sclerotiorum. مما يدل على أن للأوزون تأثير فطرى مثبط fungistatic (Liew & Prange ١٩٩٤).

كما أدى تعريض ثمار الطماطم – بعد الحصاد – للأوزون بتركيزات تراوحت بين ٠.٠٠٥ و ٥.٠ ميكرومول/مول إلى الحد من إصابتها بكل من الفطرين *Alternaria alternata* مسبب مرض البقع السوداء، و *Colletotrichum coccodes* مسبب مرض الأنثراكنوز. كما ازداد تأثير المعاملة بزيادة تركيز الأوزون المستعمل. إلاّ أن تركيز ٠,٢ ميكرومول/مول – وهو الحد الأقصى الحرج المسموح به فى دول السوق الأوروبية لكى لا تتأثر صحة الإنسان – كان مؤثرًا للغاية فى الحماية من إصابة الثمار بأى من الفطرين. هذا .. ولم تكن المعاملة بالأوزون مؤثرة على الفطر فى البيئات الصناعية؛ بما يدل على أن تأثير الأوزون فى النبات يرجع – ولو جزئيًا – إلى تغيرات يحدثها فى التفاعلات بين الثمار والمسببات المرضية (Tzortzakis وآخرون ٢٠٠٨).

المعاملة بمركبات الأيض الثانوية كمثيرات للمقاومة

يُعرف حاليًا حوالى ١٠٠٠٠ من مركبات الأيض النباتى الثانوية – التى أمكن التعرف على تركيبها الكيميائى – والتى ثبت أن لها خاصية التضادية الحيوية للمسببات المرضية، ولكن العدد الحقيقى قد يصل إلى ٤٠٠٠٠٠ مركب يمكن أن يلعب معظمها دورًا أساسيًا فى التفاعلات بين العوائل النباتية والمسببات المرضية. ونظرًا لأصلها النباتى فإن تلك المركبات تتحلل بيولوجيًا ولا يتبقى أثر منها فى البيئة (Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

ونلقى الضوء تحت عناوين أخرى من هذا الفصل على المعاملات التى تتضمن بعض مركبات الأيض الثانوية، مثل:

المثيل ساليسيلات

أدى تبخير ثمار الفراولة بالـ methyl salicylate إلى خفض إصابتها بالعفن الرمادى

بنسبة الثلث مقارنة بالإصابة فى ثمار الكنترول. وقد تحول الـ methyl salicylate فى الثمار إلى حامض سلسيلك وأدى إلى زيادة نشاط الشيتينيز (Kim & Choi ٢٠٠٢).

حامض الجاسمونك والميثيل جاسمونيت

يعد كل من حامض الجاسمونك jasmonic acid، والميثيل جاسمونيت methyl jasmonate – اللذان يطلق عليهما معًا اسم jasmonates – من الهرمونات الطبيعية المنظمة للنمو النباتى، والتى يعرف وجودها فى المملكة النباتية على نطاق واسع. وهى تتراكم فى الأنسجة النباتية التى تتعرض للإصابة بالمسببات المرضية، بما يفيد بأنها تلعب دورًا فى حث النظام الدفاعى فى النباتات. ولقد تبين أنها تنشط الجينات التى تشفر لتمثيل مضادات الفطريات مثل الـ thionin، والـ osmotin، وبعض الفيتوألاكسينات.

ولقد استخدم الـ methyl jasmonate كمعاملة بعد الحصاد للحد من إصابة الفراولة بالعفن الرمادى الذى يسببه الفطر *Botrytis cinerea*.

ومما يميز الـ methyl jasmonate أنه متطاير فلا توجد حاجة لغمر الثمار فى الماء. كما أن رائحته زكية، ومن خصائصه الارتباط بالمواد البوليميرية، مما يطيل من فترة تواجده فى المخازن المعاملة. أما حامض الجاسمونيك فهو قابل للذوبان فى الماء، مما يجعله صالحًا لمعاملات الغمر (Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

تفيد معاملة ثمار الفراولة بالمثيل جاسمونيت methyl jasmonate فى مكافحة الأعفان. وهذا المركب رخيص نسبيًا ولا يلزم للمعاملة به سوى كميات بسيطة. فلا يحتاج الأمر لأكثر من ٢٥ مل (سم^{٣}) منه لمعاملة حمولة شاحنة كاملة، وهو لا يترك أى أثر متبق.

