

综述

草甘膦述评

苏少泉

(东北农业大学, 哈尔滨 150030)

摘要 述评了草甘膦的发展、特性与剂型、代谢与降解、转基因抗草甘膦作物的发展、杂草抗性与混合制剂以及扩大草甘膦的使用范围。

关键词 草甘膦, 代谢, 降解, 抗性

中图分类号: S451.21 文献标识码: A 文章编号: 1006-0413 (2005)04-145-05

Glyphosate Review

SU Shao-Quan

(Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: This paper reviews the glyphosate development, formulation, metabolism and degradation. Roundup Ready crops. Weeds resistant to glyphosate, combination and new applications fields.

Keywords: glyphosate, metabolism, degradation, resistance

1 草甘膦的开发及其发展

1971年Monsanto公司开发出在世界农业中具有划时代意义的广谱除草剂草甘膦(Glyphosate), 70年代中后期推出草甘膦异丙胺盐、胺盐与钠盐; ICI公司于1989年推出三甲铵盐。目前, 草甘膦已成为世界上应用最广、产量最大的农药品种, 其年销售值一直居农药之首。近年来, 随着转基因抗草甘膦作物的发展, 草甘膦用量逐年增加, 不仅影响新品种的开发, 而且对现有除草剂品种市场格局也造成较大冲击。

草甘膦目前注册登记作物已达50种以上^[1], 使用遍及世界各国; 主要生产者首推Monsanto公司, 除在美国Luling与Fayetteville大量生产外, 还在比利时、巴西与阿根廷建厂生产。中国是草甘膦生产的另一大国, 到1996年末生产单位40余个, 供大于求, 售价急剧下降, 到1997年末生产厂家减少一半, 但其后又有所增加, 最近两年仍有新设备安装生产的单位。目前我国草甘膦生产单位为浙江新安化工集团、镇江江南农药厂、湖北沙隆达、江苏红太阳以及台湾省的3家公司等。其它年产工业原酸1000t以上的厂家有^[2]: Cheminova(丹麦)、Alkaloida(匈牙利)、Nortox与Sao Jose Campos(巴西)、AIMCO与EXCEL(印度)、Ipici(意大利)、Argonesas(西班牙)、Herbex(葡萄牙)、Antwerp(比利时)、Productors Basicos(墨西哥)、Agan(以色列)、Steel与Hahn Jung. Oriental与Korag(韩国)、Barclay Synthesis(爱尔兰)、Feinchemie Schwebda(德国, 工厂设在印度EPIC)、Pinus(斯洛

文尼亚)、Ancom、Pasir Gugand(马来西亚)、Crystal Chemical(哥斯达黎加)、Agroquimicas(危地马拉)、Icona(Thier)、Reposo及Quirnica Estrella、Zarate(阿根廷)等。此外, 先正达公司在英国与比利时建厂大量生产。

从1996年以来, Monsanto公司在全世界主要有6个生产厂, 即美国路易斯安娜的Luling与北卡略林的Fayetteville, 比利时的Antwerp, 马来西亚的Pasir Gugand, 巴西的Sao Jose Campos及阿根廷的Zarate。Monsanto工业化生产草甘膦的过程是: (1) 亚氨基二醋酸氯化物生成; (2) 亚磷酸及甲醛与亚氨基二醋酸氯化物反应, 生成N-(磷酸甲基)亚氨基二醋酸; (3) 合成N-(磷酸甲基)亚氨基二醋酸异丙胺盐; (4) N-(磷酸甲基)亚氨基二醋酸氧化产生草甘膦异丙胺盐。(1)至(3)反应收率约85%, (4)氧化反应生成草甘膦的收率约92%。其后进行改进, 即二乙醇胺进行铜催化, 脱氢产生亚氨基二醋酸, 然后生成亚氨基二醋酸二钠盐, 这样产生的二钠盐不需要提纯及废水处理, 直接进入下一步生产过程, 使生产成本下降^[2]。

草甘膦既用于农田也用于非农田, 如家庭庭院、花园、工业、铁路及公路、森林、湖泊等处, 1995年非农田用量超过16000t工业原酸, 销售值455百万美元; 农田用量51000t, 全世界农田与非农田用量合计约67100t原酸, 销售值1755百万美元。1996年大面积推广抗草甘膦作物以来, 草甘膦用量与日俱增, 目前全世界年销售值已超过20亿美元。

