

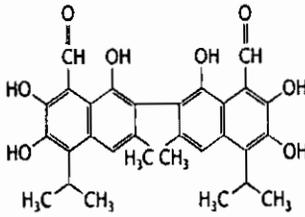
## دور مركبات الأيض الثانوية في المقاومة

تقوم النباتات بتمثيل مركبات كيميائية طاردة أو سامة لمعظم الحشرات والحيوانات الآكلة للأعشاب (جدول ١٤-١٦)، وهي مركبات تشكل حوالي ١٠٪ من الكتلة الجافة للنباتات. وتعرف باسم مركبات الأيض الثانوية secondary metabolites. يطلق على تلك المركبات - أيضاً - اسم allelochemicals (أى المركبات التي تنظم التفاعلات بين مختلف الأنواع)، ويقدر عددها بنحو ١٠٠٠٠ مركب. توفر معظم هذه المركبات حماية للنباتات ضد الحيوانات (والحشرات) الآكلة للأعشاب، ولكن بعضها الآخر يعد جاذباً للحشرات الملقحة أو للحيوانات التي تأكل الثمار؛ ليتحقق من خلال مخلفاتها مزيداً من الانتشار لبيذور النبات.

## التقسيم العام لمركبات الأيض الثانوية

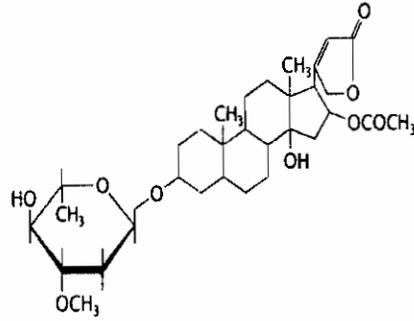
يبين جدولاً (١٤-١٧)، و (١٤-١٨) التقسيم العام لمركبات الأيض الثانوية تبعاً لمصدرين مختلفين.

هذا .. وتنتج النباتات ثلاث فئات رئيسية من مركبات الأيض الثانوية، هي: التربينات terpenes، والفينولات phenolics، والمركبات المحتوية على النيتروجين nitrogen-containing compounds (شكل ١٤-١٤).



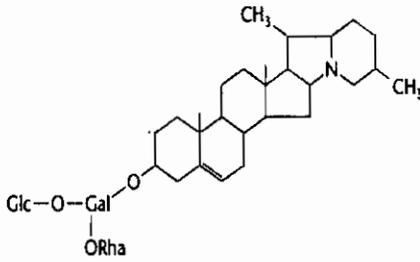
Gossypol

الجوسيبول عبارة عن تربين **terpene** يُنتج بواسطة خلايا الشعيرات ببشرة أوراق نبات القطن، وهو يحمي القطن من الإصابات الحشرية والمرضية.



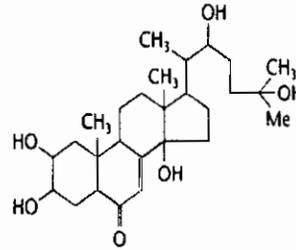
Oleandrin

الأولياندرين عبارة عن جلوكوسيد يؤثر في القلب، ويوجد في أوراق وسيقان نباتات الدفلة.



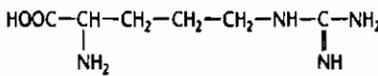
Solanine

السولانين عبارة عن مركب قلواني سام ينتج بواسطة درنات البطاطس لدى تعرضها للضوء.

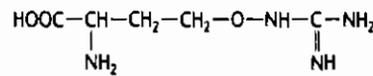


$\alpha$ -Ecdysone

الألفا إكدايسون عبارة عن هرمون انسلاخ تحتاجه الحشرات لأجل التطور الطبيعي ليرقاتها، ويُنتج بكميات كبيرة بواسطة بعض النباتات.



Arginine



Canavanine

الأرجنين أحد الأحماض الأمينية التي تدخل في تركيب البروتين، والكانافانين هو نظير للأرجنين، وعندما يحل محله في تكوين البروتين فإن البروتين يفقد فاعليته.

شكل (١٤-١): التركيب الكيميائي البنائي لستة من مركبات الأيض الثانوية (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

ولزيد من التفاصيل عن مركبات الأيض الثانوية وأهميتها في مقاومة الأمراض والآفات .. يراجع Hallahan وآخرين (١٩٩٢).

جدول (١٤-١٦): بعض منتجات الأيض النباتية الثانوية ذات النشاط القاتل للحشرات (عس Gatehouse ١٩٩١).

المصدر النباتي	المركب
	مضادات الأيض غير البروتينية
	Alkaloids
<i>Lonchocarpus</i>	2,5-dihydroxymethyl 3,4-dihydroxypyrrolidine (DMDP)
<i>Castanospermum australe</i>	Castanospermine
	Non-protein amino acids
<i>Vigna</i>	p-aminophenylalanine
	Terpenoids
<i>Compositae</i>	pyrethroids
<i>Abies balsamea</i>	juvabione
<i>Gossypium hirsutum</i>	gossypol
<i>Lonchocarpus salvadorensis</i>	Rotenoids (isoflavanoids)
<i>Vicia faba</i>	Tannins
	Polysaccharides
<i>Phaseolus vulgaris</i>	pectosans
<i>Phaseolus vulgaris</i>	heteropolysaccharides
Cruciferae	Glucosinolates
<i>Lotus comiculatus</i>	Cyanogenic glycosides
	مضادات الأيض البروتينية
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Lectins
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Arcelin
<i>Vigna unguiculata</i>	Protease inhibitors
Solanaceae	
<i>Phaseolus vulgaris</i>	$\alpha$ -Amylase inhibitor
<i>Phaseolus vulgaris</i>	

جدول (١٤-١٧): الأقسام الرئيسية لمركبات الأيض الثانوية التي تلعب دوراً في التفاعلات بين النبات والحيوان (Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

النشاط الفسيولوجي	التوزيع	عدد المركبات	الفئة
			المركبات النيتروجينية:
الكثير منها ساماً ومر الطعم	توجد خاصة في الجذور والأوراق والثمار	٥٥٠٠	Alkaloids
الكثير منها طارداً وبعضها يُحدث هلوسة	غالباً في الأزهار	١٠٠	Amines

النشاط الفسيولوجي	التوزيع	عدد المركبات	الفئة
	بذور البقوليات خاصة. الكثير منها ساماً ولكنها تنتشر بصورة عامة	٤٠٠	أحماض أمينية غير بروتينية
HCN سامة كـ	تتواجد في ثمار وأوراق بعض الأنواع	٣٠	Cyanogenic glycosides
لاذعة ومرة (كـ) (isothiocynates)	١١ عائلة نباتية	٧٥	Glucosinolates
			التربينات Terpenoids:
رائحة لطيفة	واسعة الانتشار خاصة في الزيوت الأساسية	١٠٠٠	Monoterpenes
بعضها مسر وسام وبعضها يسبب الحساسية	العائلة المركبة بصورة أساسية	٦٠٠	Sesquiterpene lactones
بعضها سام	توجد خاصة في اللبنة النباتي والراتينج	١٠٠٠	Diterpenoids
تحلل كرات الدم الحمراء مرة الطعم	أكثر من ٧٠ عائلة نباتية	٥٠٠	Saponins
مرة الطعم وسامة		١٠٠	Limonoids
سامة ومرة		٥٠	Cucurbitacins
ملونة	الأوراق والأزهار والثمار	١٥٠	Cardenolids
		٣٥٠	Carotenoids
			الفينولات Phenolics:
مضادة للميكروبات	الأوراق والأنسجة الأخرى	٧٠٠	الفينولات البسيطة
ملونة غالباً	مغطاة ومعرفة البذور والسراخس	١٠٠٠	الفلافونات
ملونة		٥٠٠	Quinones
			مركبات أخرى:
بعضها سام		٦٥٠	Polyacetylenes

## تطبيقات تربية النبات في مكافحة الأمراض والآفات

جدول (١٤-١٨): الأقسام الرئيسية لمركبات الأيض الثانوية ذات العلاقة بالمقاومة للحشرات في النباتات (عن Panda & Khush ١٩٩٥).

التوزيع	المعروفة	الأبيض	تحت القسم	القسم الرئيسي
توجد غالباً على سطح الأوراق النباتية كشموع أديمية	غير محدد	Acetate-malonate	Alkanes aldehydes, ketones, waxes (long chain)	السطح النباتي
تشكل جزءاً أساسياً من مكونات الجدر الخلوية لكل النباتات الوعائية	غير محدد	Shikimic acid	Lignins and tannins (phenolic polymers)	Carbohydrates / polymers
تتواجد على نطاق واسع في الزيوت الأساسية		Acetate-mevalonate	Monoterpenoids	Terpenoids
يقتصر وجودها على ٥٧ عائلة من نوات الفلقتين	٦٠٠		Iridoids	
يكثر وجودها في الصنوبريات	٧٠٠		Others	
توجد على نطاق واسع			Sesquiterpenoids phytojuvenile hormones	
توجد في زيت السمسم			Sesamin and sesamolin	
<i>Ocimum basilicum</i>			Juvocimenes	
توجد في نبات الريحان			Juvenile hormone III	
<i>Cyperus iria</i> (Cyperaceae)				
توجد في <i>Ageratum houstonianum</i> (Compositae)			Antijuvenile hormones	
توجد غالباً في العائلة المركبة وتتركز في الشعيرات الغدية	٣٥٠٠		precocenes 1 and 2	
توجد على نطاق واسع	٣٥٠٠		Sesquiterpene lactones	
يكثر انتشارها، وخاصة في اللبن النباتي وصمغ العنوبريات			Others	
توجد في عائلات: Lamiaceae والمركبة وغيرها	٤٠٠		Diterpenoids	
			Clerodanes	

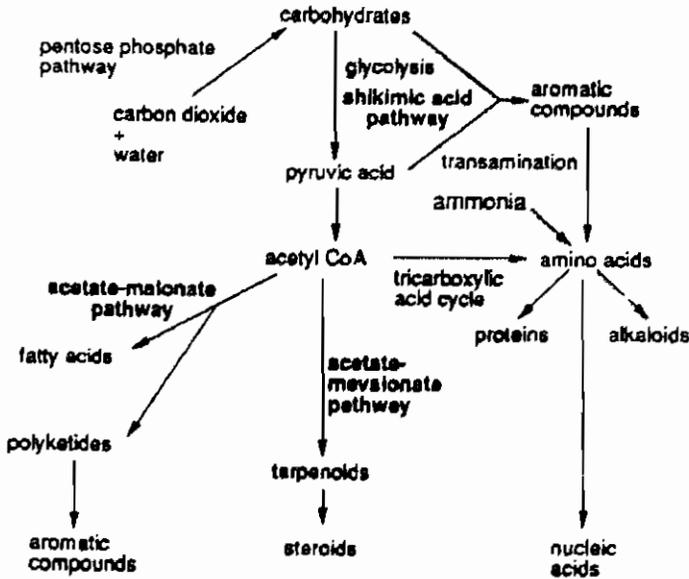
القسم الرئيسي	تحت القسم	الأصل أو المسار الأيضي	المعروفة	التوزيع
	Others		٢٥٠٠	شائعة الانتشار
	Triterpenoids			
	Cucurbitacins		٢٠	يقتصر وجودها أساساً على العائلة المركبة
	Cardenolides		١٥٠	Asclepiadaceae وغيرها
	Limonoids		٣٠٠	أساساً في Rutaceae و Mellaceae و Simaroubaceae
	Quassinoids		٢٠٠	و Simaroubaceae
	Steroidal and triterpene saponins		١٢٠٠	شائعة الانتشار
	Others		١٥٠٠	شائعة الانتشار
Antihormones (steroids)	Phytoecdysones	Acetate-mevalonate and other pathways	٧٠	توجد في أكثر من ١٠٠ عائلة نباتية
Phenolics	Simple phenols	Shikimic acid	٢٠٠	توجد في الأوراق النباتية وفي أنسجة أخرى أيضاً
	Coumarins	Shikimate-chorismate	٣٠٠	توجد في ٧٠ عائلة من ذوات الفلقتين
Flavonoids	Anthocyanins	Skikimate-malonate	٤٠٠٠	توجد في مغطة البذور ومعرفة البذور والسراخس
	Flavonols			
	Flavones			
	Isoflavonoids			
Quinones	Benzoquinone	Shikimate-mevalonate	٨٠٠	توجد في جميع اعائلات النباتية عدا السراخس والأشنات
	Naphthoquinone			
	Anthraquinone			
	Extended quinone			
Alkaloids	Benzylisoquinoline	Heterogeneous group	٦٥٠٠	تندثر بكثرة في مغطة البذور في الجذور والأوراق والثمار
	Monoterpene indole			
	Simple indole			
	Pyrrolizidine			
	Quinolizidine			
	Polyhydroxy			

