

· 专论与综述 ·

植物源抗蚜活性物质的研究进展

邹先伟, 蒋志胜*

(南开大学 元素有机化学国家重点实验室, 元素有机化学研究所, 天津 300071)

摘要: 蚜虫是重要的经济害虫之一, 植物源抗蚜活性物质和基因工程技术可用于延缓蚜虫抗药性并实施蚜虫的生态治理新策略。综述了植物源抗蚜活性物质的主要类型和抗蚜物质的转基因研究的概况, 并简述了植物源抗蚜活性物质的发展前景。

关键词: 蚜虫; 活性物质; 基因工程; 害虫生态治理

中图分类号: S482.39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-7303(2004)03-0001-07

A Review on Biological Constituents from Plants against Aphids

ZOU Xian-wei, JIANG Zhi-sheng*

(State Key Laboratory of Elemento-Organic Chemistry, Research Institute of Elemento-Organic Chemistry, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Aphid is one of the most important economic pests in agriculture. It is very important that plant origin biological constituents and genetic engineering control aphids to delay insect resistance and implement EPM strategy. Primary types of biological active substances against aphids from plants and its transgenetic research were reviewed, and a brief summary which was involved in its applications and prospects was also given.

Key words: aphid; biological constituents; genetic engineering; EPM

蚜虫属于同翅目, 是农业上的重要害虫之一, 通过吸食作物汁液和传播植物病毒病对农作物造成危害, 经常需用化学杀虫剂进行防治。但由于化学农药的大量连续使用, 加上用药不规范, 致使蚜虫对有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯、吡虫啉等多种药剂产生了抗药性。植物中存在大量结构新颖、作用机制独特的活性成分, 将其用于防治害虫, 或作为生物合理性农药合成模板的线索, 早已引起国内外研究者的广泛兴趣和重视。笔者就植物源抗蚜活性物质的类型、抗蚜活性物质的转基因研究及其发展前景作一综述。

1 植物源抗蚜活性物质的类型

植物中存在着相当丰富的抗虫活性物质, 目前研究的抗蚜活性物质主要有: 生物碱、萜类、番荔枝

内酯、酮类、植物凝集素、植物报警信号物质等。

1.1 植物次生物质

植物次生物质是植物在长期的进化中对生态环境适应所产生的结果。植物产生的许多次生代谢物如生物碱类、萜类、多炔类、黄酮类、木质素、甾族、苯并呋喃类等, 对有害昆虫都具有不同程度的生物活性。对某些昆虫或病原菌有抑制作用, 也是次生物质原始的、主要的生态功能。

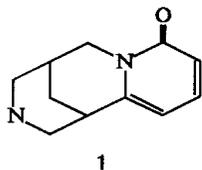
1.1.1 生物碱(alkaloids)

1.1.1.1 奎诺里西定生物碱(quinolizidine alkaloids)
苦豆子 *Sophora alopecuroids* 的提取物对萝卜蚜 *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) 无翅成蚜及若蚜有较好的效果^[1], 杀虫有效成分为苦豆子的次生代谢物奎诺里西定生物碱中的野靛碱(1, cytisine),

* 收稿日期: 2003-12-16; 修回日期: 2004-06-02

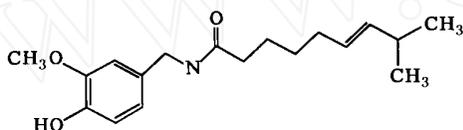
作者简介: 邹先伟(1980-), 男, 湖北宜都人, 硕士生, 主要从事天然产物与农药生物学研究

* 联系电话: 022-23504355; E-mail: zsjiang@nankai.edu.cn



1

对萝卜蚜有很高的毒杀作用,对其无翅成蚜的 LC_{50} 值(浸渍法)为 432.59 mg/L ,优于植物杀蚜生物碱毒藜碱和烟碱,两者对试虫的 LC_{50} 值分别为 1684.70 mg/L 和 1090.65 mg/L ,并对小菜蛾 *Plutella xylostella* (L.) 的AChE、 α -乙酸萘酯酶、



