديوم، وإما مع بعضها البعض.

كذلك درست استجابة النباتات للأملاح بزراعتها فى أراض ملحية، وبالرى بمياه ملحية تحتوى على تركيزات مختلفة من مختلف الأملاح. وتظهر النباتات - عادة - قدراً أكبر من الحساسية للملح المنفرد عما تظهره لمجموعة من الأملاح التى تستخدم معاً. وربما كان ذلك بسبب عدم التوازن فى العناصر المغذية، والسمية التى قد تحدثها أيونات معينة عند استخدام ملح واحد منفرد فى التقييم لتحمل الملوحة (عن Ramage ١٩٨٠).

## مقاييس تحمل الملوحة فى النباتات

من أهم المقاييس التى استخدمت فى تقييم النباتات لتحمل الملوحة مايلى :

١- معدل تشرب البذور بالماء معبراً عنه بالزيادة فى وزن البذور، أو حجمها.

٢- نسبة الإنبات.

٣- سرعة الإنبات؛ علما بأن الملوحة تؤثر فى سرعة الإنبات بدرجة أكبر من تأثيرها فى نسبة الإنبات النهائية.

٤- بقاء البادرات حية تحت ظروف الملوحة.

٥- معدل نمو البادرات.

٦- الوزن الطازج للبادرات.

٧- النمو الجذرى والقمى.

٨- ارتفاع النبات.

٩- القدرة على تكوين الخلفات.

١٠- مساحة الأوراق.

١١- وزن المحصول الاقتصادى ومختلف مكوناته.

١٢- القدرة على امتصاص عنصر البوتاسيوم تحت ظروف الملوحة.

١٣- الحركة الدورانية للسيتوبلازم.

١٤- بلزمة الخلايا.

١٥- معدل التنفس.

١٦- القدرة على البقاء فى الظروف الملحية (عن Shannon ١٩٧٩، وRamage ١٩٨٠).

ويجب أن يكون التقييم فى مرحلة معينة من النمو النباتى، وباستخدام مستوى معين من الأملاح، لايكون تركيز الكالسيوم منخفضاً فيها. وبرغم أن النباتات التى تنتخب لتحمل الملوحة فى طور مبكر من النمو ربما لاتكون مقاومة فى مراحل أخرى متأخرة، إلا أن التقييم فى مراحل النمو المتأخرة يستلزم وقتاً وجهداً أكبر، ويكون أكثر تكلفة، ويتطلب طرقاً للتقييم أكثر تعقيداً.

## التقييم لتحمل الملوحة فى مزارع الأنسجة

لقد أمكن - فى عدة حالات - إنتاج سلالات خلايا قادرة على تحمل تركيزات عالية من الملوحة فى مزارع الأنسجة، ولكن حالات قليلة منها فقط هى التى استمرت فيها الدراسة إلى حين إنتاج نباتات كاملة من تلك السلالات، واختبار مقاومتها للملوحة تحت ظروف الحقل. وإلى أن تتحقق تلك الخطوة يظل من المستحيل تعرف الفرق بين سلالات الخلايا القادرة على تحمل الملوحة (لأنها تحمل جينات مفيدة فى هذا الشأن)، وتلك التى تكون قادرة على مجرد تحمل الضغط الأسموزى العالى (وليس تحمل الملوحة)، والسلالات التى تعتمد فى تحملها للملوحة على توفر عديد من الموارد اللازمة لها فى البيئة المغذية.

ومن أهم مزايا استخدام مزارع الأنسجة فى الانتخاب لتحمل الملوحة ما يلى:

١ـ عدد الخلايا الكبير الذى يمكن تقييمه لتحمل الملوحة، وسهولة إجراء اختبار التقييم، وتجانس الاختبار.

٢ـ سهولة التعامل مع الخلايا المفردة ودراسة الأساس الفسيولوجى لتحمل الملوحة فيها عن النباتات الكاملة.

