وللتفاصيل المتعلقة بأمراض الطماطم بعد الحصاد وطريقة مكافحتها .. يراجع Mahovic وآخرون (٢٠٠٧)

٩ – المعاملة بأشعة جاما:

لا تعتبر الطماطم من المنتجات البستانية التى يمكن إطالة فترة تخزينها بتعريضها لأشعة جاما أو أشعة X؛ ذلك لأنها تفقد صلابتها فى غضون بضع ساعات من تعرضها للإشعاع، حتى ولو كانت الثمار خضراء مكتملة التكوين عند معاملتها، ويرجع ذلك إلى الأضرار التى تحدثها معاملة الإشعاع بالأغشية الخلوية، وبعض إنزيمات الجدر الخلوية.

وقد وجد El Assi وآخرون (١٩٩٧) أن ثمار الطماطم الخضراء مكتملة النمو، والوردية الناضجة فقدت صلابتها بوضوح فى خلال ساعات من تعرضها لمعاملة إشعاع تراوحت بين ٠,٧ و ٢,٢ kGy من أشعة جاما أو أشعة إكس، وأن الاختلافات فى درجة الصلابة بين الثمار المعاملة وثمار الكنترول استمرت خلال فترة التخزين – التى أعقبت المعاملة – على حرارة ٢٠°م. وكان تأثير المعاملة واضحًا – خاصة – على نسيج الجدر الثمرية. وفى جميع الحالات .. أدت المعاملة إلى زيادة التسرب الأيونى. وعلى الرغم من فقد الثمار الخضراء مكتملة النمو المعاملة بالأشعة لصلابتها – خلال فترة الإنضاج فى حرارة ٢٠°م التى أعقبت المعاملة – إلا أنها شهدت انخفاضًا دائمًا فى نشاط إنزيم البولى جالاكترونيز الذى لم يتعد ١٠٪ من نشاطه الطبيعى الذى لوحظ فى ثمار الكنترول. وبالمقارنة .. كان تأثر نشاط إنزيم البولى جالاكتورنيز فى الثمار الوردية أقل مما فى الثمار الخضراء مكتملة النمو، ولكنه استمر منخفضا – كذلك – عما فى ثمار الشاهد، كما ازداد نشاط الإنزيمين: بكتين مثيل استريز Pectinmethylestrase، وبيتا جالاكتوسيديز β-galactosidase فى المراحل الأولى بعد المعاملة فى كُلٍّ من مرحلتى نضج الثمار، ولكن لوحظ انخفاضُ فى نشاط الإنزيمين بعد فترة طويلة من التخزين.

معاملات خاصة تعطاها الطماطم قبل التخزين والشحن

تُعطى ثمار الطماطم معاملات خاصة قبل تخزينها أو شحنها، وذلك بهدف إما إطالة

فترة تخزينها، وإما إبطاء تدهورها، وإما الحد من إصابتها بأمراض ما بعد الحصاد، وإما لكل هذه الأهداف مجتمعة. وبينما تطبق بعض هذه المعاملات على النطاق التجارى، فإن غالبيتها ما زالت فى مرحلة النطاق البحثى.

معاملة ندبة العنق بالشيتوسان

أدت معاملة مكان اتصال العنق بالثمرة فى الطماطم بالشيتوسان chitosan (بمقدار ٤٠٠ ميكروليتر من محلول شيتوسان بتركيز ١٠ جم/لتر) إلى تثبيط نمو الفطر *Alternaria alternata* المسبب لمرض العفن الأسود (الذى سبق عدوى الثمار به)، وذلك عند حفظ الثمار على ٢٠°م لمدة ٢٨ يومًا. ولقد كان نشاط الإنزيمات المحللة للأنسجة (وهى polygalacturonase، و pectate lyase، و cellulase) قريبًا من البقع المرضية (التى بدأ ظهورها بعد ٤ أيام فى الكنترول وبعد أكثر من ٧ أيام فى الثمار المعاملة) أعلى فى ثمار الكنترول عما فى الثمار المعاملة بالشيتوسان. كذلك فإن معاملة الشيتوسان ثبطت السموم التى أفرزها الفطر وهى الـ alternariol، و alternariol monomethylether، وحفزت إنتاج الفيتو ألاكسين ريشيتين rishitin فى أنسجة الثمرة، وحافظت على بقاء الـ pH عند ٤,٦ مقارنة بانخفاضه إلى ٤,٠ فى ثمار الكنترول. ولجميع تلك التغيرات علاقة بزيادة مقاومة الثمار للإصابة المرضية (Reddy وآخرون ٢٠٠٠).

تغليف الثمار بغشاء بروتينى

وجد Park وآخرون (١٩٩٤) أن تغليف ثمار الطماطم – وهى فى طور التحول أو طور النضج الوردى – بغشاء رقيق من زيين الذرة corn-zein، ثم حفظها فى حرارة ٢١°م أدى إلى تأخير تلونها، وتقليل فقدها لوزنها وصلابتها، وزيادة فترة صلاحيتها للتخزين بمقدار ٦ أيام. وتجدر الإشارة إلى أن الغشاء الذى استعمل فى هذه الدراسة عبارة عن مادة طبيعية مأكولة تستخرج من حبوب الذرة.

كما أدى تغليف ثمار الطماطم فى غشاء من البولى أوليفين polyolefin بسمك ٠,٠١٥

مللى ميكرون إلى تقليل الفقد فى وزن ثمار الطماطم وفى صلابتها خلال خمسة أسابيع من التخزين على ١٠°م، و ٨٠٪ رطوبة نسبية، وذلك مقارنة بعدم استعمال أى أغشية أو استعمال غشاء من البولى فينيل كلورايد بسمك ٠,٠١٧٧ مللى ميكرون، إلا أن الإصابة بالألترناريا ازدادت فى ثمار جميع المعاملات بعد أربعة أسابيع من التخزين (Freeza وآخرون ١٩٩٨).

التنشميع والمعاملة بالمطهرات الفطرية

تفيد المعاملة بالمطهرات الفطرية مثل: الكابتان، والدياثين، والثيرام، و o-phenylphenate فى تقليل أعفان الثمار. وأفضل وسيلة للمعاملة بتلك المطهرات هى غمر الثمار فى محلول شمعى من المبيد. كذلك تفيد معاملة الثمار بالبينوميل، وبهيبوكلوريت الصوديوم. أما المعاملة بالروفرال Rovral — وهو مبيد فطرى كذلك — فإنها تسرع نضج الثمار. ولا تجرى أى من هذه المعاملات إلا عند الرغبة فى تخزين الطماطم لفترات طويلة.

