ويمكن تقليل سمك أوراق الفلفل وزيادة نسبة مساحة الأوراق إلى الوزن الكلى للنبات (نسبة المساحة الورقية Leaf Area Ratio)، وذلك بخفض شدة الإضاءة

كذلك يزداد معدل ظهور الأوراق الجديدة فى الفلفل بزيادة شدة الإضاءة

وتؤدى الإضاءة القوية (٢٨ ميجا جول/م^{2} MJm^{-2}) إلى نقص محصول الفلفل الكلى بمقدار ١٩٪ والمحصول الصالح للتسويق بمقدار ٥٠٪ مقارنة بمحصول النباتات المظللة قليلاً بداية من الشتل وقد كانت معاملة التظليل مصاحبة بنقص فى نسبة لثمار المصابة بلسعة الشمس، وبزيادة فى حجم الثمار، وأيضًا بزيادة فى المساحة الورقية. هذا .. إلا أن محصول الفلفل يزداد بزيادة شدة الإضاءة طالما بقيت درجة الحرارة فى المدى المناسب، وما توفرت الرطوبة الأرضية التى تحتاجها النباتات فى هذه الظروف (عن Wien ١٩٩٧).

الرطوبة النسبية

وجد أن زيادة الرطوبة النسبية ليلاً تؤدى إلى زيادة متوسط وزن الثمرة مقارنة بالإنتاج فى ظروف الرطوبة النسبية الأقل خلال الليل. هذا .. إلا أن التغيرات فى الرطوبة النسبية ليلاً، أو نهارًا لم يكن لها أية تأثيرات معنوية على النمو الخضرى أو المحصول المبكر، أو الكلى (Bakker ١٩٨٩).

ويناسب الفلفل رطوبة نسبية تقدر بنحو ٧٥٪.

النمو والتطور

ارتباطات النمو

يرتبط النمو الخضرى لنبات الفلفل سلبيًا مع نمو الثمار، الأمر الذى يؤثر سلبيًا — بدوره — على محصول الثمار

وكمثال عملى على ذلك نجد أن الفلفل يربى فى الزراعات المحمية — عادة — على ساقين، مع إزالة جميع الفروع القاعدية والعلوية الأخرى أثناء تكوينها. كذلك

يُمنع عقد الثمار عند العقد العشر الأولى بإزالة الأزهار المتكونة، ويكون الهدف من ذلك هو إتاحة الفرصة لتكوين نمو خضرى قوى قبل بدء الإثمار. ويترتب على ذلك تأخير بداية الإثمار فى الزراعات المحمية مقارنة بما حدث فى الزراعات الحقلية، إلا أن الإثمار يستمر لفترة طويلة قد تمتد لثمانية أشهر فى الزراعات المحمية، مقارنة بنحو ٢-٣ شهور فقط من الإنتاج فى الزراعات الحقلية، وربما كان من الأفضل رفع درجة الحرارة فى البيوت المحمية لأجل إسراع النمو الخضرى، والاستغناء عن عملية إزالة الأزهار (عن Wien ١٩٩٧).

ويؤدى ارتفاع درجة الحرارة نهارًا إلى زيادة تراكم المادة الجافة فى الثمار، وتثبيط النمو الخضرى فى أصناف الفلفل ذات الثمار الكبيرة، بينما يزداد النمو الخضرى طرديًا مع الارتفاع فى درجة الحرارة نهارًا فى أصناف الفلفل ذات الثمار الصغيرة (Takagaki ١٩٩٣)

وتكون نسبة عقد الثمار أقل فى الأجزاء العليا من النبات منها عند قاعدته، بسبب حصول الثمار الأولى فى التكوين على معظم الغذاء المجهز ومنافستها للأزهار العليا على ذلك الغذاء.

هذا .. بينما لم يجد Heuvelink & Marcelis (١٩٩٦) تأثيرًا لتوفر الغذاء المجهز على معدل ظهور الأوراق الجديدة خلال مرحلة النمو الزهرى والثمرى، ولكن توفر الغذاء المجهز أدى إلى زيادة مساحة الأوراق.

ويبلغ معدل البناء الضوئى فى أوراق الفلفل أعلى مدى له عندما تزيد مساحة الورقة عن ١٠ سم^{٢}، وتحتفظ الأوراق بكفاءتها العالية فى البناء الضوئى لمدة طويلة بعد ذلك.

