وأدت المعاملة بالـ UV-C إلى حث المقاومة ضد الإصابات المرضية فى أبصال البصل وجذور الجزر وثمار الفلفل والطماطم (Da Rocha & Hammerschmidt ٢٠٠٥).

كما أدت معاملة ثمار الفراولة بالأشعة فوق البنفسجية UV-C قبل تخزينها إلى خفض إصابتها بالأمراض والتحلل، خاصة بالفطر *Botrytis cinerea*، كما أدت إلى زيادة نشاط الإنزيمين: phenylalanine ammonia lyase، و chitinase، وكذلك بعض البروتينات ذات العلاقة بالحد من الإصابة (الـ PR proteins)، وجميعها إنزيمات وبروتينات تلعب دورًا ضد عديد من المسببات المرضية (Pombo وآخرون ٢٠١١).

كما أدت معاملة جذور البطاطا بالأشعة فوق البنفسجية UV-C بجرعة ٣,٦ كيلوجول/م^{٢} إلى الحد – بشدة – من إصابتها بالفطر *Fusarium solani* – المسبب لعفن الجذور الفيوزارى – أثناء التخزين، وكان ذلك مصاحبًا بزيادة فى نشاط الـ phenylalanine ammonia-lyase فى الجذور المعاملة (Stevens وآخرون ١٩٩٩).

كذلك أدى تعريض الأسبرجس للأشعة فوق البنفسجية UV-C بطول موجى ٢٥٤ نانوميتر بجرعة قدرها أكثر من ٠,٠١ جول/سم٢ إلى نقص جوهرى فى معدل إصابة المهاميز بالفطر *Botrytis cinerea* تحت ظروف العدوى الصناعية به (Marquenie وآخرون ٢٠٠٢).

هذا .. ويظهر فى جداول (١٦–١) بيانًا بعديد من الأمثلة لاستخدام الأشعة فوق البنفسجية UV-C فى مكافحة أمراض المخازن فى محاصيل الخضر.

المعاملة بالزيوت الأساسية

تلعب الزيوت الأساسية دورًا كمضادات فطرية، واستخدم بعضها لهذا الغرض فى دراسات بعد الحصاد. ومن أهم مميزاتها صلاحيتها للاستعمال فى صورة أبخرة، ويعتقد بأنها تلعب دورًا فى آليات الدفاع النباتى ضد الكائنات الدقيقة المرضة.

جدول (١٦-١): أمثلة للمعاملة بالأشعة فوق البنفسجية UV-C لأجل مكافحة أمراض المخازن فى المحاصيل البستانية (عن Terry & Joyce ٢٠٠٤).

المحصول والصنف		جرعة الـ UV-C المثلى ($kJ\ m^{-2}$)		المسبب المرضى المستهدف
البصل	*Allium cepa* (onion) cv Walla Walla	٣,٥٨ – ٧,٣٣	لم يحدد	
الفلفل الحلو	*Capsicum annuum* (bell pepper) cvs. Bell Boy and Delphin	٠,٨٨		*B cinerea*
		١,٣		*P. digitatum*
الكوسة	*Cucurbita pepo* (zucchini squash) cv. Tigress	٤,٩٣ – ٩,٨٦	لم يحدد	
الجزر	*Daucus carota* (carrot) cv. Caropak	٤,٤ –٨,٨		*B. cinerea*
البطاطا	*Ipomea batatas* (sweet potato) cv. Jewel and Carver	٤,٨		*Fusarium* spp. and *Rhizopus* spp.
البطاطا	cv. Georgia Jet	٣,٦		*Rhizopus* spp.
البطاطا	cv. Jewel	٣,٦		*Fusarium solani*
		١,٥		*P. digitatum*
الفراولة	*F. ananassa* (strawberry) cv. Pajaro	٠,٥ –١,٠		*B. cinerea*
الفراولة	cv. Kent	٠,٢٥		*B. cinerea*
الفراولة	cv. Elsanta	٠,٥ –١٥,٠		*B. cinerea*
الطماطم	*Solanum lycopersicum* (tomato)	٧,٥		*Alternaria alternata*
	cv. Tuskegee 80-130	٧,٥		*B. cinerea and Erwinia* spp.
		٣,٦		*Rhizopus stolonifer*
		٣,٧		*B. cinerea*

وقد اختبر تأثير عديد من المكونات المتطايرة لبعض الزيوت الأساسية على نمو كثير من الفطريات – التى تسبب مشاكل مرضية لمنتجات الخضر والفاكهة بعد الحصاد – وذلك فى البيئة الصناعية. تضمنت المكونات المتطايرة ما يلى:

(E)-anethole	p-anisaldehyde	carvacrol
(-)-carvone	1,8-cineole	(+)-limonene
myrcene	(+/-)-alpha-phellandrene	(+)-alpha-pinene

