mexicana، و *Z. mays* spp. *parviglumis*، و *Z. mays* ssp. *huehuetenangensis*، وكذلك الأنواع الأخرى *Z. diploperennis*، و *Z. perennis*، و *Z. luxurians*، و *Z. nicaraguensis*. ولقد أمكن التعرف على عديد من الـ OTLs ذات الصلة بتحمل الغدق فى تلك الطرز البرية (Mano & Omori ٢٠٠٧).

التقدم فى التربية لتحمل ظروف غدق التربة

تربية المحاصيل الحقلية

الأرز الطافى

يمكن للأرز أن يتحمل غدق التربة بسبب قدرة نمواته الخضرية — على نقل الأكسجين إلى الجذور، لكن الغمر الكامل للنموات الخضرية بالماء يمكن أن يسبب مشكلة حقيقية، ويحدث ذلك فى بعض المناطق الاستوائية التى تتعرض لأمطار غزيرة مثل شرق الهند وبنجلادش (Dennis وآخرون ٢٠٠٠).

ويزرع الأرز الطافى Floating Rice فى المناطق التى تغمر فيها الأمطار التربة بالماء لارتفاع ٢–٣ أمتار لمدة ٣–٤ شهور من كل عام. وتبلغ المساحة المزروعة به فى العالم أكثر من ٥ مليون هكتار سنويًا. وفى بنجلادش .. يزرع صنف الأرز الطافى Rayada فى مناطق يصل فيها ارتفاع الماء إلى مسافة عدة أمتار؛ حيث يزيد طول النبات — تحت هذه الظروف — بمعدل ٣٠ سم يوميًا.

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

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

٢– يحدث الفيضان بعد ذلك؛ نتيجة لتساقط الأمطار بغزارة شديدة إلى درجة أن النمو النباتى لا يمكنه مجارة 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 أيضًا.

٣- 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 عددًا من السلالات غير الحساسة بالتربية.

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

وقد أُنتج صنف الأرز Prachinburi2 فى تايلاند، وهو يتميز بالقدرة على الإنتاج مع الجودة فى ظروف الغمر بالماء، وهو — كسلالات أخرى مماثلة — لا تزداد فى الطول إلاّ مع زيادة منسوب الغمر بالماء. وقد أمكن فى تلقيح بين سلالة *indica* المتحملة للغمر فى الماء IR40931-26، وسلالة *japonica* الحساسة PI543851 التعرف على QTL رئيسية على كروموسوم ٩، أعطيت الرمز Sub1 نُسِبَ إليها ٧٠٪ من الاختلافات فى تحمل الغمر فى الماء. وأمكن بعد ذلك التعرف على ٤ QTLs أخرى على ٤ كروموسومات مختلفة، كما أمكن التعرف على ٣ QTLs للقدرة على الاستطالة تحت ظروف الغمر، كان أهمها QIne1 على كروموسوم ١ (Agarwal & Grover ٢٠٠٦).

ولقد بذلت جهودًا كثيرة لإنتاج نباتات أرز محولة وراثيًّا ومتحملة للغمر فى الماء (Minhas & Grover ١٩٩٩).

القمح

أُجريت دراسات على التربية لتحمل الغدق فى كل من قمح الشتاء والقمح الربيعى. وفى الأخير بدا أن صفة التحمل يتحكم فيها أربعة جينات ذات تأثير إضافى (عن Jackson ٢٠١١).

فول الصويا

أوضحت دراسة قيم فيها ٢١ صنفًا من فول الصويا من جنوب شرق آسيا لتحمل الغدق أن ثلاثة منها كانت متحملة، وهى: VND2، و Nam Vang، و ATF15-1 تحت ظروف الاختبارات فى كل من الحقل المكشوف والصوب السلكية (Van Toai وآخرون ٢٠١٠).

