

综 述

微生物在烟草生产中应用研究进展

雷丽萍¹ 郭荣君² 缪作清² 夏振远¹

(1 云南省烟草科学研究所 云南 玉溪 653100; 2 中国科学院微生物研究所真菌地衣开放实验室 北京 100080)

摘 要: 本文概述了微生物在烟草生产上的应用研究及其进展, 主要介绍了微生物在病虫害防治、生物肥料、提高烟草栽培性能以及提高烟草产品品质等方面的应用研究成果。

关键词: 微生物应用; 烟草

中图分类号: Q93 S572 文献标识码: C 文章编号: 1004-5708(2006)04-0047-05

Progress of microbes application research in tobacco production

LEI Li-ping¹ GUO Rong-jun² MIAO Zuo-qing² XIA Zhen-yuan¹

(1 Tobacco Research Institute of Yunnan Province, Yuxi 653100;

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

Abstract: Current research and application of microbes in tobacco production as biocontrol agents in pest management, as microbial fertilizers, and as agents to improve tobacco cultivation performance and tobacco products' qualities were reviewed.

Key words: microbe application; tobacco

烟草是我国重要的经济作物之一, 它对地方经济的发展具有十分重要的作用。随着国外市场的竞争、国内市场的进一步开放, 烟草产业面临严峻的挑战, 同时, 人们对无公害化生产和消费认识程度的提高, 使农业微生物制剂在发展优质、无公害的烟草产业, 参与国际市场竞争中发挥重要作用。目前有益微生物在烟草病虫害防治、烟草产量和品质提高等方面均取得了相当的进展, 许多微生物农药和微生物肥料已在烟草生产实践中得到应用, 并取得了明显的经济效益和社会效益。在烟草工业生产方面, 有益微生物在提高原料品质和降低烟草有害成分含量等方面的研究和应用也有了一定进展。本文就有益微生物在烟草农业方面的研究应用进行了综述。

1 微生物防治烟草病害

有益微生物用于病害防治是烟草生产中微生物应用的主要内容, 其防治对象主要有真菌、细菌和线虫病害。另外, 在烟草病毒的微生物控制方面也取得了一定进展。许多研究成果已经在生产中产生了很大的经济效益。

1.1 活体拮抗微生物的应用

拮抗微生物作为烟草病害的防治手段, 主要是利用微生物活体拮抗和微生物代谢产物, 其中活体拮抗微生物研究较多。

1.1.1 拮抗真菌的利用

在已经研究和应用的拮抗真菌中, 木霉菌 (*Trichoderma* spp.) 是最重要的一种, 由于其具有广泛的适应性和可抑杀多种植物病原真菌^[1], 已经成为广泛研究和应用的一类拮抗真菌。木霉制剂已经广泛用于烟草立枯病、猝倒病的生物防治^[2-3], 对烟草其它真菌病害如烟草黑胫病、烟草赤星病等也具有较好的防治效果^[6-7]。目前, 国内外已有十几个木霉生防制剂登记注册^[8]。

在烟草真菌和细菌病害的拮抗真菌研究和应用取得较大进展的同时, 烟草寄生线虫的真菌控制研究也

作者简介: 雷丽萍 (1963—), 女, 硕士, 副研究员, 从事烟草微生物及栽培技术研究。E-mail: lplei@yntsi.com

基金项目: 国家自然科学基金项目资助 (项目编号: 30460007), 云南省烟草公司项目资助 (05-11)。

收稿日期: 2005-08-15

有了很多成果。尤其是在严重危害烟草生产的烟草根结线虫(南方根结线虫 *Meloidogyne incognita*) 的防治方面取得了显著的成效。淡紫拟青霉(*Paecilomyces lilacinus*) 和厚孢轮枝菌(*Verticillium chlamydosporium*) 是研究最多的两种线虫内寄生真菌。其中淡紫拟青霉是最有希望的根结线虫生防菌,在我国已经对其开展了大量的相关研究工作^[9-13]。经过对食线虫真菌的大量前期研究,我国食线虫真菌生防制剂已经在生产进行了大面积的试验示范,对烟草根结线虫防治取得了很好的防治效果^[14]。

