(Hsp70، وHsp60، وHsp24) فى تسعة تراكيب وراثية من الطماطم ظهرت تباينات كبيرة بينها فى معدل البناء الضوئى (P_N)، وارتباط جوهرى بين إنتاج كل من Hsp24، وHsp60 وتحمل الـ P_N للشد الحرارى (Preczewski وآخرون ٢٠٠٠).

التربية لقدرة النباتات على النمو الطبيعى فى الحرارة العالية

أدى تحويل الطماطم وراثيًّا بالجين MT-sHSP إلى زيادة تحمل نمواتها الخضرية للحرارة العالية (Nautiyal وآخرون ٢٠٠٥).

قدرة الأزهار على العقد فى الحرارة العالية

طرق التقييم لقدرة الأزهار على العقد فى الحرارة العالية

تمكن Stoner & Otto (١٩٧٥) من انتخاب النباتات المرغوبة فى صوبات تراوحت فيها درجة الحرارة العظمى من ٢٦–٣٧ °م خلال فترة الاختبار، مقارنة بأصناف تتوفر بها تلك الصفة. ففى هذه الظروف.. لم تتعد نسبة العقد ١٠٪ فى الأصناف الحساسة، بينما بلغت ٣٢٪ فى الصنف Red Rock، و٦١٪ فى C28، و٧٤٪ فى Merit، و٩٢٪ فى Chic III، وهى الأصناف التى استخدمت للمقارنة.

أما Tarakanov وآخرون (١٩٧٨).. فيذكرون أن جمع حبوب اللقاح وتعريضها لحرارة ٤٠–٤٥ °م لمدة ٦ ساعات كان كفيلاً بقتل حبوب اللقاح الحساسة. وقد أدى استخدام حبوب اللقاح التى عرضت لهذه المعاملة فى التهجينات إلى تحسين نسبة العقد فى النسل.

وقد قدر Weaver & Timm (١٩٨٩) نسبة عقد الثمار، ونسبة حبوب اللقاح ونموها فى عدة أصناف وسلالات منتخبة من الطماطم بعد تعريضها لحرارة ٤٠ °م لمدة ٦٠ دقيقة، ووجدا أن كلا من إنبات حبوب اللقاح ونمو الأنابيب اللقاحية يرتبط إيجابيًّا – بصورة جوهرية – جدًّا بنسبة عقد الثمار، وكان معامل الارتباط (r) هو ٠,٩٨٨، و٠,٨١٥ للصفتين على التوالى.

وقد أمكنهما – برفع درجة الحرارة التى عرضت لها الأزهار من ٤٠ إلى ٤٨ °م – زيادة القدرة على التمييز بين التراكيب الوراثية الحساسة والمقاومة لزيادة الفارق بينهما فى حيوية حبوب اللقاح تحت هذه الظروف.

التباينات الوراثية فى قدرة الأزهار على العقد فى الحرارة العالية

درس Schaible (١٩٦٢) الاختلافات بين أصناف الطماطم فى قدرتها على العقد فى ظروف الحرارة المرتفعة، بلغت فيها درجة الحرارة ليلاً ٢٧ °م، ووجد أن أكثر الأصناف تحملاً هى: Porter، و Narcarlang. وأوضح Doolittle وآخرون (١٩٦١) أن الأصناف ذات الثمار الصغيرة الحجم تعد أكثر قدرة على العقد فى الجو الحار. وذكروا من أمثلتها Summer Set، و Hot6 Set، و Summer Prolific، وPorter.

وبالرجوع إلى Minges (١٩٧٢).. أمكن استخلاص القائمة التالية من أصناف الطماطم التى ذكرت عنها القدرة على العقد فى الحرارة العالية كواحدة من أبرز صفاتها:

Early Summer Sunrise	Golden Marglobe
Lousiana All-Seasons	Mozark
Ohio WR Brookston	Pearl Harbor
Red Cloud	Red Global
Sioux	Spartan Red 8
State Fair	Summer Sunrise
Summer Sunset	Summer Prolific
Texto NO.1	VF14

وفى اختبار شمل سبعة أصناف.. كان الصنف Hot Set أكثرها قدرة على تحمل الحرارة العالية؛ حيث بلغت نسبة عقد الثمار به ٧٧٪ تحت هذه الظروف (Levy

وآخرون ١٩٧٨). كما أوضحت دراسات Shelby وآخرين (١٩٧٨) قدرة الأصناف AU165، وNagcarlang، و Porter، و Saladette الجيدة على العقد فى الحرارة العالية.

وفى الهند.. أُجرى تقييم تحت الظروف الطبيعية شمل ٤٢ صنفًا، وتبين منه أن أكثر الأصناف قدرة على العقد فى الجو الحار هى: Avalanche، و Tropic Punjab، و Marzano P4 (Nandpuri وآخرون ١٩٧٥).