القسم الرئيسي	تحت القسم	الأصلي أو المسار عدد المركبات	المعروفة	التوزيع
Nonprotein amino acids	L-Canavanine	Amino acid derivatives	٤٠٠	توجد خاصة في بذور البقوليات
	L-Arginine			
Cyanogenic glycosides	Dhurrin	Amino acid derivatives	٦٠	يعرف وجودها في ٢٥٠٠ نوع نباتي من ١٣٠ عائلة
	Amygdalin			
Glucosinolates	Isothiocyanate	Amino acid derivatives	١٠٠	توجد في الصليبيات ونحو ١٠ عائلات أخرى
	Allylisothiocyanate			
	Sinigrin			

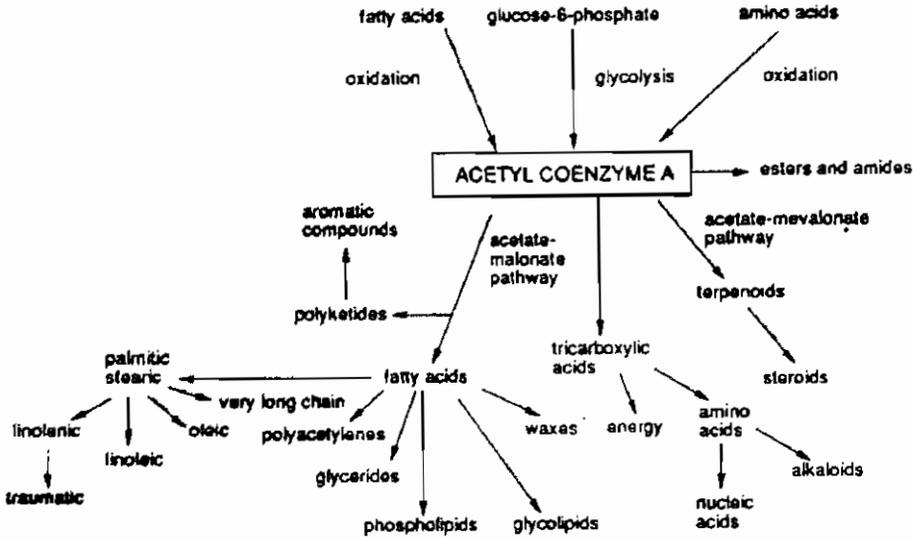
### مسارات تمثيل مركبات الأيض الثانوية

تبيين أشكال (١٤-٢)، و (١٤-٣)، و (١٤-٤) مسارات تمثيل بعض مركبات الأيض

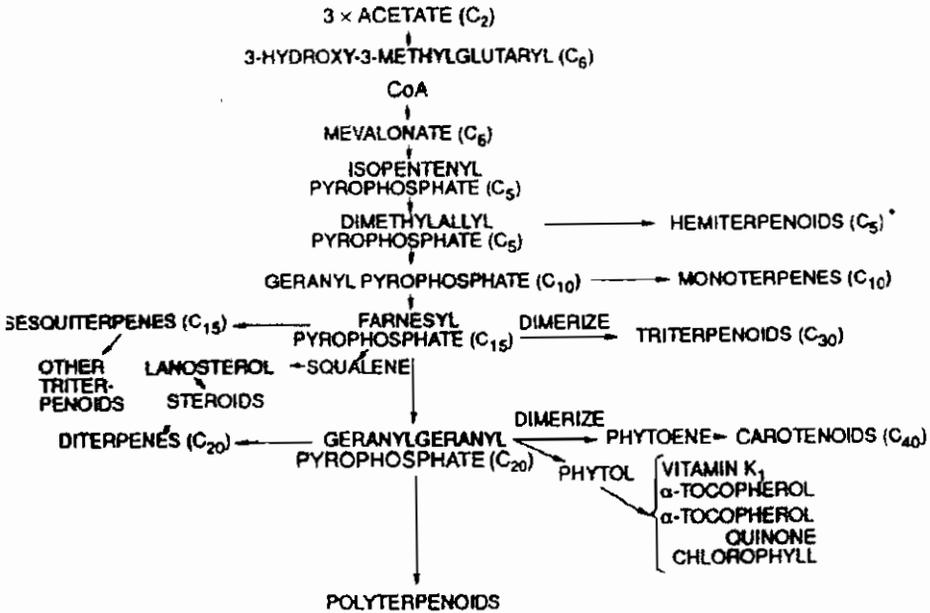
الثانوية (عن Panda & Khush ١٩٩٥).



شكل (١٤-٢): المسارات الرئيسية لتمثيل مركبات الأيض الثانوية.



شكل (١٤-٣): كبدى لمركبات الأيض الأولية والثانوية. Acetyl coenzyme A



شكل (١٤-٤): مسارات تمثيل التربينويدات terpenoids في الأنسجة الخضراء.

## الأهمية التطورية لمركبات الأيض الثانوية

إذا كانت النباتات قد طورت نظاماً دفاعياً قوياً من مركبات الأيض الثانوية، فلماذا إداً تتغذى عليها الحشرات؟. إن الإجابة على هذا السؤال تكمن فيما حدث فى النباتات من تطور، وفيما حدث فى الحشرات من تطور مضاد، حيث نجد حالات كثيرة طُورت فيها الحشرات أنظمة لتجنب الآثار الضارة لمركبات الأيض الثانوية السامة؛ بتحويلها إلى مركبات أخرى عديمة السمية، فضلاً عن إمكان استفادة الحشرة من تلك المركبات الأخرى كمصدر لعناصر معينة فى غذائها. وبتلك الطريقة لا تجد تلك الحشرات منافساً لها على هذا النبات؛ فتتكاثر وتزداد أعدادها على حساب الحشرات الأخرى التى لا تتوفر لديها تلك القدرة.

ومن أمثلة الحشرات التى تستفيد من مركبات الأيض الثانوية – السامة لغيرها – ما

يلى:

١ – فى أمريكا الجنوبية تعد الخنفساء *Caryedes brasiliensis* هى الحشرة الوحيدة التى يمكنها إصابة بذور النبات البقولى *Dioclea megacarpa* التى تحتوى على كميات كبيرة من الحامض الأميى (غير البروتينى) كانافانين L-canavanine الذى يعد شبيه التماثل مع الحامض الأميى arginine، ومن ثم يحل محله عند تمثيل البروتينات فى الكائنات الأخرى غير هذا النبات (كالإنسان والحيوان والحشرات)؛ الأمر الذى يكون له نتائج كارثية على تلك الكائنات، إلا أن يرقات تلك الحشرة لديها عديد من الإنزيمات التى يمكنها تحليل الكانافانين سريعاً؛ لتنتج منه يوريا فى البداية. ثم تقوم بتحويل اليوريا إلى أمونيا؛ لتستفيد منها كمصدر للنيتروجين تستخدمه فى تمثيل حاجتها من الأحماض الأمينية.

٢ – تعمل المركبات الدفاعية – أحياناً – كجاذبات تغذية للحشرات، ومن أمثلة ذلك يرقات فراشة الكرب التى لا يمكنها التغذية على بيئة صناعية إلا إذا أضيفت إليها الجلوكوسينولات، التى تتواجد طبيعياً فى نباتات العائلة الصليبية.

٣ – تعتبر حشيشة اللبن هى الغذاء الوحيد ليرقات فراشة الملكة Monarch butterfly. تحتوى تلك الحشيشة على مركبات جلوكوسيدية ضارة بالقلب toxic

cardiac glycosides ومرة الطعم (هى الـ cardenolides). وعندما تتغذى اليرقات على أوراق نبات حشيشة اللبن فإنها تقوم بتخزين تلك المركبات السامة فى أجسامها، لتظهر فى الحشرات الكاملة (الفرشات الضخمة الحجم). وعندما يتغذى طائر الـ blue jay على تلك الفرشات فإنه سريعاً ما يتقيأ، ولا يعود ثانية للتغذية على تلك الفرشات (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

### التربينويدات (أو التربينات)

تبعاً للنظريات الكيميائية لقدامى الإغريق فإن كل المادة كانت تتكون من أربعة عناصر أساسية، هى التراب (الثرى)، والهواء، والنار، والماء، وقد أضاف إليها الفيثاغوريين Pythagoreans وأرسطو عنصراً خامساً هو الإثير ether الذى افترضوا دخوله فى تكوين الأجسام السماوية. وأثناء بحثهم عن هذا العنصر الخامس قام الكيميائيون بدراسات موسعة على الزيوت الطيارة بالأعشاب ونباتات التوابل، وهى التى مازال يطلق عليها - إلى الآن - اسم الزيوت الأساسية essential oils أو الزيوت العطرية، وهى التى يدخل فى تركيبها عديد من التربينات terpenoids. ونظراً لأن جميعها تنشأ من وحدات isoprene (وهى C5)، لذا .. فإنها تعرف - كذلك - باسم الإيزوبرينويدات isoprenoids. ويبين جدول (١٤-١٩) الأقسام الرئيسية للتربينويدات التى توجد فى النباتات.

جدول (١٤-١٩): الأقسام الرئيسية للتربينويدات terpenoids التى توجد فى النباتات.

القسم	عدد ذرات الكربون	المركب الأساسى	الاسم المختصر
Hemiterpenoids	5	Isopentenyl pyrophosphate	IPP
Monoterpenoids	10	Geranyl pyrophosphate	GPP
Sequiterpenoids	15	Farnesyl pyrophosphate	FPP
Diterpenoids	20	Geranyl geranyl pyrophosphate	GGPP
Sesterpenoids	25	Geranyl farnesyl pyrophosphate	GFPP
Triterpenoids	30	Squalene	
Tetraterpenoids	40	Phytoene	
Polyprenols	60-100	Geranyl pyrophosphate and IPPs	
Polyterpenes	>40	Geranyl pyrophosphate and IPPs	

تعد التربينات قسماً من الدهون تتكون وحداتها البنائية من جزيئات تحتوى على خمس ذرات كربون تعرف باسم isoprenes. تحتوى جزيئات التربينات على ٢، أو ٤، أو ٦، أو ٨ من وحدات الـ isoprenes، أو أكثر من هذا العدد. وغالباً ما يتم تمثيل التربينات الصغيرة وإفرازها بواسطة الشعيرات على طبقة البشرة فى الأوراق والسيقان، وبذا .. فهى تُعلن سميتها للحشرات التى قد توجد فى محيطها.

ينتشر تواجد التربينويدات انتشاراً واسعاً فى كل المملكة النباتية، وتمتلك جميع النباتات الخضراء القدرة على إنتاج التربينويدات ذات التراكيب المستقيمة linear، مثل الفيتول phytol. ويبدو أن جميع النباتات تحتوى على التربينويدات التى تتكون من أكثر من خمس وحدات isoprene، بينما ينحصر تواجد التربينويدات الأقل تعقيداً (C10-C25) - أساساً - فى رتبة Tracheophyta، على الرغم من تواجد الـ sesquiterpenoids على نطاق واسع فى الطحالب والفطريات.

تتواجد الـ monoterpenoids (شكل ١٤-٥) فى الزيوت الأساسية للنباتات، ولقد عُزل أكثر من ١٠٠٠ نوع منها، وأظهر بعضها نشاطاً مضاداً للحشرات؛ بما يعنى أنها تلعب دوراً فى الحماية الطبيعية للنباتات من الإصابات الحشرية. وقد تتعارض الـ monoterpenoids مع الوظائف الأساسية الأيضية والكيميائية الحيوية والفسولوجية والسلوكية للحشرات. وبينما يُظهر بعضها سمية حادة، فإن بعضها الآخر يعد طارداً، أو جاذباً، أو مضاداً للتغذية، كما يؤثر البعض الآخر منها على نموات الحشرات وتطورها وتكاثرها (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

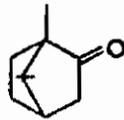
ومن بين التأثيرات التى تُسببها التربينويدات، ما يلى،

١ - استعمل كلا من زيت الكافور وزيت السترونيللا citronella تجارياً كطاردين للحشرات، علماً بأن زيت الكافور يتكون فى معظمه (٧٠-٨٥٪) من الزيوت الطاردة (1.8-cineole) الفعالة ضد البعوض والصرصار الأمريكى.

