بأن اللون الأزرق مرده إلى تكوين معقدات بين الألومنيوم وكلا من: delphinidin-3-glucoside، و 3-caffeolyquinic acid. كذلك يتحد الألومنيوم فى هذا النبات مع حامض الستريك، مما يؤدى إلى حمايته من العنصر. ويحدث الأمر ذاته فى الحنطة السوداء — التى يتراكم فيها الألومنيوم حتى تركيز ١٥٠٠٠ جزء من المليون — بتكوين العنصر لمعقدات مع كل من حامض الأوكساليك فى الأوراق وحامض الستريك فى الأوعية الخشبية (Kochian وآخرون ٢٠٠٤).

إن الألومنيوم يرتبط فى النباتات التى يتراكم فيها بمركبات عضوية، مثل: الـ catechin، والأحماض الفينولية، والأحماض العضوية؛ لتكوين معقدات يُخلب فيها غالبًا الألومنيوم فى خلايا متخصصة مثل خلايا بشرة الورقة. ونجد فى الحنطة السوداء أن جذور السلالات المتحملة للألومنيوم تفرز حامض الأوكساليك استجابة لتواجد الألومنيوم فى التربة، كما يتراكم فى خلايا أوراقها — كذلك — معقدات غير سامة من الألومنيوم مع حامض الأوكساليك. ولكى لا يكون الألومنيوم سامًّا عند انتقاله فى أوعية الخشب بالنباتات فإنه يكوّن معقدًا مع حامض الستريك أثناء عملية الانتقال. وفى أحد أصناف الذرة المتحملة للألومنيوم يتراكم فيها العنصر فى الفجوات العصارية لخلايا الجذر. ولقد وجد من دراسة أجريت على القمح فى مزرعة مائية أن الصنف المتحمل يعمل — أولاً بأول وفى خلال ٨ ساعات من التعرض للألومنيوم — على التخلص من خلايا بشرة الجذر واستبدالها بخلايا جديدة لم تتسمم بالعنصر، بينما لم يحدث ذلك فى صنف حساس (عن Samac & Tesfaye ٢٠٠٣).

طرق التقييم لتحمل الألومنيوم وخصائص الانتخاب للصفة

طرق التقييم

يمكن التقييم لتحمل الألومنيوم بأى من الطرق الآتية:

١- التقييم فى المزارع المائية المغذية.

٢- طريقة الصبغ بالهيماتوكسلين hematoxylin.

٣- تقدير النمو الجذرى.

٤- مزارع الخلايا والأنسجة.

٥- التقييم فى أصص تحتوى على تربة ممثلة للحقل.

٦- التقييم فى الحقل.

ويمكن الرجوع إلى مزيد من التفاصيل عن تلك الطرق فى Hede وآخرين (٢٠٠١).

يمكن إجراء التقييم — لتحمل زيادة تركيز الألومنيوم — فى طور البادرة فى الأراضى التى يزيد فيها تركيز هذا العنصر، ولكن يتعين الربط بين استجابة النباتات فى هذا الطور المبكر من النمو واستجابة النباتات البالغة. وقد أجريت بالفعل — معظم دراسات التقييم لتلك الصفة فى أراض شديدة الحموضة.

ونظرًا لسهولة الانتخاب لصفة تحمل التركيزات العالية من الألومنيوم فى مزارع الأنسجة. فقد اعتمد كثير من الباحثين على تقنيات مزارع الأنسجة لتأمين هذه الصفة. ولقد أمكن فى مزارع الأنسجة الحصول على تباينات قادرة على تحمل التركيزات العالية من تلك العناصر. ولقد أمكن بالفعل انتخاب سلالات من عديد من الأنواع النباتية مقاومة للتركيزات العالية من الألومنيوم، من بينها: الطماطم، والأرز، والبطاطس، والجزر.

وفى حالة الجزر المتحمل للألومنيوم فإن خلايا الجزر تفرز حامض ستريك يعمل كعامل مخلبى لخفض تركيز أيون الألومنيوم فى بيئة الزراعة؛ ومن ثم فإنها تفقد سميتها. هذا .. إلاّ أن امتصاص النبات لكميات كبيرة من تلك العناصر وحجزها فى المسافات التى بين الخلايا يمكن أن يشكل خطورة صحية على الإنسان والحيوانات التى تستهلك تلك النباتات (عن Remotti ١٩٩٨).

وقد أمكن انتخاب ٢٨ نباتًا خصبًا من الجزر متحملة للألومنيوم من مزارع كالوس احتوت على تركيزات من كلوريد الألومنيوم تراوحت بين ٠,٥، و ١,٠ ملى مول. ولقد أظهرت جميع النباتات المنتخبة تحملاً للألومنيوم باختبار استطالة الجذور. وفى السلالة الخلوية H7-08 ظهرت السلالات المتحملة بمعدل ٦ × ١٠$^{-٧}$ فى بيئة آجار احتوت على ٠,٥ ملى مول كلوريد ألومنيوم (Arihara وآخرون ١٩٩١).

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