وقد أوضحت دراسات Rudich وآخرين (١٩٧٧) أن نسبة العقد فى ظروف ٢٢/٣٩ °م (نهار/ليل) بلغت ٥٦٪–٦٠٪ فى الصنف سالاديت Saladette، بينما تراوحت من صفر إلى ٢٢٪ فى الأصناف الحساسة للحرارة العالية. يتميز هذا الصنف — الذى أنتجه P.W. Leeper فى تكساس — بنموه الخضرى المحدود، وثماره الصغيرة القليلة البذور.

وفى لويزيانا.. اختبرت ستة أصناف وسلالات من الطماطم (هى: L401، وS6916، و BL6807، و Saladette، و Chico III، و P.I. 262934، و Floradel)، ووجد أن نسبة العقد تراوحت — تحت ظروف الحرارة المرتفعة — من ١٪ فى السلالة L401 إلى ٥٠٪ فى السلالة BL 6807؛ أما فى الجو المعتدل أثناء الربيع.. فقد بلغت نسبة العقد ٧٨٪، و٩٣٪ فى نفس هاتين السلالتين على التوالى (Hanna & Hernandez ١٩٨٢).

وفى مصر.. قيمت ١٠٥ من سلالات وأصناف الطماطم تحت ظروف الحرارة المرتفعة صيفًا (خلال شهرى يونيو ويوليو فى الجيزة والقليوبية)، ووجد أن أكثر الأصناف إنتاجية وقدرة على العقد فى هذه الظروف هى: Peto 81، وUC82، وPunjab Chuhara، و Peto 86، كما كانت سلالتا التربية W37-S1 78، و S-78-296-2، والصنف Saladette من أفضل المصادر الوراثية لصفة القدرة على العقد فى هذه الظروف (Radwan وآخرون ١٩٨٦ أ).

هذا.. وقد أجريت أكبر دراسة على تقييم الطماطم للعقد فى الحرارة المرتفعة فى المركز الأسيوى لبحوث وتطوير الخضر (AVRDC). وقد قيم فى هذه الدراسة ٤٠٥٠ صنفاً وسلالة من الطماطم والأنواع الأخرى القريبة من الجنس *Solanum*، ووجد أن ٢٨ سلالة فقط (أى أقل من ١٪ من السلالات المختبرة) كانت ذات قدرة على العقد فى الحرارة العالية، واشتملت على ٣٠ سلالة من نوع الطماطم *S. lycopersicum*، و٧ سلالات من النوع *S. pimpinellifolium*، وسلالة واحدة من الهجين النوعى بينهما. كانت جميع هذه السلالات ذات ثمار صغيرة أو متوسطة الحجم، ويرجع موطنها إلى ١٥ بلدًا مختلفاً، أى إنها تختلف فى المنشأ (Villareal وآخرون ١٩٧٨، و Villareal & Lai ١٩٧٩).

وعندما قُيمت ١٧ سلالة وصنفاً من الطماطم للقدرة على العقد وتحمل الحرارة العالية فى صوبة حرارتها ٢٨/٣٩°م؛ نهار/ليل)، وجدت تباينات كبيرة بينها فى نسبة العقد بين ٣٠٪ إلى ٧٠٪، ومحصول الثمار/نبات من ١١ إلى ٤١٠جم، وفى نسبة الثمار الطبيعية المكتملة التكوين من ٧٪ إلى ٧٢٪ (Abdul-Baki ١٩٩١).

وقد تميزت سلالة الطماطم 2413L بالقدرة العالية على العقد فى ظروف الحرارة العالية، حيث أعطت محصولاً عاليًا، ولم يحدث فيها تساقط كبير للأزهار، وكانت الأغشية البلازمية فيها على درجة عالية من الثبات فى ظروف الحرارة العالية (Saeed وآخرون ٢٠٠٧).

الارتباط بين قدرة الأزهار على العقد فى الحرارة العالية وفى الحرارة المنخفضة

تشير الأدلة على أن صفتى القدرة على العقد فى الحرارة المرتفعة والمنخفضة مرتبطتان ببعضيهما، بحيث يكون الصنف القادر على العقد فى الحرارة المرتفعة قادرًا – كذلك – على العقد فى الحرارة المنخفضة، وربما تتحكم نفس الجينات فى الصفتين (Asian Veg. Res. Dev. Center ١٩٧٦). وكمثال على ذلك.. تميز الصنفان UC82، و Peto86 – فى مصر – بالعقد والإنتاجية العالية تحت الظروف الطبيعية صيفًا (يونيو ويوليو) وشتاء (ديسمبر ويناير) (Ibrahim ١٩٨٤).

ويذكر Nuez وآخرون (١٩٨٥) أن أصناف وسلالات الطماطم – التى أنتجت أصلاً للقدرة على العقد فى الحرارة المنخفضة – كانت كذلك ذات قدرة جيدة على العقد فى الحرارة المرتفعة. ومن أمثلة تلك الأصناف Farthest North، و Severianin، و Sub Arctic Plenty، و BL6807. كما أنهم وجدوا أن سلالة الطماطم 0-1-29-0-0-1104 – التى انتخبت فى المركز الآسيوى لبحوث وتطوير الخضر لمقاومة الحرارة العالية – كانت كذلك مقاومة للبرودة.