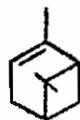
٢ - تعد بعض التربينويدات طاردة لحشرات معينة وجاذبة لحشرات أخرى. وقد يستفاد من ذلك فى طرد الحشرات الضارة وجذب النافعة مثل نحل العسل والأعداء

الطبيعية؛ فمثلا .. أمكن عزل ثلاثة تربينويدات من الصنوبر الاسكتلندي كانت جاذبة للحشرة *Hylobius abietis* وطاردة للسوس *weevil*.

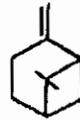
٣ - مكافحة الحشرات.



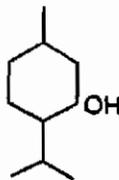
camphor



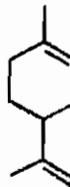
$\alpha$ -pinene



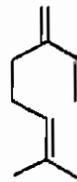
$\beta$ -pinene



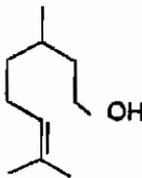
menthol



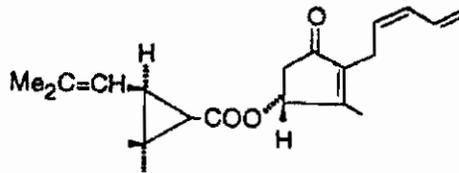
limonene



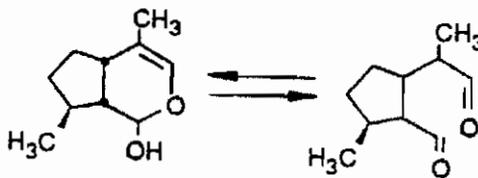
myrcene



citronellol



pyrethrin I



iridodial

شكل (١٤-٥): التركيب البنائي لبعض الـ monoterpenoids (عن Panda & Kush

١٩٩٥).

ومن بين التربينات التى تلعب دوراً هاماً فى وقاية النباتات، ما يلى:

#### ١ - (البيرثرينات) Pyrethrins:

تُنتج البيرثرينات فى أوراق وأزهار الأقحوان chrysanthemum والنباتات الأخرى التابعة للجنس *Chrysanthemum*، وهى مركبات شديدة السمية للحشرات، دونما أى تأثير يذكر على الثدييات.

٣ - تؤثر البيروثرويدات pyrethroids - وهى مجموعة من إسترات الـ monoterpene - على الجهاز العصبى للحشرات؛ مسببة نشاطاً زائداً بها، وحركة غير متوازنة، وشلل فى نهاية الأمر، ويُنتج نبات البيرثرم pyrethrum فى أزهاره الجافة مجموعة من البيرثرينات pyrethrins بنسبة ١,٣٪، ويعرف هذا النبات باسم *Tanacetum cinerariifolium* (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

#### ٢ - (الاستيرويدات) steroids:

تحتوى بعض النباتات على الاستيرويد: phytoecdysones، وهو مركب يماثل هرمون الانسلاخ الحشرى  $\alpha$ -ecdysone فى تأثيره؛ حيث لا يحدث انسلاخ طبيعى فى يرقات الحشرات التى تتغذى على النباتات التى تحتوى على ذلك الاستيرويد؛ ومن ثم فهى تموت.

#### ٢ - (الكاردينوليدات) cardenolides:

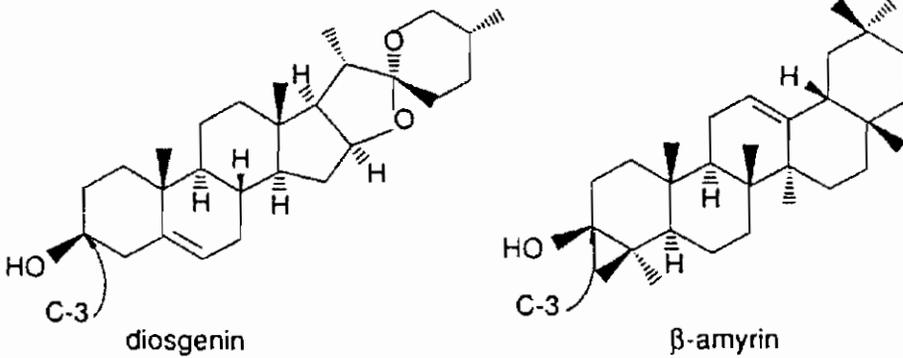
الكاردينوليدات مركبات شديدة السمية تتكون من تربين وسكر مرتبط به، ويطلق عليها - كذلك - اسم cardiac glycosides، وهى تستخدم - فى جرعات صغيرة - كدواء للملايين من مرضى القلب، ولكنها شديدة السمية فى الجرعات الكبيرة.

#### ٤ - (السابونينات) saponins:

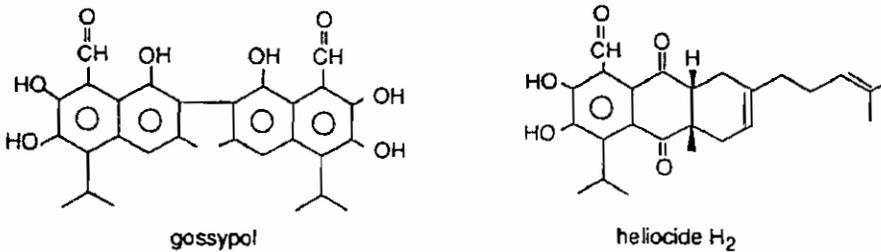
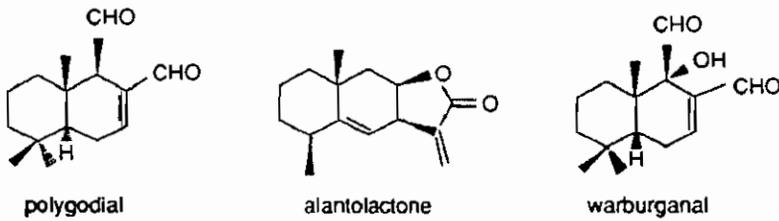
تعد السابونينات (شكل ١٤-٦) من المركبات الأخرى التى تحتوى على جزئى تربين وجزئى سكر. وهى تعد من المنظفات الحادة جداً. كما أنها سامة للثدييات. لأنها تصل إلى جهازها الدورى وتؤدى إلى فتق خلايا الدم الحمراء.

٥ - الجوسيبول (gossypol):

يُنتج الجوسيبول (شكل ١٤-٧) في القطن ويفيد في حمايته من الحشرات، كما وجد أنه يفيد في منع الحمل في الإنسان إذا ما استخدم بالجرعة المناسبة (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).



شكل (١٤-٦): التركيب الكيميائي لإثنين من السابونينات.



شكل (١٤-٧): التركيب الكيميائي لبعض الـ sesquiterpenoids ومنها الجوسيبول (عن Panda & kush ١٩٩٥).

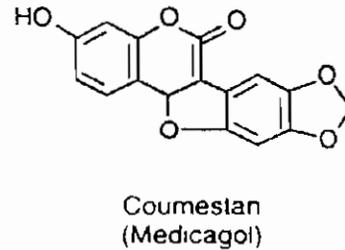
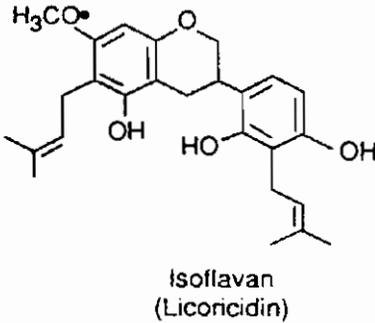
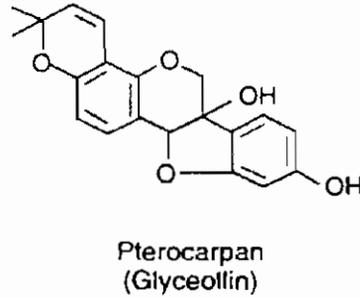
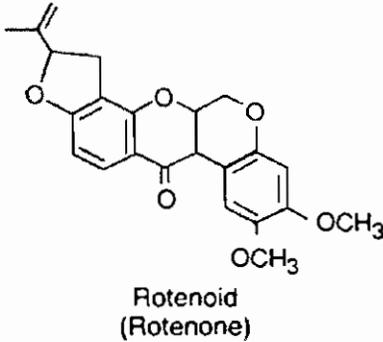
## الفينولات

تتكون الوحدات البنائية للفينولات من حلقات تتكون كل منها من ست ذرات كربون تتصل بها مجموعة أيدروكسيل (شكل ١٤-٨)، وهي تعد من المضادات الميكروبية القوية.

كذلك تعد التانينات tanins من الفينولات البوليمرية، وهي تستعمل في أغراض الدباغة؛ لأنها تجعل جلد الذبيحة غير منفذ للميكروبات التي يمكن أن تحلله. كما أنها تتفاعل مع كل أنواع البروتينات؛ لتجعلها أقل قابلية للهضم؛ ومن ثم فهي تردع أو تثني آكلات الأعشاب عن الاقتتات على النباتات الغنية بها. وعلى الرغم من عدمسمية التانينات بصورة مباشرة فإنها تكسب الأوراق طعاماً غير مقبول.

ومن الفينولات البوليميرية الدفاعية الهامة الأخرى اللجنين legnin، وهي مادة توجد في الجدر الخلوية للنسيج الوعائي في النباتات. وهو - على خلاف السيليلوز - مركب غير منفذ للماء. تقوم النباتات - لدى إصابتها بمسببات الأمراض الفطرية والبكتيرية - بإفراز الفينولات بكثرة، وهي التي يتكون منها اللجنين؛ حيث يؤدي تراكم الفينولات السامة واللجنين المدعم للأوعية إلى حماية النباتات من الإصابة (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

إن الفينولات مجموعة كبيرة جداً من المركبات الكيميائية النباتية الهامة؛ وجميعها تتكون من حلقات عطرية تحمل أيدروكسيل وبها مشتقات فعالة مثل: الإسترات، ومثيل الإسترات، والجلوكوسيدات. وتلعب مشتقات الفينولات وبوليمرات الفينولات أدواراً متباينة في النباتات؛ فهي - مثلاً - تشكل مادة هامة لدعم الخلايا، حيث تشكل المركبات البوليميرية، مثل اللجنينات، والسيوبرينات، والكيوتينات جزءاً أساسياً من تركيب الجدر الخلوية. وتمثل دعماً فيزيائياً للخلايا وحاجزاً أمام اجتياح المسببات المرضية لها. وتعد اللجنينات ثاني أكثر المركبات العضوية تواجداً على سطح الأرض. حيث تكون الجانب الأكبر من السيقان الخشبية، وبدونها لا يمكن انتقال الماء أو الغذاء في النبات.



شكل (١٤-٨): التركيب الكيميائي لست مركبات تمثل ست مجموعات رئيسية من الفينولات الأيروفلافونية isoflavonoids (عن Panda & Kush ١٩٩٥).

ومن بين الفينولات الواسعة الانتشار الأخرى: الصبغات الأنثوسيانينية، والفلافونات (وهي التي تكسب الأزهار والثمار ألوانها المميزة وتجذب الحشرات إليها، بما يساعد في التلقيح وانتشار البذور. كما أن الفلافونات التي توجد في نسيج البشرة تمتص الأشعة فوق البنفسجية وتحمي النباتات منها). والأحماض الفينولية، والتانينات (وهي التي توجد عند الأسطح النباتية وتساعد في إبعاد المتطفلات عنها). كما تتكون فينولات

ذات وزن جزيئي منخفض - تعرف باسم الفيتو ألكسينات - لدى تعرض النباتات للإصابة الميكروبية. حيث تعمل على حمايتها من استمرار تلك الإصابات.

يبين جدول (١٤-٢٠) الأقسام الرئيسية للفينولات النباتية. وهي تقسم تبعاً لعدد ذرات الكربون التي يحتويها هيكلها الأساسي.