التعريض للحرارة المرتفعة نسبيا قبل التخزين

يؤدى تعريض ثمار الطماطم لحرارة مرتفعة نسبيًا إلى زيادة قدرتها على الاحتفاظ بجودتها أثناء التخزين البارد، وتقليل حساسيتها للإصابة بأضرار البرودة، وتتشابه الطماطم فى هذا الأمر مع كثير من المحاصيل البستانية الأخرى الحساسة للبرودة. وتجرى هذه المعاملة — فى مختلف الثمار الحساسة للبرودة — إما بإبقاء الثمار فى هواء دافئ تتراوح حرارته بين ٣٨°م و ٤٦°م لمدة طويلة نسبيًا تتراوح بين ١٢ ساعة و ٤ أيام، وإما بغمرها فى الماء الحار الذى تتراوح حرارته بين ٤٥°م و ٦٠°م لفترة قصيرة لا تتجاوز ساعة واحدة. وتعد كلتا المعاملتان مؤثرتين فى خفض حساسية الطماطم لأضرار البرودة لدى تخزينها — بعد المعاملة الحرارية — على ٢°م، سواء أكانت خضراء مكتملة التكوين، أم فى درجات أكثر تقدمًا من التلوين (McDonald وآخرون ١٩٩٨).

ولقد وجد Lurie & Klein (١٩٩١) أن بقاء ثمار الطماطم لمدة ٣ أيام فى حرارة ٣٦

°م إلى ٤٠ °م قبل تعريضها لحرارة ٢ °م – لمدة ٣ أسابيع – منع إصابتها بأضرار البرودة، وقد أكملت هذه الثمار نضجها بصورة طبيعية، ولكن بمعدل أبطأ من ثمار الكنترول. كذلك انخفضت الإصابة بالأعفان فى ثمار الطماطم التى تلقت المعاملة الحرارية القصيرة.

وفى دراسة لاحقة، وجد Lurie وآخرون (١٩٩٣) أن إنتاج الإثيلين توقف كلية – تقريبًا – خلال فترة معاملة الثمار بالحرارة العالية (٣٨ °م) لمدة ٣ أيام، ولكنه عاد سريعًا إلى معدل إنتاجه الطبيعى بعد نقل الثمار إلى حرارة ٢٠ °م. وبعد ٣ أسابيع من تخزين الثمار على حرارة ٢ °م، كان إنتاج الإثيلين – من الثمار التى تلقت المعاملة الحرارية قبل التخزين – طبيعيًا أثناء نضجها على حرارة ٢٠ °م، بينما كان إنتاج الإثيلين من ثمار الكنترول – التى خزنت مباشرة على حرارة ٢ °م بدون أن تتلقى المعاملة الحرارية – منخفضًا. كما لم تتلون ثمار الكنترول باللون الأحمر بينما تلونت الثمار التى تلقت المعاملة الحرارية بصورة طبيعية. كذلك ظهرت بقع بنية غائرة على ثمار الكنترول التى كانت – أيضًا – أكثر قابلية للإصابة بالفطريات من الثمار المعاملة بالحرارة. وقد صاحبت المعاملة الحرارية زيادة كبيرة فى الرنا الناقل للشفرة الوراثية mRNA الخاص بالبروتينين المصاحبين للصدمات الحرارية، وهما: HSP17، و HSP70، وظلت هذه الزيادة مستمرة خلال فترة تخزين الثمار فى حرارة ٢ °م التى دامت لمدة ٣ أسابيع.

وعلى الرغم من أن Whitaker (١٩٩٤) وجد – كذلك – أن تعريض ثمار الطماطم لحرارة ٣٨ °م لمدة ٣ أيام جعلها أكثر قدرة على تحمل التخزين – بعد ذلك – فى حرارة ٥ °م لمدة ٢٠ يومًا، إلا أنه أوضح أن الإنضاج الجزئى للطماطم – قبل التخزين فى الحرارة المنخفضة – يكون – أحيانًا – أفضل من المعاملة الحرارية فى تجنب إصابة الثمار بأضرار البرودة.

وتجدر الإشارة إلى أن إبقاء ثمار الطماطم الخضراء مكتملة التكوين أو الوردية اللون فى حرارة ٣٨ °م لمدة ثلاثة أيام منع – تمامًا – إصابتها بالعفن الذى يسببه الفطر *Botrytis cinerea* (Fallik وآخرون ١٩٩٣).

كذلك أفاد نقع الثمار فى ماء ساخن تبلغ حرارته ٤٠°م – بدون المعاملة بالمبيدات – فى تقليل الإصابة بالأعفان، ولكن إضافة المبيدات الفطرية إلى الماء الذى تنقع فيه الثمار يزيد كفاءة المعاملة فى تقليل الأعفان.

وقد دُرس تأثير المعاملة الحرارية لثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين، والوردية، والحمراء الفاتحة اللون، والحمراء على حرارة ٣٨°م لمدة ثلاثة أيام قبل تخزينها على ٢°م لمدة ستة أسابيع إما فى أكياس ورقية، وإما فى أكياس من البوليثيلين، وذلك على كل من التغيرات اللونية بالثمار، وأضرار البرودة المنظورة، وإنتاج كل من ثانى أكسيد الكربون والإثيلين، والتسرب الأيونى بعد انتهاء فترة التخزين البارد، ووجد ما يلى:

١ – أصيبت الثمار التى لم تعامل بالحرارة بأضرار البرودة بدرجة أكبر من الثمار التى عوملت بالحرارة، وكانت أبطأ فى التلوين.

٢ – أظهرت الثمار التى خزنت فى أكياس البوليثيلين – سواء أكانت قد عُوملت بالحرارة، ام لم تعامل – قدرًا أكبر من أضرار البرودة، والتسرب الأيونى، وإنتاج ثانى أكسيد الكربون، وقدرًا أقل من إنتاج الإثيلين مقارنة بما حدث فى الثمار التى خزنت فى أكياس ورقية.

٣ – تلونت الثمار بسرعة أكبر فى الأكياس الورقية.

٤ – تناقصت الحساسية للإصابة بأضرار البرودة – تدريجيًّا – من الثمار الخضراء المكتملة التكوين إلى الثمار الحمراء (Hakim وآخرون ١٩٩٥).

وأدى حقن ثمار الطماطم بالـ ^{35}S-methionine قبل تدفئتها إلى ٣٨°م لمدة ٤٨ ساعة إلى تراكم بروتينات خاصة مُعَلَّمة لم تكن متواجدة فى الثمار التى حفظت – منذ البداية – على حرارة ٢٠°م. واستمرت تلك البروتينات متواجدة لمدة ٢١ يومًا عندما كان تخزين الثمار على ٢°م، ولكنها اختفت فى خلال أربعة أيام من وضع الثمار على ٢٠°م بعد المعاملة الحرارية. كذلك أصبحت الثمار حساسة لأضرار البرودة عندما وضعت – بعد معاملتها حراريًّا – على ٢٠°م لمدة أربعة أيام قبل نقلها إلى ٢°م، ولكن الثمار لم تظهر

عليها أضرار البرودة عندما كان نقلها إلى ٢°م بعد تعريضها للمعاملة الحرارية مباشرة (Sabehat وآخرون ١٩٩٥).

