يأخذ تفاعل فرط الحساسية فى الإصابات الفيروسية أحد مظهرين ، كما يلى :

أ – البتر أو الاستئصال Amputative Hypersensitivity :

وفى هذا النوع من التفاعل يزيل العائل الفيرس بإسقاط الأوراق المصابة قبل وصول الفيرس إلى اللحاء ، كما يحدث فى بعض أصناف الفلفل لدى إصابتها بفيرس موزايك الدخان .

يلاحظ أن هذا التفاعل يكون مصاحبا بنقص فجائى فى مستوى الأوكسين فى النبات . يحدث هذا النقص عقب الإصابة بالفيرس ، ويؤدى إلى سقوط الأوراق . وقد أدى رش النباتات التى يحدث فيها هذا التفاعل بالأوكسين نفثالين حامض الخليك Napthalene Acetic Acid بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون إلى منع سقوط الأوراق ، بينما لم تستجب النباتات للمعاملة بالأوكسين الطبيعى إندول حامض الخليك .

ب – موت جميع الخلايا النباتية المصابة بالفيرس Necrogenic Hypersensitivity : يؤدى هذا النوع من التفاعل إلى وقف انتشار الفيرس فى النبات ، كما يحدث عند عدوى النوع Nicotiana glutinosa بفيرس تبرقش الدخان (عن Kiraly وآخرين ١٩٧٤) .

الفيتوالاكسينيات

تعريف وخصائص الفيتوالاكسينات

يقوم النبات بتمثيل مركبات معينة استجابة لأى محفز خارجى (سواء أكان كيميائيا ، أم طبيعيا ، أم بيولوجيا) بما فى ذلك مسببات الأمراض ، و يطلق على تلك المركبات اسم فيتوألاكسينات Phytoalexins ، وهى التى تعد الأساس فى حالات المقاومة الرأسية التى يتحكم فيها جين واحد .

وكان Muller (١٩٥٦) قد أعطى الفيتوألاكسينات التعريف الأصلى على أنها "مضادات حيوية antibiotics تنتج من تفاعل بين نظامين حيويين – هما العائل والطفيل – وتؤدى إلى وقف نمو الكائنات الدقيقة الممرضة للنباتات" ؛ أما التعريف الحديث للفيتوألاكسينات فيقرر أنها مركبات مضادة للكائنات الدقيقة ، ذات وزن جزئى منخفض،

تمثل وتتراكم فى النباتات كنواتج أيضية ثانوية بعد تعرضها للكائنات الدقيقة ، أو لمعاملات، أو لظروف بيئية قاسية (Cruickshank ١٩٨٠) .

وتشتق كلمة Phytoalexin من الأصلين اليونانيين Phyton بمعنى نبات ، و alexin بمعنى مركب عازل Wording off Compound . وقد توصل Muller وزملاؤه إلى نظرية الفيتوألاكسين من دارساتهم المستفيضة على مرض الندوة المتأخرة فى البطاطس ، و التى قاموا فيها بعدوى الأسطح المقطوعة لدرنات البطاطس بسلالات من الفطر قادرة على إحداث الإصابة Virulent وسلالات أخرى غير قادرة على إحداث الإصابة Avirulent . وقد لخص Cruickshank (١٩٦٣) الحقائق التى توصلوا إليها فيما يلى :

١ – عندما يلامس الكائن المرضى خلايا العائل فإنه يحدث بينهما تفاعل تتكون على أثره مادة – أطلق عليها اسم فيتوألاكسين – تمنع استمرار نمو الكائن المرضى فى أنسجة العائل ، و هى – بمقتضى هذا التفاعل – أنسجة مفرطة الحساسية لهذا المسبب المرضى .

٢ – لايحدث هذا التفاعل إلا فى الخلايا الحية فقط ، ولكنه يؤدى إلى موتها .

٣ – إن المادة المتكونة نتيجة لهذا التفاعل هى مركب كيميائى ، و ربما تكون أحد نواتج عملية التحلل البيولوجى Necrobiosis التى تحدث لخلايا العائل .

٤ – لايكون هذا الفيتوألاكسين متخصصا فى مفعوله السام على الفطريات ، و تختلف الفطريات فى مدى حساسيتها له .

٥ – يحدث نفس التفاعل فى كل من الأصناف المقاومة والقابلة للإصابة ، ولكنه يكون أسرع فى الأصناف المقاومة بدرجة تسمح بوصول تركيز الفيتوألاكسين إلى المستوى المطلوب للتأثير فى المسبب المرضى قبل انتشاره فى النبات .