جدول (١٤-٢٠): الأقسام الرئيسية للفينولات النباتية (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

القسم	عدد ذرات الكربون	الهيكل الكربوني الأساسي	أمثلة
Simple phenols	6	C <sub>6</sub>	Catechol, hydroquinone Phloroglucinol
Acetophenones Phenylacetic acid	8	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub>	4-hydroxyacetophenone P-Hydroxyphenylacetate
Hydroxycinnamates	9	C <sub>6</sub> -C <sub>4</sub>	Caffeic, ferulic
Coumarins	9	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>	Umbelliferone, esculetin
Isocoumarins	9	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>	Bergenin
Chromones	9	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub>	Eugenin
Hydroxybenzoates	7	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub>	Salicylic, gallic
Naphthoquinones	10	C <sub>6</sub> -C <sub>4</sub>	Juglone, plumbagin
Xanthenes	13	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub>	Mangiferin
Stilbenes	14	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>	Resveratrol
Anthraquinones	14	C <sub>6</sub> -C <sub>2</sub> -C <sub>6</sub>	Emodin
Flavonoids	15	C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> -C <sub>6</sub>	Cyanidin
Isoflavonoids	15	C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub>	Genistein
Lignans	18	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Pinoresinol
Biflavonoids	30	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> ) <sub>2</sub>	Amentoflavone
Hydrolyzable tannins	n	(C <sub>6</sub> -C <sub>1</sub> ) <sub>n</sub> : Glc	Gallontannins
Condensed tannins	n	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> -C <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>	Catechin polymers
Lignins	n	(C <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> ) <sub>n</sub>	Guaiacyl lignins
Catechol melanins		(C <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>	

إن المجموعة الوحيدة من الفينولات النباتية التي تعرف بسميتها الشديدة لعدد من الحشرات هي الروتينونات التي تؤسس على الأيزوفلافونات isoflavonoid-based rotenoids. وبالمقارنة فإن بعض الفينولات الجلوكوسيدية تعد جاذبة أو منشطة للحشرات.

## مركبات تجتوى على النيتروجين

تحتوى المجموعة الثالثة للمركبات الكيميائية النباتية الدفاعية على عنصر النيتروجين فى تركيبها، ومن أمثلتها ما يلى:

### ١ - (الجلوكوسيرات) (السيانوجينية)

تعد الجلوكوسيدات السيانوجينية cyanogenic glycosides مركبات أيض ثانوية نيتروجينية. تتكون هذه المركبات فى السيتوبلازم ولكنها تخزن فى الفجوات العصارية. أما الإنزيمات التي تحلل الجلوكوسيدات السيانوجينية - وهى الـ  $\beta$ -glucosidase، والـ hydroxynitrile lyase - فهى توجد فى خلايا الميزوفيل بمأمن من الاختلاط مع الجلوكوسيدات السيانوجينية. وعندما يُضار النسيج النباتى بفعل الحشرات فإن الإنزيمات المحللة لها تختلط بها، مما يؤدي إلى انطلاق السيانيد cyanide كوسيلة دفاعية.

يُعرف أكثر من ٧٥ نوعاً من الجلوكوسيدات السيانوجينية، ويقدر عدد النباتات المنتجة لها ما بين ٣٠٠٠ و ١٢٠٠٠ نوع، منها عديد من الأنواع المحصولية الهامة، مثل: السورج واللوز وفاصوليا الليما والكاسافا. كذلك فإن عديداً من الأنواع البكتيرية والفطرية تعد سيانوجينية.

عزلت الجلوكوسيدات السيانوجينية - بالفعل - من ٢٦٥٠ نوعاً نباتياً تنتمى إلى ٥٥٠ جنساً و ١٣٠ عائلة. وهى تتضمن نباتات من السراخس. ومعراة البذور. وذوات الفلقة الواحدة. وذوات الفلقتين. إلا أن المركبات المسئولة عن إنتاج الـ HCN لم تعرف على وجه التحديد سوى فى ٤٧٥ نوعاً نباتياً. ومن أهم العائلات النباتية التى تنتشر

## تطبيقات تربية النبات فى مكافحة الأمراض والآفات

فيها الجلوكوسيدات السيانوجينية: القلقاسية، والمركبة، والبقولية، والوردية، والنجيلية. و Euphorbiaceae. وتظهر فى جدول (١٤-٢١) قائمة بأهم الأنواع النباتية المنتجة للجلوكوسيدات السيانوجينية. بينما يتضمن جدول (١٤-٢٢) تقسيماً للجلوكوسيدات السيانوجينية على أساس المركبات البادئة لها وفى أى العائلات تتواجد. ويبين شكل (١٤-٩) التركيب البنائى لبعض الجلوكوسيدات السيانوجينية الهامة.

جدول (١٤-٢١): الأنواع النباتية المستعملة كغذاء والذى تحتوى على جلوكوسيدات سيانوجينية.

الجلوكوسيدات السيانوجينية	الاسم العلمى	المحصول
Dhurrin	<i>Triticum aestivum</i>	القمح
Linamarin, lotaustralin, epilotastralin	<i>T. monococcum</i>	
Dhurrin	<i>Sorghum bicolor</i>	السورجم
Linamarin, lotaustralin	<i>Manicot esculenta</i>	الكاسافا
Linamarin, lotaustralin	<i>Phaseolus lunatus</i>	فاصوليا الليما
Linamarin, lotaustralin	<i>P. vulgaris</i>	الفاصوليا
Triglochinin	<i>Elusine coracana</i>	الراجى Ragi
Epiheterodendrin	<i>Hordeum vulgare</i>	الشعير
Linamarin	<i>Avena sativa</i>	الشوفان
Dhurrin	<i>Secale cereale</i>	الراى
Amygdalin prunasin	<i>Malus pimila</i>	التفاح
Triglochinin	<i>Colocasia esculenta</i>	القلقاس
Amygdalin	<i>Prunus dulcis</i>	اللوز
Amygdalin	<i>P. persica</i>	الخوخ
Amygdalin, prunasin	<i>P. avium</i>	الشيرى الحلو
Amygdalin, prunasin	<i>P. cerasus</i>	الشيرى الحامض
Tetraphyllin, prunasin	<i>Carica papaya</i>	الباباى
Prunasin	<i>Passiflora edulis</i>	
Lucumin	<i>Pouteria sapota</i>	السبوتة
Taxiphyllin	<i>Bombusa vulgaris</i>	الغاب
Isotriglochinin, triglochinin	<i>Alocasia macrorhiza</i>	القلقاس العملاق

جدول (١٤-٢٢): الجلوكوسيدات السيانوجينية مقسمة حسب المركبات البادئة لها (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

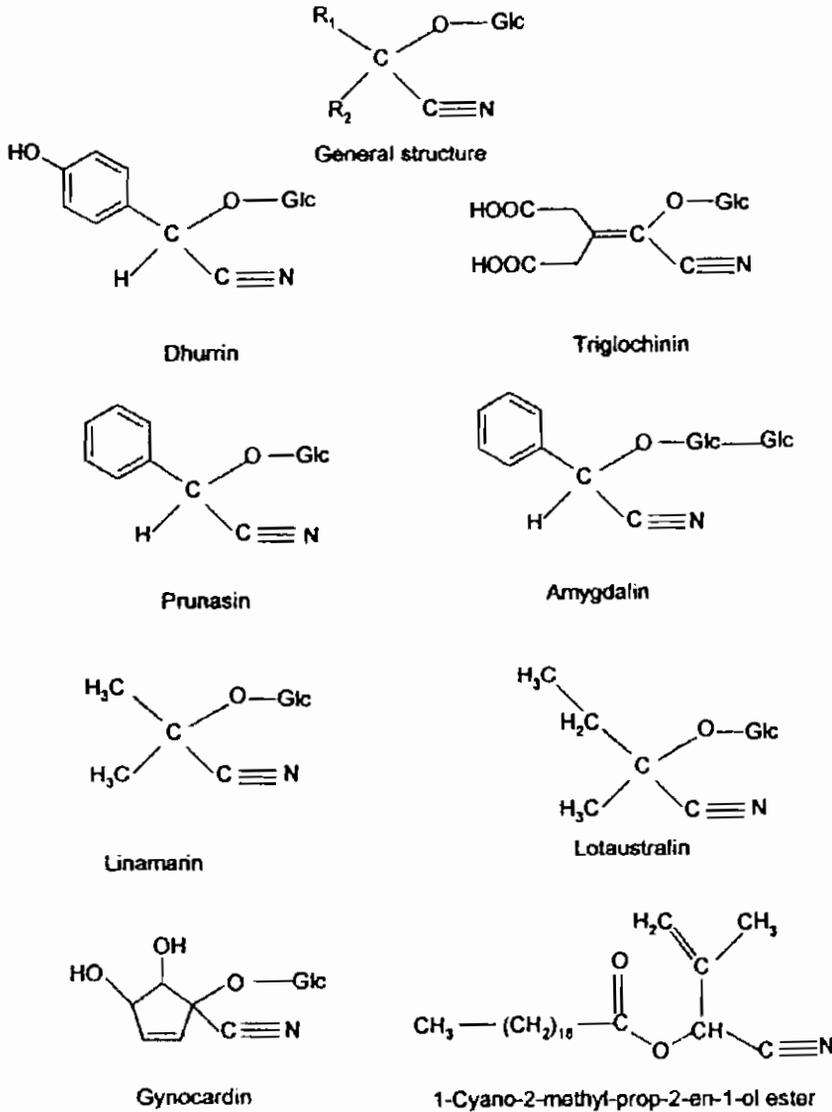
العائلة النباتية	الجلوكوسيد السيانوجيني	المركب البادئ
Rosaceae	1. Amygdalin	Phenylalanine
Compositae, Leguminosae, Caprifoliaceae, Myrtaceae, Rosaceae	2. Prunasin	
Caprifoliaceae, Leguminosae	3. Samunigrin	
Sapotaceae	4. Lucumin	
Leguminosae, Polypodiaceae, Fabaceae	5. Vicianin	
Asteraceae	6. Epilucumin	
Lamiaceae	7. Perilla glycoside	
Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae	8. Anthemis glycoside A	
Asteraceae, Fabaceae, Rosaceae	9. Anthemis glycoside B	
Leguminosae, Liliaceae	10. Holacalin B	
Caprifoliaceae, Rutaceae	11. Zierin	
Gramineae, Proteaceae	1. Dhurrin	Tyrosine
Berberidaceae	2. Nandinin	
Araceae, Liliaceae, Magnoliaceae, Platanaceae	3. Triglochinin	
Graminae, Taxaceae, Euphorbiaceae, Cupressaceae	4. Taxiphyllin	
Leguminosae, Berberidaceae	5. 4-Gluosyloxymandelo-nitrile	
Proteaceae, Ranunculaceae	6. Proteacin	
Sapindaceae	1. Cardiospermin	Leucine
Leguminosae, Sapindaceae	2. Heterodendrin	
Sapindaceae, Poaceae	3. Epiheterodendrin	
Sapindaceae	4. 3-Hydroxyheterodendrin	
Leguminosae	5. Proacacipetalin	
Leguminosae	6. Epiproacacipetalin	
Compositae, Euphorbiaceae, Leguminosae, Liliaceae, Papaveraceae	1. Linamarin	Isoleucine, valine
Compositae, Euphorbiaceae, Liliaceae, Papaveraceae	2. Lotaustralin	
Poaceae	3. Epilotaustralin	
Passifloraceae	4. Linustatin	

تابع جدول (١٤-٢٢).