وراثة قدرة الأزهار على العقد فى الحرارة العالية

نالت وراثة القدرة على العقد فى الحرارة العالية حظًّا وافرًا من الدراسة، إلا أن نتائج هذه الدراسات كانت متباينة، وهو ما قد يمكن إرجاعه إلى اختلاف الأصناف المستخدمة فى تلك الدراسة، وبالتالى اختلاف الصفات المسئولة عن القدرة على تحمل الحرارة العالية فى كل منها. كما كان لطريقة الاختبار ذاتها أثرها البالغ فى النتائج.

يُعرَّف تحمل الحرارة العالية فى الطماطم بأنه القدرة على عقد الثمار فى حرارة ليل لا تقل عن ٢١°م.

ولقد تبين من الدراسات الوراثية أن هذه الصفة معقدة، وأن كفاءة توريثها منخفضة وتتراوح بين ٥٪، و١٩٪.

ونظرًا لأن تحمل الشدِّ الحرارى فيما يتعلق بعقد الثمار يتضمن عديدًا من المكونات البيولوجية المؤثرة فيه، فقد اتجهت الأبحاث نحو دراسة كل مكون منها على حدة. وعلى سبيل المثال.. عندما دُرست وراثة صفة بروز الميسم من المخروط السدائى فى الحرارة العالية وجد أنها صفة سائدة جزئيًّا، ويتحكم فيها جينات ذات تأثير إضافى عالٍ وكفاءة توريث عالية.

وأظهرت دراسة أخرى وجود جينات ذات تأثيرات مضيفة وغير مضيفة على صفة تحمل العقد فى الحرارة العالية. كذلك وجد نظام وراثى مماثل لذلك فيما يتعلق بصفة انشقاق المخروط السدائى الذى يحدث فى الحرارة العالية (عن Opena ١٩٩٠).

ونعرض – فيما يلى – لبعض هذه الدراسات

أوضحت الدراسات الوراثية على سلالة الطماطم AU160 ذات القدرة العالية على العقد فى الحرارة العالية – والصنف Floradel – الذى لا يعقد فى هذه الظروف – أن تلك الصفة سائدة جزئيًا، وذات كفاءة توريث منخفضة قدرت بنحو ٥٤٪ فى المعنى العام، وبنحو ٨٪ فى المعنى الخاص (Shelby وآخرون ١٩٧٥ و١٩٧٨). وتوصل Villareal & Lai (١٩٧٩) إلى أن تلك الصفة معقدة. وقد بدا أن الجينات المسئولة عنها تتأثر بشدة بالعوامل البيئية (Asian Veg. Res. Dev. Center ١٩٧٦).

وقد أجرى El-Ahmadi & Stevens (١٩٧٩) دراسة موسعة تضمنت تلقيحات دايالليل كامل بين ستة أصناف وسلالات من الطماطم. منها صنف حساس للحرارة المرتفعة وخمسة ذات قدرة على العقد فى الحرارة العالية لأسباب متباينة (أى إنها تختلف فى طبيعة قدرتها على العقد تحت تلك الظروف)، هى: عدد الأزهار فى العنقود، ونسبة العقد، وعدد البذور فى الثمرة، ومدى بروز ميسم الزهرة من المخروط السدائى. وقد توصل الباحثان إلى النتائج التالية:

١- فى درجات الحرارة المعتدلة والعالية.. كانت صفة عدد الأزهار بالعنقود مرتبطة بجينات متنحية، وكانت كفاءة توريث هذه الصفة مرتفعة؛ حيث قدرت بنحو ٧٦٪.

٢- فى الحرارة العالية.. تتحكم فى صفة عقد الثمار جينات ذات تأثير مضيف أساسًا، وكانت كفاءة توريث هذه الصفة متوسطة؛ حيث قدرت بنحو ٥٢٪.

٣- فى الحرارة المعتدلة والعالية.. تحددت صفة عقد البذور (معبرًا عنها بعدد البذور فى الثمرة، وهى مقياس لخصوبة الجاميطات) بتفاعلات بين جينات غير آليلية، وكانت مكونات التباين الوراثى سائدة أساسًا، وكفاءة توريث الصفة منخفضة؛ حيث قدرت بنحو ٣٠٪.

٤- فى الحرارة العالية.. تتحكم فى صفة بروز الميسم من المخروط السدائى جينات سائدة جزئيًّا وذات تأثير مضيف، وكانت كفاءة توريث الصفة مرتفعة؛ حيث قدرت بنحو ٧٩٪.

وفى دراسة أخرى شملت تلقيحات نصف دياليل بين سبعة أصناف وسلالات من الطماطم، وجد ما يلى (Hanna وآخرون ١٩٨٢):

١- كانت أفضل السلالات فى القدرة على التآلف لصفة العقد الجيد فى الحرارة العالية هى S6916، وتلتها السلالة BL 6807، بينما كانت السلالة L401 أقلها فى هذه الصفة.

