

综述与专论

植物多肽抗生素研究进展*

陈 艳¹⁾ 赵文明¹⁾ 田颖川²⁾**

(1) 西安交通大学生命科学与技术学院, 西安 710049; (2) 中国科学院微生物研究所, 北京 100080)

摘要 植物多肽抗生素是一类对细菌、真菌等微生物及某些昆虫和动植物细胞具有抑制或杀灭作用的小分子多肽。根据多肽抗生素的氨基酸序列及二级结构, 可将植物多肽抗生素分为 9 类, 包括硫素 (thionins)、植物防御素 (plant defensins)、转脂蛋白 (lipid transfer proteins, LTPs)、橡胶素 (heveins)、打结素 (knottins)、凤仙花素 (1b-AMPs) 和新近发现的荠菜素 (shepherdins)、蛻皮素 (snakins)、环肽 (cyclotides)。对近年来植物多肽抗生素的分类、抗菌机理、生物活性及基因工程等方面的研究情况作一介绍, 希望有助于我国在这一领域的研究与开发。

关键词 植物多肽抗生素, 分类, 作用机制, 应用前景

学科分类号 Q946.1

多肽抗生素通常指分子质量在 10 ku 以下, 具有某种抗菌活性的多肽类物质。它们具有水溶性好, 热稳定性强, 免疫原性低, 抗菌谱广的特点^[1]。最初, 人们把这类具有抗菌活性的多肽称为“antibacterial peptides”, 中文译为“抗菌肽”, 其原意应为“抗菌细菌肽”。后来发现有些“抗菌细菌肽”还有抗真菌等其他微生物的功能, 便称之为“antimicrobial peptides”。但是随着研究的深入, 人们相继发现这类多肽还具有抗寄生虫、病毒、癌细胞等功能, 尤其是随着这类多肽物质在医学上的应用, 许多学者倾向于称之为“peptide antibiotics”即“多肽抗生素”, 广义地讲, 我们也认为这个名称更为合理。也许是由于几乎所有的多肽抗生素都具有抗菌的功能, “抗菌肽”作为一个约定俗成的名称在国内依然被广泛采用。迄今为止, 已在昆虫、鸟类、动物及植物等生物中发现了 700 多种内源多肽抗生素, 部分收录在意大利 Trieste 大学的多肽抗生素数据库中 (www.bbcm.univ.trieste.it/~tossi/pag1.htm)。其中, 对植物多肽抗生素的研究近年来十分活跃, 在分离纯化、抗菌特性、细胞毒性、理化性质以及转基因等许多方面的研究进展很快, 现已发现了 150 多种理化性质和抗菌特性各异的植物多肽抗生素, 尤其近 2~3 年才发现的荠菜素^[2]、环肽^[3]及蛻皮素^[4, 5], 大大丰富了植物多

肽抗生素家族的类型。本文将就植物多肽抗生素的研究进展进行综述。

1 植物多肽抗生素的结构及分类

植物多肽抗生素虽然是一类小分子蛋白质, 其结构与组成复杂多样。根据其氨基酸的序列及在溶液和晶体中发现的结构, 将已发表的植物多肽抗生素总结为 9 类, 它们的来源、数量、大小及结构特征列于表 1。植物多肽抗生素氨基酸序列的同源性不是很高, 但存在一些共同特征, 如绝大多数的植物多肽抗生素富含半胱氨酸 (Cys), 而且所有的 Cys 都形成分子内二硫键, 这可能是植物多肽抗生素对热非常稳定的原因。二硫键的数量与植物多肽抗生素的分类无直接关系, 甚至在同一类型中就有变化。例如: 在橡胶素类的植物多肽抗生素中就有含 3 对 (如 Ac-AMPs)、4 对 (如 hevein) 和 5 对 (如 Ee-CBP) 二硫键的成员, 而且同一类型植物多肽抗生素的二硫键一般都有典型的连接方式 (图 1) 及相似三维空间构型^[3, 6, 7]。

