

### الاعتماد على جينات المقاومة الطبيعية فى عمليات التحول الوراثى

إن الاعتماد على جينات المقاومة الطبيعية التى تتوفر فى شتى الأنواع النباتية ضد مختلف المسببات المرضية الفطرية والبكتيرية - والتى يمكن تحديد مواقعها الكروموسومية باستخدام مجسات الدنا (جدول ١١-٦، و ١١-٧) - يعد طريقة مؤكدة - غالباً - لتحقيق المقاومة لتلك المسببات المرضية فى الأنواع النباتية المستهدفة بعملية التحول الوراثى، ولكن يتعين - بطبيعة الحال - عزل تلك الجينات أولاً حتى يمكن نقلها من نوع نباتى لآخر بعيد عنه.

وتظهر فى جداول (١١-٨) إلى (١١-١٠) قوائم بعدد من أهم جينات المقاومة الطبيعية التى استخدمت أو تستخدم فى عمليات التحول الوراثى.

جدول (١١-٦): قائمة جزئية بنباتات ذوات الفلقة الواحدة التى يتوفر فيها نوعيات مختلفة من الجسّات لسبر دنا المقاومة لبعض الأمراض (عن Wenzel 1998).

العائل	المسبب المرضى	عدد الآليات التي تم سبرها	التقنية التى استخدمت
الشعير	<i>Erysiphe graminis</i>	١٠	NIL, RFLP, DH, AFLP
	<i>Puccinia graminis</i>	٢	DH, BSA, RFLP
	<i>Puccinia hordei</i>	١	BSA, RAPD
	<i>Puccinia striiformis</i>	١	RFLP
	<i>Rhynchosporium secalis</i>	٤	DH, NIL, RFLP
	<i>Pyrenophora teres</i>	١	DH, RFLP
	<i>Cochliobolus sativus</i>	١	DH, RFLP
	<i>Typhula incarnate</i>	١	RFLP
	<i>Pyrenophora graminea</i>	١	RFLP
	Barley yellow dwarf virus	١	RFLP
	Barley stripe mosaic virus	١	DH-RFLP
	Barley yellow mosaic virus	٧	DH, RFLP, RAPD
	<i>Heterodera avenae</i>	١	RFLP
	Maize dwarf mosaic virus	٢	RFLP
الذرة	<i>Bipolaris maydis</i>	١	RFLP

تابع جدول (٦-١١):

التقنية التي استخدمت	عدد الآليات التي تم سبرها	المسبب المرضي	العائل
NIL, RFLP	١	<i>Puccinia sorghi</i>	
RFLP	QTL	<i>Cercospora zea-maydis</i>	
RFLP	QTL	<i>Collerotrichum graminicola</i>	
NIL, RFLP	١	<i>Helminthosporium triticum</i>	
BSA, RAPD	١	<i>Puccinia coronata</i>	الشوفان
NIL, RAPD	١	<i>Puccinia graminis</i>	
RIL, BSA, RFLP, RAPD	١	<i>Orseolia oryzae</i>	الأرز
NIL, RFLP	٣	<i>Pyricularia oryzae</i>	
NIL, RFLP	٢	<i>Pyricularia grisea</i>	
RFLP, RAPD	١	<i>Rice tungro virus</i>	
NIL	٦	<i>Xanthomonas oryzae</i>	
RFLP, RAPD	١	<i>Sporisorium reilianum</i>	السورجم
BSA, NIL, RFLP, RAPD	٢	<i>Heterodera avenae</i>	القمح
RFLP	١١	<i>Mayetiola destructor</i>	
RFLP, RAPD, STS	٣	<i>Puccinia recondita</i>	
RFLP	١	<i>Puccinia graminis</i>	
NIL, RFLP	٨	<i>Erysiphe graminis</i>	
STS, RAPD	١	Wheat streak mosaic virus	

جدول (٧-١١): قائمة جزئية بنباتات ذوات الفلقتين التي يتوفر فيها نوعيات مختلفة من الجسّات لسبر دنا المقاومة لبعض الأمراض (عن Wenzel ١٩٩٨).

