الفصل الثالث

فسيولوجيا الفلفل

إنبات البذور

سكون البذور وبطء إنباتها

قد يسبق إنبات بذور الفلفل فترة من السكون تمتد لنحو ٣-٤ أسابيع بعد تلون الثمار. ويمكن تقصير هذه الفترة بتأخير استخلاص البذور من الثمار. ويبدو أن حالة السكون هذه ترتبط بنقص حامض الجبريلليك فى البذور الحديثة التكوين.

كذلك تتأخر بذور الفلفل فى الإنبات حتى فى درجات الحرارة المناسبة، ويبدو أن السبب فى هذا التأخير يرجع إلى الإندوسوم الذى يشكل العائق الرئيسى أمام بزوغ الجذير ويستدل من الدراسات التى أجريت بهدف إسراع الإنبات بالمعاملة بالجبريللينات أن حامض الجبريلليك يحفز نشاط الإنزيمات التى تعمل على هدم الإندوسوم بالقرب من القمة النامية للجذير، فقد لوحظ أن نشاط الإنزيم إندومانّيز endomannase - الذى يعمل على هدم الجدر الخلوية - يزداد أثناء بروز الجذير عند المعاملة بحامض الجبريليك (عن Wein ١٩٩٧).

هذا .. وتزادا مشكلة إنبات البذور حدة فى الأصناف التابعة للأنواع الأخرى غير النوع *C. annuum* ففى دراسة أجريت على ١٩ صنفًا تمثل أربعة أنواع من الجنس *Capsicum* .. تراوحت عدد الأيام حتى إنبات ٥٠٪ من البذور من ١٤-٢٣ يومًا. وتتضح مشكلة إنبات البذور بوجه خاص فى الصنف تاباسكو Tabasco الذى يتبع النوع *C. frutescens*، حيث يستغرق إنباته من ١٠-١٤ يومًا فى الظروف المثلى للإنبات، ولا تزيد نسبة إنباته غالبًا عن ٦٠٪. وقد تبيّن وجود ظاهرة بعد النضج After Ripening فى بذور أنواع الجنس *Capsicum*، حيث تستكمل البذور نضجها الفسيولوجى ويتحسن إنباتها بعد فترة من التخزين الجاف بعد استخلاص البذور. وتتوقف هذه الفترة على

النوع، والصنف، ودرجة حرارة التخزين. وكانت الفترة المثلى للصنف تاباسكو ٢١ يومًا على حرارة ٢٥°م (Edwards & Sundstrom ١٩٨٧).

معاملات تحسين إنبات البذور

تعد بذور الفلفل – كما أسلفنا – من البذور البطيئة الإنبات نسبيًا، كما أن نسبة إنباتها تكون منخفضة أيضًا بدرجة ملحوظة عن باقى الخضروات، وهو الأمر الذى استدعى تخفيض الحد الأدنى لنسبة الإنبات المسموح بها لاعتماد بذور الفلفل. وقد أمكن تحسين إنبات بذور الفلفل بإجراء معاملات خاصة على البذور، نوجزها فيما يلى:

- تمكن Fieldhouse & Sasser (١٩٧٥) من إسراع إنبات بذور الصنف كاليفورنيا وندر، وزيادة قوة نمو البادرات بمعاملة البذور قبل الزراعة بمحلول هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز ١٪

- وجد Sach وآخرون (١٩٨٠) أن نقع بذور الفلفل فى الماء، فى حرارة ٣٠°م لمدة ٤٨ ساعة، أو فى محلول نترات البوتاسيوم لمدة ٦، أو ٨ أيام، مع تهوية المحلول بتيار مستمر من الهواء أدى إلى تحسين الإنبات بعد ذلك على حرارة ١٥°م عندما زرعت البذور بعد انتهاء المعاملة مباشرة، بينما أدى تجفيف البذور قبل زراعتها إلى تأخير الإنبات. وقد وجد الباحثون أن إنبات بذور الفلفل فى درجات الحرارة المنخفضة لم يتأثر بأى من العوامل، أو المعاملات التالية: حجم البذرة، ونقع البذور فى الماء على حرارة ١٥°م، أو ٢٥°م، ونقع البذور لفترات قصيرة فى المذيبات العضوية أو فى الأحماض الدهنية المشبعة أو غير المشبعة.

- تمكن Radwan وآخرون (١٩٨١) من تحسين نسبة الإنبات فى بذور الفلفل بنقع البذور لمدة ١٢ ساعة فى أحد المحاليل التالية: نترات البوتاسيوم ٠,٠١–٠,٥٪ وكبريتات الأمونيوم ٠,٠١–٠,١٪ وكبريتات النحاس ٠,٠١٪، وكبريتات المنجنيز ٠,٠٥٪، وكبريتات الزنك ٠,٠٥٪، وحامض الجبريلليك ١٥٠ جزء فى المليون، ونفثالين حامض الخليك ١٥٠ جزء فى المليون. وقد أفادت هذه المعاملات فى تحسين الإنبات فى البذور المتوسطة فى نسبة الإنبات، ولكنها لم تكن فعّالة مع البذور المنخفضة جدًا فى

نسبة الإنبات، أو البذور العالية الحيوية. وللتعرف على التغيرات الكيميائية التى تحدث فى بذور الفلفل مع تقدمها فى العمر، ومع التغيرات فى نسبة إنباتها .. يراجع Ismail (١٩٨١).

بيّن McGrady & Cotter (١٩٨٧) أن استنبات البذور فى الماء، أو فى محلول مخفف من $K(NaH_2PO_4)$ لمدة أربعة أيام (مع تغيير المحلول يوميًا)، ثم زراعتها بالطريقة السائلة fluid drilling، وهى مخلوطة فى مادة غروانية (gel) خاصة (مثل Laponite 509، أو Vitterra II Hydrogel بتركيز ٢٪) أدى إلى تبكير الإنبات، والنمو النباتى، والإزهار. كما أدت إضافة الفوسفور إلى المحاليل التى نقعت فيها البذور إلى تحسين الإنبات ونمو البادرات إلا أنها أنقصت محصول الثمار.

• أدت معاملة بذور الفلفل بأى من حامض الجبريلليك GA_3، أو GA_{4n} إلى تحسين إنباتها فى حرارة ١٥°م، وكانت المعاملة بـ GA_{4n} أفضل قليلاً من المعاملة بحامض الجبريلليك. أما المعاملة بمثبط النمو AMO 1618 فقد قللت نسبة الإنبات (Watkins & Cantliffe ١٩٨٣).

• أدت معاملة بذور الفلفل التاباسكو Tabasco بالنقع فى محلول حامض الجبريلليك بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون لمدة ٤٨ ساعة، أو بالنقع فى محلول نترات البوتاسيوم بتركيز ٢,٧٥٪ لمدة ١٤٤ ساعة إلى تحسين نسبة إنبات البذور وسرعة إنباتها جوهريًا تحت ظروف المختبر، هذا إلا أن كلتا المعاملتين كان لهما تأثير سلبى على الإنبات فى كل من صوانى الزراعة (الشتالات)، وعندما زرعت البذور المعاملة فى الحقل الدائم بعد معاملتها مباشرة (Sundstrom وآخرون ١٩٨٧).

• اختُبِرَ تأثير معاملة نقع البذور فى كل من الماء المهوى لمدة حوالى ٩ ساعات، ومحلول نترات البوتاسيوم المهوى بتركيز ٣٪، أو ٢,٧٥٪ لمدة ١٤٤ ساعة .. اختبر تأثير ذلك على الإنبات فى طرازى الفلفل جلابينو (*C. annuum*)، وتباسكو (*C. frutescens*) فى حرارة ٢٥°م، ووجد أن معاملة النقع فى محلول نترات البوتاسيوم (معاملة الـ Seed Priming) لم تكن مؤثرة على نسبة الإنبات فى أى من طرازى الفلفل. ومقارنة بعملية النقع فى الماء المهوى .. فإن نقع البذور فى نترات الكالسيوم أحدث زيادة فى معدل

تنفس البذور فى الجلابينو ونقصًا فى معدل تنفسها فى التباسكو (Sundstrom & Edwards ١٩٨٩).

• أدى نقع بذور الفلفل فى محلول ذى ضغط أسموزى قدره ١٥ بارًا (باستعمال PEG 6000 أو $K_3PO_4 + KNO_3$) لمدة ١٠ أيام، ثم تجفيفها وزراعتها فى حرارة ١٠، و ٢٢، و ٣٠°م .. أدى ذلك إلى زيادة سرعة الإنبات وتجانسه (وخاصة عند استعمال ملحى البوتاسيوم)، ولكنه لم يؤدِّ إلى زيادة نسبة الإنبات حتى فى أقل درجات الحرارة وكان أسرع إنبات لبذور الفلفل عندما أجريت معاملة النقع على حرارة ٥°م لمدة ١٠ أيام. وأدى حفظ البذور التى نقعت فى المحاليل ذات الضغط الأسموزى العالى فى حرارة ٥°م – وهى مبتلة – على حرارة ٥°م لمدة ١٠ أيام إضافية .. أدى ذلك إلى زيادة سرعة إنبات البذور دون أن تؤثر تلك المعاملة فى حيويتها (Giuliani وآخرون ١٩٩٢)

• أدى نقع بذور الفلفل فى محلول كلوريد الصوديوم بتركيز ٠,٢ مولارًا (-٠,٩٨ ميجا باسكال MPa) على حرارة ٢٣°م لمدة ٥ أيام .. أدى ذلك إلى إسراع الإنبات على حرارة ١٥-٢٣°م وقد كان تأثير المعاملة فى إسراع الإنبات أقوى عندما استنبتت البذور فى حرارة ٢٣°م عما عندما كان الاستنبات فى حرارة ١٥°م، كما ضَعُف تأثير المعاملة بزيادة التركيز المولارى لمحلول كلوريد الصوديوم إلى ٠,٤ أو ٠,٦ (-١,٧٧، و -٢,٦٦ ميجا باسكال، على التوالى) (Carter ١٩٩٤).

• عندما أضيف بروجب Pro-Gibb (حامض جبريلليك) بمعدل ٤ ميكروجرام/جرام من البذور إلى محلول كلوريد الصوديوم بتركيز ٠,٣ مولار .. أدت معاملة نقع بذور الفلفل الجلابينو فى هذا المحلول لمدة ٥ أيام على حرارة ٢٣°م إلى زيادة سرعة إنبات البذور على حرارة ١٥°م، مقارنة بمعاملة النقع فى محلول كلوريد الصوديوم فقط أما معاملة النقع فى محلول حامض الجبريلليك فقط فإنها لم تكن مجدية نظرًا لإنبات أكثر من ٧٠٪ من البذور أثناء المعاملة ذاتها (Carter ١٩٩٧).

• على الرغم من أن بذور الفلفل البابريكا المعاملة بالنقع (primed) تجاريًا كانت أسرع فى الإنبات عن نظيرتها التى لم تعط هذه المعاملة عند زراعتهما فى الحقل

مباشرة، فإنه لم توجد أى فروق بينهما عندما تم توحيد أعداد النباتات بين المعاملتين بالخف (Cooksey وآخرون ١٩٩٤).

• أدى نقع بذور الفلفل فى محاليل ذى ضغط أسموزى عال إلى إسراع الإنبات على ٢٠°م، وكانت أفضل المعاملات هى النقع فى محلول ٠,٢ مولار من نترات البوتاسيوم لمدة ٥ أيام على حرارة ٢٠°م، وفى محلول ٠,٢ مولار من فوسفات أحادى البوتاسيوم KH_2PO_4 لمدة ٢٠ يومًا على حرارة ١٥°م. وكان إنبات البذور المجففة بعد معاملة النقع أفضل عندما أجرى التجفيف على حرارة ٢٥°م عما كان عليه الحال عندما كان التجفيف على حرارة ١٥ أو ٢٠°م وقد كانت المعاملة بالرش على فترات بالمحلول (الذى يُعاد ضخه والرش به) مماثلة لمعاملة النقع على ورق ترشيح مبلل بالمحاليل، بينما كان تمرير فقاقيع من الهواء فى محاليل نقع البذور أقلها تأثيرًا (Lee وآخرون ١٩٩٧).

• تبعا لـ Kang وآخرين (١٩٩٧ أ)، فإن بذور الفلفل التى نقعت فى محلول من فوسفات البوتاسيوم K_3PO_4 بتركيز ٢٠٠ ملى مولار لمدة ٧ أيام على حرارة ٢٠°م كانت أسرع إنباتًا على حرارة ١٥°م مقارنة بالبذور التى نقعت فى الماء، بينما لم يكن هناك فرق بين نقع البذور فى نترات البوتاسيوم (معاملة الـ Seed Priming) والنقع فى الماء (معاملة الـ Seed Imbibition) عندما استنبتت البذور بعد ذلك فى حرارة ٢٠°م. ويعنى ذلك أن الـ Seed priming يفيد فى زيادة سرعة إنبات البذور، وخاصة فى الحرارة المنخفضة.

