

أما النيوترونات السريعة الحركة .. فإنها تتصادم مع نواة الذرة؛ مما يؤدي إلى إثارتها، وانطلاق الجزيئات الموجبة الشحنة منها، وهو ما يؤدي إلى مزيد من التأين بإزالة الإلكترونات من المدار الخارجى لذرات أخرى .. وهكذا.

أما الأشعة الكهرومغناطيسية .. فإنها تحدث التأين بطريقة ثانوية؛ حيث تؤدي الطاقة التي يكتسبها الوسط من هذه الموجات إلى إحداث حالة من عدم الثبات، يتبعها فقدان إلكترونات من المدارات الخارجية للذرات، تحدث بدورها مزيداً من التأين.

٢ - الإثارة Excitation:

تحدث الإثارة عند المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية؛ حيث تمتصها البيورينات purines والبيريميدينات pyrimidines التي توجد في الحامض النووي DNA، وتؤدي الأشعة إلى رفع إلكترونات الذرات التي تكون في طريقها إلى مدارات أعلى يكون مستوى الطاقة فيها أكبر وتكون هذه الذرات المثارة أكثر قابلية للتفاعلات الكيميائية، وهو ما يزيد من فرصة حدوث الطفرات (Gardner & Sunstad ١٩٨٤).

الأشعة المحدث للطفرات

يعد الإشعاع Radiation من أهم العوامل المطفرة؛ حيث تحدث الأشعة فوق البنفسجية وجميع أنواع الأشعة ذات الموجات الضوئية الأقصر منها طفرات في الكائنات الحية التي تتعرض لها.

نقسيمة الأشعة حسب طريقة تأثيرها

تقسم الأشعة حسب طريقة تأثيرها إلى مجموعتين هما:

١ - الأشعة غير المؤينة Non-ionizing Radiations؛ ومن أمثلتها الأشعة فوق

البنفسجية Ultraviolet Rays.

٢ - الأشعة المؤينة Ionizing Radiations؛ ومن أمثلتها: أشعة ألفا alpha rays

وأشعة بيتا beta rays، وأشعة إكس X-rays، وأشعة جاما gamma rays، والنيوترونات neutrones.

تعتبر النظائر المشعة Isotopes من أهم مصادر الأشعة المؤينة؛ إذا إنها تنتج طاقة في

صورة جزيئات particles، أو موجات waves، وكلاهما يعد إشعاعاً radiation. تكون الجزيئات المنطلقة من العناصر المشعة ذات طاقة عالية، ويمكنها أن تنقل طاقتها الكامنة هذه إلى أى وسط تمر فيه، وتعرف هذه الأشعة باسم الأشعة الجزيئية particulate or corpuscular radiations. أما الموجات التى تنطلق من العناصر المشعة .. فإنها تكون قصيرة جداً، وذات طاقة عالية أيضاً، وتحدث اضطرابات كهربائية ومغناطيسية فى تركيب الوسط الذى تمر فيه، وتعرف هذه الأشعة باسم الأشعة الكهرومغناطيسية electromagnetic radiations.

وتشتمل الأشعة الجزيئية Corpuscular Radiations على كل من النيوترونات البطيئة slow neutrons، وجزيئات ألفا، وبيتا. أما الأشعة الكهرومغناطيسية .. فإنها تتضمن كلا من أشعة x وأشعة جاما.

وحدات قياس الأشعة المؤينة

تستخدم الوحدات التالية فى قياس جرعات الأشعة المؤينة:

١ - الرونتجن Rontgen (r): تقاس به جرعات أشعة إكس، وأشعة جاما خاصة فى الهواء.

٢ - مكافئ الرونتجن الفيزيائى Rontgen Equivalent Physical (rep): تقاس به الأشعة الجزيئية particulate irradiation، خاصة فى الأنسجة الطرية soft tissues فى الدراسات البيولوجية.

٣ - جرعة الإشعاع الممتصة Radiation Absorbed Dose (راد rad): تقاس به كل أنواع الأشعة فى الدراسات البيولوجية والفيزيائية، وتعتبر (الراد) وحدة امتصاص، وهى أكثر الوحدات استعمالاً.

٤ - الجراى Gray (ورمزها Gy)، وهو يعادل جول joule (J) واحد من الطاقة الممتصة لكل كيلو جرام من المادة المعرضة للإشعاع ($J kg^{-1}$)، وهى الوحدة الدولية لقياس الجرعة الممتصة، علماً بأن الراد (rad) الواحد = $100 \text{ erg/g} = 0.01 \text{ J/kg}$ أى إن كل Gy (واحد J/kg) = 100 راد = 10 erg/kg .