كما أدت تدفئة ثمار الطماطم إلى ٣٨°م لمدة ٤٨ ساعة إلى منع إصابتها بأضرار البرودة لدى تخزينها على ٢°م لمدة ٢١ يومًا، مقارنة بإصابة شديدة حدثت فى ثمار الكنترول التى لم تعامل. ولقد لوحظ وجود عديد من البروتينات (معظمها ذات وزن جزيئى منخفض وبعضها ذات وزن جزيئى مرتفع) فى الثمار التى عوملت بالحرارة، بينما كانت تلك البروتينات معدومة أو قليلة التواجد فى الثمار التى لم تعامل. هذا .. ولم يستمر تواجد تلك البروتينات فى الثمار، وكذلك لم يستمر تحمل الثمار لأضرار البرودة إذا ما تركت فى حرارة ٢٠°م بعد معاملتها بالحرارة (Sabehat وآخرون ١٩٩٦).

وقد وجد McDonald وآخرون (١٩٩٦) أن غمر ثمار الطماطم الخضراء مكتملة النمو فى الماء فى حرارة ٤٢°م لمدة ٦٠ دقيقة، أو فى الهواء فى حرارة ٣٨°م لمدة ٤٨ ساعة، ثم تخزينها فى حرارة ٢°م، أو ١٣°م، قبل نقلها إلى حرارة ٢٠°م .. هذه الثمار أكملت نضجها بصورة طبيعية، بينما تعفنت ثمار الكنترول التى لم تعط أى من المعاملتين الحراريتين قبل أن تكتسب اللون الأحمر، علمًا بأن المعاملة الحرارية لم يكن لها أى تأثير على اللون النهائى للثمار، أو على محتواها من الليكوبين، أو صفات الجودة الداخلية بها سواء أكان تخزينها — بعد ذلك فى حرارة ٢°م أم ١٣°م.

وأدى تعريض ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين لحرارة ٣٩°م لمدة ٧٢ ساعة قبل تخزينها على ٢°م لمدة تراوحت بين أسبوعين وستة أسابيع قبل نقلها إلى ٢٤°م لمدة أسبوع إلى منع تدهور جودة الثمار أثناء تخزينها البارد، مقارنة بالتخـزين المباشر على ٢°م، إلا أن إطالة فترة التخزين البارد من أسبوعين إلى ستة أسابيع ازداد معه الفقد فى الوزن، والتحلل، كما ازداد الـ pH، بينما انخفض كلا من المحتوى الكلورفيللى والكاروتينى، والصلابة، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة (Hakim وآخرون ١٩٩٦).

وكان للتبريد التدريجى لثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين حتى ٢°م أثره الإيجابى فى تقليل إصابتها بأضرار البرودة، ولكن معاملتها بالحرارة لمدة ٢٤ أو ٤٨ ساعة على ٣٨° قبل تخزينها على ٢°م منع ظهور أضرار البرودة، وقد اختفى ذلك التأثير عندما نقلت الثمار من ٣٨°م إلى ٢٠°م لمدة أربعة أيام قبل تخزينها على ٢°م. كذلك لم تكن المعاملة بحرارة تزيد عن ٣٨°م بنفس كفاءة المعاملة بتلك الدرجة، بينما ظهرت أضرار للحرارة العالية عندما كانت المعاملة الحرارية لمدة ٢٤ ساعة على ٤٢ أو ٤٦°م (Lurie & Sabehat ١٩٩٧).

وأدت معاملة ثمار الطماطم وهى فى مرحلة التحول بالهواء الحار على ٣٨°م لمدة ٤٨ ساعة، أو للغمر فى الماء لمدة ٣٠ دقيقة على حرارة ٤٠°م أو لمدة دقيقتين على ٤٦، أو ٤٨، أو ٥٠°م قبل تخزينها على ٢°م إلى خفض إصابتها بأضرار البرودة وخفض إصابتها بالأعفان لمدة ثلاثة أسابيع، بينما تعرضت الثمار التى لم تعامل بالحرارة لأضرار البرودة على ٢°م. وتواجد بالجدار الثمرى الخارجى للثمار التى عوملت بالحرارة كميات أكبر من الدهون الفوسفاتية وأقل من الاستيرول sterol عما فى الثمار التى لم تعامل بالحرارة. كذلك احتوت الثمار التى عوملت بالحرارة على محتوى أقل من الأحماض الدهنية المشبعة على ٢°م، ولكن ليس على ١٢°م. وأظهر الفحص بالمجهر الإليكترونى المقطعى وجود شقوق دقيقة فى سطح كل الثمار، إلا أن الثمار التى لم تعامل بالحرارة ظهر بها — كذلك — نموات فطرية فى تلك الشقوق، بينما لم تظهر تلك النموات فى شقوق الثمار التى عوملت بالحرارة. ويبدو أن جميع تلك التأثيرات للمعاملة الحرارية تؤدى إلى تقوية الأغشية الخلوية، واستمرارها فى عملها؛ بما يؤدى إلى منع انهيار الخلايا؛ الأمر الذى وجد فى أجزاء الثمار التى ظهرت عليها أضرار البرودة (Lurie وآخرون ١٩٩٧).

كذلك أدى غمر الطماطم الخضراء المكتملة التكوين فى ماء دافئ (٣٨ إلى ٥٤°م) لمدة ٣٠-٩٠ دقيقة قبل تخزينها على ٢°م لمدة ٢-٦ أسابيع إلى انخفاض أضرار البرودة فيها، مع زيادة فى سرعة تحلل الكلورفيل وتمثيل الليكوبين، وانخفاض فى الحموضة المعايرة وفى إنتاج الإثيلين وثانى أكسيد الكربون والتسرب الأيونى عما حدث فى ثمار

معاملة الكنترول التى غُمرت فى ماء بلغت حرارته ٢٠°م. وقد كانت معاملة الغمر فى الماء على حرارة ٤٦°م هى الأفضل من حيث أنها كانت الأقل فى كل من أضرار البرودة وإنتاج ثانى أكسيد الكربون. وقد أدت زيادة فترة الغمر إلى خفض أضرار البرودة وإنتاج الإثيلين، كما ازدادت أضرار البرودة بزيادة فترة التخزين (Hakim وآخرون ١٩٩٧).

