فسيولوجية جراء الفقد الرطوبى يكون أقل مما يحدث فى تركيب وراثى آخر لا يتحمل هذا الفقد.

ومن أهم مظاهر تحمل الفقد الرطوبى، ما يلى:

١- التعديل الأسموزى بزيادة تراكم المواد العضوية الذائبة فى الخلايا.

٢- المحافظة على سلامة الأغشية البلازمية، وزيادة مقاومة البروتوبلازم للفقد المائى.

٣- زيادة مرونة الخلايا وصغر حجمها.

٤- النمو تحت ظروف الشدّ، متمثلاً فى إنبات البذور، وبقاء البادرات ونموها، واستمرار النمو النباتى.

هذا .. إلا أن جميع هذه الآليات لا تخلو من مردودات سلبية على المحصول الممكن. فمثلاً .. نجد أن التراكيب الوراثية الشديدة التبكير تكون أقل محصولاً من نظيراتها العادية. كما أن آليات غلق الثغور وصغر حجم الأوراق (لأجل خفض الفقد المائى) يتبعها انخفاض فى معدل البناء الضوئى — بسبب هذين العاملين — فضلاً عما يحدثه ذلك من ارتفاع فى حرارة الأوراق؛ مما يكون له من آثار سلبية على العمليات الحيوية. كذلك فإن كثرة تراكم المركبات العضوية الذائبة المتوافقة قد يصبح سامًا، ويقود إلى ما يعرف بالحالة الزجاجية glassy state، وهى التى تصاحبها زيادة كبيرة فى لزوجة السوائل المتبقية فى الخلايا؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى دنترة البروتينات وتلف الأغشية البلازمية (عن Singh ١٩٩٣، و Agbicodo وآخرين ٢٠٠٩).

طبيعة تحمل الجفاف فى النباتات

يتعين — كما أسلفنا — التمييز بين حالتى تجنب الجفاف وتحمله. فبالنسبة لتجنب الجفاف Drought Avoidance .. نجد أنه يحدث إما من خلال الإفلات منه Drough

Escape، وإما من خلال "خصائص النباتات الصحراوية" Xerophytic Characteristics التى اكتسبتها أثناء تطورها فى بيئتها الصحراوية.

ويحدث الإفلات من ظروف الجفاف بأن تنبت بذور النبات عقب المطر الغزير، ثم تكمل النباتات نموها الخضرى — الذى يكون غالبًا محدودًا جدًّا — وتزهر وتثمر فى فترة لا تتجاوز ٤-٦ أسابيع؛ وبذا .. تستفيد النباتات من الرطوبة المحدودة الموجودة فى التربة، وتكمل دورة حياتها قبل أن تتعرض لظروف الجفاف .. ويشاهد ذلك كثيرًا فى المناطق الصحراوية. كذلك يمكن أن يحدث الإفلات من الجفاف فى بعض أصناف المحاصيل الزراعية التى تنضج وتعطى محصولها الاقتصادى مبكرًا قبل حلول موسم الجفاف (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤) ويعيب النباتات التى تتجنب ظروف نقص الرطوبة الأرضية وتفلت منها تمامًا أنها لا تتحمل ظروف نقص الرطوبة الأرضية إذا تعرضت لها (عن Stevens ١٩٨١).

ومن الخصائص الأخرى الهامة للنباتات الصحراوية — التى تمكنها من تجنب الجفاف — تكوين طبقة سميكة من الشمع على مختلف الأسطح النباتية تمكنها من خفض معدل النتح إلى أدنى مستوى ممكن، وقلة عدد الثغور بالأوراق، وكبر الفجوات العصارية مع تراكم المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم، وتشعب المجموع الجذرى (عن Quisenberry ١٩٧٩). وجميع هذه الصفات مكتسبة فى النباتات الصحراوية ومثبتة Fixed فيها؛ بمعنى أنه لا تتوفر — فى النوع الواحد منها — تباينات فى تلك الصفات.