1.1.2 拮抗细菌的利用

植物根际拮抗细菌是一类与植物关系密切的微生物,可在植物根部定殖存活并可通过多种机制控制植物病害。利用植物根际拮抗细菌控制植物病害是一个很有发展潜力的研究方向。目前在根际拮抗细菌防治烟草病害方面已经做了大量工作,发现的菌群主要有 *Agrobacterium* spp., *Bacillus* spp. 和 *Pseudomonas* spp. 等^[15]。对 *Phytophthora* sp. 引起的烟草黑胫病、*Pythium aphanidermatum* 引起的烟草猝倒病、*Pseudomonas solanacearum* 引起的烟草青枯病等都具有很好的防治效果,而且部分拮抗菌株对烟草有不同程度的促生和增产作用^[16-20]。

植物内生细菌作为植物病害的生防菌是一个新的研究热点,内生细菌存在于植物体内,有充足的营养来源,具有相对稳定的生存环境,受复杂外部环境的影响较小,与病原菌同存于相同的环境中,因而具有很大生防潜能。已研究的烟草内生拮抗细菌分别对烟草灰霉病(*Botrytis cinerea* Per.)、烟草黑胫病菌^[21]、烟草赤星病菌(*Alternaria alternata* (Fries) Keissler)和烟草炭疽病菌(*Colletotrichum nicotianae* Av. Sacc)等具有拮抗活性,某些菌还有多重拮抗活性,可抑制多种病原菌。烟草拮抗内生菌能拮抗多种病原,并对病原菌具有多样的作用方式,包括抑制菌丝生长、游动孢子游动、萌发等,而且某些菌株代谢物还具有明显的诱导抗病作用^[21]。烟草内生拮抗细菌以其存在环境和自身的优势有可能成为以后烟草病害生物防治的重要资源。

1.2 病原弱毒株系的应用

利用病原弱毒株系对强致病株系进行防治是一种很有效的病害控制方法,尤其是在病毒病害的防治应用方面起步较早。自从 Kunkel^[22] 提出利用弱毒株预防强毒株系侵染的设想,利用病毒弱毒株系的交互保护已经成为防治病毒病较为理想的手段之一,而且已有多种病毒弱毒疫苗研制成功并应用于植物病毒病害防治。

除病毒弱毒株的研究外,其它烟草病害病原弱毒菌株的研究也已经受到很大关注。其中利用烟草细菌

性青枯病菌(*P. solanacearum*) 的无毒产细菌素菌株对烟草青枯病菌的防治研究已经开展了很多工作,取得了一定的效果。利用青枯病菌无毒类群的菌株制成的微生物制剂(青枯散),能够防止土壤中青枯病菌侵染烟草幼苗根部和阻止潜伏病原菌发病,大田防治烟草青枯病的防效可达到 71%^[20]。

1.3 非病原微生物的介导或诱导抗病性

利用某些非病原微生物可诱导植物产生抗病性。其中一些植物促生根际细菌(plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)可使植物产生高效表达的广谱抗病性,这种非致病菌所诱导的抗病性称为“系统诱导抗病性”(induced systemic resistance, ISR)。如铜绿假单胞菌(*P. aeruginosa*, 7NSK2)可使烟草产生对烟草花叶病毒(Tobacco mosaic virus, TMV)的 ISR, 荧光假单胞菌(*P. fluorescens*, CHAO)在烟草上可诱导产生对烟草坏死毒病(Tobacco necrosis virus, TNV)的 ISR。诱导细菌和化学诱导剂结合使用,还可同时诱导“系统获得抗病性”(systemic acquired resistance, SAR)和 ISR 的表达,且抗性诱导作用是叠加的,大大提高烟草对病原真菌如簇囊腐霉(*Pythium torulosum*)、瓜果腐霉(*P. aphanidermatum*) 和烟草疫霉(*P. nicotianae* var. *parasitica*) 的抵抗能力。

