كاليفورنيا – أن مصادر تحمل الجفاف تتوفر فى بعض السلالات البرية من كل من الأنواع التالية:

S. cheesmanii
S. chilense
S. lycopersicum
S. lycopersicum var. *cerasiforme*
S. pennellii
S. peruvianum
S. pimpinellifolium

هذا ويستوطن النوعان *S. chilense*، و *S. pennellii* المناطق الجافة وشبه الجافة من أمريكا الجنوبية. وينتج كلا النوعين ثمارًا صغيرة خضراء، ونموها غير محدود.

يتأقلم *S. chilense* على المناطق الصحراوية من شمال شيلى، ويوجد غالبًا فى مناطق لا توجد فيها أى نموات نباتية أخرى. لنباتات هذا النوع أوراقًا شديدة التفصيص ومجموعًا جذريًا جيد التكوين، ويتميز جذرها الأولى بأنه أكثر طولاً وأكثر انتشارًا عن جذر الطماطم المزروعة ويستدل من اختبارات شدّ الجفاف أن *S. chilense* أكثر تحملاً للذبول بمقدار خمسة أضعاف مقارنة بالطماطم.

أما *S. pennellii* فيتميز بقدرته على زيادة كفاءة استخدامه للمياه فى ظروف الجفاف مقارنة بالطماطم، وأوراقه سميكة، ومستديرة، وشمعية، ولها القدرة على الاستفادة من الندى (de la Pena & Hughes ٢٠٠٧).

التقدم فى التربية لتحمل الجفاف

الطماطم

وجدت المقاومة للجفاف فى المصادر التالية من الجنس *Lycopersicon*:

١- النوع البرى *L. pennellii*:

ينمو هذا النوع – بريًا – فى مناطق شديدة الجفاف فى غربى بيرو، تنعدم فيها الأمطار تقريبًا – بينما تحصل النباتات على معظم احتياجاتها من الرطوبة مما يتكثف على سطح أوراقها من ندى .. علمًا بأن الضباب يكون كثيفًا فى تلك المناطق. وتتميز

النموات الخضرية لهذا النوع باحتياجاتها القليلة من الرطوبة، وقدرتها على الاحتفاظ بالماء فى أنسجتها؛ أما نموها الجذرى .. فهو ضعيف.

٢- إحدى سلالات النوع *L. peruvinum* التى وجدت نامية فى وسط الصحراء بأمريكا الجنوبية.

٣- إحدى سلالات النوع *L. chilense* التى تتميز بمجموعها الجذرى الكثيف المتعمق فى التربة (عن Rick ١٩٧٧).

درس Taylor وآخرون (١٩٨٢) إنبات البذور والنمو الأولى للبادرات — تحت ظروف الجفاف مع الحرارة المرتفعة، أو المعتدلة — فى كل من الطماطم والسلالات المقاومة للجفاف من النوعين البريين *L. chilense*، و *L. pennellii*، ووجدوا — على غير المتوقع — أن الأنواع البرية كانت أكثر حساسية للجفاف من الطماطم فى حرارة ٢٥°م، بينما تساوت مع الطماطم فى الإنبات والنمو الأولى للبادرات — تحت ظروف الجفاف — عندما كانت درجة الحرارة ٣٠ أو ٣٥°م.

ويستدل من الدراسات الوراثية على أن المقاومة للجفاف فى النوع *L. pennellii* صفة كمية يتحكم فيها عديد من العوامل الوراثية (عن Stevens ١٩٨٠). وقد لقح هذا النوع مع الطماطم، وأمكن المحافظة على صفة قدرة الأوراق على الاحتفاظ بالماء فى أنسجتها بعد عدة تلقيحات رجعية؛ مما يعنى إمكان الاستفادة من هذه الخاصية فى خفض الاحتياجات المائية للطماطم (عن Rick ١٩٨٠).

وقد أظهرت السلالة PE-47 من النوع البرى *L. pennellii* قدرة عالية على تحمل الجفاف عن صنف الطماطم P-73، وارتبطت تلك الخاصية بكفاءة أكبر فى التحكم فى الثغور فى السلالة البرية؛ أدت إلى تقليص النقص المائى بالأوراق وغياب أى تغيرات مورفولوجية تحت ظروف الشدّ المائى مقارنة بما حدث فى الطماطم (Torrecillas وآخرون ١٩٩٥).

