كذلك أثبت المركب (E)-2-hexenal فاعلية فى مكافحة أعفان الثمار. وظهر – فى البيئات الصناعية – أن عملية إنبات جراثيم الفطر *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 طبيعيًّا بالفطر *B. cinerea* لأبخرة عديد من المركبات المتطايرة التى تتواجد طبيعيًّا فى الثمار. وجد أن الكثير من تلك المركبات، مثل: benzaldehyde، و methyl benzoate. و methyl salicylate، و 2-nonanone، و hexenal diethyl acetal. 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).

المعاملة بمركبات حيوية مضادة للفطريات والبكتيريا

حامض الخليك

يفيد التبخير بحامض الخليك كوسيلة للتعقيم السطحى لمنتجات الخضر والفاكهة الطازجة، وهو منتج طبيعى لا ضرر منه على صحة الإنسان. ولا يقتصر فعل حامض

الخليك على خفض الرقم الأيدروجينى فقط، وإنما يتعداه إلى اختراقه للخلايا الميكروبية، وإحداث سميته فيها. ولقد أفادت المعاملة بأبخرة حامض الخليك فى مكافحة عديد من الأعفان فى التفاح والعنب والمشمش والبرقوق والكريز (Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

وأوضحت دراسات Sholberg & Gaunce (١٩٩٥) أن تبخير ثمار بعض المحاصيل (الطماطم، والتفاح، والعنب، والبرتقال، والكيوى) بعد الحصاد بحامض الخليك بتركيزات تراوحت بين ٢,٠ و٤,٠ مجم/ لتر من الهواء (بعد حقنها بفطريات متنوعة؛ هى: *Botrytis cinerea*، و *Penicillium expansum*، و *P. italicum*) منع تعفنها دون أن تحدث أية تأثيرات سلبية بها. وقد أدت زيادة الرطوبة النسبية (من ١٧٪ إلى ٩٨٪) إلى زيادة فاعلية المعاملة عندما أجريت على أى من ٥°م أو ٢٠°م.

كما أوضحت بعض الدراسات أن معاملة ثمار عدد من النباتات بأبخرة حامض الخليك يمكن أن تثبط الإصابات الفطرية بفاعلية. ولقد وجد أن التبخير ثلاث مرات ببخار حامض الخليك بتركيز ٢ مجم/ لتر أحدثت خفضًا فى إصابة ثمار الفراولة بالفطر *Botrytis cinerea* بنسبة ٥٦٪، بينما أحدثت معاملة التبخير مرة واحدة بتركيز ٦ مجم/ لتر إلى خفض الإصابة بنسبة ١٢٪ (Hassenberg وآخرون ٢٠١٠).

حامض الأراشيدونك

أدت معاملة الخس بحامض الأراشيدونك arachidonic acid إلى إحداث زيادة جوهرية فى نشاط كل من الـ guaiacol peroxidase، والـ polyphenol oxidase، والـ protease؛ إضافة إلى زيادة مقاومته للإصابة بفطر العفن الرمادى *Botrytis cinerea* (Zlotek & Wojcik ٢٠١٤).

الشيتوسان

إن الشيتوسان chitosan – وهو اسم لطراز (منزوع الأستيل) deacetylate من الشيتين chitin الذائب – هو مركب طبيعى يتحلل بيولوجيًّا، ويحصل عليه من القشرة

الصلبة للقشريات، مثل السرطان (السلطعون) والجمبرى، والذى تتوافق خصائصه مع طبيعته متعددة الكاتيونات polycationic. ولقد أثبت الشيتوسان قدرة على مكافحة عديد من أمراض قبل وبعد الحصاد فى عديد من الحاصلات البستانية، ومنها أمراض تتواجد مسبباتها فى التربة، وأخرى تصيب النموات الخضرية، كما أن منها أمراض فطرية وبكتيرية وفيروسية.

يتميز 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).

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

ويُستخلص الشيتوسان من محارات الأحياء البحرية كما أسلفنا، كما ينتج من الشيتين chitin الذى يتواجد بالهيكل الخارجى للحشرات، وهو مركب عديد التسكر ذات وزن جزيئى عالٍ وقابل للذوبان فى الأحماض العضوية المخففة. هذا المركب غير سام وآمن بيولوجيًّا، ويعد 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 (Zhang & Quantick ١٩٩٨).

ولقد أوضح الفحص المجهرى أن الشيتوسان يؤثر بصورة مباشرة على مورفولوجى الفطريات الممرضة؛ بما يظهر تأثيره المثبط fungistatic والقاتل fungicidal. وإلى جانب تأثيره المباشر، فإن الشيتوسان يستحث سلسلة من التفاعلات الدفاعية ترتبط بالأنشطة الإنزيمية. ولقد وجد أن الشيتوسان يزيد إنتاج إنزيمات الـ glucanohydrolases،

والمركبات الفينولية، وتمثيل فيتوألاكسينات معينة ذات نشاط مضاد للفطريات، وكذلك فإنها تقلل من الإنزيمات المحللة، مثل الـ polygalacturonases. كما يستحث الشيتوسان تكوين الحواجز النباتية، مثل تمثيل المواد الشبيهة باللجنين. وفى بعض الأحيان أدت المعاملة بالشيتوسان إلى زيادة المحصول فى غياب المسببات المرضية.

