الخصائص التى يُجرى الانتخاب على أساسها

إن من أهم الخصائص التى يمكن أن يُجرى الانتخاب على أساسها لتحمل سمية العناصر — ومنها الألومنيوم — ما يلى:

١- الوزن الجاف للنموات الخضرية تحت ظروف الشدّ.

٢- طول الجذور فى المزارع المائية تحت ظروف الشدّ.

٣- تشوهات الجذور وتلونها — فى حالة سمية الألومنيوم — فى المزارع المائية تحت ظروف الشدّ.

٤- المحصول، مع قياس المحصول تحت ظروف كل من الشدِّ وعدم الشدِّ، وذلك للآباء وسلالات التربية، وليس للنباتات الفردية فى الأجيال الانعزالية (Singh ١٩٩٣).

التقدم فى التربية لتحمل الألومنيوم

تتباين الأنواع النباتية فى شدة تحملها للألومنيوم، ومن أكثرها تحملاً: الكاسافا واللوبيا والفول السودانى وبسلة بيجون والبطاطس والأرز والراى. ويعد الراى أكثر الحبوب النجيلية تحملاً للألومنيوم، يليه الترتيكيل، فالقمح، فالشعير (Hede وآخرون ٢٠٠١).

تربية القمح

تتوفر اختلافات كثيرة — طبيعية — بين أصناف القمح فى مدى حساسيتها، وتحملها لارتفاع تركيز الألومنيوم الذائب فى التربة. وقد أفاد ذلك كثيرًا فى منع اندثار زراعة القمح فى دولة مثل البرازيل التى تتميز بتربتها العالية الحموضة، والتى يزيد فيها تركيز الألومنيوم الميسر إلى درجة السمية.

بدأت تربية القمح لتحمل الألومنيوم — فى البرازيل — فى عام ١٩١٩ فى أراض شديدة الحموضة. ومن خلال هذا البرنامج اكتشفت صفة تحمل التركيزات العالية من الألومنيوم فى الصنف Polyssu، وهو الذى نقلت منه هذه الصفة إلى جميع الأصناف

التى انتشرت بعد ذلك فى الزراعة فى البرازيل؛ مثل: Frontana، و Rio Nigro، و Bage، و Trintani، و IAS 54، و IAS55، و Londrina. وتنتج هذه الأصناف من ٤-٥ أطنان من القمح/هكتار فى الأراضى العالية الحموضة — التى تبلغ مساحتها ملايين الهكتارات — دونما حاجة إلى إضافة الجير إليها لتعديل الـ pH.

وفى ولاية أوهايو الأمريكية اختبر ٤٣ صنفًا وسلالة من القمح فى أرض ينخفض فيها الرقم الأيدروجينى إلى ٤,٣، ويرتفع فيها كثيرًا تركيز الألومنيوم الذائب، ووجد أن الصنفين Fulton، و Thorne كانا أكثرها تحملاً؛ حيث أنتجا من ٦٠٪-٨٠٪ من محصولهما عند هذا المستوى المنخفض من الـ pH مقارنة بما انتجاه عندما أضيف ٢,٢ طنًّا من الجير/هكتار؛ لتعديل رقم pH التربة ليصبح ٥,٢، بينما لم تنتج الأصناف الأخرى سوى ٢٠٪-٣٠٪ من محصولها تحت ظروف انخفاض الـ pH.

وقد تم التوصل إلى طرق لاختبار تحمل الألومنيوم فى طور البادرة تحت ظروف البيوت المحمية، حيث تُنمّى النباتات فى محاليل مغذية يضاف إليها تركيزات معلومة من الألومنيوم.

وأوضحت الدراسات الوراثية أن تحمل القمح للتركيزات العالية من الألومنيوم يتحكم فيه جين واحد سائد، ولكن يبدو أن تلك الصفة يتحكم فيها جينات مختلفة فى كل من الأصناف Atlas 66، و Blueboy، و Pennoll.

وتتميز الأصناف التى تتحمل التركيزات العالية من الألومنيوم الميسر فى التربة بقدرة جذورها على إفراز مواد ترفع الـ pH فى التربة المحيطة بالجذور مباشرة (حيث يتم امتصاص العناصر)؛ الأمر الذى يؤدى إلى ترسيب الألومنيوم فيها. ويلاحظ أن ارتفاع pH التربة يحدث عند زراعة هذه الأصناف فى كل أجزاء التربة التى يصل إليها نمو الجذور، بينما يكون تعديل الـ pH فى الطبقة السطحية فقط من التربة (طبقة الحرث) عند إضافة الجير. وتعرف تلك الخاصية النباتية المؤثرة فى pH التربة — كذلك — فى كل من: الذرة، والسورجم، وفول الصويا، والعِكرش fescue، وعشب weeping lovegrass (عن Frey ١٩٨١، و Lewis & Christiansen ١٩٨١).