٣ـ تواجد فرصة أكبر لنشوء اختلافات وراثية فى مزارع الخلايا عما فى النباتات الكاملة، مع سهولة معاملة المزارع بالعوامل المطفرة.

٤ـ يفيد استخدام مزارع الخلايا الأحادية فى اكتشاف الطفرات المتنحية التى تتحمل الملوحة بسهولة.

ولعل أكبر عيوب مزارع الأنسجة فى هذا الشأن أن طبيعة تحمل الملوحة فى سلالات الخلايا قد تختلف جذريا عما فى النباتات الكاملة. ولهذا السبب.. فقد كان النجاح فى إنتاج نباتات كاملة قادرة على تحمل الملوحة ـ بهذه الطريقة ـ محدوداً. وحتى فى تلك الحالات (كما فى التبغ) كان من الضرورى استمرار تعريض المزارع والنباتات التى نشأت منها ـ فى جميع مراحل إنتاجها وإكثارها الجنسى بعد ذلك ـ تحت ظروف الملوحة العالية للمحافظة على بقاء صفة تحمل الملوحة فيها.

وفى إحدى الدراسات تبين أن نباتات التبغ المتحملة للملوحة ـ والتى أمكن الحصول عليها من مزارع الخلايا ـ كانت سداسية التضاعف؛ الأمر الذى يضيف إلى قوة نمو السلالة المنتخبة، مما يفيد أن انتخابها يحتمل أن يكون راجعاً إلى قوة نموها الطبيعى، وليس إلى تحملها للملوحة (عن Yeo & Flowers ١٩٨٩).

وعلى خلاف ذلك.. فقد أوضحت الدراسات التى أجريت على البرسيم الحجازى أن سلالات الخلايا ـ التى انتخبت لتحملها للملوحة ـ كانت أكثر قدرة على النمو فى البيئة

الملحية عما فى البيئة الخالية من الملوحة؛ فقد نمت السلالة المنتخبة بصورة أفضل من الخلايا غير المنتخبة عندما كان تركيز كلوريد الصوديوم فى البيئة المغذية ١٪، وتطلبت تلك السلالة المنتخبة وجود كلوريد الصوديوم بتركيز ٠.٥٪ لإعطاء أفضل نمو، بينما كان نموها فى غياب كلوريد الصوديوم ٢٠٪ من نمو الخلايا غير المنتخبة (وغير المتحملة للملوحة) فى ظروف غياب الملوحة. هذا.. بينما تساوى نمو السلالة المنتخبة لتحمل الملوحة والخلايا غير المنتخبة عندما كان تركيز كلوريد الصوديوم فى البيئة المغذية ٠.٥٪ (عن Rains ١٩٨١).

ومن أمثلة الدراسات التى أجريت فى هذا المجال ما قام به Bourgeais (١٩٨٧) من زيادة القدرة على تحمل الملوحة فى مزارع صنف الطماطم St-Pierre بتكرار زراعتها أربع مرات فى بيئات تحتوى على تركيزات متزايدة من كلوريد الصوديوم، وصلت إلى ١٠٠مللى مول، واستخدم فى هذه المزارع إما القمة الطرفية للسيقان، وإما كالس حصل عليه من جنور وسيقان النباتات.

ويذكر Stavarek & Rains (١٩٨٤)، و Duncan & Widholm (١٩٨٦) أنه أمكن انتخاب سلالات خلايا Cell Lines مقاومة للملوحة من مزارع الخلايا لعدة محاصيل زراعية، منها الفلفل، والبرتقال، وقصب السكر، والبن، والأرز، والقمح، والشوفان، والدُخن اللؤلؤى، والقلقاس، والبرسيم الحجازى، والتبغ، والداتورة.

