تقنية الإشعاعات النووية في الزراعة

د . مصطفى كامل إمام

يشهد الإنتاج الزراعي في العصر الحديث تقدما عظيما وذلك بفضل الجهود التي بذلت خلال السنوات الأخيرة لتحسين الإنتاج الزراعي عن طريق البحث العلمي لاستحداث سلالات جديدة عالية الإنتاج ذات جودة عالية ملائمة للظروف البيئية التي تزرع فيها . وكذلك لتطوير طرق تخزين المحاصيل لحفظها من التلف نتيجة لإصابتها بالفطريات والكائنات الضارة الأخرى .

ساهمت الأبحاث التي أجريت على استخدام الإشعاع في زيادة نسبة الطفرات في النبات ثم انتخاب المناسب منها في عمليات تحسين الصفات الوراثية ، وقد استخدمت الأشعة المؤينة كوسيلة للتعقيم البارد لبعض المنتجات الغذائية بدلا من تعقيمها باستخدام الحرارة والبخار خاصة بالنسبة للمواد التي تتلف بالحرارة العالية ، كما استخدمت الجرعات المنخفضة من هذه الإشعاعات لمنع تزريع بعض المحاصيل الدرنية مثل البطاطس والبصل والثوم ، ولم يقتصر دور النظائر المشعة على هذه الجوانب فحسب بل تعداها إلى جوانب أخرى عديدة كاستخدامها في تقدير نسبة الرطوبة في التربة عن طريق قياس نسبة النيوترونات المتشتتة لمعرفة احتياجات التربة من الماء وتقدير المعدلات والمقننات المائية المناسبة للري من أجل إنتاج أعلى مع ترشيد استهلاك المياه في الري ، وكذلك استخدمت النظائر المشعة في دراسة العمليات الفسيولوجية الدقيقة التي تتم داخل النبات عن طريق تتبع العناصر الموسومة (Labelled element) أي مايطلق عليها اسم المقتفيات (Tracers) التي أدت إلى فهم دقيق لما يتم داخل النبات من عمليات حيوية ، مثل استخدام نظير الكربون ١٤ في دراسة تفاصيل عملية التمثيل الضوئي ، ونظير النتروجين ١٥ في دراسة عملية تكوين البروتينات في النبات من المركبات الأبسط منها ، ونظير الفوسفور ٣٢ والنظائر المشعة الأخرى في دراسة وظائف العناصر المعدنية في تغذية النبات ومعرفة المركبات الوسطية التي تتكون من هذه العناصر بدءا من امتصاصها بوساطة النبات وحتى النواتج النهائية في عمليات التمثيل الغذائي . وقد استفاد العلماء من نتائج هذه الأبحاث في وضع النظريات العلمية التي يقوم عليها النظام الأفضل لتسميد النبات لإنتاج أفضل من المحصول من ناحية الكم والنوع. هذا ويمكن استعراض بعض تقنيات الإشعاعات والنظائر المشعة في مجال الزراعة على النحو التالي :-

تربية النبات

في عام ١٩٢٧م أوضح العالم السويدي مولر Muller - ولأول مرة — أن الأشعة السينية يمكن أن تحدث زيادة في معدل حدوث الطفرات الوراثية في النبات . ومن ضمن صفات هذه الطفرات المستحثة أنه لايمكن تمييزها عن الطفرات الطبعية التي تظهر على النباتات من حين لآخر ، ومما يجدر ذكره أن الطفرة الوراثية هي تغير في تركيب المادة الوراثية في أحد صفات النبات مثل طوله أو لونه أو حجم بذوره والتي قد ينجم عنها تغير شكله أو قدرته على إنتاج مادة كيميائية معينة ....الخ ، وقد تكون بعض هذه الطفرات مفيدة للنبات مثل صفة مقاومة بعض الأمراض أو صفة التبكير في النضج ، إلا أن الغالبية العظمى تكون ضارة مثل الطفرات عديمة اليخضور (Albino) أو الطفرات القزمية (Dwarf) ، وعندما يضع المربي يده على طفرة نافعة يمكن الإستفادة منها بعد دراسة طبيعة توريثها (سائدة أم متنحية) والصفات الإقتصادية الأخرى .

