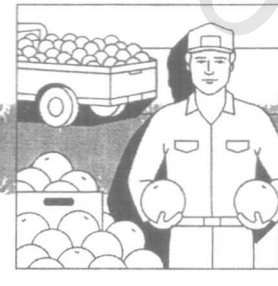
الفصل الثانى

تشعيع الأغذيـة

* أنواع الأشـعـة المسـتـخـدمـة .
* تـقـسـيم جـرعـات الإشـعـاع .
* فـوائد ومميزات تشعيع المواد الغذائية .
* الكيميـاء الإشعاعية فى المادة الغذائية وتأثيـرها على الكائنات الدقـيـقـة .
* حساسية الميكروبات المختلفة للتشعيع .
* كيفية القضاء على الكائنات الحية المجهرية.
* التطبيـقـات العمليـة فى تشعيع المواد الـغـذائـيـة .
* تشـعـيع الخـضـر والفـاكـهـة .
* تـشـعـيع الغـلال .
* تـشـعـيع التـوابل والبـهـارات .
* تـشـعـيع اللحـوم الحـمـراء .
* تـشـعـيع الـدواجـن .
* تـشـعـيع الأسـمـاك .



obeikandl.com

** التشعيع وأنواعه المستخدمة :

• ما هو المقصود باستخدام طاقة الإشعاع فى حفظ الأغذية (تشعيع الأغذية) ؟

هو: تسليط الطاقة الإشعاعية على منتجات الطعام أو المادة الغذائية لفترة زمنية ، فتقضى على الكائنات الحية المجهرية والطفيليات ، أو تخفض من عددها وتحد من تكاثرها ، كما تقضى على الحشرات الدقيقة مثل السوس ، وتوقف نشاط التخمير الناجم عن الإنزيمات الحية ، وبهذا يمكن حماية الطعام من التلف سواء عن طريق العفن أو العطب أو التحمض عند التخزين فى المخازن أو على أرفف المحلات التجارية .. وزيادة فترة صلاحيته للاستهلاك الآدمى ، كما يستخدم فى تقليل مخاطر الأمراض المتولدة فى الطعام .

• ما هى نوعية الأشعة المستخدمة ؟

هى عبارة عن طاقة متحركة فى صورة موجات كهرومغناطيسية أو جسيمات متحركة بسرعة كبيرة جدًا .. وعند تسليطها على الأطعمة يتولد جزيئات مشحونة بالكهرباء أو أيونات نتيجة تفاعل الطاقة مع جزيئات المادة المستهدفة .

• ما هى أنواع الأشعة المستخدمة والمسموح بها فى تشعيع المواد الغذائية ؟

١- **أشعة جاما** : تصدر الأشعة عن اثنين من النظائر المشعة ، وهما: كوبالت - ٦٠ المشع ، أو سيزيم - ١٣٧ ، وتصنع مصادر الكوبالت - ٦٠ للاستخدام فى العلاج بالإشعاع وفى تعقيم المنتجات الطبية وتشعيع المواد الغذائية .. وتنتج على شكل أقلام معدنية مغلقة محاطة بستر من الفولاذ غير قابلة للصدأ بحيث يمكن استعمالها وتخزينها بشكل آمن ومريح ، وهو أكثر المصادر شيوعًا واستعمالاً لقوة اختراقها الملائمة لتشعيع الأطعمة ، أما المصدر الثانى لأشعة جاما - وهو سيزيم - ١٣٧ ويتواجد فى الوقود المستهلك فى المفاعلات النووية ولكن الاستخدام حاليًا للمصدر الأول .

٢- **التشعيع بالأشعة الإليكترونية** : يتم إنتاج الأشعة الإليكترونية على

هيئة حزم بواسطة معجلات إليكترونية التى تعمل بالكهرباء أو بواسطة المعجلات المستقيمة ، ويمكن التحكم بسهولة فى الطاقة الصادرة من الأشعة الإليكترونية - وهذه الأشعة تعتبر بديلاً لمولدات النظائر المشعة .

وقوة اختراق الإليكترونات أقل من قوة اختراق أشعة جاما، حيث تقدر قوة اختراقها بحوالى ٠,٥ سنتيمتر لكل مليون إليكترون فولت من الطاقة، غير أنها تتطلب مدة أقصر عن أشعة جاما ، أى ثوانى مقابل ساعات .. ولكنها أفضل فى تشعيع أحجام كبيرة لبعض أنواع الطعام مثل الحبوب واللحوم المعلبة ، وحاليًا يستخدم فى تطهير الغلال بطاقة ١,٤ مليون إليكترون فولت فى محطة تشعيع بأوديسا بروسيا ، وفى فرنسا تستخدم أشعة إليكترونية قدرتها ١٠ مليون إليكترون فولت فى بسترة لحوم مجمدة يتم تقطيعها بطرق ميكانيكية، ويمكن تحويل إنتاج الإلكترونات من المعجل إلى توليد أشعة سينية.

٣- **الأشعة السينية** : عند تصويب الأشعة الإليكترونية إلى هدف من معدن ثقيل مثل رقائق التنجستن فإنها تثير ذرات التنجستن فتصدر أشعة إكس أو الأشعة السينية التى تحمل طاقة الإليكترونات . والأشعة السينية قادرة على اختراق المادة المتعرضة لها إلى أعماق كبيرة خاصة المواد العضوية .. غير أن الطاقة المفقودة فى تحويل الطاقة من الإليكترونات إلى أشعة سينية لا تجعلها مصدرًا مفضلاً ؛ نظرًا لما يترتب على ضعف كفاءتها فى تحويل الطاقة إلى ارتفاع فى تكلفة إنتاجها .

● ما هو الأفضل فى الاستخدام ؟

موضوع المقارنة	أشعة جاما	الأشعة الإليكترونية	أشعة إكس
١) الفعالية فى التعقيم	التساوى عند نفس كمية الطاقة		
٢) أقصى استفادة من الأشعة	١٠٪ - ٢٥٪	٤٠٪ - ٨٠٪	ضعيفة
٣) المصدر	يضعف مع الوقت فيتطلب استعادة الفعالية وبالتالى زيادة التكاليف	لا تتطلب استعادة الفعالية	لا تتطلب ذلك
٤) الأمان والسلامة .	تطلق الأشعة بصورة مستمرة وفى كل اتجاه وتحتاج وقاية كبيرة لحماية العاملين	آمنة ويمكن إيقافها وعمل الصيانة ولا تمثل خطورة من أى مواد مشعة	كالأشعة الإليكترونية

● **وحدة قياس الجرعة الممتصة :**

تستعمل الأنظمة العالمية لوحدات القياس وحدة الجراى Gray للتعبير عن كمية الطاقة الإشعاعية الممتصة فى المادة (المادة الغذائية) التى حلت محل الراد Rad حيث يساوى الجراى مائة راد - والجراى يعادل كمية من الطاقة قدرها جول واحد لكل كيلو جرام من المادة ، أى أن

الجراى = ١٠٠ راد

كيلو جراى = ١٠٠٠ جراى = ١٠٠ كيلو راد

** تقسيم جرعات الإشعاع :

أ- **جرعة عالية** .. تزيد على ١٠ كيلو جراى وتستخدم لتعقيم الطعام والقضاء كليًا على الكائنات الحية المجهرية .

ب- **جرعة متوسطة** .. تنحصر قيمتها بين ١-١٠ كيلوجراى ، وتستخدم فى البسترة أو الخفض من مخاطر البكتيريا المؤدية للأمراض فى الأطعمة وإطالة عمر المواد الغذائية المخزنة .

جـ- **جرعة صغيرة** .. تقل عن ١ كيلو جراى وتستخدم فى قتل الطفيليات والحشرات المهاجمة لمعظم الفواكه والمسببة لعمليات الإنبات فى بعض الخضراوات وتعمل على تأخير نضج الفاكهة.

** فوائد ومميزات تشعيع المواد الغذائية :

● **الفوائد :**

١- حفظ المواد الغذائية لفترة أطول حيث يوقف نشاط الكائنات الحية الدقيقة فى المادة الغذائية.

٢- تحسين الجودة الصحية للطعام بتطهيره من البكتيريا الممرضة.

٣- التحكم فى نضوج وشيوخة وتنبيت الفواكه والخضراوات الطازجة .

٤- تحسين جودة المادة الغذائية بالتحكم فى جرعات التشعيع الممتصة (الغلال والبقول).

٥- تعقيم المنتجات الطبية والمحاليل .