العائلة النباتية	الجلوكوسيد السيانوجيني	المركب البادئ
Passifloraceae	5. Neolinustatin	
Crassulaceae	6. Sarmentosin epoxide	
Passifloraceae	1. Tetraphyllin A	2-(2-Cyclopentenyl) glycine
Passifloraceae	2. Tetraphyllin B	
Passifloraceae, Turneraceae	3. Tetraphyllin B sulfate	
Flacourtiaceae	4. Tetraktophyllin	
Flacourtiaceae	5. Eqivolkenin	
Flacourtiaceae	6. Volkenin	
Passifloraceae	7. Deidaclin	
Flacourtiaceae	8. Gynocardin	
Flacourtiaceae	9. Passisuberosin	
Flacourtiaceae	10. 6'-O-rhamnopyranosyl tetraktophyllin	
Passifloraceae	11. Passicapsin	
Passifloraceae	12. Passibiflorin	
Passifloraceae	13. Passitrifasciatin	
Sapindaceae, Boraginaceae	1. 1-Cyano-2-methyl- prop-2-en-1-ol ester	Leucine and fatty acids
Sapindaceae, Boraginaceae	2. 1-Cyano-2-hydroxymethyl prop-2-en-1-ol diester	
Euphorbiaceae	1. Acalypin	Nicotinic acid
Fabaceae	1. 3-Nitropropionic acid	Nitroacids, nitroalcohols
Violaceae	2. Cibarian	
Malpighiaceae	3. Coronarian	
Crassulaceae	1. Simmondsin	Nitrile glycoside
Simmondsiaceae	2. Bauhinin	
Simmondsiaceae, Aquifoliaceae	3. Lithosperoside	

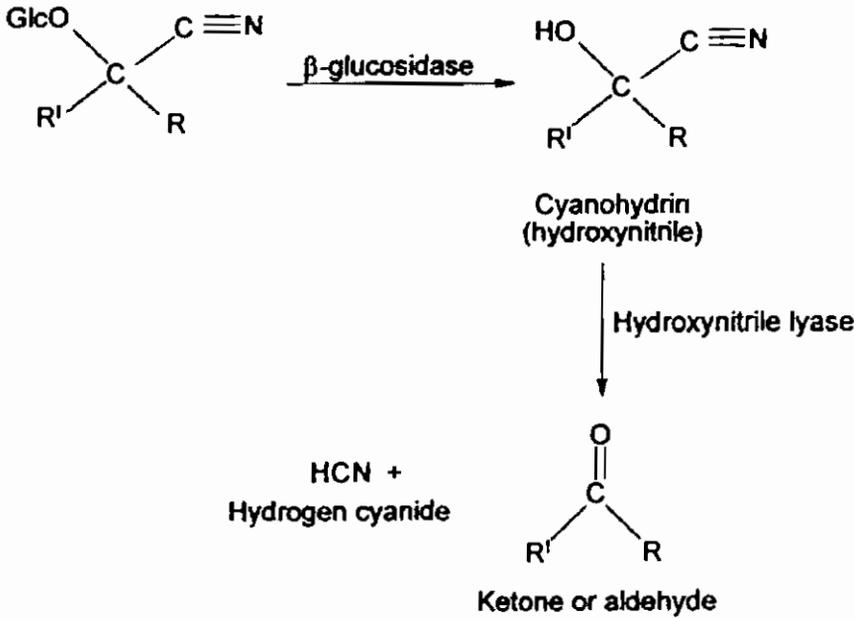
إن من أهم الأدوار البيولوجية المحتملة لتواجد المركبات السيانوجينية في بعض النباتات إسهامها في الدفاع ضد المسببات المرضية والحشرية، على الرغم من أن كلا من النباتات والحيوانات لديها القدرة على تجريد السيانيد من سميته؛ بما يعني أن تواجد الجلوكوسيدات السيانوجينية في النباتات لا يكون بالضرورة ضارًا بالحيوانات التي

تقتات عليها، وعلى سبيل المثال .. فإن يرقات *Spodoptera eridania* تفضل التغذية على النباتات المحتوية على الجلوكوسيدات السيانوجينية. ويكون نموها أفضل عندما يحتوى غذاءها على السيانيد، إلا أن ذلك الأمر يختلف من نوع حشرى لآخر. فكثير من الحشرات تضار من تواجد تلك المركبات فى النباتات



شكل (٩-١٤): التركيب الكيميائى لبعض الجلوكوسيدات السيانوجينية الهامة

ينطلق سيانيد الأيدروجين من النباتات المحتوية على الجلوكوسيدات السيانوجينية بفعل إنزيمين يتوفران - عادة - في تلك النباتات، هما:  $\beta$ -glucosidase و hydroxynitrile lyase (شكل ١٤-١٠)، هذا .. علمًا بأن سيانيد الأيدروجين يعد مركبًا شديد السمية. نظرًا لأنه يوقف نشاط الانزيم cytochrome oxidase وإنزيمات التنفس الأخرى، ومن جانب آخر فإن الجلوكوسيدات السيانوجينية قد تنفر الحشرة من التغذية أو تكون محفزة لها على الغذاء. كما قد يكون بعضها محفزًا على وضع الحشرات لبيضها، ويتوقف الأمر على النوع الحشري (عن Sadasivam & Thyumanavan ١٩٩٥).



شكل (١٤-١٠): تحلل الجلوكوسيدات السيانوجينية إنزيميًا إلى سيانيد الأيدروجين.

## ٢- (الجلوكوسينولات) (أو جلوكوسيرات) زيت الخردل

تُعد الجلوكوسينولات glucosinolates - وهى التى يطلق عليها كذلك اسم جلوكوسيدات زيت الخردل mustard oil glucosides - قريبة من الجلوكوسيدات السيانوجينية. وتُنشَط بذات الطريقة. ففي النباتات .. يخزن المركب الجلوكوسيدى

والإنزيم الذى يعمل عليه لإطلاق المادة النشطة فى حجيرات خلوية cellular compartments مختلفة، ويلزم تمزيق الخلايا لكى يختلط الإنزيم بالمركب الجلوكوسيدى وتنتج المادة الفعالة (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

عزلت الجلوكوسينولات glucosinolates لأول مرة منذ أكثر من ١٠٠ عام من بذور المسترد الأبيض *Sinapis alba* وأعطيت الاسم سينالبين sinalbin. ومازالت معظم المركبات التى من هذا الطراز تعرف بأسماء غير علمية مثل: السينالبين والسنجرين singrin. والأخير مركب سبق عزله من بذور المسترد الأسود *Brassica nigra*. وفى محاولة لوضع أساس علمى لتلك الأسماء اقترح استخدام البادئ gluco قبل جزء من الاسم اللاتينى للنوع النباتى الذى عزل منه المركب لأول مرة. مثل glucobrassicin و glucoiberin.

عند تحليل الجلوكوسينولات فإنها تعطى D-glucose وكبريتات، و أجلوكون aglucone غير ثابت لا يلبث أن يتحول إلى أيزو ثيوسيانيت isothiocyanate (وهو الذى يعرف بزيت المسترد) كمنتج أساسى. أو ثيوسيانيت thiocyanate. أو نيتريل nitrile (وهو سيانيد عضوى organic cyanide) كمنتجات ثانوية. وبسبب تواجد كلا من الجلوكوز ومجموعة الكبريتات فإن الجلوكوسينولات ليست متطايرة؛ هذا .. بينما نجد أن الأيزوسيانينات تكون عموماً متطايرة وشديدة النشاط كيميائياً. هذا .. ولقد عزل أكثر من ١٠٠ نوع من الجلوكوسينولات من النباتات ولجميعها تراكيب متشابهة (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

يكثُر تواجد الجلوكوسينولات glucosinolates فى ذوات الفلقتين، وبخاصة فى رتبة Capparals، ولقد وجدت فى جميع أنواع العائلة الصليبية Cruciferae، وكذلك فى جميع الأنواع التى درست من العائلات Capparaceae، و Tovariaceae. و Resedaceae. و Moringaceae.

تتباين كثيراً أنواع الجلوكوسينولات التى تتواجد فى مختلف الأنواع النباتية. علماً بأن بعض الأنواع النباتية تحتوى على عدة أنواع من الجلوكوسينولات، وتتباين الأنواع

النباتية - كذلك - في أنواع البادئات التي تتكون منها الجلوكوسينولات. وفي تركيز تلك الجلوكوسينولات فيهما. وفي أنواع الجلوكوسينولات التي تتواجد في مختلف الأجزاء النباتية للنوع النباتي الواحد. وبصورة عامة .. فإن تركيز الجلوكوسينولات يكون حوالي ٠.١٪ أو أقل من ذلك في الأوراق - على أساس الوزن الطازج - بينما قد يصل تركيزها إلى أكثر من ١٠٪ في البذور على أساس الوزن الجاف. ويكون مركز تراكم الجلوكوسينولات في البذور في الإندوسيرم، أما في جذور فجل الحصان فإنها تتراكم في الفجوات العصارية.

وتقسم الجلوكوسينولات - حسب تركيبها البنائي - إلى ثلاثة فئات رئيسية، هي (جدول ١٤-٢٣):

أ - الأليفاتية aliphatic.

ب - العطرية aromatic.

ج - الإندولية indole.

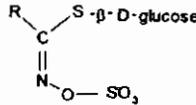
وبين شكل (١٤-١١) التركيب البنائي لبعض أنواع الجلوكوسينولات.

جدول (١٤-٢٣): تقسيم الجلوكوسينولات glucosinolates (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

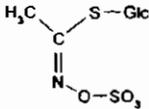
الاسم الكيميائي	الطرز البنائي
	أولاً: الأليفاتية Aliphatic
Methyl GS	Saturated without functional group
Allyl GS, but-3-enyl GS	With double bond
1-Methyl-2-hydroxyethyl GS	With alcohol group
2-Hydroxypent-4-enyl GS	
4-Oxoheptyl GS	With keto group
3-Methylthiopropyl GS	With methylthio group
4-Methylthiobutyl GS	
3-Methylsulfinylpropyl GS	With methylsulfinyl group
3- Methylsulfonylpropyl GS	With methylsulfonyl With keto group
4- Methylsulfonylbutyl GS	
3-Methyloxycarbonylpropyl GS	With esterified carboxyl group

الاسم الكيميائي	الطرز البنائي
Benzyl GS	Without functional group
2-Phenylethyl GS	With phenol groups, free methylated, or glycosylated
<i>p</i> -Hydroxybenzyl GS	With alcohol group
2-Hydroxy-2-phenylethyl GS	
ثالثًا: الإندولية Indole	
Indol-3-ylmethyl GS	Without functional group
1-Methoxyindol-3-ylmethyl GS	With methoxyl group
4-Methoxyindol-3-ylmethyl GS	With hydroxyl group
4-Methoxyindol-3-ylmethyl GS	With sulfonyl group

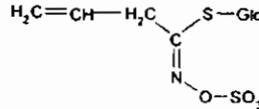
GS = glucosinolate



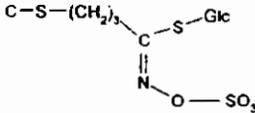
General structure



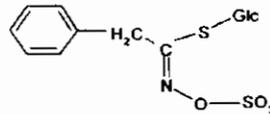
Methyl glucosinolate  
(Glucocapparin)



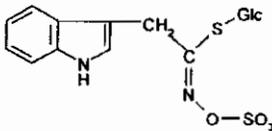
Allyl glucosinolate  
(Singularin)



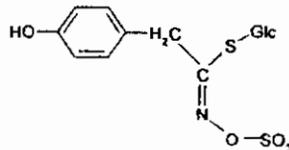
3-Methylthiopropyl glucosinolate  
(Glucoibervirin)



Benzyl glucosinolate  
(Glucotropaeolin)



3-Indolylmethyl glucosinolate  
(Glucobrassicin)



4-Hydroxybenzyl glucosinolate  
(Sinigrin)

شكل (١٤-١١): التركيب البنائي لبعض أنواع الجلو كوسينولات.

إن الجلوكوسينولات ذاتها ليست سامة، ولكن نواتج تحللها الإنزيمية تظهر مدى واسعاً من النشاط الفسيولوجي (شكل ١٤-١٢). ومن بين أهم الإنزيمات التي تعمل على تحلل الجلوكوسينولات: الميروزينيز myrosinase (أو الثيوجلوكوسيديز thioglucosidase). لينتهى الأمر بتكوين الأيزوثيوسيانيت isothiocyanate والنيتريل nitrile. والثيوسيانيت thiocyanate. ولكل منها ظروفه الخاصة التي تناسب تكوينه. خاصة ما يتعلق منها بالـ pH. هذا .. ويؤدي تجريح النسيج النباتي أو الإضرار به بأى طريقة كانت إلى اختلاط الجلوكوسينولات - التي تكون متواجدة في الفجوات العصارية - بالميروزينيز - الذى يكون متواجداً فيما يعرف بالـ myrosin grains - مما يؤدي إلى سرعة تحلل الجلوكوسينولات وانطلاق نواتج ذلك التحلل.

إن الجلوكوسينولات ليست متطايرة؛ وبذا .. لا يمكن للحشرات التعرف عليها إلا بعد ملامستها لها. أما الأيزوثيوسيانيت - وهى أهم نواتج تحلل الجلوكوسينولات - فإنها تكون متطايرة وتستجيب الحشرات لتواجدها فى البيئة. ويتوقف التأثير البيولوجي لكليهما على طبيعة السلسلة الجانبية فيهما. وعلى تركيز المركب وعلى الحشرة المعنية.

وتلعب تلك المركبات دورين سلبيين مع معظم الحشرات: فهى تعد طاردة للتغذية بفعل الرائحة النفاذة لزيت المسترد. كما أن جلوكوسيد زيت المسترد يعد ساماً لها.