وقد تمت دراسة تأثير أنواع الإشعاعات المختلفة على إحداث الطفرات الوراثية في النبات يمكن تلخيصها في الآتي :-

١ - الإشعاعات المؤينة : تعمل الإشعاعات المؤينة (الأشعة السينية ، إشعاعات جاما ، جسيمات بيتا ، جسيمات ألفا ، والنيوترونات)

عند تعريض النبات لها على تكسير الكروموسومات الحاملة للصفات الوراثية في مناطق مختلة (Chromosome breakage) ونتيجة لذلك تحدث تغيرات كروموسومية منها نقص أو فقدان لبعض أجزاء الكروموسومات (Defiencies) أو انتقال بين أجزاء الكروموسومات (Translocation) تقود إلى تغير في الصفات الوراثية للنبات . وتختلف الصفة التي يحدث بها التغيير باختلاف الموقع الذي حدث فيه كسر للكروموسوم . أما عدد الصفات المتغيرة فيتوقف على عدد المواقع التي حدث فيها الإختلال أو الكسر .

يختلف تأثير الإشعاعات المؤينة حسب الجرعة الإشعاعية ونوع الإشعاع ، فزيادة الجرعة الإشعاعية بغض النظر عن نوعها يعني ازدياد درجة الإختلال في الكروموسومات ، وبالمثل تزداد درجات الاختلال في الكروموسومات باستخدام أنواع معينة من الإشعاع وتنخفض في أنواع أخرى ، فعلى سبيل المثال فإن تأثير الأشعة السينية يعد ضئيلا ومأمونا لأنه يسمح بتكسير أقل للكروموسومات مقارنة بالإشعاعات المؤينة الأخرى (إشعاعات جاما ، جسيمات بيتا ، والنيوترونات) . وقد ينتج عن استخدام الإشعاعات الأخيرة ظهور طفرات مميزة تتميز بغياب عنصر هام من عناصر نمو النبات كظهور نباتات خالية من مادة اليخضور.

ويفضل استخدام الأشعة السينية عن غيرها من الإشعاعات لإحداث الطفرات في برامج تربية النبات لأسباب كثيرة منها أن الجهاز الذي يصدرها متوفر في أغلب مراكز البحث العلمي وأسهل في الإستعمال من غيره من أجهزة الإشعاع . كما يسهل التحكم في معاملة البذور وأجزاء النبات الأخرى بهذه الأشعة علاوة على أنه من السهل حساب الجرعة اللازمة من الأشعة في كل حالة.

٢ ــ الأشعة غير المؤينة : ومنها الأشعة فوق البنفسجية (Ultra violet rays) وهي لا تسبب تأيُّن ولكن تؤدي إلى تهيِّج الإلكترونات . ويمكن الحصول عليها بوساطة مصباح بخار الزئبق(Mercury vapor lamp) وهي أشعة تؤثر على طبقة رقيقة جدا من خلايا النبات، وقد اتضح أنها فعالة في حالة معاملة حبوب اللقاح أو القمم النامية للجذور . ويعد تأثير هذه الأشعة ضئيل جدا في إحداث التغيرات الكروموسومية ولكنها تعطي نسبة كبيرة من الطفرات الموضعية (Point mutations) حيث يكون تأثيرها على موضع معين على الكروموسوم . ويعد تأثير الأشعة فوق البنفسجية أخف حدة من الأشعة المؤينة حيث أنها لا تؤدي إلى تكسير الكروموسومات وإنما تحدث تغييرا في التركيب الكيميائي للمادة الوراثية في جزء معين ينتج عنه طفرة في المورث الموجود على هذا الجزء من الكروموسوم .

يعد الشعير أول المحاصيل الزراعية التي استخدمت في دراسة تأثير الإشعاع على إحداث الطفرات حيث أمكن الحصول على عدة طفرات منه بعد معاملة بذوره بجرعات مختلفة من الأشعة السينية. وعندما اقتربت الجرعات من الكمية المميتة زادت نسبة ظهور الطفرات أكثر من ألف ضعف مقارنة بنسبة ظهورها في الجرعات المنخفضة . وفي عام ١٩٣٠م ظهرت بعض الطفرات ذات سنابل مندمجة وسيقان قوية سُمِّيت (Erectoids) أي ذات الساق القائمة. ومنذ ذلك الوقت ظهرت طفرات أخرى عديدة أثرت على طول النبات وميعاد النضج وحجم البذور واتساع الورقة ولونها وكمية المحصول . وبدا في بعض الأحيان أن الطفرات تؤثر على صفة واحدة في النبات بينما في حالات أخرى كان من الواضح أنها تؤثر على أكثر من صفة .