التقنية التي استخدمت	عدد الآليات التي تم سبرها	المسبب المرضي	العائل
Tagging, RFLP	٢	<i>Pseudomonas syringae</i>	<i>Arabidopsis</i>
RAPD, STS	٥	<i>Peronospora parasitica</i>	
NIL, RFLP, SCAR, RAPD	١	<i>Colletrochum lindemuthianum</i>	الفاصوليا
NIL, RAPD	١	Common bean mosaic virus	
NIL, RAPD	٣	<i>Uromyces appendiculatus</i>	
RFLP	١	<i>Cladosporium cucumerinum</i>	الخيار
RFLP	١	<i>Pseudoperonospora cubensis</i>	
Tagging	٣	<i>Cochliobolus carbonum</i>	الكتان
BSA, STS, RAPD, RFLP	١٩	<i>Bremia lactuca</i>	الخس

التقنية التي استخدمت	عدد الآليات التي تم سيرها	المسبب المرضي	العائل
RAPD	١	<i>Plasmopara lactucae</i>	
BSA, RAPD	١	<i>Turnip mosaic virus</i>	
RIL, RFLP, RAPD, SCAR	٢	<i>Erysiphe pisi</i>	البسلة
RFLP, Microsatellite	١	<i>Fusarium oxysporum</i>	
RFLP, Microsatellite	١	Pea mosaic virus	
RFLP, RAPD	١	Seed-borne mosaic virus	
NIL, RFLP, RAPD, AFLP	٣	<i>Globodera rostochiensis</i>	البطاطس
DH, BSA, RFLP, AFLP	٢	<i>Phytophthora infestans</i>	
QTL, RFLP			
RFLP	٢	Potato virus X	
RFLP	١	Potato virus Y	
RFLP, AFLP	١	<i>Plasmiodiophora brassica</i>	لفت الزيت
RIL, RFLP	١	<i>Heterodera glycines</i>	فول الصويا
NIL, RFLP	٣	<i>Phytophthora megasperma</i>	
Microsatellite, RFLP	١	<i>Soybean mosaic virus</i>	
RFLP	١	Rizomania	بنجر السكر
RFLP, RAPD	٣	<i>Heterodera schachtii</i>	
RAPD	١	Beet necrotic yellow vein virus	
NIL, BSA, RFLP, AFLP	٦	<i>Cladosporium fulvum</i>	الطماطم
NIL, RFLP	٣	<i>Fusarium oxysporum</i>	
RFLP	١	<i>Leveillula taurica</i>	
RFLP, RAPD, STS	١	<i>Macrosiphum euphorbiae</i>	
NIL, RFLP, RAPD	٢	<i>Melioidogyne incognita</i>	
BSA, RFLP, RAPD	١	<i>Oidium lycopersicon</i>	
NIL, RAPD	١	<i>Verticillium dahliae</i>	
RFLP	١	Potato virus X	
NIL, RFLP, RAPD	١	Tomato spotted wild virus	
RFLP	١	Tomato mosaic virus	
RFLP	١	Tomato yellow leaf curl virus	

## تطبيقات تربية النباتات في مكافحة الأمراض والآفات

جدول (١١-٨): بعض جينات المقاومة للأمراض التي تم عزلها لأغراض الهندسة الوراثية (عن Basandari & Basandari ٢٠٠٠).

المسبب المرضي الذي يقاومه الجين المعزول (وسلاته أو سلالاته)	النبات المعزول	
	منه الجين	الجين المعزول
<i>Helminthosporium maydis</i> (race 1)	الذرة	<i>Hm 1</i>
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> (avr Pto)	الطماطم	<i>Pto</i>
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> (avr Rpt2)	<i>Arabidopsis</i>	<i>RPS2</i>
<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>macullicola</i> (avr Rpm1/avrB)	<i>Arabidopsis</i>	<i>RPM1</i>
<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	الطماطم	<i>I2</i>
<i>Tobacco Mosaic Virus</i>	التبغ	<i>N</i>
<i>Melampsora lini</i> (AL5, AM)	الكتان	<i>L5M</i>
<i>Peronospora parasitica</i>	<i>Arabidopsis</i>	<i>RPP5</i>
<i>Cladosporium fulvum</i>	الطماطم	<i>Cf-9</i>
(avr8, Avr2, Avr4 Avr5)		<i>Cf-2 Cf-4 Cf-5</i>
<i>Xanthomonas oryzae</i> pv. <i>oryzae</i> (all races)	الأرز	<i>Xa-21</i>

جدول (١١-٩): جينات المقاومة التي أمكن عزلها بتقنيات الدنا حتى عام ٢٠٠٠ (عن Hulbert وآخرين ٢٠٠١).

