وبذا .. تتجمع الاليكترونات فى مسار الأشعة ، وتكون الذرات المتأينة أكثر قابلية للتفاعلات الكيمائية ، وإذا حدث ذلك فى الذرات التى يتكون منها جزئ الحامض النووى DNA .. فإنه يؤدى إلى ظهور الطفرات .

وتختلف الطريقة التى يحدث بها التأين باختلاف الأشعة المؤينة ؛ فتحدث الأشعة الجزيئية Particulate radiation تأثيرها عندما يمر جزئ سريع ذو شحنة موجبة فى المادة ؛ حيث يقوم بجذب اليكترون من مداد إحدى الذرات ؛ فتصبح تلك الذرة أيوناً موجباً . أما الأيون المنطلق منها .. فإنه يتصل بذرة أخرى ، فتصبح بذلك أيوناً سالباً . أما النيترونات السريعة الحركة .. فإنها تتصادم مع نواة الذرة ؛ مما يودى إلى إثارتها ، وانطلاق الجزيئات الموجبة الشحنة منها ، وهو ما يؤدى إلى مزيد من التأين بإزالة الأليكترونات من المدار الخارجى لذرات أخرى ... وهكذا . أما الأشعة الكهرومغناطيسية .. فإنها تحدث التأين بطريقة ثانوية ؛ حيث تؤدى الطاقة التى يكتسبها الوسط من هذه الموجات إلى إحداث حالة من عدم الثبات ، يتبعها فقدان أليكترونات من المدارات الخارجية للذرات ، تحدث بدورها مزيداً من التأين .

٢- الإثارة Exitation :

تحدث الإثارة عند المعاملة بالأشعة فوق البنفسجية ؛ حيث تمتصها البيورينات purines والبيرميدنات pyrimidines التى توجد فى الحامض النووى DNA ، وتؤدى الأشعة إلى رفع أليكترونات الذرات التى تكون فى 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 المحدثة للطفرات

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

تقسيم الأشعة حسب طريقة تاثيرها

تقسم الأشعة حسب طريقة تأثيرها إلى مجموعتين هما :

١- الأشعة غير المؤينة Non - ionizing Radiations ؛ ومن أمثلها 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 ، والنيترونات neutrones .

تعتبر النظائر المشعة sotopes| من أهم مصادر الأشعة المؤينة ؛ إذ إنها تنتج طاقة فى 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 جدا ، وذات طاقة عالية أيضاً ، وتحدث اضطرابات كهربائية ومغناطيسية فى تركيب الوسط الذى تمر فيه ، وتعرف هذه الأشعة باسم الأشعة الكهرومغناطيسية electromagnetic raditions .

وتشتمل الأشعة الجزيئية Corpuscular Radiations على كل من النيترونات البطيئة slow neutrons ، وجزئيات ألفا ، وبيتا . أما الأشعة الكهرومغناطيسية .. فإنها تتضمن كلا من أشعة × ، 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 المتصة Radiation Absorbed Dose (راد rad) : تقاس بها كل أنواع الأشعة فى الدراسات البيولوجية والفيزيائية ، وتعتبر (الراد) وحدة امتصاص ، وهى أكثر الوحدات استعمالاً .

أنواع الأشعة

فيما يلى بيان بأهم أنواع الأشعة المستخدمة فى استحداث الطفرات :

١- الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Radiation :

تولّد الأشعة فوق البنفسجية بواسطة لمبات بخار الزئبق ، وتتراوح أطوال موجاتها من ١٠٠ - ٤٠٠ ملى ميكرون ، ولكن أكثر موجاتها تأثيراً هى التى تكون بطول ٢٥٤ ملى ميكروناً ؛ لأنها أكثرها امتصاصاً بواسطة البيورينات والبيرميدنات التى يتكون منها الحامض النووى D N A . وتُحدث الأشعة فوق البنفسجية تأثيرها بواسطة الإثارة التى تسرع من التفاعلات الكيمائية فى الأنسجة التى تتعرض لها . وهى لاتعتبر من الأشعة المؤينة باستثناء مايكون منها فى مدى الموجات القصيرة جداً . وتكون أغلب الطفرات التى تحدثها الأشعة فوق البنفسجية من النوع العاملى ، وإذا أحدثت الأشعة كسوراً كروموسومية .. فإنها تكون طرفية عادة ، وغالبا ما يلتحم الجزء المكسور فى مكانه الأصلى ، أو يفقد بما يحمله من جينات .