تبع الشعير محاصيل أخرى استخدمت لدراسة تأثير الإشعاع على إحداث الطفرات مثل القمح والبسلة وفول الصويا والترمس والكتان وبنجر السكر والبطاطس وبعض نباتات العلف النجيلية والتفاح والكمثرى والبرقوق والكرز وبعض الزهور ونباتات الزينة . ورغم كثرة المحاصيل التي تمت دراستها إلا أن عدد الأصناف التي أمكن تربيتها بهذه الطريقة يعد محدودا للغاية لعدم إمكان منافستها للأصناف التجارية التي تعوَّد عليها المزارعون . ولعل أبرز الأمثلة على الأصناف التي تم تربيتها بوساطة الإشعاع صنف الفاصوليا سانيلاك (Sanilac) عام ١٩٥٦ الذي نتج عن تعرض صنف مداد من الفاصوليا للأشعة السينية ، وتتميز هذه الطفرة بنباتات قائمة مبكرة في النضج بمقدار ١٢ يوما عن الصنف الأصلي المداد ، وقد تم تحسين هذه النباتات بإضافة صفة المقاومة لمرض الانثراكنوز(Anthracnose) عن طريق التهجين مع صنف آخر مقاوم لهذا المرض . وبذلك أصبح الصنف الجديد مبكرا في النضج ومقاوما للمرض ومتفوقا في كمية المحصول . ونظرا لأن نباتاته قائمة فقد كان مناسبا لعملية الحصاد الآلي . ولذا فضله المزارعون في ذلك الوقت على الأصناف التجارية الأخرى .

وهناك ميل إلى الإستفادة من الطرز البرية (Wild types) والسلالات الأخرى المتوفرة في بنوك الأصول النباتية عند الحاجة إلى إدخال صفة المقاومة لمرض من الأمراض في أحد المحاصيل بدلا من محاولة استحداثها عن طريق الطفرات . كما يجب الإشارة إلى أن عملية استحداث الطفرات ليست في حد ذاتها طريقة من طرق التربية ولكنها وسيلة لإحداث تصنيفات وراثية جديدة وخاصة في النباتات ذاتية التلقيح التي تكون فيها التصنيفات الوراثية محدودة . ويلزم بعد إحداث الطفرات اتباع أحد طرق التربية المعروفة مثل التهجين أو الإنتخاب الفردي أو الإنتخاب الجماعي من أجل الحصول على صنف جديد يتميز بصفة معينة ويستطيع منافسة الأصناف الأخرى . ولا شك أن استخدام الإشعاع الذري في إحداث الطفرات قد ساهم بطريقة فعالة في مجال تربية النبات على الأقل كمرحلة من مراحل التقدم العلمي .

حفظ المنتجات الزراعية

يعد حفظ الأغذية بالإشعاع أحدث طريقة صناعية ابتكرها الإنسان لحفظ الأغذية بعد طريقة التعليب، وهي تختلف عن التبريد والتجميد والتجفيف التي تعد طرقا محسنة لطرق معروفة طبعيا .

أصدرت إدارة الأغذية والعقاقير (FDA) الأمريكية في عام ١٩٦٣م قرارا يفيد

بأن اللحم البقري المعامل بالإشعاع يصلح للإستهلاك الآدمي دون أي استثناءات ، ومنذ ذلك الوقت بدأت مرحلة جديدة من مراحل صراع الإنسان لحماية غذائه من العطب والفساد ، ويمكن القول دون مغالاة أن استخدام الطاقة الذرية في حفظ الأغذية يعد من أعظم ما تفتق عنه العقل الإنساني في القرن العشرين .

وتستخدم أشعة جاما الناتجة من المعجلات والعناصر المشعة مثل كوبلت ٦٠ او سيزيوم ١٣٧ في تشعيع الأغذية ، ويحظر استخدام أنواع الإشعاعات الأخرى مثل جسيمات بيتا وجسيمات ألفا والنيوترونات لأنها تؤدي في كثير من الحالات إلى حدوث اضطرابات في نوى ذرات العناصر وتكوين نويدات مشعة مما قد يؤدي إلى حدوث أورام سرطانية عند تناولها .

