لقد أمكن عزل وتنقية البروتينات المثبطة لإنزيمات الـ α-amylases – الخاصة بالثدييات – من عديد من البذور النباتية. وهى تتواجد بكثرة فى حبوب النجيليات (مثل القمح والشعير والذرة والأرز والراى والسورجم) وبذور البقوليات (مثل الفاصوليا واللوبيا والعدس وفاصوليا المنج) وبعض الأنواع الأخرى (مثل اليام والقلقاس). وهى تثبط – كذلك – الـ α-amylases الحشرية. ويرتبط التركيز الطبيعى لمثبطات إنزيمات الـ α-amilases (الـ α-amylase inhibitors أو اختصارًا α-Als) فى البذور مع مقاومة تلك البذور للحشرات. مثل الـ bruchid beetles. وتعد إنزيمات الـ α-amylases هى الإنزيمات الهاضمة الرئيسية فى معى الحشرات. يؤدى تثبيطها إلى التعارض مع تمثيل المواد الكربوهيدراتية التى تكون فى غذائها.

المقاومة المستحثة ضد الحشرات

تمتلك النباتات القدرة على جعل كل خلية فيها نشطة فى الاستجابات الدفاعية ضد الحشرات – أو الجروح بصورة عامة – من خلال تنشيط جينات خاصة. وتهدف تلك الاستجابات – التى تنشط لدى حدوث الجروح – إلى التآم الأنسجة المضارة واستثارة النشاط الدفاعى الذى يمنع أى أضرار أخرى.

ولقد ثبت حدوث المقاومة المستحثة ضد الإصابات الحشرية فى أكثر من ١٠٠ نوع نباتى تتوزع فى ٣٠ عائلة. وتتضمن القائمة: القطن، والذرة، والبطاطس، وفاصوليا الليما، والتبغ، والـ *Arabidopsis*، والفول السودانى، والكرنبيات *Brassica oleracea*، والشعير، و *Ulmus minor*، والفراولة، و .*Salix* spp، و *Prunus* spp. وعديد من معراة البذور (جدول ١٤-٢٨).

تحدث معظم تلك الاستجابات فى خلال فترة زمنية تتراوح بين دقائق قليلة إلى عدة ساعات بعد حدوث التجريح، وتتضمن كل ما يتعلق بعملية تنشيط الجينات المتخصصة فى هذا الشأن.

جدول (١٤-٢٨): المقاومة المستحثة بفعل الإصابات الحشرية وارتباط ذلك بالتغيرات التى تُصاحبها فى المحتوى النباتى من مركبات الأيض الثانوية (عن Panda & Khush ١٩٩٥).

الحشرة الحائثة	النبات	تفاعل المقاومة المستحَث
Pea aphid	البرسيم الحجازى	↑ Counmestrol
European pine sawfly	الصنوبر	↑ Polyphenol
Pine beauty moth	Lodgepole pine	↑ Mononterpene
Bark beetle	Lodgepole pine	↑ Terpenoid and phenolic compounds
Sweet potato weevil	البطاطا	Ipomeamarone (furanoterpenoid phytoalexin)
Gypsy moth	Gray birch Black oak Red oak	↑ Nutritional value ↑ Sugar ↑ Phenolics, hydrolyzable tannins
Lepidopteran larvae	Birch	Phenolics
Lepidopteran larvae	Birch	↑ PAL activity
Lygus disponsi	بنجر السكر	↑ Quinones
	الكرنب الصينى	↑ Phenolics
Cotton bollworm	القطن	↑ Phenolics
Spider mites	القطن	↓ Fecundity
Striped cucumber	الكوسة	↑ Cucurbitacins
Mexican bean beetle	فول الصويا	↑ Isoflavonoids ↑ Glyceollin ↑ PAL activity
Soybean looper	فول الصويا	↑ Glyceollin
Tobacco mosaic virus	التبغ	↓ Oviposition of *Myzus persicae*
Spodoptera littoralis	الطماطم	Affects feeding
Spodoptera exigua	الطماطم	↑ Proteinase inhibitor
Psylliodes chrysocephala	الكيل والمسترد	↑ Indole glucosinolate

↑ زيادة، ↓ نقص، PAL: phenylalanine ammonia lyase.

ويكون للبروتينات التى تشفر تلك الجينات لتمثيلها واحدة من الوظائف التالية:

١ - إصلاح النسيج النباتى المضار.

٢ – إنتاج مواد تثبط نمو وتطور الحشرة؛ كأن تقلل من قابلية النسيج النباتى للهضم بواسطة الحشرة أو تكون سامَّة لها.

٣ – الإسهام فى تنشيط إشارات الجروح الدفاعية وما يتبعها من مسارات أيضية.

٤ – تكييف الأيض النباتى بما يتلاءم مع متطلبات التغذية التى فرضت عليه.

تحدث الإشارة لتمثيل حامض الجاسمونك فى النباتات عقب تعرضها لظروف شدّ معينة مثل التجريح. والتفاعل مع المسببات المرضية، والأشعة فوق البفسيجية. والإصابات الحشرية. ويعد حامض الجاسمونك لا غنى عنه لتفتح المتوك وتطور حبوب اللقاح.

لقد وجد أن الإصابات الحشرية للنباتات تُنَشِّط مسار الـ octadecanoid من خلال عملية الـ lipoxygenation لحامض اللينولينك linolenic acid؛ مما يؤدى إلى إنتاج حامض الجاسمونك jasmonic acid. وهو الذى يعطى الإشارة للتعبير عن عدد من المركبات، مثل: الـ proteinase inhibitor، والـ polyphenol oxidase. والـ steroid glycoalkaloids، وهى التى يبدو أنها تُسهم – بدورها – فى مقاومة النباتات لعديد من الآفات الحشرية وبعض المسببات المرضية.