أنواع الأشعة

فيما يلي بيان بأهم أنواع الأشعة المستخدمة في استحداث الطفرات:

أولاً: الأشعة فوق البنفسجية

تولد الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Radiation بواسطة لمبات بخار الزئبق، وتتراوح أطوال موجاتها من ١٠٠ إلى ٤٠٠ مللي ميكرون (نانوميتر)، ولكن أكثر موجاتها تأثيراً هي التي تكون بطول ٢٥٤ مللي ميكرون؛ لأنها أكثرها امتصاصاً بواسطة البيورينات والبيريميدينات التي يتكون منها الحامض النووي DNA. وتحدث الأشعة فوق البنفسجية تأثيرها بواسطة الإثارة التي تسرع من التفاعلات الكيميائية في الأنسجة التي تتعرض لها. وهي لا تعتبر من الأشعة المؤينة باستثناء ما يكون منها في مدى الموجات القصيرة جداً. وتكون أغلب الطفرات التي تحدثها الأشعة فوق البنفسجية من النوع العاملي، وإذا أحدثت الأشعة كسوراً كروموسومية.. فإنها تكون طرفية عادة، وغالباً ما يلتحم الجزء المكسور في مكانه الأصلي، أو يفقد بما يحمله من جينات.

ويُعاب على الأشعة فوق البنفسجية أنها لا تتعمق كثيراً في الأنسجة المعاملة، وهو ما يحد من استعمالها، ويقتصر استعمالها - غالباً - على معاملة حبوب اللقاح.

ثانياً: أشعة ألفا

يحصل على أشعة ألفا Alpha Rays من النظائر المشعة مثل الفوسفور (^{32}P) والكربون (^{14}C) وهي أشعة جزيئية Particulate، عبارة عن أنوية الهليوم؛ إذ تتكون من جزيئات، يحتوي كل منها على عدد ٢ بروتون، و ٢ نيوترون، وتكون - بالتالي - ذات شحنة موجبة. وهي خطيرة جداً إذا وصلت إلى جسم الإنسان، ولكن يمكن الحماية منها بورقة رقيقة، ولا يتعدى اختراق هذه الأشعة للأنسجة النباتية أكثر من جزء صغير من المليمتر؛ ذلك لأنها تحمل شحنة موجبة؛ فتقل سرعتها تحت تأثير الشحنات السالبة التي توجد في المادة. تحدث أشعة ألفا تأثيراً شديداً، وتتسبب في حدوث تحورات كروموسومية غالباً.

ثالثاً: أشعة بيتا

يحصل على أشعة بيتا Beta Rays (أو أشعة الكاثود) من النظائر المشعة مثل

الفوسفور المشع (^{32}P)، والكبريت المشع (^{35}S)، وهى أشعة جزيئية، عبارة عن إلكترونيات سريعة الحركة تقذفها أنوية الذرات غير الثابتة للعناصر المشعة. وقد تكون هذه الأشعة خطرة على الإنسان، ويمكن الحماية من أخطارها بلوح سميك من الكارتون. وتخترق أشعة بيتا الأنسجة النباتية لمسافة عدة ملليمترات فقط، لأنها تحمل شحنات سالبة؛ فتقل سرعتها تحت تأثير الشحنات الموجبة التى توجد فى المادة. وتحدث أشعة بيتا تأثيرها بطريق التأين، ولكن بدرجة أقل من أشعة ألفا، وتسبب فى حدوث طفرات عاملية وتحورات كروموسومية. وتعامل بأشعة بيتا كل من البذور والبادرات، ولكن يغلب استعمالها فى معاملة البذور. وتغمر الأجزاء النباتية التى يُراد معاملتها مدة مناسبة فى تركيز مناسب من محلول مائى لأحد المركبات التى يدخل العنصر المشع فى تكوينها، وقد يضاف المحلول للتربة التى تنمو فيها النباتات فى بعض الحالات.