وتختلف الجرعات اللازمة لحفظ الأغذية باختلاف نوع الغذاء وطول الفترة المطلوبة للحفظ . وتقاس جرعة الإشعاع بوحدة الـ « راد» rad أو بالوحدة العالمية المعروفة باسم « الجراي » Gray والتي تساوي ١٠٠ راد .

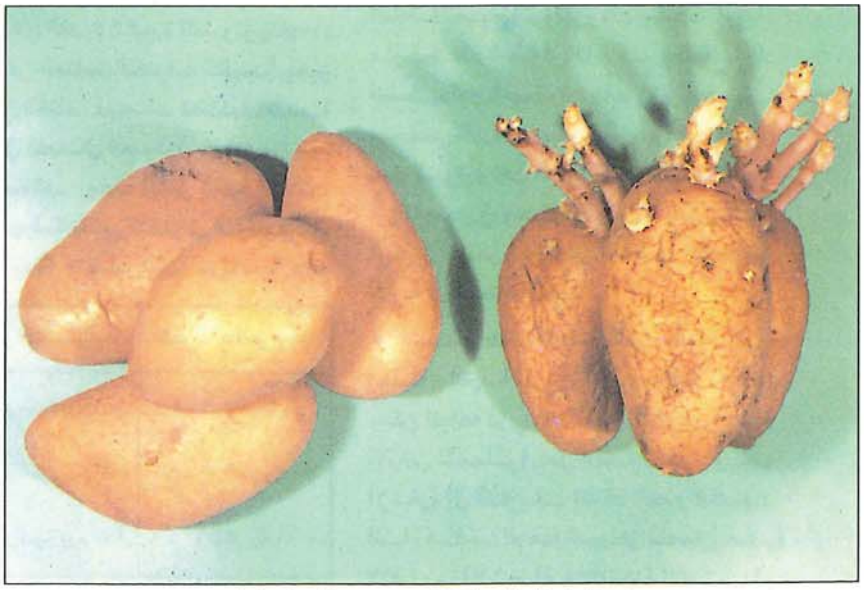
ويمكن تقسيم الجرعات المستخدمة في عمليات الحفظ إلى قسمين رئيسين هما :-

● **القسم الأول :** ويسمى بالجرعات المرتفعة (High doses) ويسمى أيضا بالتعقيم البارد ويتم باستخدام جرعات كبيرة من الإشعاعات تتراوح ما بين ٢ إلى ٤,٥ مليون راد (٢٠ إلى ٤٥ ألف جراي) ، ويفضل التعقيم البارد على التعقيم باستخدام الحرارة بالنسبة للأغذية التي تتأثر بالحرارة العالية، وتكفي هذه الجرعة من الإشعاع لتثبيط كل النظم الحيوية مثل الأنزيمات ، وكذلك للقضاء على الميكروبات وذلك مع مراعاة ضمان عدم تجدد التلوث بعد إتمام المعاملة .

● **القسم الثاني :** ويطلق عليه اسم البسترة الباردة ، ويتم عادة باستخدام جرعات أقل (Low doses) من الإشعاعات تتراوح ما بين ٢٠٠ إلى ٥٠٠ كيلوراد أي ما بين ٢ إلى ٥ كيلو جراي ، وقد تتم كذلك بجرعات أقل .

تنجم عن جرعات البسترة أو الجرعات المنخفضة عنها إطالة الفترة التخزينية للمواد الغذائية لفترة قد تمتد إلى ثلاثة أضعاف فترة التخزين لنفس الأغذية غير المشعة والمخزنة تحت نفس ظروف التخزين ، وعلى سبيل المثال أمكن إطالة الفترة التخزينية للأسماك في الثلاجات لمدة ٣٠ يوما بعد تشعيعها بجرعات تتراوح ما بين ٢٠٠ إلى ٤٠٠ كيلوراد بينما لا تزيد فترة تخزين نفس الأسماك في نفس درجة الحرارة عن ٩ أيام . كما تستعمل جرعات بين ٢٠ إلى ٥٠ كيلوراد في قتل يرقات الحشرات التي تصيب الحبوب المخزونة ، كذلك فإن جرعة مقدارها ٥٠ كيلوراد يمكنها إنتاج يرقات مصابة بالعقم وذلك للحشرات التي تختفي داخل الثمار. إضافة إلى ذلك أمكن منع تزريع درنات البطاطس والبصل والثوم باستخدام جرعات تتراوح بين ٤ إلى ١٠ كيلو راد ، وفي هذه الحالة يتم تشعيع الدرنات أو الأبصال المخصصة للإستهلاك الغذائي دون الدرنات والأبصال المخصصة كتقاوي لأن التشعيع يمكن أن يؤدي إلى وقف نمو براعم هذه الدرنات والأبصال فتصبح بالتالي غير صالحة للزراعة .

