الباب الخامس

الظروف البيئية المناسبة لنمو وإنتاج التين الشوكى

تنمو نباتات الجنس *Opuntia* فى بيئات مختلفة ومتباينة، فهى تنمو فى مناطق صحراوية مثل صحراء كاليفورنيا (وهى منطقة منخفضة عن سطح البحر) إلى إرتفاعات تصل إلى ٤٧٠٠ متر فوق سطح البحر فى جبال بيرو- كما أنها تنتشر فى المناطق ذات المناخ الجاف تحت الإستوائى فى المكسيك حيث درجات الحرارة تتراوح بين ٥-٥٠°م إلى بعض المناطق فى كندا حيث تنخفض درجة الحرارة إلى -٤°م. ويرجع المدى الواسع لتحمل النباتات لهذه المناطق المتباينة إلى الإختلافات الوراثية بين الأنواع والأصناف المختلفة، والتى تعتبر ذات أهمية كبيرة عند إجراء برامج لتربية وتحسين التين الشوكى، وهذه الدراسات قليلة جداً إذا ماقورنت بالدراسات على بقية محاصيل الفاكهة.

وفى العقود الثلاثة الأخيرة، أصبح التين الشوكى من محاصيل الفواكه الهامة فى المناطق نصف الجافة والجافة فى العالم (مثل المكسيك وشمال أفريقيا وجنوب أفريقيا وصقلية وأستراليا ومنطقة حوض البحر الأبيض المتوسط وأمريكا اللاتينية) حيث يلعب دوراً إستراتيجياً فى الزراعة الثانوية Subsistence Agriculture فى المناطق التى يندر بها الماء.

ونباتات التين الشوكى متأقلمة لتقليل فقد الماء منها، ولذلك فإنفتاح ثغورها يتم خلال الليل، حيث تقوم بإمتصاص ثانى أكسيد الكربون من الجو، وتثبته على صورة أحماض عضوية فى الفجوات العصارية للخلايا البرانشيمية – وأهم هذه الأحماض هى حمض الماليك ويليه المالونيك ثم الستريك. ففى عام ١٨٠٤ ذكر Saussure أن نباتات الجنس Opuntia تمتص ثانى أكسيد الكربون خلال الليل – كما أن Benjamin Heyne سنة

١٨١٣ ذكر أن هناك نبات *Kolanchoe pinnate* وهو أحد أفراد العائلة Crassulaceae – وكان شائع الإنتشار فى ذلك الوقت – تكون أوراقه حامضية الطعم جداً فى الصباح الباكر، وتتناقص هذه الحموضة تدريجياً خلال النهار. وفى سبعينات القرن العشرين، عرفت هذه الميكانيكية والتى تتم فى هذه النباتات بـ Crasulacean Acid Metabolism، كما عرفت النباتات التى بها هذه الميكانيكية، والتى تنمو فى المناطق الجافة ونصف الجافة بنباتات CAM plants. وتمثل هذه النباتات حوالى ٦-٧% من مجموع الأنواع النباتية والتى تصل إلى ٣٠٠ ألف نوع – وهذه المجموعة من النباتات بطيئة النمو جداً مقارنة بالمجموعتين الأخريين المنتشرين فى المملكة النباتية، وهى مجموعة نباتات C_3 (C_3 plants) وهى تمثل حوالى ٩٢-٩٣% من مجموع الأنواع النباتية، ويكون أول مركب من نواتج التمثيل الضوئى مكوناً من ثلاث ذرات كربون، وأيضاً مجموعة C_4 (C_4 plants) وهى مجموعة يكون أول مركب من نواتج التمثيل الضوئى هو حمض عضوى يتكون من ٤ ذرات كربون.

ونظراً إلى أن نباتات التين الشوكى تتبع مجموعة نباتات CAM، فهى تتحمل إرتفاع درجات الحرارة بشدة صيفاً، كما أن تعرضها للجفاف لمدة أربعة أشهر يسبب فقد جزئى فى محتواها من الماء بدون حدوث ضرر لأنسجتها المعرضة للجفاف، حيث أن المواد الغروية المتكونة خارج الخلايا البرانشيمية تحتفظ بقوة بالماء، مما يسبب إستمرار عملية التمثيل الضوئى بصورة جيدة تحت ظروف الجفاف.