ولم يؤد غمر ثمار الطماطم الخضراء فى الماء على حرارة ٥٠°م لمدة ٢,٥ دقيقة إلى ظهور أى أضرار للمعاملة الحرارية، بينما أدى تعريضها لنفس الدرجة لمدة ٥ أو ١٠ دقائق، أو لمدة ٢,٥ دقيقة على ٥٢°م إلى ظهور أضرار طفيفة للحرارة على الثمار. وكل هذه المعاملات منعت ظهور أضرار البرودة (المتمثلة فى منع النضج، وتشقق مكان العنق، وانهيار الأنسجة، وزيادة التحلل) عند التخزين بعد ذلك على ٢°م لمدة أسبوعين، ثم على ٢٠°م – لأجل الإنضاج – حتى ١٠ أيام. أدى التعرض لحرارة ٥٠°م لأى مدة إلى إسراع النضج عند التخزين بعد ذلك على ١٢°م، ولكن تأخَّر التلوين – وإن كان قد حدث طبيعيًا – عندما كان التخزين على ٢°م. وقد ضخمت المعاملة الحرارية من الفروق فى درجة اكتمال التكوين بين الثمار فى اللوط الواحد، حيث بدا أن الثمار الأقل اكتمالاً فى النضج كانت أكثر حساسية للحرارة بتثبيط النضج فيها عما فى الثمار التى كانت أكثر اكتمالاً فى النضج (Brecht وآخرون ١٩٩٩).

كذلك أدى غمر ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين فى ماء ساخن على حرارة ٥٠ ± ٢°م يحتوى ٥ جم/لتر من كلوريد الكالسيوم لمدة خمس دقائق، ثم وضعها على ٣ ± ١°م لمدة وصلت إلى أسبوعين قبل نقلها إلى ١٤±٢°م .. أدت تلك المعاملة إلى خفض حساسية الثمار لأضرار البرودة بصورة أفضل من المعاملة المنفردة بأى من الحرارة أو كلوريد الكالسيوم، كما أدت إلى زيادة احتفاظ الثمار بجودتها لمدة وصلت إلى أسبوعين (Lacheene ١٩٩٩).

وأمكن تخزين الطماطم – وهى فى مرحلة النضج الوردى – لأكثر من ثلاثة أسابيع على ٥°م دون أن تتعرض للإصابة بأضرار البرودة، وذلك بسبق معاملتها بالماء الساخن مع التفريش لمدة ١٥ ثانية على ٥٢°م، علمًا بأن هذه المعاملة وفرت حماية للثمار من

الإصابة بفطر البوتريتس فى حالة ما إذا كان متواجدًا بالفعل على سطح الثمار أو حقنت به بعد ٢٤ ساعة من المعاملة (Fallik وآخرون ٢٠٠٢).

وقد نتج عن تدفئة ثمار الطماطم فى الهواء إلى ٣٤°م لمدة ٢٤ ساعة قبل تخزينها على ١٠°م لمدة ٣٠ يومًا أقل فقد فى محتواها من مضادات الأكسدة وأقل تغير فى تطور التلوين المناسب. ولم يكن لخفض تركيز الأكسجين إلى ٥٪ أثناء المعاملة الحرارية فائدة فى زيادة كفاءة المعاملة فى تقليل أضرار البرودة (على ٤°م)، أو حماية الثمار من الآثار السلبية للمعاملة الحرارية (Soto-Zamora وآخرون ٢٠٠٥).

التعريض للدفء بصورة متقطعة أثناء التخزين

وجد Artés & Escriche (١٩٩٤) أن غمر ثمار الطماطم الخضراء مكتملة النمو أو التى وصلت إلى طور بداية التلوين فى محلول من الإبروديون iprodione بتركيز ٠,٥ جم/لتر، ثم تخزينها على ٩°م لمدة ٤ أسابيع مع نقلها إلى حرارة ٢٠°م لمدة يوم واحد أسبوعيًّا خلال تلك الفترة – وهو ما يعرف باسم التدفئة المتقطعة Intermittent Warming – منع حدوث أى تحلل بالثمار أو ظهور أى أعراض للبرودة عليها، وأدى إلى تحسين لون الثمار الخارجى، مقارنة بالتخزين المستمر فى حرارة ٩°م. وعلى الرغم من أن تلك المعاملة صاحبتها زيادة فى سرعة فقد الثمار لصلابتها، إلا أنها أخرت انكماشها، وأعطت أقل فاقد فى الثمار سواء أكان ذلك عند نهاية فترة التخزين، أم خلال فترة الإنضاج فى حرارة ٢٠°م لمدة ٤ أيام بعد انتهاء التخزين، وذلك مقارنة بالتخزين فى حرارة ٦°م أو ١٢°م سواء أكان مصاحبًا بتدفئة متقطعة لمدة يوم واحد أسبوعيًّا، أم لم يكن مصاحبًا بها.

كذلك أدت تدفئة ثمار الطماطم المخزنة على ٢°م لمدة ٣٦ ساعة على ٢٤°م فى نهاية كل أسبوع من التخزين البارد (الذى استمر حتى أربعة أسابيع قبل انضاج الثمار على ٢٤°م لمدة ستة أيام) .. أدت معاملة التدفئة تلك إلى انخفاض تعرض الثمار للإصابة بأضرار البرودة، مع سرعة اكتسابها للون الأحمر، ونقص حموضها المعايرة، وكذلك

نقص التسرب الأيونى منها، مع منع تكوين البذور فيها لمدة اسبوعين، ومنع النقر السطحية لمدة ثلاثة أسابيع، ولكن ازداد فيها النقص فى الوزن بين الأسبوعين الثانى والرابع (Hakim وآخرون ١٩٩٧).

المعاملة بالإثيلين

أدت معاملة ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين بالإثيلين قبل التخزين إلى منع إصابتها بأضرار البرودة لمدة خمسة أيام على ٢,٥°م، كما أدت إلى زيادة فترة صلاحيتها للتسويق سواء أكان تخزينها فى حرارة ٢,٥°م أم أعلى من ذلك. هذا إلا أن الطماطم أصبحت أقل استجابة لمعاملة الإثيلين بزيادة فترة تخزينها سواء أكان ذلك على ٢,٥ أم على ١٢,٥°م. وعليه فإنه يوصى بمعاملة الثمار الخضراء المكتملة التكوين بالإثيلين قبل تخزينها أو شحنها؛ لأن ذلك يفيد فى زيادة سرعة تلونها مع تجانس التلوين، وانخفاض احتمالات إصابتها بأضرار البرودة (Chomchalow وآخرون ٢٠٠٢).

المعاملة بالـ 1-MCP

أدت معاملة ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين بالمركب المانع القوى لفعل الإثيلين 1-methylcyclopropene (اختصارًا: 1-MCP) إلى تأخير تلوين الثمار، وطراوتها، وإنتاجها للإثيلين، كما حدث الأمر ذاته عندما عوملت الثمار وهى فى طور التحول أو اللون البرتقالى. كذلك قللت المعاملة من الـ mRNA الخاص بثلاث إنزيمات ذات علاقة بالنضج — عندما كانت المعاملة فى أى مرحلة من النضج — وهى:

phytoene synthase 1

expansin 1

1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) oxidase 1

ويستفاد مما تقدم أن عملية نضج ثمار الطماطم يمكن تثبيطها على المستويين الفسيولوجى والجزيئى حتى ولو كانت الثمار فى مرحلة متقدمة من النضج (Hoeberichts وآخرون ٢٠٠٢).