وبالمقارنة بالنباتات الصحراوية .. فإن النباتات العادية هى التى تتوفر فى بعض أنواعها تباينات فى الصفات التى تجعل بعض سلالاتها أو أصنافها أكثر — أو أقل — تحملاً لظروف الجفاف من غيرها. ويستفاد من هذه التباينات فى تربية أصناف تجارية أكثر تحملاً لظروف الجفاف، وفى دراسة وراثة تلك الصفات. ويفضل دائمًا أن تجمع النباتات المرباة (بهدف زراعتها فى المناطق التى تتعرض لنقص فى الرطوبة الأرضية) بين صفتى القدرة على تجنب ظروف الجفاف، وتحمل تلك الظروف فى آن واحد.

أهمية كل من الـ WUE والـ EUW فى تحمل الجفاف

يعتقد Blum (٢٠٠٩) أن خاصية كفاءة استخدام المياه water use efficiency (اختصارًا: WUE) — التى يُعتقد بأنها من أهم الصفات التى يعول عليها فى استمرار إنتاج محصول مقبول تحت ظروف الشدّ، وخاصة شدّ الجفاف — تؤدى إذا أتُخذت كأساس للانتخاب فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية إلى نقص المحصول ونقص تحمل ظروف الحفاف. فطالما أن كيمياء البناء الضوئى لا يمكن تحسينها وراثيًّا، فإن الزيادة الوراثية لكفاءة النتح وكفاءة استخدام المياه يتحكم فيهما أساسًا الصفات النباتية التى تحد من النتح وعمليات استعمال المحصول للماء، التى تعد حاسمة بالنسبة للإنتاج النباتى. ونظرًا لأن إنتاج الكتلة الحيوية يرتبط بشدة بالنتح، فإن التربية لزيادة القدرة على اقتناص الماء من التربة من أجل النتح يجب أن يكون هو الهدف الأهم لأجل تحسين المحصول تحت ظروف شدّ الجفاف. ويعنى بالاستعمال الفعال للمياه effective use of water (اختصارًا: EUW) أقصى اقتناص للماء لأجل النتح؛ بما يعنى — كذلك — خفض النتح غير الثغرى، والحد من فقد الماء من التربة بالبخر السلالةطحى. وحتى التعديل الأسموزى — الذى يعد أحد الصفات الهامة لتأقلم النباتات على ظروف الشدّ — فإنه يعد محفزًا لكفاءة اقتناص الماء الأرضى والنتح. ويعبر دليل الحصاد harvest index العالى عن نجاح الإنتاج النباتى والمحصول فيما يتعلق بالتكاثر وتوجيه الغذاء المجهز نحو أعضاء التكاثر. وفى معظم البيئات التى تعتمد على الأمطار فى الزراعة يتطور نقص المحاصيل للمياه خلال مرحلة التكاثر؛ مما يقلل دليل الحصاد. ويفيد الاستعمال الفعال للمياه — الذى يُحسن من الوضع المائى للنبات — فى استدامة توجيه الغذاء نحو أعضاء التكاثر. ولذا .. فإن الباحث (Blum ٢٠٠٩) يؤكد على أن الاستعمال الفعال للمياه EUW — وليست كفاءة استخدام المياه WUE — يجب أن يكون هو الهدف الرئيسى لتحسين المحصول فى ظروف محدودية المياه.

ويمكن للنباتات أن تحد من فقد الماء (الذى هو أحد مظاهر الـ EUW) بأى من المظاهر التالية:

١- زيادة طبقة الشمع على أديم البشرة (كما فى أصناف السورجم المتحملة للجفاف)، بما يؤدى إلى خفض النتح الأديمى الذى لا يستفيد منه النبات قدر استفادته من النتح الثغرى الذى تبقى معه الثغور مفتوحة، ويستمر - تبعًا لذلك - تبادل الغازات وتثبيت ثانى أكسيد الكربون. ويلاحظ أن بقاء الثغور مفتوحة ليلاً يزداد معه فقد الماء بالنتح دون أن يستفيد النبات من ذلك.

٢- سرعة جفاف وموت الأوراق تفيد فى تقليل معاناة النبات من نقص الرطوبة، علمًا بأن ذلك الأمر يبدأ بالأوراق السفلى (الأقل إسهامًا فى البناء الضوئى) ثم يتجه تدريجيًا نحو الأوراق العليا الأكثر نشاطًا.