إضافة إلى ذلك، فإن إرتفاع درجة الحرارة الكونية يسبب التلوث البيئى وتراكم ثانى أكسيد الكربون فى الجو، يزيد من إنتاجية التين الشوكى بنسبة تصل إلى أكثر من ١١٧% مقارنة بإنتاجية المحاصيل الأخرى، ويرجع ذلك إلى زيادة إمتصاصه لثانى أكسيد الكربون وزيادة تمثيله، حيث وصل إنتاج الهكتار من المادة الجافة التى ينتجها التين الشوكى إلى حوالى ٥٠ طن/ سنة.

ولكن الحرارة العالية جداً ولمدة طويلة تسبب تخثر البروتينات وإضطراب عمل أغشية الخلايا.

ويلاحظ أن الألواح القاعدية للتين الشوكى، تقوم بتقليل آثار الإجهاد البيئى على النبات، وذلك إذا تعرض لدرجة حرارة عالية أو رياح أو ملوحة، كما أنها تقلل آثار هذا الإجهاد على الألواح المتكونة حديثاً وأيضاً على الثمار بصفة أساسية.

وإذا كانت الجذور فى نبات التين الشوكى تمثل ١٢% فقط من الوزن الجاف للنبات، فإنها أيضاً تتحمل الجفاف بدرجة كبيرة، فالجذور المعرضة للجفاف لمدة شهر كامل، يحدث لها بعض الأضرار التى سريعاً ماتزول بتبليل التربة بالماء لمدة أسبوع.

أما آثار الحرارة المنخفضة على شجيرات التين الشوكى، فتختلف حسب عمر النبات وحساسية العضو النباتى المتعرض للبرودة – فالنباتات صغيرة السن يحدث لها أضراراً شديدة إذا إنخفضت درجة حرارة الجو أكثر من –٢ إلى –٣°م، أما النباتات كبيرة السن فتتحمل إنخفاض درجات الحرارة حتى –١٠°م.

كما أن أعضاء نبات التين الشوكى تختلف فى حساسيتها للبرودة (إنخفاض درجات الحرارة)، فالأوراق أكثر حساسية من السيقان (الألواح) وذلك عند تعرضها لدرجات حرارة التجمد كما أوضح Beck سنة ١٩٩٤، Fitter and Hay سنة ٢٠٠٢، هذا وقد أوضح العالم Nobel سنة ١٩٨٨ أن حرارة التجمد تسبب تكوين الثلج فى المسافات البيئية بين الخلايا وليس فى داخلها (حيث ينتج عن تكوين الثلج فى داخل الخلايا تمزيق وموت هذه الخلايا) أما الجذور فقد أثبت العالمان McMichael and Burke سنة ٢٠٠١ أنها أكثر حساسية من السوق للحرارة العالية، وقد أكدت أبحاث Nobil and Boobish سنة ٢٠٠٢ هذه الحقيقة.

والإنخفاض المفاجيء لدرجات الحرارة له آثار فسيولوجية على نباتات التين الشوكى، فإنخفاض درجات الحرارة من ٢٥ - ٣٠°م نهاراً، ١٥ - ٢٠°م ليلاً إلى درجة ١٠°م نهاراً، صفر°م ليلاً يزيد من الضغط الأسموزى فى خلايا السيقان (الألواح) بعد حوالى أسبوعين من تعرض النبات للحرارة المنخفضة، ويرجع ذلك إلى زيادة تخليق الجلوكوز والفركتوز وكميات من المواد الغروية فى الخلايا، كما يسبب حركة للماء الحر من داخل الخلايا إلى المسافات البينية بينها، ويقلل من حدوث تلف للخلايا عند تعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة، وفضلاً عن ذلك، فإن المجموع الخضرى والجذرى لنباتات التين الشوكى، إذا تعرضت للإنخفاض المفاجيء لدرجات الحرارة، فإنها تنتج العديد من البروتينات ذات الوزن الجزيئى المتماثل، والتى تقلل من أثر الصدمة الحرارية للنبات، سواء بالإرتفاع أو الإنخفاض فى درجات الحرارة.