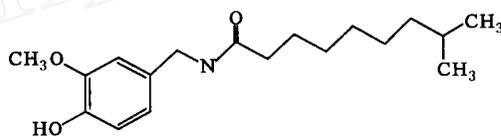
2

刘新等^[4]用1%辣椒碱微乳剂进行室内毒力测定和田间药效试验,发现辣椒碱对桃蚜 *Myzus persicae* 具有较强的毒力和良好的防治效果,而且辣椒碱与阿维菌素或三唑磷复配增效作用明显,但与高效氯氰菊酯复配时却表现出拮抗作用。在菜青虫 *Pieris rapae* 和菜蚜 *Brevicoryne brassicae* 低龄期,应用9%辣椒碱·烟碱微乳剂 $0.75\sim 0.90\text{ kg/hm}^2$ 喷雾防治,防效可达90%以上,对菜青虫的持效期为7d以上,菜蚜14d以上,是防治菜蚜和菜青虫的理想药剂^[5]。虽然辣椒碱的田间药效试验表明其有良好的速效性和持效性,但鉴于复配时不同农药有不同的作用,因此有关辣椒碱与其他农药的相互作用有待今后进一步研究。

1.1.1.3 苦参碱(matrine) 苦参碱是从苦参中提取的一类生物碱,近年来在植物保护方面获得广泛应用,并有多家企业生产。田间药效试验结果表明,氧化苦参碱对桃蚜、萝卜蚜、梨二叉蚜 *Shizaphis piricola*、小麦蚜虫等的防治效果均达到90%以上。用0.8%的苦参碱·内酯防治梨二叉蚜,使用800倍液,药后7~14d防效均可达94%;用800~1000倍液防治桃瘤头蚜 *Tuberocephalus manonis* 药后7~14d防效均在95%以上^[6]。对于苦参碱的研究,虽然目前已分离出27种生物碱和34种黄酮,但在农业应用上,大多只是停留在苦参碱的粗提物直接作用于害虫,而对苦参碱的生物活性成分研究较少,不能给苦参碱有效成分的化学合成和结构改造提供理论依据。因此如何从化学成分上去研究苦参碱的生

α -乙酸萘酯酶及酯酶同工酶的活性均有抑制作用^[2]。虽然苦豆子生物碱的分离工艺已有成功的报道^[3],具有良好的产业化前景,但野靛碱对昆虫的具体作用机制如何?对害虫天敌的毒性如何?对高等动物的毒性如何?都还需要许多工作来验证,因而能否将其作为新一代杀虫剂合成模板是值得研究的问题。

1.1.1.2 辣椒碱(capsaicine) 辣椒碱是从辣椒中分离纯化出来的,主要由3种类似物组成:降二氢辣椒碱、辣椒素和二氢辣椒素。而天然结晶辣椒碱则是辣椒素(2)和二氢辣椒素(3)的混合物。



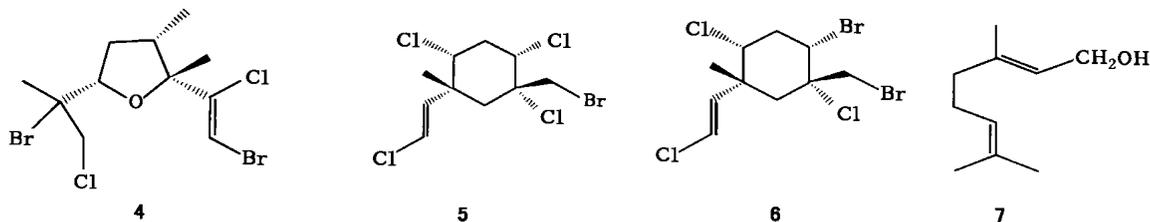
3

物活性以及结构活性关系值得进一步探讨。

1.1.2 萜类(terpenes)

1.1.2.1 单萜(monoterpenes) Argandoña等^[7]试验了多卤代单萜对不同昆虫的拒食活性,发现自海头红科红藻 *Polysiphonia cartilagineum* 中分离到的单萜(4、5、6)强烈地抑制了桃蚜和 *Rhopalosiphum padi* 的取食。单萜香叶醇(7, geraniol)也是一种蚜虫拒食剂,对桃蚜的 EC_{50} 值为 $47.13\text{ }\mu\text{g/cm}^2$ ^[8]。