وفي مجال تشعيع الخضروات الطازجة مثل الفاصوليا والباميا والكوسة وغيرها فقد كان يعتقد في أواخر الخمسينات أن معاملتها بأشعة جاما بغرض إطالة فترة التخزين هو السلاح الفعال الوحيد لخفض نسبة التلف أثناء التخزين الطويل ، ولكن الإهتمام بهذه التقنية بدأ يقل في أواخر الستينيات بسبب عدم الجدوى الإقتصادية ونواحي الأمان في وجود مصادر مشعة داخل الوحدات التي تشيَّد لتشعيع الخضروات على المستوى التجاري ، ويرى البعض أن الآمال الكبيرة التي كانت معقودة على استخدام هذه التقنية في تخزين الخضروات كانت مبنية أساسا على استنتاجات متفائلة أكثر من اللازم لنتائج أبحاث أجريت على نطاق ضيق ولكن ثبت عدم جدوى استخدامها على مستوى واسع مقارنة بطرق الحفظ الأخرى مثل التبريد . ويرجع السبب الرئيس في ذلك إلى تجاهل أو عدم استيعاب الحقيقة العلمية التي مفادها أن الخضروات الغضة هي أنسجة حية (Live tissues) وليست كالمواد الأخرى مثل شرائح اللحم المدخنة أو الضمادات الطبية التي يمكن تعقيمها بأشعة جاما دون تلف . يجب أن يؤخذ في الحسبان أن الأنسجة الحية التي منها الخضروات تتأثر بأي معاملة يكون من شأنها الإضرار بالنشاط الحيوي للخلايا حيث تؤثر على قدرتها في البقاء حية وبالتالي قدرتها على التخزين بدون تلف . وإذا اعتبرنا مجازا أن عيش الغراب من الخضروات فإنه يمكن اعتباره الخضار الوحيد الذي أمكن حتى الآن حفظه بنجاح بتعريضه للجرعة المناسبة من الإشعاع .



● إستخدام أشعة جاما لمنع تزريع درنات البطاطس .

● إستخدام الأغذية المشعة

أثيرت تساؤلات عديدة عن سلامة استخدام الأغذية المشعة كغذاء للإنسان وقد درست باستفاضة احتمالات تكوين أية مركبات سامة في الغذاء بعد تشعيعه أو اكتساب أي من مكوناته لخاصية الإشعاع ، وكذلك تأثير الإشعاع على المكونات الغذائية الهامة ، والمقارنة بين ذلك الأثر والأثر الذي تحدثه الطرق الأخرى كالتعليب أو التجفيف مثلا . وقد ثبت من هذه الدراسات عدم حدوث أي آثار وظيفية أو نسيجية أو ظهور أية ظاهرة من الظواهر الأخرى التي تدل على أي نوع من الضرر الصحي يمكن ان يعزى إلى تناول أطعمة معاملة بالإشعاع وذلك عند جرعات تصل إلى ٦ ميجاراد . إلا أنه قد ثبت أن المعاملة بالجرعات العالية قد تسبب بعض التغيرات في الرائحة والنكهة ما لم تتبع الطرق التقنية الصحيحة والإحتياطات اللازمة لمنع أو تقليل ظهورها . وتنتج هذه الروائح نتيجة تكسر الروابط في بعض جزيئات البروتينات أو انطلاق مركبات طيارة بتركيزات ضئيلة جدا قد لا يمكن الكشف عنها أو تقدير كميتها تحليليا، كما يمكن أن تسبب تأكسد أو تكسر بعض جزيئات الدهون .