* 国际科学与文化中心 (ICSC) 世界实验室资助项目及国家高技术“863”计划项目 (2001AA212071) 部分资助。

** 通讯联系人。

Tel: 010-62642577, E-mail: tianyc@sun.im.ac.cn

收稿日期: 2003-04-16, 接受日期: 2003-06-02

Table 1 Origin and structural property of different types of peptide antibiotics
表 1 不同类型植物多肽抗生素的来源及结构特点

类型	数量	来源	大小(aa)	结构特征	文献
芥菜素	2	芥菜	28 ~ 38	富含 His、Gly，线形，无规卷曲	[2]
环肽	45	茜草科及堇菜科	28 ~ 37	3 对二硫键，CCK 基团连一个 β 折叠	[3, 8]
蛻皮素	2	马铃薯	63、66	6 对二硫键	[4, 5]
硫素	6	小\大\燕麦、甘蓝及桑寄生科、檀香科的一些种	45 ~ 47	3 或 4 对二硫键， Γ 型，长臂由 2 条反平行的 α 螺旋形成，短臂由两条反平行的 β 链构成 β 折叠	[6, 9]
植物防御素	80	小\大麦、玉米、高粱、油\菠菜\甜\芥菜、芜菁、辣椒、萝卜、蚕\豌豆\豇\蝶豆、马铃薯、大丽\矮牵牛花、向日葵、欧洲七叶树、拟南芥、蝴蝶钟、紫苜蓿、烟草、山葵	45 ~ 54	4 对二硫键，1 条三链反平行的 β 折叠和一段 α 螺旋	[6, 9, 10]
转脂蛋白	10	小\大麦、玉米、菠\嫩茎花椰菜、胡\萝卜、洋葱、拟南芥、橡胶	90 ~ 93	4 对二硫键，保守的 12 个疏水和芳香氨基酸，4 个柔性环连接而成的 α 螺旋构成的球形结构	[6, 9]
橡胶素	9	苋\甜菜、杜仲、欧卫矛、甜胡椒、紫罗兰、橡胶	29 ~ 44	3、4 或 5 对二硫键，一条三链的 β 折叠和一端连接着第二、第三段链的 α 螺旋	[11 ~ 13]
打结素	3	紫茉莉、美洲商陆、冰叶日中花	35 ~ 37	3 对二硫键，一条三链的 β 折叠和一端连接第一、二段链的 α 螺旋	[6, 14]
凤仙花素	2	玉米、凤仙花	20、33	2 对二硫键	[7]

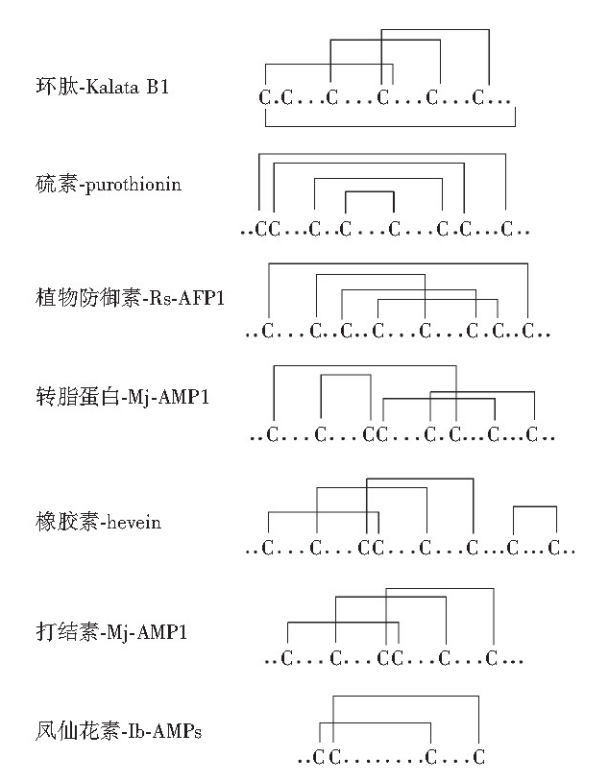


Fig. 1 The linked pattern of disulfide bonds in different peptide antibiotics
图 1 已知结构的植物多肽抗生素典型的二硫键连接方式