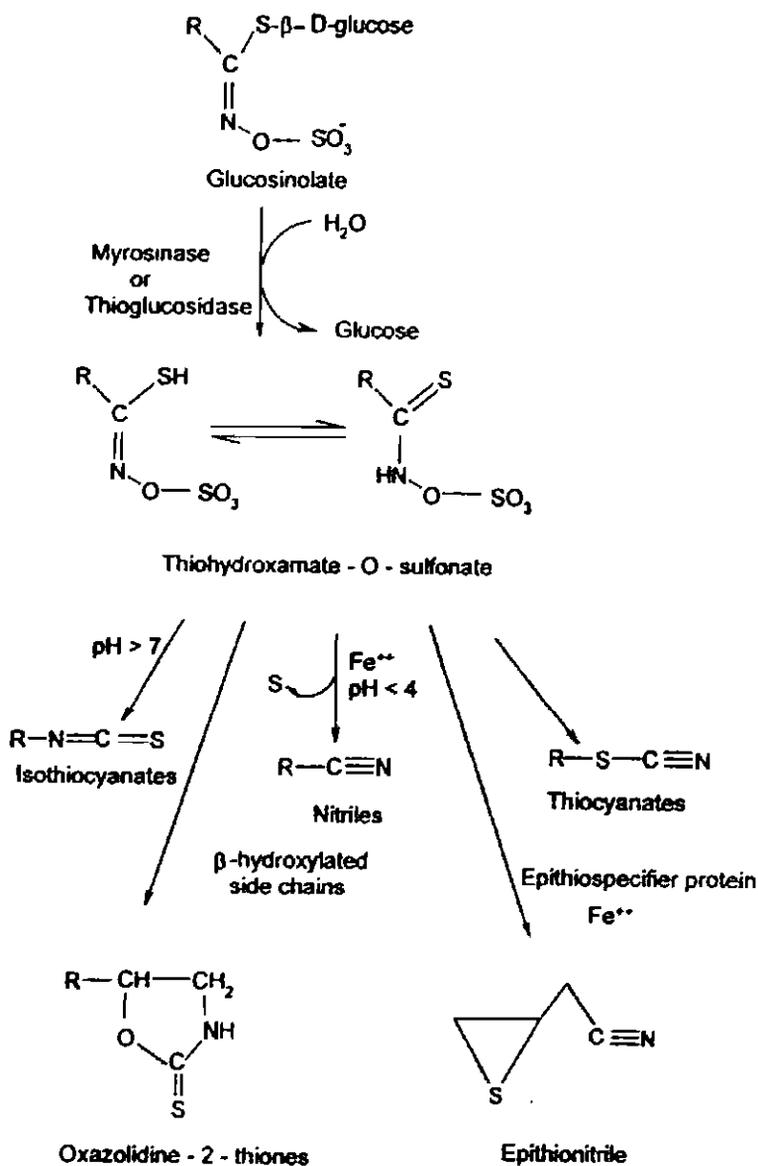
وتفيد تلك المركبات النباتات كوسائل دفاعية عامة لها ضد الحشرات، مثل: المن. ونطاطات الأعشاب.

وتتعارض الجلوكوسينولات مع وضع البيض وفقسه وفى المستقبلات الكيميائية chemoreceptors لليرقات، كما أن لها تأثيرات كبيرة على الخنافس ويرقاتها. إلا أنها تحفز وضع البيض، خاصة فى حشرات الصليبيات.

وإلى جانب ما تقدم بيانه. فإن الجلوكوسينولات ونواتج تحللها تتعارض من تكاثر عديد من الأنواع النيماتودية. مثل: *Meloidogyne spp.*، *Pratylenchus penetrans*. و *Heterodera schachtii*.

هذا .. وتتجه الدراسات نحو استخدام تقنيات الهندسة الوراثية فى محاولة زيادة

محتوى أوراق بعض النباتات - مثل لفت الزيت - من الجلوكوسينولات، حتى تكون أكثر مقاومة للحشرات. مع خفض محتوى بذورها من تلك المركبات حتى تزداد صلاحيتها كعلف حيواني بعد استخلاص الزيت منها.



شكل (١٤-١٢): نواتج تحلل الجلوكوسينولات.

## ٢ - أحماض أمينية لا تدخل في تكوين البروتينات

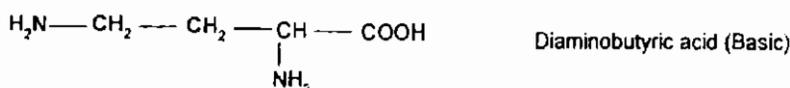
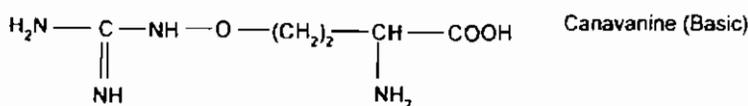
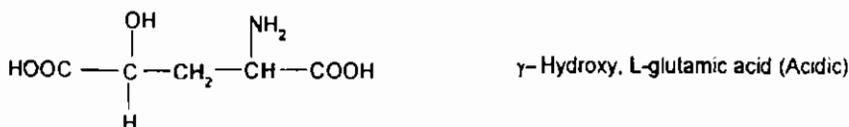
يُطلق على العشرين حامضاً أمينياً التي تدخل في تركيب البروتين اسم الأحماض الأمينية البروتينية، بينما تعرف تلك التي لا تدخل في تركيبه باسم الأحماض الأمينية غير البروتينية، ولقد تم التعرف على أكثر من ٩٠٠ حامض أميني غير بروتيني في النباتات (شكل ١٤-١٣). وكثير من تلك الأحماض الأمينية غير البروتينية تتشابه مع الأحماض الأمينية البروتينية (شكل ١٤-١٤)، وغالباً ما تعتبر كنظائر تركيبية لها، كما أنها غالباً ما تنتج في المسارات الأيضية للنبات من الأحماض الأمينية البروتينية. وتعد بعض الأحماض الأمينية غير البروتينية متماثلات (أو متشاكلات) بسيطة simple homologues للأحماض الأمينية البروتينية، ونجد في تلك الحالات أن الأحماض الأمينية المتشكلة لا تختلف كثيراً عن بعضها البعض في الوزن الجزيئي أو في بنية التكوين conformation، إلى درجة أنها قد تصبح نظائر متماثلة؛ مما يترتب عليه أن يحل الحامض الأميني غير البروتيني محل الحامض الأميني البروتيني في التفاعلات الحيوية للحشرات؛ وبذا تصبح بمثابة مضادات أو مثبطات أيضية. ومن أبرز الأمثلة على ذلك أن الحامض الأميني غير البروتيني: L-cavanine - الذي يعد نظيراً تركيبياً للحامض الأميني arginine - يمتلك خصائص تجعله من المبيدات الحشرية (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

عندما تحصل الحشرات على الأحماض الأمينية ضمن غذائها فإن الأحماض الأمينية الشبيهة بتلك التي تلزم لتكوين البروتين تحل محل الأخيرة؛ مما يؤدي إلى تمثيل بروتينات لا تؤدي دورها بفاعلية؛ ومن ثم تموت الحشرات. وتجدر الإشارة إلى أن النباتات التي تقوم بتمثيل تلك الأحماض الأمينية يمكنها التمييز بينها وبين الأحماض الأمينية التي تلزم لتمثيل البروتينات عندما تقوم بتمثيل بروتيناتها (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

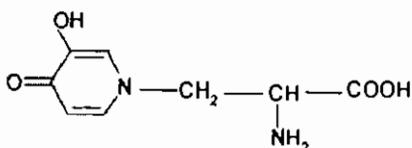
تتواجد أعداد كبيرة من الأحماض الأمينية غير البروتينية في العائلة البقولية Leguminosae. كما تحتوى بعض نباتات العائلة القرعية Cucurbitaceae على أحماض

## طبيعة المقاومة للحشرات

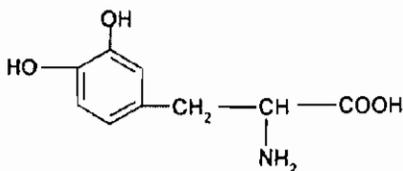
أمينية غير بروتينية مثل  $\beta$ -pyrazol-1-ylalanine ومشتقته  $\alpha$ -glutamyl. وتتواجد الأحماض الأمينية ذات السلاسل المتفرعة والـ cyclopropyl في الجنسين *Billa* و *Aesculus* بالعائلة Hippocastanaceae. كما تتواجد أحماض أمينية من تلك الطرز التركيبية في أنواع أخرى من العائلتين: Sapindaceae و Aceraceae.



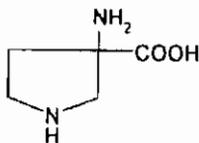
Azetidine-2-carboxylic acid  
(Heterocyclic)



Mimosine (Substituted heterocyclic)



3,4- Dihydroxy phenylalanine  
(Substituted aromatic)



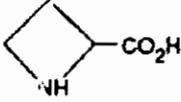
Cucurbitine (Imino)

شكل (١٤-١٣): التركيب البنائي لبعض الأحماض الأمينية غير البروتينية.

Nonprotein amino acid



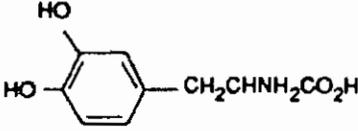
$\beta$ -cyanoalanine



azetidine 2-carboxylic acid



canavanine

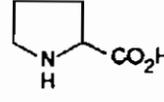


3,4-dihydroxyphenylalanine  
(L-dopa)

Protein amino acid



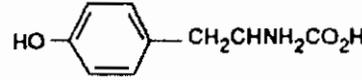
alanine



proline



arginine



tyrosine

شكل (١٤-١٤): بعض الأحماض الأمينية غير البروتينية السامة ونظائرها من الأحماض الأمينية البروتينية.

ومن بين الأحماض الأمينية غير البروتينية التي تُعرف تأثيرها البيولوجي السام على الفقاريات ما يلي:

hypoglycin A

indospicine

mimosine

lathyrogens (شكل ١٤-١٥)

هذا بالإضافة إلى الأحماض الأمينية المحتوية على السيلينيم

كذلك تعرف التأثير السام لعدد من الأحماض الأمينية غير البروتينية على

الخشرات، ومن بينها ما يلي (من Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥):

cavanine

cyanoalanine

canaline

diaminobutyric acid

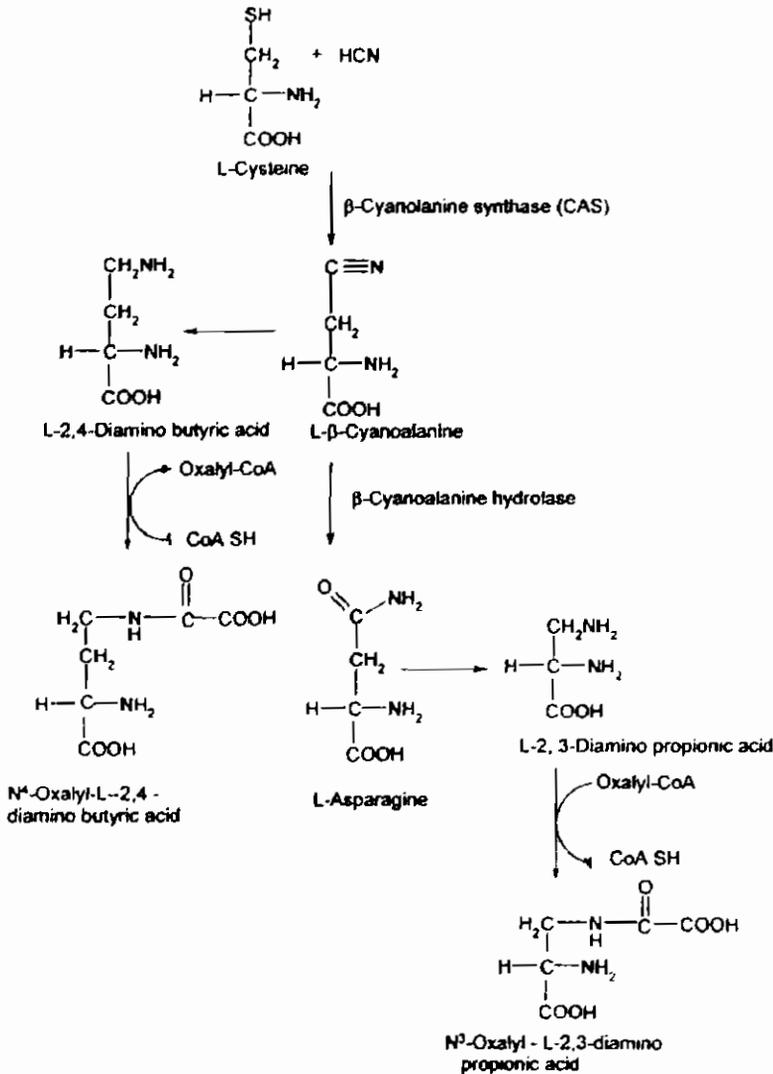
propionic acid

$\beta$ -pyrazol-1-yl-L-alanine

mimosine

albizziine

3,4-dopa



شكل (١٤-١٥): تمثيل الأحماض الأمينية غير البروتينية (من الـ *lathyrans*) في الجنس

*Lathyrus*

إن التركيزات العالية لعدد من الأحماض الأمينية السامة تتواجد في بذور الأنواع النباتية المنتجة لها، الأمر الذي قد يُسهم في حماية تلك الأنواع من إصابة الحشرات لبذورها. كذلك فإن تلك الأحماض الأمينية السامة تثبط نمو الأنواع المجاورة لها بعد انتشارها في التربة من البذور، وخاصة خلال المراحل المبكرة للإنبات.