وقد تأخر نضج ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين بشدة على ٢٠°م فى هواء يحتوى على ٠,١ حجم فى المليون من الإثيلين عندما عوملت بالـ 1-MCP بتركيز تراوح بين ٠,١، و ١٠٠ حجم فى المليون، مع تناسب التأخير طرديًا – بصورة مباشرة – مع تركيز الـ 1-MCP وفترة التعرض. وأدى تعريض الثمار لتركيز ٥ حجم فى المليون من الـ 1-MCP لمدة ساعة إلى زيادة الوقت اللازم لاكتمال نضج الثمار بنحو ٧٠٪. وقد أظهرت الثمار المعاملة فقدًا أقل فى الحموضة المعايرة عند النضج؛ الأمر الذى انعكس فى صورة انخفاض فى نسبة المواد الصلبة الذائبة إلى الأحماض؛ مقارنة بما كانت عليه النسبة فى الثمار غير المعاملة. أما معاملة الثمار الناضجة بالـ 1-MCP لمدة ساعتين بتركيز ٥–١٠٠ حجم فى المليون فقد أدى إلى زيادة فترة احتفاظ الثمار بصلاحيتها قياسًا على مظهرها، وبلغت تلك الزيادة ٢٥٪ من فترة الصلاحية العادية عندما كانت المعاملة بتركيز ٢٠ حجم فى المليون. وقد أدت المعاملة بالمركب إلى خفض معدل التنفس خلال الـ٦–٨ أيام الأولى – فقط – بعد المعاملة، ولكنها منعت الفقد فى الحموضة المعايرة خلال كل فترة التخزين. ويعنى ذلك أن المعاملة بالـ 1-MCP تجعل الثمار المخزنة أفضل طعمًا من تلك التى لا تُعامل (Wills & Ku ٢٠٠٢).

وبينما أدت معاملة عناقيد الطماطم الشيرى بأى من حامض الجاسمونيك بتركيز مللى مول واحد، أو الإثيلين بتركيز ٥٠ حجم فى المليون إلى انفصال الثمار عن العناقيد أثناء التخزين، فإن معاملة العناقيد بالـ 1-MCP بتركيز ١٠٠ نانو ليتر/لتر لمدة ٢٤ ساعة أدت إلى وقف انفصال الثمار، إلا أن تأثير تلك المعاملة كان جزئيًا فقط إذا ما أجريت بعد ثلاث ساعات من معاملة العناقيد بحامض الجاسمونيك أو بالإثيلين. كذلك أدت معاملة حامض الجاسمونيك والإثيلين إلى زيادة التعبير عن إنزيمات الـ endo-1, 4-β-glucanases، بينما أوقفت معاملة الـ 1-MCP التعبير عنها؛ بما يفيد علاقة تلك الإنزيمات بعملية انفصال الثمار (Ben-Moualem وآخرون ٢٠٠٤).

كما أدت معاملة ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين بالـ 1-MCP مرة واحدة إلى تأخير التلوين بمقدار ٦ أيام، وأدت معاملة ثانية بالمركب بعد ١٠ أيام من الأولى إلى

تأخير التلوين لمدة ٨–١٠ أيام أخرى. أما المعاملة المستمرة بالمركب فقد منعت التلوين كلية فى كل من الثمار التى كانت فى مرحلة التحول والثمار التى كانت نصف ناضجة طوال مدة المعاملة (٣٤ يومًا)، ولكن ذلك لم يكن مصاحبًا سوى بنقص جزئى فى الفقد فى الصلابة. وعندما كانت معاملة الثمار بالـ 1-MCP فى مرحلة ٥٠٪ تلوين تأخر تلون الجل عن التلون الخارجى مقارنة بما حدث من تغيرات لونية فى ثمار الكنترول. هذا .. بينما كان تأثير المعاملة على مكونات النكهة طفيفًا، ولم تؤثر المعاملة على محتوى الثمار من السكر او الحموضة المعايرة (Mir وآخرون ٢٠٠٤).

وأدى غمر ثمار الطماطم وهى فى طور التحول لمدة دقيقة فى محلول 1-MCP بتركيزات تراوحت بين ٥٠، و ٦٠٠ جزء فى المليون ثم تخزينها على ٢٠°م إلى تثبيط أو تأخير إنتاجها للإثيلين، وتنفسها، وتلونها سطحيًا، وتراكم الليكوبين ونشاط الـ polygalacturonase فيها، وكانت تلك التأثيرات مرتبطة بالتركيز المستخدم، حيث بلغ التثبيط أقصى مداه عندما كان تركيز 1-MCP ٤٠٠ أو ٦٠٠ جزءًا فى المليون (Choi & Huber ٢٠٠٨). وقد حدثت تأثيرات مماثلة عندما كان التركيز ٦٢٥ جزءًا فى المليون (Choi وآخرون ٢٠٠٨).

كما أدت معاملة ثمار الطماطم فى مرحلة اللون الوردى بالـ 1-MCP بتركيز ٢٥٠ نانو ليتر/لتر لمدة ٨ ساعات على ١٥°م قبل تخزينها على ١٥°م لمدة خمسة أيام ثم إنضاجها على ٢٢°م لمدة ٥–٨ أيام .. أدت تلك المعاملة إلى حدوث اختلافات فى خصائص قوام الثمار وصفاتها المرئية، ولكن ليس فى خصائص الطعم، وذلك مقارنة بثمار الكنترول. وكانت أبرز الصفات التى اختلفت فيها الثمار المعاملة أنها كانت أقل احمرارًا، وأن المادة الجيلاتينية فيها كانت كذلك أقل احمرارًا، وأن بذورها كانت أصغر حجما، وكان طعمها دقيقيًا بصورة أكبر (Cliff وآخرون ٢٠٠٩).

وعندما أُعطيت ثمار الطماطم — وهى فى مرحلة التحول اللونى breaker-turning stage — معاملات متعاقبة بالماء المكلور (١.٣٤ مول هيبوكلوريت الصوديوم /م^{٣})، و 1-MCP (٣.٧٠ ملى مول / م^{٣} أو ٢٠٠ ميكروجرام / لتر)، ثم خزنت على ٢٠°م، أدت

معاملة واحدة بالـ 1-MCP – سواء أكانت منفردة، أم قبل المعاملة بالكلورين – إلى إبطاء التلون السطحى للثمار ونضجها (Choi وآخرون ٢٠٠٩).

التعريض لتركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون

يؤدى تعرض ثمار الطماطم لتركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون إلى تثبيط إنتاجها للإثيلين، من خلال تأثير ثانى أكسيد الكربون على موقع يسبق تحول الـ ACC إلى إثيلين (de Wild وآخرون ٢٠٠٥).