وقد أوضحت تلك الدراسة – كذلك – أن المعاملة بمثبط تمثيل البروتين السيكلوهكسيماید Cycloheximide، أو بمثبط تمثيل الرنا· كورديسيبين Cordycepin قللت من فاعلية معاملة الـ Seed Priming، وكان السيلكوهكسيماید أكثر تأثيرًا. كما أن كميات الأحماض الأمينية والبروتينات المتسربة من البذور كانت أكثر فى معاملة النقع فى الماء عما كان عليه الحال فى معاملة النقع فى محلول نترات البوتاسيوم. ويعنى ذلك أن معاملة إلى Seed Priming لعبت دورًا إيجابيًا فى تنظيم نفاذية الأغشية الخلوية. وقد ازداد محتوى البذور التى أعطيت معاملة الـ Priming .. ازداد محتواها تدريجيًا من

البروتينات الذائبة فى الماء خلال فترة المعاملة التى امتدت لمدة ٧ أيام، بينما كانت الزيادة فى محتوى البذور – التى أعطيت معاملة النقع فى الماء – من البروتينات الذائبة – مؤقتة، ثم حدث نقص فيها بعد ٥ أيام. وقد كان مرد ذلك إلى اختلاف بذور المعاملتين فى معدل التسرب الأيونى منهما. وقد لوحظ أن البذور التى أعطيت معاملة الـ Priming قد اختفى من غلافها البذرى بروتينًا قدر وزنه الجزيئى بنحو ١٤,٣ كيلو دالتون.

* أدى مجرد نقع البذور فى الماء المعدل فيه الـ pH إلى ١٣,٢ لمدة ٧ أيام على حرارة ٢٠°م إلى إسراع الإنبات بعد ذلك على حرارة ١٥°م، وتشابهت المعاملة فى هذا التأثير مع معاملة مماثلة للنقع فى محلول فوسفات البوتاسيوم K_3PO_4 بتركيز ٢٠٠ ملى مولار وله نفس الـ pH (١٣,٢). كذلك أحدثت معاملة النقع فى pH ٣,٠ تأثيرات مماثلة على سرعة الإنبات، ولكن بدرجة أقل. وكان تأثير معاملات النقع فى pH ١٣,٢ (سواء أكانت فى الماء، أم فى محلول فوسفات البوتاسيوم) مصاحبًا بزيادة ملحوظة فى البروتين الذائب فى البذور المعاملة، مقارنة بما فى البذور غير المعاملة. كما تبين أن أحد أنواع البروتينات (٣ ١٤ كيلو دالتون kD) التى ظهرت فى الغلاف البذرى للبذور التى عوملت بالنقع فى الماء أو فى محلول فوسفات البوتاسيوم عند pH ٣,٠ أو ٦,٠ اختفى عندما كان الـ pH ١٣,٢ كذلك ازداد نشاط عدة إنزيمات (هى: fructase-bisphosphate aldolase، و isocitrate lyase، و isocitrate dehydrogenase، و malate dehydrogenase) عندما كان النقع فى pH ١٣,٢ مقارنة بالنقع فى pH ٣,٠ أو ٦,٠ (Kang وآخرون ١٩٩٧ ب)

تخزين البذور المستنبتة

أمكن تخزين بذور الفلفل المستنبتة – بحالة جيدة – لمدة ٦٣ يوما، وذلك بحفظها فى أكياس "زبلوك" Ziploc (ماركة تجارية معينة) على حرارة ٧°م بعد تفريغها من الهواء، أو إحلاله بالنيتروجين ثم لحامها. وقد كانت استطالة الجذير فى هذه الظروف بطيئة للغاية (Ghate & Chinnan ١٩٨٧).

كما أمكن حفظ بذور الفلفل المستنبتة لمدة ٣ شهور على حرارة ٤°م فى أوعية زجاجية محكمة الإغلاق بعد تجفيفها سطحيًا لمدة ٣ ساعات على حرارة ٢٠°م، حيث كانت

رطوبتها عند بداية التخزين ١٧,٢٪. وقد كان إنبات هذه البذور على ١٥°م بعد ٣ شهور من التخزين أسرع من إنبات البذور التى جففت بعد استنباتها – وقبل تخزينها – لمدة ٣ ساعات على حرارة ٣٥°م والتى كانت رطوبتها عند بداية التخزين ٧,٨٪ (Jeong & Cho ١٩٩٦).

التأثير الفسيولوجى لبعض المعاملات الأخرى على إنبات البذور

معاملة النقع فى هيبوكلوريت الصوديوم

على الرغم من أن معاملة نقع بذور الفلفل فى محلول من هيبوكلوريت الصوديوم تؤدى إلى تخليصها من بعض مسببات الأمراض إلا أن لهذه المعاملة تأثيرات سلبية على كل من نسبة الإنبات وسرعته، ويزداد هذا التأثير السلبى فى البذور المستخلصة حديثًا عما فى البذور التى خزنت لمدة ١٠ شهور، وفى التراكيزات العالية (٣٪ أو أعلى) من هيبوكلوريت الصوديوم، وبانخفاض أو ارتفاع درجة الحرارة التى تنقع عليها البذور (إلى ١٥ أو ٣٥°م على التوالى)، وبزيادة فترة النقع إلى ٢٠ دقيقة (Khan & Passam ١٩٩٢).

علاقة اتجاه نمو التفرعات الجذرية باتجاه نمو الأوراق الفلقية

تتميز بعض الأنواع النباتية بنظام خاص فى الاتجاه الذى تنمو فيه الجذور الجانبية فتنمو الجذور الجانبية فى بنجر السكر دائمًا فى اتجاه شرقى – غربى، وتنمو فى قمح الشتاء وحشيشتى flaxweed، و stink weed دائمًا فى اتجاه شمالى – جنوبى، أما القمح الربيعى، والشعير الربيعى .. فإن تفرعاتها الجذرية تنمو فى جميع الاتجاهات وقد قدمت بعض التفسيرات لذلك، منها الاستجابة للمجال المغناطيسى magnetotropism، وللجاذبية والمغناطيسية معًا geomagnetotropism، وذلك بالإضافة إلى التأثير الوراثى، وتأثير الممارسات الزراعية.

وفى دراسة أجراها Dufault وآخرون (١٩٨٧) على عدة أصناف من الفلفل الحلو .. وجد ارتباط قوى بين اتجاه نمو الأوراق الفلقية، واتجاه نمو التفرعات الجذرية. وقد حاولوا الاستفادة من هذه الظاهرة فى التحكم فى اتجاه نمو التفرعات الجذرية، بحيث تكون فى الاتجاه المناسب للتخطيط، ولإجراء العمليات الزراعية كان التخطيط فى هذه الدراسة فى اتجاه شمالى – جنوبى، وشتلت النباتات بحيث كان اتجاه الأوراق الفلقية

إما مع اتجاه التخطيط، أو عموديًا عليه، أو عشوائيًا دون التزام باتجاه معين. وقد عزقت المعاملات بعد ذلك إما عزقًا عميقًا (٩ سم)، أو سطحيًا (٣ سم) بعد ٣، و ٥، و ٧ أسابيع من الشتل. وقد أوضحت الدراسة أن أقل محصول كلى، ومحصول مبكر كان فى المعاملة التى شتلت فيها البادرات بحيث كانت الأوراق الفلقية فى اتجاه خط الزراعة، ثم معاملة الشتل العشوائى، بينما كان أعلى محصول فى المعاملة التى شتلت فيها البادرات بحيث كانت الأوراق الفلقية فى اتجاه شرقى – غربى؛ أى متعامدة على خط الزراعة. وقد أدى العزق العميق إلى نقص المحصول، بالمقارنة بالعزق السطحى. وعندما درسوا اتجاه الجذور عند الزراعة بالبذرة مباشرة .. وجدوا أن التفرعات الجذرية تنمو فى أى اتجاه (أى أنها monodirectional).

وقد فسّر الباحثون نتائج هذه الدراسة على أساس أن البادرات التى شتلت بحيث كانت أوراقها الفلقية فى اتجاه شرقى – غربى نمت معظم تفرعاتها الجذرية متعامدة على اتجاه التخطيط، فاستفادت بذلك بدرجة أكبر من الأسمدة التى أضيفت إلى جانب النباتات فى اتجاه التخطيط، ومن الرى السطحى خلال قنوات الرى. كما كانت جذور هذه النباتات بعيدة عن وسط الخط حيث تتجمع الأملاح، إلا أن العزق العميق أدى إلى تقطيع جزء كبير من جذور هذه النباتات نظرًا لأن نموها كان فى مكان العزق إلى جانب خط الزراعة. وقد استخلص الباحثون من ذلك أنه قد يمكن التحكم فى اتجاه النمو الجذرى عند الشتل عن طريق شتل البادرات – بحيث تكون أوراقها الفلقية فى اتجاه النمو الجذرى المرغوب – وعند الزراعة بالبذرة مباشرة فى الحقل الدائم، وذلك بالإبقاء على البادرات التى تكون أوراقها الفلقية فى الاتجاه المرغوب، مع خف البادرات الأخرى.

التأثير الفسيولوجى للملوحة الأرضية

أدت زيادة ملوحة المحاليل المغذية من صفر إلى ١٠٠ ملى مولار من كلوريد الصوديوم إلى نقص تراكم المادة الجافة فى نباتات الفلفل. ومن بين أربعة أصناف تم اختبارها كان الصنف إتش دى أى ١٧٤ HDA 174 أفضلها نموًا فى تركيز ٥٠ ملى من كلوريد الصوديوم، كما كان أكثرها تراكمًا للصوديوم فى الأوراق. وقد نقص –

بصورة عامة – تركيز البوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، بينما ازداد تركيز الصوديوم والزنك فى الأعضاء النباتية بزيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحاليل المغذية. وكان النمو النباتى أضعف ما يمكن عندما بلغ تركيز الصوديوم فى نصل الورقة بين ٠,٥٪، و ٤٪ على أساس الوزن الجاف (Cornillon & Palloix ١٩٩٥، و ١٩٩٧).

وفى دراسة أخرى أدت زيادة تركيز الملوحة من ٥٠ إلى ١٠٠ ملى مولار من كلوريد الصوديوم فى المحاليل المغذية إلى نقص النمو النباتى، وزيادة محتوى النباتات من كل من الصوديوم، والكلور، والبرولين، وزيادة مقاومة الثغور، بينما انخفض محتوى النباتات من كل من البوتاسيوم، والنيتروجين الكلى، والكلوروفيل (Gunes وآخرون ١٩٩٦) كذلك أدت زيادة الملوحة بين صفر و ١٠٠ ملى مكافئ من كلوريد الصوديوم/لتر فى المحاليل المغذية إلى نقص محتوى الأوراق من البوتاسيوم، والفوسفور، والكالسيوم، وزيادة محتواها من الصوديوم، بينما أدت زيادة الملوحة إلى زيادة محتوى الثمار من جميع تلك العناصر (Gomez وآخرون ١٩٩٦).

هذا ولم يتأثر الفلفل بالملوحة العالية حتى ٦٠ ملى مولار فى المحاليل المغذية، ولم يتجه أى من الصوديوم إلى الأوراق أو الثمار، وإنما تراكم فى نسيج النخاع فى قاعدة الساق وفى الجذور، بينما تناقص تركيز الصوديوم تدريجيًا فى خلايا النخاع وفى العصير الخلوى باتجاه القمة النامية للنبات Blom-Zandstra وآخرون ١٩٩٨)

التأثير الفسيولوجى لدرجة الحرارة

إنبات البذور

يتأثر إنبات بذور الفلفل سلبيًا بارتفاع درجة الحرارة إلى ٣٥°م، بينما تنخفض نسبة الإنبات إلى أقل من ٥٪ فى حرارة ثابتة مقدارها ٤٠°م، إلا أن تباين الحرارة بين ٤٠°م نهارًا، و ٢٥، أو ٣٠، أو ٣٥°م ليلاً يقلل من الأثر الضار للحرارة المرتفعة نهارًا، ويزداد التأثير الإيجابى للحرارة المنخفضة ليلاً بزيادة الفرق بين درجتى حرارة الليل والنهار. ومن بين سبعة أصناف تم اختبارها كان أكثرها قدرة على الإنبات فى حرارة ثابتة مقدارها ٣٥°م الصنفين ميركورى Mercury، و يولو واندر بى Yolo Wonder B. ويعد هذا التأثير السلبى للحرارة العالية على إنبات البذور نوعًا من السكون الحرارى، حيث

أن معظم البذور التى لم تنبت فى حرارة ٤٠°م لم تكن فاقدة الحيوية، كما كانت نسبة البذور الفاقدة الحيوية من تلك التى لم تنبت فى حرارة ٢٥°م أعلى من نظيرتها التى لم تنبت فى حرارة ٤٠°م (Coons وآخرون ١٩٨٩).