近年，Park 等^[2]才在芥菜根中发现了 2 个不含 Cys 的多肽抗生素——芥菜素（shepherdins）I 和 II，它们富含组氨酸（His）和甘氨酸（Gly），线形，无分子内二硫键。然而，与昆虫和哺乳动物的线形多肽抗生素不同的是，shepherdins 在 50% 三氟乙醇（trifluoroethanol）中分别观察到 66.7% 和 75% 的无规卷曲，无双亲性 α 螺旋，也不存在其他植物多肽抗生素中的 β 折叠。这些结构上的特点也许决定了其对革兰氏阴性菌（G⁻）和真菌的特殊作用机制。同时，在富含二硫键的植物多肽抗生素中也发现了两类新成员，环肽和蛻皮素。环肽均含有一个环半胱氨酸结（cyclic cystine knot, CCK）和一条与之相连的 β 折叠，其中环半胱氨酸结是由一个二硫键穿过，由其余两个二硫键和部分环肽骨架形成的包埋环。而且，通过将第一个发现的环肽 kalata B1 和线形肽进行比较发现，环肽的抗水解和抗热降解的能力比同类线形肽更强^[3,8]。蛻皮素是近年在马铃薯中发现的新型多肽抗生素，含有 12 个 Cys 形成的 6 对二硫键，其氨基酸序列与已发现的植物多肽抗生素都不同，但部分序列类似于从蛇类分离的一种毒素肽，其三维结构还不清楚^[4,5]。

2 植物多肽抗生素的生物合成与表达调控

随着研究的深入, 已陆续克隆了一些重要的植物多肽抗生素基因. 几乎所有植物多肽抗生素都是以前体 (precursor) 形式合成的. 一些前体包含信号肽、成熟肽和一个特殊的 C 端肽, 如硫素、橡胶素、芥菜素和环肽^[2,8,9]; 一些前体只包含信号肽和成熟肽, 如已发现的植物防御素、打结素和转脂蛋白绝大多数属于这种情况^[6,9]. 信号肽引导多肽抗生素分泌到液泡、细胞壁或细胞外, 而特殊的 C 端提高了成熟蛋白在转运和加工过程中的稳定性. 有的植物多肽抗生素在信号肽与成熟肽之间还有一段序列, 这段序列的存在可能有利于避免自身被酶解, 同时也起到调节多肽抗生素生物活性的作用, 因为只有切去这一段序列形成成熟多肽抗生素之后才有活性^[9]. 有趣的是, 一些植物多肽抗生素是由同一个前体蛋白产生的, 例如, 芥菜素 shepherin I 和 II 来自一个含有 120 个氨基酸的前体多肽, shep-GRP. shep-GRP 含有 5 个不同的区域: 一个氨基末端信号肽、shepherin I、连接肽、shepherin II 和一个羧基端肽. 此前体蛋白分泌到液泡后, 经水解酶加工后才成为成熟 shepherin I 和 II^[2]. 对多肽抗生素前体的精确加工过程还不是非常清楚, 但对从大麦叶片中分离的硫素研究发现, 前体的加工被二价阳离子 Zn^{2+} 和 Cu^{2+} 所抑制, 另外, 加工位点的 N 端或 C 端残基的极性, 对加工酶的酶切功能有重要影响^[15].

环肽的生物合成与其他类型的多肽抗生素相

似, 只是多了环化步骤, 如环肽 kalata B1 的前肽带有一个信号肽, 一个 N 端前导序列和 1~3 个环肽域, 其后是一个由 22 个氨基酸组成的重复片段和疏水尾巴组成的 C 端. 但几乎还没有与环肽相对应的线形肽从自然界分离出来, 一旦一个成熟序列从前体加工而成, 其环化过程是非常快速和高效的^[3,8].

一些植物多肽抗生素基因是发育调控的, 而另一些是被生物的或非生物的外界刺激诱导产生的, 如一些被植物致病菌诱导的植物防御素基因已在受侵染的大豆、烟草、胡萝卜和拟南芥中分离出^[6], 而且在侵染植物中的非侵染叶片中也能检测到同样的植物防御素^[16]; 拟南芥种子中的一种植物防御素基因能被茉莉酮酸甲脂、硝酸银所诱导^[6,9]. 另外, 对大麦硫素的研究发现, 其合成在黑暗中进行, 光则抑制了硫素的表达, 但光的抑制作用可被致病菌的诱导信号所击破^[17]. 这些结果都与预测的植物多肽抗生素的防御作用一致, 从另一侧面证实了植物多肽抗生素在植物中的作用.

