الفصل الثامن

حفظ الأغذية بالإشعاع

الدكتور محمود على بخيت

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الثامن

حفظ الأغذية بالإشعاع

استخدام الإشعاع في حفظ الاغذية يعتبر من أحدث الطرق في هذا المجال رغم أن تأثير الإشعاع على الأحياء الدقيقة معروف من سنين طويلة. وتعتبر الأشعة المتأينة Ion-izing radiation أكثر الأنواع تطبيقا في مجال حفظ الإغذية وتنقسم بدورها إلى نوعين أساسيين:

1) الإشعة الإلكترونية ذات الطاقة العالية:

The high-energy electron beam

وهي عبارة عن موجات من الإلكترونات تنتج بواسطة أجهزة خاصة تقوم بتحطيم الذرة مثل الـ Cyclotrone أو الـ Linear accclerator وكما هو معروف فإن هذه الإلكترونات تحمل شحنة سالبة وتقوم هذه الأجهزة بزيادة سرعتها إلى أقصى درجة وبالتالي تزداد طاقتها. ومن أمثلتها أشعة بيتا وأشعة الكاثود.

2) الإشعة الكهرومغناطيسية: Electromagnetic radiation

وتنتج هذه الأشعة من خلال انحلال النظائر المشعة مثل الكوبالت – 60 الذي يمكن الحصول عليه عن طريق تشعيع معدن الكوبالت في المفاعلات النووية وكذلك السيزيوم – 137 الذي يعتبر أحد نواتج انشطار عناصر الوقود المستخدم في المفاعلات النووية. ومن أمثلة هذه الأشعة الكهرومغناطيسية أشعة أكس وأشعة جاما.

وكلا النوعين السابقين من الأشعة له تأثير قاتل للأحياء الدقيقة ولكن استخدام الأشعة الإلكترونية في مجال حفظ الأغذية محدود ويرجع هذا إلى ضعف قدرتها على اختراق وتخلل المادة الغذائية فمثلا الإلكترونات التى يصل محتواها من الطاقة إلى 3 مليون الكترون فولت تتخلل فقط مسافة نصف بوصة من المادة الغذائية بينما تستطيع الأشعة

obeikandl.com

الكهرومغناطيسية مثل أشعة جاما أن تتخلل المادة الغذائية لمسافة أكبر كثيراً بالإضافة إلى ذلك فإن أجهزة انتاج الأشعة الالكترونية مكلفة جدا في حين أن النظائر المشعة التي تنتج الأشعة الكهرومغناطيسية يسهل الحصول عليها وبتكلفة أقل خاصة أن بعضها يعتبر من النواتج الثانوية للمحطات النووية مثل السيزيوم ويعتبر الراد Rad هو وحدة قياس الإشعاع ومضاعفاته هى الكيلو راد Kilorad (K rad) والميجاراد Megarad (M rad) .

هذا وتنقسم المعاملات الإشعاعية المستخدمة في مجال حفظ الإغذية إلى ثلاثة أنواع رئيسية حسب جرعة الإشعاع المستخدمة وهذه الأنواع هي:

1) Radappertization:

في هذه المعاملة تستخدم جرعات من الإشعاع تكفي للقضاء على كل أنواع الأحياء الدقيقة الموجودة في الغذاء وينتج عنها درجة من التعقيم للمادة الغذائية تعادل ما ينتج عن المعاملة الحرارية المستخدمة في حفظ الأغذية بالتعليب حيث يتم اختزال اعداد جرائيم بكتريا Clostridium botulinum بمقدار 10^{-12} ولعل هذا هو السبب في أن الاصطلاح الذي يعبر عن هذه المعاملة يتضمن اسم العالم الفرنسي Appert الذي اكتشف عملية التعقيم الحراري للاغذية. وتصل جرعة الإشعاع المستخدمة إلى 4.8 ميجا راد والطاقة اللازمة لتعقيم الأغذية بالإشعاع تعادل $\frac{1}{50}$ من الطاقة اللازمة للتعقيم باستخدام الحرارة وهذا يعني أنه يمكن تعقيم الأغذية بهذه الطريقة دون أن ترتفع درجة حرارتها أكثر من 5° ف وهذا ما يسمى بالتعقيم على البارد Cold strerilization .