بدأ انتشار التطبيق العلمي لمعاملة الأغذية بالإشعاع على النطاق التجاري في كثير من أقطار العالم. وتشترط القوانين الغذائية ضرورة ذكر أنها معاملة بالإشعاع على بطاقة العبوة. وقد قامت في الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا حملة توعية إعلامية تؤكد سلامة استهلاكها غذائيا . ويوضح الجدول التالي أمثلة لبعض المواد الغذائية المصرح بتشعيعها والجرعة المستخدمة التي تصرح بها إدارة الأغذية والعقاقير الأمريكية .

كما تصرح السلطات المسؤولة في هولندا وفرنسا وإنجلترا بطرح البطاطس والبصل والثوم المعامل بالإشعاع في الأسواق بشرط كتابة المعاملة على بطاقة العبوة .

ومما يجدر ذكره أن هناك فرقاً كبيراً بين الأغذية المعاملة بالإشعاع التي تمت مناقشتها وبين الأغذية الملوثة بالإشعاع والتي سمعنا عنها في أعقاب حادث تشر نوبل ، فالأخير هو حادث انفجار كيميائي لمفاعل نووي نتج عنه تسرب ذرات مشعة على هيئة غبار ذري تلوث به الهواء في تلك المنطقة وحملته الرياح إلى المناطق المجاورة ، وعند سقوط هذه المواد على الأرض فإنها تلوث المحاصيل بالمواد المشعة الضارة سواء عن طريق التصاق المواد المشعة بأوراق النبات أم عن طريق امتصاص النبات لهذه المواد من التربة فتكون ثماره ملوثة بهذا المواد .

وهكذا وجب التنويه إلى أن الأغذية الملوثة بالمواد المشعة مختلفة تماما عن الأغذية المعاملة بالإشعاع والتي لا تحتوي في الواقع على أية عناصر مشعة .

تقدير نسبة الرطوبة في التربة

استخدمت المواد المشعة حديثا لقياس المحتوى الرطوبي في التربة . وتعتمد الفكرة الأساس على القدرة الكبيرة للنيوترونات في التشتت عن العناصرالخفيفة كالهيدروجين وبالتالي تختلف درجات تشتتها عندما توضع في اتصال مع مواد ذات محتوى رطوبي مختلف ، وعند قياس نسبة التشتت يمكن بسهولة تقدير المحتوى الرطوبي في التربة بدقة لا بأس بها . وتتميز هذه الطريقة بأن الجهاز المستخدم يقوم بعملية التقدير في الأرض مباشرة دون الحاجة إلى أخذ عينات وتحليلها بالمختبر . ويوضح شكل (١) رسما توضيحيا لمكونات الجهاز.

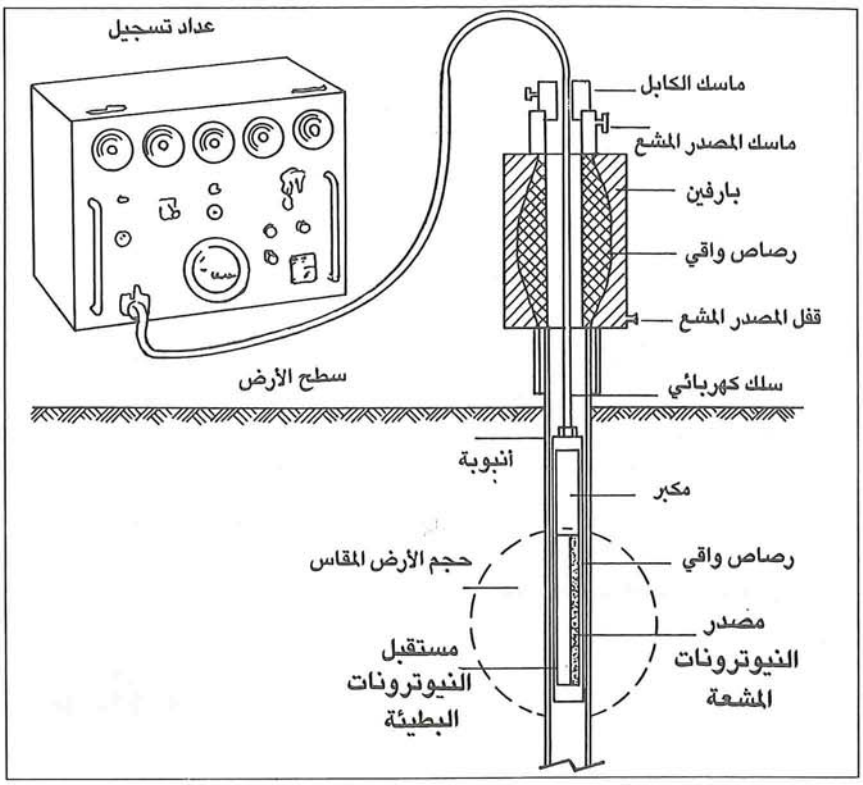
يتركب الجهاز أساسا من مصدر مشع (من مادتي راديوم - بريليوم) للنيوترونات السريعة مع جهاز استدلال حساس للنيوترونات البطيئة التي تنتج عن التشتت، وعداد للتسجيل . وتجري القياسات بإنزال حامل المصدر المشع داخل أنبوبة إلى الطبقة التي سيتم قياس رطوبتها ويتم تسجيل عدد الإشارات (عدد النيوترونات المتشتتة) لمدة دقيقة في المتوسط . ويمكن باستخدام منحنيات قياسية تربط العلاقة بين المحتوى الرطوبي وما سجله العداد من النيوترونات المشتتة في الدقيقة إيجاد الرطوبة الأرضية في فترة وجيزة جدا ولأعماق مختلفة من التربة .