ويمكن لثمار الفلفل أن تُصنِّع جزءًا من الغذاء المخزن فيها، ولكن الجانب الأكبر مما تحتويه من غذاء يصل إليها من الأوراق.

عقد الثمار

تكوين الأمشاج الأنثوية

يمر تكوين الأمشاج الأنثوية Female Gametogensis فى الفلفل — من بداية الانقسام الاختزالى حتى بداية انقسام الزيجوت — بالمراحل التالية (Greenleaf ١٩٨٦).

عدد الأيام بالنسبة لتفتح الزهرة	الحدث
-٤	الانقسام الاختزالى (الميوزى) Meiosis
-٣	تكوين أربع خلايا جرثومية Microspore Tetrad
-٢	تكوين كيس جنينى وحيد النواة Uninucleate ES
-١	تكوين كيس جنينى ذو ٢-٤ نوايا 2-4 nucleate ES
صفر	تكوين كيس جنينى ذو ٨ نوايا 8 nucleate ES
	تفتح الزهرة والتلقيح
+١	اندثار النواتان القطبيتان Antipodal Nuclei degenerate
	نمو الأنابيب اللقاحية فى القلم
+٢	اندثار إحدى الأنوية المساعدة One synergid degenerates
	نمو الأنابيب اللقاحية فى القلم
+٣	الإخصاب Fertilization
+٤	اندثار الأنوية المساعدة الأخرى
+٥	بداية تكوّن الإندوسبرم
	استمرار تكوّن الإندوسبرم
+٦	الانقسام الأول للزيجوت First Zygote Division
	تكوّن الإندوسبرم

إنتاج حبوب اللقاح وإنباتها

عندما عُرِّضت نباتات الفلفل لحرارة عالية (٣٢°م نهارًا مع ٢٦°م ليلاً) لمدة ثمانية أيام قبل تفتح الأزهار، فإن عدد حبوب اللقاح المنتجة/زهرة لم يختلف عما

فى حالة المعاملة الحرارية العادية (٢٨°م نهارًا مع ٢٢°م ليلاً)، إلاّ أن إنبات حبوب اللقاح المنتجة من أزهار المعاملة الحرارية العالية انخفض كثيرًا فى البيئة الصناعية على ٢٥°م، مقارنة بإنبات حبوب اللقاح المنتجة من أزهار المعاملة الحرارية العادية. وتوافق هذا التأثير مع الانخفاض الواضح فى عدد البذور بالثمرة فى نباتات المعاملة الحرارية العالية. وعندما رُفع تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء — فى كلتا المعاملتين الحراريتين — إلى ٨٠٠ جزء فى المليون، فإن ذلك لم يؤثر فى إنبات حبوب اللقاح المتحصل عليها من أزهار المعاملة الحرارية العادية فى البيئة الصناعية، ولكنه جعل إنبات حبوب اللقاح المتحصل عليها من أزهار المعاملة الحرارية العالية قريبًا من المستوى الطبيعى. ولقد وجد ارتفاع جوهرى فى تركيز كل من السكروز والنشا، وانخفاض فى نشاط إنزيم أسيد إنفرتيز acid invertase فى حبوب لقاح أزهار المعاملة الحرارية العالية عما فى حبوب لقاح المعاملة الحرارية العادية. ومع التركيز العالى لثانى أكسيد الكربون انخفض تركيز السكروز فى حبوب لقاح أزهار المعاملة الحرارية العالية إلى مستوى قريب مما فى حبوب لقاح المعاملة الحرارية العادية. ويعتقد بأن التركيز العالى من كل من السكروز والنشا فى حبوب لقاح أزهار المعاملة الحرارية العالية مردة إلى انخفاض الأيض فيها فى الحرارة العالية، وأن التركيز العالى لثانى أكسيد الكربون — بما يوفره من زيادة فى الغذاء المجهز لحبوب اللقاح — ربما يخفف من التأثير المثبط للحرارة العالية على أيض السكروز والنشا، وبذا .. يزيد من استخدامها فى إنبات حبوب اللقاح فى ظروف الحرارة العالية (Aloni وآخرون ٢٠٠١).

التلقيح

تكون مياسم أزهار الفلفل مستعدة لاستقبال حبوب اللقاح قبل تفتح الأزهار — أى وهى مازالت فى طور النمو البرعمى — ولكن حبوب اللقاح لا تكون مكتملة التكوين إلا عند تفتح الزهرة. وتتفتح معظم الأزهار خلال ساعتين من شروق الشمس، وتتفتح المتوك بعد تفتح الزهرة بفترة وجيزة، ولكنه لا يتم إلا بعد اكتمال امتداد البتلات.