2) Radurization:

ويطلق هذا الاصطلاح على المعاملة الإشعاعية التي تختزل عدد الأحياء الدقيقة الموجودة في الغذاء إلى الحد الذي يؤدى إلى زيادة فترة الصلاحية وهذه المعاملة تقارب في تأثيرها عملية البسترة. والجرعة المستخدمة تصل إلى عدة مئات من الكيلو راد ويتطلب الأمر تخزين الغذاء المعامل على درجات حرارة منخفضة بحيث يمكن التحكم في نمو الأحياء الدقيقة التي قد تقاوم تأثير الجرعات المستخدمة خاصة أن بعض سلالات بكتريا التسمم البوتيوليني تستطيع أن تنمو على درجات حرارة 41° ف وربما أقل. ويجب ملاحظة أن وقف أو تأخير

الفساد الميكروبي ليس العامل الوحيد الذي يؤثر على فترة الصلاحية للغذاء وإنما هناك أيضا التغيرات الإنزيمية والتفاعلات الكيميائية خاصة وأن الإشعاع قد يؤدى إلى زيادة معدل حدوث بعض التفاعلات مثل الترنخ الأوكسيدى ولهذا نجد أن فترة صلاحية الغذاء المتوقعة حسب المؤشرات الميكروبيولوجية تقل عند أخذ العوامل الأخرى في الإعتبار.

3) Radicidation:

وفي هذه الحالة تستخدم المعاملة الإشعاعية بهدف القضاء على ميكروب مرضى معين مثل السالمونيلا كما يحدث مثلا عند تشعيع الإغذية المجمدة أو المجففة وهنا لا يكون الهدف من استخدام الإشعاع حفظ الإغذية أو إطالة فترة التخزين وإنما القضاء على الميكروبات المرضية.

وقبل أن نستطرد في الحديث عن تطبيقات الإشعاع في مجال حفظ الإغذية لابد أن نفرق بين التلوث الإشعاعي للإغذية وبين معاملة الغذاء بالإشعاع لغرض الحفظ.

التلوث الإشعاعي للإغذية يعني تلوث الغذاء ببعض جزيئات المواد ذات النشاط الإشعاعي Radioisotopes. ولتوضيح هذا الأمر نستعرض ما يجري عند حدوث انفجار نووي كما حدث في الإتحاد السوفيتي في مفاعل تشيرنوبيل من سنوات قريبة. عند حدوث مثل هذه الانفجارات فإن ذرات المعادن الثقيلة مثل اليورانيوم تنقسم إلى جزيئات صغيرة تسمى نواتج الانشطار وهذه النواتج تعتبر نظائر غير ثابتة للمعادن الموجودة في الطبيعة وخلال فترة من الزمن تتحول إلى نظائر ثابتة وهذا التحول يكون مصحوبا بانبعاث اشعاعي. وفي بداية الانفجار فإن نواتج الانشطار هذه تنتشر في الفضاء على ارتفاعات عالية جدا ثم تبدأ في السقوط إلى أسفل ببطء ويستغرق سقوطها سنوات عديدة وتنتشر خلال هذه الفترة في مساحات كبيرة وأخيرا تصل إلى التربة وما ينمو عليها من زراعات وقد تمتص بواسطة النباتات النامية وعندما يستهلك الإنسان هذه النباتات سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة (استهلاك لحوم حيوانات تغذت على هذه النباتات) فإن هذه النواتج ذات النشاط الإشعاعي تمتص وتدخل في تركيب أنسجة الجسم وبالتالي فإن الإشعاعات المنبعثة منها داخل الجسم تصبح مصدر خطورة كبيرة وتسبب اضرارا جسيمة للإنسان. ومن أمثلة هذه النواتج الإنشطارية الضارة سترونتيم – 90

(Strontium - 90) وسيزيوم – 137، وكربون – 14 . والأول يشابه من الناحية الكيميائية عنصر الكالسيوم ويمتص في جسم الإنسان بنفس طريقة امتصاص الكالسيوم وبالتالي فإنه يدخل في تركيب العظام ونفس الأمر بالنسبة للحيوانات بالإضافة إلى وصوله إلى اللبن وهكذا يصل أيضاً للإنسان. كذلك السيزيوم – 137 يعتبر مشابها للصوديوم والبوتاسيوم ويتم تمثيله في جسم الإنسان بنفس طريقة تمثيل الصوديوم والبوتاسيوم. ويمكن أن نتصور مدى خطورة هذه النظائر المشعة إذا علمنا أن فترة النشاط الإشعاعي لها تستمر مئات وربما آلاف السنين قبل أن تتحول إلى صورة ثابتة غير مشعة.