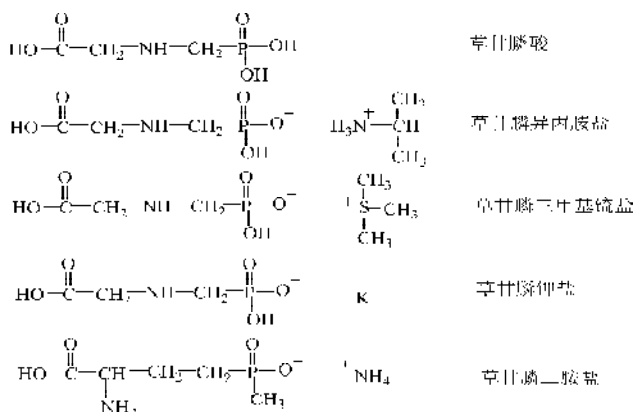
2 草甘膦的特性与剂型

收稿日期: 2005-01-18 修返日期: 2005-03-04

作者简介: 苏少泉(1929-), 河南南召人, 长期从事除草剂教学与研究工作, 现任黑龙江大学化工学院特聘教授。

2.1 化学结构

草甘膦是非常稳定的化合物,其存在形态为酸及其盐:



2.2 物理化学特性

外观:草甘膦为白色、无味固体;草甘膦三甲基铈盐为琥珀色至黄色液体,70%以上工业品有微硫味(纯品严重吸湿,难贮存,故70%水溶液即为工业品)。

密度:草甘膦酸1.74g/ml,70%三甲基铈盐水溶液为1.23~1.25g/ml,20℃。

熔点与蒸气压:熔点200℃(不降解),草甘膦酸蒸气压 2.45×10^{-8} kPa (1.84×10^{-7} mmHg),45℃;三甲基铈盐 3.99×10^{-8} kPa (3×10^{-7} mmHg),25℃。

稳定性:草甘膦酸在25℃,pH 5.7~9时贮存32d稳定;三甲基铈盐在25℃,pH 7~9时可贮存32d稳定。

溶解度:草甘膦酸在水中溶解度(25℃);pH 7:15,700mg/L;pH 2.5:11,600mg/L;草甘膦酸异丙胺盐pH 7:900,000 mg/L;pH 4.06:786,000 mg/L;草甘膦酸三甲基铈盐pH 7:43000,000 mg/L。

2.3 剂型

以草甘膦酸为基础将其加工成盐或酯,由于植物对酸的吸收差,高剂量,特别是低喷液量时草甘膦酸易沉淀,因此,酸的活性通常低于盐类^[3]。最常用的剂型是含异丙胺盐的“农达”(Roundup),此盐类显著溶于水;一般为可溶性液剂(SL)含有效成分365g/L或480g/L。近年来,Monsanto公司推出高含量草甘膦的干制剂(94%)、可溶性粒剂及片剂。

在草甘膦剂型加工中,表面活性剂及增效剂非常重要,硫酸胺及硫酸二胺是常用的活化剂。草甘膦异丙胺盐是一种弱酸,在溶液中能够解离,分子的阴离子部分是活性成分,它们能够在喷洒液中与其他阳离子如:Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺、Fe^{2+/3+} 缔合,形成植物不易吸收的盐类,而硫酸胺与硫酸二胺能够阻止

此种拮抗性盐类产生,从而形成草甘膦-NH₄⁺迅速被植物吸收。磷酸盐、酒石酸以及乙二醇四醋酸均能增强草甘膦的活性。

表面活性剂在草甘膦剂型中应充分重视,有机硅表面活性剂在新西兰被指定为草甘膦必备助剂,它可诱导草甘膦迅速通过气孔被植物吸收,避免雨水淋洗,显著提高除草效果^[4]。最近,美国EPA接受了Hampshire化学公司生产的N-酰基肌胺酸(甲替甲胺酸)及N-酰基肌胺酸钠盐表面活性剂作为草甘膦剂型加工中的助剂,它们优于现有绝大多数表面活性剂。