ويُعد النوع البرى *L. chilense* أكثر أنواع الطماطم تحملاً للجفاف، وقد تبين أن تلك

الخاصية ترتبط فى السلالة LA2747 من هذا النوع بإنتاج إنزيم الشيتينيز chitinase بواسطة جين يُنشَط فعله فى ظروف الجفاف وبتأثير حامض الأبسيسك. ويزداد إنتاج هذا الإنزيم فى الأوراق عنه فى الجذور (Yu وآخرون ١٩٩٨).

هذا .. ويتجه بعض الباحثين إلى الاهتمام بالنمو الجذرى على أساس أنه يمكِّن النبات من الاستفادة من الرطوبة التى توجد فى قطاع أكبر من التربة. وذُكرت — فى هذا المجال — طفرة الجذر القطنى Cottony root التى اكتشفت أثناء تقييم عدد من سلالات الطماطم للكفاءة العالية فى امتصاص عنصر الفوسفور. وقد وجدت هذه الطفرة فى السلالة P.I.121665، وتميزت باحتوائها على عدد كبير جدًّا من الشعيرات الجذرية، فضلاً على كفاءتها العالية فى امتصاص عنصر الفوسفور. وقد وجد Hochmuth وآخرون (١٩٨٥) أن هذه الصفة يتحكم فيها جين واحد متنح أعطى الرمز crt.

ويذكر Zobel (١٩٨٦) عدة طفرات تتحكم فى النمو الجذرى لنبات الطماطم، منها ما يلى:

١- الطفرة المتنحية dgt، وهى غير قادرة على إنتاج جذور جانبية.

٢- الطفرة المتنحية ro، وهى غير قادرة على إنتاج جذور عرضية.

وقد وجد أن النبات الأصيل المتنحى فى الطفرتين (dgt dgt ro ro) — وهو يفترض أن يكون خاليًا من أية جذور غير الجذر الأولى — ينمو به عدد يصل إلى ١٢ جذرًا من السويقة الجنينية السفلى والجزء العلوى من الجذر الأولى. كما أن المجموع الجذرى للنبات dgt dgt يكون طبيعيًّا إذا طعم عليه نبات — Dgt.

٣- الطفرة المتنحية brt (نسبة إلى bushy root)، التى يظهر بها عدد كبير من الجذور من الجزء القاعدى للسويقة الجنينية السفلى ومن الجذر الرئيسى؛ أما نموها الخضرى فهو صغير وضعيف. وقد وجد أن هذا الشكل المظهرى يتكون نتيجة لتراكم النشا فى قاعدة الساق والجذر. وقد تبين أن تطعيم الطفرة brt brt على أصل طبيعى

يجعل النمو الخضرى للطعم طبيعيًّا، بينما يؤدى تطعيم النبات الطبيعى على الطفرة إلى جعل النمو الخضرى للطعم طفريًّا.

٤- طفرة الجذر المتقزم dwarf root التى تجعل النمو الجذرى متقزمًا، 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 دُرست المقاومة للجذب من التربة لنباتات ٢٥٠ تركيبًا وراثيًّا من البطاطس، وذلك بعد ٤٥ يومًا من الزراعة، وكذلك كمية المحصول عند الحصاد، وعلاقة المقاومة للجذب بالمحصول تحت ظروف شدِّ الجفاف. ولقد وجدت اختلافات جوهرية بين قوة الجذب وكل من طول الجذور، والوزن الجاف لكل من الجذور التى تم جذبها وتلك التى تبقت فى التربة، وارتفاع النبات، وعدد السيقان، وكذلك — فى حالة ٧ تراكيب وراثية — مع وزن الدرنات والدرينات وأعدادها. تراوح التباين فى مقاومة الجذب بين التراكيب الوراثية من صفر إلى ٣٧ كجم/نبات. وكانت مقاومة الجفاف (كقدرة عالية على إنتاج محصول الدرنات وقوة جذب تحت ظروف شدِّ الجفاف فى السلالتين Huinkul، و MS-35-22.R) متفوقة على تلك الخاصة بسلالة الكنترول LT-7 العالية المحصول، بينما تأكد وجود مستوى متوسط من مقاومة الجفاف فى السلالات BR63.15، و Cruz 27، و Haille، و MEX-21. ووجد ارتباط جوهرى (r = ٠,٥٦٩) بين محصول الدرنات وقوة الجذب فى ظروف الجفاف المعتدل؛ بما يعنى أن قوة الجذب يمكن استخدامها فى المساعدة على انتخاب التراكيب الوراثية العالية المحصول والمقاومة للجفاف (Ekanayake & Midmore ١٩٩٢).