وأفضل حرارة لإنبات حبوب لقاح الفلفل هى ٢٥–٣٠°م ولكن حبوب لقاح الصنف تباسكو Tabasco (*C frutescens*) الذى تتفتح أزهاره غالبًا بين ١٠ صباحًا و ١٢ ظهرا – تنبت حبوب لقاحه جيدا فى حرارة تصل إلى ٣٥°م، كما تنبت بدرجة متوسطة فى ٤٠°م

إن ميسم زهرة الفلفل مفصص ومغطى بسائل لزج تفرزه شعيرات غدية توجد على سطح الميسم ويكون استعداد الميسم للتلقيح فى أوجه يوم تفتح الزهرة، وخاصة قبل انفراج البتلات وتفتح المتوك مباشرة، ولكن تستمر المياسم مستعدة لاستقبال حبوب اللقاح لمدة ٤ أيام فى الجو المعتدل البرودة، وقد تستمر فى بعض الأصناف إلى ٧ أيام، بينما تكون مدة استعداد المياسم لاستقبال حبوب اللقاح أقصر فى الجو الحار وحتى فى الحرارة المنخفضة فإن ميسم الزهرة يتغير لونه فى خلال ٤ أيام من تفتح الزهرة، وينكمش، ويفقد السائل اللزج الذى كان يغطيه.

كذلك تكون حبوب اللقاح فى أوج خصوبتها فى يوم تفتح الزهرة وليس قبل ذلك، بينما تنخفض خصوبتها كثيرا فى خلال يوم إلى يومين من تفتح الزهرة.

ويمكن حفظ حبوب اللقاح فى درجة الصفر المئوى لمدة ٥–٦ أيام (Rylski ١٩٨٦)

العقد الطبيعى

يتراوح المجال الحرارى الملائم لعقد ثمار الفلفل من ١٢–١٦°م وتعد درجة الحرارة المنخفضة ليلاً (١٠°م أو ١٥°م) أفضل من درجة الحرارة المرتفعة (٢١°م أو ٢٧°م). وتنخفض درجة حرارة الليل المثلى لعقد الثمار مع تقدم النبات فى العمر.

يتضح مما تقدم أن ثمار الفلفل يمكنها العقد فى درجات حرارة أكثر انخفاضًا من تلك التى تعقد عليها ثمار الطماطم، وتعتبر درجة حرارة الليل أكثر أهمية فى التأثير على عقد ثمار الفلفل من درجة الحرارة السائدة نهارًا فقد وجد لدى تعريض نباتات الفلفل لدرجات حرارة منخفضة ليلاً ونهارا أن العقد تأثر بدرجة حرارة الليل،

إذ بلغت نسبة العقد أعلى ما يمكن عندما كانت الحرارة ليلاً ١٥°م، بالمقارنة بدرجات ١٨°م، و ٢١°م، و ٢٤°م، كما تساقطت نسبة عالية من البراعم عندما كانت حرارة الليل ٢٤°م. ولكن لم يتأثر العقد بارتفاع الحرارة نهارًا إلى ٢٨°م لمدة ١٢ ساعة، أو إلى ٢٨°م، ثم ٣٢°م، ثم ٢٨°م لمدة ٤ ساعات لكل منها (Went ١٩٦٢، و Rylski & Spigelman ١٩٨٢).

لم يحصل Cochran على أى عقد لثمار الفلفل فى حرارة ٣٢-٣٨°م، بينما حدث عقد للثمار فى حرارة ٢١-٢٧°م. وازدادت نسبته فى حرارة ١٦-٢١°م. وتلعب حرارة الليل دورًا رئيسيًا فى هذا الشأن، فتساعد حرارة الليل المنخفضة — حتى الأقل من ١٠°م — على زيادة نسبة عقد الثمار. هذا إلاّ أن ارتفاع الحرارة نهارًا، مع انخفاض شدة الإضاءة تؤديان إلى سقوط الأزهار عند انخفاض الحرارة ليلاً. وعلى الرغم من أن حرارة الليل المنخفضة تؤدى إلى زيادة نسبة العقد، إلا أنها تمنع التلقيح وتتسبب فى نمو ثمار يقل محتواها من البذور أو ينعدم. وهذه المبايض الزهرية غير المخصبة تسقط عندما تكون حرارة النهار مرتفعة مع ضعف شدة الإضاءة.