另一类有希望的抗病诱导物是激发素(Elicitins),它是主要由弱致病的 *Phytophthora* 和 *Pythium* 产生的、在烟草上可引起过敏反应(hypersensitive reaction, HR)和 SAR 的一类胞外蛋白质的总称。最早由法国科学家 Ricci 等从寄生疫霉烟草变种(*P. parasitica* var. *nicotianae*) 的培养滤液中分离纯化到这种小分子蛋白质,称为 parasiticein, 后来发现 *Phytophthora* 和 *Pythium* 的许多种都能产生这种小分子的蛋白质,将这类胞外蛋白质总称为 elicitors^[23]。

1.4 抗病微生物代谢产物的应用

抗生素是研究和使用较早而且广泛应用的一类具有杀菌或抑菌作用的微生物代谢产物,目前研究生产和应用的抗生素大多是放线菌(Actinomycetes)产生的,其次是真菌和细菌。已应用的抗生素主要有春日霉素(Kasugamycin)、链霉素、多氧霉素(Polyoxins)、有效霉素(Validamycin)、灰黄霉素(Griseofulvin)、灭胞素(Cellocidin)等等。在烟草病害防治上主要有防治烟草赤星病的多氧霉素、防治烟草花叶病毒病的宁南霉素等。目前还有许多防治烟草病害的抗生素正在研究中。

防治烟草病毒病的抗生素除放线菌产生的外,抗烟草病毒病的其它真菌代谢物研究也为人们所关注。已经从 *Penicillium* sp. 分离到抗病毒物质,对多种病毒如 TMV 具有良好的抑制作用。一些高等担子菌的提取物对烟草病毒也具有很好的抗性,已经对部分抗病

毒物质进行了分离纯化并进行了抗病毒机理研究。

1.5 微生物相关抗病基因的研究应用

国内外已将微生物的多种抗病基因转入烟草,其中主要利用的是相关的病毒基因。最初人们从弱病毒株的交叉保护现象中得到启发,开始了利用类似交叉保护方法进行转基因抗病烟草研究。自从 Powell-Abel 等^[24]首次将 TMV 的外壳蛋白(coat protein, CP)基因转入烟草,获得了抗 TMV 烟草后,人们利用病毒的 CP 基因(TMV-CP、CMV-CP 等)、卫星 RNA (CMV-SatRNA)、反义 RNA 或复制酶基因等,相继获得了抗 TMV、CMV、PVY 等的转基因烟草^[25-29]。

利用其它微生物的相关基因研究也有部分进展, Liu Guo-sheng 等^[27]通过转丁香假单胞中获得的无毒基因,获得了 12 株抗赤星病的烟草植株。通过转 elicitors 基因还获得了抗 *P. parasitica* 的抗性烟草;通过不同的转基因方法还获得了对多种病原具广谱抗性的转基因烟草。

2 微生物防治烟草害虫

微生物在烟草害虫防治方面的研究主要包括昆虫微生物病原的直接利用、微生物杀虫代谢产物的利用,以及微生物杀虫或抗虫基因的利用等。

2.1 杀虫微生物的直接利用

害虫病原微生物的直接应用是研究较早也是最先利用的微生物类群,主要是昆虫病原真菌和细菌。其中昆虫病原细菌中的苏云金杆菌(*Bacillus thuringiensis* Berliner, BT)是已经商业生产并且已经广泛应用的杀虫微生物,可防治 100 多种害虫,在烟草上可防治烟青虫和烟草粉蛾等,对烟青虫的防效可达 90% 以上,防效高而且成本低^[28]。病原真菌研究较多的为白僵菌(*Brauvria*)、绿僵菌(*Metarhizium*)和虫霉(*Entomophthora*)等,主要用于防治烟青虫、烟蚜虫和地下害虫等其它的病原真菌,还有防治粉虱和蚜虫的蜡蚧轮枝菌(*Verticillium lecanii* (Zimm.) Viegas)、玫烟色拟青霉(*Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) Brown & Smith)等^[29],但目前在烟草害虫的防治应用还很少。

昆虫病毒治虫也是已经广泛研究应用的微生物直接治虫方法,已发现寄生昆虫病毒 1200 多种,主要用于防治鳞翅目害虫,专一性强,杀虫效率高。主要有棉铃虫 NPV,斜纹 NPV,小菜蛾 GV 等。在烟草上最有希望的为烟夜蛾核型多角体病毒,主要用于防治烟青虫,在国内已经开始研究^[30]。