٦- الحصول على طفرات محصولية عالية الإنتاج ومقاومة للآفات ومناسبة لظروف البيئة.

٧- تعقيم ذكور الحشرات لمقاومة الحشرات .

٨- يحافظ على القيمة الغذائية الكاملة للطعام ، وإن أدى لتغيرات طفيفة فى الفيتامينات أقل بكثير من التغيرات التى تحدث فى الطرق الأخرى المعروفة للحفظ.

٩- يحافظ على الجودة الحسية ، فإدراك أسس كيمياء الإشعاع ترشد إلى إيجاد سبل لمنع أى تغيير حسى غير مرغوب فيه ، ومثال على ذلك : تشعيع اللحوم فى حالة التجميد بدلاً من اللحوم غير المجمدة للتغلب على التغير فى نكهتها.

● مميزات استخدام التشعيع عن الطرق المتعارف عليها لحفظ الطعام :

- يمكن معالجة الأطعمة بعد تعبئتها .

- المحافظة على الطعام فى حالة طازجة.

- يمكن الحفاظ على الأطعمة سريعة التلف لمدة أطول دون التضحية بجودتها .

- تكلفة التشعيع والطاقة المطلوبة أقل من مثيلاتهما فى الطرق المتعارف عليها .

- التشعيع بالجرعات المسموح بها لا يخلف بقايا ولا يغير فى القيمة الغذائية سوى فقدان غير ملموس لبعض الفيتامينات بالمقارنة بالطرق الأخرى.

- الأطعمة المعرضة للإشعاع المؤين ومكوناته لا تتحول إلى مواد مشعة.

- تجنب استخدام المبيدات الحشرية التى تستعمل حاليًا للحد من فساد الأطعمة وتلوثها بالحشرات.

ملحوظة مهمة : التشعيع لن يحول الطعام الفاسد إلى طعام عالى الجودة ، كما أنه لا يصلح لكل الأطعمة تمامًا ، كما أن التعليب والتجميد والتجفيف لا يصلح لكل المواد الغذائية.

- **المستهلكون والمواد الغذائية المشعة :**

تبين أن أقبال المستهلكين على الأطعمة المشعة يتوقف على مدى معرفتهم بعملية التشعيع والآثار المترتبة عليها ، فالطعام المشع فى هولندا وجنوب إفريقيا يقبل الناس عليه ، ويعتبر طعامًا ذا قيمة مضافة من السلامة والأمان ، وغالبية النافرين من تشعيع الطعام يرفضونه على أساس عدم معرفتهم بالفرق بين الأغذية التى تعالج بالتشعيع والأغذية الملوثة بمواد مشعة ، وخوف جمهور الناس من خطورة الإشعاع وما يعرف عنه من آثار خطيرة .. أو عدم ثقتهم بسلامة الطعام المشع وما يفهمونه عن تقنية التشعيع وجودته والقيمة الغذائية التى يحتويها، وربما لاعتقاد الكثير من الناس أن المنتج لا يهمه إلا الربح وأنهم فقدوا الثقة فى المؤسسات الكبرى التى تصنع منتجات الأغذية.

وعمومًا فلكى يصبح تشعيع الأطعمة مقبولاً لدى المستهلك عليه أن يقدم لهم مزايا مجزية تهيب بهم للإقبال عليه ، مثل جودة أعلى من منتجات الأطعمة غير المشعة أو سلامة أكبر ، أو عمر أطول أو وفرة أوسع أو تكلفة أقل .

وعملية التسويق تشير إلى أن غالبية المستهلكين سيفضلون الأطعمة المشعة إذا عرفوا المزيد عن الإشعاع المؤين وفوائده.

المستهلكون عمومًا سيدعمون التشعيع إذا ما ألموا ببعض المعلومات الصحيحة عن طبيعته ودوره فى مكافحة البكتيريا والآفات التى تفسد الطعام وتسبب أمراض التسمم من تناول بعض الأطعمة التى تبدو بريئة فى السوق لكنها مهلكة رغم مظاهر الجودة والطزاجة.

الأسماء التجارية لمستويات التطبيق العملى للتشعيع :

● **البسترة الإشعاعية :**

- لا تزيد الجرعة الإشعاعية فى البسترة عن ٢ كيلوجراى ، وتختلف هذه الكمية حسب نوعية منتجات المادة الغذائية ، لأن ظروف تلف المواد الغذائية وظروف تخزينها تختلف من نوع لآخر .

- وهذه الجرعة كافية لزيادة عمر صلاحية الطعام المخزن بتقليل عدد الكائنات الحية المتسببة فى تلف الأطعمة قبل التغليف والتعليب أو بعده مباشرة.

● **التحطيم الإشعاعى :**

- تتراوح الجرعة الإشعاعية بين ٢,٥ و ٥ كيلوجراى .. أى جرعة متوسطة كافية لقتل معظم الخلايا الحية ، وقد تختلف باختلاف منتجات الأغذية.

- تستخدم هذه الطريقة فى معالجة منتجات الأغذية بالإشعاعات المؤينة لخفض التلوث بالبكتيريا النشطة المسببة للأمراض بما فى ذلك الطفيليات إلى حد غير محسوس ، وبهذا يمكن خفض الأمراض الناجمة عن الطعام إلى حد يقارب حد القضاء عليها .

- بعض الخلايا يمكنها المقاومة مثل سلالة السالمونيلا ، ولكن يجب حفظ الطعام بعد تشعيعه أو معالجته بهذه الطريقة فى درجة حرارة ٤°م أو أقل لمنع توالد البكتيريا فى بعض أنواع الطعام .

● **التدمير الإشعاعى :**

- والجرعة الإشعاعية لا تزيد على ١٠ كيلوجراى لغالبية منتجات الأطعمة.

- وهى أعلى مستوى من المعالجة الإشعاعية للوصول إلى التعقيم الكامل للأطعمة ، وتسمح هذه الطريقة بتخزين الأطعمة ، مثل الأطعمة المعلبة أو المغلفة بصورة معقمة فى درجات الحرارة العادية دون تغير فى جودتها أو مذاقها.

** الكيمياء الإشعاعية فى المادة الغذائية المشعة و تأثير الإشعاع على المادة الغذائية والكائنات الدقيقة بها .

عندما تتعرض المادة الغذائية للجرعات الإشعاعية عالية الطاقة مثل أشعة جاما ، فإنها تتسبب فى إثارة أو تأين ذرات أو جزيئات المادة الغذائية أو تكون ذرات نشطة .. وتعتبر الأيونات والذرات المثارة غير مستقرة وقابلة للتفاعل بسبب احتوائها على طاقة زائدة.

ويؤدى هذا الاصطدام المباشر للأشعة مع المادة الغذائية إلى حدوث بعض التغيرات الكيميائية للمكون الأساسى للمادة الغذائية.. ويعتبر هذا النوع من التغير قليلا جدًا بالنسبة للتغيرات التى تحدث نتيجة لتطبيق الطرق الأخرى للحفظ مثل المعاملة الحرارية للأغذية .

ويحدث نوع آخر من التغيرات ولكنها تغيرات غير مباشرة ، عندما تصطدم الأشعة المؤينة مع الماء والمواد العضوية العشوائية الموجودة مع المادة الغذائية فتؤدى إلى تحلل الماء إلى شقيه ، وينتج إليكترونات متحدة مع الماء (هيدرات) مع مسار الطاقة الإشعاعية أو فى مجاورتها .

$$H_2O \longrightarrow H_2O^+ + e^-$$

وبتواصل التفاعلات تتبع أيونات الماء الموجب والإليكترونات التفاعلات الآتية:

$$H_2O + \longrightarrow OH_0 + H+$$

وأهم النواتج هى شق الهيدروكسيل OH_0 وشق الهيدروجين H_0 والإليكترونات المحررة (e^-) وفوق أكسيد الهيدروجين (H_2O_2) والأخير له دور كبير فى تشعيع الأغذية كعامل مؤكسد وأيضًا شق الهيدروكسيل OH_0

كعامل مؤكسد ، وتتأثر هذه التفاعلات على وجود الأكسجين من عدمه فى الوسط وعلى درجة الحرارة أثناء التشعيع والـ PH وكلها عوامل تؤثر على الكائنات الحية الدقيقة المجهرية .

$$e^- + H_2O \longrightarrow OH^- + H$$

$$H_2O \longrightarrow H + OH$$

أى أن الإشعاع يؤثر على الماء الموجود بالمواد الغذائية مكونًا نواتج عديدة، منها أصول حرة ومواد مؤكسدة .. وكلما زاد المحتوى الرطوبى فى المادة الغذائية زادت التغيرات الحادثة فى تحلل الماء .