٦ – لايحدث التفاعل إلا فى الأنسجة المصابة ، والأنسجة المحيطة بها والقريبة منها فقط .

٧ – إن ما يورث هو حساسية خلايا العائل التى تحدد سرعة تكوين الفيتوألاكسين .

ويذكر Muller (١٩٦١) أنه لكى يمكن اعتبار المادة الناتجة من هذا التفاعل من الفيتوألاكسينات ، فإنه يتعين أن تتوفر فيها الشروط التالية :

٤ – لايكون هذا الفيتوألاكسين متخصصا فى مفعوله السام على الفطريات ، و تختلف الفطريات فى مدى حساسيتها له .

٥ – يحدث نفس التفاعل فى كل من الأصناف المقاومة والقابلة للإصابة ، ولكنه يكون أسرع فى الأصناف المقاومة بدرجة تسمح بوصول تركيز الفيتوألاكسين إلى المستوى المطلوب للتأثير فى المسبب المرضى قبل انتشاره فى النبات .

٦ – لايحدث التفاعل إلا فى الأنسجة المصابة ، والأنسجة المحيطة بها والقريبة منها فقط .

٧ – إن ما يورث هو حساسية خلايا العائل التى تحدد سرعة تكوين الفيتوألاكسين .

ويذكر Muller (١٩٦١) أنه لكى يمكن اعتبار المادة الناتجة من هذا التفاعل من الفيتوألاكسينات ، فإنه يتعين أن تتوفر فيها الشروط التالية :

١ – يجب أن يحدث التفاعل بين العائل والطفيل تحت ظروف يستبعد منها أية تأثيرات لأية كائنات دقيقة أخرى قد تكون موجودة كملوثات Contaminants .

٢ – ألا يتعرض العائل أثناء إجراء الاختبار إلى أية أضرار ميكانيكية قد تؤدى إلى إنتاجه مواد أخرى مثبطة للنمو الميكروبى .

٣ – يفضل أن يستعمل فى الاختبار طفيليات يمكنها النمو على البيئات المغذية العادية ، حتى لايُعَدّ نقص العناصر المغذية أحد العوامل التى يمكن أن تحد من نمو المسبب المرضى.

٤ – ألا توجد بالعائل – قبل العدوى بالمسبب المرضى – أية مثبطات للنمو بتركيزات تكفى لوقف نموه .

٥ – تجنب إجراء الاختبار بأية طريقة قد يترتب عليها حدوث تغييرات فى تركيبه الكميائى .

٦ – الالتزام بطريقة محددة لاختبار مفعول الفيتو ألاكسين بعد استخلاصه .

٧ – التأكد من وجود الفيتو ألاكسين فى أنسجة النبات بتركيزات كافية لوقف نمو

المسبب المرضى .

وقد أوضحت الدراسات التى أجريت على الفيتو ألاكسينات الحقائق التالية (عن Keen ١٩٨١) :

١ – تكون الطفيليات القادرة على إحداث الإصابة – غالبا – قادرة على تحمل الفيتوألاكسينات ، أو إحداث تغيرات كيميائية فيها تفقدها فاعليتها ، لكن الطفيليات القريبة منها التى تكون غير قادرة على إحداث الإصابة بنفس العائل لاتتحمل الفيتو ألاكسينات ، ولا تكون لديها القدرة على تغييره كيميائيا .

٢ – تؤدى معاملة النباتات القابلة للإصابة بأى من العوامل التى تزيد إنتاج الفيتوألاكسينات – مثل الأشعة فوق البنفسجية – قبل العدوى إلى جعلها مقاومة .

٣ – يؤدى التعرض للعوامل البيئية التى تضعف قدرة النبات على إنتاج الفيتوألاكسينات – دون أن يكون لها نفس التأثير السلبى فى الطفيل – إلى إضعاف مقاومة النباتات .

٤ – لا تنتج الفتوألاكسينات بتركيزات عالية فى العوائل ذات المقاومة الرأسية إلا عندما لا يوجد توافق بين العائل والطفيل .

٥ – تزداد سرعة تكوين الفيتو ألاكسينات عند منافذ الإصابة فى حالات المقاومة التى يصاحبها توقف سريع لنمو الطفيل عما فى الحالات التى تبطىء فقط من نمو الطفيل وتقدمه .

٦ – يصل تركيز الفيتوألاكسين إلى المستوى السام للمسبب المرضى فى الوقت والمواقع التى يتوقف فيها نمو وتطور سلالات الطفيل غير المتوافقة .

٧ – تؤدى العدوى المزدوجة بسلالة متوافقة وأخرى غير متوافقة من المسبب المرضى إلى وقف نمو كليهما ، ويكون ذلك مصاحبا بتركيزات عالية من الفيتوألاكسين المنتج .