وبخلاف تلوث المادة الغذائية بجزيئات المواد ذات النشاط الإشعاعي فإن تعرض الغذاء لجرعات عالية من الإشعاع ولمدة طويلة قد يؤدى إلى أن يكتسب الغذاء نفسه نشاطا اشعاعيا وهنا أيضا يصبح استهلاكه ضارا بالصحة. ولهذا عند معاملة الإغذية بالإشعاع تستخدم جرعات محددة لا ينتج عنها اكتساب الغذاء للنشاط الإشعاعي ويشترط أن تقل طاقة الإشعة المستخدمة عن 5 مليون الكترون فولت. وعلى سبيل المثال فإن طاقة الإشعاع الناتج عن الكوبالت – 60 وهو العنصر المشع المعتاد استخدامه في مجال الإغذية تبلغ فقط حوالى $\frac{1}{4}$ هذه الكمية ولهذا لا يوجد خطر منها.

وعن تطبيقات الإشعاع في مجال حفظ الأغذية يمكن القول أن تأثير الإشعاع لا يقتصر على القضاء على الأحياء الدقيقة وإنما يمتد تأثيره أيضا إلى الحشرات والآفات التي قد تصيب الأغذية المخزنة ويعتبر تشعيع الحبوب من التطبيقات الجيدة في هذا المجال. كذلك للإشعاع تأثير على الطفيليات التى تصيب بعض الإغذية مثل يرقات Trichina spiralis التي تصيب اللحوم وتسبب للانسان مرضا يشبه التيفود يسمى التريخينية Trichinosis وبالإضافة إلى ذلك فإن للإشعاع أيضا بعض التأثيرات الفسيولوجية حيث يمكن تثبيط عملية الإنبات التي تتعرض لها البطاطس أثناء التخزين بالمعاملة بجرعات منخفضة من الإشعاع (جدول 23).

ونلاحظ أن الجرعة القاتلة للإنسان عند تعرضه للاشعاع مباشرة حوالي 0.7 كيلو راد وهي أقل كثيرا من الجرعات المستخدمة في حفظ الأغذية. وعموما فإن استهلاك الأغذية المعاملة بالاشعاع غير مسموح به في بعض الدول حتى الآن مثل المملكة المتحدة بينما

يستخدم الإشعاع في الولايات المتحدة الأمريكية كعامل حفظ مساعد في منتجات لحوم الخنزير المعالجة وكذلك يستخدم في تطهير حبوب القمح ومنتجاتها وتثبيط عملية الإنبات في البطاطس وتثبيط الأحياء الدقيقة على سطح ثمار البرتقال.

جدول (18): جرعات الإشعاع المستخدمة لمعاملة بعض أنواع الأغذية

نوع الغذاء	الهدف من المعاملة	مستوى الجرعة بالكيلو راد
البطاطس	تثبيط الإنبات	5 - 10
اللحوم	القضاء على الطفيليات	10
اللحوم	القضاء على السالمونيوم	650
اللحوم	التعقيم	4800
السمك	اطالة فترة الصلاحية	300
القمح	القضاء على الآفات	20
البرتقال	تطهير السطح الخارجي	75 - 200

وجدير بالذكر أن تثبيط النشاط الانزيمي يتطلب عادة جرعة تعادل 5 – 10 أضعاف الجرعة اللازمة للقضاء على الأحياء الدقيقة ولهذا من الأفضل أن يتم تثبيط الانزيمات بوسيلة أخرى واستخدام المعاملة الإشعاعية التي تكفى للقضاء على الأحياء الدقيقة فقط.

تأثير المعاملة بالإشعاع على المادة الغذائية:

تتأثر المواد الغذائية عند معاملتها بالإشعاع وتتعرض لبعض التغيرات في صفاتها ويتوقف هذا على نوع الإشعاع والجرعة المستخدمة وكذلك الظروف البيئية المحيطة بالغذاء فمثلا وجود الاكسجين يؤدى إلى زيادة حساسية البكتريا للإشعاع 2 – 3 أضعاف ودرجة حرارة المادة الغذائية تؤثر أيضا على فاعلية الاشعاع فإذا كانت المادة الغذائية على حالة مجمدة فإن هذا يقلل من تأثير الإشعاع على صفات الغذاء ويقلل كذلك من تأثيره على خلايا البكتريا. بالإضافة إلى ذلك فإن تركيب الغذاء نفسه قد يوفر بعض الحماية للأحياء الدقيقة من تأثير الإشعاع عليها فقد لوحظ أن هذه الأحياء الدقيقة تقاوم تأثير الاشعاع بدرجة أكبر في البيئة العضوية عنها في حالة غير العضوية.