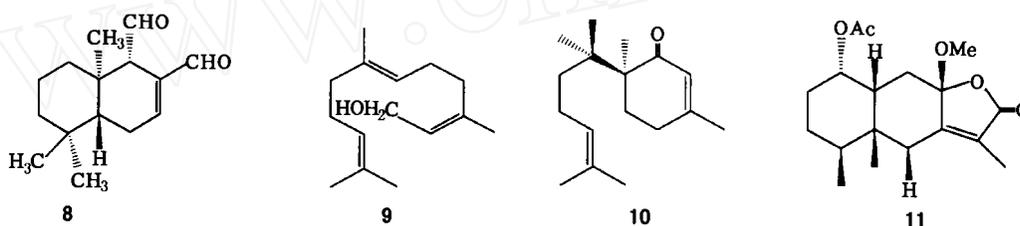
1.1.2.2 倍半萜(sesquiterpenoids) 蓼科植物辣蓼 *Polygonum hydropiper* L. 在我国资源丰富,广泛分布于华北、华中和华南等地区。辣蓼粗提物对蚜虫有很好的拒食活性^[9]。张钟宁等^[10]从辣蓼叶片中提取到一种左旋的倍半萜烯类化合物蓼二醛(8, (-)-polygodial),并且以 β -环柠檬醛为原料,经6步反应合成了蓼二醛的外消旋体及其甲胺衍生物,经生物活性测定,其对蚜虫和菜青虫都有很好的拒食活性。倍半萜烯类化合物法呢醇(9, farnesol)和防风根烯(10, bisabolene)也是桃蚜的拒食剂,它们显著抑制了桃蚜的取食, EC_{50} 值分别为 14.91 和 $20.28\text{ }\mu\text{g/cm}^2$,而且对蚜虫的生殖力也有显著影响,处理4d后桃蚜的生殖力只有对照的一半^[8]。但在 $60\text{ }\mu\text{g/cm}^2$ 时法呢醇对寄主植物辣椒 *Capsicum annuum* 药害强烈,而防风根烯在降低蚜虫的探测活性即降低蚜虫对植物细胞内穿孔的同时却没有药害。尽管法呢醇的拒食作用强于防风根烯,但综合考虑化学结构、生物活性以及对植物有无药害等因素,加上防风根烯能减少蚜虫对植物的穿透,这也意味



着能干扰植物病毒的传播,因此防风根烯将可能是更有发展前途的蚜虫控制剂的先导物。研究发现千里光属植物 *Senecio miser* 中的倍半萜类物质 eremophilanoid (11) 表现出对桃蚜和马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* 的强拒食作用,说明它具有

有防御作用。11 对桃蚜的 EC_{50} 值为 $3.49 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, 其活性水平是法呢醇的 4 倍^[11]。

1.1.2.3 二萜 (diterpenes) 瑞香烷型二萜 (daphnane) 主要存在于大戟科大戟属 *Euphorbia*、巴豆属 *Croton*、*Trigonostemon* 属及瑞香科



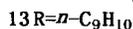
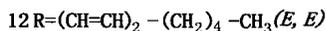
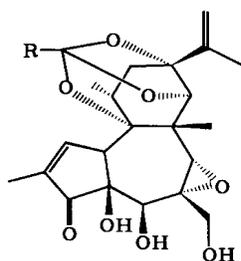
(Thymelaeaceae) 植物中。Bala 等^[12] 发现瑞香科 *Lasiopipha krausiana* (Meisn) 根的甲醇提取物对棉蚜 *Aphis gossypii* (Glov) 和黄猩猩果蝇 *Drosophila melanogaster* 有潜在杀虫活性。经生物活性追踪分离鉴定了两个瑞香烷二萜: excoecaria 毒素 (12) 和莼花毒素 D (13)。两种天然产物防治棉蚜、桃蚜和黄猩猩果蝇的活性与使用剂量密切相关, 它们对棉蚜和桃蚜的触杀作用次于灭多威, 而对黄猩猩果蝇的胃毒活性优于灭多威。实验发现, AChE 对这两个天然提取物均不敏感, 表明这类有潜力的新杀虫剂的作用位点可能属于另一系统。

蚜虫的拒食效应需要不同的结构模型。

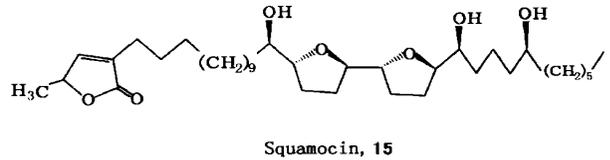
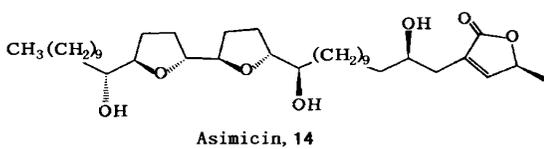
1.1.3 番荔枝内酯 (annonaceous acetogenins) 番荔枝内酯是番荔枝科植物中的次生代谢产物, 与以往所发现的各类天然产物的结构类型有较大区别, 其特点是: 由 35~39 个碳原子构成化合物骨架, 分子中的四氢呋喃环和末端 γ 内酯环通过碳链相连接, 碳链上还常常有羟基、酮基、乙酰氧基等。自 1982 年 Jolad 等从番荔枝科紫玉盘属植物 *Uvaria acuminata* 根中分离到世界上第一个番荔枝内酯化合物 uvaricin 并证明其有抗肿瘤活性后, 引发了植物化学家、药理学家及毒理学家对这类化合物的极大兴趣, 使之成为国内外抗癌研究和植物性农药研究的热点。