ويُعاب على الأشعة فوق البنفسجية أنها لاتتعمق كثيرا فى الأنسجة المعاملة ، وهو ما يحد من استعمالها ، ويقتصر استعمالها - غالبا - على معاملة حبوب اللقاح .

٢- أشعة ألفا Alpha Rays :

يحصل على أشعة ألفا من النظائر المشعة مثل الفوسفور ٣٢ ؛ و الكربون ١٤ وهى أشعة جزيئية Particlate ، وهى عبارة عن أنوية الهليوم ؛ إذ تتكون من جزيئات ، يحتوى كل منها على عدد (٢) بروتون ، و(٢) نيترون ، وتكون - بالتالى - ذات شحنة موجبة . وهى خطرة جداً إذا وصلت إلى جسم الإنسان ، ولكن يمكن الحماية منها بورقة رقيقة ، ولايتعدى اختراق هذه الأشعة للأنسجة النباتية أكثر من جزء صغير من المليمتر ؛ ذلك

لأنها تحمل شحنة موجبة ؛ فتقل سرعتها تحت تأثير الشحنات السالبة التى توجد فى المادة . تحدث أشعة ألفا تأينا شديدا ، وتتسبب فى حدوث تحورات كروموسومية غالباً .

٣- أشعة بيتا Beta Rays :

يحصل على أشعة بيتا (أو أشعة الكاثود) من النظائر المشعة مثل الفوسفور المشع (^{32}P) ، والكبريت المشع (^{35}S) ، وهى أشعة جزيئية ، عبارة عن أليكترونات 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 ، وتتسبب فى حدوث طفرات عاملية وتحورات كروسومية . وتعامل بأشعة بيتا كل من البنور والبادرات ، ولكن يغلب استعمالها فى معاملة البنور . 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 .

٤- أشعة جاما Gamma Rays :

يُحصل على أشعة جاما من النظائر المشعة فى المفاعلات النووية ؛ حيث تنطلق من العنصر المشع كوبالت ٦٠ Co^{60}، أو سيزيوم ١٣٧ Cs^{137}، وهى أشعة كهرومغناطيسية ، تشبه الضوء العادى ، إلاّ أن طاقتها عالية ، وموجاتها أقصر بكثير ، وتعتبر بمثابة أشعة إكس طبيعية ، إلاّ أن موجاتها أقصر منها كثيراً أيضاً ، ولها قدرة أكبر على اختراق الأنسجة . وبينما تتراوح أطوال موجات الضوء العادى من ٤٠٠ - ٧٠٠ ملى ميكرون ، ويصل طول موجة أشعة إكس إلى ٠,٠٥ ملى ميكروناً . فإن معظم أشعة جاما تقل أطوال موجاتها عن ٠,٠٠١ ملى ميكروناً ، وتعد أشعة جاما خطرة على الإنسان ؛ إذ إنها تخترق الجسم بقوة ، ولايمكن الحماية منها إلا بعازل من الرصاص ، يبلغ سمكه عدة سنتميترات ، 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 آليًا من بعد إلى أن تتم المعاملة ، ثم يعاد إلى مكانه تحت الأرض . تحدث الأشعة تأثيراتها بطريق التأين ، 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 مايمكن بالقرب من المفاعل ، وتقل شدتها كلما ابتعدنا عنه .

