

الباب الخامس

الظروف البيئية المناسبة لنمو وإنتاج التين الشوكي

تنمو نباتات الجنس *Opuntia* في بيئات مختلفة ومتباينة، فهي تنمو في مناطق صحراوية مثل صحراء كاليفورنيا (وهي منطقة منخفضة عن سطح البحر) إلى إرتفاعات تصل إلى ٤٧٠٠ متر فوق سطح البحر في جبال بيرو- كما أنها تنتشر في 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، والتي تعتبر ذات أهمية كبيرة عند إجراء برامج لتربية وتحسين التين الشوكي، وهذه الدراسات قليلة جداً إذا ماقورنت بالدراسات على بقية محاصيل الفاكهة.

وفى العقود الثلاثة الأخيرة، أصبح التين الشوكي 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 الشوكي متأقلمة لتقليل فقد الماء منها، ولذلك فإنفتاح ثغورها يتم خلال الليل، حيث تقوم بامتصاص ثانى أكسيد الكربون من الجو، وتثبته على صورة أحماض عضوية فى الفجوات العصارية للخلايا البرانشيمية - وأهم هذه الأحماض هى حمض المالك ويلييه 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 الانتشار في ذلك الوقت - تكون أوراقه حامضية الطعم جداً في الصباح الباكر، وتتناقص هذه الحموضة تدريجياً خلال النهار. وفي سبعينات القرن العشرين، عرفت هذه الميكانيكية والتي تتم في هذه النباتات بـ Crasulacean Acid Metabolism، كما عرفت النباتات التي بها هذه الميكانيكية، والتي تنمو في المناطق الجافة ونصف الجافة بنباتات CAM plants. وتمثل هذه النباتات حوالي ٦-٧% من مجموع الأنواع النباتية والتي تصل إلى ٣٠٠ ألف نوع - وهذه المجموعة من النباتات بطيئة النمو جداً مقارنة بالمجموعتين الأخرين المنتشرين في المملكة النباتية، وهي مجموعة نباتات C_3 (C_3 plants) وهي تمثل حوالي ٩٢-٩٣% من مجموع الأنواع النباتية، ويكون أول مركب من نواتج التمثيل الضوئي مكوناً من ثلاث ذرات كربون، وأيضاً مجموعة C_4 (C_4 plants) وهي مجموعة يكون أول مركب من نواتج التمثيل الضوئي هو حمض عضوي يتكون من ٤ ذرات كربون.

ونظراً إلى أن نباتات التين الشوكي تتبع مجموعة نباتات CAM، فهي تتحمل ارتفاع درجات الحرارة بشدة صيفاً، كما أن تعرضها للجفاف لمدة أربعة أشهر يسبب فقد جزئي في محتواها من الماء بدون حدوث ضرر لأنسجتها المعرضة للجفاف، حيث أن المواد الغروية المتكونة خارج الخلايا البرانشيمية تحتفظ بقوة بالماء، مما يسبب استمرار عملية التمثيل الضوئي بصورة جيدة تحت ظروف الجفاف.

إضافة إلى ذلك، فإن ارتفاع درجة الحرارة الكونية يسبب التلوث البيئي وتراكم ثاني أكسيد الكربون في الجو، يزيد من إنتاجية التين الشوكي بنسبة تصل إلى أكثر من ١١٧% مقارنة بإنتاجية المحاصيل الأخرى، ويرجع ذلك إلى زيادة إمتصاصه لثاني أكسيد الكربون وزيادة تمثيله، حيث وصل إنتاج الهكتار من المادة الجافة التي ينتجها التين الشوكي إلى حوالي 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 البيئي 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 سريعا 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 الشوكي، فإنخفاض درجات الحرارة من ٢٥ - ٣٠م° نهاراً، ١٥ - ٢٠م° ليلاً إلى درجة ١٠م° نهاراً، صفر° ليلاً يزيد من الضغط الأسموزي في خلايا السيقان (الألواح) بعد حوالي أسبوعين من تعرض النبات للحرارة المنخفضة، ويرجع ذلك إلى زيادة تخليق الجلوكوز والفركتوز وكميات من المواد الغروية في 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 الخضري والجذري لنباتات التين الشوكي، إذا تعرضت للإنخفاض المفاجيء لدرجات الحرارة، فإنها تنتج العديد من البروتينات ذات الوزن الجزيئي المتماثل، والتي تقلل من أثر الصدمة الحرارية للنبات، سواء بالارتفاع أو الإنخفاض في درجات الحرارة.