تتمثل النظرية التي بني عليها هذا الجهاز في كون أن النيوترونات المنبعثة من المصدر المشع تمثل جسيمات ذات كتلة مساوية تقريبا لكتلة ذرة الهيدروجين الموجودة في الأرض كمكون للماء . وعند انبعاث هذه النيوترونات من المصدر فإنها تصطدم بغيرها من الذرات وتتشتت في كل اتجاه حيث يؤدي كل اصطدام إلى فقد جزء من الطاقة الحركية للنيوترونات ، ومع استمرار التصادم والتشتت والإنخفاض في الطاقة تصبح النيوترونات بطيئة . يزداد متوسط فقد النيوترونات السريعة كلما زاد اصطدامها بذرات ذات وزن جزيئي منخفض كذرات الهيدروجين . وعند تسجيل عدد النيوترونات البطيئة على مسافة معينة من المصدر في وحدة الزمن فإنه يمكن تقدير تركيز الهيدروجين أي المحتوى الرطوبي للتربة في الوسط المحيط .

تساعد هذه الطريقة في دراسة مدى احتياج التربة للري والنظام الأمثل الذي يمكن اتباعه لري المحاصيل المختلفة في هذه الأرض للحصول على إنتاج أعلى . ويجب الإشارة إلى أنه يجب اتخاذ الحذر الشديد أثناء استخدام هذا الجهاز لضمان عدم التعرض للإشعاعات نتيجة الإستخدام الخاطيء .

المادة	الغرض من المعاملة	مصدر الإشعاع	الجرعة المصرح بها
اللحوم	التعقيم	كوبلت ٦٠ أو سيتريوم ١٣٧	٤,٥ - ٥,٦ ميجا راد
القمح ودقيق القمح	القضاء على الحشرات	كوبلت ٦٠ أو سيتريوم ١٣٧	٢٠ - ٥٠ كيلو راد
البطاطس والبصل والثوم	منع التزريع	كوبلت ٦٠ أو سيتريوم ١٣٧	٥ - ١٠ كيلو راد

● الجرعات الآمنة لتشعيع بعض المواد الغذائية .



● شكل (١) جهاز قياس نسبة الرطوبة في التربة .