2.2 微生物杀虫代谢产物应用

微生物杀虫代谢产物主要是从放线菌中筛选出的各种杀虫抗生素,包括杀螺素(Piericidin)、杀蚜素、杀蜻素、南昌霉素(Nanchangmycin)、阿维菌素(Aver-

mectin)等,其中阿维菌素是已经广泛应用的广谱杀虫抗生素,也是高效的杀线虫抗生素,对烟青虫、烟蚜虫以及烟草根结线虫均具有很好的杀灭效果。

微生物代谢产物除对害虫具有直接的杀灭作用外,有的对害虫还具有很好的忌避效果。研究表明,蜡蚧轮枝菌 Vp28 菌株菌丝体毒素粗提物,在 2000~6000 倍稀释范围内对烟粉虱成虫有一定的忌避作用^[31]。

2.3 微生物杀虫和抗虫基因的应用

从杀虫微生物中分离出编码杀虫蛋白质的基因,转移到植物基因组中,使植物建立起内源抗虫机制。其中苏云金杆菌杀虫晶体蛋白基因(ICP)是研究应用较多的抗虫基因,第一个转 ICP 基因的植物是烟草,对鳞翅目害虫有毒杀作用,而且这种 Bt 杀虫晶体蛋白基因和抗虫特性稳定遗传。1987 年比利时的 Vaeck 等^[32]首次报道将苏云金杆菌的 δ 内毒素基因转移到烟草中,成功获得转 BT 抗虫基因烟草。此后人们进行了许多相关的研究,我国在这方面研究较多,而且取得了很多成果。李太元等^[33]曾将 HD-1 的 4 种不同片段的杀虫蛋白基因转入烟草品种 NC89,获得对烟青虫最高杀虫率达 100% 的转基因烟草植株,并初步筛选到抗虫纯合系烟草品种;赵荣敏^[34]和杨铁钊^[35]等将苏云金芽孢杆菌 δ -内毒素(δ -endotoxin)基因和豇豆蛋白酶抑制剂基因(Cowpea Trypsin Inhibitor, CpTI)同时导入 NC89 中,培育出了双价抗虫烟草。赵存友等^[36]利用雪花莲凝集素基因和苏云金杆菌杀虫蛋白基因,获得了既抗棉铃虫,又耐蚜虫的转双抗虫基因烟草。

3 微生物促进烟草生长和提高烟草产量

能促进植物生长和提高作物产量的微生物制剂通称为微生物肥料。微生物肥料有 PGPR 类、固氮菌类、解磷细菌类、解钾菌类、菌根菌类、光合细菌类和复合微生物肥料等。微生物肥料主要在禾谷类作物上应用较多,在烟草上研究应用相对较少。

3.1 PGPR

植物根际促生细菌(PGPR)主要通过对土壤中有害生物和土传病原菌的拮抗作用来增强植株的生产能力。另外还可具有促进植物对磷钾的吸收、产生植物激素等能力。

PGPR 虽然一度成为研究热点,但在烟草上的应用研究报道较少。在烟草上施用增产菌,可提高烟叶的产量和质量,并能提高烟株的抗病性、提高烟草品质。顾金刚等^[37]曾研究了两株荧光假单胞菌对烟草的促生作用和促生理理。

3.2 菌根菌

菌根菌是一类能与植物根系共生形成菌根的真菌,能促进植物对土壤中氮磷钾等养分吸收、抑制病菌

侵染,同时可增加植物对逆境的抵抗能力。其中泡囊丛枝菌根 (*arbuscular mycorrhiza*, AM)在国外的相关研究开展较早,而且在资源收集、增产防病试验以及作用机理等各方面的研究较多。我国在这方面虽然起步较晚,但已在包括烟草 VAM 真菌资源、增强烟株抗逆性和加强烟株对养分的吸收、提高烟叶产量和质量等方面开展了许多工作。