3 植物多肽抗生素的生物特性

研究表明, 植物多肽抗生素是植物非特异防御系统的重要组成部分, 当植物受到生物或非生物的侵袭时, 能迅速产生多肽抗生素以抑制或杀伤入侵的病原微生物. 目前, 有关植物多肽抗生素的活性和功能研究多数在体外进行, 抑制细菌和真菌的生长是其最重要的生物学特性, 表 2 列出了不同类型植物多肽抗生素的抗性范围.

Table 2 Antimicrobial activity and inhibition factor of different types of peptide antibiotics
表 2 不同类型植物多肽抗生素的抗菌活性及抑制因素

类型	G ⁺	G ⁻	真菌	昆虫	动植物细胞	其他	抑制离子	文献
芥菜素	-	+	+					[2]
环肽	+	+	+	+		抗 HIV, 紧缩子宫	Na ⁺	[7, 18, 19]
蛻皮素	+	+	+				K ⁺ , Ca ²⁺	[4, 5]
硫素	+	+	+	+	+		Ca ²⁺ , Zn ²⁺ , Fe ²⁺	[6, 9]
植物防御素	+	+	+	+	-	抑制 α 淀粉酶活性	K ⁺ , Mg ²⁺	[6, 9, 10]
转脂蛋白	+	+	+		-	抑制 α 淀粉酶活性		[6, 9]
橡胶素	+	-	+		-		K ⁺ , Ca ²⁺	[6]
打结素	+	-	+		-	抑制 α 淀粉酶活性	K ⁺ , Ca ²⁺	[6]
凤仙花素	+	-	+		-			[6]

+ = 抗; - = 不抗; G⁺ = 革兰氏阳性菌; G⁻ = 革兰氏阴性菌.

迄今分离的大多数植物多肽抗生素都有广谱抗真菌或细菌的特性。除此之外,还发现环肽 kalata B1 具有抑制棉铃虫等昆虫的生长和发育的功能^[18], circulins A 和 B 具有抗艾滋病病毒 HIV 的功能^[19],而一些植物防御素,对 α 淀粉酶的活性有抑制能力。由此可见,植物多肽抗生素除了抗菌作用外,可能还存在其他的生物学功能。另外还发现,植物多肽抗生素的抗菌活性受到离子强度的拮抗,大多数是二价阳离子。拮抗程度依据真菌和多肽抗生素的不同而不同。但除了硫素外,大多数类型的植物多肽抗生素对动物和植物细胞都没有毒性。

4 植物多肽抗生素的作用机制

目前,主要集中在用硫素、植物防御素及其类似物进行植物多肽抗生素抗菌机制的研究。

硫素的抗菌作用可能与其具有诱导胞内物质渗漏的作用有关。如在培养的哺乳动物细胞上, I 型和 IV 型硫素在浓度很低的情况下就对培养的哺乳动物细胞有毒性,引起 Rb^+ 和尿苷的渗漏,但其精确的作用机理还不清楚^[6,9]。

与哺乳动物和昆虫防御素不同,植物防御素没有和质膜上的磷脂直接作用,但在真菌细胞上诱导了一系列相关快速反应,包括提高 K^+ 流出、 Ca^{2+} 吸收、膜改变和膜通透作用等。实验证明,离子流量和抗菌活性之间有直接关联^[10,20]。用同位素标记大丽花防御素 Dm-AMP1 和蝴蝶钟防御素 Hs-AFP1 的实验证明,真菌质膜上存在对防御素高亲和的位点,这些结合位点介导植物防御素插入质膜形成离子通道^[21]。