** حساسية الميكروبات المختلفة للتشعيع

● ما هو المقصود بحساسية أنواع الميكروبات المختلفة للتشعيع ؟

تصل للمادة الغذائية أثناء تداولها الكثير من الكائنات الحية الدقيقة وهذه الكائنات الدقيقة تختلف فيما بينها فى درجة حساسيتها للإشعاع .. كمثال على ذلك :

● الفيروسات ، تعتبر من أكثر الكائنات مقاومة للإشعاع وتتطلب جرعات عالية للقضاء عليها .

● الجراثيم أو البكتيريا المتجرثمة أقل مقاومة من الفيروسات ولكنها تتطلب جرعات عالية.

● البكتيريا غير المتجرثمة أقل مقاومة من المتجرثمة وتتطلب جرعة متوسطة للقضاء عليها .

● الحشرات ، فالجرعة المميتة قليلة جدًا .

وتختلف الحساسية أيضًا داخل النوع الواحد من الكائنات الحية ، فبعض أجناس البكتيريا داخل النوع غير المتجرثم تكون حساسة ، والبعض الآخر يكون أكثر مقاومة للمعاملة ويتشابه ذلك مع المعاملة الحرارية للمنتج الغذائى .. فعند تسخين أى منتج غذائى لدرجة حرارة صغيرة فإن عددًا معينا من الخلايا الميكروبية يتأثر بالمعاملة ، ولكن كلما زادت درجة الحرارة زاد الفقد فى الميكروبات حتى نصل لدرجة التعقيم والتى عندها يتم القضاء على كل الميكروبات .

ويعلل ذلك فى الفروق الشاسعة فى الحساسية الإشعاعية غالبًا من قدرة الكائن الحى على إصلاح ما يدمر من الحامض النووى .

* كيف يتم القضاء على الكائنات الحية المجهرية ؟

من المعروف أن المادة الغذائية تحتوى على العديد من الكائنات الحية الدقيقة والتى نطلق عليها اسم الميكروبات ، وتشمل كلا من البكتيريا المفسدة والممرضة والخمائر والفطريات والفيروسات والطفيليات ذات الخلية الواحدة ، وعند استعمال التشعيع لحفظ الأغذية فإن هذه الأشعة تعمل على تحطيم أو إبادة هذه الكائنات الحية الدقيقة أو وقف نشاطها .. وهناك عدة نظريات توضح كيفية تأثير الأشعة على هذه الكائنات .

● عند تعرض البكتيريا وخلايا أنسجة الكائنات الحية لأشعة مؤينة مثل أشعة جاما وتحدث التفاعلات الكيميائية الأولية التى أشرنا إليها سابقًا كنتيجة مباشرة للمركبات الامتصاصية التى تحصل على الطاقة من التفاعل مع الإشعاعات ، فإذا كان اصطدام الأشعة المؤينة على جزء أساسى فى الخلية الحية فإنه يؤدى إلى تدمير للخلية نتيجة للفعل المباشر للأشعة المؤينة.

ويحدث فى الوقت نفسه تأثير غير مباشر على الكائنات الحية الدقيقة

من تأثير التفاعلات الكيميائية غير المباشرة فى الوسط وتفاعلها مع بعضها البعض أو مع الأجزاء الأخرى من النظام الحيوى .

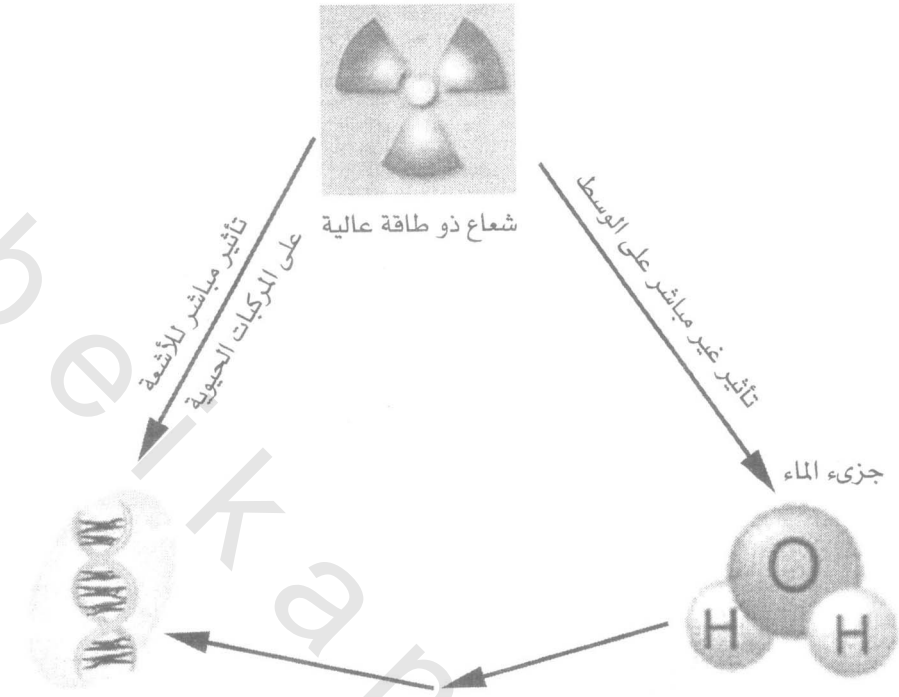
● **نظرية الهدف** : يتم فتك الإشعاع المؤين بالكائنات الحية المجهرية عندما تتحطم الكائنات بمرور الطاقة الكمية أو الجسيم المؤين خلال أو بالقرب من جزء حساس من الخلية ، تلك الضربة المباشرة للهدف تسبب التأين فى المنطقة الحساسة من الكائن الحي أو الخلية ، وعندئذ يقضى على الكائن تمامًا ، كما أن التأثير المبيد ينجم أيضًا عن تأين كل ما يحيط بالكائن خاصة المياه التى تنتج جزيئات حرة حرجة قد يكون بعضها مؤكسد أو مختزل ، مما يساعد على تحطيم الكائنات ، ذلك التأثير يضعف عندما يكون الطعام مجمدًا ، كما أن الإشعاع قد يسبب تغيرات خلقية فى الكائنات.

جرعات تقريبية للإشعاع المؤين القاتل

المصدر (Frazier and Westhoff 1988)

الكائن الحى	الجرعة القاتلة بالتقريب كيلوجراى	الكائن الحى	الجرعة القاتلة بالتقريب كيلوجراى
الحشرات	٠,٢٢ - ٠,٩٣	أنواع بكتيريا تعيش على	النتن (سالبة)
فيروسات	١٠-٤٠	إيكولاى	٠,١-٢,٣
خمائر (خميرة)	٤-٩	سودوموناس إروجنوسا	٠,٦-٢,٣
خمائر (غشاء)	٣,٧-١٨	سودوموناس فلورسنز	٠,٢-٢,٣
عفــن	١,٣ - ١١ مع الجراثيم	انتروباكتر اورجينز	٠,٤-١,٨
● بكتيريا ممرضة	————	(موجبة)	
ميكوباكتيريم تيو بروكلوسيس	١,٤	لاكتوباسيلس	٠,٢٣-٠,٣٨
ستافيلو كوكس	١,٤-٧	ستريتركوكاس	١,٧-٨,٨
كورنيباكتيريم دفتريا	٤,٢	لوكونوستك	٠,٩
عائلة سالمونيلا	٣,٧-٤,٨	سركينا لوتيا	٣,٧

تأثير الأشعة على المواد الغذائية



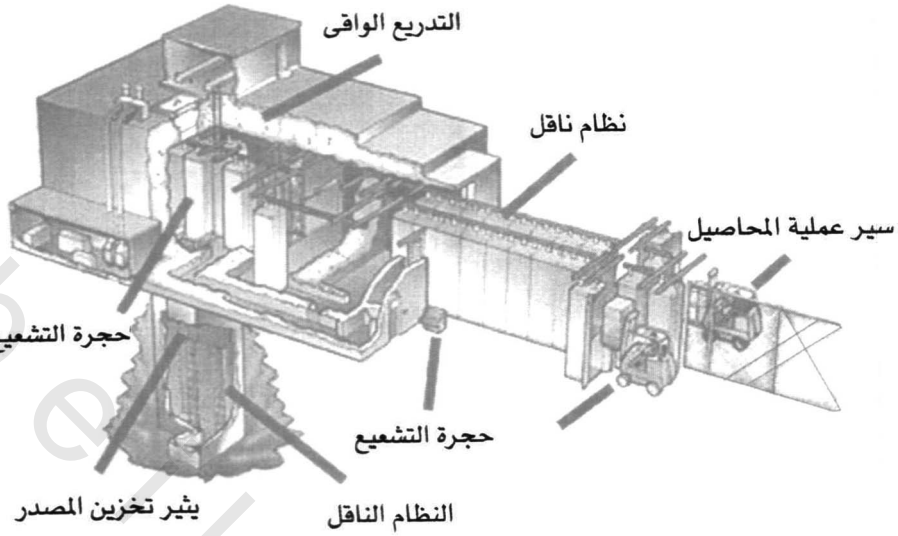
IRRADIE

IRRADIATED

مشعع (معامل بالتشعيع)

