التخزين تحت ضغط منخفض لأجل مكافحة الأمراض

أدى تعريض ثمار الفراولة بعد الحصاد لضغط جوى منخفض لمدة ٤ ساعات إلى تقليل الإصابة بالبوترتيس *Botrytis cinerea* عندما كان الانخفاض حتى ٠,٢٥ ضغط جوى، وإلى تقليل الإصابة بالعفن الريزوبى *Rhizopus* rot عندما كان الانخفاض فى الضغط حتى ٠,٥ ضغط جوى (Romanazzi وآخرون ٢٠٠١).

المعاملة بالأشعة المؤينة

إن أنواع الطاقة المؤينة (الأشعة المؤينة) التى يمكن استخدامها فى معاملة الخضر والفاكهة الطازجة تتضمن أشعة جاما (من كوبالت ٦٠ أوسيزيم ١٣٧)، وأشعة إكس، وأشعة الإليكترونات المسرَّعة accelerated electrons. وقد سمح باستخدام الأشعة المؤينة فى معاملة الخضر والفاكهة الطازجة بجرعات تصل فى حدها الأقصى إلى كيلوجراى kGy واحد.

ومما يميز معاملة التعريض للإشعاع أن إجراءها ممكن بعد تعبئة المنتج؛ مما يقلل من فرصة تلوثها ثانية، كما أنها لا تترك أى متبقيات بالمنتج.

إن وحدة قياس الإشعاع فى النظام الدولى للوحدات هى الجراى Gray (اختصارها Gy)، علمًا بأن الجراى الواحد يعادل جول واحد (1J) من الطاقة لكل كيلوجرام من المنتج المشع.

ويستخدم الإشعاع بواحدة من ثلاث جرعات، كما يلى:

١- عالية، وهى تزيد عن ١٠ كيلوجراى.

٢- متوسطة، وهى تتراوح بين كيلوجراى واحد، و ١٠ كيلوجراى.

٣- منخفضة، وهى تقل عن كيلوجراى واحد.

يؤدى التعريض للجرعة العالية إلى تعقيم المنتج، بينما تحدث بسترة للمنتج لدى تعريضه للجرعة المتوسطة وهى جرعة تؤدى إلى زيادة فترة صلاحية المنتج للتخزين إما

بسبب خفض أعداد الكائنات الدقيقة المرضة به، وإما بسبب التخلص التام من معظمها. أما التعريض للجرعة المنخفضة فإنه يؤدى إلى تخليص المنتج من الحشرات والكائنات الأخرى غير الدقيقة. مع تأخير نضج الثمار. وتأخير تبرعم البطاطس والبصل، وإحداث تغييرات فى معظم العمليات الفسيولوجية.

يُسمح فى الولايات المتحدة بتطهير الخضر والفاكهة الطازجة بالتعريض لجرعات إشعاع تقل عن كيلوجراى واحد، بينما تزيد الجرعة المسموح بها لأجل تعقيم المنتجات الجافة والخضر المجففة حتى ٣٠ كيلوجراى. ويتعين فى جميع أنحاء العالم تعليم المنتجات المشعة بخاتم الـ radura (شكل ٩-٢) الذى يميزها عن غيرها من المنتجات التى لم تشعع، وهو يكون بلون أخضر.

شكل (٩-٢): خاتم الإشعاع، وهو يعنى أن المنتج قد عومل بالأشعة المؤينة. يتعين وضع هذا الخاتم (الذى يكون باللون الأخضر على المنتجات التجارية) على جميع المنتجات المعاملة بالإشعاع فى جميع أنحاء العالم.

يؤدى التعريض لأشعة جاما أو للإليكترونات إلى أكسدة الأكسجين فى الهواء المحيط وتوليد الأوزون. ويتعين التخلص من هذا الأوزون من حجرة المعاملة ومكان تداول المنتج قبل تعرض العاملين له. ويجرى ذلك بسحب الهواء من داخل المكان والسماح للهواء الخارجى لأن يحل محله؛ الأمر الذى لا يستكمل إلاّ بعد سحب كل الهواء الداخل؛ مما يجعل من غير العملى تبريد مكان معاملة الإشعاع. ولهذا السبب يجب عدم بقاء المنتج فى مكان المعاملة لفترة طويلة حتى لا ترتفع حرارته، خاصة وأن معاملة التعريض للإشعاع بالجرعة المنخفضة تؤدى – فى حد ذاتها وفى حرارة الغرفة – إلى رفع حرارة المنتج بنحو درجة واحدة مئوية (HortScience ١٩٩٧).