هل تقلت المقاومة من نوع برى؟	أهم موقع معدن <sup>(١)</sup>	جين المقاومة	المسبب المرضي أو الآفة	النوع المقاوم
لا	لا	L	<i>Melampsora lini</i>	الكتان
لا	نعم	M		
نعم	نعم	N	TMV	التبغ
لا	نعم	P	<i>Melampsora lini</i>	الكتان
لا	نعم	RPP1	<i>Peronospora</i>	<i>Arabidopsis</i>
لا	نعم	RPP5		
لا	لا	RPS4	<i>Pseudomonas</i>	
نعم	نعم	Bs2	<i>Xanthomonas</i>	الفلفل
لا	نعم	Dm3	<i>Bremia</i>	الخنس
نعم	نعم	Gpa2	<i>Globodera</i>	البطاطس
نعم	نعم	Rx1	PVX	-
نعم	نعم	I2	<i>Fusarium</i>	الطماطم
نعم	نعم	Mi	<i>Meloidogyne</i>	
نعم	نعم	Mi	<i>Macrosiphum</i>	

تابع جدول (١١-٩):

هل نقلت المقاومة من نوع برى؟	أهو موقع معد؟ <sup>(١)</sup>	جين المقاومة	المسبب المرضي أو الآفة	النوع المقاوم
لا	نعم	Mla	<i>Blumeria</i>	الشعير
لا	نعم	Pib	<i>Magnaporthe</i>	الأرز
لا	لا	Pib-ta		
نعم	نعم	<sup>(٥)</sup> Prf	<i>Pseudomonas</i>	الطماطم
لا	نعم	Rp1	<i>Puccinia</i>	الذرة
لا	لا	RPM1	<i>Pseudomonas</i>	<i>Arabidopsis</i>
لا	نعم	RPP8	<i>Peronospora</i>	
لا	نعم	HRT	TCV	
لا	لا	RPP13	<i>Peronospora</i>	
لا	لا	RPS2	<i>Pseudomonas</i>	
لا	لا	RPS5		
نعم	نعم	Rx2	PVX	البطاطس
نعم	نعم	Sw-5	Tospovirus	الطماطم
لا	لا	Xa1	<i>Xanthomonas</i>	الأرز
نعم	نعم	Cf-2/5	<i>Cladosporium</i>	الطماطم
نعم	نعم	Cf-4/9		
نعم	نعم	Pto	<i>Pseudomonas</i>	
نعم	نعم	Xa21	<i>Xanthomonas</i>	الأرز
نعم	لا	HS1 <sup>pro-1</sup>	<i>Heterodera</i>	البنجر
لا	نعم	Rpw8	<i>Erisyphe</i>	<i>Arabidopsis</i>
لا	لا	mlo	<i>Blumeria</i>	الشعير
لا	لا	Hm1	<i>Cochliobolus</i>	الذرة

أ - الموقع المعقد **complex locus** يعني أن الجين ينتمي إلى عائلة شديدة الارتباط من الجينات المتشابهة.  
 ب - يعد **Prf** ضرورياً لفاعلية الجين **Pto** لمقاومة سلالات *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* الحاملة للجين **avrPto**.

جدول (١١-١٠): قائمة بعدد من أهم جينات المقاومة الطبيعية للمسيبات المرضية التي أمكن عزلها لأجل استخدامها في عمليات التحول الوراثي (عن Dickinson ٢٠٠٣).