الغمر فى محاليل أملاح الكالسيوم

أوضحت الدراسات أن غمر ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين لمدة دقيقة واحدة إلى أربع دقائق فى محلول ٢٪ كلوريد كالسيوم قبل تخزينها أحدث زيادة جوهرية فى محتوى قشرة الثمرة من الكالسيوم وقلل أعفان بعد الحصاد لمدة ٢٤ يومًا على ٢٠°م. كما تبين أن عفن ريزوبس Rhizopus rot تأثر بتركيز ٣٪ كلوريد الكالسيوم، بينما تأثر فطر الألترناريا بتركيز ٢٪، و ٣٪ (Ritenour & Narciso ٢٠٠٦).

التعريض لأبخرة حامض الخليك

وجد Sholberg & Gaunce (١٩٩٥) أن بخار حامض الخليك بتركيز ٢,٧ – ٥,٤ مليجرامًا/لتر من الهواء أدى إلى منع إنبات جراثيم الفطرين *Botrytis cinerea*، و *Penicillium expansum* بصورة تامة. كذلك لم تتعفن ثمار الطماطم التى حقنت بالفطر *B. cinerea* عندما تعرضت بعد ذلك لأبخرة حامض الخليك بتركيز ملليجرامين فى كل لتر من الهواء فى حرارة ٥°م. وأدت زيادة الرطوبة النسبية من ١٧٪ إلى ٩٨٪ إلى زيادة كفاءة عملية التبخير بحامض الخليك فى حرارة ٥°م، و ٢٠°م.

التعريض لأبخرة الكحول الإيثيلى

وجد Saltveit & Sharaf (١٩٩٢) أن معاملة ثمار الطماطم الخضراء مكتملة التكوين بأبخرة الإيثانول (الكحول الإيثيلى) ثبّط نضجها، وأن معاملة الثمار التى فى مرحلة

بداية التلوين أو التى فى طور النضج الوردى ثبط احمرارها. وقد أدت المعاملة بالإيثانول بمعدل ٢ مل/كجم من الثمار على ٢٠°م إلى زيادة التأخير فى النضج خلال فترة التخزين التالية للمعاملة فى حرارة ٢٠°م، و ١٥°م، و ١٢°م بمقدار ٥، و ٦، و ٧ أيام على التوالى، مقارنة بثمار الشاهد، دون أن يحدث أى نقص فى صفات الجودة. كما أحدثت زيادة فترة التعريض لأبخرة الإيثانول من ساعتين إلى ست ساعات تأثيرات واضحة على إنتاج الإثيلين وثانى أكسيد الكربون، ولكن هذه الزيادة لم تؤثر جوهريًا على فترة تثبيط النضج فى الثمار الخضراء مكتملة النمو، أو على معدل فقد الثمار لصلابتها أثناء نضجها. وأدت زيادة الحرارة أثناء فترة التعريض للإيثانول إلى زيادة فاعلية المعاملة، مع حدوث نفس المستوى من تثبيط النضج بالتعريض للإيثانول لمدة ٦ ساعات فى ٢٠°م، مثل التعريض لمدة ٤ ساعات فى ٢٥°م، أو لمدة ساعتين فى ٣٠°م.

كما وجد أن تعريض ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين وفى طور التحول إلى أبخرة الإيثانول بمعدل ٥ مل/كجم من الثمار لمدة خمس ساعات على ١٨°م أدى إلى تثبيط تلون الثمار، حيث أكملت نضجها بعد ٣٢ يوما للثمار الخضراء المكتملة التكوين، و ٢٢ يوما للثمار التى عوملت فى طور التحول، مقارنة باكتمال التلوين بعد ٢٠، و ١٦ يوما فى ثمار الكنترول التى كانت من مرحلتى النضج، على التوالى (Hong وآخرون ١٩٩٥، و Hong & Lee ١٩٩٦).

كذلك أدى تعريض ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين بصورة منتظمة لبخار الإيثانول بتركيز ٠,٠٢٪ أو ٠,٠٣٪ لمدة أسبوعين إلى تأخير نضج الثمار من خلال تثبيط تمثيل الإثيلين وفعله، ولكن هذا التأثير كان مؤقتًا حيث توقف بزوال المؤثر (أبخرة الإيثانول) واستعادت الثمار نضجها الطبيعى (Atta-Aly ,وآخرون ١٩٩٩).

التعريض لأبخرة الهكسانال

أدت معاملة ثمار الطماطم المكتملة التكوين الخضراء بعد الحصاد بتيار مستمر من بخار الهيكسانال hexanal أثناء تخزينها لمدة ٧ أيام على حرارة ٢٠±١°م ورطوبة نسبية حوالى ٩٩٪ إلى تثبيط إصابتها بالعفن الرمادى الذى يسببه الفطر *Botrytis cinerea*،

وذلك عند حد أدنى من تركيز الهكسانال قدره ٤٠-٧٠ ميكروليتر/لتر. وقد صاحبت المعاملة زيادة فى معدل تنفس الثمار مقدارها حوالى ٥٠٪، ولكن مع بطء فى احمرارها. هذا بينما لم تُحدث المعاملة أى تغير باتجاه معين فى إنتاج الثمار للإثيلين، كما لم تؤثر فى صلابتها. وقد بدا أن معاملة إطلاق الهكسانال بهذا التركيز المنخفض فى عبوات الثمار يمكن أن يُطيل من أمد تخزينها (Utto وآخرون ٢٠٠٨).

التعريض لأبخرة الأسيتالدهيد

أدت معاملة ثمار الطماطم بعد الحصاد بأبخرة الأسيتالدهيد إلى تحسين صفات الجودة المحسوسة متضمنة محتوى السكر، ونسبة السكر إلى الحامض، والتغيرات فى الطعم؛ وبالمقارنة أدت المعاملة بأبخرة الإيثانول إلى نتائج مماثلة ولكن محدودة. أما المعاملة بالإثيلين فقد كانت أكثر كفاءة فى تحسين لون الثمار مع زيادة محتواها الكلى من المواد الكاروتينية، ولكن الإثيلين كان معدوم أو قليل التأثير على صفات الجودة المحسوسة، وأدى – أحيانًا – إلى تدهورها. ويستنتج من ذلك أن الأسيتالدهيد والمركبات المتطايرة الأخرى القريبة منه ربما تكون هامة فى تطوير صفات الجودة الحسية، سواء أحدث ذلك طبيعيًا أثناء نضج الثمار أم كمعاملة بعد الحصاد (Paz وآخرون ٢٠٠٦).

المعاملة بالمثيل جاسمونيت

أدت معاملة ثمار الطماطم ذات التركيب الوراثى nor بالـ methyl jasmonate إلى زيادة نشاط الإنزيمات ذات العلاقة بتمثيل الإثيلين وزيادة إنتاج الإثيلين. وحدث الأمر ذاته لدى معاملة الثمار ذات التركيب الوراثى rin إلاّ أن الزيادة فى نشاط الإنزيمات ذات العلاقة بتمثيل الإثين، وإنتاج الإثيلين كانت – على التوالى – حوالى نصف، وثلث الزيادة التى حدثت فى الثمار الـ nor جراء المعاملة. هذا مع العلم بأن النشاط الإنزيمى وإنتاج الإثيلين بالثمار غير المعاملة من كلا التركيبين الوراثيين (الطفرتين) كان منخفضًا (Czapski & Saniewski ١٩٩٢).