كما وجد أن سلالتا البطاطس 95C، و 125B كانتا الأكثر تحملاً للجفاف من بين ٦ تراكيب وراثية تمت دراستها، كما تبين أن صفتا فلورة كلوروفيل أ، وحرارة النمو

الخضرى يمكن الاعتماد عليهما فى الانتخاب لتحمل الجفاف فى البطاطس (Ranalli وآخرون ١٩٩٧).

كذلك وجد أن أصناف البطاطس Savalan، و Caesar، و Kennebec كانت الأعلى محصولاً كليًا ومحصولاً صالحًا للتسويق، والأكثر كفاءة فى استعمال المياه والأعلى فى دلائل تحمل الشدّ تحت ظروف شدّ الجفاف المعتدل والشدّ الشديد عن أربعة غيرها من أصناف البطاطس (Hassanpanah ٢٠١٠).

ويُستدل من الدراسات التى أجريت على استجابات البطاطس للجفاف أن الضرر الذى يقع على جودة الدرنات جراء نقص الرطوبة الأرضية يكون مرده إلى تكون العناصر النشطة فى الأكسدة ROS، وهى التى تحد الإنزيمات المضادة للأكسدة من نشاطها. وفى البطاطس يزاداد تحت ظروف الجفاف نشاط إنزيمات الـ peroxidase، والـ superoxide dismutase، والـ catalase التى تحمى النباتات من شدّ الأكسدة (Boguszewska وآخرون ٢٠١٠).

البطاطا

وجد فى دراسة على ١٦ صنفًا وسلالة من البطاطا أن درجة فلورة الكلوروفيل فى كل من الأوراق المفصولة عن النبات والمتصلة به يمكن اتخاذها كأساس للاختلافات الوراثية فى الاستجابة لشدّ الجفاف (Newell وآخرون ١٩٩٤).

اللوبيا

تُعد اللوبيا شديدة الحساسية للجفاف خلال مرحلتى عقد القرون وامتلائها. وتفيد صفة تأخر شيخوخة الأوراق delayed-leaf-senescence التى اكتشفت فى اللوبيا فى إكساب النباتات بعض المقاومة للجفاف فى مرحلة إنتاج القرون فى الأصناف القائمة، حيث تسمح تلك الصفة للنباتات باستعادة نموها بعد تعرضها لظروف الجفاف؛ لتنتج عددًا آخر كبيرًا من القرون مما يجعل النباتات تعوض ما

فقد منها فى الدفعة الأولى. ويبدو من الدراسات الوراثية أن صفة تأخر شيخوخة الأوراق يتحكم فيها جين واحد، كما يبدو أن هذا الجين يُسهم — كذلك — فى مقاومة النباتات للموت المبكر الذى قد تسببه الإصابة بالفطر *Fusarium solani* f. sp. *phaseoli* — طراز A (Hall ٢٠٠٤).

ويعتمد الانتخاب لتحمل الجفاف فى اللوبيا – أساسًا – على الصفات التالية:

١- فلورة الكلوروفيل.

٢- توصيل الثغور.

٣- محتوى حامض الأبسيسك.

٤- محتوى البرولين الحر.

٥- التأخير فى شيخوخة الأوراق (Agbicodo وآخرون ٢٠٠٩).

ويرتبط تحمل الجفاف فى مرحلة البادرة فى اللوبيا بتحمل الجفاف فى مراحل النمو الأخرى. ولذا .. يكون من المفضل إجراء التقييم فى مرحلة البادرة. ولقد أمكن التمييز — بوضوح — بين أصناف اللوبيا المتحملة للجفاف Dan Ila، و IT96D-602، و TVu 11986، والصنف الحساس TVu 7778، وذلك بزراعتها فى صناديق خشبية وريها بانتظام لحين بزوغ الورقة الثلاثية الأولى، ثم وقف ريها تمامًا لمدة ٤ أسابيع؛ حيث ماتت جميع نباتات الصنف الحساس خلال فترة وقف الرى، بينما استمرت أعداد متباينة من نباتات الأصناف المتحملة فى البقاء، وعاودت نموها فى خلال أسبوعين من معاودة الرى.

