٤ ـ طفرة الجذر المتقزم dwarf root التى تجعل النمو الجذرى متقزما، دون أن يكون لها أى تأثير فى النمو الخضرى. ويمكن أن تفيد هذه الطفرة فى حالة الرى بالتنقيط، وعند الزراعة بنظام تقنية الغشاء المغذى Nutrient Film Technique.

البطاطس

تعد البطاطس من المحاصيل الحساسة للجفاف؛ بسبب عدم تعمق نموها الجذرى. وقد أوضحت دراسات Ekanayake & Midmore (١٩٩٢) أن القوة اللازمة لجذب النباتات من التربة ترتبط بطول الجذور ووزنها الجاف ($r = ٠,٥٦٩$) تحت ظروف الجفاف المتوسط الشدة. كما وجدا أن صفة تحمل الجفاف (معبراً عنها بالإنتاجية العالية وبالقوة الكبيرة التى تلزم لجذب النباتات من التربة تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية) فى السلالة MS - 35. 22.R كانت أفضل مما فى صنف المقارنة العالى المحصول LT-7، بينما وجدت درجات متوسطة من تحمل الجفاف فى السلالات Br - 63. 15، وCruza 27، و Haille ، وMEX-21 .

ثانياً: تحمل زيادة الرطوبة الأرضية (ظروف الغدق)

أضرار زيادة الرطوبة الأرضية

يؤدى غدق التربة (تشبعها بالرطوبة لفترات طويلة) إلى نقص النمو النباتى الجذرى والقمى، ونقص إنتاج المادة الجافة، وضَعف المحصول. ويرجع ذلك إلى سرعة نفاذ الأوكسجين الموجود فى التربة (سواء منه المحتجز ضمن الهواء فى المسافات الضيقة بين حبيبات التربة أو الذائب فى الماء)؛ بسبب تنفس جذور النباتات وكائنات التربة الدقيقة.

ونظراً لصعوبة انتشار أوكسجين الهواء الجوى فى الأراضى الغدقة؛ لذا.. فإن تجديد أوكسجين التربة ـ فى هذه الظروف ـ لا يتم بالكفاءة اللازمة. ويترتب على ذلك إجبار الجذور على أن تتحول من التنفس الهوائى إلى التنفس اللاهوائى؛ الأمر الذى يؤدى إلى اختلال النشاط الأيضى، ونقص إنتاج الـATP، مع تراكم نواتج التنفس اللاهوائى السامة، وسرعة استهلاك المركبات العضوية.

ويؤدى نقص الطاقة الميسرة للجذور إلى نقص امتصاص الماء والعناصر الغذائية وانتقالها فى النبات. كما يؤثر اختلال النشاط الأيضى فى الجذور - سلبياً - على التوازن الهرمونى فى النمو القمى، وعلى تمثيل الجبريللينات والسيتوكينينات وانتقالها فى الجذور. كذلك يزيد تركيز الأوكسين فى سيقان النباتات؛ نتيجة لعدم انتقاله إلى الجذور، أو بسبب تثبيط نشاط إنزيم IAA-oxidase فى السيقان.

ولعل من أبرز التغيرات الهرمونية - التى تحدث فى النباتات تحت ظروف الغدق - الزيادة الكبيرة فى تركيز الإثيلين. وقد تبين أن تركيز مركب1-aminocyclopropane- 1- carboxylic acid (يكتب اختصارا: ACC)يزيد فى الطماطم تحت ظروف الغدق، وهو الذى يتحول فى النباتات إلى إثيلين، بينما يقل أو يثبط تحوله إلى إثيلين فى الظروف الهوائية. لذا.. يعتقد أنه يتراكم فى الجذور تحت ظروف الغدق، ثم ينقل إلى النموات الخضرية (التى يتوفر لها الأوكسجين)، ليتحول فيها إلى إثيلين. ويعد الإيثيلين هو المسئول عن اتجاه أعناق الأوراق إلى أسفل Epinasty تحت ظروف الغدق.