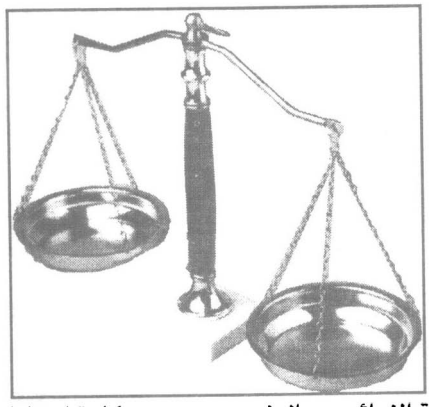
البطاقات التى توضع على الطعام المشعع

obeikandl.com

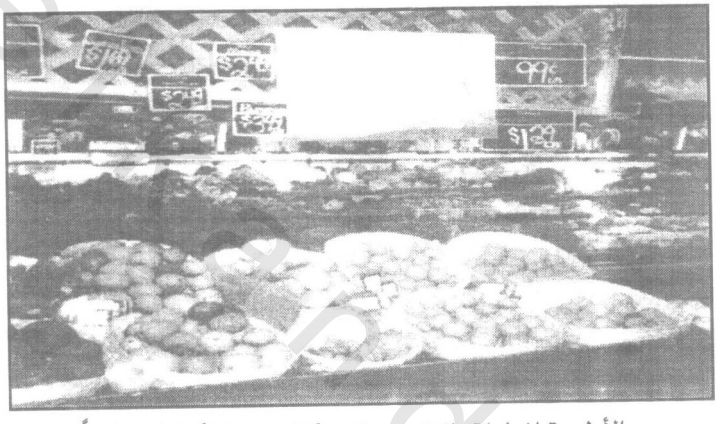


محطة التشعيع

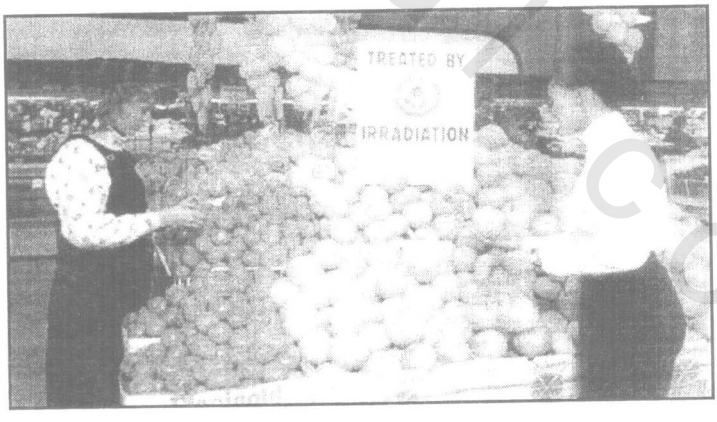
القضاء على البكتيريا فى المادة الغذائية



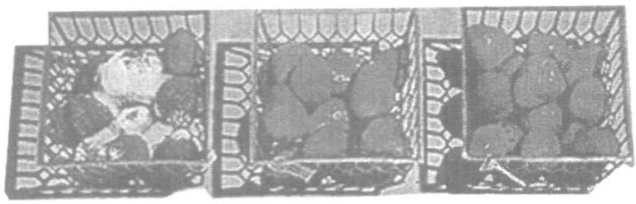
كفة الفوائد من التشعيع ترجح عن كافة المخاطر



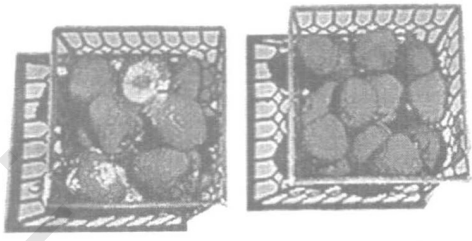
الأطعمة المعاملة بالتشعيع تكون أكثر سعرا لأنها أكثر أمانًا



المستهلك أصبح أكثر ثقافة فى اختياره للأغذية المشععة حيث إنها غذاء ملائم لأنه أكثر أمانًا من المعاملات الأخرى ، وأصبحت تلك الأغذية معروضة للبيع فى الأسواق الكبيرة وأسواق التجزئة فى عديد من الدول ، ومن أمثلة ذلك : المجر - بنجلاديش - هولندا - فرنسا - تايلاند - جنوب إفريقيا.

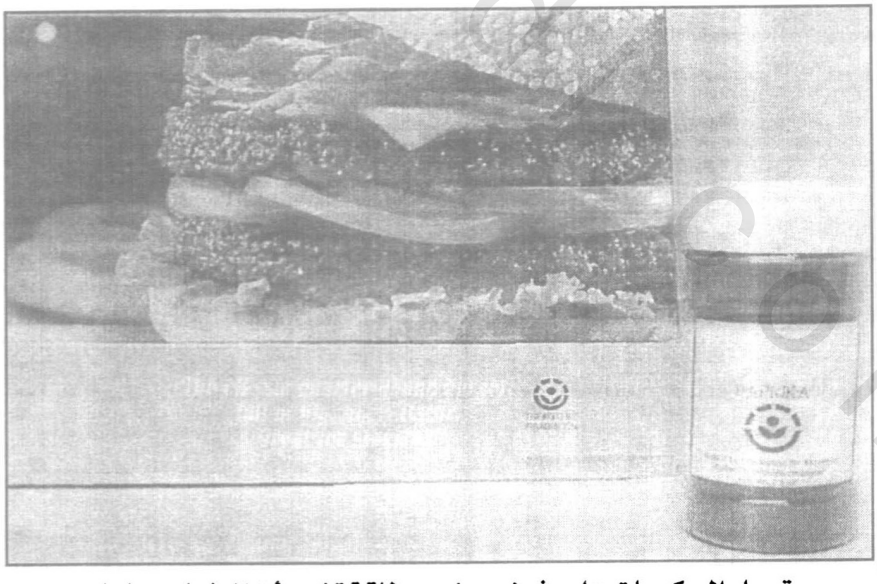


مشععة بمعدل ١,٥ كيلوجراى | مشععة ١ كيلوجراى | العينة المقارنة بدون تشعيع



معاملة بالحرارة لمدة ١٠ دقائق + تشعيع بمعدل ١ كيلوجراى | معاملة بالحرارة لمدة ١٠ دقائق (للمقارنة)

مقارنة بين ثمار الفراولة المعاملة بالتشعيع وغير المعاملة بعد ٢٥ يوما من المعاملة والتخزين عند ٣° م وعرضها على الرف.



تعمل الحكومات على فرض وضع بطاقة تشير أن الطعام معامل بالتشعيع كنوع من الأمان عند تناول هذا الطعام.

احتفظ بالطعام المشعع بعيدًا عن البكتيريا

من الأهمية منع إعادة تلوث المادة الغذائية بالميكروبات بعد التشعيع ومنع تعرضها للإصابة بالحشرات والآفات .. وهذا يتطلب الآتى :

- النظافة : اغسل يديك وسطح العمل باستمرار عند التجهيز والإعداد.
- الفصل : لا تسمح بوصول أى تلوث للمنتج الغذائى.
- الطهى : استخدام الحرارة المناسبة.
- التبريد : استخدام الدرجة المناسبة.