ويبدو أن تحمل الجفاف فى اللوبيا يرتبط بمدى تعمق المجموع الجذرى، وقد تبين ذلك من ظهور علاقة بين مستوى تحمل الجفاف ومدى تعمق المجموع الجذرى فى ثلاث مجموعات من أصناف وسلالات اللوبيا شملت: CB5، و Grant (حساسة وسطحية الجذور)، و PI293579 (متوسطة التحمل ومتوسطة فى تعمق الجذور)، و 8006، و PI 302457 (متحملة ومتعمقة الجذور).

وقد أعطى Agbicodo وآخرون (٢٠٠٩) قائمة بتفاصيل ١٦ جينًا لتحمل الجفاف أمكن التعرف عليها فى ١٩ سلالة من اللوبيا، وبينوا وظائف كل جين منها.

وقد انتخب فى منطقة الساحل بإفريقيا سلالات من اللوبيا مقاومة للجفاف بانتخاب النباتات التى تزهر مبكرًا وتنتج أزهارها متزامنة فى وقت متقارب. كانت السلالات المنتخبة ذات نمو قائم (ليست مفترشة) وتعطى براعمها الزهرية الأولى على عقد منخفضة من الساق الرئيسية وفروعها. وقد أعطيت سلالتين منها الإسمين Ein El Gazal، و Melakh اللذان يتميزان بنموهما القائم وبدأ إزهارهما بعد نحو ٣٠-٣٥ يومًا من الزراعة، والوصول إلى مرحلة نضج القرون فى خلال ٥٥-٦٤ يومًا من الزراعة. وللحصول على محصول منهما يجب أن تكون زراعتهما كثيفة على مسافة ٥٠ سم بين الخطوط، و ٢٥ سم بين البذور فى الخط.

كذلك انتخبت سلالة أخرى أعطيت الاسم Mouride تميزت ببدء إزهارها متأخرة قليلاً عن الصنفين الآخرين، وبنموها المفترش قليلاً، وبإنتاجها للأزهار بالتتابع، ولكن فى حدود دورة متوسطة الطول، مقارنة بالأصناف العادية. يبدأ هذا الصنف فى إنتاج أزهاره بعد ٣٨ يومًا، ويصل إلى مرحلة النضج بعد ٧٥ يومًا من الزراعة. وتتعين زراعة بذور هذا الصنف على مسافة ٥٠ سم فى خطوط بعرض ٥٠ سم.

تتميز الأصناف الثلاثة بمقاومة النمو الخضرى العالية للجفاف.

كان الصنف California Blackeye No. 5 (اختصارًا: CB5) أحد آباء الصنف Ein El Ghazal. ولقد أظهر الصنف CB5 — فى كاليفورنيا — قدرة على بقاء نواته الخضرية فى ظروف جفاف تقتل معظم الأنواع المحصولية الحولية الأخرى، وقدرة على استعادة النمو بعد رية، وإنتاج محصول من البذور بلغ ٤ طن للهكتار (حوالى ١,٧ طن للفدان)، وذلك محصول عالٍ.

وإلى جانب القدرة على تحمل الجفاف، فإن صنفين منها يتميزان — كذلك — بالمقاومة لبعض مسببات الأمراض والآفات، كما يلى:

١- تتوفر بالصنفين Mouride، و Melakh مقاومة للبكتيريا التى تُحمل على البذور *Xanthomonas campestris* pv. *ignicola* مسببة مرض اللفحة البكتيرية، ولفيرس موزايك اللوبيا cowpea mosaic virus الذى ينقله المنّ.

٢- تتوفر بالصنف Mouride مقاومة لسوسة اللوبيا *Callosobruchus maculatus*، وللنبات الزهرى المتطفل *Striga gesnerioides* الذى يعرف باسم استريجا.