وقد أمكن التغلب على هذا السكون الحرارى فى ٤٠°م فى بذور صنف الفلفل جالابينو إم Jalapeno M بمعاملة البذور بكل من حامض الجبريلليك GA_3، والإثيفون معًا، حيث كانت نتائج المعاملات المختلفة، كما يلى (Carter & Stevens ١٩٩٨).

المعاملة	الإنبات (٪)
الاستنبات فى حرارة ٢٥°م	٩٩
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م	صفر
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع سبق النقع فى الماء لمدة ٧ أيام	٤٠
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع المعاملة بالإثيفون (٣,٥ ملى مولار)	٥٠
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع المعاملة بالـ GA_3 (٣,٠ ملى مولار)	٧٩
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع المعاملة بكل من الإثيفون والـ GA_3	٩١

نمو الشتلات

يزداد النمو الخضرى والنمو الجذرى لشتلات الفلفل بارتفاع درجة الحرارة، وتعد حرارة بيئة نمو الجذور هى الأكثر تأثيرًا فى هذا الشأن. وقد حُصلَ على أعلى معدل للنمو فى الشتلات التى كانت بعمر ٦٠ يومًا عندما تراوحت حرارة الهواء بين ١٨، و ٢٣°م، ودرجة حرارة التربة بين ١٨، و ٢٨°م، وكلن انخفضت الحرارة المثلى التى صاحبها أفضل نمو بزيادة العمر المتوقع للشتلات قبل شتلها، حيث كان المدى الحرارى المناسب ١٣–٢٣°م للهواء، و ١٣–٢٧°م للتربة بالنسبة للشتلات التى كانت بعمر ٧٥ يومًا، و ١٣–١٨°م للهواء، و ١٨°م للتربة بالنسبة للشتلات التى كانت بعمر ٩٠ يومًا. وقد أدى ارتفاع درجة الحرارة الهواء أو التربة إلى زيادة سرعة تميز الأزهار (Choe وآخرون ١٩٩٤).

وقد أوصى Pak وآخرون (١٩٩٦) بالمحافظة على درجة حرارة لا تزيد عن ٢٤°م نهارا عند إنتاج الشتلات لكى تكون الشتلات الناتجة مندمجة النمو، ولكن مع رفع

درجة الحرارة ليلاً عن ٢٠°م لكى يرتفع متوسط درجة الحرارة اليومى، الأمر الذى يسمح بتهيئة النباتات للإزهار مبكرًا.

النمو النباتى والإزهار

وجد أن نمو وإزهار نباتات الفلفل يرتبطان إيجابيًا بدرجة الحرارة. كذلك فإن عدد الأوراق التى تتكون بعد الأوراق الفلقية حتى إزهار النبات يقل بارتفاع كل من درجتى حرارة الهواء والتربة (Khan & Passam ١٩٩٢، وعن Si & Heins ١٩٩٦). وعلى خلاف الطماطم التى يؤدى تعريض بادراتها لحرارة ١٠°م إلى تبكير الإزهار ليصبح عند عقد أقرب إلى قاعدة النبات، فإن هذه المعاملة تؤدى فى الفلفل – إذا أجريت قبل تكوين مبادئ الأزهار – إلى زيادة عدد الأوراق المتكونة – قبل ظهور أول زهرة – بورقة واحدة أو ورقتين.

هذا . وتزداد ساق نبات الفلفل طلاً مع كل ارتفاع فى درجة حرارة النهار وانخفاض فى درجة حرارة الليل، أى مع الزيادة فى الفرق الموجب بين درجتى حرارة النهار والليل. وقد أوضحت دراسات Si & Heins (١٩٩٦) أن ارتفاع درجة حرارة النهار وزيادة الفرق الإيجابى بين درجتى حرارة النهار والليل أثّر إيجابيًا وبصورة معنوية على جميع دلائل النمو المقيسة (مثل طول الساق فى البادرة، وطول السلاميات، وقطر الساق، ومساحة الورقة، وعدد السلاميات والأوراق، وحجم النبات، والوزن الجاف للنمو الخضرى)، كما أثّرت إيجابيًا كذلك على نسبة الجذور إلى النمو الخضرى، وأدى إلى زيادة دكنة اللون الأخضر فى أوراق النبات. أما العقدة التى ظهرت عندها أول زهرة فإنها ارتبطت بحرارة الليل، حيث كان عدد العقد التى تكونت حتى ظهور أول زهرة فى حرارة ليل ٢٦°م أقل بمقدار ١,٢ عقدة مما فى حرارة ليل ١٤°م.

وقد قارن Mercado وآخرون (١٩٩٧ أ) تأثير تعريض نباتات الفلفل لحرارة مرتفعة (٢٩°م نهارا مع ٢٠°م ليلاً)، أو منخفضة (٢٥°م نهارًا مع ١٤°م ليلاً) لمدة ٦٠ يومًا، ووجدوا أن معاملة الحرارة المنخفضة أحدثت – مقارنة بمعاملة الحرارة المرتفعة – التأثيرات التالية

١ – نقص طول النمو الخضرى، وعدد الأوراق، والوزن الجاف للنمو الخضرى بنسب تراوحت بين ٥٠٪، و ٧٠٪.

٢ – زيادة فى عدد النموات الجانبية.

٣ – زيادة فى محتوى الأوراق من الكلوروفيل والبروتين الذائب، والنيتروجين الكلى.

٤ – نقص فى محتوى الأوراق من السكروز، مع زيادة فى محتواها من النشا.

٥ – زيادة فى تحمل النباتات لأضرار البرودة لدى تعريضها لحرارة ٦°م لأربع ليال.

وأوضحت دراسات Liu وآخرين (١٩٩٦) أن تمثيل البروتين كان ضروريًّا لأجل تقسية الفلفل للتأقلم على الحرارة العالية.

التأثير الفسيولوجى للفترة الضوئية وشدة الإضاءة

تأثير الفترة الضوئية

وجد أن مبادئ الأزهار لا يتأثر تكوينها فى الفلفل بطول الفترة الضوئية. حيث تكونت فى وقت واحد فى فترات ضوئية تراوحت بين ٧، و ١٥ ساعة، إلا أن زيادة الفترة الضوئية إلى ٢٤ ساعة (أى جعل الإضاءة مستمرة) أخّر تكوينها لمدة ٥–٩ أيام ولذا يمكن القول بأن إزهار الفلفل يتأثر كميًّا بالفترة الضوئية القصيرة Quantitative Short Day

وتؤدى الحرارة العالية والفترة الضوئية الطويلة إلى تحفيز التفرع الثنائى، والإزهار المزدوج، بينما تؤدى حرارة الليل المنخفضة والفترة الضوئية القصيرة إلى تحفيز التفرع الثلاثى، والإزهار المفرد

وعلى خلاف الباذنجان الذى تصاب أوراقه بالاصفرار إذا تعرضت لإضاءة مستمرة، فإن الفلفل لا يتأثر سلبيًّا بهذه المعاملة، بل إن أوراقه يزداد محتواها من الكلوروفيل (Murage & Masuda ١٩٩٧). وفى دراسة تالية (Masuda & Murage ١٩٩٨) وجد أن تعريض شتلات الفلفل لإضاءة ضعيفة مستمرة أدت إلى زيادة وزنها الجاف، وعدد الأوراق فيها، وزيادة الوزن النوعى لأوراقها، وزيادة عقد ثمارها، مقارنة بالنباتات التى عُرِّضت لإضاءة عادية لمدة ١٢ ساعة فقط

تأثير شدة الإضاءة

يعتبر الفلفل من أبطأ محاصيل الخضر، ليس فى إنبات البذور وبزوغ البادرات

فقط – وإنما كذلك فى نمو البادرات والنباتات، فهو – على سبيل المثال – أبطأ من الطماطم والخيار فى معدل النمو النسبى Relative Growth Rate بمقدار ٢٥٪، ويرجع ذلك إلى بطء الفلفل فى تكوين مساحات ورقية جديدة، بينما يزداد فيه سمك الأوراق (الوزن النوعى للورقة Specific Leaf Weight) مقارنة بالنوعين الآخرين.

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 الثمار 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 Wein ١٩٩٧).

التأثير الفسيولوجى للرطوبة 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 نهارا لم يكن لها أية تأثيرات معنوية على النمو الخضرى، أو المحصول المبكر، أو الكلى (Bakker ١٩٨٩ ب).

التأثير الفسيولوجى لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون

يستجيب الفلفل فى الزراعات المحمية كثيرًا لزيادة نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون فى هواء الصوبة؛ إذ يؤدى ذلك إلى زيادة نسبة العقد، والمحصول المبكر. وبالنسبة للمحصول الكلى فإن زيادة مقدارها ٢٠٠ جزء فى المليون فقط فى تركيز الغاز كانت كافية لزيادة عدد الثمار بنسبة ٦٠٪. وقد أصبحت التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون من

الإجراءات العادية فى إنتاج الفلفل فى الزراعات المحمية فى هولندا (عن Wien ١٩٩٧).

وقد وجد أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون لم تؤثر على عدد أوراق النبات، ولكنها أحدثت أكثر من ٥٠٪ زيادة فى ارتفاع النبات (عن Heuvelink & Marcelis ١٩٩٦).

التأثير الفسيولوجى للشدّ الرطوبى

يستدل من نتائج دراسات El-Sayed (١٩٩٢) ازدياد تراكم البرولين فى أوراق وجذور الفلفل (وخاصة فى الجذور) مع ازدياد الشدّ الرطوبى الذى تتعرض له النباتات. كذلك لاحظ الباحث مايلى:

١ – انخفض نشاط إنزيم Proline Dehydrogenase فى أوراق وجذور النباتات مع زيادة الشد الرطوبى إلى أن وصل النقص فى نشاط الإنزيم إلى ٨٥٪ فى أقصى درجات الشد الرطوبى.

٢ – كان نشاط إنزيم Proline oxidase فى نباتات معاملة الشاهد أعلى بكثير فى الجذور مما فى الأوراق.

٣ – هذا . بينما ثُبّط نشاط إنزيم Proline oxidase – تحت ظروف الشد الرطوبى – بدرجة أعلى بكثير فى الجذور عنها فى الأوراق.

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 يمنع 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 Wein 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 الأمشاح الأنثوية

يمر تكوين الأمشاح 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

عدد الأيام بالنسبة لتفتح الزهرة	الحَدَث
-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 Dne synergid degenerates
	نمو الأنابيب اللقاحية فى القلم
+٣	الإخصاب Fertilization
+٤	اندثار الأنوية المساعدة الأخرى
+٥	بداية تكوّن الإندوسيرم
	استمرار تكوّن الإندوسيرم
+٦	الانقسام الأول للزيجوت First Zygote Division
	تكوّن الإندوسيرم

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 ظهرًا – تنبت حبوب لقاحه جيدًا 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 كثيرًا 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 ١٥,٥°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 مختلفة ليلاً ونهارًا 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°، ثم ٢٨°م لمدة ٤ ساعات لكل منها (Went ١٩٦٢، 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 رئيسيًّا فى هذا الشأن؛ فتساعد حرارة الليل المنخفضة - حتى الأقل من ١٠°م - على زيادة نسبة عقد الثمار. هذا إلا 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 Wein ١٩٩٧).

وتبعًا لدراسات سابقة (Bakker ١٩٨٩ أ) .. 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 البيض 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، مايلى:

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 – حينئذ – 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 Wein 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 درجة الحرارة إلى ٣٤-٣٧°م خاصة عندما يكون ذلك مصحوبًا بانخفاض فى الرطوبة النسبية إلى زيادة النتح، ونقص المستوى الرطوبى فى النبات، وسقوط 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 الليل المرتفعة. كذلك وُجِدَ - 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 سوءًا إذا كانت الحرارة العالية مصاحبة بنقص شديد فى الرطوبة الأرضية (Khan & Passam ١٩٩٢، وعن Wein 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 للشدِّ 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 نقصًا شديدًا 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 ١٢٨٩,٤ 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 ببادئ 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 سقوطها (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 (Wein 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 تحملاً لمعاملة التظليل. ومقارنة بالصنف أيس .. كان توجه المادة الجافة فى الصنف شارموك بدرجة أقل إلى أعضاء التكاثر وبدرجة أكبر إلى الأوراق النامية (Turner & Wien ١٩٩٤ أ). 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 & Wein ١٩٩٤ ب).

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 تراكم السكريات والنشا فى أزهار النباتات المظللة للصنفين مأوّر 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 قلّ 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 – حينئذ – 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 يبطه 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 تحت ظروف الحقل بالرى الرش.