٨ – تؤدى المعاملة بالفيتوألاكسينات النقية فى منافذ الإصابة عند العدوى بسلالة متوافقة من المسبب المرضى إلى جعلها غير متوافقة ، كما تؤدى زيادة الكمية المضافة إلى زيادة حالة عدم التوافق .

٩ – أحيانا .. تؤدى المعاملة بالسموم المحدثة للأمراض – والمستخلصة من المسببات المرضية – إلى إحداث نفس التفاعلات المؤدية إلى إنتاج الفيتو ألاكسينات مثل المسببات المرضية ذاتها .

الكائنات والعوامل والمعاملات المحفزة لإنتاج الفيتو الاكسينات

تنتج الفيتوألا كسينات فى النباتات عند عدواها بعديد من الكائنات الدقيقة والفيروسات، ولدى تعريضها لعوامل أو معاملات خاصة ، ومن أهم تلك المسببات والعوامل ما يلى :

١ – الفطريات :

إن معظم معلوماتنا عن الفيتوألاكسينات حصل عليها من دراسات استخدمت فيها الفطريات لتحفير إنتاج الفيتوألاكسينات . ولايشترط لإنتاج الفيتوألاكسينات أن تكون الفطريات المستخدمة فى العدوى من بين الطفيليات الطبيعية للعائل ، فقد وجد Cruickshank (١٩٦٥) أن البسلة تنتج الفيتو ألاكسين بيزاتين Pisatin لدى عدوى قرونها بأى واحد من عدد كبير من الفطريات سواء أكانت من بين الطفيليات الطبيعية للبسلة، أم غير ذلك ، إلا أن تركيز البيزاتين المنتج اختلف من فطر لآخر . كذلك اختلفت الفطريات المستخدمة فى مدى حساسيتها للبيزاتين ، وأمكن تقسيمها إلى مجموعتين : حساسة للبيزاتين ، وتشمل كل الطفيليات الطبيعية للبسلة ، وغير حساسة وتشمل كل الفطريات الأخرى التى شملها الاختبار وهى ليست من الطفيليات الطبيعية للبسلة .

وفى العائل الواحد .. ينتج عادة نفس الفيتوألاكسين وإن تعددت جينات المقاومة الرأسية ما دامت سلالات الفطر المستخدمة غير متوافقة مع جين المقاومة الرأسية ؛ ففى البطاطس .. تمكن Sato وآخرون (١٩٦٨) من عزل الفيتوألاكسين ريسيتين Rishitin من درنات الأصناف ذات التركيب الوراثى r، و R_1 ، و R_2 ، و R_3 ، و R_4 لدى عدوى أى منها بسلالة غير متوافقة من الفطر Phytopthora infestans .

٢ – البكتيريا :

لم يعرف دور الفيتو ألاكسينات فى مقاومة الأمراض البكتيرية إلا فى عام ١٩٧١ حينما أمكن عزل كميات كبيرة نسبيا من الفيتوألاكسين فاصيولين Phaseollin من أوراق

أصناف الفاصوليا (٢٢٦ ميكرو جراماً / جم من الأوراق) المفرطة الحساسية للبكتيريا Pseudomonas phaseolicola لدى عدواها بتلك البكتيريا . كما أمكن عزل فيتوألاكسينات أخرى من الفاصوليا – بنفس البكتيريا – وهى : Phaseollidin ، وPhaseollinisoflavan ، وCoumestrol , Kievitone .

وقد عزلت بعد ذلك فيتو ألاكسينات أخرى فى حالات مرضية بكتيرية أخرى ، فمثلا .. وجد أن البكتيريا Pseudomonas glycinea تحفز تكوين الفيتوألاكسينات التالية فى فول الصويا glyceollin ، و coumestrol ، و daidzein ، و sojagol . وفى البطاطس .. عزلت الفيتوألاكسينات Rishitin ، و Phytuberin بتركيزات عالية نسبيا من درنات البطاطس (١٠٠ – ١٠٠٠ ميكروجرام/ جم من النسيج المعدى) لدى عدواها بالبكتيريا Erwinia atroseptica . كما عزلت نفس هذه الفيتو ألاكسينات – مع غيرها – لدى عدوى الدرنات بالبكيتريا E. carotovora . كذلك عزل الفيتوألاكسين Cspsidiol من أوراق الفلفل لدى عدواها بالبكتيريا E. carotovora .