ومن بين أهم تأثيرات معاملات الحفر والمكافحة الطازجة بالأشعة المؤينة، ما يلى:

١– تثبيط التزريع فى الخضر الدرنية والبصلية والجذرية:

وجد – على سبيل المثال – أن المعاملة بجرعة ٠,٠٥ إلى ٠,١٥ كيلوجراى من الأشعة المؤينة يثبط التبرعم فى كل من البطاطس واليام والطرطوفة والبطاطا والجنجر ginger (الزنجبيل) والبنجر واللفت والجزر والبصل والثوم. وتزداد فاعلية المعاملة إذا أجريت أثناء فترة السكون. ولا تتأثر نوعية الخضر بجرعات تقل عن ٠,١٥ كيلوجراى. إلا أن الجرعات الأعلى قد تُحدث تأثيرات غير مستحبة، مثل ضعف القدرة على التئام الجروح (ضعف تكوين البيريدرم فى درنات البطاطس)، ودكنة لون الأنسجة، وزيادة تركيز السكر فى درنات البطاطس. ونقص محتوى الفيتامينات، وزيادة القابلية للإصابة بمسببات أمراض بعد الحصاد (Kader ١٩٨٦).

وفى البطاطس أمكن تقليل انكماش الدرنات وتزريعها – إلى حد كبير – بمعاملتها بـ ٥٠٠٠ رونتجن، كما أمكن وقف الانكماش والتزريع كلية بالمعاملة بـ ٢٠٠٠٠ رونتجن من أشعة جاما باستعمال كوبالت ٦٠.

وقد أدت الجرعات الأعلى إلى إحداث فقد كبير فى الوزن مع انكماش الدرنات.

كذلك دلت اختبارات التذوق على وجود طعم حلو فى الدرنات بعد الإشعاع، كما أثبتت التجارب التى تلت ذلك وجود اختلافات بين الأصناف فى استجابتها للإشعاع. ولكن لا يوجد أى شك فى فائدة وجدوى هذه الطريقة فى منع انكماش وتزريع درنات البطاطس. وقد أمكن تخزين البطاطس بهذه الطريقة لعدة سنوات.

كذلك أدت معاملة أبصال البصل إلى منع تزريعها، سواء أكانت الأبصال كبيرة، أم صغيرة، برغم أن النسيج الميرستيمى المسئول عن التزريع يوجد فى وسط البصلة، بعكس عيون البطاطس التى يوجد فيها النسيج المرستيمى قريبًا من سطح الدرنة.

كما وجد أن التعريض للإشعاع يمنع التزريع فى الجزر، والبنجر، واللفت، والطرطوفة، لكن حدثت أيضًا نسبة عالية من العفن. وبرغم أنه أمكن التغلب على العفن فى حالة الجزر بالغسيل والتنظيف والتخزين فى أكياس بلاستيكية، إلا أن الضرر المحتمل حدوثه للخلايا الخارجية السطحية يجعل الجذور أقل مقاومة للعفن. كما أن الإشعاع يقلل من تكوين طبقة البيريدرم؛ وبالتالى من فرصة التئام الجروح كما هو حادث فى البطاطس. وعمومًا .. فإن سرعة التعفن تتوقف على درجة حرارة المخزن (عن Grosch ١٩٦٥).

وبصفة عامة .. فإن أشعة جاما تعتبر مكلفة فى استخدامها، ونتائجها ليست دائمًا إيجابية. فمن بين ٢٢ نوعًا من الخضر والفاكهة التى عوملت بالإشعاع كانت هناك آثار سلبية للمعاملة فى عشرين نوعًا منه. كظهور لون غير طبيعى، أو طراوة، أو نضج غير طبيعى، أو فقد فى الطعم، بينما لم تظهر آثار سلبية فى أى من عيش الغراب أو التين. وبرغم أن الإشعاع بجرعة صغيرة (٨–١٠ كيلوراد) يفيد فى منع تبرعم البطاطس والبصل، إلا أن هذه المعاملة لا تمنع حدوث العفن. وإلى جانب ذلك .. فإن معاملات الإشعاع تحدث زيادة فى التبقع الأسود الداخلى فى البطاطس، وتلون النموات القمية الداخلية فى البصل (عن McGurie & Sharp ١٩٩٥).