رابعاً: أشعة جاما

يُحصل على أشعة جاما Gamma Rays من النظائر المشعة فى المفاعلات النووية، حيث تنطلق من العنصر المشع كوبالت ^{60}Co ، أو سيزيوم ^{137}Cs وهى أشعة كهرومغناطيسية، تشبه الضوء العادى، إلا أن طاقتها عالية، وموجاتها أقصر بكثير، وتعتبر بمثابة أشعة إكس طبيعية، إلا أن موجاتها أقصر منها كثيراً أيضاً، ولها قدرة أكبر على اختراق الأنسجة. وبينما تتراوح أطوال موجات الضوء العادى من ٤٠٠-٧٠٠ مللى ميكرون، ويصل طول موجة أشعة إكس إلى ٠,٠٥ مللى ميكرونًا. فإن معظم أشعة جاما تقل أطوال موجاتها عن ٠,٠٠١ مللى ميكرونًا، وتعد أشعة جاما خطيرة على الإنسان؛ إذ إنها تخترق الجسم بقوة، ولا يمكن الحماية منها إلا بعازل من الرصاص، يبلغ سمكه عدة سنتيمترات، أو بعازل من الأسمنت، يبلغ سمكه عدة أقدام.

تخترق أشعة جاما الأنسجة النباتية لعدة سنتيمترات. وتجرى معاملة النباتات وهى فى حقول المفاعلات النووية؛ حيث تعرض للأشعة المنطلقة من مفاعل ذرى به الكوبالت المشع ^{60}Co . يوجد المفاعل تحت الأرض؛ حيث يوجد العنصر المشع فى صندوق سميك من الرصاص، ويرفع آلياً من بعد إلى أن تتم المعاملة، ثم يعاد إلى مكانه تحت الأرض.

تحدث الأشعة تأثيراتها بطريق التآين، وينتج عنها طفرات عاملية وتحورات كروموسومية كثيرة.

تستعمل أشعة جاما فى معاملة البذور والبادرات والنباتات النامية فى الأصص فى دوائر حول المفاعل، وتكون جرعة الإشعاع أعلى ما يمكن بالقرب من المفاعل، وتقل شدتها كلما ابتعدنا عنه، وقد تعطى معاملة اشعة جاما على صورة جرعة واحدة كبيرة فى أماكن خاصة مجهزة لذلك.

خامساً: أشعة إكس

تُولد أشعة إكس X-Rays بواسطة أجهزة خاصة، وهى أشعة كهرومغناطيسية، ذات طاقة عالية، وتنتج على مستويات مختلفة من الطاقة بحسب طول الموجة المطلوبة، وتتراوح أطوال الموجات من ٠,٠٠٥-٠,٠١ مللى ميكرونًا فى اشعة إكس ذات الموجات القصيرة hard x-rays إلى ١,٠-١٠ مللى ميكرونًا فى أشعة إكس ذات الموجات الطويلة soft x-rays. وتزيد طاقة الأشعة وقدرتها على اختراق الأنسجة وإحداث التآين كلما قصرت موجاتها. وتعتبر أشعة إكس خطيرة على الإنسان؛ إذ إنها تخترق الجسم. ويكفى للحماية منها عازل من الرصاص يبلغ سمكه عدة ملليمترات.

يبلغ مدى اختراق أشعة إكس الأنسجة النباتية من بضعة ملليمترات إلى عدة سنتيمترات، وهى تحدث تأثيرها بطريق التآين، وينتج عنها طفرات عاملية، وتحورات كروموسومية. وبينما تتناسب أعداد التحورات الكروموسومية التى تحدثها أشعة إكس - لوغاريتمياً - مع الجرعة .. فإن أعداد الطفرات العاملية تتناسب - خطياً - معها؛ لذا نجد أن العدد الأكبر من التحورات الكروموسومية التى تحدثها المعاملة يضع حداً أعلى للجرعة التى يمكن استعمالها، وهو ما يحد من عدد الطفرات العاملية التى يمكن إحداثها.

هذا .. وتختلف الجرعة التى يتعين استعمالها من أشعة إكس باختلاف النوع النباتى والجزء المعامل من النبات والعوامل البيئية؛ فيمكن - مثلاً - تعريض البذور الجافة لجرعات أعلى من الأشعة عن البذور المستنبطة أو الأجزاء الخضريّة؛ لأن البذور الجافة أقل حساسية للأشعة. والقاعدة العامة هى أن يعرض أى نسيج أو عضو نباتى إلى

التربية باستعدادات الطفرات

أكبر جرعة يمكن أن يتحملها، دون أن تلحق به أضرار من جراء المعاملة؛ ذلك لأن عدد الطفرات المستحدثة يتناسب - خطياً - مع الجرعة كما سبق بيانه، وتتحدد الجرعة المناسبة بواسطة تجارب أولية لكل محصول على حدة. وعلى سبيل المثال .. فإن الجرعة المناسبة قدرت بنحو ٧٥٠٠ رونتجن في البسلة، و ١٠٠٠٠ رونتجن في الفاصوليا.