بصفة عامة فإن البروتين في الأغذية يتأثر بالإشعاع حسب الجرعة المستخدمة حيث يتعرض إلى فتح السلاسل الببتيدية وانفجار الجزيئات ويتبع ذلك حدوث بلمرة للأجزاء الناتجة ومع الجرعات العالية من الاشعاع يمكن أن تحدث تغيرات في التركيب الطبيعي للبروتين وهو ما يعرف بالـ Denaturation وقد يحدث ترسيب للبروتين. وتعتبر هذه التغيرات مشابهة تقريبا لما يحدث بفعل الحرارة العالية. وقد وجد أن الإشعاع يؤدي إلى اختزال سمك البيومين البيض وهذا الفقد في السمك يؤثر على جودة البيض المحمر والمسلوق كما أنه يسبب حدوث متاعب عند تدريج البيض اعتمادا على سمك الالبيومين.

وتتعرض الأحماض الامينية إلى فقد مجموعات الأمين وتنتج رائحة الامونيا تبعا لذلك. كذلك تتعرض الأحماض الأمينية الحلقية إلى تكسير التركيب الحلقي. كما تتطاير المركبات المحتوية على الكبريت نتيجة لتكسير الأحماض الأمينية الكبريتية ويعد هذا سببا للرائحة التي تصاحب المواد الغذائية المشعة.

وتعتبر الفيتامينات من المركبات الحساسة بصفة عامة للاشعاع والفقد الذي يحدث فيها يماثل تقريبا الفقد الذي يحدث بتأثير المعاملات الحرارية ويعتبر فيتامين (ك) أكثرها تأثرا.

وبالنسبة للدهون النباتية أو الحيوانية فإن الإشعاع يؤدى إلى تكسير محتواها من مضادات الأكسدة الموجودة بصفة طبيعية كما تتكون البيروكسيدات وتظهر الأحماض ومركبات الكربوكسيل ويرتفع نتيجة لذلك كله الرقم الحمضي ورقم البيروكسيد.

وتؤثر المعاملة بالاشعاع أيضا على الصبغات الموجودة في المادة الغذائية حيث تتعرض الفاكهة والخضروات الملونة إلى بعض الفقد في اللون.

هذا وقد أظهرت الأبحاث أن معظم هذه التأثيرات السلبية على مكونات الغذاء ترجع إلى الشقوق الحرة النشطة التي تتكون عند اختراق الأشعة للغذاء حيث تؤدى إلى تحلل الماء إلى مجموعات OH تتحد مع بعضها وينتج عن ذلك جزيئات من بيروكسيد الأيدروجين كما يتحد الأيدروجين مع الاكسجين الذائب في وسط الغذاء مكوناً بيروكسيدات (Ho2) والتي تتحد هي الأخرى مع بعضها مكونة أيضا بيروكسيد الأيدروجين وانطلاق غاز الأكسجين. بيروكسيد الأيدروجين الناتج وكذلك الشقوق الحرة الناتجة من انحلال الماء تؤثر على التركيب الجزيئي للمواد العضوية فى الغذاء وتتفاعل معها الأمر الذي ينتج عنه التغيرات التي تحدث في مكونات الأغذية وكذلك التغيرات التي تحدث في الخلايا الحية والتي تؤدي إلى

موتها. ولهذا فإن الجهود المبذولة لتقليل تلك التغيرات في مكونات الغذاء تهدف إلى الحد من تكون هذه الشقوق الحرة وتقليل التفاعلات الممكن حدوثها بينها وبين مكونات الغذاء وفي هذا الصدد يمكن معاملة الغذاء بالإشعاع وهو فى الحالة المجمدة حيث يقل تكون الشقوق الحرة وكذلك يحد التجميد من انتشارها وهجرتها إلى مكونات الغذاء وهكذا يمكن الحد من التغيرات غير المرغوبة. كذلك إجراء المعاملة تحت تفريغ أو في وجود غاز خامل وهكذا فإن عدم وجود الأكسجين سوف يحد من تكون بيروكسيد الأيدروجين ولكن يجب ملاحظة أنه في كلا الحالتين سوف يقل أيضاً تأثير الاشعاع على الأحياء الدقيقة. والطريقة الأفضل هي إضافة المواد ذات القدرة على ربط الشقوق الحرة مثل حمض الاسكوربيك وهذا يسهل عمله مع الأغذية السائلة ولكن يصعب ذلك مع الأغذية الصلبة.