3.3 解磷解钾固氮微生物

微生物解磷、解钾和固氮是微生物肥料的主要研究内容。烟草是一种需钾、磷较多的经济作物,特别是钾,不仅影响烟株的生长发育,而且直接影响烟叶的质量。土壤中虽然存在大量的钾、磷元素,但绝大部分是无效或缓效的,很难被烟株吸收利用。利用微生物使土壤中难溶性矿质钾、磷元素变为植物易吸收的速效钾、磷等营养元素,已经得到广泛研究和应用。

5406 是一种放线菌菌肥^[38],是我国最早也是在过去相当长时期内使用较多的微生物肥料,能疏松土壤,转化氮、磷、钾元素。烟草叶面喷施能增强烟草的光合作用、增加叶绿素含量、促进生长、提高对花叶病的抗性。

硅酸盐细菌 (*Bacillus mucilaginosus siliceus*) 对钾、磷等元素有特殊的利用能力,它对土壤中难溶性钾、磷有很强的利用能力,能明显地促进土壤中 N、P、K 养分的转化,从而在作物生长发育期间为作物提供速效钾、磷等营养元素,提高烟株对磷、钾及氮的吸收,同时具有活化土壤中 Si, Fe, Mn 等元素的能力,满足作物生长发育的需要。施用硅酸盐细菌不仅能显著地提高烟叶的产量,也能使烟叶内钾含量明显提高。施用生物磷、钾肥能提高烤烟的主要农艺性状和烟叶产量、品质、增强抗病性,降低烟草病毒病和赤星病、野火病、角斑病发病率,提高上等烟比例。

生物固氮菌一直是微生物肥料研究中的重点之一,但在烟草上的研究和应用较少,只有少量的相关报道,但已有的研究成果表明,合理使用生物固氮菌可以显著提高烤烟产量和烟叶质量^[39-40]。

3.4 光合细菌

光合细菌 (*Photosynthetic Bacteria*, PSB) 是一类可利用太阳能生长繁殖的特殊微生物类群,是有效的微生物肥料之一。光合细菌在烟草上的研究较少,但目前已经取得了一定进展,研究表明,光合细菌不仅能提高烟草产量,改善烟草品质,而且还可以提高烟草的抗病能力,促进土壤中的固氮菌、放线菌、硝酸细菌、硫化细菌、氨化细菌等的生长,同时抑制反硝化细菌的生长^[41]。

还有其它一些微生物对烟草也具有肥料效应,如绿色木霉 (Tv-1) 不但具有广谱的杀菌、抑菌活性,而且

对烟草还表现出较强的促进生长作用,可提高烟叶产量和质量、提高肥料利用率以及协调烟株生理代谢平衡等^[42];其它正在研究的能促进烟草生长、提高产量的微生物还有部分食用担子菌等。

4 微生物提高烟草品质

有些微生物在烟草生产中可以提高烟草品质,主要包括提高有益物质含量、降低有害物质含量,以及协调相关化学物质组成等方面。施用钾细菌微生物肥料能使烟叶落黄速度加快,减少烟叶还原糖、总氮和氯离子含量,提高烟碱含量。生物磷、钾肥对烟叶其他内在质量指标也有一定提高,化学成分协调性好,使香气增加,余味舒适,杂气和刺激性减轻^[43-44]。研究表明,AM 真菌不仅能够促进烟草对 N、P、K 等矿质元素的吸收、提高产量,而且能增加烟叶中 K 等物质含量,改善烟草品质,还能显著增加 K 在叶中的分配比例,减少了 K 在茎中的分配比例,提高了烟叶中 K 的累积量^[45]。

5 结语

微生物是自然界中生物的一大类群,与人类生活密切相关,已有微生物肥料(菌肥),微生物农药(包括杀菌剂、农用抗菌素),微生物激素(主要包括赤霉素、酵母菌及细胞分裂素),微生物饲料(包括发酵饲料、纤维蛋白饲料、人工发酵饲料等)在生产上应用,并取得显著成效。微生物在烟草行业的研究应用相对滞后,虽有一些科研成果,但还有待深入研究和开发。研究微生物在烟草上的应用,是改善烟草生产环境、提高烟草产量和品质、降低生产成本的需要,是烟草生产可持续发展的一项重要措施,是烟草科技工作的一项重要任务。