قصة	البروتين	الجين	النبات الحامل	المسبب المرضي الذي يقاومه الجين		
المسؤول	طبيعة البروتين	المنتج	للجين			
عن	المسؤول عن	للبروتين				
المقاومة	المقاومة <sup>(١)</sup>					
١	TIR-NBS-LRR	L	الكتان	<i>Melampsora lini</i> (fungus)		
		M	الكتان	<i>Melampsora lini</i> (fungus)		
		P	الكتان	<i>Melampsora lini</i> (fungus)		
		N	التبغ	<i>Tobacco mosaic virus</i>		
	CC-NBS-LRR	RPP1	<i>Arabidopsis</i>		<i>Peronospora parasitica</i> (oomycete)	
		RPP5	<i>Arabidopsis</i>		<i>Peronospora parasitica</i> (oomycete)	
		RPS4	<i>Arabidopsis</i>		<i>Pseudomonas syringae</i> (bacterium)	
		Prf	الطماطم		<i>Pseudomonas syringae</i> (bacterium)	
			Mi	الطماطم	<i>Melodagyne incognita</i> (nematode)	
		Gpa2/Rx1	البطاطس		<i>Globodera</i> (nematode) & Potato virus X	
		RPS2	<i>Arabidopsis</i>		<i>Pseudomonas syringae</i> (bacterium)	
		RPS5	<i>Arabidopsis</i>		<i>Pseudomonas syringae</i> (bacterium)	
		RPM1	<i>Arabidopsis</i>		<i>Pseudomonas syringae</i> (bacterium)	
		RPP8/HRT	<i>Arabidopsis</i>		<i>Peronospora</i> & Turnip crinkle virus	
		NBS-LRR	Bs2	القليل		<i>Xanthomonas campestris</i> (bacterium)
			Dm3	الخس		<i>Bremia lactuca</i> (oomycete)
	I2		الطماطم		<i>Fusarium oxysporum</i> (fungus)	
	Cre3		القمح		<i>Heterodera avenae</i> (nematode)	
	Xa1		الأرز		<i>Xanthomonas oryzae</i> (bacterium)	
	Pib		الأرز		<i>Magnaporthe grisea</i> (fungus)	
Pi-ta	الأرز			<i>Magnaporthe grisea</i> (fungus)		
Rp1	الذرة			<i>Puccinia sorghi</i> (fungus)		
Mla	الشعير		<i>Blumeria graminis</i> (fungus)			
TIR-NBS-LRR-	RRS1-R	<i>Arabidopsis</i>		<i>Ralstonia solanacearum</i> (bacterium)		
NLS-WRKY						
٢	LRR-TM	Cf-2, Cf-4	الطماطم	<i>Cladosporium fulvum</i> (fungus)		
		Cf-5, Cf-9				
٣	Kinase	Pto	الطماطم	<i>Pseudomonas syringae</i> (bacterium)		

قصة	البروتين	الجين	النبات الحامل	المسبب المرضي الذي يقاومه الجين
المسؤول	طبيعة البروتين	المنتج	للجين	للبروتين
عن	المسؤول عن	للبروتين	للجين	المقاومة <sup>(١)</sup>
المقاومة	المقاومة <sup>(١)</sup>	للبروتين	للجين	المقاومة
		<i>PBS1</i>	<i>Arabidopsis</i>	<i>Pseudomonas syringae</i> (bacterium)
	Kinase-kinase	<i>Rpg1</i>	الشعير	<i>Puccinia graminis</i> (fungus)
٤	LRR-TM-Kinase	<i>Xa21</i>	الأرز	<i>Xanthomonas oryzae</i> (bacterium)
		<i>FLS2</i>	<i>Arabidopsis</i>	Innate immunity (flagellin)
٥	Unique	<i>HSI<sup>pro-1</sup></i>	بنجر السكر	<i>Heterodera schachtii</i> (nematode)
٦	Unique	<i>RPW8</i>	<i>Arabidopsis</i>	<i>Erysiphe</i> (fungus)
٧	Membrane protein	<i>Mlo</i>	الشعير	<i>Blumeria graminis</i> (fungus)
٨	Cell-surface glycoprotein	<i>Ve1</i>	الطماطم	<i>Verticillium albo-atrum</i> (fungus)
٩	Toxin reductase	<i>Hm1</i>	الذرة	<i>Cochliobolus carbonum</i> (fungus)

أ - اختصارات طبيعة البروتين المسؤول عن المقاومة:

TIR = Toll interleukin receptor; LRR = leucine-rich repeat; NBS = nucleotide binding site; CC = coiled coil; NLS = nuclear localisation signal; WRKY = transcription factor; and TM = transmembrane.

ولمزيد من التفاصيل في هذا الموضوع يراجع Takken & Joosten (٢٠٠٠). ولقد اقترح أن تعديل النباتات وراثياً بكل من جين المقاومة وجين عدم الضراوة المقابل له (جداول ١١-١١ و ١١-١٢ و ١١-١٣) يوفر للنبات مقاومة عريضة ضد المسبب المرضي (جدول ١١-١٤). ويتطلب الأمر تنظيم التعبير عن تلك الجينات بحيث لا يحدث التعبير إلا بعد حدوث الإصابة بالمسبب المرضي. وذلك لمنع تدمير النبات. كما أن تلك الاستراتيجية لا تصلح إلا مع المسببات المرضية الـ necrotrophic (عن Pink ٢٠٠٢).