从巴婆 *Asimina triloba* 中分离到的番荔枝内酯化合物 asimicin (14) 对多种害虫显示了强烈的胃毒、拒食和杀卵活性, $0.5 \text{ mg}/\text{L}$ 的浓度可使棉蚜的死亡率为 100%^[14]。Ratnayake 等^[15] 也报道了 asimicin 对棉蚜和墨西哥瓢虫 *Epilachna varivestis* 等有强烈的致死作用。Guadaño 等^[16] 研究了番荔枝内酯化合物 squamocin (15) 对棉蚜、马铃薯甲虫和桃蚜的拒食和杀虫活性, 结果证明 squamocin 有广泛的杀虫活性。

番荔枝内酯是强烈的呼吸毒剂, 其作用机制可能是通过抑制线粒体 NADH 氧化还原酶, 从而阻止呼吸链电子的传递, 使 ATP 产生迅速减少。这一作用机理与常规杀虫剂是完全不同的, 因此可能发展



González-Coloma 等^[13] 试验了玄参科柳穿鱼属植物 *L. inaria saxatilis* 的几个天然新克罗烷二萜对不同昆虫种类的生物活性, 发现桃蚜对这几个新克罗烷二萜的拒食作用很敏感。尽管分子中萜烷部分和支链的 4, 18-环氧基或 4, 8-二醇对于咀嚼式口器害虫是十分重要的, 但结构-活性关系研究表明, 对

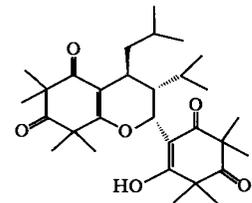
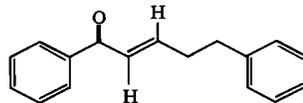
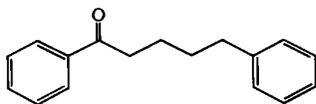


为一类新型的呼吸系统杀虫剂。

1.1.4 酮类 研究发现, 瑞香科植物瑞香狼毒 *S tellara cham aejasm e* 天然产物瑞香素对棉蚜、桔蚜 *Toxoptera citricida* (Kirkaldy)、烟蚜 *Myzus nicotianae* B lackm an 有很高的触杀活性和较好的拒食作用^[17]。高平等首次从瑞香狼毒中分离出两种天然杀蚜虫剂: 1, 5-二苯基-1-戊酮(16)和 1, 5-二苯基-2-戊烯酮(17)。室内生测试验表明, 两个化合物对棉蚜和麦二叉蚜 *Schizaphis gram inum* 有较强的触杀和拒食作用。触杀试验中, 24 h后化合物 16 和 17 对麦二叉蚜的 LC_{50} 分别是 440 和 195 mg/L , 对棉蚜的 LC_{50} 值分别是 470 和 230 mg/L ; 拒食试验中,

48 h后 16 和 17 在 1 000 mg/L 时对两种蚜虫的拒食率分别为 50% 和 70%。这两个抗蚜天然产物结构类似于 daphneobone (一种从 *Daphne ordora* Thunb 中分离的杀线虫剂)。结构上具有 $C_6-C_5-C_6$ 骨架的化合物可能代表了一类新的杀蚜虫剂^[18]。

Kham bay 等^[19]从桃金娘科 (Myrtaceae) 植物 *Kunzea ericifolia* 茎叶中发现具有中等强度的杀虫活性成分 ericifolione (18), 对甜菜蚜 *Aphis fabae* 的 LD_{50} 值为 5.2 $\mu g/adult$ 。此外, 从同科红千层属植物 *Callistemon viminalis* 茎叶中又分离出 viminalione A (19), 对甜菜蚜的 LD_{50} 值为 5.9 $\mu g/adult$ ^[20]。



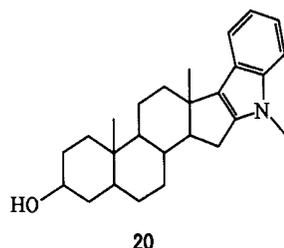
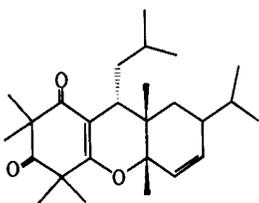
1.1.5 甾类 (steroids) 紫茎泽兰 *Eupatorium adenophorum* 又名破坏草, 是菊科泽兰属多年生有毒杂草。紫茎泽兰氯仿萃取物所含组份 V III 对棉蚜具有较强的毒杀作用, 且得率较高, 从中分离得到的紫茎泽兰素 A (20) 对棉蚜无翅成蚜的 LC_{50} 值 (浸渍法) 为 362.8 mg/L 。紫茎泽兰素 A 对棉蚜的 AChE 和 Na-K-ATPase 活性均有明显的抑制作用。棉蚜经 2 mg/mL 紫茎泽兰素 A 溶液处理 12 h 后, 其体内的 AChE 活性为对照组棉蚜酶活性的 30.3%^[21], Na-K-ATPase 活性仅为对照组的 21.6%^[22]。