٢- كان الفعل المضيف للجينات أكثر أهمية من الفعل غير المضيف فى التأثير على صفة العقد الجيد فى الحرارة العالية.

وفى مصر.. وُجد — عندما أجريت دراسة وراثية تحت ظروف الحرارة المرتفعة صيفًا (خلال شهرى يونيو ويوليو فى الجيزة والقليوبية) — أن صفات العقد والمحصول المبكر والكلى كانت كمية، كما لم يظهر تأثير سيادى للجينات الخاصة بالقدرة على العقد فى هذه الظروف. وقد أظهر الهجين Saladette × Cal Ace VF قوة هجين لصفة المحصول تحت هذه الظروف. وكانت كفاءة توريث صفات نسبة العقد والمحصول المبكر والمحصول الكلى منخفضة جدًّا فى جميع التلقيحات؛ مما يدل على شدة تأثر هذه الصفات بالعوامل البيئية (Ibrahim ١٩٨٤).

وتبين من تحليل دياليل أن كلاًّ من خصوبة حبوب اللقاح وعقد الثمار فى ظروف الحرارة العالية يتحكم فيها نظام وراثى إضافى بصفة أساسية (Dane وآخرون ١٩٩١).

ويُستدل من بعض الدراسات أن الحساسية للحرارة العالية التى تعود إلى بروز الميسم صفة يتحكم فيها عدد محدود من الجينات السائدة، وكانت كفاءة توريثها عالية.

كما ذكر أن صفة القدرة على العقد فى الحرارة العالية ربما يتحكم فيها عدد من الجينات السائدة مع كفاءة توريث متوسطة فى المعنى العام (٥٤٪)، ولكن منخفضة جدًّا فى المعنى الخاص (٨٪). كما أوضحت دراسة أخرى أن تلك الصفة كمية وذات كفاءة

توريث منخفضة (٥٪–١٩٪). وتبين من دراسة ثالثة أن صفة تحمل الحرارة يمكن أن يتحكم فيها عدد قليل من الجينات الرئيسية المتنحية. وترجع تلك التباينات فى نتائج الدراسات الوراثية إلى اختلاف الآباء المستخدمة فى التلقيحات مع وجود تأثير قوى للعوامل البيئية (عن Hall ١٩٩٢).

هذا.. وتتميز سلالة طماطم مركز بحوث وتطوير الخضر الآسيوى CL 5915 بأنها مصدر هام لجينات القدرة على العقد فى ظروف الشد الحرارى. وأظهرت دراسة وراثية عليها انخفاضًا واضحًا فى درجة توريث تلك الصفة، سواء أكان معبرًا عنها بنسبة عقد الثمار (٠,٣١، و٠,٢١)، أم بعدد الثمار بالعنقود (٠,٢٨، و٠,١٤)، أم بعدد الأزهار بالعنقود (٠,٥٣، و٠,١٥) فى سنتى الدراسة، على التوالى. ويعنى ذلك أن انتخاب النباتات الفردية للقدرة على العقد فى الحرارة المرتفعة بين نباتات الجيل الثانى لتلقيحات تتضمن السلالة CL 5915 لا يُجدى، وأنه يتعين أن يعتمد الانتخاب على اختبار بمكررات لأنسال الجيل الثالث والأجيال التالية (Hanson وآخرون ٢٠٠٢).

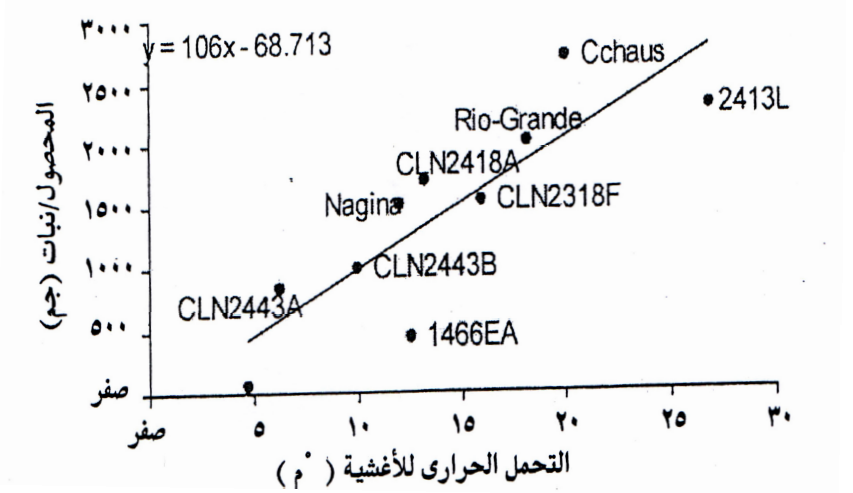
وأظهرت دراسة وراثية أخرى على سلالة الطماطم CL 5915 المتحملة للحرارة العالية أن تحملها – معبرًا عنه بعقد الثمار وبعدد الثمار فى العنقود – يتحكم فيه تأثيرات مضيفة وتأثيرات سيادة، وكان متوسط كفاءة توريث الصفة ٠,٢٦ (de la Pena & Hughes ٢٠٠٧).