أما الفطريات التى أجرى عليها الاختبار فقد اشتملت على ما يلى:

Botrytis cinerea	*Monilina laxa*
Mucor piriformis	*Penicillium digitatum*
Penicillium italicum	*Penicillium expansum*
Rhizopus stolonifer	

ولقد حُصل على أفضل النتائج باستعمال الـ carvacrol (وهو فينول)؛ فعند تركيز ١٢٥ جزءًا فى المليون توقف نمو جميع الفطريات بصورة تامة ونهائية (بفعل fungicidal أى قاتل للفطريات) فيما عدا بالنسبة للفطر *P. italicum*، كذلك توقف إنبات جراثيم *M. laxa*، و *M. piriformis*، و *R. stolonifer* عند نفس التركيز، ولكن ليس عند تركيز ٦٢ جزءًا فى المليون.

كذلك ظهر تأثير مؤقت للنمو الفطرى (fungistatic) عندما كانت المعاملة بأى من المركبات *p*-anisaldehyde (وهو ألدهايد)، أو carvone-(-) (وهو كيتون)، أو -(E) anethole (وهو إثير ether) عند ٢٥٠–١٠٠٠ جزء فى المليون، وذلك بترتيب تنازلى لتأثير تلك المركبات (Caccioni & Guizzardi ١٩٩٤).

وأوضحت عديد من الدراسات فاعلية بعض الزيوت الأساسية فى وقف نمو الفطر *Botrytis cinerea*. ومن بين الزيوت التى تأكد جدواها فى هذا الشأن كلاً من الزعتر الأحمر *Thymus zygis*، والفصوص البرعمية لـ *Eygenia caryophyllata*، وأوراق القرفة *Cinnamomum zeylanicum*. كذلك فإن الزيت الأساسى لكل من *Monarda citrodora*، و *Melaleuca alternifolia* تظهر نشاطًا مضادًا لمدى واسع من الفطريات التى تصيب الخضر والفاكهة بعد الحصاد.

ويبدو أن تأثير الزيوت لا يرجع إلى مركب واحد بعينه فى الزيت الأساسى، وإنما إلى تأثير تداؤبى synergistic لعدد من تلك المركبات، وهى التى تتواجد فى كل زيت – عادة – بالعشرات وربما بالمئات (Sydney Postharvest Laboratory Information Sheet – الإنترنت – ٢٠٠٧).

وقد أدى غمس ثمار الطماطم فى مستحلب زيت الزعتر thyme بتركيز ٥٪ أو زيت الـ oregano بتركيز ١٠٪ إلى خفض إصابتها أثناء التخزين بكل من الفطرين *Botrytis cinerea*، و *Alternaria arborescens* (Plotto وآخرون ٢٠٠٣).

كما أدت معاملة ثمار الطماطم بالمركب trans-cinnamaldehyde بتركيز ١٣ مللى مول (وهو مركب يتواجد طبيعيًّا فى النباتات) إلى خفض أعداد البكتيريا والفطريات على سطح الثمرة إلى العُشر عندما كان غمس الثمار لمدة ١٠ دقائق، وإلى تأخير ظهور أى نموات فطرية لمدة أسبوع كامل عندما كان الغمس لمدة ٣٠ دقيقة مع حفظ الثمار بعد ذلك فى جو معدل على ١٨ °م؛ علمًا بأن *Penicillium* sp. كان هو الفطر السائد على كأس الثمار المخزنة (Smid وآخرون ١٩٩٦).

كذلك استخدم الكارفون carvone– الذى يُتحصل عليه من الزيت الأساسى للنبات *Carum carvi* – تجاريًّا فى منع تزريع البطاطس فى المخازن إضافة إلى أنه وفر لها حماية من الإصابة بالأعفان، وهو يتوفر تجاريًّا فى هولندا تحت الاسم التجارى TALENT (عن Tripathi & Dubey ٢٠٠٤).

هذا.. ويمكن أن تنتقل يرقانة القواقع slugs (*Deroceras reticulatum*) مع درنات البطاطس من الحقول إلى المخازن إذا ما كان الموسم رطبًا وأُجرى الحصاد والتربة رطبة، حيث تنتقل اليرقانة مع الطين الذى قد يكون ملتصقًا بالدرنات؛ بما يعنى استمرار حدوث الأضرار فى المخازن. وقد وجد أن معاملة الدرنات المخزنة بمانع التبرعم المحتوى على الكارفون carvone (التحضير التجارى Talent) بمعدل ٥٠ مل من المركب التجارى لكل طن من الدرنات أدت إلى مكافحة اليرقانات فى خلال أيام قليلة (Ester & Trul ٢٠٠٠).