1.2 植物凝集素 (lectins)

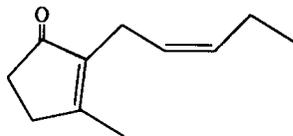
植物凝集素广泛分布于植物界, 它是指含有至少一个非催化结构域并能可逆结合到特异单糖或寡糖上的所有蛋白质^[23], 对包括同翅目在内的害虫具有有效抗性作用。Hilder 等发现以质量浓度为 0.1% 的雪花莲凝集素 (galanthus nivalis agglutinin, GNA) 饲料饲喂桃蚜, 桃蚜校正死亡率为 33% \pm 1%, 存活的蚜虫个体也显著小于对照^[24]。结合几丁质的麦胚凝集素 (wheat germ agglutinin, WGA) 在 2.5 mg/mL 浓度时对小菜蛾 *Plutella maculipennis* (Curtis) 有显著致死作用。以 GNA 30 $\mu mol/L$ 人工饲喂桃蚜, 若蚜死亡率为 42%, 其 LC_{50} 值为 13 $\mu mol/L$ ^[25]。伴刀豆球蛋白 A (concanavalin A) 对豌豆蚜 *Cyrtosiphon pisum* (Harris) 有作用。

1.3 植物报警信号物质

植食性昆虫的取食可以诱导一些植物的防御机制, 这些防御机制中包括了释放食草昆虫诱导性植物挥发物以吸引这些植食性昆虫的天敌, 这一过程



有时被称作“植物的呼救信号”(plant distress signal)。已遭受蚜虫侵害的植物可以通过发生在植物——植物根茎之间信息的交流而诱导未受侵害的相邻植物, 释放与受损害相关的挥发性物质^[26]向邻居植物报警。植物化合物 *cis*-jasmone (21) 已被鉴定



cis-jasmone, 21

可作为一种有蚜虫控制潜力的植物信号物质, 它可以诱导植物的防御系统如抑制蚜虫克隆增生, 并可以吸引蚜虫的寄生物和捕食性天敌等。这样的化合物可能代表了一代全新的植物保护品, 而且依赖基因组学和后基因组生物学 (post-genomic biology) 工具可以继续深入研究和发展^[27]。

从天然植物中提取有效物质作为农药来防治害虫已经成为人们研究的热点之一, 并对现代新农创制具有重要意义。虽然目前已从植物中分离纯化出多种抗蚜活性物质, 但由于这些活性物质对高等动物和非靶标生物的毒性、作用机制、与抗性害虫的相互作用关系等基础性研究薄弱, 因而能否作为新一代杀虫剂合成的模板值得进一步研究。而且, 对目前分离得到的抗蚜活性物质有关其结构与活性关系的研究不多, 因此, 继续探寻最佳生物活性的结构与先导结构优化将是需要深入研究的工作。

2 植物粗提物

以植物粗提物作为杀虫剂的研究很多, 有人认为直接应用植物粗提物要比将有效成分提纯加工后应用更有前景^[28]。非洲山毛豆 *Tephrosia vogelli* 是一种重要的杀虫植物, 主要的杀虫成分鱼藤酮对多种害虫具有高效杀灭作用。陆永跃等运用正交回归旋转组合试验研究了非洲山毛豆乙醇提取物和机油乳剂对香蕉交脉蚜 *Pentalonia nigronervosa* Coquerel 的忌避作用, 结果表明忌避作用明显^[29]。石启田用天然银杏树脂水剂对蚜虫和菜青虫做了室内和田间药效试验。室内试验结果表明, 天然银杏树脂水剂 50、80、100 倍稀释液对辣椒、菠菜、蚕豆上蚜虫的防治效果与 40% 氧乐果 1 000 倍稀释液无显著差异, 校正防治率在 90% 以上。田间试验中蚜虫虫口减退率也在 90% 以上^[30]。禾本科竹亚科的毛金竹 *Phyllostachys nigra*、白纹短穗竹 *B. rachystachyum*

albostriatum、苦竹 *P. leioblastus amarus*、巨县苦竹 *P. juxiamensis* 乙醚提取物对萝卜蚜有较强的拒食和触杀作用^[31]。但由于植物粗提物在大田条件下应用时稀释倍数低、速效性差, 而且一些植物提取物还有持效期短和见光易分解、稳定性差的问题, 加上植物资源有限, 因此作者认为就植物粗提物而言, 更有前途的应用是从中筛选出活性分子模板并进行结构优化以实现大规模生产应用。