- **ما هى العوامل التى تؤثر على فعالية جرعة التشعيع كمبيد للبكتيريا :**
- نوع وفصيلة الكائن الحى وحساسية أنواع البكتيريا المختلفة للتشعيع .
- عدد الكائنات : فكلما زاد العدد كانت الجرعة المستخدمة أقل فعالية.
- تركيبة الطعام : فبعض المركبات مثل البروتينات والإنزيمات والمواد لمختزلة من نيتريت وكبريتات قد تحمى الكائنات الحية المجهرية ، ووجد نه كلما زادت نسبة البروتين زاد ذلك من مقاومة الميكروبات (ولذلك وجد

أن الجرعات المنخفضة أو المتوسطة للإشعاع المستخدم فى حفظ الأغذية لا يؤدى لحدوث تغيرات معنوية فى الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات، وبالتالى فإن المعاملة لا تسبب تغيرات فى القيمة الغذائية لهذه الأغذية مقارنة بنظيرتها غير المعاملة).

كما أن الإنزيمات تعتبر مقاومة جدًا للإشعاع ، ويختلف ذلك حسب نوع الإنزيم وتركيزه وعوامل أخرى تتعلق بالأشعة المستخدمة والوسط (لذلك تعامل اللحوم والأسماك والدواجن التى يرغب فى تعقيمها بالإشعاع لحفظها لمدد طويلة ، بالحرارة أولاً - حوالى ٧٥°م - قبل معاملتها بالإشعاع لتثبيط كل الإنزيمات ومنع أى تغيرات إنزيمية غير مرغوبة).

● وجود أو غياب الأكسجين : فتحدث العديد من تفاعلات الأكسدة فى وجود الأكسجين نتيجة للتشعيع ، وهذه لها آثار ضارة على الميكروبات وتسبب موتها، وإن كان هناك اختلاف فى درجة هذا التأثير من كائن حى لآخر .

● حالة الطعام الطبيعية خلال التشعيع : فتأثير الرطوبة وانخفاض نسبتها فى المواد الغذائية يزيد من مقاومة الميكروبات للإشعاع ، فالتجميد يزيد من مقاومة الميكروبات بانخفاض درجة الحرارة ، ولذلك تؤدى بعض المعاملات المشتركة فى معاملة الثمار - كما فى حالة ثمار الموالح - إلى غمس الثمار فى ماء ساخن عند درجة حرارة ٥٠°م وبذلك تقل الجرعة المستخدمة حتى لا تؤثر الأشعة على صفات الجودة.

● حالة الكائن الحى من تكاثر وثبات وعمره ودرجة الحرارة اللازمة للنمو وإنتاج الجراثيم ، فالميكروب فى طور الثبات أكثر مقاومة للإشعاع، بينما فى طور النمو يكون أقل مقاومة للإشعاع.

● **عودة البكتيريا عقب عمليات والتشعيع :**

من المعروف أن المادة الغذائية بعد معاملتها بجرعة تشعيعية مناسبة فإنه يمكن حفظها إلى مدة معينة تطول حسب مقدار الجرعة وظروف المعاملة.. ولكن بعد انقضاء هذه الفترة تبدأ البكتيريا فى التكاثر مرة أخرى مما يعرض المنتج الغذائى للتلف مرة أخرى .. ويرجع ذلك لقدرة بعض البكتيريا على المقاومة وإصلاح التدمير الحادث الذى يحدث قبل الموت لإنزيمات التحول الغذائى .. من خلال نشاط انتزاع الحمض النووى.

أو بمعنى آخر ، لبعض خلايا البكتيريا القدرة على لحام التصدع فى الحمض النووى وخاصة فى حالات السموم ، وهذا راجع إلى نشاط الإنزيمات الرابطة فى خلايا البكتيريا والتى تقوم بإصلاح ما تلف .. أى أن البكتيريا تستخدم أنظمة الإنزيمات فى نشاط الإصلاح والصحوة فى مناخ سموم مثل الإنزيمات التى تنتج بشكل مباشر أو غير مباشر من عمليات التشعيع بأشعة جاما .

وعندما تتعرض البكتيريا لقدر طفيف من الإشعاع المؤين تقوم الإنزيمات بإصلاح بعض الجزيئات الحيوية المعطوبة.

● **أيهما أفضل فى التشعيع .. المعاملة بجرعة واحدة أم استخدام الجرعة بمقادير جزئية صغيرة على فترات متفاوتة ؟**

من المتعارف عليه أن عمليات التشعيع للمنتجات الغذائية تركز على تعريض الطعام الجاهز والمعلب إلى جرعة واحدة من الإشعاع المؤين وإن كانت عملية تقسيم الجرعة قد نجحت فى حالات قليلة ، مثل تعقيم سوس حبوب النبات حيث يجرى تشعيع ذكر وأنثى السوس وهو فى طور الشرانق بتسع جرعات متساوية تبلغ ٨٠ جراى من أشعة جاما ، مما أدى إلى تعقيم السوس تمامًا وإن بقيت على قيد الحياة ، وقد تم تجريبها فى عمليات

حفظ الأسماك بغرض المحافظة على المنتج فى حالة طازجة وهو محاط بالثلج .. فقد كانت النتيجة بسيطة فى مد عمر طزاجة الأسماك.

● **التطبيقات العملية فى تشعيع المواد الغذائية :**

١- استخدام الإشعاع المؤين :

يستخدم الإشعاع المؤين بجرعات مختلفة فى عمليات إنتاج المواد الغذائية من الجرعات الصغيرة جدًا إلى مستوى من الجرعات يصل حتى ٧٠ جراى ، وقد استخدمت الجرعات الصغيرة من عدة سنوات فى الولايات المتحدة الأمريكية لمعاملة ثمار الجريب فروت المصابة بيرقات ذبابة الفاكهة المنتشرة فى مناطق المكسيك وجنوب أمريكا ، وخوفًا من انتشارها فى أمريكا تم معاملة الثمار المستوردة فى الحجر الصحى بجرعة لا تتعدى ٠,٠٢ كيلوجراى لمدة ربع دقيقة وحتى دقيقة أمكنها خفض انبثاق ذباب الفاكهة من اليرقات بنسبة ٩٩٪ ودون أى تأثير على قشرة الجريب فروت .

● ولا يعنى ذلك مناسبة التشعيع لمعاملة كل الفواكه والخضراوات ، فرغم نجاح معاملة ثمار مثل البطاطس والطماطم والبصل والمانجو والباباظ وعيش الغراب والموز والفراولة والتين بتعريضها لجرعة أشعة ضعيفة دون التأثير على جودة بعض الأطعمة تتدهور بتعرضها للإشعاع المؤين مثل بعض الفواكه الحمضية والأفاكادو والكمثرى والبرقوق والشمام .

● كما تستخدم جرعات الإشعاع المؤين للبسترة بحيث تكون كافية لقتل أو خفض تعداد الكائنات الحية المجهرية المسئولة عن فساد الطعام ، وكذلك المسئولة عن الأمراض ، على سبيل المثال .. يمكن إزالة بكتيريا السالمونيلا من لحوم الطيور ، والجدول التالى يوضح مستويات جرعات الإشعاع المؤين المستخدمة فى تشعيع الأطعمة المختلفة.

تطبيقات تشعيع المواد الغذائية

نوع الطعام	جرعة الإشعاع المؤين ك جراى	تأثير التشعيع	نوع الطعام	جرعة الإشعاع	تأثير التشعيع
● اللحوم والطيور والأسماك وبعض الخضراوات والمخبوزات والأطعمة المعدة	٢٠-٧١	التعقيم: يمكن تخزين المنتج عند درجة الغرفة دون فساد الطعام	التوابل والمتبلات الأخرى .	حتى ٣٠ ك جراى كحد أقصى	تقلل تعداد الكائنات الحية والحشرات ، تستخدم كبديل للكيماويات
● اللحوم والطيور والأسماك	٠,١ إلى ١٠ ك جراى	تؤخر فساد الطعام ، يخفض عدد الكائنات الحية المجهرية فى المنتجات الطازجة والمبردة ، وتقتل بعض أنواع البكتريا المسممة للطعام وتمنع ضرر الطفيليات المسببة للمرض	● الفراولة وبعض الفواكه الأخرى .	١-٥	تمد العمر وتؤخر من نمو العفونة
			● الغلال والفواكه والخضراوات وبعض الأطعمة الأخرى المعرضة للحشرات .	٠,١-٢	تقتل الحشرات أو تمنعهم من التكاثر ، يمكن أن تحمل محل التبخير الدخانى بعد الحصاد
الموز والأفوكادو والمانجو والباباظ والجوافة وبعض الفواكه من غير الحمضيات	لا يزيد على ١,٠	يؤخر النضج	البطاطس والبطاطا والبصل والثوم والجنزبيل	٠,٠٥- ٠,١٥	يمنع التبيت
الغلال والخضراوات المجففة والأطعمة الأخرى	جرعات مختلفة	التغييرات المطلوبة مثل تقصير وقت التليين			

المصدر : American Council on Science and Health 1988

● تأثير الإشعاع المؤين على القيمة الغذائية:

- أسفرت دراسات سلامة الأطعمة المشعة عن أربعة جوانب :

١- السلامة من وجهة التأثير الحيوى للإشعاع .