وفى دراسة أخرى وجد أن صفة القدرة على عقد الثمار فى الحرارة العالية تورث كميًّا، وتتأثر الصفة – بسهولة – بالعوامل البيئية. وعندما أُجرى تلقيح بين سلالة الطماطم CL 5915 المتحملة للحرارة والسلالة الحساسة L4422 كان انعزال نباتات الجيل الثانى فى صفات عدد الثمار، وعقد الثمار، وعدد الأزهار، وعدد البذور، والمحصول يميل باتجاه الحساسية للحرارة. ووجد ارتباط جوهرى إيجابى بين المحصول وكل من الصفات التى أسلفنا بيانها، بالإضافة إلى صفة وزن الثمرة. وقد أمكن التعرف على ١٢ QTLs – موزعة على أربعة كروموسومات – تتحكم فى تلك الصفات الست (Lin وآخرون ٢٠٠٧).

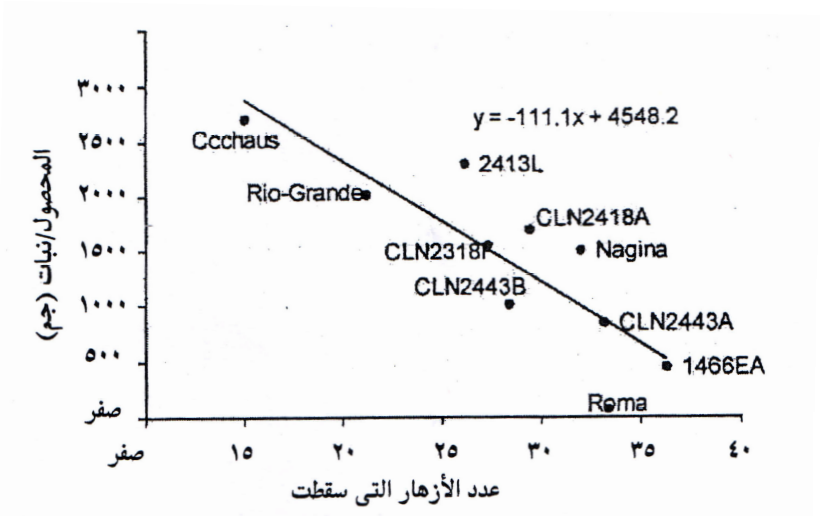
طبيعة قدرة الأزهار على العقد فى الحرارة العالية

أُرجعت الاختلافات الوراثية بين ٤٠٥٠ صنف وسلالة من الطماطم وأنواعها البرية فى قدرة أزهارها على العقد فى الحرارة العالية إلى اختلافها فى صفات: السقوط المبكر للبراعم الزهرية، وبروز المياسم، وتشقق المخروط السدائى، وعقم حبوب اللقاح (Villareal وآخرون ١٩٧٨، و Villareal & Lai ١٩٧٩).

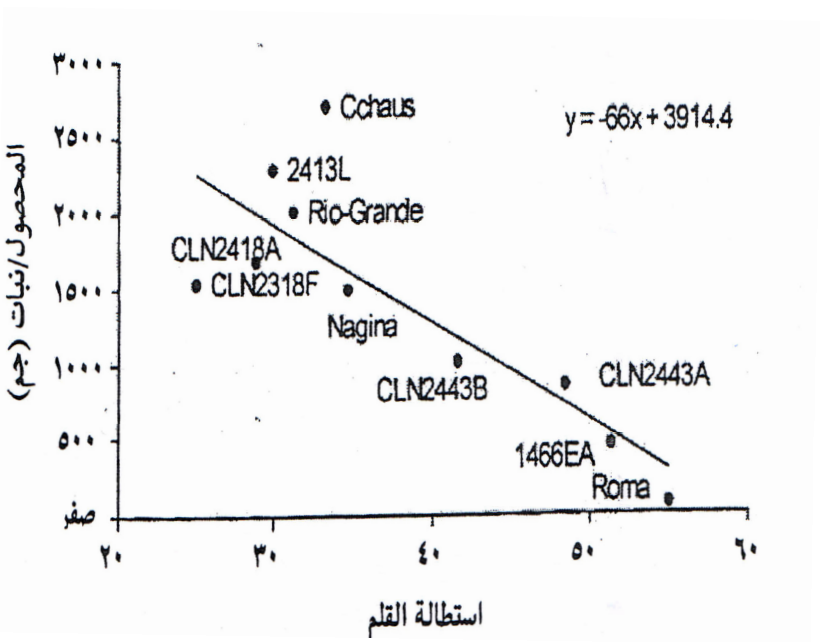
وأضحت دراسة أجريت على تقييم ١٠ أصناف وسلالات من الطماطم للقدرة على العقد فى الحرارة العالية أن أكثرها تحملاً كان الصنف Cchaus، وتلاه التركيب الوراثى 2413L، وهما اللذان أظهرا أعلى قدر من تحمل الأغشية الخلوية للحرارة العالية، وأقل عدد من الأزهار التى سقطت، وأعلى محصول. وتبين وجود علاقة موجبة بين محصول الثمار وثبات الأغشية الخلوية (شكل ٢-١) وأخرى سالبة بين المحصول وكل من عدد الأزهار التى سقطت (شكل ٢-٢)، واستطالة الميسم (شكل ٢-٣)، وانشقاق وانفصال المخروط السدائى. وفى هذه الدراسة كان الصنف روما أقلها فى ثبات الأغشية البروتوبلازمية وأكثرها حساسية للحرارة العالية (Saeed وآخرون ٢٠٠٧).