٣ – الفيروسات :

أمكن فى عام ١٩٧٢ عزل عدد من الفيتوألاكسينات من الفاصوليا الخضراء لدى عدواها بفيرس تحلل الدخان Tobacco Necrosis Virus، و هى : Phaseollin ، و Phaseollidin، و Phaseollinisofhavan .، و Kievitone .

وقد تبين بعد ذلك أن البقع المحلية التى تتكون فى بعض حالات الإصابات الفيروسية تعد مواقع ممتازة لعزل الفيتو ألاكسينات ، حيث عزلت الفيتو ألاكسينات من الحالات المرضية الفيروسية التالية :

العائل	الفيروسات	الفيتو ألاكسينات المنتجة
الفاصوليا Vigna spp.	فيرس تحلل الدخان متنوعة	Phaseollinisoflavan , Kievitone Phaseollin , Phaseollidin, Kievitone, 2 - O-methylphaseollidinisoflavan , Vignafuran
البسلة N.tabacum	متنوعة فيرس تحلل الدخان	Pisatin Capsidiol , Solascone , Phytuberin , Phytuberol , 3 - hydroxysolavetivone

وتتراوح كميات الفيتوألا كسينات المنتجة من ١٠ – ٥٠٠ ميكروجرام / جم من الأنسجة المصابة بالفيرس . وجدير بالذكر أن الدراسات التى استخدمت فيها الفيروسات أدت إلى عزل فيتوألاكسينات جديدة لم تكن معروفة من قبل .

٤ – النيماتودا :

أمكن عزل الفيتوألاكسينات من الحالات المرضية النيماتودية التالية :

العائل	النيماتودا	الفيتوألاكسينات المنتجة
البطاطا	Cylas formicarius	Ipomeamarone
	او Euscepes postfasciatus	Ipomeamarol
		dehydroipomeamarone
فاصوليا الليما	Pratylenchus scribneri	Coumestans
الفاصوليا الخضراء	P. penetrans	Phaseollin
فول الصويا	Meloidogyne incognita	Glyceollin

وفى جميع هذه الحالات .. كان تركيز الفيتوألاكسينات أعلى فى الأنسجة المتحللة (عن Bailey ١٩٨٢) .

٥ – المركبات الكيميائية :

تبين أن عديداً من المركبات الكيميائية تعمل كمنبهات لإنتاج الفيتوألاكسينات لدى معاملة النباتات بها ، و من هذه المركبات ، ما يلى :

فئة المركبات	أمثلة للمركبات
مثبطات التنفس	Sodium iodoacetate
	Sodium fluoride
	Potassium cyanide
	2 .4 - dinitrophenol
مضادات الحيوية	Actinomycin D
	Puromycin
	Cycloheximide
منظمات النمو	Ethylene
	Indole acetic acid
	2 , 4 - D
	2, 4 - 5 - trichlorophenoxyacetic acid

وتعرف مركبات كيميائية أخرى عديدة ، ولكن تأثيرها المحفز لإنتاج الفيتوألاكسينات لم يدرس إلا فى البسلة ، و من أمثلتها : أملاح المعادن الثقيلة كالنحاس ، و الزئبق .

٦ – نواتج الأيض الميكروبى Microbial Metabolites :

تبين أن راشح المزارع الميكروبية ، وكذلك الخلايا الفطرية المقتولة بالحرارة كانت قادرة على تحفيز إنتاج الفيتوألاكسينات مثل الكائنات الحية المأخوذة عنها تماما . ومن أهم نواتج الأيض الميكروبى التى وجدت فيها وكانت مؤثرة فى إنتاج الفيتوألا كسينات كل من : الـ Peptides ، والـ Glycopeptides ، و الـ Polysaccharides .

٧ – المعاملات الفسيولوجية :

حفز تجريح الأنسجة النباتية بالقطع ، أو بالخدش ، أو بالوخز بالإبر إنتاج الفيتوألاكسينات ، ولكن بتركيزات منخفضة جدا . كما أنتجت الفيتوألا كسينات بتعريض الأنسجة لدرجة – ٢٠ °م لمدة ١٠ – ٢٠ دقيقة ، أو بجعلها تلامس النيتروجين السائل ثم تفكيكها . وكانت أكثر المعاملات تأثيرا فى إنتاج الفيتوألاكسينات هى التعريض للأشعة فوق البنفسجية (عن Bailey ١٩٨٢) ..

تأثير الفيتوالاكسينات على الكائنات الدقيقة وعلاقة ذلك بالمقاومة

درس تأثير الفيتوألاكسين بيزاتين Pisatin الذى تنتجه البسلة – كمثال – على عدد كبير من الفطريات ، كان بعضها من تلك التى تتطفل طبيعياً على البسلة ، بينما لم يكن بعضها الآخر كذلك ، وكانت جميعها من الفطريات الهامة التى تمثل مختلف المجاميع الفطرية .