هذا .. ويلعب المثيل جاسمونيت methyl jasmonate – الذى يُشتق من الهرمون

النباتى حامض الجاسمونك jasmonic acid – دورًا حاسمًا فى حث المقاومة ضد الفطريات. ولقد وجد أن معاملة ثمار الطماطم – بعد الحصاد – بالمثيل جاسمونيت خفضت من أعراض الإصابة بالفطر *Botrytis cinerea* مسبب مرض العفن الرمادى عندما أجريت المعاملة بعد يوم واحد من حقن الثمار بالفطر، وتناقص تأثير المعاملة كثيرًا بتأخير إجرائها بعد الحقن حتى اختفى تأثيرها تمامًا عندما كان إجراؤها بعد ٩ أيام من الحقن. كذلك حدث تنشيط فى تمثيل الإثيلين استجابة للمعاملة بالمثيل جاسمونيت فى الثمار الخضراء بعد يوم واحد من المعاملة (Yu وآخرون ٢٠٠٩).

المعاملة بمتعددات الأمين

أدت معاملة ثمار الطماطم بمتعدد الأمين: spermine بتركيز ملى مول واحد إلى تحسين الوقت اللازم لاكتمال النضج (١٩ يومًا) والصلاحية للتخزين (٤٣ يومًا)، مقارنة بفترات أقل (١١، و ٢٦ يومًا لاكتمال النضج والصلاحية للتخزين، على التوالى) فى ثمار الكنترول. وبالمقارنة .. أدت المعاملة بالـ spermidine بتركيز ملى مول واحد إلى اكتمال النضج فى ١٦ يومًا، والصلاحية للتخزين لمدة ٣٨ يومًا، بينما كانت المعاملة بالـ putrescine أضعفها تأثيرًا. وقد حافظت المعاملة التى أعطت أطول فترة صلاحية للتحزين على أعلى نسبة سكر ومواد صلبة ذائبة وحموضة بالثمار طوال فترة التخزين (Bhagwan وآخرون ٢٠٠٠).

المعاملة بمضادات الأكسدة

أدى نقع عناقيد ثمار الطماطم الكريزية فى محلول من مضاد الأكسدة butylated hydroxyanisole بتركيز ٣٪ إلى خفض انفصال الثمار من أعناقها، وكانت صفات جودة الثمار مقبولة بعد ٢١ يومًا من التخزين أو الشحن على ١٢ أو ١٧°م (Fuchs وآخرون ١٩٩٥).

التعريض للأشعة الحمراء

أدى تعريض ثمار الطماطم – وهى فى مرحلة التحول – للضوء الأحمر لمدة ثلاث

دقائق إلى إسراع تلونها بالأحمر. بينما تأخر تلونها بتعريضها لثلاث دقائق للأشعة تحت الحمراء، وذلك أثناء الأيام الأربعة الأولى من النضج. ولقد كانت هذه التأثيرات قابلة للإنعكاس عندما أعطيت معاملتا الأشعة الحمراء وتحت الحمراء بالتتابع مع فاصل بين كل معاملة والأخرى لمدة يوم أو يومين. كذلك كانت صلابة الثمار التى عوملت بالأشعة الحمراء أقل من صلابة الثمار التى عوملت بالأشعة تحت الحمراء، أو بـ ١٠٠ جزء فى المليون من الإثيلين لمدة يوم، أو تلك التى خزنت فى الظلام. وقد كان تأثير معاملة الأشعة الحمراء على النضج أقوى ما يمكن عندما أجريت المعاملة فى طور بداية التلوين breaker أو فى طور التحول turning عما كان عليه الحال عندما أجريت والثمار فى طور النضج الوردى أو الأحمر (Lee وآخرون ١٩٩٧).

التعريض للأشعة فوق البنفسجية

أدى تعريض ثمار الطماطم للأشعة فوق البنفسجية (بمعدل ٣,٢-١٩,٢) كيلوجول/م^{٢}) بعد حصادها إلى خفض العد الميكروبى فى الثمار المجهزة للمستهلك fresh-cut، وزيادة محتواها الفينولى، وكذلك خفض تحلل فيتامين جـ بها بعد ٧ أيام من التخزين على ٤-٦°م، بينما لم يكن لتلك المعاملة أى تأثير على مظهر الثمار أو لونها أو محتوى الثمار المجهزة للمستهلك من الليكوبين (Kim وآخرون ١٩٩٦).

وأفادت المعاملة المزدوجة بكل من الأشعة فوق البنفسجية UV-C (بطول موجة ٢٥٤ نانوميتر)، وفطر المكافحة الحيوية *Debaryomyces hansenii* فى مكافحة الفطر *Rhizopus stolonifer* مسبب عفن ريزوبس الطرى فى كل من الطماطم والبطاطا (Stevens وآخرون ١٩٩٧).

كذلك أدت معاملة ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين بالأشعة فوق البنفسجية UV-C (طول موجى ٢٠٠-٢٨٠ نانوميتر) بجرعة قدرها ٣,٧ كيلوجول/م^{٢} (kJ/m^{2}) إلى تأخير النضج والشيخوخة، بينما أحدثت الجرعات الأعلى عن ذلك إتلافاً فى النضج وتلونًا بنيًا غير طبيعى ظهر على صورة انسفاع على سطح

الثمرة. وأدت جرعة ٣,٧ كيلوجول/م^{٢} إلى تأخير تلون الثمار وتأخير ليونة أنسجتها جوهريًّا، مع تأخير فى الوصول إلى مرحلة الكلايمكتيريك لمدة لا تقل عن سبعة أيام، وكذلك نقص فى معدلى التنفس وإنتاج الإثيلين. ويعتقد أن تأخير المعاملة لحالة الشيخوخة كان مردها إلى ما أحدثته من زيادة فى محتوى البتروسين putrescine، وهو مركب مضاد للشيخوخة يحدث تأثيرًا فسيولوجيًّا مضادًّا لتأثير الإثيلين (Maharaj وآخرون ١٩٩٩).