近年,Thevissen 等在酵母 (*Saccharomyces cerevisia*) 中发现了一个 Dm-AMP1 的结合位点。而决定其结合的是一个编码肌醇磷酸转移酶的基因 *IPT1*,它是鞘脂生物合成的关键酶。如果敲除 *IPT1* 基因不仅引起酵母对 Dm-AMP1 的抗性,而且对抗生素、放线菌酮和一种来自野火菌的丁香酶素 E 也产生抗性。然而,通过突变分析发现,酵母对 Dm-AMP1 的抗性主要是由于膜上鞘脂成分的改变而不是 *IPT1* 自身的改变,说明 Dm-AMP1 在膜上的结合位点可能是鞘脂。但也有证据认为其结合位点是锚定在膜上的专化的糖基磷脂酰肌醇 (GPI),这种亲和互作促进了防御素向脂膜的插入,导致膜通透的改变并最终实现对真菌生长的抑制^[10,22,23]。另外,研究还发现,与 Dm-AMP1 高度同源的欧洲

七叶树防御素 Ah-AMP1 和蝶豆防御素 Ct-AMP1 与 Dm-AMP1 竞争一个结合位点^[22]。*IPT1* 基因的敲除,不仅导致真菌对 Dm-AMP1 的抗性,而且对欧洲七叶树防御素 Ah-AMP1 和蝶豆防御素 Ct-AMP1 也有抗性,而对关系较远的蝴蝶钟防御素 Hs-AFP1 和胡萝卜防御素 Rs-AFP2 却没有抗性,这说明植物防御素在脂膜上也存在不同的结合位点^[10,22]。

5 植物多肽抗生素在基因工程中的应用

植物多肽抗生素分子质量小,体外试验证明对多种植物病原菌有广谱的杀菌活性,又是天然的植物产物,更易于在植物中表达和调控,因而引起植物分子生物学家的重视。目前主要利用模式植物烟草、拟南芥和水稻进行植物多肽抗生素基因工程研究,并取得一定的成果,例如:转基因烟草表达的大麦硫素^[24]、胡萝卜防御素 Rs-AFP2^[25]、大白菜防御素 BSD1^[26]及大麦转脂蛋白^[27]等均获得了对真菌或细菌的明显抗性;过量表达燕麦硫素基因 (*Asthl*) 的转基因水稻对种子传播的土壤细菌荚壳假单孢菌 (*Burkholderia glumae*) 和植物假单孢菌 (*B. plantarii*) 也有明显抗性^[28]。近来, Francois 等^[29]发展了一种新的表达嵌合蛋白的方法,不但能够有效地在拟南芥中同时表达胡萝卜防御素 Rs-AFP2 和大丽花防御素 Dm-AMP1,而且大大提高了表达水平,为植物多肽抗生素的协同作用提供了一定的实验证据。我们在千穗谷莧菜中克隆了一个橡胶素类多肽抗生素 *Ah-AMP2*,将该基因在烟草中表达后,表现了对烟草青枯病和黑胫病抗性的提高,为其应用提供了一定的科学依据^[30]。

除上述提高抗病性的报道外,也有人将莧菜的橡胶素类多肽 *Ac-AMP2* 和紫茉莉的打结素型多肽 *Mj-AMP2* 分别转入烟草,但是其转基因烟草并未对长柄链格孢 (*Alternaria alternata*) 表现出抗性,其原因可能是这两类多肽抗生素的活性受植物中无机离子的抑制或表达量不足所致^[31]。而在另一个实验中,高水平表达硫基的转基因烟草对野火病菌没有任何抗性,这可能是由于硫基没有分泌到细菌通常存在的细胞间隙,不能与病原菌接触而不能发挥其抗菌功能^[6]。

综合以上文献可以看出,虽然植物多肽抗生素在体外具有广谱、高抗的抗菌活性,但在植物基因工程中有不少问题还值得深入研究,如,如何进一步提高表达水平,如何解决多肽抗生素在植物中抗菌功能的发挥问题。但迄今已积累的一些数据和资