وظائف النبات والحيوان

أدت النظائر المشعة خدمة جليلة حيث ساعدت العلماء على تتبع سير العناصر المختلفة داخل أنسجة النبات أو الحيوان منذ لحظة امتصاصها وحتى تكوين المركبات النهائية . ولعل استخدام الكربون في دراسة النواتج الوسطية في عملية التمثيل الضوئي في النبات وتأثير الظروف البيئية المختلفة على هذه العملية ثم طريقة انتقال نواتج عملية التمثيل الضوئي إلى الأجزاء المختلفة من النبات من أحسن الأمثلة لاستخدام النظائر المشعة في فسيولوجيا النبات . فعند تعرض النبات إلى غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يحتوي على ذرات الكربون ١٤ واستخلاص نواتج عملية التمثيل الضوئي على فترات مختلفة ثم فصلها عن طريق كروماتوجرافي الورق (Paper chromatography) بعد كل فترة وتصوير الورقة بعد فصل المكونات (الكروماتوجرام) بطريقة التصوير الإشعاعي الذاتي حيث يتم تعريض ورق الكروماتوجرام إلى فيلم حساس يعطي بقعاً غامقة عند اتصاله بالنقط التي تحتوي على النشاط الإشعاعي (الكربون المشع) . ويتم حساب الكميات المنشطة اشعاعيا بإجراء نفس الطريقة على كميات معروفة ومحددة من الكربون ١٤ (منحنى قياسي) ثم تقارن الكثافة النسبية لكل من التجربة والعينة المعروفة التركيز. يوضح شكل (٢) التصوير الإشعاعي الذاتي لعروق ورقة نبات بنجر السكر أن أنسجة اللحاء بها سكريات تحتوي على كربون ١٤ وذلك في إحدى التجارب لإثبات أن انتقال السكريات في النبات يتم عن طريق نسيج اللحاء .

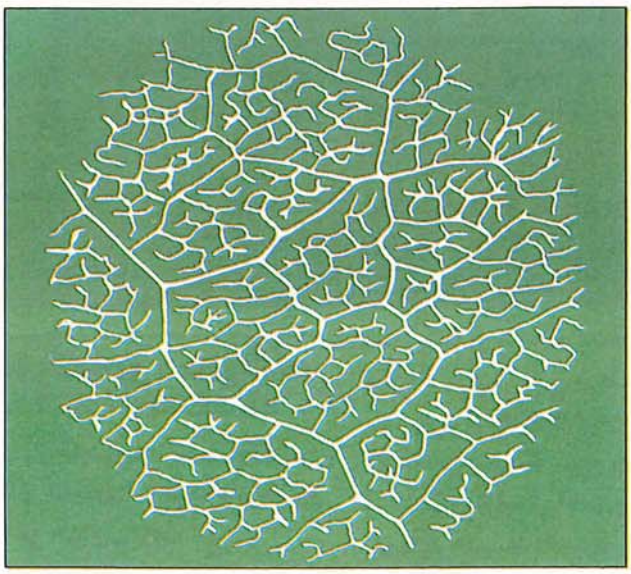
كذلك يمكن استخدام نظير النتروجين ١٥ لتتبع سير عنصر النتروجين في تكوين جزيء البروتين خصوصاً في عملية انتقال الأمينات . أظهرت الدراسات أنه عند تغذية النبات بمجموعة أمونيا موسومة بالنتروجين ١٥ فإن الحامض الأميني جلوتاميك المحتوي على نتروجين ١٥ يتكون بكمية كبيرة مقارنة بالأحماض الأمينية الأخرى حيث أنه يعد الناتج الأول من عملية نقل مجموعة الأمينات إلى حامض الفاكيتوجلوتاريك طبقا للمعادلة الآتية :-

$$\text{حامض الفا كيتوجلوتاريك} + {}^{15}N \underset{\text{نقل الأمين}}{\overset{\text{إنزيم}}{\rightleftharpoons}} \text{حامض جلوتاميك } {}^{15}N$$

ويتم تقدير كمية الإشعاع في حامض الجلوتاميك بوساطة أجهزة خاصة لقياس تركيز النتروجين ١٥ .

كما استخدم نظير الفوسفور٣٢ ونظير البوتاسيوم٤٢ في دراسة وظائف هذين العنصرين في النبات وكذلك في دراسة كيفية انتقال العناصر داخل أنسجة النبات .

الجدير بالذكر أن مختبرات علم وظائف الأعضاء (الفسيولوجيا) أو الكيمياء الحيوية لاتخلو من أجهزة استخدام العناصر المشعة لدراسة خطوات التمثيل الغذائي (Biosynthetic pathway) التي تتم داخل النبات أو الحيوان حيث يؤدي ذلك إلى معرفة المزيد من أسرار الحياة في النبات والحيوان وبالتالي كيفية تهيئة الظروف المثلى لإعطاء أحسن نمو وما يتبعه من تفوق في الإنتاج .



● شكل (٢) مواقع السكريات في ورقة نبات بنجر السكر .