## تطبيقات تربية النبات في مكافحة الأمراض والآفات

جدول (١١-١١): جينات عدم الضراوة الفطرية التي تم عزلها (عن DeWit ١٩٩٥).

النشاط	البادئ/البروتين المنتج	جين عدم الضراوة
حث فرط الحساسية في التركيب الوراثي: <i>Cf9</i>	63 aa/28 aa	<i>Avr9</i>
حث فرط الحساسية في التركيب الوراثي: <i>Cf4</i>	135 aa/106 aa	<i>Avr4</i>
غير معروف	145 aa/?	<i>PWL2</i>
غير معروف	223 aa/?	<i>AVR2-YAMO</i>
حث إنتاج البروتين PRHv-1 في صنف الشعير Atlas 46	82 aa/60 aa	<i>avrRrs1</i>
حث التحلل في التبغ والفجل واللفت	118 aa/98 aa	<i>parA1</i>

جدول (١١-١٢): بعض جينات المقاومة - وجينات الضراوة المقابلة لها - التي تم عزلها (عن Jones ٢٠٠٠).

العائل	جين المقاومة	المسبب المرضي	جين الضراوة
التبغ	<i>N</i>	Tobacco mosaic virus	Helicase domain of replicase
الطماطم	<i>Pto</i>	<i>Pseudomonas syringae</i>	<i>AvrPto</i>
	<i>Prf</i>	pv. <i>tomato</i>	
	<i>Cf-9</i>	<i>Cladosporium fulvum</i>	<i>Avr9</i>
	<i>Cf-4</i>		<i>Avr4</i>
البطاطس	<i>Rx</i>	Potato virus X	Coat protein
	<i>RPS2</i>	<i>P. s. pv. tomato</i>	<i>AvrRpt2</i>
<i>Arabidopsis</i>	<i>RPS4</i>	<i>P. s. pv. pisi</i>	<i>AvrRps4</i>
	<i>RPS5</i>	<i>P. s. pv. phaseolicola</i>	<i>AvrPphB</i>
	<i>RPM1</i>	<i>P. s. pv. glycinea</i>	<i>AvrB</i>
		<i>P. s. pv. maculicola</i>	<i>AvrRpm1</i>
الأرز	<i>Pi<sup>ta</sup></i>	<i>Magnaporthe grisea</i>	<i>Avr2YAMO</i>

جدول (١١-١٣): بعض جينات عدم الضراوة genes avirulence التي عزلت من *Pseudomonas syringae* (عن Vivian وآخرين ١٩٩٧).

رمز الجين	الطرز الباثولوجي:	الذي عُزل من	الذي عُزل من
<i>avrA</i>	الطرز الباثولوجي:	الطرز الباثولوجي:	الطرز الباثولوجي:
<i>avrPphC</i>	<i>phaseolicola</i>	<i>glycinea</i>	<i>glycinea</i>
	<i>tomato</i>	<i>avrA</i>	<i>avrA</i>
	<i>glycinea</i>	<i>avrC</i>	<i>avrC</i>

تطبيقات الهندسة الوراثية لمقاومة الفطريات والبكتيريا والنيما تودا

تابع جدول (١١-١٣):

الذي عُزل من الطرز الباثولوجي:	آليل ل:	الذي عُزل من الطرز الباثولوجي:	رمز الجين
tomato	<i>avrD</i>	<i>glycinea</i>	<i>avrD2</i>
tomato	<i>avrD (allele 1)</i>	<i>lachrymans</i>	<i>avrD3</i>
tomato	<i>avrD (allele 2)</i>	<i>lachrymans</i>	<i>avrD4</i>
tomato	<i>avrD</i>	<i>phaseolicola</i>	<i>avrD5</i>
<i>pisi</i>	<i>avrPpiA</i>	<i>maculicola</i>	<i>avrPmaA1</i>
<i>pisi</i>	<i>avrPpiA</i>	<i>maculicola</i>	<i>avrPmaA2</i>

جدول (١١-١٤): التفاعلات بين مختلف سلالات الفطر *Cladosporium fulvum* والطمطم الحاملة لجين المقاومة *Cf9* (عن de Wit ١٩٩٢).