٢– تثبيط نمو مهاميز الأبرجس بعد الحصاد:

يفيد فى هذا الشأن تعريض المهاميز لجرعة قدرها ٠.٠٥ إلى ٠.١٥ كيلوجراى من

الأشعة المؤينة، حيث تمنع استطالة المهاميز وانحناءها. إلا أن شحن المهاميز وهى فى وضع رأسى مع استعمال جو معدل تزيد فيه نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى ١٠٪-١٥٪ يعد إجراء أكثر واقعية لتحقيق نفس أهداف التعريض للأشعة.

٣- منع نمو عيش الغراب بعد الحصاد:

يؤدى تعريض عيش الغراب بعد الحصاد لجرعة قدرها ٠,٠٦ إلى ٠,٥ كيلوجراى إلى منع تفتح القلنسوة واستطالة الساق، وتقليل الأعفان السطحية، والحد من دكنة الخياشيم، والمحافظة على المظهر الطازج للمشروم. هذا إلاّ أن التبريد السريع للمشروم والمحافظة على حرارته على الصفر المئوى يحقق نفس أهداف التعريض للأشعة.

٤- التخلص من التلوث الحشرى والإصابات المرضية بالمنتجات:

يمكن أن تُحمل عديد من الأنواع الحشرية مع منتجات الخضر والفاكهة الطازجة، وكثير من تلك الحشرات وخاصة ذباب الفاكهة من العائلة Tephritidae (مثل ذبابة فاكهة البحر الأبيض المتوسط، وذبابة فاكهة الشرق، وذبابة فاكهة المكسيك، وذبابة فاكهة الكاريبى) يمكن أن تؤثر سلبًا على التجارة بين الدول. وتعد المعاملة بالأشعة المؤينة أفضل وأضمن وسيلة للتخلص من ذلك التلوث الحشرى (عن Kader ١٩٨٦).

وقد أدى تعريض جذور البطاطا لأشعة جاما (بجرعات وصلت إلى ١٠٠٠ Gy) إلى التخلص من بوسة البطاطا *Cylas formicarius*، كما أحدثت المعاملة زيادة فى نسبة السكر فى الجذور المشوية (McGuire & Sharp ١٩٩٥).

وتفيد المعاملة بالإشعاع فى تقليل أمراض المخازن بتقليل الميكروبات السطحية. وقد أدت هذه المعاملة بالفعل إلى زيادة مدة التخزين، وكان التغير طفيفًا فى الطعم والرائحة. ومن المحاصيل التى استجابت بدرجة جيدة للإشعاعات .. الكرنب، والسبانخ.. والأسبرجس، والبروكولى، وكذلك الفاصوليا، والبسلة، والذرة السكرية (عن Grosch ١٩٦٥).

ويمكن إيجاز تأثير الجرعات المتزايدة من الأشعة المؤينة على الخضر والفاكهة الطازجة فيما يلي:

الجرعة (كيلوجراى kGy)	التأثير
٠,١٥–٠,٠٥	تثبيط التزريع فى الدرنات والأبصال والجذور – تثبيط النمو فى الأسبرجس وعيش الغراب
٠,٧٥–٠,١٥	التخلص من الحشرات
٠,٥٠–٠,٢٥	تأخير نضج بعض الثمار الاستوائية مثل الموز والمانجو والباباظ
< ١,٧٥	مكافحة أمراض ما بعد الحصاد
٣,٠–١,٠	إسراع الطراوة وفقد الصلابة – ظهور طعم غير مرغوب فيه فى بعض المنتجات
< ٣,٠	فقد شديد للصلابة – النضج غير الطبيعى – حدوث بعض العيوب الفسيولوجية – تغير الطعم

ويمكن تقسيم الخضر والفاكهة الطازجة حسب تحملها لجرعة من الأشعة المؤينة تقل عن كيلوجراى واحد كما يلى (عن Kader ١٩٨٦).