وتفضل أجهزة إكس عن غيرها من الأجهزة المحدثه للطفرات، للأسباب التالية:

- ١ - تعتبر الأجهزة المولدة لأشعة إكس في متناول اليد، ويسهل تشغيلها.
 - ٢ - تسهل معاملة البذور والأجزاء النباتية الأخرى بالأشعة.
 - ٣ - من السهل تقدير الجرعة المناسبة من الأشعة وقياسها.
 - ٤ - يمكن وقف تشغيل الأجهزة المولدة لأشعة إكس عند انتهاء المعاملة، بخلاف العناصر المشعة التي تشع بصورة مستمرة.
 - ٥ - لا توجد مشاكل تتعلق باستعمال أشعة إكس كتلك الخاصة بمشاكل التداول أو التلوث بالعناصر المشعة، ويلزم - مع ذلك - الحرص عند تشغيل الأجهزة المولدة لأشعة إكس.
- وتستعمل أشعة إكس في معاملة البذور والبادرات، ويغلب استعمالها في معاملة البذور.

سائلاً: البروتونات أو الديوترونات

تولد البروتونات أو الديوترونات بواسطة المفاعلات النووية، وهي أشعة جزيئية؛ عبارة عن أنوية ذرات الأيدروجين العادى بالنسبة للبروتونات، وأنوية ذرات الأيدروجين الثقيل بالنسبة للديوترونات، وهي خطيرة جداً على الإنسان، ويمكن الحماية من أخطارها؛ بعازل من الماء، أو البارافين يبلغ سمكه عدة سنتيمترات، وهي تخترق الأنسجة النباتية لعدة سنتيمترات، وتعد من الأشعة المؤينة، وينتج عنها طفرات عاملية، وتحورات كروموسومية.

سابقاً: النيوترونات البطيئة والسريعة

تولد النيوترونات بالانشطار النووي لعنصر اليورانيوم ٢٣٥ في مفاعل نووى، وتتفاعل

بعض النيوترونات مع ذرات أخرى من اليورانيوم لتستمر عملية الانشطار، وبينما يمتص المفاعل بعض النيوترونات، فإن بعضها الآخر يمر نحو خارج المفاعل من مخارج خاصة، وتلك هي التي يمكن استعمالها لغرض إحداث الطفرات. وتعد النيوترونات السريعة هي تلك التي تكون طاقتها عالية لدى خروجها من المفاعل. أما النيوترونات البطيئة فتكون طاقتها أقل ويتم إنتاجها بخفض طاقة النيوترونات السريعة.

والنيوترونات عبارة عن أشعة جزيئية تتكون من جسيمات عديمة الشحنة، أثقل قليلاً من البروتونات، ولا يستدل عليها إلا من أثار تفاعلها مع أنوية ذرات المادة التي تكون في مسارها، حيث تطلق البروتونات من الأنوية التي تصيبها. وهي خطيرة جداً على الإنسان، ويمكن الحماية منها بحاجز سميك من عناصر خفيفة، مثل الملح. وهي تخترق الأنسجة النباتية لعدة سنتيمترات، وتعد من الأشعة المؤينة، وينتج عنها طفرات عاملية وتحورات كروموسومية. وتستعمل هذه الأشعة في معاملة البذور والبادرات، خاصة البذور (Elliott ١٩٥٨، و Herskowitz ١٩٦٥، و Grosch ١٩٦٥، و Briggs & Knowles ١٩٦٧، و Chaudhari ١٩٧١، و Lapins ١٩٨٣).

ولمزيد من التفاصيل عن الإشعاع وتأثيره البيولوجي .. يراجع Grosch (١٩٦٥)، و Drake (١٩٦٩)، و Lapins (١٩٨٣).

جرعة الإشعاع ومعدل الجرعة

تعرف الجرعة dose التي تتم بها المعاملة بالعامل المطفر، ومدة المعاملة باسم معدل الجرعة dose rate. وتعرف المعاملة الحادة acute بأنها تلك التي تجرى خلال فترة قصيرة تستمر لمدة دقائق قليلة أو ساعات معدودة. أما المعاملة المزمنة أو المتواصلة، فهي تلك التي يستمر فيها التعرض للعامل المطفر لمدة طويلة تكون بالأسابيع، أو الشهور، أو السنوات. ويعد معدل الجرعة من أوائل المتغيرات التي يتوجب اتخاذ قرار بشأنها في أي برنامج للتربية باستحداث الطفرات.