وأدى تعريض ثمار الطماطم – بعد الحصاد – لأشعة UV-C بمعدل ٣,٧ كيلوجول/م^{٢} (kJ/m^2) إلى زيادة قابليتها للإصابة بالفطر *Botrytis cinerea* بعد المعاملة مباشرة، ولكنها أصبحت مقاومة تدريجيًّا – بعد ذلك – ولحين انتهاء فترة التخزين التى دامت ٣٥ يومًا. وقد حثت المعاملة على تمثيل الفيتوألاكسين ريشتين rishitin وتراكمه، وكان هذا التراكم تدريجيًّا ووصل إلى أعلى مستوى له (٤٦,٢٣ مجم/كجم) قبل اليوم الخامس عشر من المعاملة، وأعقب ذلك انخفاض مستواه تدريجيًّا إلى أن وصل إلى ٣,٥ مجم/كجم فى نهاية فترة التخزين. وعلى الرغم من أن حقن الثمار غير المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية حثَّ تمثيل وتراكم الريشتين – كذلك – إلا أن تراكم الفيتوألاكسين كان أعلى بكثير فى الثمار التى عوملت بالأشعة فوق البنفسجية. وسواء أعوملت الثمار بالأشعة فوق البنفسجية، أم لم تعامل .. فإن قدرتها على إنتاج الريشتين وتراكمه انخفضت مع زيادة النضج. ولقد كان هناك ارتباط جوهرى بين تراكم الريشتين فى الثمار المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية – قبل وبعد الحقن بالفطر – والمقاومة للمرض. ويبدو أن الزيادة القصيرة المؤقتة فى القابلية للإصابة بالفطر التى حدثت بعد المعاملة بالأشعة مباشرة كان مردها إلى حدوث زيادة شديدة فى الشدّ التأكسدى الذى استُحِث بواسطة كل من الأشعة فوق البنفسجية والحقن بالفطر. ولتركيز الريشتين عند الحقن بالفطر أهميته فى ظهور المقاومة، بينما يبدو أن تراكمه بعد الحقن بالفطر يلعب دورًا فى تأكيد دعم تلك المقاومة. ولكن لا يبدو أن الريشتين – وحده – هو المسئول عن استمرار المقاومة للفطر إلى نهاية فترة التخزين (Charles وآخرون ٢٠٠٨أ).

ولقد أحدثت هذه المعاملة بالـ UV-C (٣.٧ كيلوجول/م٢) تحورات تركيبية مجهرية فى نسيج البيريكارب pericarp (الجدار الثمرى الخارجى)، حيث حدثت بلزمة فى خلايا الـ epicarp (بشرة الغلاف الخارجى) وفى بعض خلايا الـ mesocarp (الجدار الثمرى الوسطى). وأدى انهيار تلك الخلايا – الذى كان مشابهًا لما يحدث فى تفاعل فرط الحساسية إلى تكوين منطقة مكدسة بالجدر الخلوية كانت أقل قابلية للتحلل بواسطة الإنزيمات المحللة للجدر الخلوية التى يفرزها الفطر (Charles وآخرون ٢٠٠٨ ب).

وبدا وأضحًا أن المعاملة حفزت تمثيل المركبات الفينولية فى خلايا الـ epicarp، والـ mesocarp، كما حدث تعزيز بيوكيميائى للجدر الخلوية باللجننة والسوبرة فى المنطقة التى حدث فيها تكدس للجدر الخلوية بفعل معاملة الأشعة، وذلك قبل الحقن بالفطر. وعلى الرغم من أن تلك التغيرات حدثت كذلك فى الثمار التى حقنت بالفطر دون أن تعامل بالأشعة، إلا أنها كانت بطيئة ومتأخرة بدرجة جعلتها غير مؤثرة فى مقاومة الفطر (Charles وآخرون ٢٠٠٨ جـ).

كذلك أحدثت معاملة ثمار الطماطم بالأشعة فوق البنفسجية (UV-C) بعد الحصاد زيادة فى محتواها الكلى من البروتين استمر لمدة ١٠ أيام بعد المعاملة، ثم انخفض تدريجيًا بعد ذلك خلال ٣٠ يومًا من التخزين، هذا بينما انخفض المحتوى البروتينى للثمار التى لم تُعط معاملة الـ UV-C بصورة ثابتة خلال كل فترة التخزين.

ولقد كان تأثير معاملة الـ UV-C على البروتينات على النحو التالى:

١- كبح التعبير الجينى عن بعض البروتينات، ويعتقد بأنها تلك المتعلقة بالنضج.

٢- حفز التعبير الجينى لعدة إنزيمات كان منها: an acidic β-1,3-glucanase، وثلاثة acidic chitinases، وثلاثة basic chitinases.

٣- حث تمثيل ما لا يقل عن خمسة بروتينات كانت أربعة منها بروتينات قاعدية. ومن البروتينات المستحثة بالمعاملة كانت ثلاثة (a basic β -1,3-glucanase and two acidic chitinases) لها علاقة – على ما يبدو – بالبروتينات ذات الصلة بالتطفل

المرضى pathogensis-related (اختصارًا PRPs). حيث استُحِثَّ إنتاجها – كذلك – بالمعاملة بالفطر *Botrytis cinerea*.

ويبدو أن لتلك الـ PRPs دور أساسى فى المقاومة التى تُستَحث فى ثمار الطماطم التى تعامل بالـ UV-C (Charles وآخرون ٢٠٠٩).

المعاملة بالأوزون

أدت معاملة ثمار الطماطم بالأوزون بتركيزات تراوحت بين ٠.٠٠٥ (الكنترول)، و ٥.٠ ميكرومول لكل مول لفترات وصلت إلى ١٣ يومًا على ١٣°م قبل أو بعد إصابتها بالفطرين *Alternaria alternata* (مسبب مرض البقعة السوداء)، و *Colletotrichum coccodes* (مسبب مرض الأنثراكنوز) إلى تقليل تطور المرضين وتجرثم الفطرين، مع زيادة تأثير المعاملة بزيادة تركيز الأوزون، وبزيادة فترة التعرض للغاز. وقد حققت المعاملة بتركيز يقل عن ٠.٢ ميكرومول/مول (وهى الحدود المسموح بها للمعاملة فى أوروبا) نتائج جيدة جدًا. ولما لم يظهر تأثير للمعاملة بالغاز على النمو الفطرى فى البيئات الصناعية، فقد استنتج أن الأوزون يستحث فى الأنسجة النباتية التى تتعرض له تغيرات تلعب دورًا فى التفاعلات بين الأنسجة الثمرية والمسببات المرضية (Tzortzakis وآخرون ٢٠٠٨).

التعريض لحقل كهرومغناطيسى

أدى تعريض ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين لحقل كهرومغناطيسى سالب مقداره –٢ كيلوفولت/سم لمدة ساعتين على ٢٠°م إلى المحافظة على جودة الثمار وصلاحيتها للتخزين لمدة ٣٠ يومًا على ١٣ + ١°م مع ٨٥٪–٩٠٪ رطوبة نسبية، فقد أدت هذه المعاملة إلى تأخير التدهور فى صلابة الثمار، والتغيرات اللونية. وكذلك تأخير التغيرات فى السكر الذائب الكلى والحموضة المعايرة أثناء التخزين، إلى جانب تأخرها فى الكلايمكتيرك التنفسى وإنتاج الإثيلين لمدة ستة وثلاثة أيام على التوالى، وكذلك ثُبِّطت فيها الزيادة فى كل من محتوى الـ malondialdehyde والتوصيل الكهربائى (Wang وآخرون ٢٠٠٨).