ومن جهة أخرى .. وجد أن اختلاف أصناف القمح فى تحملها لزيادة الألومنيوم كان مرده إلى اختلافها فى تركيب الغشاء البلازمى الخارجى Plasmalemma لخلايا القمة النامية للجذور، الذى يتحكم فى دخول الأيونات إلى خلايا الجذر. فمثلاً .. وجد أن تركيز الألومنيوم – الذى ينفذ معه العنصر من خلال الغشاء البلازمى – يبلغ فى الصنف المتحمل Atlas 66 من ١٠٠–٢٠٠ مثل التركيز الذى ينفذ معه العنصر من خلال الغشاء البلازمى للصنف الحساس Brevor. وبمجرد نفاذ الألومنيوم إلى داخل الخلايا فإنه يضرها بدرجة متساوية فى كل من أكثر الأصناف تحملاً وأكثرها حساسية (عن Devine ١٩٨٢).

تربية الذرة

تتوفر الاختلافات الوراثية فى القدرة على تحمل التركيزات العالية من الألومنيوم فى الذرة. وقد أوضحت الدراسات الوراثية أن هذه الصفة بسيطة وسائدة. ولكن نظرًا لوجود اختلافات كبيرة فى مستويات تحمل الألومنيوم بين سلالات الذرة وفى العشائر الانعزالية .. لذا يعتقد وجود عدة آليلات لتحمل الألومنيوم فى موقع جينى واحد. ولم يمكن إثبات وجود أى تأثير أمى (سيتوبلازمى) فى الصفة.

تربية الشعير

أمكن فى الشعير – كذلك – التعرف على جين واحد سائد يتحكم فى صفة تحمل التركيزات العالية من الألومنيوم. ويوجد هذا الجين – الذى أعطى الرمز Alp – فى الصنفين Dayton، و Smooth Awn 86 (عن Devine ١٩٨٢).

تربية الطماطم

وجد Foy وآخرون (١٩٧٣) اختلافات جوهرية بين أصناف الطماطم فى قدرتها على النمو فى أراض ذات pH ٤,٢. وكانت أكثر الأصناف حساسية هى Tuckers Favorite، و Anahu، وأكثرها تحملاً Ace، و Owyhee.

وقد احتوت جذور الأصناف المقاومة على كميات أقل من الألومنيوم مما فى جذور الأصناف الحساسة.

كذلك أمكن انتخاب عدة سلالات خلايا Cell lines من صنف الطماطم مارجلوب Marglobe بعد زراعتها فى بيئة مغذية، تحتوى على ألومنيوم فى صورة Al-EDTA بتركيز ٢٠٠ ميكرومول، واحتفظت هذه السلالات بصفة تحمل الألومنيوم حتى مع استمرار نموها فى مزارع ينقصها العنصر، لكن لم يمكن إنتاج نباتات من هذه السلالات؛ لأن الكالس كان مسنًا.

تربية الجزر

أمكن انتخاب سلالات خلايا من الجزر متحملة للتركيزات المرتفعة من الألومنيوم، وهو على صورة كلوريد الألومنيوم، وأمكن إنتاج نباتات كاملة منها. وقد لقحت هذه النباتات ذاتيًا، واختبرت بادراتها فى محلول مغذ يحتوى على تركيز مرتفع من كلوريد الألومنيوم، ووجد أنها كانت على درجة عالية من القدرة على التحمل.

وقد تبين أن سلالات الخلايا التى تتحمل الألومنيوم تفرز فى بيئتها المغذية كميات من حامض الستريك أكثر مما تفرزه السلالات الحساسة، كما أمكن التغلب على سمية التركيزات العالية من الألومنيوم بإضافة حامض الستريك أو الماليك إلى البيئة المغذية. ويبدو أن حامض الستريك الذى تفرزه السلالات — التى تتحمل الألومنيوم — يتحد مع العنصر ويجعله فى صورة مخلبية؛ مما يعنى تعرض الخلايا لتركيزات منخفضة من الألومنيوم تكون أقل ضررًا عليها (عن Starvek & Rains ١٩٨٤).

تربية الفاصوليا

تتوفر القدرة على تحمل التركيزات العالية من الألومنيوم فى صنف الفاصوليا الخضراء Dade، وهى الصفة التى تُستحث فى النباتات بفعل تعرضها للتركيزات العالية من العنصر. وعلى الرغم من معاناة هذا الصنف فى بداية تعرضه لصدمة الألومنيوم فى

صورة ضعف فى معدل استطالة الجذور — كما فى صنف آخر حساس (Romano) — فإنه سريعًا ما يتغلب على تلك الصدمة فى الوقت الذى تستمر فيه معانة الصنف الحساس (Cumming وآخرون ١٩٩٢).