شكل (٢-١): العلاقة بين محصول ثمار أصناف الطماطم وتحمل أغشيتها البروتوبلازمية للحرارة العالية.



شكل (٢-٢): العلاقة بين محصول ثمار أصناف الطماطم وسقوط الأزهار فى الحرارة العالية.



شكل (٢-٣): العلاقة بين محصول ثمار أصناف الطماطم واستطالة أقلام أزهارها فى الحرارة العالية.

وقد دُرِست الاستجابة للحرارة العالية (٢٧/٣٨ ْم؛ نهار/ليل) فى أصناف وسلالات الطماطم المتحملة للشدِّ الحرارى: Saladette، و PI 262934، و BL 6807، وS6916 ، و CIAS161، وVF36، ووجد ما يلى:

١- انخفض إنتاج الأزهار فى كل الأصناف والسلالات المختبرة، فيما عدا BL 6807 الذى خُصِّص فيه قدرًا أكبر من المواد الغذائية المجهزة للأزهار.

٢- أظهر الصنفان Saladette، و VF36 – فقط – غياب كامل لظاهرة بروز الميسم، وهى التى تعد بمثابة عقم ذكرى وظيفى.

٣- انخفض إنتاج حبوب اللقاح فى جميع الأصناف والسلالات المختبرة، كما انعدم انتشار حبوب اللقاح فيها جميعًا.

٤- أظهر الصنف Saladette أقل انخفاض فى انبات حبوب اللقاح فى البيئة الصناعية، لكنه أظهر أكبر فقد فى عقد البذور عندما استعملت حبوب اللقاح المنتجة فى الحرارة العالية فى التلقيح. وربما كان عقد البذور هو المقياس الأفضل لحيوية حبوب اللقاح.

٥- أظهرت السلالتان CIAS161، و S6916 أقل انخفاض فى حيوية حبوب اللقاح تبعًا لمقياس عقد البذور.

٦- أظهرت السلالة PI 262934 أقل ضرر بالبييضات جراء التعرض للحرارة العالية.

٧- انخفضت حيوية حبوب اللقاح بشدة فى السلالة PI 26934، إلاّ أن حيوية بييضاتها كانت أقل تأثرًا.

٨- وبالمقارنة.. كان الانخفاض فى حيوية البييضات فى السلالة BL 6807 أكثر تأثرًا من الانخفاض فى حيوية حبوب اللقاح (El-Ahmadi ١٩٧٧، و El-Ahmadi & Stevens ١٩٧٩).

إن القدرة على العقد – فى الحرارة العالية – تُعزى إلى أسباب كثيرة متباينة فى مختلف السلالات، منها ما يلى (عن Rudich وآخرين ١٩٧٧، و Levy وآخرين ١٩٧٨، وKuo وآخرين ١٩٧٩، وStevens & Rick ١٩٨٦).

١–نقص مستوى المواد الكربوهيدراتية فى النبات؛ لضعف البناء الضوئى بسبب تأثر إنزيم RuBPcase؛ وتتوفر المقاومة لتلك الحالة فى الصنف Saladette.

٢–عدم انتقال المواد الكربوهيدراتية بكفاءة فى النبات؛ بسبب امتلاء الأنابيب الغربالية بالكالوس؛ وتتوفر المقاومة لتلك الحالة فى الصنف Saladette أيضًا.

٣–قلة تكوين الأزهار؛ بسبب سوء توزيع التمثيل البنائى؛ وتتوفر المقاومة لتلك الحالة فى السلالة BL 6807.

٤–ضعف إنتاج حبوب اللقاح واختلاف عملية تكوينها.

٥–عدم انتثار حبوب اللقاح بسبب عدم انشقاق المتوك؛ وتتوفر المقاومة لتلك الحالة فى الصنف Saladette.

٦–ضعف حيوية وإنبات حبوب اللقاح، وتتوفر المقاومة لتلك الحالة فى الصنف Nagcarlan.

٧–ضعف حيوية البويضات؛ وتتوفر المقاومة لتلك الحالة فى الصنف Malintka 101.