وعمليًا فإن أفضل حرارة لتأمين عقد جيد للثمار البذرية تتراوح بين ١٧، و ١٨°م. بينما يصاحب حرارة ليل أعلى من ٢١°م سقوط نسبة كبيرة من البراعم الزهرية بدون عقد (عن Rylski ١٩٨٦).

ولأجل زيادة المحصول من الثمار الصالحة للتسويق يلزم توفر حرارة تتراوح بين ٢١، و ٢٣°م خلال فترة النمو الخضرى، وحرارة مقدارها ٢١°م خلال فترة نمو الثمار، مع اختلاف حرارة الليل عن النهار بمقدار ٧-٩°م، وذلك تحت ظروف الإضاءة الضعيفة نسبيًا، مع المحافظة على فارق أكبر من ذلك بين حرارتى الليل والنهار فى ظروف الإضاءة الجيدة (عن Wien ١٩٩٧).

وتبعًا لدراسات سابقة (Bakker ١٩٨٩) .. فإن الفرق بين درجتى حرارة الليل والنهار (استعمل الباحث ١٢ معاملة اختلفت فيها حرارة الليل بين ١٢°م، و ٢١°م،

وحرارة النهار بين ١٦°م و ٢٨°م) . لم يكن هذا الفرق مؤثرًا على نمو وتطور نباتات الفلفل. وعقد ثمارها وصفاتها. وإنما كان العامل المهم هو متوسط درجة الحرارة اليومى الذى أثر (فى حدود المجال المستعمل فى الدراسة) على عقد الثمار، وتطورها، ونضجها

العقد البكرى للثمار

تُنتج الثمار البكرية فى الفلفل بكثرة عندما يسود الجو حرارة منخفضة ليلاً أثناء مرحلة الإزهار والعقد. كذلك تنتج الثمار البكرية فى ظروف الحرارة المرتفعة ليلاً بالمعاملة بعدد من منظمات النمو. منها. حامض الجبريلليك، ونفثالين حامض الخليك، وباراكلورفينوكسى حامض الخليك 4-CPA، و٢،٤—د 2,4-D، و 2,4,5-T، والكلوروفلورينول Chloroflurenol وعندما تحفز معاملة منظمات النمو نمو المبيض والمشيمة فإن الثمار البكرية الناتجة تكون مماثلة فى الحجم للثمار البكرية التى تتكون فى ظروف الحرارة المنخفضة ليلاً

هذا إلا أن شكل الثمار البكرية التى تنتج من المعاملة بمنظمات النمو يتوقف على نوع منظم النمو المستعمل. فمثلاً يحفز الـ 2,4-D النمو العرضى للثمرة فيكون قطرها مماثل لقطر الثمار الطبيعية التكوين، بينما تكون قصيرة؛ فتبدو مبططة وتأخذ شكل ثمرة الطماطم هذا بينما تثبط المعاملة بحامض الجبريلليك نمو الثمرة فى كلا الاتجاهين (عن Rylski ١٩٨٦).

فشل العقد الطبيعى للثمار

إن أهم العوامل التى تؤدى إلى سقوط البراعم الزهرية والأزهار فى الفلفل ما يلى:

١- الحرارة العالية

٢- ضعف الإضاءة

٣- نقص الرطوبة الأرضية.

٤- المنافسة على الغذاء المجهز من قبل الثمار الأولى فى التكوين.

٥- الإصابات المرضية والحشرية.

ويمكن أن تؤدى تلك العوامل إما إلى تأخير بداية الإزهار، وإما إلى إطالة فترة الإزهار دون عقد للثمار، وإما إلى انتهاء عقد الثمار مبكرًا.

وفى الحالات الشديدة يُسقط النبات جميع براعمه الزهرية وأزهاره المتفتحة، ويلزم — حينئذٍ — مرور عدة أسابيع قبل أن تتكون وتتفتح أزهار جديدة.

وأكثر أصناف الفلفل حساسية لظروف الإجهاد البيئى التى تؤدى إلى سقوط البراعم الزهرية والأزهار هى الأصناف ذات الثمار الكبيرة الحجم (عن Wien ١٩٩٧).

٦- الحرارة المنخفضة:

يؤدى انخفاض درجة الحرارة إلى عقد ثمار مشوهة فى الفلفل؛ ولا ينعدم العقد إلا إذا كان الانخفاض فى درجة الحرارة كبيرًا.