كذلك يؤدى التنفس اللاهوائى إلى زيادة تركيز بعض العناصر - مثل الحديد والمنجنيز - إلى مستويات سامة (بسبب خفض التنفس اللاهوائى لـ pH التربة)، وتراكم بعض الأحماض العضوية (مثل حامض الخليك، والبروبيونيك، والبيوتيرك)، والمركبات الفينولية (مثل para - hydroxybenzoic، para - cumaric)، والغازات (مثل ثانى أكسيد الكربون، والإثيلين، والميثان، وكبريتيد الأيدروجين) إلى مستويات ضارة بالنمو النباتى.

ويؤدى التنفس اللاهوائى إلى عدم توفر الطاقة اللازمة لاستمرار بقاء الأغشية الخلوية بصورة طبيعية؛ الأمر الذى يفقدها بعض خصائصها الهامة للنبات.

وتنشط فى الأراضى الغدقة عمليات تحول الآزوت العضوى (الموجود فى المادة العضوية والذى يعتمد عليه النبات كمصدر للنيتروجين) إلى الصورة الغازية، فيما يعرف بالـ denitrification، كما تغسل وتفقد النترات من التربة بسبب كثرة محتواها الرطوبى؛ ويترتب على ذلك افتقار النباتات إلى النيتروجين وظهور أعراض نقصه (عن Krizek ١٩٧٩).

خصائص النباتات التى تتحمل النمو فى الغدقة

من أهم الخصائص التى تتميز بها النباتات التى يمكنها النمو فى ظروف نقص الأوكسجين فى الأراضى الغدقة ما يلى :

١ ـ زيادة المسافات البينية فى نسيج القشرة، لتكون بمثابة قنوات بامتداد الجذور؛ تسمح بمرور الغازات بينها وبين النموات الخضرية للنبات. وتعرف الخلايا البرانشيمية التى توجد فى المسارات الهوائية باسم Aerenchyma. تظهر تلك المسافات الهوائية ـ بوضوح ـ فى الأرز، والسراخس، وعديد من النباتات المائية، كما تظهر فى النباتات التى تتحمل الغدق من القمح، والشعير، والذرة، ودوار الشمس، والطماطم. وفى كثير من الحالات.. توفر هذه القنوات الهوائية كل احتياجات الجذور من الأوكسجين، بالإضافة إلى بعض احتياجات الكائنات الدقيقة ـ التى تعيش حول الجذور ـ من الغاز.

ويعتقد أن نسيج الـ Aeremchyma (الخلايا البرانشيمية المحيطة بالمسارات والفراغات الهوائية الكبيرة فى القشرة) يتكون عند انهيار بعض خلايا القشرة؛ بسبب عدم كفاية الطاقة التى تصل إليها تحت ظروف التنفس اللاهوائى. كما اقترح أن الإثيلين ـ الذى يتراكم فى الظروف اللاهوائية ـ يؤدى إلى زيادة نشاط إنزيم السليوليز Cellulase؛ الذى يؤدى ـ بدوره ـ إلى تفكك الخلايا عن بعضها وظهور الفجوات الهوائية.

٢ ـ تكوين جذور عرضية قريبة من سطح التربة؛ حيث يقل النقص فى الأكسجين، أو يكون تعويض النقص الذى يحدث فى الغاز سريعا. يحدث ذلك فى عديد من النباتات؛ منها الطماطم ودوار الشمس.

٣ ـ اللجوء إلى بدائل لمسارات التحويلات الكيميائية الحيوية ـ الخاصة بالتنفس ـ يقل فيها إنتاج الكحول الإثيلى. ومن أمثلة هذه البدائل تكوين الأحماض العضوية؛ مثل الماليك، والشيكميك Shickimic.

٤ ـ زيادة كفاءة النباتات ـ مقارنة بالنباتات الحساسة للأراضى الغدقة ـ فى الاستفادة من النترات كمستقبل للإليكترونات (بدلاً من الأوكسجين) فى حالات الغياب الجزئى

للأوكسجين؛ حيث يلاحظ زيادة واضحة فى نشاط إنزيم nitrate reductase فى جذور وأوراق النباتات التى تتحمل الأراضى الغدقة خلال فترات تشبع التربة بالرطوبة.