3 抗蚜活性物质的转基因研究

杀虫植物中活性物质含量一般都较低, 单靠从植物中提取这些物质不仅工作量大, 而且还受到植物资源的限制。通过基因工程改变植物的次生代谢, 使植物增加或合成新的植保素, 就有可能解决这些问题。与使用杀虫剂相比, 转基因技术有以下优点: 1) 在害虫易于防治的幼龄期而不是在成虫期起作用; 2) 在植株内部表达杀虫蛋白从而在整个发育期发挥作用, 避免了由于杀虫剂残存量降低或消失不得不多次喷洒的问题; 3) 对环境污染小等。

目前, 已经克隆了几个对害虫抗性较好的凝集素基因, 经农杆菌介导或微弹轰击等方法导入作物中。雪花莲凝集素是从石蒜科分离的甘露糖结合凝集素, 由 4 个为 12.5 kDa 的相同亚基组成的四聚体, 富含 Leu、Asn 和 Gly, 并含有 4 个 Cys 残基, 其基因是被公认在培育抗刺吸式口器害虫转基因作物中最有利用前景的一类^[32]。Hilder 在 CaMV 35s 启动子构建 GNA 表达载体, 转基因烟草的叶片虫试为 9 头/片, 对照为 40 头/片, 整株虫试中每株接 8 头蚜虫, 封闭 27 d 后统计, GNA 阳性株为 300 头, 对照株为 600 头桃蚜。转 GNA 马铃薯试验表明, 桃蚜的繁殖力显著降低, 每头雌蚜每天产卵数为 4.1 ~ 4.2 个, 而对照为 5.4 个, 每一个转基因植株上的幼虫生产数比对照显著降低 ($P < 0.001$)^[33]。王志斌和郭三堆利用 Cry IA 和 GNA 双价抗虫基因获得了抗棉铃虫和桃蚜效果均良好的转基因烟草, 抑制蚜虫试验表明其有效降低了蚜虫繁殖率, 转基因植株可使蚜虫密度下降 30% ~ 85% 不等^[34]。刘志等^[35]发现, 转 Bt+ GNA 双价基因抗虫棉花纯合株系 TBG 在不同生育时期也都表现出对棉蚜群体明显的抑制效果, TBG 植株在苗期能抑制蚜口密度为 50.31%, 蕾期的抑制率为 46.61%。天南星科半夏属三叶半夏 *Pinellia ternata* (Thunb) Breit 为我国特有中草药, 半夏凝集素 (PTL) 能凝集羊、狗、猫、鼠

等的红细胞, 结合并能凝集癌细胞。PTL 同 GNA 一样由4个亚基组成, 按凝集素毒性是由其亚基数所决定这一假说来看, 其毒性效果也应较理想, 希望不久能应用于抗虫基因工程。

目前植物抗虫基因工程仅能利用受单基因调控的蛋白或酶类抗虫活性物质的基因。对于植物次生物质, 由于其与多基因控制有关, 目前尚未利用和研究。尽管如此, 在充分了解这些次生物质合成途径的相关催化酶以及合成、转运与储藏位点的基础上, 运用基因工程手段将其用于转基因抗虫作物的培育中还是大有潜力的。目前关于植物萜类代谢生物工程方法及其存在问题已有报道^[36]。据预测, 到2010年后, 即可运用基因工程手段把植物次生化学物质用于抗虫育种中。

表达外源基因的转基因植物能增强对害虫的抗性, 利用转基因技术在内的综合防治措施对于未来农业可持续发展具有特别重要的意义。但从目前的研究来看, 大多只是转入单抗或双抗基因, 由于作物上病虫害种类很多, 如何把能够抗各种病虫害的基因都植入, 这是今后转基因植物研究的难点。同时, 转基因植株的生物安全性问题也还需要进一步评价。

4 植物源抗蚜活性物质的应用发展前景

植物是一座绿色工厂, 也是一座合成技术先进的生态化工厂, 不仅合成了维持生命的基本物质, 还合成了化学结构简繁不一、种类繁多的抗虫活性物质。国际上杀虫剂的三大支柱中有两大支柱是从植物源抗虫物质中找到的, 因此植物活性成分完全可以作为新型害虫控制剂的先导物。植物是新农药研制和开发的重要宝库。