٢ – الحد من التأثير السلبى لضعف الإضاءة فى الزراعات المحمية بزيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء الصوبة (عن Wein 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 نهارًا – إلى نقص خصوبة حبوب اللقاح وعدد البذور/ثمرة جوهريًّا. وأدت معاملة النباتات النامية تحت ظروف الحرارة المنخفضة ليلاً بالباكلوبتارازول paclobutrazol بتركيز ملليجرام واحد، أو ٠,١ مجم/لتر إلى الحد من تدهور حيوية حبوب اللقاح، وكذلك إلى زيادة محتوى الثمار من البذور، ولكن تلك الثمار كانت أصغر حجمًا 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، وذلك من بين ٨ أصناف تم اختبارها من *Capsicum annuum*، بالإضافة إلى كل من *C. frutescens*، و *C. baccatum* (Mercado وآخرون ١٩٩٧ أ).

كما أدى تعريض 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 تأثر بالمعاملة ذاتها (Mercado وآخرون ١٩٩٧ ب).

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 مورفولوجيًّا، 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 حُصِلَ عليها من نباتات نامية فى حرارة ليل مقدارها ١٨°م إلى زيادة نسبة الثمار الطبيعية المظهر بصورة كبيرة، وأدى تكرار هذه التلقيح اليدوى مرة ثانية وثالثة إلى إحداث زيادات متتالية فى حجم الثمار وتحسن فى مظهرها (Pressman وآخرون ١٩٩٨).

نمو الثمار وحجمها النهائى

وجد Cochran (١٩٤١) أن منحنى نمو ثمار الفلفل ذو شكل سيجمويد Sigmoid (أى يأخذ شكل حرف S). فقد تبين من دراسته على ثمار الفلفل من صنف بيرفكشن Perfection أن نمو الثمار يمر بالمراحل التالية:

١ – مرحلة يكون فيها النمو بطيئًا، وتبدأ من بداية تكوين البراعم، وتستمر حتى بعد تفتح الزهرة بنحو ٣–٤ أيام.

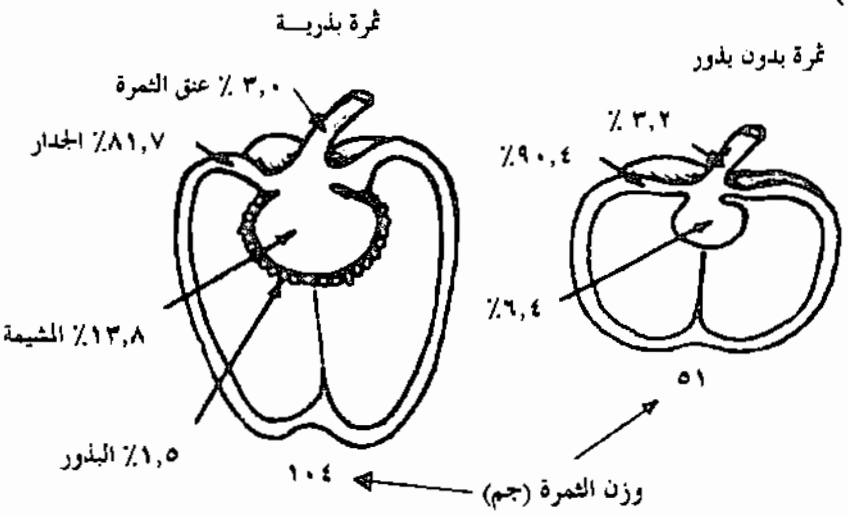
٢ – مرحلة يكون فيها النمو سريعًا، وتستمر لمدة حوالى ٣ أسابيع بعد المرحلة الأولى.

٣ – مرحلة يكون فيها النمو بطيئًا مرة أخرى، وتستمر حتى قرب نضج الثمار.

يتشكل تركيب مبيض زهرة الفلفل – من حيث الشكل العام وعدد الكرابل – فى الفترة التى تسبق تفتح الزهرة، وتحدث الزيادة فى حجم المبيض خلال تلك الفترة عن طريق الانقسام وتكوين مزيد من الخلايا، بينما تحدث الزيادة فى حجم المبيض بعد الإزهار (أى الزيادة فى حجم الثمرة) – أساسًا – عن طريق الزيادة فى حجم الخلايا التى سبق تكوينها فى المرحلة السابقة لتفتح الزهرة. هذا إلا أن عملية انقسام الخلايا تستمر بمعدل منخفض – فى بعض المراحل التالية من تكوين الثمرة – فى الأصناف ذات الثمار الطويلة، وخاصة عند قاعدة الثمرة (عن Wein ١٩٩٧).

وترجع الاختلافات فى حجم الثمار – بدرجة أساسية – إلى اختلاف الأصناف فى عدد الخلايا التى توجد بثمارها، وبدرجة أقل إلى الاختلاف فى حجم خلاياها (Kano وآخرون ١٩٥٧)، وتلك صفات وراثية تختلف من صنف لآخر، إلا أنها ترتبط بشدة مع عدد البذور فى الثمرة.

وتختلف نسب الأجزاء المختلفة التى تتكون منها ثمرة الفلفل (عنق الثمرة، والجدار الثمرى، والمشيمة، والبذور) باختلاف الصنف، وحجم الثمرة، وعدد البذور فيها (شكل ٣–١).



شكل (٣–١) نسب المكونات المختلفة لثمرة فلفل بذرية (على اليسار)، ولابذرية (على اليمين)، وكلاهما من طراز كاليفورنيا وندر.

وعلى سبيل المثال .. وجد Cochran (١٩٦٣) أن ثمرة صنف الفلفل توهارت برفكشن Tuhart Perfection تتكون من الأجزاء التالية: ٧٦,٠٨٪ جدار ثمرى، و ١٦,٣٣٪ مشيمة، و ٤,١٤٪ بذور، و ٣,٤٥٪ عنق ثمرة. ويلاحظ ان المشيمة شكلت نسبة كبيرة نسبيًا من وزن الثمرة.

وتتراوح درجة الحرارة المثلى لعقد الثمار البذرية ونموها بين ١٩، و ٢١°م. وبارتفاع الحرارة ليلاً إلى ٢٤°م يقل عقد الثمار، ولكن يزيد فيها عقد البذور، حيث وصل عدد البذور فيها إلى ١٠٦ بذرات، مقارنة بتواجد ٩٠ بذرة/ثمرة عندما كانت حرارة الليل ٢١°م، و ٧٧ بذرة/ثمرة فى حرارة ليل ١٨°م، و ٥٢ بذرة/ثمرة فى حرارة ليل ١٥°م. وفى الحرارة الأخيرة (١٥°م) كانت ٣٤٪ من الثمار خالية من البذور. وتكون المشيمة طبيعية النمو فى الثمار التى تحتوى على عدد طبيعى من البذور، بينما تكون غير مكتملة النمو فى الثمار غير البذرية أو التى تحتوى على عدد قليل من البذور (Rylski ١٩٧٣، و ١٩٨٦).

ونظرًا لأن نمو ثمرة الفلفل يعتمد على نمو مبيض الزهرة – سواء أكان مخصبًا أم غير مخصب – ونظرًا لأن الإخصاب له تأثير كبير على نمو كلا من البويضات والمشيمة؛ لذا .. فإن النمو المنتظم للثمار يعتمد على عدد البويضات المخصبة، والتى تعطى البذور عندما تكمل نموها. ويتراوح معامل الارتباط بين حجم ثمرة الفلفل وعدد البذور فيها بين ٠,٩٦، و ٠,٩٩ أيًا كانت درجة الحرارة السائدة. هذا إلا أن وزن الثمرة/بذرة يقل بزيادة عدد البذور فى الثمرة؛ ولذا .. فإن وزن الثمرة/بذرة يزيد فى الثمار التى تعقد فى حرارة منخفضة ليلاً عما فى الثمار التى تعقد فى حرارة مرتفعة (Rylski ١٩٧٣).

ويكفى – عادة – عقد نحو ٢٠٪ إلى ٣٠٪ من الحد الأقصى الممكن للبذور فى الثمرة الواحدة لكى تعقد وتستمر فى النمو، ولكن الثمار التى تحتوى على عدد كبير من البذور تثبط نمو الثمار التى تليها فى العقد (Marcelis & Baan Hofman-Eijer ١٩٩٧).

كذلك يتناقص وزن ثمرة الفلفل تدريجيًا مع التقدم فى موسم الحصاد (Khan & Passam ١٩٩٢)، ومع زيادة عدد الثمار التى يحملها النبات، ومع أى شدٍّ بيئى يمكن أن يؤثر سلبيًا على النمو الخضرى للنبات (عن Wein ١٩٩٧).

فالثمار الكبيرة النامية تؤثر سلبيًا على نمو الثمار الأحدث منها فى التكوين، مما يؤدى إلى صغر الثمار التى تتكون أعلى النبات فى الحجم. وقد وجد Ali & Kelly (١٩٩٢) أن هذا التأثير السلبى للثمار الكبيرة على الثمار الأحدث منها يظهر على صورة نقص فى الزيادة فى وزن الثمرة، وطولها، وقطرها، وسمك جدرها، ولكن هذه التأثيرات لم تكن معنوية إلا خلال الأسبوعين الأول والثانى التاليين لعقد الثمرة تحت ظروف الصوبة، ولمدة ٤ أسابيع من العقد تحت ظروف الحقل. أما بعد ذلك .. فلم تكن تلك التأثيرات معنوية. وأوضحت الدراسات التشريحية نقص نشاط انقسام الخلايا، وتكون عدد أقل من طبقات الخلايا فى جدار المبيض فى البراعم الزهرية والثمار الصغيرة التى تعرضت للمنافسة من الثمار الأكبر منها، مقارنة بتلك التى لم تتعرض للمنافسة. ويعنى ذلك أن المحافظة على قوة النمو الخضرى بصفة دائمة ربما يؤمن توفير الغذاء المجهز للبراعم الزهرية والثمار الصغيرة، فلا تتأثر سلبيًا بمنافسة الثمار الكبيرة لها.

وكما أسلفنا .. فإن نمو ثمار الفلفل يأخذ شكل المنحنى الزيجموید S curve، وينطبق على كل من طول الثمرة، وقطرها، ووزنها الطرى، ووزنها الجاف. وعندما كانت الحرارة ٢٠°م، وصلت ثمار الصنف مازوركا Mazurka إلى طور النضج الأخضر المناسب للحصاد بعد ٤٠–٤٥ يومًا من تفتح الزهرة، واكتسبت الثمار اللون الأحمر بعد ٢٠ يومًا أخرى، هذا .. إلا أن الوزن الطرى للثمرة لم يزدد بأى قدر يعتد به بعد ٤٥ يومًا من تفتح الزهرة، بينما ازداد وزنها الجاف بنسبة ٢٠٪. وقد انخفضت نسبة المادة الجافة فى الثمار من حوالى ١٦–١٨٪ عند تفتح الزهرة إلى نحو ٦–٨٪ بعد ٣٠ يومًا، ثم ارتفعت بعد ذلك إلى ٨–١٠٪. وظلت نسبة المادة الجافة التى احتوتها البذرة من المادة الجافة الكلية للثمار ثابتة تقريبًا خلال جميع مراحل نمو الثمرة، ولكنها تباينت كثيرًا (من صفر إلى ١٨٪) بين ثمرة وأخرى، وذلك حسب محتواها من البذور (Marcelis & Baan Hofman-Eijer ١٩٩٥)

تصل إلى ثمار الفلفل نحو ٥٠٪ من المادة الجافة فى النبات فى كل من الأصناف الكبيرة الثمار (مثل مازوركا)، والصغيرة الثمار (مثل Eug. 3506) على حد سواء (Jan & Chung ١٩٩٨).

وقد كانت مبايض أزهار الفلفل مازوركا Mazurka، والسلالة ٨٩٩ النامية فى حرارة

١٢°م ليلاً أكبر حجمًا عن نظيراتها فى النباتات التى نمت فى حرارة ليل ١٨°م. وأدت معاملة البراعم الزهرية الصغيرة بمركب ثلاثى يوديد حامض البنزويك triiodobenzoic acid (اختصارًا: TIBA) على حرارة ١٨°م إلى زيادة حجم مبايض الأزهار بطريقة مماثلة لتلك التى تصاحب التعرض لحرارة الليل المنخفضة. وبالمقارنة .. فإن المعاملة بنفثالين حامض الخليك NAA كان تأثيرها أقل كثيرًا. هذا .. بينما لم تؤد المعاملة بأى من: ثيوكبريتات الفضة silver thiosulfate، أو أمينو أوكسى حامض الخليك aminooxyacetic acid إلى إحداث أى تغير فى فعل الحرارة المنخفضة أو المعاملة بالـ TIBA. وقد أظهر الفحص الهستولوجى للمبايض الزهرية المتضخمة وجود زيادة واضحة فى كل من طول الخلايا وعرضها مع زيادة بدرجة أقل فى عدد الخلايا فى التخت والمشيمة. ويبدو أن الأوكسينات تلعب دورًا فى زيادة حجم مبيض الزهرة؛ نظرًا لأن المعاملة بالـ TIBA أدت إلى تراكم الأوكسين فى الأعضاء المعاملة، هذا بينما لم يؤثر الإثيلين فى هذا الخصوص (Pressman وآخرون ١٩٩٨).