٥ ـ كذلك تزيد كفاءة النباتات التى تتحمل الأراضى الغدقة فى تمثيل الأحماض الأمينية تحت هذه الظروف؛ الأمر الذى يسمح بإعادة أكسدة الـ $NADH_2$ تحت ظروف غياب الأوكسجين (عن Krizek ١٩٧٩).

طرق التقييم لتحمل الأراضى الغدقة

يعد إجراء التقييم تحت ظروف تشبع التربة بالماء لفترات طويلة هو الطريقة الوحيدة المؤكدة للتعرف على مدى تحمل النباتات لغدق التربة، إلاّ أن هذه الطريقة تتطلب كثيراً من الوقت والجهد. ويعد البديل لذلك هو إما إجراء التقييم فى مزارع مائية تنقصها التهوية الجيدة للمحاليل المغذية، وإما بالاعتماد على تقدير أى من الخصائص التشريحية أو الفسيولوجية للنباتات التى تتحمل ظروف الغدق، والتى سبقت مناقشتها.

وقد توافقت نتائج التقييم فى المزارع المائية مع نتائج التقييم الحقلى فى كل من: الطماطم، والشعير، ولفت الزيت، ولكن نباتات البسلة كانت أكثر تحملاً لظروف الأكسجين ـ فى المزارع المائية ـ منها فى الحقول الغدقة.

الاختلافات الوراثية فى تحمل غدق التربة فى المحاصيل الزراعية

تختلف الأنواع المحصولية كثيراً فى مدى تحملها لظروف غدق التربة، كما يلى:

محاصيل حساسة للغدق	محاصيل متوسطة التحمل	محاصيل تتحمل غدق التربة
الطماطم	البرقوق	دوار الشمس
الشعير		الذرة
الخوخ		التفاح
المشمش		الكمثرى

ولكن ما يهمنا فى هذا المقام هى الاختلافات الوراثية بين أصناف وسلالات النوع الواحد فى تحملها لظروف الغدق. فمثلا.. وجد أن صنف القمح Pato يتحمل غدق التربة بدرجة أكبر من الصنف Inia، وكلاهما من الأصناف المكسيكية القصيرة العالية المحصول. ووجدت اختلافات مماثلة فى فول الصويا؛ حيث لم يتأثر المحصول فى الصنف Lee عندما غمرت التربة بالماء لمدة أسبوع واحد خلال مرحلة التهيئة للإزهار، ونقص محصوله بمقدار ٦ ، و ١٨٪ عندما استمر غمر التربة بالماء لمدة أسبوعين، أو ثلاثة أسابيع على التوالى، مقارنة بنقص قدره ٨ ، و ٣٨ ، و ٥٩٪ فى محصول الصنف الحساس Dorman عندما غمرت التربة بالماء ـ خلال نفس مرحلة النمو النباتى ـ لمدة أسبوع واحد، وأسبوعين، وثلاثة أسابيع، على التوالى.

ونقدم مزيداً من التفاصيل عن الاختلافات الوراثية لتحمل غدق التربة فى كل من الأرز، والطماطم، والفاصوليا ؛ وذلك من خلال مناقشتنا للموضوع التالى.

التقدم فى التربية لتحمل ظروف غدق التربة

١ ـ الأرز الطافى Floating Rice :

يزرع الأرز الطافى فى المناطق التى تغمر فيها الأمطار التربة بالماء لارتفاع ٢ ـ ٣ أمتار لمدة ٣ ـ ٤ شهور من كل عام. وتبلغ المساحة المزروعة به فى العالم أكثر من ٥ مليون هكتار سنوياً. وفى بنجلادش.. يزرع صنف الأرز الطافى Rayada فى مناطق يصل فيها ارتفاع الماء إلى مسافة ١٢ ـ ٢٠ متراً؛ حيث يزيد طول النبات ـ تحت هذه الظروف ـ بمعدل ٣٠ سم يومياً.

ويجب أن تتوفر عدة صفات فى سلالات الأرز الطافى لكى تنجح زراعتها، كما يلى:

أ ـ تزرع بذور هذه السلالات نثراً فى الأرض المستديمة مباشرة، ولا تشتل؛ ولذا.. يتعين أن تكون قادرة على تحمل ظروف الجفاف فى المراحل الأولى لنموها.