وتكمن المشكلة - فى برامج التربية التى من هذا النوع - فى صعوبة الحصول على نباتات كاملة من سلالات الخلايا المنتخبة لمقاومة الملوحة (أو غيرها من العوامل البيئية)؛ ففى البرسيم الحجازى.. كانت المزرعة التى أجرى فيها الانتخاب قديمة، وحدث فيها تغيرات وراثية فى صفات كثيرة إلى درجة لم تسمح بنمو النباتات التى تميزت منها لاختبار مقاومتها للملوحة وإكثارها. وفى الأرز.. كانت النباتات المقاومة للملوحة الناتجة من سلالات الخلايا عقيمة بدرجة عالية. وفى القلقاس.. ماتت النباتات النامية من سلالات الخلايا قبل

اختبارها، ولكن أمكن الحصول على نباتات من مزارع الدخان كانت قادرة على النمو فى محلول مغذ يحتوى على ٢.٦٢٪ كلوريد صوديوم.

وقد تراوح تركيز كلوريد الصوديوم الذى تحملته سلالات الخلايا - فى مزارع الأنسجة - من ٠.٥٢٪ فى مزارع الخلايا المعلقة Cell suspension culture فى التبغ إلى ١.٠٠٪ فى مزارع الكالوس فى Nicotiana sylvestris ، والفلفل، والبرسيم الحجازى، وإلى ١.٠٥٪ فى مزارع الكالوس فى الأرز، و ٢.٠٠٪ فى مزارع الخلايا المعلقة فى N. Sylvestris .

وتتميز سلالات الخلايا المنتخبة لتحملها للملوحة (كما فى البرسيم الحجازى) بزيادة محتواها من أيون البوتاسيوم - حتى فى وجود تركيزات عالية من أيون الصوديوم - وهى تتشابه فى ذلك مع النباتات الكاملة التى تتحمل الملوحة (عن Rains ١٩٨١).

وقد أمكن انتخاب نباتات من المسترد الهندى Brassica juncea (صنف Prakish) بتقييم النباتات التى نتجت من زراعة ٢٦٢٠ ورقة فلقية فى بيئة ملحية؛ حيث عاشت ٣ نباتات منها، وأنتجت نمواً خضرياً جيداً فى تلك البيئة. أكثرت تلك النباتات باستخدام مزارع البراعم الإبطية فى بيئة خالية من كلوريد الصوديوم. وقد استمر نمو اثنتين من تلك السلالات إلى أن أنتجتا بنوراً.

زرعت هذه النباتات فى الصوبة؛ حيث أظهرت انعزالات كثيرة فى كل الصفات التى درست. ومع استمرار الانتخاب فيها لثلاثة أجيال، أظهرت النباتات التى تتحمل الملوحة قدراً كبيراً من التجانس فى الصفات الاقتصادية الهامة، وأيضاً فى مقاومة الملوحة، إلا أن السلالتين اختلفتا فى صفة تحملهما للملوحة خلال مراحل نموهما الخضرية والتكاثرية (Jain وآخرون ١٩٩٠).

كذلك تمكن Bouharmont (١٩٩٠) من انتخاب عدة سلالات من أصلى الموالح Poncirus trifoliata، و Citrange carrizo بتحفيز تكوين نموات خضرية جديدة من نموات الكالوس

التى تنتج من زراعة أجنة هذين النوعين - لمدة خمسة شهور - فى بيئة تحتوى على ١٪ كلوريد صوديوم. وقد تميزت النباتات التى أنتجت من تلك المزارع بقدرتها على النمو فى محاليل مغذية تحتوى على كلوريد صوديوم بتركيز ١٪، بينما لم يمكن لنباتات المقارنة تحمل تركيز ٠.٢٥٪ كلوريد صوديوم. وقد نمت أنسجة الكالوس التى نتجت من زراعة أجنة تلك النباتات - بنجاح - فى بيئات مغذية ملحية.