ولهذه الأحماض الأمينية السامة تراكيب بنائية مقاربة لتراكيب الأحماض الأمينية البروتينية. فعلى سبيل المثال .. يماثل كل من الـ indospicine. والـ cavaanine فى تركيبها الأرجنين arginine، كما أن لك mimosine رائحة وتركيباً بنائياً يماثل ما لكل من الفينيل آلانين phenylalanine والتيروزين tyrosine. ويعد الـ azetidine-2-carboxylic acid نظيراً للبرولين proline. والـ albizzine نظيراً للجلوتامين glutamine. والـ 2-amino-4-methylhex-enoic acid نظيراً للفينيل آلانين phenylalanine (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

#### ٤ - (قلويدات) (أو أشباه القلويدات)

عرفت القلويدات alkaloids (أو أشباه القلويدات) منذ عدة قرون، وهى من أكثر مركبات الأيض الثانوية تواجداً فى النباتات، حيث يعرف أكثر من ١٢٠٠٠ نوع منها. ويعنى مصطلح "قلوانى" أن المركب توجد به بعض القلوية. وهى مركبات شديدة التنوع فى تركيبها الكيميائى.

ونظراً لأن القلويدات تؤثر فى الجهاز العصبى المركزى، فإنها تستخدم فى العقاقير الطبية على نطاق واسع (مثل: المورفين morphine، والكوديين codeine، والأترابين atropine، والإفردين ephedrine)، ولكنها تستعمل كذلك كمنشطات أو منبهات (مثل الكافيين caffeine، والكوكايين cocaine، والنيكوتين nicotine).

وترجع نسبة كبيرة من حالات الموت فى قطعان الماشية إلى استهلاكها لنباتات تحتوى على أشباه قلويدات. وبعض هذه المركبات قد لا تكون سامة بدرجة تؤدى إلى موت الحيوانات، ولكنها قد تضعف من قدرتها الإنجابية. ويعتبر السولانين solanine من أشهر أشباه القلويدات، وهو يتواجد فى جميع الأجزاء الهوائية لنبات البطاطس وفى الدرناات التى تتعرض للضوء، وهو سام للإنسان.

تتواجد القلويدات فى نحو ٢٠٪ من النباتات، وتتوزع فى أكثر من ١٥٠ عائلة نباتية. كما أنها تتواجد - كذلك - فى البكتيريا والفطريات ومعرفة البذور والحيوانات. ومن أكثر العائلات النباتية احتواءً على القلويدات: الزنبقية والبادنجانية والنجيلية.

## طبيعة المقاومة للحشرات

ويكثر تراكم القلوانيات فى أنسجة نباتية خاصة، هى: الأنسجة النشطة فى الانقسام، والبشرة، وخلايا تحت البشرة، والأنسجة الوعائية، والأنسجة اللبنية. ويكون تراكمها فى الفجوات العصارية. لذا.. فإنها لا تتواجد فى الخلايا الصغيرة التى تكون خلواً من تلك الفجوات.

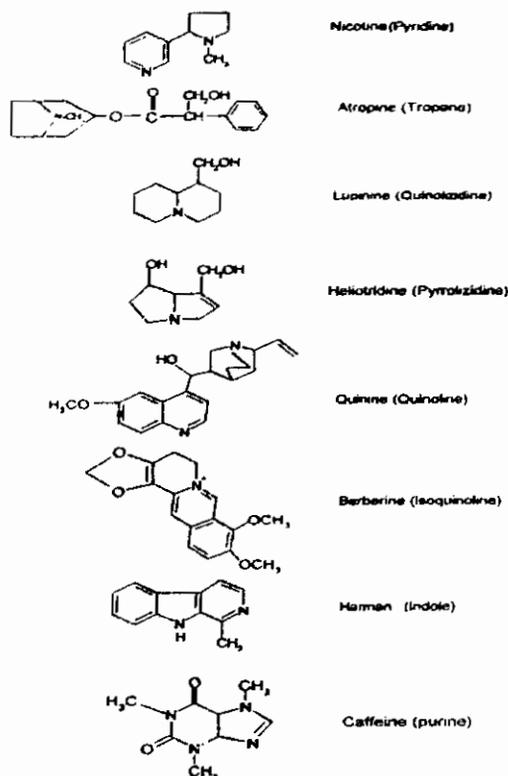
وتقسم القلوانيات - حسب تركيبها الكيميائى - إلى اثنتى عشرة مجموعة، كما يلى:

أمثلة عليها	المجموعة
- Nicotine, anabasine, nicotinic acid, and trigonelline	● Pyridine and piperidine alkaloids
- Atropine, hyoscyne, and cocaine	● Tropane alkaloids
تكثر فى البقوليات	● Quinolizidine alkaloids
- Senecionine	● Pyrrolizidine alkaloids
- Quinine and quinidine	● Quinoline alkaloids
- Morphine, codeine, and berberine	● Isoquinoline or benzylquinoline alkaloids
- Reserpine, ajmaline, cinchonamine, tabersonine, vincristine, and vinblastine	● Indole alkaloids
- Caffeine and theobromine	● Purine alkaloids
- Ephedrine, pseudoephedrine, taxin, and, and hordenine	● Phenyl alkylamines
- Gentianine, actinidine, delpheline, garryfoline, triterpene, and germine	● Isoprenoid (terpenoid) Alkaloids
- Polyhydroxy derivatives of piperidine, pyrrolidine, indolizine, and pyrrolizidine	● Polyhydroxy alkaloids
- 2,4-dihydroxy-7-methoxy-2H-1,4-benzoxazin-3(4H)-one (DIMBOA) and its desmethoxy derivative (DIBOA).	● Benzoxazinoids (hydroxamic acids)

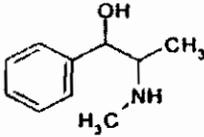
ويبين جدول (١٤-٢٤) الأحماض الأمينية البادئة precursor amino acids لتكوين بعض القلوانيات الهامة. كما يبين شكل (١٤-١٦) التركيب البنائى لبعض القلوانيات.

جدول (١٤-٢٤): بادئات بعض القلوانيات الهامة.

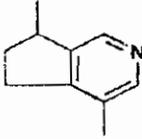
الحامض الأميني البادئ	نوع الألكالويد	مثال	النبات الذي يتواجد فيه
Ornithine	Pyridine	Nicotine	<i>Nicotiana</i> spp.
	Tropane	Cocaine	Solanaceae
		Hyoscyamine	<i>Datura</i> , <i>Atropa</i>
	Pyrrolizidine	Heliotrine	Boraginaceae
	Pyrrolidine	Stachydrine	<i>Medicago sativa</i>
Lysine	Quinolizidine	Lupanine	Gentisteeae, <i>Lupinus</i>
Aspartic acid	Piperidine	Arecoline	<i>Areca catechu</i>
Histidine	Imidazole	Pilocarpine	<i>Pilocarpus</i> spp.
Tryptophan	Indole	Ajmalicine	Rubiaceae
		Nindoline	Loganiaceae
	Quinoline	Quinine	Cinchona
Phenylalanine/ tyrosine	Isoquinoline	Emetine	<i>Lyphophora</i>
		Berberine	Berberidaceae
		Morphine	Papaveraceae
Anthranilic acid	Benzoxazinoids	DIMBOA	Graminae



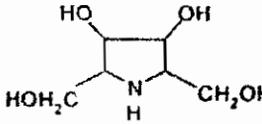
شكل (١٤-١٦): التركيب البنائي لبعض القلوانيات.



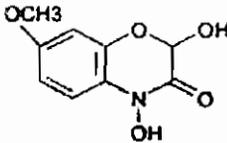
Ephedrine (Phenyl alkylamine)



Actinidine (Monoterpenoid)



DMDP (Polyhydroxy)  
(2R, 5R-Dihydroxymethyl -3R, 4R-dihydroxy pyrrolidine)



DIMBOA (Benzoxazinoid)

تابع شكل (١٤-١٦).

إن معظم القلوانيات التي تحتويها النباتات تعد طاردة للحشرات، كما أن كثيراً منها يعد معيقاً لتغذية الحشرات، أو ساماً لها، كذلك فإنها قد تثبط نمو البكتيريا.

ويبين جدول (١٤-٢٥) الكيفية التي تؤثر بها بعض القلوانيات الهامة على الكائنات الحية، وذلك على المستوى الجزيئي (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

جدول (١٤-٢٥): كيفية تأثير بعض القلوانيات الهامة - على المستوى الجزيئي - في الكائنات الحية.

تأثيراتها على المستوى الجزيئي	القلوانيات
DNA/RNA intercalation	Berberine, quinine, $\beta$ -carboline
Alkylation of DNA/RNA	Pyrrolizidines
Mutations	Coniine
Inhibition of DNA/RNA polymerases	Lycorine, vincristine
Microtubules/cytoskeleton	Vinblastine

تابع جدول (١٤-٢٥).

تأثيراتها على المستوى الجزيئي	القلوانيات
Inhibition of protein biosynthesis	Quinolizidines
Membrane stability	Steroidal alkaloids
Inhibition of ion channels, carrier	Quinine aconitine
Acetylcholine receptors	Nicotine, heliotrine
Dopamine receptors	Cocaine
Serotonine receptors, GABA receptors	$\beta$ -Carbolines
Transport or degradation of neurotransmitters	Cocaine, $\beta$ -carbolines
Adenyl cyclase inhibition	Tetrahydroberberine
Inhibitors of hydrolases	Polyhydroxyalkaloids

#### ٥ - البروتينات السامة

على خلاف جميع المركبات التي أسلفنا بيانها - وجميعها ذات وزن جزيئي منخفض - فإن النباتات تلجأ - كذلك - إلى تمثيل بروتينات سامة. وهي جزيئات أكثر تعقيداً. يكفي جزئ واحد من بعضها لقتل خلية كاملة، علماً بأن الجرام الواحد من البروتين يحتوي على ١٠<sup>١٠</sup> جزيئاً (١٠ أمامها ١٨ صفراً).

ومن أهم أنواع تلك البروتينات السامة اللكتينات lectins. وهي عبارة عن بروتينات يمكنها الارتباط ببروتينات أخرى في معى الحشرة، مما يتعارض مع امتصاص العناصر في الأمعاء (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

يُعرف تواجد اللكتينات lectines في نحو ٨٠٠ نوع نباتي. منها حوالي ٦٠٠ نوع من البقوليات. تلعب اللكتينات دوراً هاماً في دفاع النباتات ضد الآفات الحشرية. كما أنها تلعب دوراً في كل من انتقال المركبات الكربوهيدراتية في النبات، وإنبات البذور. والنظام المناعي النباتي، والتحكم في نمو الخلايا. وعمليات التعرف الخاصة.

ويبين جدول (١٤-٢٦) عدداً من اللكتينات النباتية السامة نحشرات وأمثلة على الحشرات التي تتأثر بها.