شكل الثمار

تختلف طريقة تكوين ثمرة الفلفل عنها فى الطماطم والكوسة، من حيث أن شكل المبيض فى الفلفل لا يعطى أى مؤشر إلى الشكل المتوقع للثمرة؛ فمن مبيض كروى عند تفتح الزهرة يمكن أن تكون ثمرة فلفل طويلة. ويتحدد الشكل النهائى لثمرة الفلفل بالتغيرات فى شكل الخلايا واتجاه الانقسامات الخلوية ومدى استمرارها بعد تفتح الزهرة (عن Wein ١٩٩٧).

فيتأثر شكل ثمرة الفلفل أساسًا بعملية انقسام الخلايا التى تحدث فى المرحلة السابقة لتفتح الأزهار. وتحدث بعض الانقسامات فى قاعدة المبيض – وخاصة فى الثمار القمعية الشكل – أثناء تفتح الزهرة وبعد تفتحها. ويتأثر حجم الثمرة بعملية استطالة الخلايا عند تفتح الزهرة وبعد تفتحها. وتوجد منطقة النمو فى الثمرة فى قاعدتها، وخاصة فى الثمار العميقة. أما فى الثمار الناقوسية .. فإن النمو يحدث بصورة متجانسة فى مختلف أجزاء الثمرة (Rylski ١٩٨٦).

وقد وجد أن الزيادة فى الطول تحدث فى الأصناف ذات الثمار الطويلة نتيجة

لانقسام الخلايا فى نفس اتجاه استطالة الثمار لعدة أيام بعد تفتح الزهرة، ثم زيادة الخلايا المتكونة فى الحجم فى نفس الاتجاه أيضًا (Kano وآخرون ١٩٥٧).

وتأخذ ثمار الفلفل الشكل المميز للصنف عندما تسود الجو حرارة معتدلة تتراوح بين ١٨ و ٢٠°م أثناء وبعد تفتح الأزهار (Rylski ١٩٧٣).

ويمكن أن تؤثر درجة الحرارة السائدة قبل تفتح الزهرة على شكل الثمرة؛ فقد أدى تعريض نباتات الفلفل لحرارة عالية ثابتة مقدارها ٣٥°م بداية من مرحلة تكوين الورقة الحقيقة الثالثة حتى مرحلة تكوين عقدة التفريع الثالث، ثم نقلها بعد ذلك إلى حرارة ٢٥°م نهارًا مع ١٨°م ليلاً، أو إلى الحقل .. أدت هذه المعاملة إلى زيادة متوسط عدد الحجرات بالثمرة فى كل الأصناف سواء أكانت ناقوسية أم مخروطية الشكل، مقارنة بمعاملة بقاء النباتات فى حرارة ٢٥°م نهارًا مع ١٨°م ليلاً، ولكن تلك المعاملة الأخيرة أعطت أكبر الثمار حجمًا، بينما كانت أصغر الثمار حجمًا تلك التى أنتجتها النباتات التى وضعت خلال المرحلة الأولى للنمو (من مرحلة تكوين الورقة الحقيقة الثالثة إلى مرحلة تكوين عقدة التفريع الثالث) فى حرارة ثابتة مقدارها ١٨°م. وعلى الرغم من أن عدد المساكن فى ثمار معاملة الحرارة المنخفضة (١٨°م) كان أكبر قليلاً مما فى الحرارة المعتدلة (٢٥/١٨°م) بصورة دائمة، إلا أن تلك الثمار كانت إلى جانب كونها صغيرة الحجم – قصيرة وغير صالحة للتسويق (Ali & Kelly ١٩٩٣).

وعندما تتكون الزهرة فى حرارة منخفضة تصل إلى ١٠°م – أو أقل من ذلك – ليلاً، فإنها تعطى ثمرة صغيرة مسطحة وفى حرارة ليل أعلى من ١٠°م وأقل من ١٨°م يستمر مبيض الزهرة فى النمو، وتكون الثمرة مدببة فى طرفها الزهرى. وتصل نسبة طول المبيض إلى قطره فى الصنف كاليفورنيا وندر ٠,٩١ فى حرارة ١٨–٢٠°م، بينما تكون النسبة ٠,٧٩ فى حرارة ليل ١٠°م. وتبلغ نسبة طول الثمرة إلى قطرها أقصى مدى لها فى الصنف كاليفورنيا وندر (١,١–١٤) عندما تكون الحرارة عالية (١٨–٢٠°م) حتى تفتح الزهرة، ثم تنخفض بعد ذلك (عن Rylski ١٩٨٦).

وتجدر الإشارة إلى أن مبايض الأزهار فى النباتات التى تنمو فى حرارة ٨–١٠°م ليلاً – قبل الإزهار – تكون أكبر حجمًا عن نظيراتها التى تتعرض فيها النباتات لحرارة

ليل مقدارها ١٨–٢٠°م. وتتميز الثمار التى تنتج من تلك الأزهار بانخفاض نسبة طول الثمرة إلى عرضها، وببقاء قلم الزهرة فى الثمار المتكونة مع تضخمه (عن Wein ١٩٩٧).

لون الثمار

يرجع لون ثمار الفلفل إلى خليط من صبغات الليكوبين lycopene، والزانثوفيل xanthophyll، والكاروتين carotene، بالإضافة إلى خليط من عديد من الصبغات الأخرى. وتعتبر صبغة الكابسانثين Capsanthin من أهم الصبغات التى توجد فى البابريكا (Purseglove ١٩٧٤). وتوجد المركبات الملونة فى الطبقة الخارجية من الجدار الثمرى (عن Wein ١٩٩٧).

وقد تباينت نسبة الكاروتينات الكلية فى ثمار الفلفل حسب لونها، كما يلى:

لون الثمار	الكاروتينات الكلية (مجم/١٠٠ مجم وزن طازج)
أبيض	صفر
أصفر	٢,٢٤
برتقالى	٢,٤٩
أحمر	٨٥,٥٠

وعلى الرغم من تشابه الثمار الصفراء والبرتقالية اللون كميًّا فى محتواها من الكاروتينات الكلية، فإنهما يختلفان فى نوعية تلك الكاروتينات. وتتشابه أنواع الكاروتينات التى توجد فى الثمار البرتقالية مع تلك التى توجد فى الثمار الحمراء باستثناء اختفاء الكاروتينات القليلة التأكسد من الثمار الصفراء (عن Rylski ١٩٨٦).

وعندما قُدِّر محتوى ثمار الفلفل من الصبغات الكاروتينية بعد ٤، و ٧، و ١٠ أسابيع من تفتح الأزهار، وجد أن الكاروتينات الكلية ازدادت سريعًا بين الأسبوعين السابع والعاشر (Saga & Ogawa ١٩٩٥).

وقد أمكن التعرف على ١١ نوعًا من الكاروتينات فى ثمار الفلفل الحريف الأحمر، بلغ إجمالى تركيزها ٦٥ مجم/١٠٠ جم وزن طازج (Kim وآخرون ١٩٩٧).

وتختلف ثمار الفلفل الصفراء عن الثمار الحمراء اللون من حيث نوعية الكاروتينات السائدة فيها، حيث تحتوى الثمار الصفراء على الكارتينات ليوتين lutein، وفيولازانثين violaxanthin بصفة أساسية مع الزانثوفيلات xanthophylls الأخرى، بينما يختفى الليوتين كلية من الثمار الحمراء، التى تتواجد فيها بصورة أساسية صبغة الكابسانثين capsanthin، وكذلك صبغة الكابسوروبين capsorubin، التى تميز ثمار البابريكا (عن Rylski ١٩٨٦).

وعمومًا . فإن الصبغة الحمراء فى ثمار الفلفل الناضجة تتكون من مجموعة من الكاروتينات أساسها الكابسانثين capsanthin، وكابسوروبين capsorubin، وكربتوزانثين cryptoxanthin. ويؤدى وجود تلك الصبغات إلى حجب الصبغات الصفراء بيتا كاروتين β-carotene، وفيولازانثين violaxanthin التى تكون متواجدة – كذلك – والتى تكون هى السائدة فى الثمار الصفراء عند النضج.

وتوجد المركبات الملونة فى الطبقة الخارجية من الجدار الثمرى (عن Wein ١٩٩٧).

ويبلغ المحتوى الكاروتينى الكلى لثمار الفلفل البابريكا ذات الثمار السوداء *Capsicum annuum* var. *longum nigrum* (صنف Szentesi Fekete Fuszer) ٣,٢ جم/١٠٠ جم وزن جاف، وكانت أهم الكاروتينات المتواجدة فيها ونسبتها من المحتوى الكاروتينى الكلى، كما يلى:

الكاروتين	النسبة (٪)
Capsanthin	٤٢
Zeaxanthin	٨
Cucurbitaxanthin A	٦,٦
Capsorubin	٣,٢
β-carotene	٧

هذا بالإضافة إلى عديد من الكاروتينات الأخرى التى توجد بتركيزات منخفضة، والتى أمكن التعرف على ٢٩ مركبًا منها. وقد اقترحت عدة مسارات أيضية يمكن أن تقود إلى إنتاج مختلف الكاروتينات (Deli وآخرون ١٩٩٢، و ١٩٩٦).

وقد عزل المركب الكاروتينى cucurbitaxanthin A (= كبسولوتين capsolutein) – كذلك – من ثمار صنف الفلفل بولا Bola (Hornero-Mendez & Minguez-Mosquera ١٩٩٨).

ويتأثر ظهور الصبغات الحمراء فى ثمار الفلفل عند نضجها بدرجة الحرارة السائدة، فتتكون بصورة جيدة فى مدى حرارى من ١٨–٢٤°م سواء أكانت الثمار على النبات، أم فى المخزن. ويكون اللون الأحمر مشوبًا بالاصفرار إذا ارتفعت حرارة الثمرة إلى أكثر من ٢٧°م خلال معظم فترة التلوين، كما تقل سرعة ظهور اللون الأحمر مع انخفاض الحرارة عن ١٨°م إلى أن يتوقف التلوين تمامًا فى ١٣°م؛ لذا .. نجد أن الأصناف التى تستهلك حمراء يكون تلوينها رديئًا إذا كان نضجها متأخرًا فى الخريف. وليس لضوء الشمس أو الظلام أى تأثير على ظهور اللون الأحمر إلا من خلال تأثيرهما غير المباشر على درجة حرارة الثمار (Sims & Smith ١٩٨٤).

كذلك تؤثر المعاملة بالإثيفون على ظهور الصبغات؛ فقد أدت معاملة نباتات الفلفل صنف Bronowicka Ostra تحت ظروف الحقل بالإثيفون بتراكيزات وصلت إلى ٠,٣٪ (حجم/حجم) – مع حصاد الثمار فى ثلاث قطفات – إلى زيادة نضج الثمار، وزيادة كمية المحصول فى القطفتين الثانية والثالثة بنسبة تزيد عن ٤٤٪، كما ازداد محتوى ثمار النباتات المعاملة من الكبسانثين Capsanthin بنسبة ١١٪، والبيتا كاروتين بنسبة ١٤٪، والـ β-cryptoxanthin provitamin A بنسبة ١٨٪ عن ثمار الكنترول. وقد كانت تلك الزيادة فى محتوى الثمار من الصبغات مصاحبة بنقص فى محتواها من الزيازانثين Zeaxanthin، واختفاء لصبغة النيوزانثين neoxanthin (Perucka ١٩٩٦).

ويواكب بداية التحول اللونى من الأخضر إلى الأحمر بدء زيادة تركيز الكلوروفيل b عن تركيز الكلوروفيل a (Gomez وآخرون ١٩٩٨)، علمًا بأن تركيز كلوروفيل أ، و ب فى الثمار الخضراء لصنف الفلفل Yolo Wonder A يبلغ ٥٧٢، و ٢٣٤ مجم/جم من الوزن الجاف، على التوالى، وأن هذا الكلوروفيل يختفى تمامًا عند نضج الثمرة (Rylski ١٩٨٦).

وتحدث التغيرات اللونية فى ثمار الفلفل أثناء نضجها بسبب تحول

الكلوروبلاستدات الخضراء chloroplasts فى الجدار الثمرى الخارجى exocarp إلى بلاستيدات ملونة chromoplasts. ويسلك تحلل الكلوروفيل فى هذه الحالة المسار ذاته الذى يسلكه تحلل الكلوروفيل فى الأوراق التى تدخل مرحلة الشيخوخة. وتبعًا لذلك .. فإن أغشية البلاستيدات التى تبدأ فى التحول من خضراء إلى ملونة تحتوى على نشاط عال لإنزيم phaeophorbide (Pheide a) oxygenase، وهو إنزيم رئيسى فى عملية تحلل الكلوروفيل (Moser & Matile ١٩٩٧).