وقد أوضحت هذه الدراسة أن الفطريات التى تصيب البسلة أقل حساسية للبيزاتين من الفطريات التى لا تتطفل طبيعيا على البسلة . وقد حصل كذلك على نتائج مشابهة بالنسبة لكل من فيتوألاكسينات الـ Viciatin الذى ينتجه الفول الرومى ، و الـ Phaseolin الذى تنتجه الفاصوليا.

وجدير بالذكر أن إنتاج الـ Pisatin فى قرون البسلة لا يبدأ قبل مرور ٦ –٨ ساعات من

حـقن (عـدوى) القـرون - فى أمـاكن البـذور - بالفطر المناسب ، ثم يزداد تركـيـز الفيتوألاكسين تدريجيا مع الوقت لمدة ١٢ - ٣٠ ساعة (عن Cruickshauk ١٩٦٥) .

ويمكن القول إن المقاومة هى الحالة التى يتمكن فيها العائل من الاستجابة - للإصابة - بإنتاج فيتوألاكسين بتركيز يصل إلى الحد اللازم لوقف نمو المسبب المرضى أو يزيد عليه . كما يمكن تعريف القابلية للإصابة بأنها الحالة التى لايمكن فيها للعائل الاستجابة للإصابة بالسرعة الكافية لإنتاج الفيتوألاكسين بالتركيز المناسب لوقف نمو المسبب المرضى .

طرق إنتاج الفيتوالاكسينات

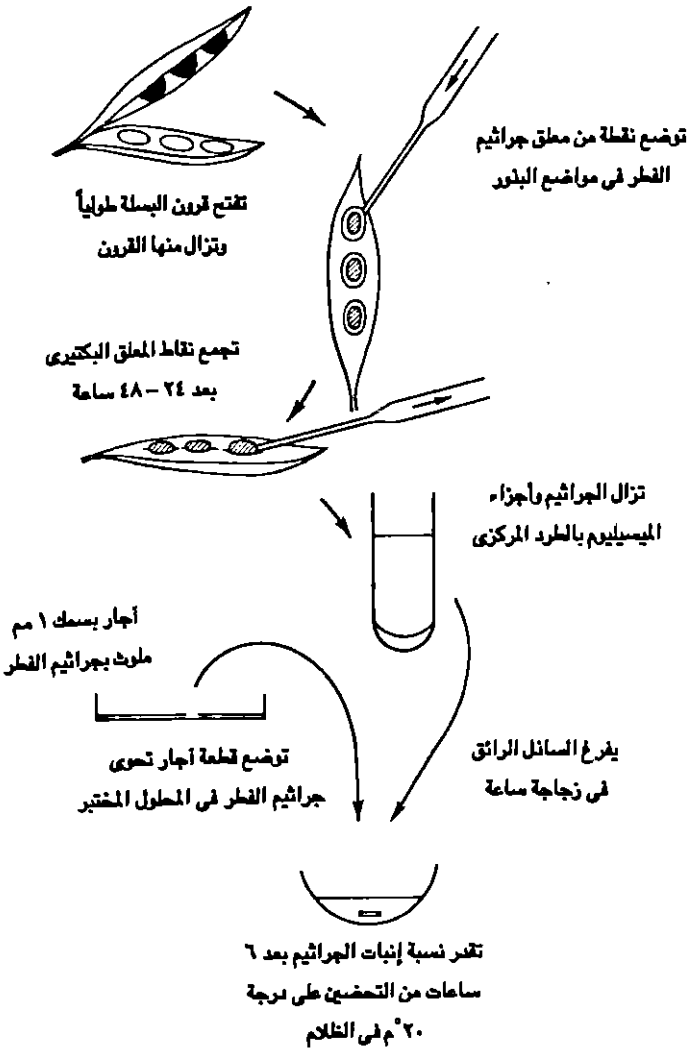
اتبعت عدة طرق لإنتاج الفيتوألاكسينات فى الأنسجة النباتية عقب عدواها بالمسببات المرضية ، نذكر منها ما يلى :

١ - رش الأوراق والسيقان بمعلق المسبب المرضى بعد إزالة الطبقة الشمعية عنها .
٢ - عدوى الأسطح المقطوعة للنسيج النباتى المتشحم كالدرنات .
٣ - عدوى مواضع البذور - بعد إزالتها - من أنصاف قرون البقوليات :

تعرف هذه الطريقة باسم drop - diffusate method ، و فيها تزال البذور من القرون الخضراء للبقوليات بعد تقصيصها ، ثم يضاف المعلق الفطرى أو البكتيرى ... إلخ فى تجويف البذور ، وتحفظ أنصاف القرون المعاملة بهذه الطريقة فى مكان محكم مغلق ترتفع فيه نسبة الرطوبة . تُنتج بعد ساعات قليلة الفيتوألاكسينات فى خلايا العائل ، لتنتشر منها إلى السائل الموجود فى تجويف البذور ، حيث يمكن استخلاصها بسهولة (شكل ٩-٢) .