وإضافة إلى ما تقدم بيانه فقد أثبتت الزيوت الأساسية لنباتات أخرى جدواها فى حماية بعض المنتجات البستانية من الإصابة بالأعفان بعد الحصاد. وكان منها ما يلى (عن Tripathi & Dubey ٢٠٠٤):

Salvia officinalis *Mentha arvensis*

Zingiber officinale

هذا .. ولم تكن أبخرة الزيوت الأساسية لكل من الزعتر والأوريجانو وحشيشة الليمون فعالة فى مكافحة مسببات أمراض ثمار الطماطم بعد الحصاد: *Botrytis cinerea*، و *Alternaria arborescens*، و *Geotrichum candidum*، و *Rhizopus stolonifer*.. لم تكن فعالة فى وقف الإصابات المرضية فى الثمار المعدية بتلك المسببات، على الرغم من أنها كانت فعالة – بدرجات متفاوتة – فى وقف نمو تلك الفطريات فى البيئات الصناعية؛ فضلاً عن أن أبخرة بعض الزيوت أحدثت أضرارًا بالثمار المعاملة عندما امتدت المعاملة لفترات طويلة. وبالمقارنة.. فإن غمس الثمار فى مستحلب زيت الزعتر بتركيز ٥٠٠٠ جزء فى المليون أو زيت الأوريجانو بتركيز ١٠٠٠٠ جزء فى المليون خفضت إصابة الثمار المحقونة بالفطرين *B. cinerea*، و *A. arborescens* (Plotto وآخرون ٢٠٠٣).

ودُرس تأثير المعاملة بخمسة زيوت أساسية (هى زيوت: الزعتر thyme، والمريمية sage، وجوزة الطيب nutmeg، والـ eucaptus، والقرفة الصينية cassia) على نمو الفطر *Alternaria alternata* فى البيئة الصناعية، حيث أظهر زيتا القرفة والزعتر نشاطًا مضادًّا للفطر. وبينما ثبط زيت القرفة نمو الفطر كلية عند استعماله بتركيز ٣٠٠– ٥٠٠ جزء فى المليون، فإن زيت الزعتر كان تثبيطه ٦٢٪ فقط عندما استعمل بتركيز ٥٠٠ جزء فى المليون. كذلك ثُبِّط إنبات جراثيم الفطر ونمو أنابيبها الجرثومية فى بيئة مرق الدكستروز والبطاطس عندما كانت المعاملة بزيت القرفة بتركيز ٥٠٠ جزء فى المليون. وعند معاملة الثمار ذاتها انخفضت إصابة الثمار بالفطر عندما استعمل زيت القرفة بتركيز ٥٠٠ جزء فى المليون (Feng & Zheng، و Feng وآخرون ٢٠٠٧).

كما دُرس تأثير الزيوت الأساسية التى حُصل عليها من النموات الهوائية لبعض نباتات العائلة الشفوية Lamiacea على مرض العفن الرمادى بالطماطم، الذى يسببه الفطر *B. cinerea*. حُصل على الزيوت من نباتات الأوريجانم origanum (وهو: *Origanum syriacum* var. *bevanil*)، والخُزامى lavender (وهو: *Lavandula stoechas* var. *stoechas*)، وحصى البان أو إكيل الجبل rosemary (وهو: *Rosmarinus officinalis*). ولقد وجد أن كلاً من أبخرة الزيوت، والزيوت ذاتها تثبط نمو الفطر *B. cinerea* بدرجة تتناسب طرديًّا مع التركيز المستخدم منها، وكان تأثير الأبخرة أكثر ثباتًا من تأثير التلامس المباشر مع الزيوت. وأدت المعاملة بأبخرة الأوريجانم بتركيز ٠,٢ ميكروجرام/مل من الهواء إلى التثبيط الكامل لنمو الفطر، ولم يحدث ذلك بفعل أبخرة الخزامى وحصى البان إلاّ عندما استخدما بتركيز ١,٦ ميكروجرام/مل من الهواء. وبالنسبة لمعاملات الملامسة مع الزيوت ذاتها، فقد ثبط زيت الأوريجانم نمو الفطر عندما استعمل بمعدل ١٢,٨ ميكروجرام/مل، أما الزيتان الآخران فقد كانا فعَّالين عندما استخدما بمعدل ٢٥,٦ ميكروجرام/مل. وقد أحدثت الزيوت تغيرات موروفولوجية كبيرة ضارة فى هيفات الفطر شملت تجلط السيتوبلازم وامتلائه بالفجوت، والضمور، والتسرب الأيونى، ومنع تكوين الجراثيم الكونيدية (Soylu وآخرون ٢٠١٠).

ولقد قدَّم Sivakumar & Bautista-Baños (٢٠١٤) عرضًا شاملاً لاستخدامات الزيوت الأساسية فى مكافحة أمراض بعد الحصاد فى الحاصلات البستانية، وتأثيراتها وكيفية فعلها فى الآليات الدفاعية للنسيج النباتى، وكذلك تأثيراتها على صفات جودة الثمار الطازجة.

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