٨–بروز الميسم من المخروط السدائى؛ وتتوفر المقاومة لتلك الحالة فى الصنفين Saladette، و VF36.

٩–جفاف المياسم، وتلونها باللون البنى.

ووجد أن التراكيب الوراثية ذات الإزهار الغزير والثمار الصغيرة كانت أقل تأثرًا بالشدِّ الحرارى عن الأصناف ذات الثمار الأكبر حجمًا. وأحدث التعريض للحرارة

العالية لفترة طويلة خفضًا كبيرًا فى خصوبة حبوب اللقاح فى معظم التراكيب الوراثية باستثناء Red Cherry، وسلالة الطماطم الكريزية PI 190256، كما أحدثت الحرارة العالية بروزًا للمياسم مع تلونها باللون البنى فى جميع السلالات فيما عدا السلالتين CL-5915-553، و PI 190256 (Dane وآخرون ١٩٩١).

وعندما عُرِّضت نباتات مجموعتين من أصناف وسلالات الطماطم – حساسة ومتحملة للحرارة العالية عند عقد الثمار – لظروف طبيعية (٢٣/٢٧ °م؛ نهار/ليل)، وحرارة عالية (٢٣/٣٥ °م) فى صوبة زجاجية، تراوحت نسبة عقد الثمار فى الظروف الطبيعية بين ٤١٪، و ٨٤٪ فى المجموعة الحساسة، وبين ٤٥٪، و ٩١٪ فى المجموعة المتحملة، بينما لم يحدث أى عقد للثمار فى ظروف الحرارة العالية فى المجموعة الحساسة، وانخفضت نسبة العقد إلى ٤٥٪–٦٥٪ فى المجموعة المتحملة. ولم يكن إنبات حبوب اللقاح فى بيئة صناعية قبل أو بعد تعريضها لحرارة ٤٥ °م لمدة ساعة أو ساعتين أو أربع ساعات دالاً على عقد الثمار فى ظروف الشدِّ الحرارى (Abdul-Baki & Stommel ١٩٩٥).

ومقارنة بنتائج دراسات سابقة.. تبين لدى مقارنة الصنف الحساس للحرارة العالية Pusa Ruby، والصنف المتحمل للحرارة العالية عند العقد CL-1131 تماثلهما فى مدى بروز مياسم أزهارهما فى الحرارة العالية (٢٣/٢٨ °م)، وكذلك تماثلهما فى عدم وجود تشقق بالمخروط السدائى لأزهارهما فى الحرارة العالية (Lohar & Peat ١٩٩٨).

ولكن تُعد صفتا القدرة على إنتاج حبوب اللقاح وإنباتها فى ظروف الشدِّ الحرارى أهم العوامل المتحكمة فى القدرة على عقد الثمار فى تلك الظروف (Sato وآخرون ٢٠٠٠).

وقد أمكن التغلب على ضعف إنبات حبوب لقاح الطماطم على ٣٨ °م بإضافة الاسبرميدين والاسبرمين (اللذان لم يزدد تركيزهما فى ظروف شد الحرارة)، ولكن ليس

بإضافة البوترسين (الذى ازداد إنتاجه فى الحرارة العالية) إلى بيئة إنبات حبوب اللقاح. وتُفيد الدراسة أن ضعف نشاط الـ cyclohexamide – الذى ربما يكون مرده إلى ضعف إنتاج البروتين – يعد عاملاً رئيسيًّا لضعف إنبات حبوب اللقاح فى الحرارة العالية (Song وآخرون ٢٠٠٢).

إن تعريض أصناف الطماطم الحساسة للشدِّ الحرارى لحرارة عالية يؤدى إلى خفض أعداد حبوب اللقاح المنتجة، وإضعاف حيويتها وقدرتها على الإنبات؛ مما يؤدى إلى خفض نسبة عقد الثمار، وخفض أعداد البذور فى الثمار العاقدة، بينما لا تتأثر تلك الخصائص بنفس الدرجة فى الأصناف المتحملة للشدِّ. وقد وُجد أن الشدِّ الحرارى أحدث فى الأصناف الحساسة خفضًا جوهريًّا فى تركيز النشا فى حبوب اللقاح المتكونة قبل ثلاثة أيام من تفتح الزهرة، مع انخفاض موازٍ فى تركيز السكريات الذائبة فى حبوب اللقاح المكتملة التكوين، بينما لم تتأثر هاتين الخاصيتين بالشدِّ الحرارى فى الأصناف المتحملة للحرارة التى شملتها الدراسة، وهى Grace، وNC 8288، و FLA 7156، و Saladette، و Hazera 3018، و Hazera 3042، علمًا بأن الأصناف الحساسة التى شملتها الدراسة كانت أصولاً وراثية متشابهة isogenic lines لتلك المقاومة (Firon وآخرون ٢٠٠٦).