أما الفطريات والبكتيريا والفيروسات المسببة للأمراض فإنها تستحث مسارًا بنائيًّا آخر يفضى إلى إنتاج حامض السلسيلك salicylic acid. وهو الذى يعطى الإشارة لتكوين البروتينات ذات العلاقة بعملية الإصابة المرضية pathogensis-related protein والفيتوألاكسينات phytoalexins، وهى التى يبدو أنها تُسهم فى مقاومة النباتات لعديد من المسببات المرضية وبعض الآفات الحشرية.

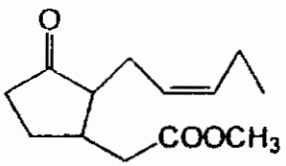
وتقود تلك المسارات الأيضية إلى استجابات جهازية بواسطة النبات تسمى "المقاومة المستحثة" induced resistance (اختصارًا: IR)، والمقاومة الجهازية المكتسبة systemic acquired resistance (اختصارًا: SAR).

إن الاستجابات النباتية المستحثة ضد الإصابات الحشرية تتضمن إنطلاق مركبات كيميائية متطايرة، وهى تقسم إلى خمس مجاميع كما يلى (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥):

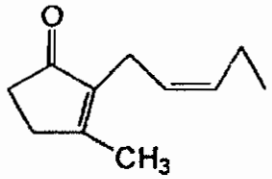
مجموعة المركبات أو فئتها	المركبات المنطلقة
المركبات المتطايرة التى تنطلق من الأوراق الخضراء يُحصل عليها من الـ Ocatdecanoid pethway، وتتضمن:	
	● cis-3-hexen-1-ol
	● cis-2-hexenylacetate
	● cis-3-hexenylbutyrate
المركبات التربينية المتطايرة terpenoid volatiles	● trans-β-ocimene
	● cis-α-bergamotene
	● trans-β-farnesene
	● linalool
	● 4-8-dimethyl-1.3E,7-dimethylnonatrine (اختصارًا: DMNT أو Homoterpene I)
	● 4,8,12-trimethyl-1.3E, 7E, 11-tridecatetraene (اختصارًا: TMMT أو homoterpene II)
مركبات يُتحصل عليها من الـ shikimate pathway	● methylsalicylate
	● methybenzoate
	● indole
مركبات الإشارة signal compounds	● systemin (oligopeptide وهو)
	● oligosaccharides (من الجدر الخلوية المضارة)
	● jasmonates
	● ethylene
مركبات يُتحصل عليها من الحشرات ذاتها	● Volicitin (يُتحصل عليه من إفرازات الفم لدودة ورق القطن الصغرى، وهو يستحث الذرة على إنتاج المركبات المتطايرة التى تجذب الأعداء الحيوية للحشرة)
	● Bruchins (يُتحصل عله من سوستى البسلة واللوبيا)
	● β-glucosidase (وهى المستحثات الأساسية)

ويبين شكل (١٤-١٧) التركيب البنائى لبعض من تلك المركبات التى يُستحث إنتاجها.

i. Jasmonates

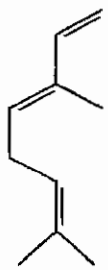


Methyl Jasmonate

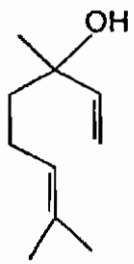


Jasmone

ii. Terpenes

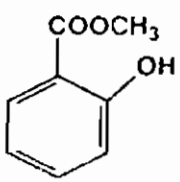


β–Ocimene

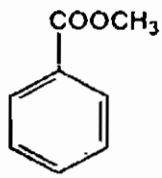


Linalool

iii. Benzenoids



Methyl salicylate

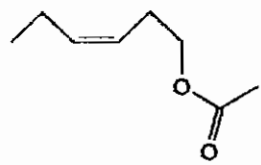


Methyl benzoate

شكل (١٤-١٧): التركيب الكيميائى لبعض المركبات التى يُستَحث إنتاجها.

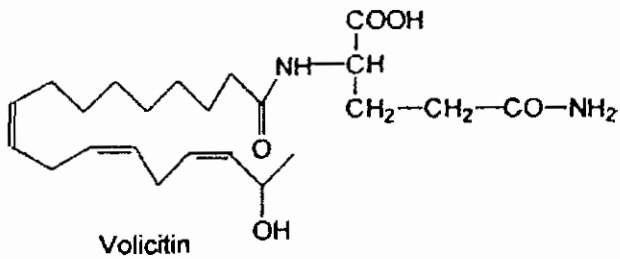
iv. Green leaf volatiles

3-Hexenal

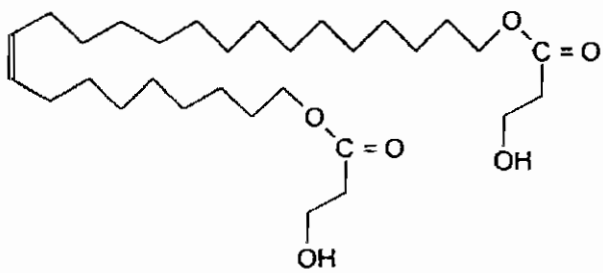


3-Hexenyl acetate

v. Insect-derived fatty acid derivatives



Volicitin



Bruchin C

تابع شكل (١٤-١٧).

طبيعة المقاومة للحشرات والأكاروسات فى بعض الأنواع النباتية

أولا: محاصيل الخضر

جنس الطماطم *Lycopersicon* spp.:

تفرز الغدد المتصلة بالشعيرات الغدية فى بعض الأنواع التابعة للجنس *Lycopersicon*