٢- السلامة من وجهة التأثير الحيوى للميكروبات .

٣- الفائدة الغذائية الملائمة.

٤- السلامة بالنسبة لتواجد السميات.

● قام فريق من كل من

١- خبراء الفاو (FAO) .

٢- وكالة الطاقة الذرية (IAFA).

٣- وكالة الصحة العالمية (WHO) عام ١٩٨١ بمراجعة عدة دراسات فى عدة معامل وتوصلوا إلى أن الجزم بسلامة واكتمال جودة الأطعمة المشعة وشمل القرار أن تشعيع أى منتج أطعمة بجرعات تصل فى المتوسط إلى ١٠ كيلوجراى لا تشكل أى خطر من ناحية السميات . وبهذا فليس من الضرورة اختبار منتجات التشعيع من الأطعمة التى تعالج فى هذه الحدود ، كما أن الالتزام بهذه الحدود فى التشعيع لا تؤدى إلى مشاكل فى القيمة الغذائية أو التلوث الميكروبى.

١- تشعيع الخضر والفاكهة :

تتميز الخضر والفاكهة عن غيرها من المنتجات الغذائية الأخرى بأنها تتكون من أنسجة حية تتعرض بعد قطفها وأثناء تخزينها للعديد من الفطريات والحشرات التى تهاجمها مما يؤدى إلى تلفها .. وللحفاظ على جودتها العالية ، فباستثناء التبريد مع إضافة مواد كيميائية حافظة فى بعض الأحيان فإن كل تقنيات الحفظ الأخرى بما فى ذلك التسخين والتعرض للإشعاع المؤين تقلل من جودة الفاكهة والخضراوات بصورة ملموسة مقارنة بجودتها عند الحصاد .

ولسوء الحظ فإن عملية التشعيع لكثير من الفواكه والخضراوات تتطلب جرعات كافية للقضاء على مسببات عطبها والقضاء على الإنزيمات المؤدية للأيض الهدمى ، فتلك الجرعات كافية لإيذاء الأنسجة النباتية مع الحط من جودتها .

العلاقة بين جرعات التشعيع (كيلوجراى) التى تسبب تدمير الجودة ومنع العطب:

المنتج	أقصى جرعة يحتملها المحصول	أقل جرعة مطلوبة للتحكم فى العطب	المنتج	أقصى جرعة يحتملها المحصول	أقل جرعة مطلوبة للتحكم فى العطب
المشمش	٥٠	٢٠٠	الفراولة	٢٠٠	٢٠٠
الليمون	٢٥	١٥٠-٢٠٠	العنب	٢٥-٥٠	١٠٠٠
النكتارين	١٠٠	٢٠٠	الطماطم	٥٠-١٠٠	أكبر من ٣٠٠
البرتقال	٢٠٠	٢٠٠	الخوخ	١٠٠	٢٠٠

المصدر (Maxie etal 1971)

● **العمليات الناجحة لتشعيع الخضر والفاكهة :**

استمرت البحوث والمحاولات على نطاق تجارى لتشعيع عدد من محاصيل الخضر والفاكهة ، وقد أدت هذه المحاولات إلى الآتى :

١- الفراولة .. وهى من المحاصيل سريعة التلف ولا تتحمل التخزين لمدة طويلة أقصاها أسبوع على درجة حرارة ٥°م وظروف خاصة .. وباستخدام الجرعة الإشعاعية التى تتراوح بين ١,٥-٢,٥ كيلوجراى فإنها تعمل على إعاقة نمو فطر العفن الرمادى والمسئول الأول عن إصابتها فى مرحلة التداول والتخزين ، على أن تخزن فى درجة التبريد حوالى ٢°م فأمكن إطالة مدة التخزين من أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع .

ولوحظ أن تعريض الثمار لجرعة أعلى من ذلك تؤثر على صفات الجودة فى الثمار وتسبب طراوتها .

٢- استخدام التشعيع فى عمليات منع النضج والتبرعم .

● حيث أمكن وقف نضج الموز السريع وكذلك بالنسبة للمانجو والكاكاو والمشمش وذلك باستخدام جرعات صغيرة ٣٠ إلى ٣٥ كيلوراد .

● حيث أمكن التشعيع بجرعات منخفضة ٠,٠٥ إلى ٠,١٥ كيلوجراى لمنع التبرعم فى البطاطس والبصل والثوم والجزر واللفت والبنجر والجنزبيل .. ونظرًا لأن هذه الجرعة الصغيرة مناسبة وقليلة التكاليف فإن كثيرا من الدول تستخدمها الآن .

٣- القضاء على الحشرات التى تصيب العديد من محاصيل الفاكهة وأهمها تسوس التمر والذى يعتبر من مهلكات محاصيل البلح عند تحوله إلى تمر جاف وتخزينه للتوزيع ، وكذلك تسوس النقل واستخدام الحجر الصحى أسلوب التعفير لفترة طويلة للقضاء على الحشرات وتوقف استخدامها بسبب ضررها على صحة المستهلك والعاملين على إجراء التعفير وكان البديل الناجم هو استخدام التشعيع بجرعات منخفضة لا تزيد على ١ كيلوجراى ، وهذه الجرعة لا تؤثر على الجودة.

٤- منع نمو الفطريات والميكروبات التى تسبب تلف المحاصيل البستانية، حيث لوحظ أن ثمار الفاكهة والخضر لا تتحمل الجرعات المرتفعة نوعًا ما والتى يمكن استخدامها لوقف نمو الميكروبات المفسدة ، حيث إن هذه الجرعات لا تتحملها الثمار وتؤدى إلى تغيرات غير مرغوبة فى قوامها حيث تسبب ليونة أنسجة الفاكهة . ولذلك وجد أن إجراء المعاملات المشتركة مع الإشعاع مثل غمس الثمار فى ماء ساخن قبل التشعيع يؤدى إلى تقليل معدل الجرعة المستخدم وبالتالى لا تؤثر الجرعة على صفات الجودة.

٢- **تشعيع الغلال** : الجرعة المستخدمة لمكافحة الحشرات فى الحبوب ومنتجاتها أقل من ١ كيلوجراى وهى بديل ناجح لاستخدام المبيدات وما تسببه من مخلفات على الغلال ، بينما استعمال التشعيع لا يترك أى آثار ضارة على حبات الغلال .

كما أن استخدام جرعات أكثر من ذلك ٢ كيلوجراى تمكنت من خفض عدد الكائنات الحية الدقيقة الموجودة بالغلال ومنتجاتها إلى جانب إطالة فترة حفظها فى المخازن ، كما أن استخدام جرعات أكبر من ذلك فإنها تقلل من زمن الطهى للبقول وتزيد من حجم الرغيف المخبوز لتكون ثانى أكسيد الكربون والماء ، مما يؤدى لخبز أكثر مسامية . وتستخدم فى تشعيع الغلال واحدة من الطرق المستخدمة فى التشعيع ، مثل أشعة إكس أو أشعة

جاما أو التعجيل الإليكترونى ، وعادة ما تستخدم عمليات التشعيع فى الغلال أثناء دفعها من البواخر للشاطئ أو العكس . حيث تدفع فى تيار الهواء وتسلط عليها أشعة جاما والتى يمكنها التأثير على الشرانق والحشرات المكتملة النمو، ولوحظ أن حساسية الحشرات لطاقة التأين تنخفض عندما يقل الأكسجين بالتفريغ أما تأثير طاقة التأين على القيمة الغذائية للحبوب المعرضة للإشعاع فتبين أن الجرعات الموظفة لها تأثير محدود على احتباس المكونات الغذائية إذا كان لها أى تأثير أصلاً كما يتضح من الجدول التالى:

استقرار المكونات الغذائية فى الحبوب المشعة :

المنتج	الجرعة (كيلوجراى)	المحتويات الغذائية	نسبة الاحتفاظ (٪)
القمح	٠,٢ - ٢	الثيامين	٩٠
		ريبو فلافين	٩٠
		نياسين	٩٠
دقيق القمح	٠,٣ - ٠,٥	ثيامين	١٠٠
		ريبو فلافين	١٠٠
		نياسين	١٠٠
		بيريدوكسين	١٠٠
الذرة	٠,٢٥ - ٣	محتويات بروتين	١٠٠
		جودة البروتين	١٠٠
		الفيتامينات	١٠٠
الذرة العويجة البيضاء	٠,٢	أحماض أمينية	١٠٠
		فيتامينات ب١ ، ب ١٢ ،	
		نياسين، حمض بانتوثينيك	
الشوفان	١ نيتروجين	فيتامين E	٩٥
	١ هواء	فيتامين E	٤٤
الأرز البنى	١-٢	ثيامين - ريبوفلافين	١٠٠

** تشعيع التوابل والبهارات

تقسم التوابل إلى ٣ أنواع :

١- البهارات : مثل الفلفل الأسود والقرنفل والقرفة وهى من أصل استوائى .