ب ـ يحدث الفيضان بعد ذلك؛ نتيجة لتساقط الأمطار بغزارة شديدة إلى درجة أن النمو

النباتى لا يمكنه مجاراة الارتفاع اليومى فى منسوب المياه؛ الأمر الذى يعنى بقاء النباتات مغمورة بالماء لعدة أيام؛ ولذا.. يتعين أن تكون النباتات قادرة على تحمل ظروف الغمر بالماء أيضاً.

جـ - كما يحدث أن ينخفض منسوب المياه بسرعة عقب انحسار الفيضان؛ ولذا.. يجب أن تكون السيقان الطويلة قادرة على الانحناء؛ بحيث تبقى الأوراق الثلاث العلوية أعلى مستوى الماء؛ لتجنب تحلل الأوراق، وتغذية الأسماك على نورة النبات.

تعد جميع أصناف الأرز الطافى قليلة المحصول وحساسة للفترة الضوئية، ولكن أمكن إنتاج عددا من السلالات غير الحساسة بالتربية.

هذا.. وتورث جميع الصفات التى تلزم لإنتاج أرز طافى غير حساس للفترة الضوئية مستقلة؛ مما يسهل كثيراً من مهمة المربى (عن Frey ١٩٨١).

٢ - الطماطم:

تتوفر القدرة على تحمل الرطوبة الأرضية العالية فى عدد من أصناف وسلالات الطماطم؛ منها: السلالة LA 1421 (Rebigan وآخرون ١٩٧٧)، والصنف VF 134؛ ففى تجربة أجريت فى نيوزيلندة - لتقييم بعض أصناف الطماطم - هطلت أمطار غزيرة بلغت ٥٧ سنتيمتراً فى يوم واحد، وأدت إلى القضاء على جميع الأصناف فيما عدا الصنف VF 134 (W.L. Sims اتصال شخصى).

وقد أجريت دراسة موسعة على التقييم لتحمل الرطوبة الأرضية العالية فى المعهد الآسيوى لبحوث وتطوير الخضر، قام بها Kuo وآخرون (١٩٨٢). تضمنت الدراسة ٤٦٣٠ صنفاً وسلالة من الجنس Lycopersicon. ووجد الباحثون أن ثمانى سلالات منها فقط - أى أقل من ٠,٢٪ من العدد الكلى - أظهرت قدرة على تحمل فترات قصيرة من الإغراق بالماء Flooding المصاحب بارتفاع فى درجة الحرارة، وكانت أفضل السلالات هى L-123. وبالرغم من ذلك.. فقد كانت هذه السلالة أكثر حساسية للإغراق من سبعة أنواع أخرى من الخضر قورنت بها تحت نفس الظروف. وفى الولايات المتحدة.. وجدت المقاومة العالية

للإغراق بالماء (لمدة خمسة أيام) فى سلالة الطماطم P.I. 406966 (McNamara Mitchell ١٩٨٩).

يؤدى تعرض نباتات الطماطم للإغراق بالماء إلى ظهور سلسلة من الأعراض التى يمكن التنبو بها؛ وهى: انحناء أنصال الأوراق إلى أسفل Leaf epinasty، وانغلاق الثغور، وضعف النمو الخضرى فى خلال الـ ٢٤ ساعة الأولى. ثم تظهر أعراض الاصفرار Chlorosis، وسقوط الأوراق الكبيرة بعد ٧٢ ـ ٩٦ ساعة من بداية التعرض للغرق. وتظهر الجذور العرضية على الأجزاء القاعدية من الساق ـ عادة ـ بعد ٢٤ ساعة أخرى. وتلعب القدرة على تكوين هذه الجذور العرضية دوراً كبيراً فى القدرة على تحمل الإغراق. ويتناسب مقدار النقص المشاهدة فى الوزن الجاف للنبات، ومساحة الأوراق والمحصول ـ عكسياً ـ مع قدرة النبات على تكوين الجذور العرضية.