الحرارة العالية:

من المعروف أن ارتفاع درجة الحرارة بشدة قبل تفتح الأزهار بنحو ١٣-١٧ يومًا يؤدى إلى انخفاض حيوية حبوب اللقاح المتكونة، وقلة عقد الثمار. ويؤدى ارتفاع الحرارة إلى ٣٤-٣٧°م - خاصة عندما يكون ذلك مصحوبًا بانخفاض فى الرطوبة النسبية - إلى زيادة النتح، ونقص المستوى الرطوبى فى النبات، وسقوك الأزهار والثمار الحديثة العقد. كما تؤدى الحرارة المرتفعة مع الإضاءة الضعيفة — وهى الظروف التى تكون سائدة فى الأقبية البلاستيكية — إلى سقوط الأزهار بدون عقد.

وقد أوضح Cochran منذ عام ١٩٣٦ أن عقد ثمار الفلفل ينخفض فى حرارة ٢٧°م نهارًا مع ٢١°م ليلاً، بينما يتوقف عقد الثمار كلية فى حرارة ٣٨°م نهارًا مع ٣٢°م ليلاً فى البيوت المحمية. وتعد حرارة الليل المرتفعة أشد تأثيرًا على عقد الثمار عن حرارة النهار المرتفعة. كذلك وُجد — تحت ظروف الحقل — أن حرارة تزيد عن ٣٨°م نهارًا، وعن ١٦°م ليلاً كانت كافية لسقوط جميع الأزهار والبراعم الزهرية فى عديد من أصناف

الفلفل وتزداد الحالة سوءا إذا كانت الحرارة العالية مصاحبة بنقص شديد فى الرطوبة الأرضية (Khan & Passam ١٩٩٢، وعن Wien ١٩٩٧)

وتوجد اختلافات بين أصناف الفلفل فى قدرة أزهارها على تحمل الحرارة العالية قبل أن تتعرض للسقوط، فمثلاً كان صنف الفلفل الحلو مأوّر Maor أكثر حساسية للحرارة العالية من صنف البابريكا ليهافا Lehava (كلاهما *C annuum*)، ولكن تلك الحساسية للحرارة العالية تعتمد على شدة الإضاءة. ففى ظروف الحرارة العالية والإضاءة العالية كان الصنف الحلو أقل حساسية من البابريكا، ولكن تحت ظروف الحرارة العالية والإضاءة الضعيفة كان الفلفل الحلو أكثر حساسية وكان إنتاج الإثيلين فى أزهار الفلفل الحلو المقطوفة والمزروعة فى بيئات صناعية (flower explants) أعلى ما يمكن فى حرارة ٣٤°م، ثم نقص فى درجات الحرارة الأعلى (٤٢ و ٤٨°م)، بينما كان إنتاج الإثيلين فى أزهار البابريكا المماثلة أقل، ووصل إلى أعلى معدل له فى حرارة ٤٢°م وكانت أزهار الفلفل الحلو المقطوفة والمزروعة أكثر حساسية للمعاملة بالإثيفون عن أزهار البابريكا المماثلة. وقد ارتبطت شدة حساسية مجموعة من أصناف الفلفل للشدّ الحرارى بمدى حساسية أزهارها للمعاملة بالإثيفون أكثر من إنتاجها للإثيلين تحت ظروف الحرارة العالية ويبدو أن اختلاف أصناف الفلفل فى حساسيتها للحرارة العالية المؤدية إلى سقوط الأزهار يرتبط بكل من مدى إنتاج الأزهار للإثيلين. ومدى حساسية تلك الأزهار للإثيلين المنتج تحت ظروف الحرارة العالية، ولكن ربما كانت الحساسية للإثيلين المنتج أكثر أهمية فى عملية سقوط الأزهار (Aloni وآخرون ١٩٩٤)

وبينما لم تتأثر خصوبة حبوب لقاح الفلفل أو قدرتها على الإنبات بتعريضها لحرارة ٣٣°م لمدة ٨ ساعات فى عدد من الأصناف، فإن تعريضها لحرارة ٣٨°م أحدث نقصا شديدا فى حيويتها، وفى قدرتها على الإنبات بعد ٨-١٠ أيام من المعاملة، وخاصة فى الصنفين نيو آيس New Ace، وثاى شيلى Thai Chilli (Takagaki وآخرون ١٩٩٥)

وقد كان تدهور حيوية حبوب اللقاح وضعف إنباتها فى الحرارة العالية مصاحبًا بتطورات غير طبيعية فى كل من حبوب اللقاح والمتوك، وكانت تلك التطورات غير الطبيعية أشد وضوحًا فى الأصناف الأكثر حساسية للحرارة المرتفعة عما فى الأصناف الأقل حساسية. بينما لم تكن للحرارة أية تأثيرات ملاحظة على أعضاء التأنيث فى الزهرة (Han وآخرون ١٩٩٦).