وهنا يتبادر إلى الذهن سؤال وهو: هل لنباتات التين الشوكى إحتياجات من البرودة شتاءاً Chilling requirements؟ وهل تلعب هذه الإحتياجات دوراً فى إنتاج المحصول؟.

وللرد على هذا السؤال، فقد قام Nerd and Mizrahi سنة ١٩٩٥ بفحص أثر البرودة على تحول البراعم الخضرية إلى زهرية فى التين الشوكى فى الشتاء، ووجد أن تعرض الألواح لدرجات حرارة منخفضة شتاءاً (١٥°م نهاراً، ٥°م ليلاً) يزيد من تحول البراعم الخضرية إلى براعم زهرية، وذلك مقارنة بتلك التى تعرضت لدرجات حرارة ٢٥°م نهاراً، ١٥°م ليلاً - وهذا يعنى أن الإنخفاض المناسب فى درجات الحرارة شتاءاً (إلى ١٥°م نهاراً، ٥°م ليلاً) يزيد من محصول التين الشوكى.

أما من حيث أثر الفترة الضوئية Photoperiod على نباتات التين الشوكى، فقد لوحظ فى الصنف Gialla المزروع فى جزيرة صقلية على خط عرض ٣٨° شمالاً (وطول نهار ١٥,٩ ساعة فى فترة الصيف) أن

ثماره تتضج مبكراً (فى مدة من ٧٠ – ٩٠ يوماً من الأزهار)، فى حين أن نفس الصنف المزروع فى الأرجنتين على خط عرض ٢٧° جنوباً (وطول النهار ١٤,٨ ساعة) تحتاج ثماره إلى ١٢٠ يوماً من الأزهار حتى تتضج – وهذا يعنى أن زيادة طول النهار يبكر من نضج ثمار التين الشوكى.

هذا ويجدر الإشارة إلى أن إرتفاع درجات الحرارة صيفاً، له آثار مورفولوجية على نشوء الألواح الحديثة فى التين الشوكى، فكلما زاد إرتفاع درجات الحرارة، كلما زاد إنحراف زاوية نشوء اللوح الحديث على اللوح القديم.

وعموماً فإن ألواح التين الشوكى تتحمل إرتفاع درجات الحرارة حتى ٦٥°م، ولكنها حساسة لدرجات الحرارة المنخفضة (أقل من -٦°م) – أما الجذور والثمار فإنها تتلف إذا تعرضت لدرجات حرارة أعلى من ٥٥°م أو أقل من -٧°م لمدة ساعة.

علاقة التركيب المورفولوجى والتشريحى لنباتات التين الشوكى بتحملها للجفاف (وحفاظها على الماء)

يرتبط التركيب المورفولوجى والتشريحى لنباتات التين الشوكى بمحافظتها على الماء وإستغلاله بأقصى قدر ممكن، وأيضاً بتحملها للجفاف الشديد، ويتضح ذلك من النقاط الآتية:

١- أن نباتات التين الشوكى نباتات عصارية، وتتميز بأن سيقانها غليظة، كما أنها تتبع مجموعة نباتات CAM.

٢- السيقان مغطاه بطبقة من الكيوتين يصل سمكها إلى ١٠ – ٥٠ ميكرومتر وهى طبقة سميكة تقلل بشدة من فقد الماء، فى حين أن طبقة الكيوتين فى مجموعتى النباتات C_3 and C_4 تتراوح بين ٠,٢ – ٢ ميكرومتر.