٣- التعديل الأسموزى، وهو الذى يفيد فى المحافظة على امتلاء الخلايا حتى مع نقص محتوى الرطوبة بالأوراق بما يُبقى على الثغور مفتوحة فى ظروف الشد الرطوبى، كما أنه يزيد من قدرة الجذور على امتصاص الماء (Blum ٢٠٠٩).

ومن أهم الخصائص التى تؤثر فى قدرة النبات على تحمل نقص الرطوبة الأرضية فى المحاصيل الزراعية ما يلى:

قدرة البذور على الإنبات فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية

يُعتقد بأن قدرة البذور على الإنبات فى ظروف الجفاف (نسبة الإنبات وسرعته) ترتبط بمدى قدرة النباتات الأكبر على تحمل تلك الظروف. وبالفعل .. وجدت اختلافات بين أصناف وسلالات القمح والذرة فى نسبة وسرعة إنبات بذورها تحت ظروف الجفاف. وبعد التوصل إلى التباينات الأولية فى تلك الصفة .. أمكن إجراء اختبارات الإنبات بسهولة فى بيئات ذات ضغط أسموزى مناسب؛ حيث تستخدم فيها مركبات مثل الـ D-mannitol، والبوليثيلين جليكول Polyethylene glycol (PEG)، والـ Carbowax. وأوضحت الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن أن أفضل ضغط أسموزى للمحلول الذى تستنبت فيه البذور - بهدف الانتخاب لصفة تحمل ظروف

الجفاف — هو -١,٠ MPa لقمح الشتاء، و -١,٥ MPa للذرة. ويفيد استخدام تلك المحاليل فى اختبارات الإنبات — فى المختبر — فى تقييم مئات البذور خلال فترة زمنية قصيرة، ولكن يتعين التأكد من الصفة — فى السلالات المنتخبة — فى اختبارات أخرى تجرى تحت ظروف الحقل.

وقد اختلف الباحثون بشأن الارتباط بين صفة القدرة على الإنبات تحت ظروف الجفاف، وتحمل النباتات لتلك الظروف فى مراحل النمو اللاحقة. ويسود الاعتقاد بأن هذا الارتباط ضعيف أو غير موجود، وخاصة أن بذور بعض النباتات — مثل القمح — تُبدى قدرًا كبيرًا من التحمل لظروف الجفاف إلى أن يكتمل إنباتها، ولكن بادراتها تكون شديدة الحساسية لنقص الرطوبة الأرضية بمجرد بزوغها من التربة.

قدرة البادرات على النمو فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية

وجد فى الذرة ارتباط كبير بين قدرة البادرات على النمو فى ظروف الجفاف وقدرة النباتات البالغة على تحمل تلك الظروف. ويمكن الاعتماد على اختبار البادرات فى تقييم آلاف النباتات فى الأجيال الانعزالية، ثم انتخاب المتميزة منها لاستمرار اختبارها فى المراحل المتقدمة من نموها. ونظرًا لصعوبة توفير مستوى منخفض ثابت من الرطوبة الأرضية فى اختبارت البادرات .. يفضل إجراء التقييم فى مزارع مائية، مع إضافة أحد المركبات التى ترفع الضغط الأسموزى للمحاليل المغذية؛ مثل الـ PEG بالتركيز المناسب؛ ليضعف من قدرة النباتات على امتصاص الرطوبة إلى المستوى الذى يحاكى ما يحدث فى الطبيعة فى ظروف الجفاف (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤).

كذلك تعد قوة النمو المبكرة من الصفات الهامة فى تحمل الجفاف؛ نظرًا لأنها تساعد على سرعة توفير غطاء نباتى على سطح التربة؛ مما يقلل كثيرًا من التبخر السطحى.

النمو الجذرى الكثيف المتعمق

تستطيع النباتات ذات النمو الجذرى الكبير المتعمق والكثير التفريع فى التربة أن

تمتص الماء من أعماق كبيرة من التربة؛ الأمر الذى يؤخر احتمالات جفاف أنسجتها، بينما تفيد الجذور السطحية الكثيفة فى الاستفادة من زخات المطر الخفيفة.