اتبعت هذه الطريقة فى إنتاج الـ Pisatin من البسلة ، والـ Viciatin من الفول الرومى ، والـ Phaseolin من الفاصوليا . ويتراوح - عادة - تركيز الفيتوألاكسينات فى السائل الموجود فى فجوات البذور من ١٠ - ٢٠٠ ميكروجرام / مل (عن Bailey ١٩٨٢) . ولمزيد من التفاصيل عن هذه الطريقة لإنتاج الفيتوألاكسينات .. يراجع Kiraly وآخرون (١٩٧٤).

كذلك يمكن حـقن القـرون الخضـراء - وهى على النبات - فى تجاويف البذور بمعلق المسبب المرضى ، وقد اتبعت هذه الطريقة فى إنتاج الـ Pisatin بعد الحقن بمعلق الفطر Monilinia fructicola .



شكل (٩ –٢) : طريقة أنصاف قرون البقوليات لإنتاج الفيتوألاكسينات .

٤ – اقترح Kuc (١٩٧٢) استخدام أنصاف ثمار الأفوكادو والقاوون فى إنتاج كميات كبيرة من الفيتوألاكسينات بطريقة مماثلة لطريقة أنصاف قرون البقوليات . وقد اتبعت هذه الطريقة بالفعل فى إنتاج الفيتوألاكسينات من ثمار السترون المقاوم للفطر المسبب للذبول الفيوزارى (Helal ١٩٧٦) .

٥ – استخدام مزارع الأنسجة :

يمكن استخدام مزارع الأنسجة النباتية فى إنتاج الفيتوألاكسينات بعد عدواها بالمسببات المرضية . وللتفاصيل الخاصة بهذه الطريقة .. يراجع Dixon (١٩٨٠) .

هذا .. ويمكن فصل الفيتوألاكسينات بسهولة بطرق الفصل الكروماتوجرا فى ، ويستخدم لذلك الكروما توجرافى الورقى . وقد اتبعت هذه الطريقة لفصل كل من الـ Pisatin (Cruickshank ١٩٦٥) ، والـ Rishitin (Tomiyama وآخرون ١٩٦٨) .

كما يتم الفصل أيضا باختبار الـ thin layer chromatography ، وفيه توضع المستخلصات النباتية على الشريحة الزجاجية المعدة للفصل الكروما تؤجرا فى ، و بعد عمل الكروماتوجرام chromatogram (أى انفصال مكونات المستخلص على الشريحة) فإنه يرش بجراثيم أحد الفطريات المناسبة وهى معلقة فى محلول مغذ . يترك الكروماتوجرام بعد ذلك فى حضّان ذى رطوبة مرتفعة لعدة أيام ، حيث ينمو الفطر على كل الشريحة فيما عدا فى المناطق التى توجد بها الفيتوألاكسينات (Wain ١٩٧٧) .

العوامل المؤثرة فى إنتاج النباتات للفيتوالاكسينات

يتأثر إنتاج النباتات للفيتوألاكينات بعديد من العوامل . وقد أجريت الدراسات فى هذا الشأن على إنتاج الفيتوألاكسين Pisatin من البسلة بطريقة عدوى تجويف البنور فى أنصاف القرون ، ووجد أنه يتأثر بالعوامل التالية :

١ – الحالة الفسيولوجية للقرون ، ولجراثيم الفطر المستخدم فى العدوى ، وكان ذلك مرتبطاً أيضا بدرجة ظهور المرض .

٢ – مدة تخزين القرون قبل إجراء الاختبار ، و درجة الحرارة التى خزنت عليها القرون آنذاك ، وما إذا كان التخزين قد أجرى فى أوعية مغلقة ، أم مهواة . .

٣ – درجة نضج القرون المستخدمة فى الاختبار ، حيث العلاقة عكسية بين درجة النضج وإنتاج الـ Pisatin .

٤ – درجة الحرارة أثناء إجراء الاختبار ، حيث يبلغ إنتاج الـ Pisatin أقصاه فى درجة حرارة ١٥ – ٢٠°م ، و ينخفض إنتاجه تدريجيا كلما اقتربت درجة الحرارة من الدرجتين

الصغرى و العظمى لإنتاجه ، و هما صفر ، و ٣٥°م على التوالى .