هذا .. ويسبق سقوط الأزهار والبراعم الزهرية دونما عقد — فى الحرارة العالية — نقص فى نشاط الإنزيم أسيد إنفرتيز acid invertase فى الأزهار، ولكن ليس فى الأوراق النامية القريبة منها، مما يدل على أن الأزهار أكثر حساسية للشدِّ الحرارى عن الأوراق (عن Aloni وآخرون ١٩٩٤).

وبمتابعة معدل إنتاج الفلفل للإثيلين خلال مختلف مراحل تكوين الزهرة فى الحرارة العالية (٤٥°م)، كان إنتاج الإثيلين فى البراعم الزهرية للصنف فالنسيا Valencia ٤ ١٢٨٩ بيكامول/جم وزن جاف قبل التفتح، وازداد إلى ٩٣٥٢,١ بيكامول/جم وزن جاف فى مرحلة تفتح البتلات. ويعتقد أن تلك المرحلة هى التى قد تفيد فيها المعاملة بمضادات الإثيلين فى منع سقوط الأزهار (Agguirre وآخرون ١٩٩٥).

وقد وجد أن المعاملة بثيوكبريتات الفضة silver thiosulfate (وهو مركب مضاد لفعل الإثيلين) قللت سقوط البراعم الزهرية. والأزهار أو الثمار الصغيرة فى الفلفل المعرض للحرارة العالية لمدة ٤ أيام، ولكن المعاملة أدت فى الوقت ذاته إلى إنتاج ثمار مشوهة (Aloni وآخرون ١٩٩٥).

ظروف الجفاف

وجد أن تفتح أزهار الفلفل وسقوطها أسرع فى ظروف الجفاف الشديد مع الإضاءة العالية أما تحت ظروف الجفاف مع الإضاءة الضعيفة، فقد سقطت جميع أزهار النبات قبل تفتحها، وارتبط ذلك بانخفاض فى تراكم المادة الجافة، التى كان تراكمها فى ذلك

الوقت أكثر فى الأوراق عما فى السيقان، التى كان تراكم المادة الجافة فيها – بدورها – أعلى مما فى الأزهار والثمار (Jaafar وآخرون ١٩٩٤).

التظليل وضعف الإضاءة

أدى تظليل نباتات الفلفل بنسبة ٩٠٪ لمدة ٦ أيام إلى زيادة الشيخوخة فى أعضاء التكاثر (البراعم الزهرية والأزهار) بنسبة ٣٨٪، مع زيادة إنتاج البراعم للإثيلين، ونقص محتواها من السكريات المختزلة والسكروز. وأدت معاملة أعناق البراعم الزهرية بمادئ الإثيلين ACC إلى سقوطها فى خلال ٤٨ ساعة، وبدا واضحًا أن الإثيلين هو المسئول الأول عن سقوط البراعم الزهرية فى الفلفل. ويلعب إنتاج البراعم للأوكسين دورًا فى منع سقوطه (Wien وآخرون ١٩٨٩).

هذا وتوجد اختلافات وراثية بين أصناف الفلفل فى مدى تأثر براعمها الزهرية بمعاملة الـ ACC، وفى مدى تكوينها لطبقة الإنفصال وسقوطها لدى تعريضها لمعاملة التظليل (Wien وآخرون ١٩٨٩، و Shifriss وآخرون ١٩٩٤)