وتوجد اختلافات وراثية كبيرة — داخل النوع الناتى الواحد — فى كثافة النمو الجذرى، وفى نسبة الجذور إلى النموات الخضرية، علمًا بأن تلك النسبة تتغير — فى النبات الواحد — بتغير مرحلة نموه. ويكون النمو الجذرى الكثيف — دائمًا — على حساب النمو الخضرى؛ لأن الجذور تحصل على الغذاء اللازم لنموها من النموات القمية التى تقوم بعملية البناء الضوئى.

وتتأثر نسبة الجذور إلى النموات الخضرية بعوامل أخرى لا دخل للجذور فيها؛ مثل سقوط أوراق الأشجار ذات الأوراق المتساقطة، ونقص المساحة الكلية للأوراق، وهو ما يعد أحد أهم أسباب تحمل النباتات الصحراوية البقاء تحت ظروف الجفاف، إلا أن نقص المساحة الورقية الكلية يصاحبه نقص فى قدرة النبات على البناء الضوئى (عن Quisenberry ١٩٧٩، و Parsons ١٩٧٩). ولا توجد أدلة على توفر اختلافات فى صفة سقوط الأوراق داخل النوع النباتى الواحد.

وقد تأيدت العلاقة بين النمو الجذرى الكثيف وتحمل ظروف الجفاف فى كل من الأرز الـ upland، والسورجم، وفول الصويا.

ونظرًا لصعوبة قياس كثافة النمو الجذرى — فضلاً على تأثره الشديد بالظروف البيئية — فإنه لا يمكن الاعتماد على تلك الصفة عند الانتخاب لتحمل ظروف الجفاف .. ومع ذلك .. فقد وجد فى محصول الأرز والذرة أن الانتخاب لصفة المحتوى المائى الجيد للأوراق — تحت ظروف الجفاف — يعنى — تلقائيًا — تحسنًا فى النمو الجذرى للنباتات المنتخبة (عن Blum ١٩٨٩).

كذلك تبين — فى القمح على الأقل — وجود علاقة كبيرة مؤكدة بين النمو الجذرى للنباتات فى مراحل نموها الأولى (وهى بعمر أسبوع إلى شهر فى دراسات مختلفة) وعند اكتمال نموها ونضجها (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤).

صغر الزاوية التى تصنعها الورقة مع الساق

تتميز بعض النباتات بقدرتها على تحريك أوراقها بحيث تبقى دائمًا موازية لأشعة الشمس؛ الأمر الذى يقلل بشدة من الطاقة الإشعاعية التى تكتسبها الأوراق، والتى تؤدى — فى حالة اكتسابها — إلى فقدان الرطوبة من الأوراق؛ وبذا .. فإن حركة الأوراق هذه تعد إحدى وسائل تحمل النباتات للجفاف، وهى تعرف فى بعض أصناف الفاصوليا تحت ظروف الجفاف، وفى فاصوليا تبارى التى تعد من الأنواع التى تتحمل الجفاف.

زيادة سمك أديم الورقة وزيادة كثافة شعيراتها

يعمل الأديم الشمعى (الذى يترسب فيه الشمع) السميك على سطح الأوراق على زيادة تحمل النباتات للجفاف؛ لأنه يخفض النتح الأديمى، كما يفيد فى زيادة انعكاس الأشعة الشمسية من على سطح الأوراق. وقد تأيدت علاقة الأديم السميك بنقص النتح وزيادة المحصول — تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية — فى السورجم.

وتزيد طبقة الشمع الأديمى — طبيعيًّا — فى النباتات المعرضة للشمس عما فى النباتات التى تنمو فى الظل، كما يزداد سمك الأديم فى ظروف الجفاف والحرارة العالية .. فهى صفة شديدة التأثر بالعوامل البيئية المحيطة بالنبات (عن Parsons ١٩٧٩)؛ ولذا .. فإن التعرف على أقصى قدرة للتركيب الوراثى على إنتاج الشمع السطحى يتطلب قياسها تحت ظروف الشدِّ.

كذلك تعكس الأوراق التى تكثر شعيراتها Pubescent leaves الأشعة الشمسية (بين ٤٠٠، و ٧٠٠ نانوميتر، وأحيانًا حتى ٩٠٠ نانوميتر) بدرجة أكبر بكثير من الأوراق العديمة الشعيرات (كما فى الجنس *Encelia*)؛ الأمر الذى يعمل على خفض درجة حرارة الأوراق؛ ومن ثم خفض معدل نتح الماء منها (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤).