استجابة التركيب الوراثي (١٩) (ب)	إنتاج الـ <i>avr9-elicitor</i>	التفاعل مع الجين <i>Cf9</i> <sup>(١)</sup>	التركيب الوراثي المفترض لسلالة الفطر	سلالة الفطر
HR (necrosis) <sup>(٢)</sup>	يُنتج	I	A2A4A5A6A9A11	0
HR (necrosis)	يُنتج	I	a2A4A5A6A9A11	2
HR (necrosis)	يُنتج	I	A2a4A5A6A9A11	4
HR (necrosis)	يُنتج	I	A2A4a5A6A9A11	5
HR (necrosis)	يُنتج	I	a2a4A5A6A9A11	2.4
HR (necrosis)	يُنتج	I	a2A4a5A6A9A11	2.5
HR (necrosis)	يُنتج	I	A2a4A5A6A9a11	4.11
HR (necrosis)	يُنتج	I	a2a4a5A6A9A11	2.4.5
عدم الاستجابة	لا يُنتج	C	a2A4a5A6a9A11	2.5.9
HR (necrosis)	يُنتج	I	a2a4A5A6A9a11	2.4.11
عدم الاستجابة	لا يُنتج	C	a2a4a5A6a9A11	2.4.5.9
HR (necrosis)	يُنتج	I	a2a4a5A6A9a11	2.4.5.11
عدم الاستجابة	لا يُنتج	C	a2a4A5A6a9a11	3.4.9.11
عدم الاستجابة	لا يُنتج	C	a2a4a5A6a9a11	2.4.5.9.11

أ - التفاعلات: I = غير متوافق incompatible (النبات مقاوم). و C = متوافق compatible (النبات قابل للإصابة).

ب - IIR: استجابة فرط الحساسية hypersensitive response. و necrosis = تحلل.

ومع التقدم فى عزل الجينات وفى تقنيات الدنا تبين لنا تدريجياً أن كثيراً من حالات المقاومة فى أجناس نباتية مختلفة تُستثار بنفس جين عدم الضراوة avirulence البكتيرى. ولقد أصبح السؤال المثار حالياً هو: هل توجد أسس فعلية وواقعية للتمييز بين مقاومة الأنواع التى تعتبر من عوائل مسبب مرضى معين ومقاومة الأنواع التى لا تعد من عوائله؟ (عن Day ١٩٩٢).

### **الاعتماد على الجينات التى تتحكم فى إنتاج البروتينات المضادة للفطريات**

تعتمد خاصية المقاومة فى حالة هندسة نباتات تحمل جينات تتحكم فى إنتاج بروتينات مضادة للفطريات على قدرة النباتات التى حولت وراثياً على إنتاج إنزيمات معينة تكون مدمرة للفطريات التى يمكن أن تهاجم تلك النباتات.

ومن بين البروتينات ذات العلاقة بالحماية من الإصابات المرضية فى النباتات تلك التى تلعب دوراً فى عملية اللجننة lignification، وفى تمثيل الفيتو ألكسينات phytoalexins. وكذلك إنزيمات الشيتينيز chitinases، والـ  $\beta$ -1,3-glucanases، ومثبطات البروتينيز proteinase inhibitors، والبروتينات المثبطة لعمل الريبوسومات ribosome inactivating proteins (عن Nascari & Montanelli ١٩٩٧).

كذلك يفيد استخدام الجينات التى تشفر لتكوين البولى بيبتيديات الصغيرة الغنية فى السيستين، مثل: الثيونينات thionins، والهيفينات heveins، وهى المركبات التى تؤدى إلى تدهور الأغشية الخلوية للفطريات، كما تقوم الأخيرة بربط الشيتين فى الجدر الخلوية للفطريات (عن Williamson ٢٠٠٢).

ومن أكثر الجينات أهمية فى عمليات هندسة النباتات لمقاومة الفطريات عن طريق البروتينات المضادة لها antifungal protein-mediated resistance الجينين المتحكمين فى إنتاج كل من الشيتينيز chitinase، والجلوكانيز glucanase، حيث يعمل هذان الإنزيمان على الجدر الخلوية للفطريات المهاجمة للنباتات؛ مما يجعلها أكثر حساسية لقوى الدفاع الطبيعية العادية للنباتات (عن Chahal & Gosal ٢٠٠٢).