المركبات المسئولة عن النكهة المميزة فى الفلفل

كانت أكثر المركبات المتطايرة ذات الرائحة المميزة فى ثمار الفلفل الحلو مازوركا Mazurka – سواء أكانت الثمار خضراء، أم فى مرحلة التحول، أم صفراء – مايلى (Luning وآخرون ١٩٩٤).

المركب	الرائحة المميزة
2,3-butanedione	caramel
1-penten-3-one	chemical, pungent, spicy
hexanal	grassy
3-carene	red bell pepper, rubbery
(Z)-β-ocimene	rancid, sweaty
octanol	fruity
2-isobutyl-3-methoxypyrazine	green bell pepper
(E)-2-hexenal	almond, fruity, sweet
(E)-2-hexenol	almond, fruity, sweet

وقد انخفض تركيز غالبية المركبات المسئولة عن مختلف النكهات أثناء نضج الثمار، وذلك باستثناء المركبين الأخيرين اللذان ازداد تركزهما فى مرحلتى بداية التلوين والنضج الأحمر. وقد أدى تهتك الخلايا إلى أكسدة الليبيدات، وتكوين الكحولات، والألدهيدات، والكتيونات.

ويعد المركب 2-isobutyl-3-methoxypyrazine أهم المركبات المسئولة عن النكهة

المميزة فى كل من الفلفل الناقوسى والجالابينو. وتظهر النكهة المميزة لهذا المركب فى تركيزات منخفضة للغاية تصل إلى جزءين فى الترليون أو نحو قطرة واحدة منه فى حمام سباحة أوليمبى. ويتم تمثيل هذا المركب فى مختلف أجزاء الثمرة باستثناء البذور، ولكن يقل تركيزه فى المشيمة، ويزداد فى الجدر الخارجية (عن Greenleaf ١٩٨٦).

حرافة الثمار

ترجع الحرافة pungency فى ثمار الفلفل إلى سبعة مركبات شبه قلوية Alkaloids، يطلق عليها مجتمعة اسم كابسايسينات Capsaicinoids، وأكثرها تواجدًا الكابسايسين Capsaicin. وتنتج الكابسايسينات فى غدد المشمية (شكل ٣-٢، توجد الصورة الملونة فى آخر الكتاب). ولاتعد البذور مصدرًا للحرافة، ولكنها تتشرب عادة بالكابسايسين بسبب قربها من المشيمة (عن Bosland ١٩٩٢). ويزداد تركيز الكابسايسينات كلما اقتربت الثمار من النضج حتى يصل إلى ٠,١٪ فى الأصناف الحريفة (Heiser ١٩٧٦، و Purseglove ١٩٧٤).

وتلعب الظروف البيئية دورًا جوهريًّا فى التأثير على حرافة الثمار (Harvell & Bosland ١٩٩٧).

ويعتبر الكابسايسين من أكثر الكابسايسينات حرافة، حيث يمكن التعرف على تواجده باختبار التذوق فى تخفيفات تصل بتركيزه إلى ١٥ مجم/لتر (عن Johnson & Decoteau ١٩٩٦).

ويمكن عند النضج تمييز الثمار الحريفة عن الثمار الحلوة لوجود بثرات من الخلايا فى مشيمة الثمار الحريفة، بينما تبدو مشيمة الثمار الحلوة ناعمة.

وللكابسايسين استعمالات طبية عديدة ذكرها Khalf-Allah وآخرون (١٩٨٢).

وفى صنف الفلفل جالابينو تتراكم الكابسايسينات أساسًا فى مشيمة الثمرة التى تحتوى على ٣٣، و ٣٨ ميكرومول من الكابسايسين، والهيدروكابسايسين - على التوالى - بكل جرام. كما يتراكم - كذلك - حوالى ٥٨٪ من الـ vanillylamine، ونحو ٤٩٪ من المركبات الوسطية الفينولية فى مشيمة الثمرة (Ishikawa وآخرون ١٩٩٨).

ويوضح جدول (٣-١) تركيز الكابسايسينات وشدة الحرافة فى عدد من الأصناف والسلالات التى تنتمى إلى ستة أنواع من الجنس *Capsicum*.

جدول (٣-١): تركيز الكابسايسينات capaicinoids فى مختلف أصناف الفلفل (عن Greanleaf ١٩٨٦)

النوع	الصنف أو السلالة	الكابسايسينات (٪ من الوزن الجاف)	Scoville units[أ] SU(1000)
C. annuum	Long Red Cayenne	٠,٥٥	٩٠
	Fresno Chil	٠,٣٢	٥٢
	Large Bell	٠,٠٦	١٠
C. frutescens	Tabasco	٠,٨٨	١٤٤
C. microcarpum	AC 1553	٠,٥٨	٩٥
C. chacoense	AC 1256	٠,٣٥	٥٧
C. pendulum	AC 1941	٠,٤١	٦٧
C. pubescens	Roja	٠,٦٥	١٠٧

(أ) الـ Scoville Unit هى مقلوب أعلى تخفيف يمكن عنده استمرار تمييز الحرافة حسيًا بالتذوق.

وقد بلغ تركيز الكابايسين فى عدد من أصناف الفلفل الحار ١,٣٢ ± ٠,٥٩ جم/كجم، بينما كان تركيز الداى هيدروكابسايسين فى الأصناف ذاتها ٠,٨٣ ± ٠,٣٤ جم/كجم (Lopez-Hernandez ١٩٩٦). وفى صنف الفلفل بادرون Padron تراوحت نسبة الكابسايسين إلى الداهيدروكابسايسين بين ١,٣٦ : ١، و ١,٧١ : ١ (Estrade وآخرون ١٩٩٧).

إن الكابسايسينات عبارة عن أميدات حامضية acid amides للفانللى أماين vanillamine تحتوى على سلاسل متفرعة لأحماض دهنية من C_9 إلى C_{11}.

وأكثر الكابسايسينات تواجدًا، ما يلى:

١ – الكابسايسين capsaicin (وهو $C_{18}H_{27}NO_3$)، ويعرف بالاسم الكيميائى N-vanillyl-8 methyl-6 nonenamide.

٢ – الداى هيدروكابسايسين dihydrocapsaicin، وهو ثانى أكثر الكابسايسينات

تواجدًا، ويعرف بالاسم الكيمائى N-vanillyl-8 methyl nonanamide)عن Rylski ١٩٨٦).

ومن الكابسايسينات الأخرى المعروفة، ما يلى (عن Johnson & Decoteau ١٩٩٦).

Nordihydrocapsaicin.

Homodihydrocapsaicin.

Homocapsaicin.

وتعرف كابسايسينات أخرى أقل انتشارًا، مثل الكابسيّت capsiate، والداى هيدروكابسيّت dihydrocapsiate (Kobata وآخرون ١٩٩٨)، والنورداى هيدروكابسيّت nordihydrocapsiate (Kobata وآخرون ١٩٩٩)، وقد عزلت جميعها من صنف الفلفل اليابانى الحلو CH-19، وهو صنف منتخب من الصنف التايلاندى الحريف CH-19.

لايشترط حدوث الإخصاب وتكوين البذور لأجل تمثيل الكابسايسينات، التى يتماثل تركيزها فى الثمار البكرية مع تركيزها فى الثمار البذرية.

والحرافة صفة وراثية سائدة.

ولم يمكن ملاحظة تواجد الكابسايسين فى مشيمة ثمار الصنف الحريف Karayatsubusa بعد تفتح الزهرة بنحو خمسة أيام، بينما لوحظت بداية تكونه بعد خمسة أيام أخرى، وازداد تركيزه بشدة بعد تفتح الزهرة بثلاثين يومًا. ويستدل من عديد من الدراسات أن تركيز الكابسايسين يزداد حتى نضج الثمرة، ثم ينخفض بعد ذلك.

وجد ارتباط جوهرى سالب بين حجم ثمرة الفلفل ومحتواها من الكابسايسين، حيث تكون الطرز ذات الثمار الصغيرة – عادة – أكثر حرافة.

وتقل حرافة ثمار الأصناف الحارة عند زيادة الرطوبة الأرضية، والتسميد الآزوتى، وانخفاض درجة الحرارة. وفى إحدى الدراسات كان تركيز الكابسايسين فى حرارة ٣٠–٣٥°م ضعف تركيزه فى حرارة ١٢–١٥°م.

ويستمر تمثيل الكابسايسينات فى مشيمة ثمار الفلفل أثناء نضجها – فى الضوء – بعد الحصاد، ولكن لا يحدث ذلك فى الظلام (عن Rylski ١٩٨٦).

وأدت معاملة نباتات الفلفل من صنف Bronowicka Ostra بالإثيفون بتراكيزات تراوحت بين ١,٥ × ١٠$^{-٦}$، و ٤,٥ × ١٠$^{-٦}$ مولار أثناء نضج الثمار إلى خفض محتواها من الكابسايسينات مقارنة بمحتوى ثمار الكنترول (Perucka ١٩٩٦).

وقد كان تركيز الكابسايسينات منخفضًا فى الأسبوع الأول بعد تفتح الزهرة، وازداد سريعًا خلال الأسبوعين الثانى والثالث، وبلغ التركيز أعلى معدل له فى الأسبوع الخامس، ثم نقص بعد ذلك. وكان أكثر الأصناف المختبرة احتواء على الكابسايسينات الصنف اليابانى ياتسوفوزا Yatsufusa، حيث بلغ تركيزها فى ثماره ١٪ على أساس الوزن الجاف (Jo وآخرون ١٩٩٧). وفى صنف الفلفل بادرون Padron كان تركيز الكابسايسين منخفضًا فى البداية، وازداد قليلاً خلال الأسبوع الرابع من تفتح الزهرة، ثم ازداد بوضوح فى مرحلة اكتمال النضج بعد ٦ أسابيع من تفتح الزهرة (Estrade وآخرون ١٩٩٧). وفى صنفين آخرين من الفلفل الحار كان أعلى تركيز للكابسايسينات بين اليوم العشرين واليوم الأربعين من تفتح الزهرة (Minami وآخرون ١٩٩٨). كما ازداد تركيز الكابسايسينات (وخاصة الكابسايسين والهيدروكسى كابسايسين) تدريجيًّا إلى أن وصلت إلى أعلى تركيز لها بين اليوم الخامس والأربعين واليوم الخمسين من تفتح الزهرة فى الصنفين هابانيرو Habanero (وهو *C. chinense*)، و دى أروبول De arobol (وهو *C. annuum* var. *annuum*)، وعند اليوم الأربعين من تفتح الزهرة فى الصنف بكوين Piquin (وهو *C. annuum* var. *aviculare*) (Contreras-Padilla & Yehia ١٩٩٨)

وتوجد علاقة عكسية بين التغير فى تركيز الكابسايسينات (بالزيادة أو النقص) ونشاط إنزيم البيروكسيديز peroxidase، حيث ازداد نشاط الإنزيم فى الوقت الذى بدأ فيه تركيز الكابسايسينات فى الانخفاض؛ لذا .. يعتقد بوجود دور لهذا الإنزيم فى هدم الكابسايسينات (Contreras-Padilla & Yahia ١٩٩٨).

ويزداد تركيز محتوى الثمار من الكابسايسين عدة مرات أثناء التصنيع، مما يدل على أن التسخين يعمل على تحويل بعض البادئات إلى كابسايسين (عن Greenleaf ١٩٨٦).

ويوجد اختبار كيمائى لونى سريع للحرافة، وفيه يوضع جزء صغير من المشيمة على

ورقة ترشيح بواسطة إبرة تشريح، وتترك عليها إلى أن تتشرب الورقة بجزء من الإفرازات الزيتية للمشيمة. وعدما تضاف قطرة من محلول ١٪ vanadium oxytrichloride في carbon tetrachloride على ورقة الترشيح المبتلة بالإفرازات الزيتية للمشيمة، فإن يظهر لون أزرق إذا ما وجد الكابسايسين. وعندما لا يكون اختبار اللون إيجابيًا، فإنه يتم التأكد منه باختبار التذوق.

وتستخدم منظمة تجارة البهارات الأمريكية American Spice Trade Association وحدة الاسكوفلّ Scoville Uint (اختصارًا: SU) في قياس الحرافة، وهو مقلوب أعلى تخفيف يمكن عنده استمرار تمييز الحرافة حسيًا بالتذوق.

ونجد على مقياس SU (وهو من ١٠٠٠) أن صفر–١٠ تعني لا يمكن تمييز أى حرافة، و ١١–٣٠ تعني حرافة خفيفة، و ٣١–٨٠ تعني حرافة متوسطة، و > ٨٠ حرافة عالية (عن Greenleaf ١٩٨٦).