抗虫物质的转基因研究是生命科学研究中的重要领域。随着人们对环境质量要求的逐步提高及环保意识、生态意识的逐步增强, 必然对农业持续发展和害虫持续控制提出新的要求, 害虫综合治理(IPM)也必然要向害虫的生态管理(EPM)发展。合理利用抗虫活性物质和积极培育转基因抗虫作物控制蚜虫将为有害生物的EPM注入新的活力。利用基因工程手段将抗蚜活性物质导入植物中, 有可能开发出环境友好的有效抗蚜植物。

参考文献:

[1] LUO Wan-chun (罗万春), LI Yun-shou (李云寿), CHU Shin-foon (赵善欢), et al. 苦豆子提取物对两种蔬菜害虫的活性

[J]. *Acta Phytotaphylacica Sinica* (植物保护学报), 1996, 23(3): 281-282

[2] Luo W C, Li Y S, Chiu S F. Toxicity of cytosine against the mustard aphid *Lipaphis erysimi* Kaltendach (Homoptera: Aphididae) and its effect on esterase [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 1999, 65(1): 1-5

[3] Q N Xue-gong (秦学功), YUAN Ying-jin (元英进). 用大孔吸附树脂吸附分离苦豆子生物碱 [J]. *China of Chin Materia Medica* (中国中药杂志), 2002, 27(6): 428-429.

[4] LIU Xin (刘新), LI N Yong (林永). 辣椒碱对桃蚜的生物活性及其与几种杀虫剂的联合作用 [J]. *Chin J Pestic Sci* (农药学报), 2003, 5(2): 94-96

[5] ZOU Hua-jiao (邹华娇). 9% 辣椒碱·烟碱微乳剂防治菜青虫和菜蚜效果试验 [J]. *Plant Protection* (植物保护), 2002, 28(1): 45-47.

[6] CHEN Xiu-hui (陈修会), SUN Cong-fa (孙从法), ZHANG Guirguo (张贵国), et al. 0.8% 苦参碱·内酯防治梨二叉蚜、桃瘤头蚜药效试验 [J]. *Pesticides* (农药), 2002, 41(2): 46-47.

[7] Argandoña V H, Rovirosa J, San Martín A, et al. Antifeedant effects of marine halogenated monoterpenes [J]. *J Agric Food Chem*, 2002, 50(24): 7029-7033

[8] Gutiérrez C, Fereres A, Reina M, et al. Behavioral and sublethal effects of structurally related lower terpenes on *Myzus persicae* [J]. *J Chem Ecol*, 1997, 23(6): 1641-1650

[9] ZHANG Zhong-ning (张钟宁), LIU Xun (刘洵), LOU Zhao-xiang (娄兆祥), et al. 萹二醛对蚜虫的拒食活性 [J]. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 1993, 36(2): 172-176

[10] ZHANG Zhong-ning (张钟宁), FANG Yu-ling (方宇凌). 昆虫拒食剂萹二醛的合成及其对害虫的拒食活性 [J]. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), 2001, 38(3): 207-210

[11] Reina M, Gonzalez-Columbia A, Gutierrez C, et al. Defensive Chemistry of *Senecio miser* [J]. *J Nat Prod*, 2001, 64(1): 6-11.

[12] Bala A E, Delorme R, Kolmann A, et al. Insecticidal activity of daphnane diterpenes from *Lasiosiphon kraussianus* (Meisn) (Thymelaeaceae) roots [J]. *Pestic Sci*, 1999, 55(7): 745-750

[13] Gonzalez-Columbia A, Gutiérrez C, Miguél del Corral JM, et al. Structure and species dependent insecticidal effects of neo-clerodane diterpenes [J]. *J Agric Food Chem*, 2000, 48(8): 3677-3681

[14] Rupprecht J K, Hui Y H, McLaughlin J L, et al. Annonaceous acetogenins: a review [J]. *J Nat Prod*, 1990, 53(2): 237-238

[15] Ratanyake S, Rupprecht J K, Potter W M, et al. Evaluation of commercial sources of the pesticidal annonaceous acetogenins [J]. *J Econ Entomol*, 1992, 85(6): 2353-2356