العوامل المحددة لجرعة الإشعاع المستخدمة:

1- الأمان وسلامة الغذاء:

الغذاء المعامل بالإشعاع لابد أن يكون آمناً من الناحية الميكروبيولوجية ولابد أيضاً من ضمان عدم التأثير على قيمته الغذائية بطريقة جوهرية وأن تكون الجرعة المستخدمة لا تسبب تكون مواد سامة أو مسرطنة ولا تؤدى إلى اكتساب الغذاء للنشاط الإشعاعي وقد أظهرت الدراسات التي أجريت في هذا المجال سلامة الغذاء من كل هذه الأمور خاصة مع الجرعات القليلة المستخدمة للبسترة وقتل الحشرات وتثبيط الإنبات.

2- مقاومة الأحياء الدقيقة:

كما في حالة المقاومة للحرارة العالية فإن ميكروب Clostridium botulinum يعتبر أكثر الأحياء الدقيقة مقاومة للإشعاع رغم أن بعض الفيروسات والأحياء الدقيقة مقاومتها أيضاً عالية إلا أنه يمكن القضاء عليها بسهولة بالحرارة قبل إجراء المعاملة بالإشعاع. عموماً هناك بعض العوامل التي تساعد الإشعاع في القضاء على هذا الميكروب مثل درجة PH التي تقل عن 4.6 ووجود الهواء ومستوى الرطوبة المنخفض. وفي حالة غياب هذه العوامل فلابد من تطبيق المستوى من الإشعاع الذي يكفل القضاء على هذا الميكروب والذي يصل إلى 4.8 ميجاراد في حالة اللحوم بينما في حالة انخفاض درجة الـ PH للغذاء عن 4.6 فإن ميكروب الـ Clostridium botulinum لا يمثل مشكلة ويكفى استخدام جرعة من الإشعاع تصل إلى 2.4 ميجاراد للقضاء على أنواع الميكروبات الأخرى المسببة لفساد الغذاء.

3- مقاومة الغذاء:

التركيب الكيميائى والطبيعى للأغذية والذى يختلف كثيراً من غذاء إلى آخر يحدد المستوى من المعاملة الإشعاعية التى يمكن تطبيقها دون أن تؤثر على قابلية الغذاء للاستهلاك. وقد وجد أن الدجاج ولحم الخنزير والجمبرى يمكن معاملتها بالإشعاع حتى مستوى التعقيم (4.8 ميجا راد) وفى بعض الحالات قد تتكون رائحة غير مرغوفة ولكنها غالباً تختفى أثناء التخزين. بعض الخضراوات أيضا تتحمل نفس الجرعة بينما الفاكهة تتحمل جرعة تصل إلى 2.4 ميجا راد. الأغذية الحساسة للمعاملة بالإشعاع مثل السمك وبعض أنواع اللحوم والفاكهة تتحمل المعاملة بمستوى البسترة فى حدود 10^5 - 10^6 راد.

4- مقاومة الإنزيمات:

كما سبق ذكره فإن مقاومة الإنزيمات للإشعاع عالية جداً ونحتاج إلى معاملة الغذاء بجرعات تصل إلى 20 ميجاراد وهذه الجرعة العالية سوف تؤدي إلى تغيرات جسيمة في الغذاء تجعله غير مقبول للاستهلاك ولهذا يتم القضاء على النشاط الإنزيمي بأي وسيلة أخرى مثل السلق.