ويقدر تركيز مختلف الكابسايسينات كميًا بطريقة الـ HPLC (Lopez-Hernandez وآخرون ١٩٩٦).

محتوى الفلفل من المركبات الأخرى

حامض الأسكوربيك

وجد أن محتوى ثمار الفلفل من حامض الأسكوربيك يزداد مع تقدم الثمرة في التكوين، أما محتواها من الألفاتوكوفيرول Alpha-tocopherol فقد ازداد سريعًا بعد الأسبوع السابع من تفتح الزهرة (Saga & Ogawa ١٩٩٥).

وازداد تدريجيًا محتوى ثمار الفلفل من حامض الأسكوربيك بين الأسبوعين الثانى والثامن من تفتح الزهرة، ثم توقفت الزيادة بعد ذلك (Ishikawa وآخرون ١٩٩٧)، كما ازداد المحتوى أثناء التغيرات اللونية للثمرة من الأخضر إلى الأصفر في صنف الفلفل جولدن بل Golden Bell (Imahori وآخرون ١٩٩٨).

وقد كان تركيز حامض الأسكوربيك في ثمار صنف الفلفل الحار الصيني Bugang ١٢١ مجم/١٠٠ جم من الوزن الطازج (Kim وآخرون ١٩٩٧).

الأحماض الأمينية الحرة

بلغ إجمالى تركيز الأحماض الأمينية الحرة فى ثمار صنف الفلفل الحار Bugang ٠,٩ جم/١٠٠ جم من الوزن الطازج، وكانت أكثر الأحماض الأمينية تواجد (٩٥٪): الأسباراجين asparagine، والجلوتامين glutamine، وحامض الجلوتامك glutamic acid، والتربتوفان tryptophan (Kim وآخرون ١٩٩٧).

المركبات الفلافونية

كانت أهم المركبات الفلافونية flavonoids فى ثمار الفلفل: الكورستين quercetin، واللتيولين luteolin، وتراوح المحتوى الكلى للفلافونات فى ١١ صنف من الفلفل (تنتمى إلى خمسة طرز، هى: جلابينو jalapeno، ويلوواكس yellow wax، وتشللى chilli، وأنشو ancho، وسيرّانو serrano) بين صفر، و ٨٠٠ مجم/كجم، وكان أكثر الطرز احتواء على الفلافونات التشللى، واليلوواكس، والأنشو (Lee وآخرون ١٩٩٥).

العيوب الفسيولوجية

تشوهات الثمار

يصاحب تكوين الثمار البكرية – عادة – ظهور تشوهات مختلفة فى شكل الثمرة، ولكن لا يشترط غياب البذور لكى تظهر تلك التشوهات؛ ذلك لأن العوامل البيئية التى تؤدى إلى عدم الخصوبة وتكوين الثمار البكرية هى ذاتها التى تسبب حدوث تشوهات فى مبيض الثمرة يترتب عليها ظهور تشوهات الثمار.

ومن أمثلة تشوهات الثمار، مايلى:

١ – الثمرة المسطحة Flat Fruit .. ينتجها مبيض كبير ولكنه يكون مسطح هو كذلك.

٢ – الثمرة ذات القلم .. ينتجها مبيض ازداد فيه سمك القلم بصورة غير طبيعية.

٣ – الثمرة المركبة .. تظهر على صورة ثمار صغيرة مشوهة عل جوانب الثمرة الأصلية .. وتنتج من نمو تكوينات غير طبيعية تشبه الكرابل تكون حول المبيض. تكون هذه الثمار الصغيرة دائمًا مشوهة وعديمة البذور.

٤ – تكوين ثمار داخلية .. تظهر على صورة تكوينات تشبه الثمار داخل الثمرة الأصلية، ولكنها تكون دائمًا غير طبيعية (عن Rylski ١٩٨٦).

وبينما لم تؤثر الحرارة المرتفعة ليلاً (١٨°م) على عقد ونمو الثمار فى أصناف الفلفل ذات الثمار الكبيرة، فإن تلك الظروف أدت إلى إنتاج ثمار غير صالحة للتسويق فى أصناف الفلفل ذات الثمار الصغيرة؛ بسبب تأخيرها لتفتح المتوك، وما ترتب على ذلك من ضعف فى الإخصاب (عن Kanahama ١٩٩٤).

وفى مصر .. أدت تدفئة الصوبات البلاستيكية شتاء أثناء الليل حتى ١٦°م إلى نقص نسبة الثمار المشوهة، وزيادة محتوى الثمار من فيتامين جـ، مقارنة بعدم التدفئة، إلا أن التدفئة لم تؤثر معنويًا على محتوى الثمار من الكلوروفيل أو الصبغات الكاروتينية (El-Saeid وآخرون ١٩٩٦).

وقد أدت إزالة جميع الثمار التى يحملها النبات، أو إزالة أوراقه جزئيًا (توريقه)، أو خفض درجة الحرارة ليلاً إلى ١٢°م (مقارنة بحرارة ١٨°م) إلى تكوين أزهار مشوهة deformed. كما أدت إزالة جميع ثمار النبات وتوريقه إلى نمو ثمار مشوهة من البراعم الزهرية التى كان عمرها – وقت إجراء المعاملة – ثلاثة أيام قبل تفتح الزهرة. وقد أدت معاملة إزالة الثمار إلى زيادة محتوى البراعم الزهرية (التى ظهرت بعد ١٥ يومًا من المعاملة) من السكريات المختزلة والنشا. ويعتقد بأن معاملة إزالة الثمار تؤدى إلى توجيه الغذاء المجهز – الذى كان يتجه طبيعيًا إلى الثمار النامية – توجيهه إلى البراعم الزهرية؛ مما يؤدى إلى انتفاخها وتشوهها؛ ومن ثم تكوين ثمار مشوهة (Aloni وآخرون ١٩٩٩).

البقع الملونة

تظهر البقع الملونة Colored Spots – غالبًا – على سطح ثمار الفلفل فى صورة مساحات كبيرة متغيرة فى اللون، وتتحلل فيها طبقات الخلايا التى تلى البشرة. تكون بداية ظهور هذه الحالة الفسيولوجية فى الثمار الخضراء، حيث تظهر عليها مساحات صفراء تبقى كذلك حتى بعد تحول الثمرة إلى اللون الأحمر.

تختلف الأصناف فى حساسيتها لظهور هذه الحال الفسيولوجية، ومن أكثرها حساسية الصنف مأور Maor.

وتزداد شدة الإصابة بزيادة التسميد الآزوتى والتظليل.

وتحتوى خلايا الجدار الثمرى الخارجى المتأثرة بهذه الحالة الفسيولوجية على تركيزات أعلى من الكالسيوم عما فى نظيراتها السليمة، كذلك تحتوى الخلايا المتأثرة على بللورات من أوكسالات الكالسيوم، ويزداد محتواها كثيرًا من حامض الأوكساليك (Aloni وآخرون ١٩٩٤).

تعفن الطرف الزهرى

تظهر أعراض تعفن الطرف الزهرى Blossom End Rot عند موضع اتصال الثمرة (وهى مبيض الزهرة المتضخم) بالقلم الزهرى فى كل من الثمار الصغيرة والثمار المكتملة التكوين على حد سواء يبدو النسيج المصاب بلون رمادى فاتح، ويكون طريًا ومائى المظهر فى البداية، ولكنه لايلبث أن يتصلب بعد أن يجف. وإذا أصيبت الثمار وهى صغيرة فإن الجزء المتأثر من الثمرة قد يكون قطره مماثلاً لقطر الثمرة، وغالبًا ما تسقط هذه الثمار ولا يكتمل تكوينها. أما الثمار التى تُصاب متأخرة فإن الجزء المتأثر فيها يكون صغيرًا وتكمل بقية الثمرة نموها بصورة طبيعية (شكل ٣-٣، يوجد فى آخر الكتاب)

تتلون الثمار المصابة عادة قبل موعد نضجها الطبيعى. كما تصيب الفطريات الرمية النسيج الميت المتحلل، ليصبح قاتم اللون وقد تتمكن البكتيريا المسببة للعفن الطرى من إصابة الثمرة من خلال النسيج المضار.

وتزداد شدة الإصابة فى الثمار الأولى التى تعقد على النباتات الصغيرة التى يكون نموها الجذرى مازال محدودًا.

وتظهر حالة تعفن الطرف الزهرى – أساسًا – عندا يقل وصول الكالسيوم إلى طرف الثمرة الزهرى عما يلزم لنمو هذا الجزء من الثمرة بصورة طبيعية.

وبينما تبلغ نسبة الكالسيوم ٠,١٧٪ فى ثمار النباتات المسمدة جيدًا بالعنصر (١٥٠ جزء فى المليون من الكالسيوم فى المحاليل المغذية)، ولاتظهر على ثمارها أية إصابات بتعفن الطرف الزهرى، فإن النباتات التى تظهر بثمارها هذا العيب الفسيولوجى يكون

محتواها من الكالسيوم منخفضًا، حيث بلغ فى إحدى الدراسات ٠,١٣٪ عندما احتوى المحلول المغذى على ٥٠ جزءًا فى المليون فقط من الكالسيوم.

وينخفض تركيز الكالسيوم فى ثمار الفلفل بصورة طبيعية بالاتجاه نحو طرف الثمرة الزهرى، ويكون هذا النقص فى الطرف الزهرى أشد فى الثمار المتأثرة بتعفن الطرف الزهرى عما يكون عليه الحال فى الثمار الطبيعية (Morley وآخرون ١٩٩٣).

وبصورة عامة .. يكون مستوى الكالسيوم فى ثمار الفلفل منخفضًا، حيث يصل - حتى فى ظروف التغذية الطبيعية - إلى نحو ٠,٢-٠,٣٪. كما يقل تركيز الكالسيوم فى ثمرة الفلفل بالاتجاه من طرف العنق (حوالى ٠,٢٪) إلى الطرف الزهرى (حوالى ٠,٠٤-٠,٠٧٪). ولايتجمع فى ثمار الفلفل سوى نحو ٦٪ من الكالسيوم الكلى الذى يمتصه النبات (عن Wein ١٩٩٧).

وعمومًا فإن المستوى الحرج للتغذية بالكالسيوم الذى يؤدى الانخفاض عنه إلى إصابة الثمار بتعفن الطرف الزهرى يتأثر بكل من ظروف الجفاف، والملوحة، والتسميد الآزوتى، وقوة النمو النباتى.

وترتبط كافة العوامل المؤثرة فى ظهور حالة تعفن الطرف الزهرى بنقص إمدادات الكالسيوم - التى تصل إلى أنسجة الطرف الزهرى للثمرة - عن حاجتها من العنصر، حيث تزداد شدة الإصابة فى الحالات التالية:

١ - نقص مستوى الكالسيوم:

أجريت معظم الدراسات الخاصة بتأثير نقص الكالسيوم على الإصابة بتعفن الطرف الزهرى فى المزارع المائية. ففى إحدى الدراسات ازدادت نسبة الإصابة تعفن الطرف الزهرى فى الفلفل عندما كان مستوى الكالسيوم فى المحلول المغذى منخفضًا (٥٠ جزء فى المليون) عما كان عليه الحال عندما كان مستوى الكالسيوم مناسبًا (١٥٠ جزءًا فى المليون). ويبين جدول (٣-٢) تأثير التغذية بمستويات مختلفة من الكالسيوم على شدة الإصابة فى دراسة أخرى.

جدول (٣-٢) تأثير مستوى الكالسيوم فى المحلول المغذى على إصابة الثمار بتعفن الطرف الزهرى فى الفلفل

مستوى الكالسيوم	تركيز الكالسيوم (ملى مكافئ/لتر)	الثمار المصابة (٪)	محتوى الكالسيوم فى الثمار (٪)
منخفض	١,١	٢٥,٥	٠,١٨
متوسط	٢,٢	٢,٢	٠,٢١
مرتفع	٤,٠	صفر	٠,٢٤

٢ - زيادة مستوى المغنيسيوم:

يرجع هذا التأثير إلى أن زيادة المغنيسيوم تؤدى إلى نقص امتصاص الكالسيوم، بسبب التنافس الذى يحدث بينهما على الامتصاص. وفى إحدى الدراسات ازدادت معدلات الإصابة بتعفن الطرف الزهرى بزيادة تركيز المغنيسيوم فى المحاليل المغذية من ١٢ إلى ٩٧ جزءًا فى المليون، وصاحب ذلك نقص فى محتوى الثمار من الكالسيوم (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

٣ - زيادة التسميد الآزوتى:

أدت زيادة معدلات التسميد الآزوتى إلى زيادة إصابة الثمار بتعفن الطرف الزهرى، وازداد هذا التأثير عند استعمال مصادر نشادرية للنيتروجين .. ففى إحدى الدراسات ازدادت نسبة الإصابة بتعفن الطرف الزهرى من ٣,٤٪ عندما كان كل النيتروجين المضاف فى الصورة النتراتية إلى ١١,٢٪ عندما كان ٤٠٪ من النيتروجين المستعمل فى الصورة الأمونيومية والباقى فى الصورة النتراتية.