ومن جهة أخرى .. درس Denna (١٩٧٠) العلاقة بين كمية الماء التى يفقدها النبات وسمك طبقة الشمع على الأوراق فى عدد من أصناف الكرنب، والقنبيط،

والبروكولى، وكرنب بروكسل، والكولارد. وقد اختلفت هذه الأصناف — جوهريًا — فى كمية الشمع التى توجد فى وحدة المساحة من الورقة. وفى كمية الماء التى تفقدها عن طريق أى من: الثغور، أو الأديم (النتح الأديمى).

وأدت إزالة طبقة الشمع إلى زيادة معدلات النتح الأديمى، لكن لم يظهر سوى ارتباط ضعيف بين كمية الشمع التى توجد على سطح الورقة، وبين كمية الماء المفقودة من وحدة المساحة من الورقة ليلاً، أو نهارًا، وبناء على هذه النتائج .. أوصى الباحث بعدم التربية لزيادة الطبقة الشمعية السميكة heavy bloom، أو لزيادة كمية الشمع بوحدة المساحة من الورقة كوسيلة لزيادة القدرة على تحمل الجفاف فى النوع *B. oleracea*.

انخفاض كثافة الثغور واستجابة سلوكها لشدِّ الجفاف

تتوفر دلائل على أن سلوك الثغور أمر تحكمه العوامل الوراثية؛ فمثلاً ..لا تغلق الثغور طبيعيًا فى طفرة الطماطم "الذابلة" التى يوجد فيها مستوى منخفض من حامض الأبسيسيك، ويمكن تحفيز انغلاق الثغور فيها برش النباتات بالحامض. كذلك تعرف طفرات "ذابلة" مماثلة فى البطاطس. وتختلف أصناف القطن فى مدة بقاء ثغورها مفتوحة أثناء النهار. ومن المهم أن تستجيب الثغور وتنغلق بسرعة عند نقص الرطوبة الأرضية، بالرغم من أن ذلك الانغلاق يكون على حساب تبادل الغازات والبناء الضوئى.

كذلك وجدت اختلافات وراثية فى كثافة الثغور بالأوراق. فمثلاً .. وجد — فى سلالات مختلفة من الشعير — أن نقص كثافة الثغور بمقدار ٢٥٪ كان مصاحبًا بنقص فى معدل النتح قدره ٢٤٪، دون أن يكون لذلك أى تأثير فى معدل البناء الضوئى (عن Parsons ١٩٧٩). كما وجدت علاقة عكسية بين كثافة الثغور بالأوراق ومعدل البناء الضوئى فى كل من الفاصوليا والذرة، ولكن لم يستدل على وجود أية علاقة بين كثافة الثغور بأى من معدلى البناء الضوئى أو النتح فى عدد من الأنواع النباتية الأخرى (عن Quisenberry ١٩٧٩).

وعمومًا .. فإن معظم الماء الذى يمتصه النبات يفقد مباشرة بالنتح من خلال الثغور، بينما يفقد جزء يسير منه (من ٢٪-٥٪ حسب النوع النباتى) عن طريق النتح الأديمى (من خلال أديم البشرة مباشرة)، ولا يستفيد النبات — فى نموه — سوى بأقل من ٥٪ من كمية الماء الكلية الممتصة، والتى تقدر فى الذرة بنحو ٢٠٥ لترات من الماء خلال موسم النمو.

ولخفض كمية الماء التى تفقدها النباتات بالنتح يتعين أن تنغلق الثغور عندما تتعرض للشدِّ الرطوبى. وتختلف درجة الشدِّ الرطوبى التى تستحث الثغور على الانغلاق باختلاف الأنواع النباتية؛ فهى -٨ ضغط جوى فى الفاصوليا مقارنة بنحو -٢٨ ضغط جوى فى القطن تحت ظروف الحقل، تنخفض إلى -١٦ ضغط جوى تحت ظروف البيوت المحمية (عن Quisenberry وآخرين ١٩٧٩).