٥- أشعة إكس x-Rays :

تُولَّد أشعة إكس 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 ميكروناً فى أشعة إكس ذات الموجات القصيرة hard x - rays إلى ٠,١ - ١,٠ مللى ميكروناً فى أشعة إكس ذات الموجات الطويلة soft x-rays . وتزيد طاقة الأشعة وقدرتها على اختراق الأنسجة وإحداث التأين كلما قصرت موجاتها . وتعتبر أشعة إكس خطرة 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 التأين ، وينتج عنها طفرات عاملية ، وتحورات كروموسومية . وبينما تتناسب أعداد التحورات الكروموسومية التى تحدثها أشعة إكس - لوغاريتميًا - مع الجرعة .. فإن أعداد الطفرات العاملية تتناسب - خطيًا - 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 المستنبتة أو الأجزاء الخضرية ؛ لأن البذور الجافة أقل

حساسية للأشعة . والقاعدة العامة هى أن يعرض أى نسيج أو عضو نباتى إلى أكبر جرعة يمكن أن يتحملها ، دون أن تلحق به أضرار من جّراء 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 فى البسلة ، و ١٠٠٠٠ رونتجن فى الفاصوليا .

وتفضل أشعة إكس عن غيرها من الأشعة المحدثة للطفرات ؛ للأسباب التالية :

أ- تعتبر الأجهزة المولدة لأشعة إكس فى متناول اليد ، ويسهل تشغيلها .

ب- تسهل معاملة البذور والأجزاء النباتية الأخرى بالأشعة .

جـ من السهل تقدير الجرعة المناسبة من الأشعة وقياسها .

د- يمكن وقف تشغيل الأجهزة المولدة لأشعة إكس عند انتهاء المعاملة ، بخلاف العناصر المشعة التى تشع بصورة مستمرة .

هـ- لاتوجد 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 فى معاملة البذور والبادرات ، ويغلب استعمالها فى معاملة البذور .

٦- البروتونات أو الديوترونات :

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

٧- النيترونات البطيئة والسريعة :

تولد النيترونات - البطيئة منها والسريعة - بالتحلل النووى لعنصر اليورانيوم ٢٣٥ فى

مفاعل نووى ، وهى أشعة جزيئية عبارة عن جسيمات عديمة الشحنة ، أثقل قليلاً من البروتونات ، ولايستدل عليها إلاّ من أثار تفاعلها مع أنوية ذرات المادة التى تكون فى مسارها ؛ حيث تطلق البروتونات من الأنوية التى تصيبها . وهى خطرة جداً على الإنسان ، ويمكن الحماية منها بحاجز سميك من عناصر خفيفة ؛ مثل الملح . وهى تخترق الأنسجة النباتية لعدة سنتمترات ، وتعد من الأشعة المؤينة ، وينتج عنها طفرات عاملية وتحورات كروموسومية . وتستعمل هذه الأشعة فى معاملة البذور والبادرات ، خاصة البذور (Elliott ١٩٥٨، وHerskowitz ١٩٦٥ ، و Grosch ١٩٦٥، و& Briggs knowles ١٩٦٧ ، و Chaudhari ١٩٧١ ، و Lapins ١٩٨٣) . ولمزيد من التفاصيل عن الإشعاع وتأثيره البيولوجى .. يراجع Grosch (١٩٦٥) ، و Drake (١٩٦٩)، وLapins (١٩٨٣) .

المركبات الكيميائية المحدثة للطفرات

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

١– مركبات شديدة الفاعلية فى إحداث الطفرات ، ولكنها خطرة الاستعمال ، وسامة ، وقد تسبب الإصابة بالسرطان لو تعرض لها الإنسان ، ومن أمثلها ما يلى :

ethylenimine (EI)

N - nitroso - N - ethylurea (NEU)

N - nitroso - N - methylurea (NMU)

1.4 - bisdiazoacetylbutane

٢–مركبات فعّالة فى إحداث الطفرات ، وشائعة الاستعمال ، ومن أمثلتها :

diethyl sulphate (DES)

ethyl methane sulphonate (EMS) إيثيل ميثان سلفونيت

methyl methane sulphonate (MMS)

isopropyl methane sulphonate (iPMS)

azide

colchicine الكولشيسين