٢- الأعشاب الطيبة الرائحة (عطرية) مثل الريحان والبردقوش والعتر والنعناع .. وهى من نباتات ورقية تزرع فى المناطق المعتدلة.

٣- بذور التوابل مثل الكرفس / الخردل / والباتسون ، وتزرع فى مناطق استوائية أو معتدلة ، وتستخدم التوابل فى إعداد الأطعمة المنزلية وفى الاستخدام الصناعى فى منتجات اللحوم والأسماك والمخبوزات ، ومشكلة التوابل هى احتواؤها على أتربة ناعمة وبكتيريا مما يؤدى إلى فساد تلك الأغذية وما يتبع ذلك من مخاطر صحية على المستهلك ، وترجع غالبية البكتيريا الموجودة فى البهارات إلى التربة التى نمت فيها وكذلك التلوث الذى قد يحدث عند الحصاد وخلال عمليات التداول والنقل .

ولذلك تتطلب هذه التوابل طرقا لتقليل الأحمال الميكروبية فى التوابل والتى تسبب مشاكل لمصانع الأغذية التى تستخدم التوابل وكذلك التخلص من الميكروبات الممرضة والمفرزة للسموم ومن الإصابات الحشرية .. وقد استخدم فى ذلك عدة طرق ، منها : التدخين والتعقيم الحرارى ، وكلها طرق لها مضارها وتترك آثارًا مؤذية.

ووجد أن التشعيع أفضل الطرق ، حيث إنه لا يغيّر من أحاسيس المذاق أو الشم عند الاستهلاك ، كما أنه عملية سهلة وغير مكلفة ويمكن تشعيعها بعد التعبئة فى أكياس البلاستيك لتفادى التلوث عقب تعقيمها .. وتقضى على كل من العفن والخمائر والبكتيريا ، والديدان والحشرات التى تدمر الأطعمة عند تخزينها .

ووجد أن الجرعة التى تنحصر ما بين ٢٠-٣٠ كيلوجراى تؤدى إلى تعقيم كامل لأنواع عديدة من التوابل، وربما تكفى جرعة مقدارها ١٠ كيلوجراى

للتخلص من كل الآثار الميكروبية على البهارات دون التضحية بخصائص جودتها .

إلا أن تعريض البهارات لإشعاع مؤين بجرعات أكبر من ١٠ كيلوجراى قد يؤثر على جودتها الكيميائية ومذاقها وإن كان تعقيمها يكون كاملا .

** تشعيع اللحوم الحمراء

● الأمان من الميكروبات :

تعتبر الحيوانات التى يؤخذ منها اللحوم الحمراء ومنتجاتها مرتعًا خصبًا للملوثات الميكروبية من مختلف المصادر ، فالبكتيريا والكائنات الحية المجهرية الأخرى يمكن أن توجد فى جلودها وأوبارها وحوافرها وفى مجرى الجهاز الهضمى والبولى والتناسلى والتنفسى ومدرات الألبان. فالكائنات الممرضة فى الجهاز المعوى ، مثل السالمونيلا وليستريا .. يمكنها الانتقال بسهولة لأنسجة العضلات عند ذبحها وإعداد الذبيحة ، كما أنها تتلوث أيضًا عند ملامستها لأى سطح غير نظيف أو عن طريق الهواء والماء الملوث ومن الأيدى العاملة فى إعدد اللحوم.

- طرق الحد من تفشى الأمراض المتولدة من استهلاك اللحوم الحمراء:

١- منع التلوث المبدئى للمنتجات بتحرى النظافة الصحية الملائمة لكل الأسطح التى يلامسها الطعام.

٢- الحد من تكاثر البكتيريا المتواجدة فى الطعام أو إبطاء معدل تكاثرها بالتبريد أو التجميد .

٣- القضاء على عدد الملوثات أو التقليل منها باستخدام أى وسيلة لإعداد الطعام.

● مزايا تشعيع اللحوم :

١- إطالة فترة الحفظ : أمكن استخدام جرعة تشعيعية متوسطة بتشعيع اللحوم البقرى بجرعة ٢,٥ كيلوجراى ، حيث أدت لخفض العدد

الكلى للبكتيريا الهوائية التى تنتعش فى وجود الأكسجين ، وكذلك البكتيريا غير الهوائية وكذلك إبادة كل الكائنات الحية المشابهة لوحيدة الخلية ، كما يمكن أيضًا إطالة فترة حفظ اللحوم المصنعة مثل اللانشون.

فترة تخزين اللحوم الحمراء المشعة :

منتجات اللحوم	الجرعة (كيلوجراى)	مدة الخزن دون تشعيع (يوم)	مدة الخزن بعد التشعيع (يوم)
لحم بقرى	٢,٥	٣-٢	٩
لحم بقرى من أعلى الفخذ	٢	١١-٨	٢٨
برجر لحم بقرى (مفروم مع نسبة من الدهون)	١,٥٤	١٠-٨	٢٨-٢٦
قطع لحم بقرى	٢	×١	×٢
قطع لحم بقرى مشعة فى حاوية مفرغة من الهواء	٢		٧٠
لحم بقرى مخلل أو مملح	٤	٢١-١٤	٣٥
لحم خروف كامل أو مفروم	٢,٥	٧	٣٥-٢٨

وبناء على الجدول السابق يمكن استخدام جرعة تتراوح ما بين ٢-٥ كيلوجراى وتتوقف الجرعة المستخدمة على نوع اللحوم وطريقة التعبئة ودرجة الحرارة أثناء التشعيع والتخزين ، وتعتبر هذه الجرعة كافية للقضاء على أكثر من ٩٧٪ من الميكروبات الموجودة بها مما يؤدى لإطالة فترة حفظها .

٢- القضاء على الميكروبات المرضية : للتغلب على البكتيريا الممرضة مثل السالمونيلا ، فقد لوحظ أنها تتطلب درجات عالية من التشعيع ٧ كيلوجراى كحد أعلى للحوم المجمدة عند ١٨°م ، كما أن هناك مساعى لتغلفة اللحوم فى جو خال من الأكسجين وكذلك التعليب المفرغ من الهواء والمعدل بهدف القضاء على البكتيريا الممرضة ، مثل السالمونيلا ، غير أن البكتيريا المسببة للأمراض المتواجدة فى المواد الغذائية تختلف فى حساسيتها للتشعيع .

فللقضاء على الفيروسات فى اللحوم الحمراء يمكن استخدام جرعات

من ١٥ مع المعالجة الحرارية عند ٧٨ درجة مئوية لمدة ٢٠ دقيقة قد أوقفت الفيروس تمامًا فى الأنسجة ، وعمومًا يتم التشعيع للحوم الحمراء وهى على حالة مجمدة حتى نتفادى أى تغيرات غير مستحبة.

الجودة الحسية :

عند استخدام لجنة تذوق لتقييم الجودة الحسية فى اللحوم المعالجة بالإشعاع المؤين هناك عدد من الاختبارات يتم إجراؤها على اللحوم عن طريق عدد من المحكمين ، وكانت النتائج كالتالى :

١- ليس هناك اختلاف فى اللون الداخلى أو الخارجى للعينات المشعة والعينات غير المشعة حتى اليوم الحادى عشر من التشعيع .

٢- فى اليوم الخامس عشر بعد تخزين العينات بالمبردات ، كان تقييم اللون الداخلى للعينات المشعة مرتفعا وقريبا من ممتاز بالمقارنة بتقدير العينات غير المشعة وربما يعزى ذلك إلى أن عينات القياس قد فسدت فى تخزينها تحت التبريد .