5- التكلفة:

الجرعات العالية من الإشعاع يتم الحصول عليها باستخدام مصادر إشعاع قوية أو عن طريق إطالة مدة التعرض وفي الحالتين سوف يؤدي ذلك إلى زيادة التكلفة وحسب نوع الغذاء قد تكون المعاملة بمستوى البسترة مناسبة من الناحية الاقتصادية بينما زيادة المعاملة إلى مستوى التعقيم قد لا تكون كذلك. كذلك نجد أن بعض الأغذية يكون حفظها بالطرق الأخرى المعتادة أقل في التكلفة وفي هذه الحالة لا تكون هناك حاجة ماسة لاستخدام الإشعاع. ومن ناحية اخرى فإن استخدام المعاملة الإشعاعية كعامل حفظ مساعد يكون أحياناً مفيداً لدرجة كبيرة في بعض الحالات فمثلا استخدام جرعات الإشعاع التي تحقق تأثير البسترة يؤدى إلى زيادة فترة الصلاحية للأغذية المحفوظة بالتبريد مثل الأسماك واللحوم والفاكهة والخضروات من عدة أيام قليلة إلى عدة أسابيع. كذلك فإن المعاملة بالإشعاع للقضاء على الميكروبات المرضية مثل السالمونيلا في الدجاج ومنتجاته وبكتريا القولون في

اللحوم المفرومة يكون مفيداً في الحد من مخاطر الإصابة بهذه الميكروبات وما ينتج عنها من حالات مرضية.

مستقبل المعاملة بالإشعاع فى حفظ الأغذية:

استخدام الإشعاع في حفظ الأغذية يتم في معظم الدول التي تجيز استخدامه من خلال التطبيقات التي تسمح بها منظمة الأغذية والأدوية العالمية حيث تحدد المنظمة نوع الغذاء المسموح بمعاملته وكذلك جرعة الإشعاع المستخدمة ومثال ذلك معاملة الفاكهة والخضروات بجرعات تكفى لقتل الآفات أو تثبيط الإنبات أو تأخير النضج وكذلك البطاطس كما أجازت المنظمة تشعيع الدواجن ولحم الخنزير والتوابل بهدف اختزال عدد الأحياء الدقيقة. وفي كل الأحوال لابد من النص في بيانات البطاقة الملصقة على الغذاء على أن الغذاء معامل بالإشعاع.

وعموماً فإن استخدام الإشعاع في مجال حفظ الأغذية لا يزال مثار جدل تختلف حدته من مكان لآخر ومازال من الصعب حتى الآن وضع قواعد وقوانين ثابتة لهذه العملية وغالبية الدول تعتمد على ما تجيزه منظمة الأغذية والأدوية من المعاملات الإشعاعية وأخيراً يمكن القول أن استخدام الإشعاع كوسيلة لحفظ الأغذية يحتاج إلى المزيد من الأبحاث والدراسات وحتى الآن لم يثبت حدوث أى أضرار من الناحية الصحية نتيجة استهلاك الأغذية المعاملة بالإشعاع حتي بالجرعات التي تؤدى إلى تعقيم الغذاء (Radappertization) .

المراجع

- Derr, D. D. (1993). Food irradiation: What is it? Where is it going? Food Nutr. News 65 (1), 5 - 6.
- Diehl, J. F. (1990). Safety of Irradiated Foods. Marcel Dekker, New York.
- Diehl, J. F. (1992) Food irradiation: Is it an alternative to chemical preservatives? Food Addit Contam. 9 (5), 409 - 416.
- Diehl, J. F. (1993) Will irradiation enhance or reduce food safety? Food Policy 18(2), 143 - 151.
- Fellows, P. (2000). Food Processing Technology. Principles and Practice. sec.ed, woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. Cambridge. Englad.
- Loaharanu, P. and Thomas, P. (2001). Irradiation for food safety and Quality. Proceedings of FAO/IAEA/WHO - International; conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through Radiation Processing.
- Mason, J. O. (1992) Food irradiation promising technology for public health. Public health Rep. 107 (5), 489 - 490.
- Potter, N. N. and Hotch kiss, J. H. (1995). Food Science. 5 th. ed. Chapmen & Hall m New York.
- Robins, D. 1991. The Preservation of Food by Irradiation: A Factual Guide to the Process and its Effect on Food. IBC Technical Services, London.

– Thayer, D. W. (1990) Food irradiation: Benefits and concerns, J. Food Qual. 13 (3), 147 - 169.

– Thomas, M. H. (1988). Use of ionizing radiation to preserve food. In Nutritional Evaluation of Food Processing. 3rd ed. E. Karmas and R. S. Harris (Editors). Chapman & Hall, London, New York.

– Thorne, S. (Editor). 1991. Food Irradiation, Chapman & Hall, London, New York.

– Truswell, A. S. (1987) Food irradiation. Br. Med J. 294 (6585), 1437 - 1438.

– World Health Organization. (1988) Food Irradiation: A Technique for Preserving and Improving the Safety of Food. World Health Organization, Geneva.

obeikandl.com