- [16] Guadaño A, Gutiérrez C, Eduardo de la P, *et al*. Insecticidal and mutagenic evaluation of two annonaceous acetogenins[J]. *J Nat Prod*, 2000, 63(6): 773-776
- [17] GAO Ping(高平), LIU Shi-gui(刘世贵), HOU Tai-ping(侯太平), *et al*. 瑞香素对蚜虫生物活性的研究[J]. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 2001, 28(3): 265-268
- [18] Gao P, Hou T P, Gao R, *et al*. Activity of the botanical aphicides 1, 5-diphenyl-1-pentanone and 1, 5-diphenyl-2-pentanol on two species of Aphididae[J]. *Pest Manag Sci*, 2001, 57(3): 307-310
- [19] Khambay B P S, Beddie D G, Simmonds M S J, *et al*. A new insecticidal pyranocyclohexenedione from *Kunzea ericifolia* [J]. *J Nat Prod*, 1999, 62(10): 1423-1424
- [20] Khambay B P S, Beddie D G, Hooper A M, *et al*. New insecticidal tetradecahydro xanthenediones from *Callistemon viminalis*[J]. *J Nat Prod*, 1999, 62(12): 1666-1667.
- [21] WANG Yi-ding(王一丁), GAO Ping(高平), ZHANG Qi-hong(张其红), *et al*. 紫茎泽兰灭蚜活性物质的分离、纯化及其对棉蚜乙酰胆碱酯酶的影响[J]. *High Technology Letters*(高技术通讯), 2002, (9): 21-23
- [22] WANG Yi-ding(王一丁), GAO Ping(高平), ZHENG Yong(郑勇), *et al*. 紫茎泽兰提取物对棉蚜的毒力及其灭蚜机理研究[J]. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 2002, 29(4): 337-340
- [23] Peumans W J, Van Damme E J M. Lectins as plant defense proteins [J]. *Plant Physiol*, 1995, 109: 347-352
- [24] Hilder V A, Powell K S, Gatehouse A M R, *et al*. Expression of snowdrop lectin in transgenic tobacco plants results in added protection against aphids[J]. *Transgenic Research*, 1995, 4: 18-25
- [25] Sawyion N, Rahbe Y, Peumans W J, *et al*. Effects of GNA and other mannose binding lectins on development and fecundity of the peach-potato aphid *Myzus persicae* [J]. *Entomol Exp Appl*, 1996, 75: 61-65
- [26] Guerrieri E, Poppy G M, Powell W, *et al*. Plant-to-plant communication mediating in-flight orientation of *Aphis ervi* [J]. *J Chem Ecol*, 2002, 28(9): 1703-1715
- [27] Powell W, Pickett J A. Manipulation of parasitoids for aphid pest management: progress and prospects [J]. *Pest Manag Sci*, 2003, 59(2): 149-155
- [28] WANG Xiao-yi(王小艺). 中国植物源杀虫剂的研究与应用[J]. *World Agriculture*(世界农业), 2000, (2): 30-32
- [29] LU Yong-yue(陆永跃), LIANG Guang-wen(梁广文), SHAO Wan-ting(邵婉婷), *et al*. 非洲山毛豆提取物对香蕉交脉蚜的忌避作用的研究[J]. *Plant Protection* (植物保护), 2002, 28(6): 19-22
- [30] SHI Qi-tian(石启田). 天然银杏树脂水剂防治蚜虫、菜青虫药效试验[J]. *Pesticides* (农药), 2000, 39(9): 28-29
- [31] CAO Hai-qun(操海群), YUE Yong-de(岳永德), PENG Zhen-hua(彭镇华), *et al*. 竹提取物对蚜虫生物活性的研究[J]. *Plant Protection* (植物保护), 2003, 29(2): 33-36
- [32] Powell K S, Gatehouse A M R, Hilder V A, *et al*. Different antimetabolic effects of related lectins towards nymphae stages of *Nilaparvata lugens* [J]. *Entomol Exp Appl*, 1995, 75: 51-59
- [33] Gatehouse A M R, Davison G M, Newell C A, *et al*. Transgenic potato plants with enhanced resistance to the tomato moth, *Lacanobia oleracea*: growth room trials[J]. *Molecular Breeding*, 1997, 3: 49-63
- [34] WANG Zhi-bin(王志斌), GUO San-dui(郭三堆). 表达 cry I A/gna 双价抗虫基因烟草兼抗棉铃虫和蚜虫[J]. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 1999, 44(19): 2068-2075
- [35] LIU Zhi(刘志), GUO Wang-zhen(郭旺珍), ZHU Xie-fei(朱协飞), *et al*. 转Bt-GNA 双价基因抗虫棉花的抗虫性表现特征[J]. *High Technology Letters*(高技术通讯), 2003, (1): 37-41
- [36] McCaskill D, Croteau R. Some caveats for bio-engineering terpenoid metabolism in plants[J]. *Trends Biotechnol*, 1998, 16: 349-355

(责任编辑: 金淑惠)