التربية لقدرة الأزهار على العقد فى الحرارة العالية

أُنتج صنف الطماطم الهجين Solar Set، وهو هجين بين سلالة فلوريدا الكبيرة الثمار Fla 7060 كأم وسلالة فلوريد المتحملة للحرارة Fla 7171 كأب، وهو الذى استمد خاصية قدرته على العقد فى الحرارة العالية من الصنف Campbell 28. والهجين Solar Set هو هجين استهلاك طازج يمكنه عقد الثمار فى حرارة ٢٢/٣٣°م (نهار/ليل) مع رطوبة عالية (Scott وآخرون ١٩٨٩).

وأُنتجت سلالة الطماطم LHT24 ذات القدرة على العقد فى الحرارة العالية، من تلقيح بين الصنفين Fresh Market 9، وTamu Saladette. وهى – إلى جانب قُدرتها على العقد

فى الحرارة العالية – مقاومة لذبول فيرتسيليم، وللسلالة ١ من فطر الذبول الفيوزارى، وللفطرين *Stemphylium solani*، و*Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici*، ولنيماتودا تعقد الجذور. وقد تراوح محصولها بين ١,٤٣، و ٢,٣٣ كجم/نبات، مقارنة بمحصول قدره ٠,١٧–٠,٩٤ كجم/نبات للصنف فلورايد فى نفس التقييمات، كما تراوح وزن ثمارها بين ١٠٧، و١٤٦ جم، مقارنة بوزن قدره ١٥٦–١٧٢ جم لثمار فلورايد (Hanna وآخرون ١٩٩٥).

كذلك كان الصنف Fla 7156 الأكثر قدرة على العقد فى الحرارة العالية (٢٨/٣٢ °م نهارًا/ ليلاً) من بين تسعة أصناف تم اختبارها، على الرغم من انخفاض نسبة عقد ثماره إلى ٢٢,٥٪، مقارنة بالعقد (٤٦,٨٪) فى حرارة معتدلة مقدارها ٢٢/٢٦ °م نهار/ليل (Sato وآخرون ٢٠٠٤).

هذا.. وتتوفر صفة القدرة على العقد فى الحرارة العالية فى السلالات والهجن التالية التى أنتجتها جامعة فلوريدا (Scott ٢٠٠٧):

أولاً: السلالات:

Fla. 7171 PVP	Fla. 7771
Fla. 7770	Fla. 7776

ثانيًا: الهجن:

Solar Set	Equinox
Solar Fire (Fla 7943B)	

وقد استخدمت سلالة الطماطم Fla 7776 ذات القدرة على العقد فى الحرارة العالية كأحد آباء الهجين Solar Fire، الذى يتميز بالقدرة الفائقة على العقد فى الحرارة العالية (٢١/٣٢ °م؛ نهار/ليل)، مقارنة بقدرة الأصناف التجارية المعروفة حينئذٍ فى عام ٢٠٠٦ (Scott وآخرون ٢٠٠٦).

وأُنتج صنف الطماطم Assiut-15 فى جامعة أسيوط كهجين بين صنف الطماطم Strain-B كأم، والسلالة HTT-294 (التى يمكنها العقد فى الحرارة العالية)، وهو يتميز بقدرته على عقد الثمار فى الحرارة العالية، ومن خصائصه ثماره الكبيرة، وتغطية نموه الخضرى جيدًا للثمار، ومحصوله الجيد (١٩ طن/فدان) (Mohamed وآخرون ٢٠٠٢ أ).

وقد طور مركز بحوث وتطوير الخضر الآسيوى أصنافًا عالية الجودة متحملة للحرارة العالية من كل من الطماطم والكرنب الصينى. وكانت بداية الاعتماد – بالنسبة للطماطم – على بعض سلالات التربية والسلالات المحلية من كل من المكسيك (مثل: VC 11-3-1-8، و VC 11-2-5، وDivisoria-2)، والولايات المتحدة (مثل: Tamu Chico III، و PI 289309). وقد أظهرت إحدى سلالات المركز الآسيوى – وهى CL 5915 – مستوى عالٍ من تحمل الحرارة فى جنوب شرق آسيات والمحيط الهادى (de la Pena & Hughes ٢٠٠٧).

وأظهرت معظم سلالات وأصناف الطماطم المنتجة فى معهد بحوث وتطوير الخضر الآسيوى قدرة على العقد فى الحرارة العالية، ومنها: سلالات Beaverlodge، و Nagearlan، و Red Cherry (Dane وآخرون ١٩٩١).

ولمزيد من التفاصيل عن التربية لعقد ثمار الطماطم فى الحرارة العالية فى الدراسات المبكرة.. يُراجع Chandler (١٩٨٣).

قدرة الثمار على التلوين الطبيعى فى الحرارة العالية

وجدت سلالات من الطماطم كانت أكثر تحملاً لتمثيل الكاروتين فى الحرارة العالية (٣٢°م)؛ ولم يتأثر فيها تلوين الثمار فى تلك الظروف، كما يحدث فى الأصناف الحساسة، وتبين أن تلك الصفة بسيطة وسائدة (Johima ١٩٩٥).