محاصيل الخضر

الطماطم

تتوفر القدرة على تحمل غدق التربة 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 سنتيمترًا 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 صنفًا 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 للغدق 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 لظروف الغدق إلى ظهور سلسلة من الأعراض التى يمكن التنبؤ 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، وتسقط الأوراق الكبيرة بعد ٧٢–٩٦ ساعة من بداية التعرض للغدق. وتظهر الجذور العرضية على الأجزاء القاعدية من الساق — عادة — بعد ٢٤ ساعة أخرى. وتلعب القدرة على تكوين هذه الجذور العرضية دورًا كبيرًا فى القدرة على تحمل الغدق. ويتناسب مقدار النقص المشاهد فى الوزن الجاف للنبات، ومساحة الأوراق والمحصول — عكسيًا — 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 الغدق بصورة مستمرة، بينما كان نموها محدودًا فى النباتات التى تعرضت لظروف الغدق بصورة متقطعة. وقد اقترح McNamara & Mitchell (١٩٨٩) أن المقاومة الغدق 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.

كما وجد أن صفة تحمل الغدق فى السلالة P.I.128644 من النوع البرى *Lycopersicon peruvianum* var. *dentatum* ترتبط بانخفاض حاجة الجذور للأكسجين اللازم للتنفس، وقدرة أكبر على جلب أو إزالة المواد السامة التى تتكون أثناء الغمر بالماء (McNamara & Mitchell ١٩٨٩).

وفى دراسة لاحقة (McNamara & Mitchell ١٩٩٠) .. وجد أن سلالة الطماطم المقاومة للإغراق P.I.406966 كونت جذورًا عرضية كثيرة خلال خمسة أيام من معاملة التعرض للإغراق مقارنة بالسلالة P.I.128644 من *L. peruvianum* var. *dentatum* غير المقاومة التى كونت جذورًا عرضية قليلة. كما ازدادت مسامية السويقة الجينية السفلى فى السلالة المقاومة للإغراق بنسبة ٣٪–٦٪، و ٨٪ بعد ٣٦، و ٧٢ ساعة من التعرض للغدق على التوالى، بينما لم تتأثر المسامية فى السلالة غير المقاومة.

وعلى صعيد آخر .. وجد Kuo & Chen (١٩٨٠) تماثلاً كبيرًا بين تأثير كل من معاملة الإغراق بالماء Flooding، والمعاملة بالإثيفون 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 تحملاً للإغراق — وهى L 123 — أقلها فى تراكم الحامض الأمينى برولين Proline بها تحت هذه الظروف. هذا .. علمًا بأن مستوى البرولين فى النبات يتحدد بمدى النقص فى مستوى الأكسجين فى التربة أثناء التعرض للغدق؛ فكلما ازداد النقص فى الأكسجين .. ازداد تراكم البرولين فى أنسجة النبات. وقد أدى ذلك إلى اعتقاد الباحثين أن مقاومة السلالة L 123 للغدق مردها — جزئيًا — إلى قدرتها على نقل الأكسجين من النموات الهوائية إلى الجذور.

الفاصوليا

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

١- تقدير معدل تنفس الجذور تحت ظروف الرطوبة العالية بطريقة Triphenyl Tetrazolium Chloride Reduction Method (اختصارًا: TTC)

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

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

٤- تقدير عينى يعتمد على المظهر الخارجى.

وقد أظهرت نتائج الدراسة توافقًا 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 وقتًا طويلاً لإجرائهما، وأعطت أكثر النتائج تباينًا، 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.

الخيار

درست وراثة صفات تحمل الغدق فى ١١٢ سلالة جيل ثالث لتلقيح بين سلالة الخيار المتحملة PW0832 وغير المتحملة PW0801، وأمكن التعرف على ٢٥ QTls ذات علاقة بأربع صفات تتعلق بتحمل الغدق (هى: درجة التحمل على المقياس المحدد لذلك tolerance score، وتكوين الجذور العرضية، والوزن الجاف للنموات الهوائية المعرضة للغدق، وطول النمو الخضرى المعرض للغدق)، و ١١ QTLs لصفتين من صفات الكنترول، وهما: الوزن الجاف للنمو الخضرى فى الظروف العادية، وطول النمو الخضرى فى الظروف العادية (Yeboah وآخرون ٢٠٠٨).

اللوبيا

وجد بدراسة ثلاث أصناف من اللوبيا تتباين فى درجة تحملها لغدق التربة أن صفة التحمل تتوقف على كل من عدد الجذور الجانبية المتبقية بالنبات، وعلى مدى انتشار وتوزيع البرانشيمات الهوائية عند قاعدة الساق فى ظروف الغدق (Takele & McDavid ١٩٩٤).