参考文献

- [1] 杨合同,唐文华, Ryder M. 木霉菌与植物病害的生物防治 [J]. 山东科学, 1999, 12(4): 7-20.
- [2] Lewis J A, Papavizas G C. Application of *Trichoderma* and *Gliocladium* in alginate pellets for control of *Rhizoctonia* damping off [J]. *Plant Pathology*, 1987, (36): 438-446.
- [3] Cole J S, Zvernyika Z. Integrated control of *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani* in tobacco transplants with *Trichoderma harzianum* and triadimenol [J]. *Plant Pathology*, 1988 (37): 271-277.
- [4] Sivan A, Elad Y, Chet I. Biological control effects of a new isolate of *Trichodemn harzianum* on *Pythium aphanidermatum* [J]. *Phytopathology*, 1984, 74(4): 498-501.
- [5] Hardar Y, Harman G E, Taylor A G. Evaluation of *Trichoderma koningii* and *T. harzianum* from New York soils for biological control of seed rot caused by *Pythium* spp [J]. *Phytopathology*,

- 1984, 4(1): 106-110.
- [6] 王革, 周晓昱, 方敦煌, 等. 木霉拮抗烟草赤星病菌菌株的筛选及其生防机制[J]. 云南农业大学学报, 2000, 15(3): 216-218.
 - [7] 王革, 李梅云, 段玉琪, 等. 木霉对烟草黑胫病菌的拮抗机制及其应用研究[J]. 云南大学学报, 2001, 23(3): 222-226.
 - [8] Liu X Z, Li S D. 2004. Fungal Secondary Metabolites in Biological Control of Crop Pests. In: Handbook of Industrial Mycology (Z. Q. An ed.), Marcel Dekker Inc., New York. pp. 723-747.
 - [9] 王明祖, 吴秋芳. 根结线虫卵寄生真菌的研究 I. 卵寄生真菌的筛选[J]. 华中农业大学学报, 1990, 9(3): 225-229.
 - [10] 林茂松, 马民安, 沈素文, 等. 淡紫拟青霉培养和对南方根结线虫的防治试验[J]. 生物防治通报, 1993, (9): 116-118.
 - [11] 刘杏忠, 罗科, 张青文. 淡紫拟青霉发酵液生理活性的初步鉴定(简报)[J]. 北京农业大学学报, 1991, 17(2): 48-68.
 - [12] 李芳, 张绍升, 陈家骅. 淡紫拟青霉对烟草根结线虫病的防治效果[J]. 福建农业大学学报, 1998, 27(2): 196-199.
 - [13] 祝明亮, 张克勤, 李天飞, 等. 三种生物制剂对烟草根结线虫病防效研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2000, 22(5): 369-372.
 - [14] 雷丽萍, 李天飞, 余清, 等. 生防菌剂田间试验示范[J]. 云南农业科技, 1999, 3: 16-19.
 - [15] 宋未, 杨海莲, 孙晓璐. 植物根际细菌研究进展[C] // 微生物肥料的生产应用及其发展-95 全国微生物肥料专业会议论文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1996, 179-186.
 - [16] 方敦煌, 顾金刚, 李江涛, 等. 烟草黑胫病菌的拮抗根际细菌的筛选[J]. 云南农业大学学报, 2001, 16(2): 93-98.
 - [17] 方敦煌, 李梅云, 李天飞. 烟草猝倒病生防根际细菌的分离与筛选[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23(3): 244-246.
 - [18] 王远山, 王平, 胡正嘉. 绿针假单胞菌 PL9 菌株对烟草疫霉的拮抗作用研究[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 248-251.
 - [19] 孔凡明, 丁云水, 周茂宏, 等. 烟草青枯病拮抗细菌的筛选及其防病效果研究[J]. 中国烟草学报, 1999, 5(4): 16-20.