٣- يتميز التركيب التشريحى للسيقان (الألواح) بوجود فجوات عصارية كبيرة فى خلاياها مملوءة بالماء وذلك فى الخلايا الكلورانشيمية بسمك من ٢ – ٥ مم على جانبى اللوح (ويصل عدد طبقات الخلايا الكلورانشيمية فى كل جانب إلى ١٥ – ٤٠ طبقة) حيث تحتل الفجوات فى هذه الخلايا أكثر من ٩٠% من حجم الخلية – كما تحتوى الألواح على الخلايا البرانشيمية ذات الحجم الأكبر من الخلايا الكلورانشيمية، والتى تقوم بتخزين الماء وإمداد الخلايا الكلورانشيمية به أثناء عمليتى التمثيل الضوئى والتنفسى. هذا وقد وجد Goldstein ومساعدوه سنة ١٩٩١ أنه عند تعرض نباتات التين الشوكى من النوع *Opuntia humifusa* للجفاف لمدة أسبوعين، قل سمك الخلايا الكلورانشيمية فى الألواح الرقيقة نسبياً (وسمكها ٩ مم) بمقدار ٢٢%، فى حين قل سمك الخلايا البرانشيمية المخزنة للماء بمقدار ٤٦% – فإذا إستمر الجفاف فى الألواح الكبيرة لمدة ١٣ أسبوعاً، قل سمك طبقات الخلايا الكلورانشيمية بمقدار ١٣%، فى حين قل سمك طبقات الخلايا البرانشيمية بمقدار ٥٠%.

٤- هناك نقص شديد فى عدد الثغور فى وحدة المساحة فى ألواح التين الشوكى، حيث يصل عدد الثغور إلى ١٠ – ٣٠ ثغراً فى الملليمتر المربع من سطح سيقان (ألواح) الجنس *Opuntia* spp.، فى حين يتراوح عدد الثغور بين ١٠٠ – ٣٠٠ ثغراً فى الملليمتر المربع من مساحة السطح السفلى لأوراق المجموعتين C_3 and C_4.

مماسبق يتضح أن ثغور التين الشوكى تحتل حوالى ٠,٥% من مساحة سطح الساق (اللوح) فى حين تحتل ثغور النباتات C_3 and C_4 حوالى من ١ – ١,٥% من مساحة السطح السفلى للأوراق مما يقلل من فقد الماء.

هذا وقد ذكر Gibson and Nobel سنة ١٩٨٦ أن سيقان الأنواع *O. basilaris, O. acanthacarpa* and *O. bigelovii*

يمكنها أن تحتفظ بماء كافى يمكنها من بقائها حية لمدة ثلاث سنوات من الجفاف.

٥- وفضلا عن كبر حجم الفجوات العصارية فى الخلايا الكلورانشيمية للتين الشوكى كما ذكرنا سابقا، فإن الأحماض العضوية تتجمع بها خلال الليل وتخزن. وعند دخول ثانى أكسيد الكربون ليلا يرتبط بمركب Phosphoenolepyruvate (PEP) وبه ثلاث ذرات كربون، ويقوم بهذا التفاعل إنزيم PEP-carboxylase وينتج حامض عضوى رباعى هو الـ Oxaloacetic acid، الذى سرعان مايتحول إلى حامض ماليك Malic acid، ويتجمع الأخير فى الفجوة العصارية الكبيرة للخلايا الكلورانشيمية وهذا يفسر زيادة حمض الماليك إلى أقصى كمية فى نهاية الليل حتى الشروق، سرعان مايتحول إلى ثانى أكسيد الكربون لإمداد عملية التمثيل الضوئى به خلال النهار، ولذلك يكون أقل تركيز له عند غروب الشمس.

٦- تميل ثغور التين الشوكى إلى الإنغلاق نهاراً، ويخرج حامض الماليك من الفجوة العصارية، ويتحطم وينطلق ك أ٢، الذى يدخل فى عملية التمثيل الضوئى فى وجود الضوء فى التين الشوكى، تماما كما يحدث عند إنفتاح الثغور نهاراً فى نباتات C_3 and C_4 وحدوث عملية البناء الضوئى، وتنفتح هذه الثغور ليلاً لإمتصاص ثانى أكسيد الكربون، فتفقد كمية من الرطوبة الموجودة فى أنسجة النبات أثناء إنفتاح الثغور، ولكن هذه الكمية تكون قليلة جداً مقارنة بما لو فتحت الثغور نهاراً فى نباتات C_3 and C_4.

هذا وقد تم تقدير كميات الماء المفقودة من المتر المربع من مساحة سطح سيقان التين الشوكى، ووجد أنها = ٢٠٣,٤جرام ماء/م^2 من السطح، فى حين تفقد نباتات C_4 حوالى ٥٩٠ جرام ماء/م^2 من السطح، أما نباتات C_3 فتفقد حوالى ٩٥٦ جم ماء/م^2 سطح ورقى.