بهتان لون الأوراق

يمكن أن يؤثر لون الأوراق فى خصائصها الحرارية، ومن أبرز الأمثلة على ذلك سلالات القمح ذات الأوراق الصفراء (التى تكون أقل احتواء على الكلوروفيل عما تحتويه الأصناف العادية ذات الأوراق الخضراء)، وهى التى تكون أكثر عكسًا للأشعة الضوئية. وتكون حرارتها أقل ارتفاعًا، ولا تكون الأضرار التى يمكن أن تحدث لنظام البناء الضوئى فيها فى ظروف الإضاءة العالية والجفاف بنفس القدر الذى يحدث فى الأصناف العادية (Blum ٢٠٠٧).

صغر حجم الخلايا وبطء النمو النباتى

يلاحظ أن خلايا النباتات تكون أصغر حجمًا فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية، كما تكون فجواتها صغيرة الحجم. وتتميز الخلايا الصغيرة الحجم بأنها تكون أقل تعرضًا للأضرار الميكانيكية أثناء جفاف الأنسجة النباتية، كما أنها تسمح بانخفاض الضغط الأسموزى فيها؛ الأمر الذى يزيد من قدرتها على البقاء منتفخة.

وينعكس الحجم الصغير للخلايا – فى النباتات التى تتحمل الجفاف – على معدل نمو بادراتها، ونباتاتها الكاملة، وأعضائها المختلفة، وخاصة الأوراق؛ حيث تكون صغيرة الحجم نسبيًّا. إلاّ أن استمرار الخلايا فى النمو والزيادة فى الحجم – تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية – يعنى تميز النباتات بقدرة أكبر على تحمل الجفاف. ففى ظروف الجفاف .. تموت النباتات الحساسة، ويتوقف نمو النباتات المتوسطة التحمل، بينما يستمر نمو النباتات الشديدة التحمل.

التبكير فى النضج

يفيد التبكير فى النضج فى زيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية عند نقص الرطوبة الأرضية، وهو – كما أسلفنا – يعد إفلاتًا من ظروف الجفاف؛ لأنه لا يجعل النبات أكثر تحملاً لظروف الجفاف إن تعرض لها. وقد وجد فى القمح – على سبيل المثال – ارتباط سالب قوى بين محصول الحبوب وعدد الأيام إلى حين بدء ظهور السنبلة، وأمكن إرجاع ٤٠٪–٩٠٪ من الاختلافات بين السلالات فى محصول الحبوب – تحت ظروف الجفاف – إلى مدى التبكير فى النضج. كما توصل الباحثون إلى أن محصول قمح الشتاء يزداد – فى ظروف الجفاف – بمقدار ٥٤–١٢٠ كجم/هكتار مع كل تبكير فى النضج بمقدار يوم واحد فى الأصناف الأكثر تبكيرًا من الصنف Kharkof.

ويجب الحذر عند الاعتماد على التبكير فى النضج بهدف الانتخاب لزيادة المحصول فى ظروف الجفاف؛ فهذه الصفة لا تفيد كثيرًا إلاّ عند اعتماد الزراعة على مخزون الرطوبة فى التربة. أما فى السنوات الكثيرة الأمطار، أو عند الاعتماد على الرى فى إنتاج المحصول .. فإن الأصناف المبكرة قد تغل محصولاً أقل من نظيرتها المتوسطة النضج أو المتأخرة.

تأخر الوصول لحالة الشيخوخة

بطء الشيخوخة slow senescence أو عدم الشيخوخة non-senece أو تأخر الشيخوخة delayed senescence، أو استمرار اللون الأخضر stay-green .. كلها مسميات لحالة لا

تفقد فيها الأوراق لونها الأخضر بنفس السرعة التى يحدث بها ذلك فى الأصناف العادية. توجد تلك الصفة فى عديد من المحاصيل الرئيسية، وهى تفيد فى استمرار البناء الضوئى فيها لفترة أطول من الوقت، ومن ثم زيادة المحصول. وتفيد تلك الصفة فى الحد من تأثير الجفاف الذى يُسرع من شيخوخة الأوراق. وتجرى الدراسات على تحسين صفة استمرار اللون الأخضر من خلال إما تحفيز إنتاج النباتات للكينتين، وإما من خلال تثبيط إنتاج الإثيلين بالشفرة المضادة (Blum ٢٠٠٧).