التحمل النسبى	الحاصلات
عالٍ	التفاح – الكريز – البلح (التمر) – الجوافة – المانجو – الكنتالوب – النكتارين – الباباظ – الخوخ – الراسبرى – الفراولة – الطماطم
متوسط	المشمش – الموز – التين – الجريب فروت – الكمكوات – البرتقال – الكمثرى – الأناناس – البرقوق – التانجرين
منخفض	الزبدية – الخيار – العنب – الفاصوليا الخضراء – الليمون الأضاليا – الليمون البنزهير – الزيتون – الفلفل – الكوسة – الخضر الورقية – البروكولى – القنبيط.

ويظهر فى جدول (٩–٥) حدود جرعة الإشعاع لإحداث تأثيرات معينة فى عدد من الحاصلات البستانية (عن Wills وآخرين ١٩٩٨).

جدول (٩–٥): حدود جرعة الإشعاع لإحداث تأثيرات معينة فى بعض الحاصلات البستانية.

الحصول	التأثير المستهدف للإشعاع	الجرعة (kGy) الحد الأقصى الممكن تحمله	الجرعة (kGy) الحد الأدنى اللازم	محددات التطبيق التجارى
التفاح	مكافحة الاسمرار السطحى والقلب البنى	١,٥–١	١,٥	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة – فقد الأنسجة لصلابتها
المشمش والخوخ والنكتارين	مكافحة العفن البنى	١,٠–٠,٥	٢,٠٠	طراوة الأنسجة
الأسبرجس	تثبيط النمو	٠,١٥	٠,١–٠,٠٥	غير اقتصادى – قصر موسم الحصاد – المساحات المزروعة صغيرة
الزبدية	تثبيط النضج والأعفان	٠,٢٥	—	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة – طراوة الأنسجة وتلونها باللون البنى
الموز	تثبيط النضج	٠,٥	٠,٣٥–٠,٣٠	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
الليمون الأضاليا	تثبيط أعفان *Penicillium*	٠,٢٥	٢,٠–١,٥	تحدث أضرار شديدة بالثمار عند جرعة ٠.٥ كيلوجراى أو أعلى من ذلك – توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
عيش الغراب	تثبيط نمو الساق وتفتح القلنسوة	١	٢	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
البرتقال	تثبيط أعفان *Penicillium*	٢	٢	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة

تابع جدول (٩–٥).

الحصول	التأثير المستهدف للإشعاع	الجرعة (kGy) الحد الأقصى الممكن تحمله	الجرعة (kGy) الحد الأدنى اللازم	محددات التطبيق التجارى
الباباظ	التطهير من ذبابة الفاكهة	١–٠,٧٥	٠,٢٥	عدم توفر مساحات مزروعة كافية للتعميم التجارى
الكمثرى	تثبيط النضج	١	٠,٢٥	عدم انتظام النضج – توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
البطاطس	تثبيط الترزيع	٠,٢	٠,١٥–٠,٠٨	توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
الفراولة	تثبيط العفن الرمادى	٢	٢	توفر بدائل أرخص وبنفس الكفاءة
عنب المائدة	تثبيط العفن الرمادى	٠,٥–٠,٢٥	—	طراوة الأنسجة وتكون طعم غير مقبول – توفر بدائل أرخص وأكثر كفاءة
الطماطم	تثبيط عفن ألترناريا	١,٥–١	٣	عدم انتظام النضج – طراوة الأنسجة

هذا .. إلا أن الاستفادة من تقنية معاملة منتجات الخضر والفاكهة الطازجة للأشعة المؤينة لا تخلو من المحددات والمشاكل التى تواجهها، والتى منها ما يلى:

١– عدم توفر التقنيات اللازمة للمعاملة بالقرب من أماكن الإنتاج.

٢– مخاطر التعريض لجرعات زائدة وتأثيرها السلبى الكبير على المنتجات المعاملة.

٣– التكلفة العالية.

٤– عدم تقبل المستهلكين لفكرة تناول منتجات سبق تعريضها للإشعاع على الرغم من عدم وجود أى مخاطر على الصحة جراء تداولها واستعمالها فى الغذاء.

٥– المشاكل اللوجيستية الخاصة بتداول ومعاملة كميات كبيرة من مختلف المنتجات (عن Kader ١٩٨٦).

المعاملة بالزيوت الأساسية لأجل مكافحة الأمراض

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 الممرضة.

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 مايلى:

Botrytis cinerea	*Monilina laxa*
Mucor piriformis	*Panicillium 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.