٤ - زيادة تركيز الأملاح:

أدت زيادة تركيز الأملاح الكلى فى المحاليل المغذية من ١٠٠٠-٣٠٠٠ جزء فى المليون إلى زيادة نسبة الإصابة بتعفن الطرف الزهرى، ولم يمكن تجنب هذا التأثير للملوحة العالية بزيادة مستوى الكالسيوم إلى ٤٥٠ جزءًا فى المليون. ويرجع هذا التأثير إلى إضعاف الملوحة العالية لعملية امتصاص النبات للكالسيوم. وفى دراسة أخرى كانت نسبة الإصابة بتعفن الطرف الزهرى عند المستويات المختلفة من الملوحة فى المحاليل

المغذية باللللى موز كما يلى: ١,٣٪ عند ٠,٤٥ ملى موز، و ١,٤٪ عند ٠,٩٠، و ٥,٦٪ عند ١,٣٥، و ٩,٣٪ عند ١,٨ ملى موز.

٥ – نقص الرطوبة النسبية:

يؤدى نقص الرطوبة النسبية إلى زيادة معدل النتح من الأوراق؛ ومن ثم تحرك الكالسيوم – سلبيًا – مع تيار الماء المفقود بالنتح، وتجمعه فى الأوراق. هذا .. إلا أن Ho & Hand (١٩٩٧) لم يجدا تأثيرًا للرطوبة النسبية على شدة الإصابة بتعفن الطرف الزهرى فى الفلفل.

٦ – زيادة معدل النمو الثمرى:

ارتبطت ظاهرة تعفن الطرف الزهرى إيجابيًا مع معدل النمو الثمرى، وخاصة فى مراحل النمو الأولى، وكذلك مع عدد البذور فى الثمرة.

وكذلك ارتبط معدل الإصابة بتعفن الطرف الزهرى إيجابيًا مع حجم الثمرة.

ولزم توفر تركيزات عالية من الكالسيوم فى المحاليل المغذية لمنع الإصابة بتعفن الطرف الزهرى عندما كان معدل نمو الثمار عاليًا (Marcelis & Ho ١٩٩٩).

٧ – ارتفاع حرارة التربة:

أدى تبريد المحلول المغذى إلى ٢٦°م كحد أقصى إلى خفض نسبة الثمار المصابة بتعفن الطرف الزهرى من ١٠٪ إلى ٢٪ فى مزارع تقنية الغشاء المغذى، ومن ٢٠٪ إلى ١٤٪ فى مزارع وسائد البولى يوريثين Polyurethane، وذلك مقارنة بعدم تبريد المحلول المغذى، حيث تصل حرارته إلى ٣٣°م كحد أقصى، علمًا بأن تبريد المحلول المغذى كان له تأثير إيجابى على المحصول كذلك (Benot & Ceustermans ١٩٩٧).

ويوصى لأجل الحد من الإصابة بتعفن الطرف الزهرى فى الفلفل مراعاة مايلى:

١ – غرس الشتلات عميقًا فى التربة.

٢ – تجنب إثارة الجذور بالعزيق بعد بدء الإثمار.

٣ – الاهتمام بالرى المنتظم.

٤ – التسميد الجيد بالكالسيوم، وخاصة فى المزارع المائية (Hamilton & Ogle ١٩٦٢، و Ware & MaCollum ١٩٧٥).

وقد نقص محصول الثمار المصابة بتعفن الطرف الزهرى، وكذلك نقصت نسبة الثمار المصابة، وازداد المحصول الكلى بزيادة مستوى الكالسيوم – المضاف مع مياه الرى بالتنقيط – حتى ٦٨ كجم/هكتار (حوالى ٢٩ كجم Ca للفدان) (Alexander & Clough ١٩٩٨)

ويفيد استعمال الجبس الزراعى – فى إصلاح الأراضى الملحية القلوية – فى توفير الكالسيوم للنبات.

هذا .. إلا أن رش نباتات الفلفل بنترات الكالسيوم لم يكن دائمًا إيجابيًّا فيما يتعلق بمكافحة تعفن الطرف الزهرى.

٥ – أدى استعمال أغطية البولى بروبلين الطافية إلى خفض الإصابة بتعفن الطرف الزهرى بشدة، بسبب الخفض الذى تحدثه الأغطية فى معدلات النتح من الأوراق.

٦ – كما أدى رش النموات الخضرية للفلفل بمضادات النتح إلى زيادة محتوى الثمار من الكالسيوم، وانخفاض نسبة إصابتها بتعفن الطرف الزهرى، ولكن مع حدوث انخفاض فى المحصول الكلى (عن Wein ١٩٩٧).

لفحة الشمس

تظهر الإصابة بلفحة الشمس sun scald فى جانب الثمرة الذى يتعرض لأشعة الشمس القوية، خاصة إذا حدث ذلك بصورة فجائية كما هو الحال عند فقد النباتات لجزء كبير من أوراقها عند الإصابة ببعض الآفات.

يكون النسيج المصاب فاتح اللون فى البداية، ثم يصبح طريًّا، ومجعدًا قليلاً وفى النهاية يكون جافا، وغائرًا، وأبيض اللون، وورقى الملمس (شكل ٣-٣، يوجد فى آخر الكتاب). وقد تنمو على النسيج المصاب فطريات مختلفة، مما يؤدى إلى تغير لونها. وقد تظهر أعراض أقل حدة للسعة الشمس تتمثل فى ظهور اصفرار فى أحد جوانب الثمرة (Salunkhe & Desai ١٩٨٤).

تكون الثمار الخضراء المكتملة التكوين mature green أكثر من غيرها قابلية للإصابة بلسعة الشمس (Black وآخرون ١٩٩١)، وكذلك تزداد القابلية للإصابة عند تحول لون الثمرة من الأخضر إلى الأحمر. وتكون الثمار الخضراء غير المكتملة التكوين أقل حساسية، بينما تكون الثمار الحمراء الناضجة مقاومة للظاهرة.

تحدث الأعراض من جراء فعل كل من الحرارة والضوء على نسيج الثمرة؛ فعندما ترتفع حرارة النسيج إلى ٥٠°م، تكون ١٠ دقائق فقط من التعرض للإضاءة القوية كافية لإحداث الضرر. وأقل حرارة يمكن أن يحدث عندها الضرر هى ٣٨-٤٠°م، ولكن ظهور الضرر - حينئذ - يتطلب التعرض لما لايقل عن ١٢ ساعة من الإضاءة القوية. وإلى جانب التأثير المباشر للحرارة العالية على نسيج الثمرة، فإن الضوء يعمل على إنتاج superoxide anion radicals من خلال فعله على الكلوروفيل فى الحرارة العالية.

وتؤدى زيادة نشاط إنزيم superoxide dismutase فى البلاستيدات الخضراء إلى الحد من أضرار لفحة الشمس بالمساعدة فى تكوين فوق أكسيد الأيدروجين وأكسيجن من الـ superoxide radicals. وقد وجد أن نشاط هذا الإنزيم يزداد عند تعريض الثمار لحرارة ٤٠°م لمدة ٦ ساعات وتنخفض معه شدة الإصابة بلسعة الشمس (عن Wein ١٩٩٧).

ويمكن الحد من الإصابة بلسعة الشمس بالوسائل التالية:

١ - زراعة الأصناف ذات النمو الخضرى الغزير الذى يغطى الثمار بشكل جيد، ولكن يصاحب ذلك - عادة - زيادة فى نسبة سقوط الأزهار والبراعم الزهرية.

٢ - زراعة الأصناف ذات الثمار الصفراء حيث أن حرارتها لا ترتفع بنفس الدرجة التى ترتفع إليها حرارة الثمار الخضراء عند تعرضها للشمس، كما أن محتواها العالى من الصبغات الكاروتينية يساعد فى حماية جدار الثمرة من التأثير الضار لعملية الأكسدة الضوئية photo-oxidation.

٣ - تظليل النباتات بشباك تعطى تظليل بنسبة ٢٦-٣٦٪ (عن Wein ١٩٩٧).

التشققات والنُدَب

التشققات Cracks ليست شائعة الظهور فى ثمار الفلفل بصورة عامة، ولكن النُدَب Scars يكثر ظهورها فى ثمار الفلفل الجالابينو، وخاصة عند نضجها. والنُدَب عبارة عن تفلق فى أديم الثمرة، وفى التشقق يتعمق هذا التفلق ويمتد خلال جدار الثمرة حتى يصل إلى الفجوة الداخلية (عن Johnson & Knavel ١٩٩٠). وتزداد النُدَب والتشققات قريبًا من الطرف الزهرى للثمرة، كما تزداد معدلات الإصابة بالتشققات بزيادة سمك الجدار الثمرى (عن Wein ١٩٩٧).

وتزداد قابلية ثمار الفلفل للإصابة بالتشقق الأديمى cuticular cracking – أى تكوّن النُدَب scarring – فى بداية مرحلة التحول اللونى.

ويبدأ التشقق فى الفلفل بظهور شقوق دقيقة للغاية (يصعب رؤيتها بالعين المجردة) فى طبقة الأديم على سطح الثمرة، وهى التى تتطور إلى شقوق منظورة وتمتد فى خلايا الغلاف الثمرى الخارجى. وتختلف أصناف الفلفل فى حساسيتها للإصابة بالتشقق، ويعود ذلك – جزئيًا – اختلافها فى سمك طبقة الغلاف الثمرى الخارجى. ويؤدى الحد من النتح ليلاً – بسبب الرطوبة النسبية العالية أو انخفاض الحرارة – إلى زيادة إنتاج خلايا الغلاف الثمرى الخارجى وزيادة حساسيتها للتشقق. ويحدث الأمر ذاته عند إزالة الأوراق، حيث يقل النتح كذلك. ومع زيادة نفاذية طبقة الأديم لبخار الماء – الأمر الذى يحدث فى المراحل المتأخرة من نمو الثمار فى الأصناف الحساسة للإصابة بالتشقق – فإن ضغط الامتلاء الداخلى الذى يزداد ليلاً يؤدى إلى تشقق الأديم (Aloni وآخرون ١٩٩٨).

ويعتقد Aloni وآخرون (١٩٩٩) أن السبب فى حدوث هذه الظاهرة هو ازدياد التباين اليومى بين الليل والنهار – على مدى فترة زمنية طويلة – فى كل من انتفاخ الثمرة fruit turger وقطرها، حيث يزداد التشقق الأديمى مع الازدياد فى معدل انتفاخ الثمار ومعدل استقبالها للغذاء المجهز أثناء الليل، ثم فقدها لجزء من رطوبتها وانكماشها بالفعل أثناء النهار، ومع تكرار ذلك خلال فترات النمو السريع للثمرة فإن التشقق يظهر فى الصباح الباكر بعد ضعف الأديم وعدم تحمله للضغط الذى يقع عليه ليلاً.

ومما يؤكد ذلك ازدياد نسبة التشقق فى الظروف التى يقل فيها معدل النتح.

وتزداد الإصابة بالتشقق كذلك عند زيادة معدل تعرض الثمار للإشعاع المباشر، وعند نقص الرطوبة الأرضية، ولكلا العاملين علاقة بالتغيرات اليومية فى انتفاخ الثمار وازديادها فى الحجم ليلاً، وفقدها للرطوبة وانكماشها نهارًا (Moreshet وآخرون ١٩٩٩).

إنبات البذور داخل الثمار

تعرف ظاهرة إنبات البذور داخل الثمار – فى أى نبات – باسم Vivipary، وهى حالة قليلة الظهور فى الفلفل، ويرتبط ظهورها بنقص البوتاسيوم. وقد أوضحت الدراسات أن محتوى الأوراق من البوتاسيوم ينخفض تدريجيًا مع تقدم النبات فى العمر فى جميع مستويات التسميد البوتاسى، بينما يزداد محتوى الثمار من العنصر خلال المراحل المتأخرة من النضج. ومع تقدم الثمار فى النضج ظهر تباين شديد فى محتوى البذور من حامض الأبسيسيك ارتبط بكل من معدل التسميد البوتاسى ونسبة إنبات البذور داخل الثمرة؛ فكان محتوى بذور النباتات التى تعانى من نقص البوتاسيوم من حامض الأبسيسيك حوالى ١٤٪ مما فى نباتات الكنترول (٠,٤ مقابل ٢,٨ ميكروجرام/جم وزن جاف)، وارتبط التركيز العالى لحامض الأبسيسك فى بذور الفلفل مع انخفاض نسبة البذور النابتة داخل الثمار، وزيادة معدل التسميد البوتاسى، وزيادة محتوى الأوراق والثمار من العنصر (Marrush وآخرون ١٩٩٨).