٥ – لايتكون الـ Pisatin فى غياب الأكسجين بعد العدوى . ويمكن القول إن التهوية بعد العدوى تؤثر فى العمليات الحيوية فى كل من العائل والطفيل . ونظرا لأن بعض المسببات المرضية قد يمكنها تحمل نقص الأكسجين بدرجة أكبر من النباتات الراقية ، لذا .. فإن سوء التهوية قد يكون له تأثير سلبى كبير فى المقاومة ، وهو ما يلاحظ عند ارتفاع منسوب الماء الأرضى ؛ حيث تزداد الإصابة ببعض الأمراض .

٦ – توجد علاقة طردية موجبة بين إنتاج الـ Pisatin وتركيز جراثيم معلق جراثيم الفطر المستخدم فى العدوى ، سواء أكان الفطر من طفيليات البسلة الطبيعية ، أم غير ذلك.

أنواع الفيتوالاكسينات التى تنتجها النباتات

يعتقد Keen (١٩٨١) أن إنتاج الفيتوألاكسينات ظاهرة عامة فى جميع النباتات ، ويرجع عدم اكتشافها فى بعض الأمراض إلى أن الطرق المعروفة لإنتاج واستخلاص الفيتوألاكسينات ليست صالحة لكل الحالات المرضية .

وقد أنتجت الفيتوألاكسينات بالفعل من ١٠٠ نوع نباتى على الأقل تمثل ٢١ عائلة . ومن أمثلة النباتات التى عزلت منها الفيتوألاكسينات : الفاصوليا ، واللوبيا ، وفاصوليا الليما ، وفول الصويا ، والفول الرومى ، والبسلة ، والدخان ، والبطاطس ، والفلفل ، والبنجر ، والقطن ، والجزر ، والبطاطا .

يلاحظ أن النبات الواحد قد ينتج أكثر من فيتوألاكسين واحد ، كما قد ينتج الفيتوألاكسين الواحد بأكثر من نوع نباتى ، و بفعل أكثر من عامل أو مسبب مرضى ، فمثلا :

١ – تنتج الفاصوليا الفيتوألاكسينات : Phaseollin ، و Phaseollidin ، وKievitone ، و Phaseollinisoflavan .

٢ – تنتج اللوبيا الفيتوألاكسينات : Phaseollidin, Phaseollin ، و Kievitone .

٣ – تنتج البسلة الفيتوألاكسينات : Pisatin ، و Mackiain (Deverall ١٩٧٧).

٤ – عُزِلَ الفيتوألاكسين : Hydroxyphaseollin من أوراق فول الصويا بعد نحو

٣٠ ساعة من عدواها بفيرس تحلل الدخان Tobacco Necrosis Virus ، وازداد تركيز الفيتوألاكسين المنتج بالأوراق تدريجيا حتى ٤٨ – ٧٢ من العدوى بالفيرس ، ثم انخفض بعد ذلك . وكان إنتاج الفيتوألاكسين متناسبا – طرديا – مع عدد البقع المرضية بالورقة (Klarman & Hammerschlag ١٩٧٢) .

ونذكر – فيما يلى – قائمة بالفيتوألاكسينات التى تنتجها بعض العائلات النباتية التى درست فيها ظاهرة إنتاج الفيتوألاكسينات بشىء من التفصيل (عن Dixon ١٩٨١) :

العائلة	أنواع الفيتوألاكسينات التى تنتجها
البقولية Leguminosae	medicarpin, pisatin , phaseollin. glyceollin (peterocarpans) , vetitol, sativan , phaseollin - isoflavan (isoflavans), Kievitone (isoflavanone), wyerone, wyerone acid
الباذنجانية Solanaceae	rhisitin , phytotuberin , capsidol, glutinosone (terpenoids)
الخبازية Malvaceae	vergosin , hemigossypol
الخيمية Umbelliferae	xanthotoxin
العليقية Convolvulaceae	ipomeamarone
المركبة Compositae	safynol , dehydroxysafynol
الأوركيدية Orchidaceae	orchinol , hircinol

ولمزيد من التفاصيل عن الفيتوألاكسينات التى تنتجها مختلف العائلات النباتية .. يراجع Ingham (١٩٨٢) بشأن العائلة البقولية ، و Kuc (١٩٨٢) بشأن العائلة الباذنجانية ، وCoxon (١٩٨٢) بشأن العائلات الأخرى .