 - [20] 魏春妹, 张春明, 陶树玉, 等. 番茄青枯病生防制剂的研制与应用(综述)[J]. 上海农业学报, 2000, 16(增刊): 69-72.
 - [21] 王万能, 肖崇刚. 烟草内生细菌 118 防治黑胫病的机理研究[J]. 西南农业大学学报, 2003, 25(1): 28-31.
 - [22] Kunkel L O. Studies on acquired immunity with tobacco and aucuba mosaics[J]. Phytopathology, 1934, 24: 436-466.
 - [23] 郭泽建, 蒋冬花. 植物病原菌激发子与信号识别机理[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 26(1): 1-7.
 - [24] Abel P P, Nelson R S, De B, et al. Delay of disease development in transgenic plants that express the tobacco mosaic virus coat protein gene[J]. Science, 1986, 232: 738-743.
 - [25] 白庆荣, 朱俊华, 刘晓玲, 等. 利用 RNA 介导的抗病性获得抗 2 种病毒的转基因烟草[J]. 植物病理学报, 2005, 35(2): 148-154.
 - [26] 钟德义, 李友权. 烟草抗病毒基因工程研究进展[J]. 烟草科技, 2000, 6: 43-46.
 - [27] Liu Guo-sheng. Transgenic tobacco plants with pathogenic bacterium avirulence gene avrDx press resistance to Alternaria alternata[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 1996, 26(2): 165-170.
 - [28] 戴美学, 张红梅, 严芝学, 等. 苏云金杆菌 SD-5 菌株的生物毒力研究[J]. 山东农业科学, 1994, 6: 26-28.
 - [29] 杨斌, 王晓波, 何美军. 玫瑰色拟青霉代谢产物对烟蚜的毒杀活性[J]. 西南林学院学报, 2004, 24(4): 38-41.
 - [30] 章东方, 陈锦绣, 徐庆丰. 烟夜蛾核多角体病毒对棉铃虫的毒力生物测定[J]. 安徽农业科学, 2001, 29(1): 74-75.
 - [31] 邓塔, 蔡秀玉. 烟青虫多角体病毒的复制和染病后血淋巴蛋白的变化[J]. 昆虫学报, 1993, 36(4): 423-429.
 - [32] Vaecck M. Transgenic plants protected from insect attack[J]. Nature, 1987, 328: 33-37.
 - [33] 李太元, 田颖川, 秦晓峰, 等. 高效抗虫转基因烟草的研究[J]. 中国科学(B 辑), 1994, 24(3): 276-283.
 - [34] 赵荣敏, 范云六, 石西平, 等. 获得高抗虫转双基因烟草[J]. 生物工程学报, 1995, 11(1): 1-5.
 - [35] 杨铁钊, 丁永乐, 李群昌, 等. 转双基因烟草抗虫 931 的选育与应用[J]. 河南农业科学, 1996, 9: 12-15.
 - [36] 赵存友, 袁正强, 秦红敏, 等. 转双抗虫基因烟草的研究[J]. 生物工程学报, 2001, 17(3): 273-277.
 - [37] 顾金刚, 方敦煌, 李天飞, 等. 荧光假单胞杆菌 RB242、RB289 促烟草生长机理初探[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 493-496.
 - [38] 李智. 5406 抗生素肥特性及使用方法[J]. 生物加工过程, 2003, 1(2): 50-52.
 - [39] 卢江平, 李安源. 生物固氮菌在烤烟上的应用[J]. 烟草科技, 1996, (5): 36-38.
 - [40] 阎启富. 共生性固氮菌在山地烤烟上的应用[J]. 烟草科技, 1997, (4): 39.
 - [41] 吴小平. 光合细菌在烟草上的应用[J]. 福建农业大学学报, 1999, 28(4): 471-473.
 - [42] 王革, 李天福, 孙超岷, 等. 烟草木霉菌剂的肥效测定及叶面、根部定殖研究[J]. 中国烟草学报, 2002, 8(4): 27-33.
 - [43] 袁宝生, 张巨祥, 孙文海, 等. 生物钾肥对改良烟草品质提高烟草产量的效果[J]. 河北省科学院学报, 1994, 2: 33-43.
 - [44] 范书华. 生物磷、钾肥在晒烟生产上的应用[J]. 延边大学农学报, 2002, 24(1): 23-25.
 - [45] 贺学礼, 孙渭, 赵丽莉, 等. AM 真菌和施钾量对烟草植株钾素累积和分布的交互效应[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 81-84.