تجرى المعاملة فى حرارة ٢٠°م باستعمال أبخرة المركب، ولهذا السبب فإنها ربما لا تكون مجدية مع محصول التصدير الذى يتعين تبريده أوليًا فى خلال ساعة واحدة من حصاده، بينما تتطلب المعاملة بالمركب ساعتين على الأقل.

وقد درس Perez وآخرون (١٩٩٧) تأثير المثيل جاسمونيت على نضج ثمار الفراولة المقطوفة وذلك بحصادها وهي خضراء غير مكتملة النمو. وزراعتها في بيئة تحتوى على ٨٨ مللي مول سكروز في إضاءة مقدارها ٣٠٠ ميكرومول لكل م٢ في الثانية. لمدة ١٦ ساعة يوميًا. مع حرارة مقدارها ٢٥°م نهارًا. و ١٥°م ليلاً. ورطوبة نسبية ٨٥٪، مع إضافة المثيل جاسمونيت إلى البيئة بتركيز ٥٠ ميكرومولاً. وقد وجدوا أن إضافة المثيل جاسمونيت أحدثت زيادة معنوية في كل من معدل التنفس وإنتاج الإثيلين بكل من الثمار البيضاء والوردية. كما ازداد نمو الثمار المعاملة بالمثيل جاسمونيت بمقدار ٥٥٪، مقارنة بزيادة مقدارها ٣٣٪ فقط في ثمار الكنترول. وأدت المعاملة كذلك إلى إحداث تأثيرات معنوية في تلوين الثمار. حيث حفزت تمثيل الأنثوسيانين في خلال يومين من المعاملة. مع زيادتها لمعدل تحلل كلوروفيل أ. وكلوروفيل ب. وبدرجة أقل البيتاكاروتين والزانثوفيلات xanthophylls.

كما أدت معاملة ثمار الطماطم بأبخرة المثيل جاسمونيت إلى تثبيط إنتاج الجراثيم وإنباتها في الفطر المسبب للأنثراكنوز *Colletotrichum coccodes* على الرغم من عدم تأثير تلك الأبخرة على إنبات جراثيم الفطر وتكوين مستعمراته في البيئات الصناعية، بما يعنى أن المثيل جاسمونيت يؤثر على الفطر في الثمار من خلال دور له في التفاعلات بين الثمار والفطر الممرض (Tzortzakis ٢٠٠٧).

مركبات عطرية طبيعية أخرى تنتجها الثمار

تتميز المركبات الطبيعية المسئولة عن النكهة المميزة لعديد من النباتات بخصائص تجعلها مناسبة لاستعمالها في معاملات بعد الحصاد للمحاصيل البستانية، ومن أهم تلك الخصائص أنها متطايرة volatile. وقليلة الذوبان في الماء، وسهلة الإدمصاص، وقليلة أو عديمة السمية نظرًا لكونها مركبات طبيعية، وتعطى تأثيرها عند تركيزات شديدة الانخفاض.

ولقد وجد – على سبيل المثال – أن عددًا من المركبات المتطايرة التى تنتجها ثمار

الخوخ أثناء نضجها تعد شديدة السمية للفطريات. كما وجد أن مقاومة الفراولة للإصابة بالأعفان عند تخزينها فى تركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون مردها إلى إنتاج الثمار لتركزيات عالية من الأسيتالدهيد وخلات الإثيل ethyl acetate تحت تلك الظروف. ولقد تبينت فاعلية الأسيتالدهيد فى مكافحة عديد من الكائنات الدقيقة – الفطرية والبكتيرية – المسببة للأعفان.

ومن المواد الأخرى القابلة للتطاير المسئولة عن النكهة والتى أظهرت قدرة على الحد من الإصابة بالأعفان غير الأسيتالدهيد ما يلى:

benzaldehyde	cinnamaldehyde	ethanol
benzyl alcohol	nerolidol	2-nonanone
(E)-2-Hexanal	Hexenel	(C_6)aldehydes

(Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

وقد وجد أنه يفيد تبخير ثمار الفراولة ببعض الغازات والمركبات العطرية القابلة للتطاير والتى تنتجها ثمار الفراولة بصورة طبيعية .. يفيد استعمالها فى تثبيط نمو الكائنات المسببة للأعفان، ولكن يتعين تحديد التركيز الذى يحقق الهدف دون التأثير على طعم الثمار أو نكهتها. ودون ترك أى متبقيات غير مرغوب فيها على المنتج الطازج. فمثلاً .. وجد أن المعاملة بغاز الأسيتالدهيد acetaldehyde بتركيز ١٥٠٠ جزء فى المليون لمدة ٤ ساعات أدى إلى خفض الإصابة بالعفن الرمادى بنسبته ٢٠٪ مع تحسين طعم الثمار ونكهتها كذلك. هذا .. إلا أن الأسيتالدهيد يمكن أن يقلل من حموضة الثمار ومحتواها من المواد الصلبة الذائبة، وإلى زيادة محتواها من الكحول الإثيلى، والإثيل أسيتيت ethyl acetate، والإثيل بيوتريت ethyl butyrate. كذلك يمكن للمركبين الطبيعيين اللذان تنتجهما ثمار الفراولة، وهما: benzylaldehyde، و 2-nonanone .. يمكنهما تثبيط نمو الفطر *B. cinerea* دون إحداث تأثير سلبى على طعم الثمار أو نكهتها (عن Perkins-Veazie & Collins ١٩٩٥).

كذلك أثبت المركب (E)-2-hexenal فاعلية فى مكافحة أعفان الثمار. وظهر – فى البيئات الصناعية – أن عملية إنبات جراثيم لفطر *B. cinerea* كانت أكثر حساسية للمركب عن عملية نمو الغزل الفطرى. وقد أدت التركيزات المنخفضة من المركب إلى تحفيز النمو الفطرى. وهو الأمر الذى حدث – كذلك – عند معاملة الثمار ذاتها، مما يعنى ضرورة زيادة تركيز المركب لكى يكون فعّالاً فى تثبيط أعفان الثمار بعد الحصاد (Fallik وآخرون ١٩٩٨).

كذلك أدت معاملة الفراولة بهذا المركب العطرى المتطاير (E)-2-hexenal إلى إحداث نقص جوهرى فى الإصابة بالعفن الرمادى عند إجراء المعاملة أثناء تخزين الثمار لمدة ٧ أيام على ٢ °م، ثم نقلها – بعد توقف المعاملة – إلى ٢٢ °م لمدة ٣ أيام، وذلك مقارنة بثمار معاملة الكنترول. وبالمقارنة فإن المعاملة بأى من المركبات العطرية (E)-2-hexenal diethyl acetal، أو benzaldehyde، أو methyl benzoate لم تكن مؤثرة (Ntirampemba وآخرون ١٩٩٨).

وعندما عرضت ثمار فراولة مصابة طبيعيًا بالفطر *B. cinerea* لأبخرة عديد من المركبات المتطايرة التى تتواجد طبيعيًا فى الثمار. وجد أن الكثير من تلك المركبات، مثل: benzaldehyde، و methyl benzoate، و methyl salicylate، و 2-nonanone، و 2-hexenal diethyl acetal، و hexanol، و (E)-2-hexen-1-ol تثبط نمو الفطر عند تركيزات منخفضة تقدر بالجزء فى المليون. كذلك كان لبعض المركبات تأثيرات سلبية على جودة الثمار. وبينما كانت بعض المركبات فعّالة بعد فترة قصيرة من المعاملة بها، لزم استمرار المعاملة على الدوام بمركبات أخرى لكى تكون فعّالة (Archbold وآخرون ١٩٩٧).

الشيتوسان

إن الشيتوسان chitosan صورة ذائبة من الشيتين chitin. ويتميز الشيتوسان والمركبات التى تشتق منه بكونها قادرة على حماية النباتات من الإصابات الفطرية بما لها من قدرة على أن تكون مضادة لها. يمكن لتلك المركبات بتركيزات شديدة الانخفاض

أن تستحث آليات دفاعية فى النباتات ضد المسببات المرضية. ويمكن استعمالها على صورة محاليل، أو مساحيق. أو كأغلفة للبذور والثمار (Tipathi & Dubey ٢٠٠٤).

يعد الشيتوسان أحد المكونات الهامة للجدر الخلوية لبعض مسببات الأمراض الفطرية.