料表明, 植物多肽抗生素基因工程在防治植物病害中预期将会有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- Rao A G. Antimicrobial peptides. *Mol Plant Microbe Interact*, 1995, **8** (1): 6 ~ 13
- Park C J, Park C B, Hong S S, *et al.* Characterization and cDNA cloning of two glycine- and histidine-rich antimicrobial peptides from the roots of shepherd's purse, *Capsella bursa-pastoris*. *Plant Mol Biol*, 2000, **44** (2): 187 ~ 197
- Tam J P, Lu Y A, Yang J L, *et al.* An unusual structural motif of antimicrobial peptides containing end-to-end macrocycle and cystine-knot disulfides. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, **96** (16): 8913 ~ 8918
- Segura A, Moreno M, Madueño F, *et al.* Snakin-1, a peptide from potato that is active against plant pathogens. *Mol Plant Microbe Interact*, 1999, **12** (1): 16 ~ 23
- Berrocal-Lobo M, Segura A, Moreno M, *et al.* Snakin-2, a peptide from potato whose gene is locally induced by wounding and responds to pathogen infection. *Plant Physiol*, 2002, **128** (3): 951 ~ 961
- Broekaert W F, Cammue B P, De Bolle M F, *et al.* Antimicrobial peptides from plants. *Crit Rev Plant Sci*, 1997, **16** (3): 297 ~ 323
- Taylor R H, Acland D P, Attenborough S, *et al.* A novel family of small cysteine-rich antimicrobial peptides from seed of *Impatiens balsamina* is derived from a single precursor RT protein. *J Biol Chem*, 1997, **272** (39): 24480 ~ 24487
- Trabi M, Craik D J. Circular proteins-no end in sight. *Trends in Biochemical Sciences*, 2002, **27** (3): 132 ~ 138
- García-Olmedo F, Molina A, Alamillo J M, *et al.* Plant defense peptides. *Biopolymers*, 1998, **47** (6): 479 ~ 491
- Thomma B P, Cammue B P, Thevissen K. Plant defensins. *Planta*, 2002, **216** (2): 193 ~ 202
- Huang R H, Xiang Y, Liu X Z, *et al.* Two novel antifungal peptides distinct with a five-disulfide motif from the bark of *Eucommia ulmoides* Oliv. *FEBS Lett*, 2002, **521** (1 ~ 3): 87 ~ 90
- van den Bergh K P, Proost P, van Damme J, *et al.* Five disulfide bridges stabilize a hevein-type antimicrobial peptide from the bark of spindle tree (*Euonymus europaeus* L.). *FEBS Lett*, 2002, **530** (1 ~ 3): 181 ~ 185
- Koo J C, Chun H J, Park H C, *et al.* Over-expression of a seed specific hevein-like antimicrobial peptide from *Pharbitis nil* enhances resistance to a fungal pathogen in transgenic tobacco plants. *Plant Mol Biol*, 2002, **50** (3): 441 ~ 452
- Liu Y, Luo J, Xu C, *et al.* Purification, characterization, and molecular cloning of the gene of a seed-specific antimicrobial protein from pokeweed. *Plant Physiol*, 2000, **122** (4): 1015 ~ 1024
- Romero A, Alamillo J M, García-Olmedo F. Processing of thionin precursors in barley leaves by a vacuolar proteinase. *Eur J Biochem*, 1997, **243** (1 ~ 2): 202 ~ 208
- Penninckx I A, Eggermont K, Terras F R, *et al.* Pathogen-induced systemic activation of a plant defensin gene in *Arabidopsis* follows a salicylic acid-independent pathway. *Plant Cell*, 1996, **8** (12): 2309 ~ 2323
- Reimann-Philipp U, Behnke S, Batschauer A, *et al.* The effect of light on the biosynthesis of leaf-specific thionins in barley, *Hordeum vulgare*. *Eur J Biochem*, 1989, **182** (2): 283 ~ 289
- Jennings C, West J, Clement W, *et al.* Biosynthesis and insecticidal properties of plant cyclotides: the cyclic knotted proteins from *Oldenlandia affinis*. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2001, **98** (19): 10614 ~ 10619
- Derua R, Gustafson K R, Pannell L K. Analysis of the disulfide linkage pattern in circulin A and B, HIV-inhibitory macrocyclic peptides. *Biochem Biophys Res Commun*, 1996, **228** (2): 632 ~ 638
- Thevissen K, Ghazi A, de Sanblanx G W, *et al.* Fungal membrane responses induced by plant defensins and thionins. *J Biol Chem*, 1996, **271** (25): 15018 ~ 15025
- Thevissen K, Osborn R W, Acland D P, *et al.* Specific, high affinity binding sites for an antifungal plant defensin on *Neurospora crassa* hyphae and microsomal membranes. *J Biol Chem*, 1997, **272** (51): 32176 ~ 32181
- Thevissen K, Osborn R W, Acland D P, *et al.* Specific binding sites for an antifungal plant defensin from *Dahlia* (*Dahlia merckii*) on fungal cells are required for antifungal activity. *Mol Plant Microbe Interact*, 2000, **13** (1): 54 ~ 61
- Thevissen K, Cammue B P, Lemaire K, *et al.* A gene encoding a sphingolipid biosynthesis enzyme determines the sensitivity of *Saccharomyces cerevisiae* to an antifungal plant defensin from *dahlia* (*Dahlia merckii*). *Proc Natl Acad Sci USA*, 2000, **97** (17): 9531 ~ 9536
- Carmona M J, Molina A, Fernandez J A, *et al.* Expression of the alpha-thionin gene from barley in tobacco confers enhanced resistance to bacterial pathogens. *Plant J*, 1993, **3** (3): 457 ~ 462
- Terras F R, Eggermont K, Kovaleva V, *et al.* Small cysteine-rich antifungal proteins from radish: their role in host defense. *Plant Cell*, 1995, **7** (5): 573 ~ 588
- Park H C, Kang Y H, Chun H J. Characterization of a stamen-specific cDNA encoding a novel plant defensin in Chinese cabbage. *Plant Mol Biol*, 2002, **50** (1): 59 ~ 69
- Molina A, García-Olmedo F. Enhanced tolerance to bacterial pathogens caused by the transgenic expression of barley lipid transfer protein LTP2. *Plant J*, 1997, **12** (3): 669 ~ 675
- Iwai T, Kaku H, Honkura R, *et al.* Enhanced resistance to seed-transmitted bacterial diseases in transgenic rice plants overproducing an oat cell-wall-bound thionin. *Mol Plant Microbe Interact*, 2002, **15** (6): 515 ~ 521
- Francois I E, De Bolle M F, Dwyer G, *et al.* Transgenic expression in *Arabidopsis* of a polypeptide construct leading to production of two different antimicrobial proteins. *Plant Physiol*, 2002, **128** (4): 1346 ~ 1358
- Chen Y, Guo H, Jiang Y, *et al.* Disease-tolerance of transgenic tobacco plants expressing Ah-AMP gene from *Amaranthus hypochondriacus*. *Progress In Natural Science*, 2003, **13** (5): 362 ~ 366
- de Bolle M F, Osborn R W, Goderis I J, *et al.* Antimicrobial peptides from *Mirabilis jalapa* and *Amaranthus caudatus*: expression, processing, localization and biological activity in transgenic tobacco. *Plant Mol Biol*, 1996, **31** (5): 993 ~ 1008