هذا وتقسم جرعات الإشعاع إلى عالية (< ١٠ كيلو جراي)، ومتوسطة (١-١٠ كيلو جراي)، ومنخفضة (> ١ كيلو جراي). تستعمل الجرعات العالية في تعقيم المنتجات الغذائية، والمنخفضة في استحداث الطفرات في البذور، حيث تتراوح الجرعات بين

الحربية باستخدام الطفرات

٦٠، و ٧٠ جرای فی كثير من النباتات التي تتكاثر بذرياً، مثل الأرز، والقمح، والذرة، والفاصوليا، ولفن الزيت.

ويتم تحديد معدل الجرعة تجريبياً؛ فمثلاً .. عند معاملة البذور فإن معدل الجرعة المناسب يكون هو ذلك الذي يؤدي إلى موت ٥٠٪ من البذور، وهي التي تعرف باسم LD_{50} (جدول ١٠-١). هذا .. مع العلم بأن أى بذرة تنبت، ولا يستطيع النبات إكمال نموه لحين إنتاج محصول جديد من البذور الكاملة الحيوية، أو أن لا يمكن للنبات الناتج منها أى ينتج ولو بذرة واحدة حية .. تعتبر ضمن الـ ٥٠٪ الميتة، أى ضمن الـ LD_{50} (عن Fehr ١٩٨٧).

جدول (١٠-١): جرعة أشعة جاما التي تلزم للقضاء على ٥٠٪ من البذور (LD_{50}) في بعض العائلات النباتية (عن Gupta ٢٠٠٠).

العائلة	LD_{50} (Krad)
الفجيلة	٢٠-٤٠
الباذنجانية	٣٠-٦٠
الكرنبية	١٢٠-١٤٠
الثومية	٢٠-٣٠
القرعية	٣٥-٦٠
البقولية	
الفول	٤-٦
البسلة	١٠-٢٧
الحمص	١٨-٢٦
الفاصوليا	١٥-٣٠
الفول السوداني	٣٥-٤٥

أما في مزارع الأنسجة - حيث تجرى معاملة الإشعاع على ملليجرامات فقط من الأنسجة النباتية وميكروجرامات من معلقات الخلايا - فإن جرعة الإشعاع تكون شديدة الانخفاض، وتتراوح بين ٢، و ٥ جرای لمزارع الكالوس، و ١٥-٢٠ جرای للنباتات الصغيرة الناتجة من الإكثار الدقيق، علماً بأن جرعات تزيد عن ١٠ جرای تؤثر سلبياً - بدرجة كبيرة على حيوية مزارع الكالوس.

وعندما يرغب فى إحداث تغيرات وراثية فى وحدة واحدة، كأن تكون فى إحدى النيوكليوتيدات (من أجل الحصول على طفرة جينية point mutation) أو على صورة فقد فى جزء من أحد الكروموسومات (من أجل الحصول على فقد كروموسومى deletion) .. فإنه يكفى - عادة - التعرض للعامل المطفر مرة واحدة ولفترة قصيرة. أما إذا رغب فى إحداث تغيرات وراثية فى وحدتين أو أكثر، مثلما يكون عليه الحال عند الرغبة فى إحداث كسر فى كروموسومين مختلفين بغية الحصول على انتقال كروموسومى .. فإنه يفضل فى تلك الحالات التعريض للعامل المطفر عدة مرات وعلى فترة زمنية طويلة (عن Ahloowalia & Maluszynski ٢٠٠١).

المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات

أنواع المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات

تقسم المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات - حسب فاعليتها - إلى الأقسام التالية:

١ - مركبات شديدة الفاعلية فى إحداث الطفرات، ولكنها خطيرة الاستعمال،

وسامة، وقد تسبب الإصابة بالسرطان لو تعرض لها الإنسان، ومن أمثلتها ما يلى:

ethylenimine (EI)

N-nitroso-N-ethylurea (NEU)

N-nitroso-N-methylurea (NMU)

1,4-bisdiazoacetylbutane

٢ - مركبات فعالة فى إحداث الطفرات، وشائعة الاستعمال، ومن أمثلتها ما يلى:

diethyl sulphate (DES)

ethyl methane sulphonate (EMS) إيثيل ميثان سلفونيت

methy methane sulphonate (MMS)

isopropyl methane sulphonate (iPMS)

azide

colchicine الكولشيسين

٣ - مركبات أقل فاعلية فى إحداث الطفرات وأقل استعمالاً، ومن أمثلتها ما يلى:

caffeine الكافين