ويُستخلص الشيتوسان من محارات الأحياء البحرية، كما ينتج من الشيتين chitin الذى يتواجد بالهيكل الخارجى للحشرات، وهو مركب عديد التسكر ذات وزن جزيئى عال وقابل للذوبان فى الأحماض العضوية المخففة. هذا المركب غير سام وآمن بيولوجيًا. ويعدّ من أفضل المركبات التى يمكن استعمالها فى تغليف ثمار الخضر والفاكهة الطازجة لمنع فقدها للرطوبة وتحوير تركيب جوها الداخلى، فضلاً عما يحدثه المركب من حث لإنتاج إنزيم الشيتينيز chitinase الذى يعمل كإنزيم دفاعى.

ولقد وجد أن استعمال الشيتوسان بتركيز ١٪ أو ٢٪ (وزن/حجم) كغلاف لثمار الفراولة أدى إلى خفض أعفان الثمار جوهريًا عند تخزينها على ١٣ °م، وأحدث زيادة جوهرية فى نشاط كل من الشيتينيز. و β-1,3-gluconase مقارنة بما حدث فى معاملة الكنترول. ولقد كان تأثير استعمال الشيتوسان فى مكافحة الأعفان التى يسببها الفطرين *Botrytis cinerea*، و *Rhizopus* spp. مماثلاً – تقريبًا – لتأثير المعاملة بالمبيد الفطرى TBZ. وفضلاً عن ذلك كان للشيتوسان تأثيرات إيجابية على كل من صلابة الثمار. وحموضتها المعايرة، ومحتواها من حامض الأسكوربك والأنثوسيانين (Zhang & Quantick ١٩٩٨).

وإلى جانب تأثير الشيتوسان على إصابات الفراولة المرضية، فقد وجد أن له – كذلك – تأثير مضاد لعديد من الفطريات. كما اتضح من دراسات استعمل فيها المركب كغلاف لثمار الطماطم والفلفل الحلو والخيار (عن Reddy وآخرين ٢٠٠٠).

وقد أدت معاملة مكان اتصال عنق ثمرة الطماطم بالثمرة (مكان قطف الثمرة) بالشيتوسان chitosan إلى تثبيط إصابة الثمرة بالفطر *Alternaria alternata* مسبب

مرض العفن الأسود. وذلك عندما تم حقنها بالفطر وخزنت على ٢٠°م لمدة ٢٨ يومًا. وكان ذلك التأثير لمعاملة الشيتوسان مصاحبًا بضعف فى نشاط الإنزيمات المحللة للأنسجة (polygalacturonase، و cellulase، و pectic lyase) فى النسيج المجاور للبقع المرضية، حيث انخفض نشاطها إلى أقل من ٥٠٪ مما كان عليه الحال فى ثمار المقارنة التى لم تُعامل بالشيتوسان. كذلك ثبطت المعاملة بالشيتوسان إنتاج الثمار لكل من حامضى الأوكساليك والفيوماريك (oxalic & fumaric acids) وهما من المركبات المخلبية، وكذلك سموم العائل alternariol، و alternariol monomethylether، وحفزت إنتاج الفيتوألاكسين ريشتين rishitin فى أنسجة الثمرة (Reddy وآخرون ٢٠٠٠).

كما أدت معاملة الجزر المخزن بالـ chitosan hydrolysate (وهو الذى يحضر من الـ chitosan بفعل الإنزيم chitosanase N-174 *Streptomyces*) بتركيز ٠,٢٪ (وزن/حجم) إلى حماية جذور الجزر من الإصابة بالفطر *Sclerotinia sclerotiorum* أثناء التخزين، بحثها الجذور على تطوير مقاومة ضد الفطر (Molloy وآخرون ٢٠٠٤).

المعاملات الفيزيائية المثيرة للمقاومة الطبيعية

الصدمات الحرارية

تؤثر معاملة ثمار الحمضيات بالصدمة الحرارية بعد الحصاد فى إنتاج الكيومارينات coumarins المضادة للفطريات فى قشرتها. وفى الليمون الأضاليا أدت المعاملة الحرارية إلى إنتاج الـ scoparone بعد التعرض للإصابة بالفطر *Penicillium* sp.، وقد ارتبط هذا التراكم معنويًا بالمقاومة (Da Rocha & Hammerschmidt ٢٠٠٥).

الأشعة فوق البنفسجية

تجرى معاملة التعريض للأشعة فوق البنفسجية – أساسًا – لأجل مكافحة بعض الإصابات المرضية، من خلال حثها للمقاومة الطبيعية فى الأنسجة النباتية الحية.