Progress in The Research of Plant Peptide Antibiotics *

CHEN Yan¹⁾, ZHAO Wen-Ming¹⁾, TIAN Ying-Chuan²⁾ **

(¹⁾ School of Life Sciences, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

²⁾ The Institute of Microbiology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract Peptide antibiotics from plants are a type of small-size peptides which at least display antimicrobial property *in vitro*. The expression of some of them can be induced by many factors such as bacteria, fungi and other physical and chemical stimuli, others are constitutively expressed. According to the nucleotide sequences and their secondary-dimensional structures, nine families of peptide antibiotics have been identified in plants. These include thionins, defensins, so-called lipid transfer proteins, hevein- and knottin-like peptides, four cysteine-type, and the recently reported shepherdins, snakins and cyclotides. Recent advances concerning the classification, mode of action, biological properties and plant genetic engineering with some of peptides antibiotics are summarized in an attempt to promote the research and development in this field in China.

Key words plant peptide antibiotics, classification, mechanism of action, applied potential

* This work was supported by grants from The World Laboratory of the International Center of Science and Culture (ISCI), The State 863 High Technology R&D Project of China (2001AA212071).

** Corresponding author. Tel: 86-10-62642577, E-mail: Tianyc@sun.im.ac.cn

Received: April 16, 2003 Accepted: June 2, 2003