## طبيعة المقاومة للحشرات

جدول (١٤-٢٦): أمثلة على الليكتينات النباتية السامة للحشرات، والأنواع الحشرية التي تتأثر بها (عر Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

الليكتين السام	الحشرة	الرتبة الحشرية
PHA, WGA, SNAII (elderberry lectin)	<i>Callosobruchus maculatus</i>	غمدية الأجنحة Coleoptera
WGA, GNA	<i>Diabrotica undecimpunctata</i> (Southern corn rootworm)	
WGA, lectin from castor and <i>Bauhinia purpurea</i> Soybean lectin	<i>Ostrinia nubilalis</i> (European corn borer) <i>Manduca sexta</i>	حرفشوية الأجنحة Lepidoptera
GNA	<i>Nilaparvata lugens</i> (BPH)	متشابهة الأجنحة Homoptera
GNA	<i>Nephotettix cincticeps</i> Ish. (rice green leafhopper)	
PHA, WGA	<i>Empoasca fabae</i> Harr. (potato leafhopper)	
ConA	<i>Acyrtosiphon pisum</i> Harr. (pea aphid)	
GNA	<i>Myzus persicae</i> Sulz. (potato aphid)	
WGA, ConA	<i>Lucilia cuprina</i> Weid. (blowfly)	ذات الجناحين Diptera

يمكن القول أن جميع الأنواع النباتية تحتوى لكتينات lectins، تتواجد - عادة - كبروتينات من تلك التي تتواجد فى البذور، ولكنها كثيراً ما تتوزع - كذلك - على الأجزاء النباتية الأخرى. مثل الأوراق والجذور وأعضاء التخزين. هذا إلا أن اللكتينات ذات التأثير القاتل للحشرات لا يعرف منها سوى عدد محدود نسبياً. ومن بين تلك التى درست أمكن استعمال اللكتينات GNA، و AHA، و ConA، و P-Iec فى عمليات التحول الوراثي. وكانت النباتات التى حولت وراثياً سامة للحشرات كما المتوقع.

وعلى خلاف سموم ال Bt المتحصل عليها من *Bacillus thuringiensis*. فإن اللكتينات تكسب النباتات مقاومة ضد مدى واسع من الحشرات. ولكن تأثيرها ليس كبيراً إلى

الدرجة التي تسمح باستخدامها في عمليات التحول الوراثي على النطاق التجارى. وربما كان السبب في محدودية تأثيراتها أنها تكون مزمنة وليست حادة.

وحاليًا .. لا يعرف من اللكتينات غير السامة للحيوانات - غير الحشرات - سوى لكتين زهرة اللبن الثلجية : GNA. ولبعض اللكتينات (كالذى يوجد فى بذور الفاصوليا الجافة : PHA) تأثيرات متلفة على التركيب الخلوى للأمعاء الدقيقة ويؤثر على البنكرياس وعلى إفراز الإنزيمات الهاضمة فى كل من الإنسان والحيوان (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

### ٦ - مثبطات (الإنزيمات)

لقد طورت النباتات أنظمة دفاعية خاصة بها ضد الحشرات، ولكنها لا تكون دائمًا فعالة بدرجة كافية للحد من الأضرار بشكل مقبول، ومن بين تلك النظم الدفاعية مثبطات الإنزيمات. إن الأنواع الإنزيمية الرئيسية التى تلزم لهضم الغذاء فى الحشرات، هى : الـ proteinases (التي تختص بهضم البروتينات). والـ amylases (التي تختص بهضم النشا). والـ lipases (التي تختص بهضم الدهون).

وتتواجد المركبات متعددة الببتيدات polypeptides والبروتينات التي تعد مثبطة لنشاط الإنزيمات الهاضمة فى خلايا كل الكائنات الحية تقريبًا.

وتقسم مثبطات الإنزيمات إلى ثلاثة فئات رئيسية، كما يلى:

١ - مثبطات الـ proteases والـ proteinases.

٢ - مثبطات الـ amylases.

٣ - مثبطات الـ lipases (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

### أ - مثبطات البروتيز protease inhibitors :

توجد مثبطات البروتيز فى عديد من النباتات، وهى تثبط هضم البروتين فى كل من الحشرات والحيوانات الأخرى. تعرف أنواع عديدة من مثبطات البروتيز. كما تعرف أنواع عديدة - كذلك - من إنزيمات البروتيز. ويوجد تخصص كبير بين البروتينات المثبطة والإنزيمات المثبطة (عن Chrispeels & Sadava ٢٠٠٣).

تتواجد مثبطات الإنزيمات الهاضمة للبروتينات (proteases أو proteinases) - غالباً - كمكون رئيسي في النباتات في البذور والدرنات، وبخاصة في العائلات النجيلية. والبقولية. والباذنجانية. أما الإنزيمات الهاضمة للبروتينات التي تُثبِّط بواسطة المثبطات النباتية فإنها تتواجد أساساً في الأنواع الحيوانية والبكتيرية والفطرية، وفي حالات قليلة - فقط - في النباتات. ومعظم مثبطات البروتينيز النباتية تعد متخصصة على الـ serine endopeptidases. كذلك تعرف مثبطات نباتية قليلة لكل من: الـ metalloproteinases، والـ acid proteinases، والـ sulfhydryl proteinases. ولكن لم تعرف إلى الآن مثبطات للـ aminopeptidases. وقد كان الـ kunitz soybean trypsin inhibitor هو أول ما عزل من تلك المثبطات (من فول الصويا وضد إنزيم التربسن trypsin). وذلك بواسطة kunitz في عام ١٩٤٦.

وكثيراً ما يختلط المعنى بالنسبة للمصطلحين بروتينيز proteinase و بروتينيز protease. إلا أن مصطلح البروتينيز protease يشير إلى كل من الـ endopeptidases والـ exopeptidases. بينما يصف مصطلح بروتينيز proteinase الـ endopeptidases فقط. ونظراً لأن معظم المثبطات تستهدف أساساً الـ endopeptidases، لذا.. فإن المصطلح proteinase inhibitor هو الأكثر استخداماً.

وعموماً.. فإن معظم مثبطات البروتينيز النباتية خاصة بالـ serine endopeptidases: التربسن trypsin، والكيموتربسن chymotrypsin، والإنزيمات الأخرى ذات الخصائص المشابهة لهما.

### وأهم مجموعات هذه المثبطات، ما يلي:

١ - الـ Serine proteinase inhibitors .. وهي تتواجد في معظم النباتات. ويزداد تركيزها في أعضاء التخزين كالبذور والدرنات، حيث تشكل جزءاً يُعتدُّ به من البروتين الكلي.

٢ - الـ Bowman- Brink inhibitor .. وهي تتواجد في بذور عديد من البقوليات. مثل فول الصويا. والفاصوليا. واللوبيا. والعدس، وفاصوليا المنج.

٣ -- الـ Kunitz inhibitor .. وهي تتواجد في أنواع نباتية متباينة، مثل الفاصوليا المجنحة. والشعير. والقمح.

٤ - الـ Cysteine Proteinase inhibitors .. وهي تتواجد أساساً في الحيوانات، ولكن وجد بعضها في النباتات. مثل الأناناس، والبطاطس، والذرة، والأرز. واللوبياء. والقمح. والشعير. والراي. والطمطم.

ولقد استخدم جين الـ CpTi في عمليات التحول الوراثي لعدد من المحاصيل. مثل: التبغ ولفن الزيت والبطاطس والبطاطا والأرز والكرنب والفراولة وثبتت جدواه في مقاومة حشرات معينة في معظم الحالات.

كذلك استخدم في عمليات التحول الوراثي الـ potato proteinase inhibitor 2 (اختصاراً PIN2) وأثبت نجاحاً في مكافحة بعض الحشرات الهامة. مثل حفار الساق الوردى *Sesamina inferens* في الأرز والخنافس *Plagioder a vesicolora* في الحور. وعدداً من من النجيليات.

وتتوفر أمثلة قليلة على نجاح استخدام الـ cysteine proteinase inhibitors في عمليات التحول الوراثي لمقاومة الحشرات. ومنها عمليات التحول الوراثي في كل من أشجار الحور والبطاطس والأرز.

وقد استخدم جين الـ  $\alpha$ -amylase inhibitor (اختصاراً  $\alpha$ -AI) المتحصل عليه من الفاصوليا في التحول الوراثي للبسلة التي عُبرَ فيها عن هذا الجين بتركيز للمثبط كان مماثلاً لما في الفاصوليا. وكانت بذور البسلة المحولة وراثياً مقاومة لكل من سوسة اللوبيا وسوسة فاصوليا أدزوكي.

ولمزيد من التفاصيل عن مثبطات البروتينيز .. يراجع Sadasivan & Thayumanavan (١٩٩٥).

ونلقى الضوء - فهما يلى - على مثبط التربس من اللوبيا:

وجدت المقاومة لحشرة خنفساء بذور اللوبيا *Callosobruchus maculatus* في صنف

واحد من اللوبيا من بين ٥٠٠٠ صنف تم اختبارها، وتبين احتواء بذور هذا الصنف على تركيز من مثبطات البروتينيز أعلى جوهرياً عما في أى صنف آخر. وثبتت طبيعته المؤثرة على الحشرة فى اختبارات التغذية. ويعرف هذا المثبط باسم cowpea trypsin inhibitor (اختصاراً CpTi). وهو الذى ثبت أنه يتكون من مجموعة من المثبطات (CpTis). ولقد أوضحت الدراسات العديدة التالية سميته لكثير من الحشرات الأخرى (جدول ١٤-٢٧).

جدول (١٤-٢٧): الآفات الحشرية التى تتأثر بمثبطات تربسن اللوبيا CpTis (عن Sadasivam & Thayumanavan ١٩٩٥).

المحاصيل التى تصيبها	الحشرات	الرتبة
	<i>Heliothis virescens</i> التبغ والقطن	حرفشية الأجنحة Lepidoptera
	<i>Helicoverpa zea</i> القطن والذرة والتبغ والفاصوليا	
	<i>Helicoverpa armigera</i> القطن والذرة والسورجم والفاصوليا	
	<i>Spodoptera littoralis</i> الأرز والقطن والتبغ والذرة	
	<i>Chilo partellus</i> الأرز والذرة والسورجم وقصب السكر	
	<i>Autographa gamma</i> البطاطس والكرنب والخس والفاصوليا	
	وبنجر السكر	
	<i>Manduca sexta</i> البطاطس والطماطم والتبغ	
	<i>Locusta migratoria</i> كثير من المحاصيل وخاصة النجيليات	مستقيمة الأجنحة Orthoptera
	<i>Diabrotica undecimpunctata</i> الذرة والبرسيم	غمدية الأجنحة Coleoptera
	<i>Costelytra zealandica</i> القطن	
	<i>Callosbruchus maculatus</i> اللوبيا وفول الصويا	
	<i>Tribolium confusum</i> معظم الغلال	

### ب - مثبطات الأميليز amylase inhibitors :

توجد مثبطات الأميليز فى عديد من النباتات. وهى تثبط هضم النشا فى كل من الحشرات والحيوانات الأخرى. تعرف أنواع عديدة من مثبطات الأميليز. كما تعرف أنواع عديدة - كذلك - من إنزيمات الأميليز.

لقد أمكن عزل وتنقية البروتينات المثبطة لإنزيمات الـ  $\alpha$ -amylases - الخاصة بالثدييات - من عديد من البذور النباتية. وهي تتواجد بكثرة في حبوب النجيليات (مثل القمح والشعير والذرة والأرز والراى والسورجم) وبذور البقوليات (مثل الفاصوليا واللوبياء والعدس وفاصوليا المنج) وبعض الأنواع الأخرى (مثل الياق والقلقاس). وهي تثبط - كذلك - الـ  $\alpha$ -amylases الحشرية. ويرتبط التركيز الطبيعي لمثبطات إنزيمات الـ  $\alpha$ -amylases (الـ  $\alpha$ -amylase inhibitors أو اختصاراً  $\alpha$ -Als) في البذور مع مقاومة تلك البذور للحشرات. مثل الـ bruchid beetles. وتعد إنزيمات الـ  $\alpha$ -amylases هي الإنزيمات الهاضمة الرئيسية في معى الحشرات. يؤدي تثبيطها إلى التعارض مع تمثيل المواد الكربوهيدراتية التي تكون في غذائها.

### المقاومة المستحثة ضد الحشرات

تمتلك النباتات القدرة على جعل كل خلية فيها نشطة في الاستجابات الدفاعية ضد الحشرات - أو الجروح بصورة عامة - من خلال تنشيط جينات خاصة. وتهدف تلك الاستجابات - التي تنشأ لدى حدوث الجروح - إلى التآم الأنسجة المضارة واستئثاره النشاط الدفاعي الذي يمنع أى أضرار أخرى.

ولقد ثبت حدوث المقاومة المستحثة ضد الإصابات الحشرية في أكثر من ١٠٠ نوع نباتي تتوزع في ٣٠ عائلة. وتتضمن القائمة: القطن. والذرة. والبطاطس، وفاصوليا الليما. والتبغ، والـ *Arabidopsis*، والفاصول السوداني. 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 في خلال فترة زمنية تتراوح بين دقائق قليلة إلى عدة ساعات بعد حدوث التجريح. وتتضمن كل ما يتعلق بعملية تنشيط الجينات المتخصصة في هذا الشأن.