وبدراسة طبيعة تحمل سمية الألومنيوم فى الفاصوليا، وجد أن الأصناف الأكثر تحملاً — مثل F-15، و Superba كانت أعلى فى معدل نموها الجذرى، كما وجد أن تمثيل الكالوز ارتبط إيجابيًّا مع تركيز الألومنيوم الداخلى بالجذور، وكان دليلاً على سمية الألومنيوم والحساسية له. وبينما يمكن اعتبار كلتا الصفتين مفيدتان فى تقسيم أصناف الفاصوليا حسب تحملها للألومنيوم، فإن صفة معدل استطالة الجذور كانت الأفضل (Massot وآخرون ١٩٩٢).

وتبين لدى مقارنة تأثير تركيز عال من الألومنيوم (٢٠ ميكرومول) على كل من سلالتى الفاصوليا: الحساسة VAX-1، والمتحملة Quimbaya أن الفعل الأولى للألومنيوم فى كلا التركيبين الوراثيين هو وقف استطالة الجذور، ولكن هذا التأثير يقل تدريجيًّا فى كلا التركيبين الوراثيين إلى أن يصبح معدومًا فى الصنف المتحمل فى خلال ٢٤ ساعة من بدء المعاملة، بينما تحدث أضرار كبيرة بجذور التركيب الوراثى الحساس — الذى لا يحدث فيه التعافى بسرعة كافية — وذلك فى خلال ١٢ ساعة من بدء المعاملة. ويبدو أن صفة التحمل — التى تنشط وتستمر فى الصنف المتحمل — تعتمد على تطوير آلية للتخلص من الألومنيوم فى كل من منطقة الانتقال transation zone والاستطالة elongation zone بالجذور (Rangel وآخرون ٢٠٠٧).

تربية القلقاس

أظهر صنف القلقاس Lehua Maoli قدرًا أكبر من قوة النمو وتحمل الألومنيوم عن الصنف Bun Long، وكان الفرق بينهما أعلى ما يمكن عندما كان تركيز الألومنيوم فى مزرعة مائية ٨٩٠ ميكرومول (Miyasaka وآخرون ١٩٩٣أ). ولقد ازداد جوهريًّا محتوى جذور الصنف المتحمل للألومنيوم من الكالسيوم والنحاس ومحتوى أوراقه من

البوتاسيوم عن محتوى جذور وأوراق الصنف الحساس، وكان ذلك مصاحبًا بقدرة أكبر للصنف المتحمل على استبعاد الألومنيوم من أنصال الأوراق (Miyasaka وآخرون ١٩٩٣ب).

وراثة تحمل الألومنيوم

أجريت معظم دراسات وراثة تحمل الألومنيوم على محاصيل الحبوب، وخاصة القمح والراى والشعير والسورجم، والتى كانت صفة التحمل فى معظمها بسيطة، ولكن وجد — مؤخرًا — من دراسات أجريت على الأرز أن صفة التحمل فيه كمية.

القمح

دُرست وراثة تحمل الألومنيوم — باستفاضة — فى القمح، الذى يُعرف منه عديدًا من الأصناف المقاومة، منها: Atlas 66، و ET3، وWaalt، و BH 1146، و Neepawa. وأوضحت الدراسات الوراثية أن تحمل الألومنيوم فى القمح مردها إلى جين واحد سائد، لكن أرجعت صفة التحمل إلى عديد من الجينات الرئيسية فى أصناف أخرى من القمح. وقد أُرجع تحمل الألومنيوم فى الصنف BH 1146 إلى الجين Alt_{BH} الذى يقع على الكروموسوم 4DL. وقد وجد ارتباط قوى بين هذا الجين ومعلما الدنا Xbcd1230، و Xcdo1395، وخاصة المعلم الأول (عن Samac & Tesfaye ٢٠٠٣).

ويستدل من دراسة أجريت على ٣٦ صنفًا من القمح دُرِس فيها الطول النسبى للجذر وإفرازه لحامض الماليك؛ بهدف تقدير مدى تحملها للألومنيوم .. أظهر تحليل للارتباط لهذين المتباينين أن ٨٤٪ من الاختلافات فى الطول النسبى للجذر أمكن تفسيرها بكميات حامض الماليك المفرزة. ويعنى ذلك أن غالبية الاختلافات المشاهدة بين أصناف القمح فى تحملها للألومنيوم مردها إلى آلية فسيولوجية واحدة (Kochian وآخرون ٢٠٠٤).