٣- تتوفر بالصنف Melakh مقاومة لمن اللوبيا *Aphis craccivora* ولتربس الأزهار *Megalurothrips sjostedi* (Hall ٢٠٠٤).

الفاصوليا

أوصى عند انتخاب الفاصوليا لتحمل الجفاف البدء بانتخاب أعلى السلالات محصولاً، ثم الانتخاب من بين تلك السلالات أقلها تأثرًا بشدِّ الجفاف حسب دليل الحساسية المستخدم، علمًا بأن أكثر الصفات تأثرًا بحالة الشدِّ والتى ظهرت فيها تباينات الأصناف كانت عدد القرون وعدد البذور، بينما لم يتأثر حجم البذرة بحالة الشدِّ (Ramirez-Vallejo & Kelly ١٩٩٨).

وقد أظهرت سلالة الفاصوليا BAT477 قدرة متوسطة على تحمل شدِّ الجفاف، ورُبطت تلك القدرة بقدرتها على النمو الجذرى الكبير فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية. كان ذلك فى سبعينيات القرن الماضى، وأعقب ذلك فى الثمانينيات اكتشاف مصادر أخرى لتحمل الجفاف، مما حدى بالباحثين فى التسعينيات إلى محاولة الجمع بينها لإنتاج أصناف أكثر قدرة على تحمل الجفاف من خلال آليات مختلفة (مثل تحرك الغذاء المجهز من الأوراق والسيقان إلى البذور النامية).

وعندما تكون خصوبة التربة محدودة، فإن التعبير عن تحمل الجفاف يتطلب — كذلك — أن تمتلك النباتات القدرة على تحمل خصوبة التربة المنخفضة، وذلك من خلال نموها المبكر القوى، ونموها الجذرى الجيد؛ بما يعنى الحاجة إلى تحمل مجموعة من العوامل البيئية غير المناسبة. ومما يساعد فى هذا الأمر — كذلك — القدرة الجيدة

للنباتات على سرعة نقل الغذاء المجهز إلى البذور النامية، والذى يبدو أن الجذور تلعب فيه — أيضًا — دورًا رئيسيًّا (Ishitani وآخرون ٢٠٠٤).

البسلة

تزداد كفاءة استخدام المياه فى صنف البسلة Solara (وهو خيطى الأوراق semi-leafless) عما فى الصنف العادى الأوراق Frilene، ويرتبط تحمل الجفاف خلال الفترة ما بين الإزهار وبداية امتلاء البذور إيجابيًّا بكفاءة استخدام المياه (Baigorri وآخرون ١٩٩٩).

البطيخ

تم تقييم ٨٢٠ مدخل نباتى PI من جنس *Citrullus* (من مجموعة وزارة الزراعة الأمريكية)، و ٢٤٦ سلالة من البطيخ لتحمل ظروف الجفاف الشديد فى مرحلة البادرة تحت ظروف الصوبة، ووجدت اختلافات جوهرية بين مجموعة الـ *Citrullus* فى تحمل الجفاف. وكانت أكثرها تحملاً ١٣ مدخلاً (PI) من *Citrullus lanatus* var. *lanatus*، و ١٢ من *C. lanatus* var. *citroides* كانت جميعها أفريقية المنشأ. هذه المدخلات يمكن استخدامها إما كأصول للتطعيم عليها، وإما كمصدر لتحمل الجفاف فى برامج تربية تجرى لهذا الغرض (Zhang وآخرون ٢٠١١).

الذرة

دُرست ٢٠ صفة مورفولوجية فى ٢٠١ سلالة مرباة داخليًّا من الذرة تحت ظروف شدِّ الجفاف للتعرف على تلك التى يمكن الاعتماد عليها كدلائل لتحمل الجفاف عند الانتخاب، ووجد أن أوثقها صلة بتحمل الجفاف كانت صفات محصول الحبوب، وعدد الكيزان/نبات، وعدد الحبوب/كوز، وطول النبات، ومدة تفتح الأزهار وظهور المياسم، ودرجة التفاف الأوراق. كانت هذه الصفات الست — مجتمعة — مرتبطة بدرجة عالية بمحصول الحبوب تحت كل من ظروف الرى العادى وظروف الجفاف (Hao وآخرون ٢٠١١).