وقد كان النقص فى الكفاءة الإنتاجية Net Assimilation Rate، ومعدل النمو النسبى Relative Growth Rate – تحت ظروف التظليل – أكثر فى الصنف شارموك Sharmock الحساس للتظليل (والذى يزداد سقوط براعمه الزهرية بمعاملة شدّ التظليل shade stress) عما فى الصنف أيس Ace الأكثر تحملا لمعاملة التظليل. ومقارنة بالصنف أيس .. كان توجه المادة الجافة فى الصنف شارموك بدرجة أقل إلى أعضاء التكاثر وبدرجة أكبر إلى الأوراق النامية (Turner & Wien ١٩٩٤أ) وقد تبين أن معدل البناء الضوئى فى وحدة المساحة بين الأوراق المعرضة بأكملها للضوء كان أقل – تحت ظروف الإضاءة الضعيفة – فى الصنف شارموك عما فى الصنف أيس، كما كان النقص فى معدل التنفس بالبراعم تحت تلك الظروف أكبر فى شارموك مما فى أيس، بينما كان تنفس الأوراق أعلى فى شارموك عما فى أيس تحت كل من ظروف الإضاءة العادية والتظليل وبعد ٣ أيام من بدء معاملة التظليل كان تركيز السكريات فى براعم شارموك أقل جوهريًا مما فى أيس. وقد بدا

واضحًا أن حساسية الصنف شارموك لمعاملة التظليل – والتى تؤدى إلى سقوط براعمه الزهرية – ترتبط بنقص فيما يتوجه من غذاء مجهز إلى براعمه، مع زيادة فى استهلاك ذلك الغذاء تحت ظروف شدّ التظليل (Turner & Wien ١٩٩٤ب).

وفى دراسة أخرى أدت معاملات التظليل لمدة ١٥ يومًا (خفضت خلالها شدة الإضاءة من ٩٢٠ إلى ٥٠٠ أو ٢٠٠ ميكرومول/م^{٢}/ثانية)، وتجريد النباتات جزئيًا من بعض أوراقها إلى خفض تراكم السكريات فى الأزهار مقارنة بالكنترول، وإلى سقوط الأزهار وكان تراكمُ السكريات والنشا فى أزهار النباتات المظللة للصنفين مأور Maor و ٨٩٩ أقل مما فى الصنفين مازوركا Mazurka (وجميعها من الفلفل الحلو)، وليهافا (وهو من أصناف البابريكا) (Aloni وآخرون ١٩٩٦).

وباختبار معاملات تظليل بمقدار صفر، و ٣٠٪، و ٦٠٪ على صنف الفلفل الحلو مازوركا Mazurka، وجد أن تركيز السكروز، والنشا، والسكريات المختزلة فى مبايض الأزهار ازداد بزيادة شدة الإضاءة فى منتصف النهار، فى الوقت الذى ازداد فيه كذلك نشاط إنزيم sucrose synthase، بينما قلَّ نشاط إنزيم soluble acid invertase (وهو β-fructofuranosidase). وأدت تغذية أزهار الفلفل المقطوعة والمزروعة فى بيئة آجار – والتى أعطيت معاملة التظليل – أدت تغذيتها بالسكروز إلى زيادة محتواها من السكريات المختزلة، بينما أدت تغذيتها بالسكروز، والجلوكوز، والفراكتوز إلى زيادة نشاط إنزيم sucrose synthase، وإلى تقليل تكوين طبقة الانفصال فى أعناقها (Aloni وآخرون ١٩٩٧).

تكوين طبقة الانفصال

عندما يكون العضو النباتى – ورقة كان، أم زهرة، أم ثمرة ... إلخ – نشطًا فى نموه. فإن الأوكسين الطبيعى ينتشر منه إلى العنق، ليمنع تكون طبقة الانفصال. وتتكون طبقة الانفصال عندما تبدأ مرحلة شيخوخة العضو النباتى؛ حيث يقل وصول الأوكسين إلى تلك المنطقة، التى يزداد فيها – حينئذٍ – تركيز الهرمونات المحفزة للشيخوخة، مثل الإثيلين وحامض الأبسيسك.

وقد وجد أن تعرض نباتات الفلفل لظروف الشدّ البيئى – سواء أكانت حرارة عالية، أم إضاءة ضعيفة – يؤدى إلى تحفيز إنتاج الإثيلين، الذى يبطء انتقال الأوكسين إلى عنق الزهرة، مما يؤدى إلى تكوين طبقة انفصال وسقوط الزهرة.

وسائل الحد من ظاهرة فشل العقد:

من أهم الوسائل التى يمكن اتباعها للحد من ظاهرة فشل عقد الثمار فى الفلفل، مايلى:

١- الحد من ارتفاع الحرارة.