وبسبب قدرة الشيتوسان على تكوين غطاء شبه منفذ، فإنه يُسهم فى إطالة فترة صلاحية المنتجات البستانية للتخزين؛ نتيجة لخفضه لمعدل التنفس ومعدل فقد الماء منها.

ولكونه مادة غير سامة تتحلل بيولوجيًّا، وأنه مُستحِث للأنشطة الدفاعية، فإن الشيتوسان يمكن الاعتماد عليه للحماية من الإصابات المرضية دونما استخدام للمبيدات (Bautista-Banos وآخرون ٢٠٠٦).

ولقد وجد أن استعمال الشيتوسان بتركيز ١٪ أو ٢٪ (وزن/حجم) كغلاف لثمار الفراولة أدى إلى خفض أعفان الثمار جوهريًّا عند تخزينها على ١٣ ْم، وأحدث زيادة جوهرية فى نشاط كل من الشيتينيز والـ 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 الأسكوربيك 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).

وتبين من الدراسات على مزارع الفطر *Botrytis cinerea* (مسبب مرض العفن الرمادى) — التى أضيف إليها الشيتوسان — أن النشاط المضاد للفطر ازداد مع انخفاض الوزن الجزيئى للشيتوسان المستخدم. وعندما أُجريت الدراسة على ثمار الطماطم قللت معاملة الشيتوسان جوهريًّا الإصابة بالعفن الرمادى، وأدت جميع الأوزان الجزيئية المستخدمة من المادة — بتركيز ٢٠٠٠ أو ٤٠٠٠ مجم/ لتر — إلى مكافحة تامة للفطر فى الثمار التى جُرِّحت ولُقِّحت بالفطر. وكان الشيتوسان ذات الوزن الجزيئى ٥,٧ × ١٠^{٤} جم/ مول هو الأكثر كفاءة من بين كل الأوزان الجزيئية التى دُرست من الشيتوسان. كذلك تناسبت مكافحة الفطر طرديًّا مع التركيز المستخدم من الشيتوسان، أيًّا كانت ظروف التخزين. وإلى جانب النشاط المضاد للفطريات فإن الشيتوسان استحث وسائل دفاعية فى النسيج النباتى؛ حيث ازدادت الفينولات الكلية الذائبة، وازدادت نشاط الـ polyphenoloxidase والمحتوى البروتينى الكلى (Badawy & Rabea ٢٠٠٩).

وأدى تغليف ثمار الفلفل بالشيتوسان إلى تثبيط التلف الميكروبى وإطالة فترة التخزين الممكنة، وأسهم تغليف الثمار بالجيلاتين فى المحافظة على صلابة الثمار لكنه لم يسمح بإطالة فترة التخزين؛ هذا.. بينما أدى تغليف الثمار بمركب مؤلف من الشيتوسان والجيلاتين معًا — وهو مأكول– إلى خفض التحلل الميكروبى جوهريًّا، وحسَّن قوام الثمار، وأطال فترة التخزين البارد الممكنة حتى ٢١ يومًا دون التأثير على تنفس الثمار ومحتواها من العناصر المغذية (Poverenov وآخرون ٢٠١٤).

المعاملة بمركبات كيميائية مضادة للفطريات والبكتيريا

مركبات الكالسيوم

اقتُرحت معاملة ثمار الخيار بالكالسيوم قبل تعرضها للإصابة بالفطر *Botrytis cinerae* لأن المعاملة يمكن أن تزيد من مقدار الكالسيوم المرتبط بالجدر الخلوية؛ وبذا تقل فرصة هضم الكالسيوم بواسطة إنزيمات الفطر البكتينوليتية pectinolytic enzymes (Chardonnet & Doneche ١٩٩٥).

كما أدى غمر ثمار الكنتالوب المجروحة صناعيًّا فى محلول كلوريد كالسيوم بتركيز ١١٪ Ca^{+2} إلى خفض إصابتها بالفطر *Myrothecium roridum* المسبب للعفن إلى نحو ٦٦٪ من شدة إصابة ثمار الكنترول. ونظرًا لأن الكالسيوم لم يكن له تأثير مباشر على الفطر فى البيئات الصناعية؛ لذا.. يعتقد بأن العنصر يُحدث تأثيره بطريق غير مباشر، وذلك من خلال تأثيره على تطور الفطر المرض فى النسيج الثمرى (De Lima وآخرون ١٩٩٨).

ووجد أن مقاومة البطاطس لبكتيريا العفن الطرى، والتفاح للفطر *Penicillium expansum* تزداد بزيادة محتوى أنسجتها من عنصر الكالسيوم (عن Conway وآخرين ١٩٩٤).

فوق أكسيد الأيدروجين

أفادت جميع التركيزات التى استخدمت من كل من فوق أكسيد الأيدروجين، وكلوريد الكالسيوم، والشيتوسان فى مكافحة مسببات أمراض الفراولة بعد الحصاد فى