وإذا كانت كفاءة إستخدام الماء Water use efficiency هى النسبة بين ك أ٢ الممتص إلى الماء المفقود بالجرام، حيث تعتبر مقياساً لكفاءة عملية التمثيل الضوئى، فإن كفاءة إستخدام الماء فى التين الشوكى تقدر بثلاثة أضعاف مثيلتها فى نباتات مجموعة C_4 وحوالى خمسة أضعاف كفاءة مثيلتها فى نباتات مجموعة C_3 وذلك فى حالة رى هذه النباتات – أما خلال فترات الجفاف فتصبح هذه الميزة أكثر أهمية على الرغم من إنخفاض كمية ثانى أكسيد الكربون الممتصة فى التين الشوكى، ويرجع ذلك إلى إمتصاص النبات لثانى أكسيد الكربون ليلاً وليس نهاراً بسبب إنفتاح الثغور ليلاً.

العوامل التى تؤثر على تبادل الغازات فى التين الشوكى

توجد أربعة عوامل هامة تؤثر على إمتصاص ثانى أكسيد الكربون، وبالتالى تؤثر على نواتج عملية البناء الضوئى فى التين الشوكى وهى:

أولاً: رطوبة التربة

يمثل المجموع الجذرى لنباتات التين الشوكى من ٧ – ١٢% من وزنه الجاف، كما أنه لايتعمق أكثر من ٣٠سم فى التربة، ويتحدد جهد الماء فى جذور التين الشوكى بجهد الماء فى المجموع الخضرى له، فالسيقان العصيرية للتين الشوكى يكون جهدها المائى مرتفعاً نسبياً (بين – ٠,٣ إلى ٠,٦ ميجاباسكال).

ويجب التنويه إلى أن النبات لايمتص الماء إلا إذا كان جهد الماء فى التربة أعلى من جهد الماء فى جذور النبات. فإذا تعرض نبات التين الشوكى للجفاف، يفقد بعض الماء من السيقان، إلا أن جهد الماء فى الأفرخ والجذور يظل مرتفعاً نسبياً مقارنة بالنباتات فى المجموعتين C_3 and C_4 – ويثبت ذلك أن جهد الماء فى ألواح التين الشوكى المتعرضة للجفاف لمدة شهر ينخفض إلى حوالى ٠,٨ ميجاباسكال، فى حين يحدث هذا الإنخفاض فى نباتات C_3 أو C_4 إلى هذا الحد فى خلال عدة ساعات أو عدة أيام من تعرضها للجفاف.

هذا ويعتبر وصول ١٠ مم من الماء إلى التربة التى بها التين الشوكى (سواء بالرى الصناعى أو المطر) كافياً لترطيب التربة وإمتصاص الماء بسبب إرتفاع جهد الماء فى التربة عما هو فى الجذور ، أما إضافة كميات كبيرة من الماء للتين الشوكى النامى فى أراضى غير جيدة الصرف، فيسبب أضراراً لجذور النباتات بسبب إستمرار إمتصاصه للماء لمدة طويلة.

فإذا تعرضت النباتات للجفاف، يتوقف إمتصاص الماء من التربة الجافة، وتعتمد النباتات على مخزونها من الماء فى الأنسجة، ويقل إنفتاح

الثغور، وبالتالى يقل إمتصاص غاز ثانى أكسيد الكربون من الجو. وقد وجد Ratamal ومساعدوه سنة ١٩٨٦ أنه عندما يكون مستوى الرطوبة فى التربة حوالى ٢٥جم/١٠٠جم تربة، كان إمتصاص النبات لثانى أكسيد الكربون أعلى مايمكن، وزادت إنتاجية النباتات من المادة الجافة إلى أقصاها، ومع إنخفاض رطوبة التربة إلى ٥-١٥جم/١٠٠جم تربة، قل إمتصاص ثانى أكسيد الكربون وقلت إنتاجية النباتات من المادة الجافة بشكل ضخم.