٢- الحد من التأثير السلبى لضعف الإضاءة فى الزراعات المحمية بزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء الصوبة (عن Wien ١٩٩٧)

دور الحرارة المنخفضة فى عقد الثمار المشوهة

أدى تعريض نباتات الفلفل لحرارة ١٢°م ليلاً مع ٢٤°م نهارًا – مقارنة بحرارة ٢٠°م ليلاً مع ٣٠°م نهارا – إلى نقص خصوبة حبوب اللقاح وعدد البذور/ثمرة جوهريًا. وأدت معاملة النباتات النامية تحت ظروف الحرارة المنخفضة ليلاً بالباكلوبترازول paclobutrazol بتركيز ملليجرام واحد، أو ١,٠ مجم/لتر إلى الحد من تدهور حيوية حبوب اللقاح. وكذلك إلى زيادة محتوى الثمار من البذور، ولكن تلك الثمار كانت أصغر حجم من مثيلاتها غير المعاملة بالباكلوبترازول تحت نفس الظروف ولم تغير تدفئة الجذور فقط إلى ٢٠°م من التأثير السلبى لحرارة الليل المنخفضة على حيوية حبوب اللقاح وقد كانت حبوب لقاح جميع الأصناف المختبرة حساسة للحرارة المنخفضة، وكان أقلها حساسية الصنفين مجويلينو Miguelino، وجوندلا Gundilla، وذل من بين ٨ أصناف تم اختبارها من *Capsicum annuum* بالإضافة إلى كل من *C. frutescens* و *C baccatum*.

كما أدى تعرض نباتات الفلفل لحرارة ١٠ أو ١٥°م ليلاً إلى ضعف حيوية حبوب اللقاح، ونقص عدد البذور/ثمرة ووجد عند تفتح الأزهار أن حبوب اللقاح التى تكونت فى

الحرارة المنخفضة (١٤°م ليلاً مع ٢٥°م نهارًا) كانت أصغر حجمًا، وظهرت فى كتل متجمعة، ومنكمشة. وكانت جدرها الخارجية أقل سمكًا مما فى حبوب اللقاح التى تكونت فى حرارة أعلى (٢٠°م ليلاً مع ٣٠°م نهارًا). وعندما عرضت النباتات النامية فى حرارة ٢٠°م ليلاً مع ٣٠°م نهارًا، والحاملة لبراعم زهرية فى مراحل مختلفة من التكوين .. عندما عرضت هذه النباتات لحرارة ١٠°م ليلاً تأثر الانقسام الاختزالى والمراحل الأولى لتكوين الخلايا الأمية لحبوب اللقاح فى براعمها الزهرية، إلا أن المراحل المتأخرة لتكوين الخلايا الأمية ونضج حبوب اللقاح لم تتأثر بالمعاملة ذاتها (Mercado وآخرون ١٩٩٧).

وقد تبين أن حرارة الليل المنخفضة (١٤°م أو أقل من ذلك) تؤثر (فى صنف الفلفل مازوركا Mazurka) على كل من عضوى التأنيث والتذكير فى الزهرة. فيتأثر عضو التأنيث موروفولوجيًا، بينما تتأثر الخصوبة فى عضو التذكير. ومع كل انخفاض فى درجة الحرارة يزداد طول القلم فى متاع الزهرة، بينما يقل قطر المبيض. كذلك أدت الحرارة المنخفضة إلى ضعف حيوية حبوب اللقاح، وضعف قدرتها على الإنبات، وكانت الثمار العاقدة تحت هذه الظروف مشوهة وخاليا تقريبًا من البذور. وقد أدى تلقيح أزهار النباتات النامية فى حرارة ليل مقدارها ١٢°م بحبوب لقاح حُصل عليها من نباتات نامية فى حرارة ليل مقدارها ١٨°م إلى زيادة نسبة الثمار الطبيعية المظهر بصورة كبيرة، وأدى تكرار هذا التلقيح اليدوى مرة ثانية وثالثة إلى إحداث زيادات متتالية فى حجم الثمار وتحسن فى مظهرها (Pressman وآخرون ١٩٩٨).

مواعيد الزراعة

يوصى — فى مصر — بزراعة بذور الفلفل مبكرًا خلال فصل الصيف؛ وذلك للحصول على نمو خضرى قوى قبل حلول فصل الشتاء؛ ولذا .. فإن زراعة البذور تكون — عادة — خلال الفترة من أوائل شهر يوليو إلى منتصف أغسطس. يستغرق إنبات البذور فى هذا الوقت من العام حوالى ٨–١٠ أيام، ويتم الشتل بعد نحو ٣٠–٣٥ يومًا من زراعة البذور (أى بعد نحو ٢٠–٢٥ يومًا من إنباتها)؛ أى إن الشتل يكون خلال الفترة من أوائل