الخصائص الطبيعية والكيميائية للفيتوألاكسينات

درس الباحثون الخصائص الطبيعية والكميائية لعديد من الفيتوألاكسينات ، ونذكر فيما يلى بعض الخصائص الكميائية لبعض الفيتوألاكسينات الهامة (عن Cruickshank ١٩٦٣، و Wain ١٩٧٧) .

الفيتوألاكسين	الوزن الجزيئى	التركيب الكميائى	الاسم الكيميائى
Pisatin من البسلة	٣١٤	$C_{17}H_{14}O_6$	3 - hydroxy - 7-methoxy-4',5'-methylenedioxy- chromanocumarane
Ipomeamarone من البطاطا	٢٣٠	$C_{15}H_{22}O_3$	2 - methyl-2 - (4-methyl -2 - oxypentyl)- 5 - (3- furfyl , tetrahydrofuran
Orchinol	٢٥٦	$C_{16}H_{16}O_3$	9,10 - dihydro-2 ,4 - dimethoxy-6 - hydroxy - phenanthre
Isocumarin من الجزر	٢٠٨	$C_{11}H_{12}O_4$	3 - methyl- 6 - methoxy - 8- hydroxy-3, 4 - dihydroxy - isocumarin

وقد أمكن تمثيل عدد من الفيتوألاكسينات معمليا ، نذكر منها ما يلى :

الفيتوألاكسين	المصدر الطبيعى له
Pisatin	البسلة
Rishitin	البطاطس
Vignafuran	اللوبيا
Orchinol	جنسان من العائلة الأوركيدية Orchidaceae

وللتفاصيل الخاصة بالخصائص الطبيعية والكيميائية للفيتوألاكسينات .. يراجع Cruickhank & Perrin (١٩٧٣) بخصوص الـ Phaseollin ، و Cruickshank (١٩٦٥) بخصوص الـ Pisatin ، و Katsui وآخرون (١٩٦٨) بخصوص الـ Rishitin ، و Deverall (١٩٧٧) ، و Wain (١٩٧٧) . بخصوص الفيتوألاكسنيات بصورة عامة .

مصادر إضافية خاصة بالفيتو الاكسينات

أشير إلى عديد من المراجع الهامة أثناء مناقشة موضوع الفيتوألاكسينات ، ونؤكد فى القائمة التالية على بعضها ، ومراجع إضافية ، كمصادر هامة لدراسات الفيتوألاكسينات :

المرجع	الموضوع
Muller (١٩٦١)	مقال كلاسيكى عن الفيتوالاكسينات
Cruickshank (١٩٦٣)	عام
Cruickshank (١٩٦٥)	دراسات مفصلة على البيزاتين
Kuc (١٩٧٢)	عام
Dixon (١٩٨٠)	إنتاج الفيتوالاكسينات فى مزارع الأنسجة
Cruickshank (١٩٨٠)	الجوانب العملية لدراسة الفيتوالاكسينات
Keen (١٩٨١)	تقييم لدور الفيتوالاكسينات
Bailey (١٩٨٢ أ)	شامل لكل جوانب الموضوع
Bailey (١٩٨٢ ب)	عام
Mansfield (١٩٨٢)	فسيولوجى الدور الذى تلعبه الفيتوالاكسينات فى مقاومة مختلف مسببات الأمراض
Bailey & Mansfield (١٩٨٢)	شامل

طبيعة المقاومة للنيماتودا

تكررت الإشارة إلى طبيعة المقاومة للنيماتودا فى هذا الفصل ، إلا أنها لم تحظ بنصيب وافر من الأمثلة التى تركزت على غيرها من المسببات المرضية . ولذا .. نتناول فيما يلى هذا الموضوع على وجه التخصيص .

تتعدد الوسائل التى تقاوم بها النباتات النيماتودا كما يلى :

١ – المقاومة للاجتياح Resistance to Invation ، أو الاختراق Penetration :

ربما لايمكن للنيماتودا – فى حالات خاصة – اجتياح جذور النباتات المقاومة بنفس الأعداد التى تجتاح بها جذور النباتات القابلة للإصابة ، و لكن تلك حالات شاذة ، ففى أغلب الأحيان تجتاح النيماتودا جذور النباتات المقاومة بنفس الكثافة التى تجتاح بها جذور النباتات القابلة للإصابة ، ثم تظهر الفروق بينهما بعد ذلك . فبعد أيام قليلة من ذلك الاجتياح .. تبدأ النيماتودا التى اجتاحت جذور النباتات القابلة للإصابة فى تكوين خلايا عملاقة ، وتكمل دورة حياتها وتتكاثر ، بينما تتناقص أعداد النيماتودا التى اجتاحت جذور