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

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

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

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

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

وعموماً فإن ألواح التين الشوكي 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 المورفولوجي والتشريحي لنباتات التين الشوكي بتحملها للجفاف (وحفاظها على الماء)

يرتبط التركيب المورفولوجي والتشريحي لنباتات التين الشوكي بمحافظتها على الماء وإستغلاله بأقصى قدر ممكن، وأيضاً بتحملها للجفاف الشديد، ويتضح ذلك من النقاط الآتية:

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

٢- السيقان مغطاه بطبقة من الكيوتين يصل سمكها إلى ١٠ - ٥٠ ميكرومتر وهي طبقة سميكة تقلل بشدة من فقد الماء، في حين أن طبقة الكيوتين في مجموعتي النباتات C₃ and C₄ تتراوح بين ٠,٢ - ٢ ميكرومتر.

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

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

مما سبق يتضح أن ثغور التين الشوكي تحتل حوالي ٠,٥% من مساحة سطح الساق (اللوحة) في حين تحتل ثغور النباتات C_3 and C_4 حوالي 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. acanthocarpa* and *O. bigelovii*

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

٥- فضلا 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 نهارا، ويخرج حامض الماليك من الفجوة العصارية، ويتحطم وينطلق ك CO_2 ، الذى يدخل فى عملية التمثيل الضوئى فى وجود الضوء فى التين الشوكى، تماما كما يحدث عند إنفتاح الثغور نهارا فى نباتات C_3 and C_4 وحدث عملية البناء الضوئى، وتفتتح هذه الثغور ليلا لإمتصاص ثانى أكسيد الكربون، فتفقد كمية من الرطوبة الموجودة فى أنسجة النبات أثناء إنفتاح الثغور، ولكن هذه الكمية تكون قليلة جدا مقارنة بما لو فتحت الثغور نهارا 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 = 203.4 جرام ماء/م² من السطح، فى حين تفقد نباتات C_4 حوالى 590 جرام ماء/م² من السطح، أما نباتات C_3 فتفقد حوالى 956 جم ماء/م² سطح ورقى.

وإذا كانت كفاءة استخدام الماء $Water\ use\ efficiency$ هي النسبة بين ك_أ الممتص إلى الماء المفقود بالجرام، حيث تعتبر مقياساً لكفاءة عملية التمثيل الضوئي، فإن كفاءة استخدام الماء في التين الشوكي تقدر بثلاثة أضعاف مثلتها في نباتات مجموعة C₄ وحوالي خمسة أضعاف كفاءة مثلتها في نباتات مجموعة C₃ وذلك في حالة رى هذه النباتات - أما خلال فترات الجفاف فتصبح هذه الميزة أكثر أهمية على الرغم من إنخفاض كمية ثنائي أكسيد الكربون الممتصة في التين الشوكي، ويرجع ذلك إلى إمتصاص النبات لثنائي أكسيد الكربون ليلاً وليس نهاراً بسبب إنفتاح الثغور ليلاً.

العوامل التي تؤثر على تبادل الغازات في التين الشوكي

توجد أربعة عوامل هامة تؤثر على إمتصاص ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي تؤثر على نواتج عملية البناء الضوئي في التين الشوكي وهي:
أولاً: رطوبة التربة

يمثل المجموع الجذري لنباتات التين الشوكي من ٧ - ١٢% من وزنه الجاف، كما أنه لا يتعمق أكثر من ٣٠ سم في التربة، ويحدد جهد الماء في جذور التين الشوكي بجهد الماء في المجموع الخضري له، فالسيقان العصرية للتين الشوكي يكون جهدها المائي مرتفعاً نسبياً (بين ٠,٣ - ٠,٦ ميجاباسكال).

ويجب التنويه إلى أن النبات لا يمتص الماء إلا إذا كان جهد الماء في التربة أعلى من جهد الماء في جذور النبات. فإذا تعرض نبات التين الشوكي للجفاف، يفقد بعض الماء من السيقان، إلا أن جهد الماء في الأفرخ والجذور يظل مرتفعاً نسبياً مقارنة بالنباتات في المجموعتين C₃ and C₄ - ويثبت ذلك أن جهد الماء في ألواح التين الشوكي المتعرضة للجفاف لمدة شهر ينخفض إلى حوالي ٠,٨ ميجاباسكال، في حين يحدث هذا الإنخفاض في نباتات C₃ أو C₄ إلى هذا الحد في خلال عدة ساعات أو عدة أيام من تعرضها للجفاف.