ثانيا: الحرارة

أوضح Nobel and Hartsock سنة ١٩٨٤ أن أقصى إمتصاص لثانى أكسيد الكربون بواسطة التين الشوكى يحدث عند درجات حرارة الليل/النهار تبلغ ١٥/٢٥°م - ويقل إمتصاص ك أ٢ بحوالى ١٨% إذا وصلت درجات حرارة الليل/النهار إلى ١/٥°م - كما أن معدل إمتصاص ك أ٢ ينخفض بمقدار ٦٠% إذا إرتفعت درجة الحرارة إلى ٣٥°م - ويصل إلى صفر% إذا وصلت درجة الحرارة ليلا/نهارا إلى ٣٤/٤٤°م. وهذا يعنى أن إرتفاع درجة حرارة الليل/النهار عن ١٥/٢٥°م أو إنخفاضها عن ذلك يقلل من إمتصاص ثانى أكسيد الكربون بواسطة التين الشوكى.

هذا وقد وجد Nobel سنة ١٩٩١ أنه بتراكم ثانى أكسيد الكربون فى الجو سبب إرتفاع فى درجة الحرارة، ووصلت إنتاجية الهكتار إلى ١٥ طن مادة جافة فى السنة، وهذا يفوق كثيرا إنتاجية محاصيل كثيرة من المجموعتين C_3 and C_4 تحت نفس الظروف، هذا وقد وصلت الزيادة فى تراكم المادة الجافة فى التين الشوكى إلى أكثر من ١١٧% مما هو فى مجموعتى C_3 and C_4 تحت نفس الظروف.

ثالثا: الضوء

يحتاج التين الشوكى إلى النمو تحت الشمس الساطعة مباشرة، وإذا كان الكيوتيكل والأشواك تعكسان جزءا من الإضاءة الشديدة للشمس فى بعض مناطق زراعته وإنتاجه، فإن تظليل نباتات التين الشوكى أو زراعتها

بكثافة عالية أو زراعة محاصيل مؤقتة معه بحيث تحجب الضوء جزئيا عن نبات التين الشوكى، كلها تقلل من كفاءة عملية التمثيل الضوئى كما تقلل من إنتاجه من المادة الجافة عن طريق تقليل إمتصاص ثانى أكسيد الكربون من الجو المحيط.

وقد أوضح Nobel and Hortsock سنة ١٩٨٣ أنه بزيادة شدة الإضاءة، يزداد إمتصاص التين الشوكى لثانى أكسيد الكربون تدريجيا - وعندما قاسا شدة الإضاءة بقياس كثافة الوحدات الضوئية الخاصة بالتمثيل الضوئى Photosynthetic photon flux density (PPFD) ووحدتها مول فوتون/وحدة مساحة/يوم، فقد وجدا أن تعريض نباتات التين الشوكى لدرجات حرارة ٢٥°م نهاراً ، ١٥°م ليلاً (وهى التى تعطى أقصى كفاءة لدرجة الحرارة فى إمتصاص ثانى أكسيد الكربون)، مع إستخدام كثافات مختلفة للوحدات الضوئية الخاصة بالتمثيل الضوئى، أدى إلى النتائج الآتية:

١- وجود كثافة ضوئية مقدارها ٢ مول فوتون/م^{٢}/يوم لايحدث إمتصاص لثانى أكسيد الكربون.
٢- بزيادة الكثافة الضوئية عن الحد السابق تزداد الكمية الصافية الممتصة من ثانى أكسيد الكربون بواسطة نبات التين الشوكى، حتى تصل إلى أقصى إمتصاص لثانى أكسيد الكربون عند كثافة وحدات ضوئية خاصة بالتمثيل الضوئى (PPFD) تقدر بـ ٢٥ - ٣٠ مول/فوتون/م^{٢}/يوم.
٣- بزيادة الكثافة الضوئية عن ذلك لايزداد إمتصاص ثانى أكسيد الكربون.

رابعاً: زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الجو

إن حدوث تلوث للجو بثانى أكسيد الكربون وإرتفاع نسبته، يزيد من إمتصاص نباتات التين الشوكى لثانى أكسيد الكربون، ويزيد من كفاءة إستخدام النبات له فى إنتاج المادة الجافة كما أوضح ذلك Nobel سنة ١٩٩١.