وقد وجد Poysa وآخرون (١٩٨٧) أن هذه الجذور العرضية شكلت أكثر من ٥٠٪ من النمو الجذرى فى النباتات التى تعرضت لظروف الإغراق بالماء بصورة مستمرة، بينما كان نموها محدودا فى النباتات التى تعرضت لظروف الإغراق بصورة متقطعة. وقد اقترح McNamara & Mitchell (١٩٨٩) أن المقاومة للإغراق بالماء ربما يكون مردها إلى احتياج جذور السلالات المقاومة إلى كميات أقل من الأكسجين لتنفسها، وقدرتها على التخلص من المركبات السامة التى تتكون أثناء تعرضها للإغراق.

وفى دراسة لاحقة (Mcnamara & Mitchell ١٩٩٠).. وجد أن سلالة الطماطم المقاومة للإغراق P.I. 406966 كونت جذوراً عرضية كثيرة خلال خمسة أيام من معاملة التعرض للإغراق مقارنة بالسلالة P.I. 128644 من L. peruvianum var. dentatum غير المقاومة التى كونت جذوراً عرضية قليلة. كما ازدادت مسامية السويقة الجنينية السفلى فى السلالة المقاومة للإغراق بنسبة ٣ ـ ٦٪، و٨٪ بعد ٣٦، و٧٢ ساعة من التعرض للإغراق بالماء على التوالى، بينما لم تتأثر المسامية فى السلالة غير المقاومة.

وعلى صعيد آخر.. وجد Kuo & Chen (١٩٨٠) تماثلاً كبيراً بين تأثير كل من معاملة الإغراق بالماء Flooding ، والمعاملة بالإيثيفون عن طريق ماء الرى على نباتات الطماطم

فكلاهما أدى - فى عدد من الأصناف - إلى ضعف نمو الساق، واصفرار الأوراق وميلها لأسفل، ونمو الجذور الجانبية. وقد كانت أكثر السلالات تحملا للإغراق - وهى L 123 - أقلها فى تراكم الحامض الأمينى برولين Proline بها تحت هذه الظروف. هذا.. علماً بأن مستوى البرولين فى النبات يتحدد بمدى النقص فى مستوى الأكسجين فى التربة أثناء التعرض للإغراق؛ فكلما ازداد النقص فى الأكسجين.. ازداد تراكم البرولين فى أنسجة النبات. وقد أدى ذلك إلى اعتقاد الباحثين أن مقاومة السلالة L 123 للإغراق مردها - جزئياً - إلى قدرتها على نقل الأكسجين من النموات الهوائية إلى الجذور.

٣ - الفاصوليا:

استخدم Nelson وآخرون (١٩٨٣) الطرق التالية لتقدير قدرة نباتات الفاصوليا على تحمل النمو فى الأراضى الغدقة التى تزيد فيها الرطوبة الأرضية لفترات طويلة.

أ - تقدير معدل تنفس الجذور تحت ظروف الرطوبة العالية بطريقة Triphenyl Tetrazoli-um Chloride Reductin Method (اختصاراً TTC).

ب - تقدير غير مباشر لمدى تلف الأغشية الخلوية لجدر الخلايا - حال تعرض الجذور للرطوبة العالية - بطريقة التوصيل الكهربائى Electrical Conductivity.

جـ - تقدير مدى فقد النباتات للرطوبة بقياس الجهد المائى Water Potential بأنسجة الخشب فى الحزم الوعائية؛ بطريقة الـ Pressure Chamber (اختصاراً PC).

د - تقدير عينى يعتمد على المظهر الخارجى.

وقد أظهرت نتائج الدراسة توافقاً بين مختلف الطرق، لدى تطبيقها على ثلاثة تراكيب وراثية تختلف فى مدى قدرتها على تحمل النمو فى الأراضى الغدقة. وقد تطلبت طريقتا الـ TTC والتوصيل الكهربائى وقتاً طويلاً لإجرائهما، وأعطت أكثر النتائج تبايناً، بينما كانت نتائج اختبار الـ PC مرتبطة بشدة (r = ٠,٨٥) بالتقدير العينى. وكانت أكثر السلالات قدرة على تحمل الرطوبة العالية - فى الدراسة - هى PO 74 .