هذا ويعتبر وصول ١٠ مم من الماء إلى التربة التي بها التين الشوكي (سواء بالري الصناعي أو المطر) كافياً لترطيب التربة وإمتصاص الماء بسبب ارتفاع جهد الماء في التربة عما هو في الجذور، أما إضافة كميات كبيرة من الماء للتين الشوكي النامي في 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 في الأنسجة، ويقل إنفتاح

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

ثانياً: الحرارة

أوضح Nobel and Hartsock سنة ١٩٨٤ أن أقصى إمتصاص لثاني أكسيد الكربون بواسطة التين الشوكى يحدث عند درجات حرارة الليل/النهار تبلغ ٢٥/١٥[°]م - ويقل إمتصاص ك ٢ بحوالى ١٨% إذا وصلت درجات حرارة الليل/النهار إلى ١/٥[°]م - كما أن معدل إمتصاص ك ٢١ ينخفض بمقدار ٦٠% إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى ٣٥[°]م - ويصل إلى صفر% إذا وصلت درجة الحرارة ليلاً/نهاراً إلى ٤٤/٣٤[°]م. وهذا يعنى أن ارتفاع درجة حرارة الليل/النهار عن ٢٥/١٥[°]م أو إنخفاضها عن ذلك يقلل من إمتصاص ثاني أكسيد الكربون بواسطة التين الشوكى.

هذا وقد وجد Nobel سنة ١٩٩١ أنه بتراكم ثاني أكسيد الكربون فى الجو سبب ارتفاع فى درجة الحرارة، ووصلت إنتاجية الهكتار إلى ١٥ طن مادة جافة فى السنة، وهذا يفوق كثيراً إنتاجية محاصيل كثيرة من المجموعتين C₃ and C₄ تحت نفس الظروف، هذا وقد وصلت الزيادة فى تراكم المادة الجافة فى التين الشوكى إلى أكثر من ١١٧% مما هو فى مجموعتي C₃ and C₄ تحت نفس الظروف.

ثالثاً: الضوء

يحتاج التين الشوكى إلى النمو تحت الشمس الساطعة مباشرة، وإذا كان الكيوتيكل والأشواك تعكسان جزءاً 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 جزئياً عن نبات التين الشوكي، كلها تقلل من كفاءة عملية التمثيل الضوئي كما تقلل من إنتاجه من المادة الجافة عن طريق تقليل إمتصاص ثاني أكسيد الكربون من الجو المحيط.

وقد أوضح Nobel and Hortsock سنة ١٩٨٣ أنه بزيادة شدة الإضاءة، يزداد إمتصاص التين الشوكي لثاني أكسيد الكربون تدريجياً - وعندما قاسا شدة الإضاءة بقياس كثافة الوحدات الضوئية الخاصة بالتمثيل الضوئي (Photosynthetic photon flux density (PPFD) ووحدتها مول فوتون/وحدة مساحة/يوم، فقد وجدوا أن تعريض نباتات التين الشوكي لدرجات حرارة ٢٥°م نهاراً ، ١٥°م ليلاً (وهي التي تعطى أقصى كفاءة لدرجة الحرارة في إمتصاص ثاني أكسيد الكربون)، مع إستخدام كثافات مختلفة للوحدات الضوئية الخاصة بالتمثيل الضوئي، أدى إلى النتائج الآتية:

- ١- وجود كثافة ضوئية مقدارها ٢ مول فوتون/م^٢/يوم لا يحدث إمتصاص لثاني أكسيد الكربون.
- ٢- بزيادة الكثافة الضوئية عن الحد السابق تزداد الكمية الصافية الممتصة من ثاني أكسيد الكربون بواسطة نبات التين الشوكي، حتى تصل إلى أقصى إمتصاص لثاني أكسيد الكربون عند كثافة وحدات ضوئية خاصة بالتمثيل الضوئي (PPFD) تقدر بـ ٢٥ - ٣٠ مول/فوتون/م^٢/يوم.
- ٣- بزيادة الكثافة الضوئية عن ذلك لا يزداد إمتصاص ثاني أكسيد الكربون.

رابعاً: زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو

إن حدوث تلوث للجو بثاني أكسيد الكربون وإرتفاع نسبته، يزيد من إمتصاص نباتات التين الشوكي لثاني أكسيد الكربون، ويزيد من كفاءة إستخدام النبات له في إنتاج المادة الجافة كما أوضح ذلك Nobel سنة ١٩٩١.