٣- فى اليوم الخامس عشر بعد تخزين العينات بالمبردات ، لم يلاحظ على العينات التى تعرضت لجرعة ١,٥٤ كيلو جراى تغيير فى الرائحة مقارنة بالعينات التى تعرضت لجرعة ١,٠٣ كيلوجراى ومقارنة بعينات القياس التى أظهرت تغيرًا ملحوظًا فى الرائحة بعد ٤ أيام من التخزين فقط.

٤- كان للعينات التى تعرضت للإشعاع رائحة مميزة بعد التعرض للإشعاع مباشرة ، ولكن تلك الرائحة اختفت بعد تعرضها للهواء ، مما يرجح أن كبريتات الأيدروجين كانت من مركبات تلك الرائحة غير المرغوبة.

• ومن نتائج بعض الاختبارات لبيان الجودة الحسية على عينات مختلفة كانت النتائج كالتالى :

١- لحم بقرى مفروم وستيك معامل بجرعة ٢,٠ كيلوجراى - ليس هناك خلاف بين العينات المشعة وغيرها غير المشعة .

٢- شرائح لحم الفخذ - ٢ كيلوجراى - ليس هناك أى تغير فى الرائحة.

٣- لحم بقرى تعرض لجرعات ٢ كيلوجراى فى عبوات مفرغة من الهواء- حازت العينات المشعة على درجة تقارب درجة ممتاز خلال فترة تخزينها فى المظهر والرائحة مقارنة بالعينات غير المشعة.

٤- لحوم غنم وتعرضها لجرعات ٢,٥ كيلوجراى وتخزينها خمسة أسابيع نالت العينات درجة ٥ من ١٠ بالنسبة للرائحة ، والعينة غير المشعة فسدت من الأسبوع الخامس وفى نفس الوقت تماثل رائحة عينة تم خزنها مجمدة لنفس الفترة .

٥- عينة من البولوبيف بجرعات ١ و٢و ٤ كيلوجراى ، تبين أن الرائحة المغايرة تزداد مع زيادة الجرعات ، كما كان هناك فروق كبيرة بين العينات التى لم تخضع للتشعيع بالمقارنة بالعينات التى تم تشعيعها بجرعات ٢ و٤ كيلوجراى فى أعقاب التشعيع مباشرة .

● **تأثير عوامل التصنيع :**

وجد أن عوامل التصنيع مثل درجة الحرارة والجو المحيط بالمنتج ومكونات المنتج تلعب دورًا كبيرًا فى جودة المنتج النهائى ، وعن طريق التحكم فى هذه العوامل يمكن الحصول على منتج نهائى جيد ، كما فى الأمثلة التالية :

■ **تأثير درجة الحرارة :**

- فى تقييم للجودة الحسية لقطعيات لحم البقر المعرض للإشعاع المؤين بجرعة ٢ كيلو جراى عند درجة حرارة ٢°م و٢٥° م ⟵ العينات المشعة عند درجة أعلى من ٢٥° م لاقت قبولاً جيدًا يضاهى العينات غير المشعة من حيث الطراوة والليونة ، ولكنها لاقت قبولاً أقل من حيث المذاق والرائحة ، أما العينات المشعة عند درجات أقل من ٢°م لم تلق قبولاً كبيرًا من حيث المذاق والرائحة بعد تخزينها لمدة أسبوعين بالمقارنة بالعينات غير المشعة ، ولكن بعد مرور ٤ أسابيع لاقت قبولاً أكبر ثم زاد القبول بعد ٨ أسابيع .

- التشعيع عند درجات حرارة منخفضة يرفع من جودة اللحوم المشعة.

■ جو التشعيع :

- وجد أن تعبئة اللحوم فى حوايا Packages تحتوى على ٢٥٪ إلى ٣٠٪ من غاز ثانى أكسيد الكربون ونسبة ٧٥٪ إلى ٧٠٪ من غاز النيتروجين تحفظ لون ورائحة اللحوم المعالجة إشعاعيًا بعد فترة طويلة من التخزين .

- التعبئة فى جو يحتوى على ٢٠ ٪ من ثانى أكسيد الكربون ونسبة ٨٠٪ من النيتروجين ، أو على ٢٠٪ من الأكسجين ونسبة ٢٠ ٪ من غاز ثانى أكسيد الكربون ونسبة ٦٠٪ من النيتروجين يطيل مدة حفظ اللحوم المشعة.

وعلى ذلك فإن تشعيع اللحوم المعبأة فى جو يحتوى على أكسجين ونيتروجين أو إلى مخلوط بينهما وبين ثانى أكسيد الكربون تنتج منتجات ذات جودة قصوى على أن لا تقل نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون فى الجو عن ٣٠٪، كذلك فإن التعبئة فى جو مفرغ تفيد من حيث قبول اللون وإن كانت تؤدى إلى تغير فى الرائحة إلا أن الرائحة المغايرة تزول بمجرد فتح العبوة.

وهذا يشير إلى أن استخدام تقنية التشعيع فى حفظ اللحوم يكفى للقضاء على البكتيريا المؤدية للأمراض وينتج لحومًا آمنة الاستخدام.

** تشعيع الدواجن

تتعرض الدواجن أثناء عمليات التداول إلى العديد من الميكروبات المفسدة والممرضة المسببة للتسمم الغذائى ، وأخطر هذه الأمراض انتشارًا السالمونيلا ، ووجد أن الإصابة فى الولايات المتحدة تعدت ٢مليون حالة إصابة بالسالمونيلا سنويا بين السكان ، وكانت الإصابة بسبب أطعمة ملوثة من لحوم الطيور ولحم البقر ومنتجاتهم من البيض واللبن ، وقد وجد ميكروب السالمونيلا فى الدواجن المجمدة والمخزنة تحت ظروف التجميد ١٨°م بعد ٦ شهور من التخزين.

وقد أشارت الدراسات عن تشعيع الدواجن أن درجة المعاملة بالتشعيع تتوقف على الغرض من التشعيع وعلى حالة الدواجن إذا كانت مبردة أو مجمدة ، فالدواجن المجمدة تتطلب جرعات أكبر من الجرعة اللازمة فى الدواجن المبردة للقضاء على البكتيريا الممرضة.

- للقضاء على الميكروبات المفسدة لإطالة فترة التخزين والحفظ فإن استخدام الجرعة ٥ كيلوجراى والتخزين على درجة ٢°م لمدة ٣ أسابيع . ومن خلال البحوث داخل جمهورية مصر العربية وجد أن :

- الدواجن المبردة تعرض لجرعة تشعيعية من ٢-٣ كيلوجراى.
- والدواجن المجمدة تعرض لجرعة تشعيعية تصل إلى ٧,٥-٨ كيلوجراى.
- ووجد أن تشعيع الدواجن المجمدة عند درجة حرارة ١٨°م حتى جرعة ٥-٧ كيلوجراى لا تؤدى إلى أى تغيرات فى الصفات الحسية للدواجن ، كما أنها لا تؤثر على القيمة الغذائية للدواجن.

** تشعيع حفظ الأسماك :

أمكن عن طريق التشعيع للأسماك والأسماك الصدفية إطالة فترة الحفظ والتخزين فى الثلج ، فباستخدام جرعة ٢ كيلوجراى أمكن إطالة فترة الحفظ والتخزين إلى حوالى ٧-١٠ أيام مع الحفاظ على طزاجته.

- كما أمكن استخدام التشعيع لسمك المكاريل الطازج بجرعات ١ و ١,٥ و٢,٥ كيلوجراى من أشعة جاما، فقد أمكن المحافظة على الجودة الطازجة لمدة ٨ و١٤و٣٥ يومًا (وفق كمية الجرعة) والمحافظة على طزاجته عن السمك غير المشعع.

- وقد أمكن تشعيع الكبوريا والجمبرى الطازج بجرعات ١ و ١,٥ و ٢,٥ كيلوجراى من أشعة جاما، فأمكن إطالة فترة الحفظ إلى فترات طويلة مع التخزين البارد.

- وعمومًا فإن استخدام الجرعات التى تتراوح ما بين ١,٥-٣,٥ كيلوجراى تؤدى إلى القضاء على حوالى ٩٩٪ من إعداد الميكروبات المفسدة التى على الأسماك قبل التشعيع (حيث أجريت التجربة على سمك البلطى النيلى) وطالت فترة الحفظ لمدة ٢٤-٢٨ يوما على درجة التبريد - وذلك مقابل ٧ أيام لعينات المقارنة ، كما أن الجرعات ما بين ٢-٥ كيلوجراى تكفى للقضاء على الميكروبات الممرضة.