ومقارنة بسلالات الخلايا غير المنتخبة لتحمل الملوحة.. تمكنت سلالات الموالح المنتخبة لتحمل الملوحة من احتفاظها بمستوى طبيعى من أيونى البوتاسيوم والكالسيوم، بالرغم من وجود تركيز عال من أيونى الصوديوم والكلور فى البيئة المغذية. وقد تراكم أيونى الصوديوم والكلور بتركيزات عالية فى الفجوات العصارية لسلالات خلايا أصل الـPoncirus المنتخبة لتحمل الملوحة، بينما لم يحدث ذلك فى سلالات خلايا أصل الـ Citrange التى بدت كأنها قادرة على استبعادهما.

كذلك تمكن الباحث (Bouharmont ١٩٩٠) من الحصول على نباتات أرز قادرة على تحمل الملوحة من مزارع كالوس تحتوى على ١.٥٪ كلوريد صوديوم، وذلك بعد نحو أربعة شهور من تعرض خلايا الكالوس لتلك الظروف.

يتبين مما تقدم أن انتخاب سلالات خلايا قادرة على تحمل الملوحة فى مزارع الأنسجة أمر ممكن، وإنتاج نباتات من الخلايا أمر ممكن - أيضاً - فى عديد من النباتات، ولكن إنتاج النباتات من سلالات الخلايا المنتخبة لتحملها للملوحة كان إلى الآن محدوداً (ربما بسبب بقاء المزارع لمدة طويلة قبل محاولة إنتاج النباتات منها)، كما كانت النباتات الكاملة الناتجة من سلالات الخلايا - فى عديد من تلك الحالات - غير متميزة فى تحملها للملوحة؛ أى إنها لم تكن أكثر تحملاً للملوحة من نباتات الصنف أو السلالة الأصلية التى استخدمت فى عمل مزارع الأنسجة، وهو ما يجعلها - فى مثل هذه الحالات - عديمة الأهمية. ومع

ذلك.. فقد كانت هناك حالات قليلة ـ من مزارع الأنسجة ـ تميزت فيها نباتات كاملة قادرة على تحمل الملوحة.

## وراثة صفتى القدرة على تحمل الملوحة والحساسية لها

إن الحالات التى تعرف فيها جينات رئيسية تتحكم فى صفة تحمل الملوحة أو الحساسية لها قليلة، ومن أمثلتها ما يلى :

١ـ يتحكم جين واحد متنحٍ فى صفة الحساسية لكلوريد الصوديوم فى فول الصويا؛ حيث لايمكن للنباتات الحاملة لهذا الجين ـ بحالة أصيلة ـ منع انتقال أيون الكلور من الجذور إلى النموات الخضرية.

٢ـ يتحكم جين آخر متنح sd (نسبة إلى فعل الجين Scabrous diminutive) فى صفة الحساسية للملوحة العالية فى الفلفل؛ حيث تكون النباتات الحاملة له بصورة أصيلة أقل كفاءة فى استبعاد الصوديوم وامتصاص البوتاسيوم من النباتات العادية؛ الأمر الذى يؤدى إلى حالة من عدم التوازن الأيونى فى النبات.

٣ـ تعرف طفرة تؤدى إلى انخفاض فى الضغط الآسموزى بخلايا النبات Arabidopsis thaliana .

٤ـ يوجد فى الذرة طفرة يوجد بها نقص فى البرولين. وبالمقارنة.. تعرف طفرة فى البكتيريا Salmonella typhimurium يزيد فيها إنتاج البرولين (عن Tal ١٩٨٤).

وقد درس Ashraf وآخرون (١٩٨٦) درجة توريث القدرة على تحمل الملوحة ـ على النطاق الضيق ـ فى سبعة أنواع نباتية، وكان دليلهم على تحمل الملوحة هو مدى نمو جذور النباتات بعد بقائها لمدة ثلاثة أسابيع فى محلول مغذٍ يحتوى على كلوريد الصوديوم. وكانت درجات التوريث المقدرة كما يلى :