زيادة مخزون الماء فى الجدر الخلوية

يفيد تخزين الماء فى الجدر الخلوية Apoplastic Water كمخزون احتياطى يعمل على تأجيل جفاف الأنسجة النباتية حال تعرض النباتات لنقص فى الرطوبة الأرضية. وقد لوحظ وجود مخزون كبير من هذا الماء فى النباتات التى تتحمل ظروف الجفاف؛ ويعنى ذلك أن الجدر الخلوية السميكة — التى تكون أكثر قدرة على تخزين الماء — تعد من العوامل الهامة فى تحمل النباتات للجفاف.

تحمل الأغشية الخلوية لأضرار الجفاف

وجد أن الكائنات الحية، والأعضاء النباتية — التى يمكنها البقاء تحت ظروف الجفاف — تتميز بتمثيل سكر التريهالوز trehalose أثناء فقدها للرطوبة، أو أثناء إعادة اكتسابها للرطوبة بعد جفافها. ويُعتقد أن التريهالوز يغير الخصائص الفيزيائية لليبيدات الفوسفورية Phospholipids التى توجد فى الأغشية الخلوية بطريقة تسمح بثبات تلك الأغشية فى ظروف الجفاف. كما ذُكر أن الخصائص الفيزيائية لليبيدات الجافة تكون — فى وجود التريهالوز — مماثلة لما تكون عليه فى الليبيدات الرطبة hydrated lipids (عن Myers وآخرين ١٩٨٦).

توفر قنوات الماء بالأغشية الخلوية

توجد بالغشاء البلازمى المحيط بالسيتوبلازم، وكذلك الغشاء البلازمى المبطن له حول

الفجوات العصارية (الـ tonoplast) ما يعرف باسم قنوات الماء water channels، أو الثقوب المائية aquaporins، وهى بروتينات توجد بتلك الأغشية وتنظم انتقال الماء عبره. وهذه الثقوب تختص بمرور الماء فقط، وتستجيب لإشارات معينة أو محولات جزيئية molecular switches. وتلعب تلك الثقوب دورًا هامًّا فى العلاقات المائية بالخلايا استجابة للنقص المائى فى النباتات والشد الأسموزى؛ مما يؤدى إلى تحسين انتقال الماء. ولا شك أن الفهم الأفضل لطبيعة عمل تلك القنوات أو الثقوب المائية سوف يزيد من فهمنا لطبيعة تحمل شدِّ الجفاف، وهو أمر يحظى باهتمام الباحثين (Blum ٢٠٠٧).

المحافظة على معدل البناء الضوئى المناسب

تؤثر جميع العوامل الفسيولوجية التى سبق بيانها — بصورة مباشرة، أو غير مباشرة فى معدل البناء الضوئى فى النباتات؛ فهو المحصلة النهائية لمدى قدرة النبات على تحمل الجفاف. وقد وجدت — بالفعل — اختلافات فى معدل البناء الضوئى بين أصناف وسلالات عديد من الأنواع النباتية؛ ولكن ظهور تلك الاختلافات — تحت ظروف الجفاف فقط — أمر لم يمكن إثباته إلاّ فى أنواع قليلة، منها السورجم (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤).

القدرة على زيادة إنتاج حامض الأبسيسك فى ظروف شد الجفاف

يزداد مستوى حامض الأبسيسك ف النبات بدرجة كبيرة استجابة لشدِّ الجفاف، مما يؤدى إلى انغلاق الثغور، ومن ثم خفض مستوى الفقد المائى بالنتح من الأوراق، وتنشط جينات الاستجابة للشدِّ. وهذا التفاعل قابل لأن يُعكس؛ فما أن يصبح الماء متوفرًا حتى ينخفض مستوى حامض الأبسيسك، ويعاد انفتاح الثغور. ولذا .. فإن زيادة حساسية النباتات لحامض الأبسيسك تعد أحد الأهداف الهامة لتحسين تحمل الجفاف (ISAAA ٢٠٠٨).

التعديل أو التنظيم الأسموزى

أن بقاء الخلايا منتفخة يعد أمرًا حيويًّا بالنسبة لنموها وزيادة حجمها، وبذا ..