3 草甘膦的代谢与降解

草甘膦通过植物角质层吸收,异丙胺盐比酸吸收迅速,表面活性剂与硫酸铵促进异丙胺盐的吸收;草甘膦通过质膜的传导比大多数除草剂,特别是非极性除草剂缓慢,这可能是在生理pH时带负电荷,磷酸盐促进草甘膦通过质膜的移动。草甘膦通过共质体传导,积累于植物的地上部分生组织,抑制芳氨酸(苯丙氨酸、色氨酸与酪氨酸)生物合成,导致包括蛋白质合成及次生产物若干代谢反应失调以及莽草酸合成途径受阻,其作用靶点有三:质体EPSP合成酶、胞质EPSP合成酶以及胞质3-脱氧-D-阿拉伯-庚酮-7-磷酸合成酶。

通常认为,植物不能代谢草甘膦,但在小麦、大豆与玉米培养中,细胞提取物中测出来未被代谢的草甘膦及代谢产物氨甲基磷酸(AMPA),两种产物比例在不同种植物间存在差异,在大豆细胞培养中AMPA含量最高^[5]。已经证明,草甘膦通过两种与微生物降解近似的途径被植物代谢,一是C-N键氧化裂解产生AMPA,另一途径是C-P键被C-P裂解酶分解产生N-甲基氨基酸;代谢产物AMPA对植物有毒,但其活性显著低于草甘膦^[6],其代谢过程如图1。

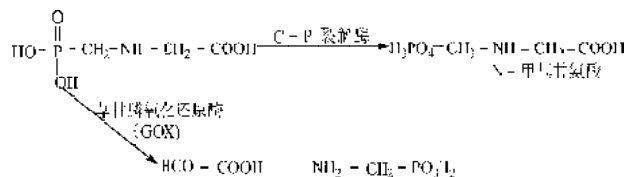


图1 草甘膦在植物体内的代谢过程^[7]

用推荐剂量草甘膦喷洒后,在抗草甘膦大豆叶片与种子内测出AMPA,这说明大豆代谢草甘膦^[8,9],田间测定证明,大豆叶片与茎中草甘膦残留1.9~4.4mg/kg,籽粒中残留0.1~1.8mg/kg;在一年内作物生育期间多次喷洒草甘膦时,测得残留量最高,接近开花期喷药时,残留量亦高;在叶片与籽粒中均测出了AMPA残留,这说明除草剂在植株内进行代谢^[8]。同样,在草

莓果实中也测出了草甘膦残留 0.04mg/kg ^[9]。在美国俄勒冈、密歇根、佐治亚林地测定了草甘膦及其代谢产物 AMPA 的残留, 8hm^2 林地夏季航喷草甘膦 4.12kg/hm^2 , 在上部冠层中叶片中残留量最高, 但迅速下降; 在叶片、水与土壤中残留浓度均低于生物活性水平^[10]。在俄勒冈森林航喷草甘膦 3.3kg/hm^2 后, 草甘膦不积累, 其代谢产物 AMPA 含量很低, 并迅速降解, 未测出 N-亚硝基草甘膦^[11]。

微生物降解是除草剂在土壤中转变的主要反应, 草甘膦微生物降解的主要产物是 AMPA, 最终产生水、 CO_2 与磷酸; 在通气与嫌气条件下发生降解, 大多数微生物降解是通过辅代谢作用进行, *Pseudomonas* spp. 与 *Alcaligenes* spp. 菌系利用草甘膦作为磷源; 草甘膦在土壤中引起微生物群落及活性的变化, 土壤培养 32d 后, 放线菌与真菌数量增加, 细菌数稍下降, 它被土壤微生物降解而产生 AMPA^[12], 大部分微生物区系都能降解草甘膦, 在不同耕作制度条件下, 游离草甘膦产生的 $^{14}\text{CO}_2$ 与微生物数量正相关^[13]。在复合森林生态系统中, 草甘膦通过稀释、传导与生物降解的综合作用而迅速消失^[10]。

(1) 在河流与缓慢流动的池塘内, 通过稀释及与土壤结合迅速消失, 半衰期 $<10\text{h}$;

(2) 当气候冷凉和微生物活性低时, 在池塘内消失缓慢;

(3) 草甘膦与土壤紧密结合, 迅速消失;

(4) 森林叶片残留水平最高, 但迅速下降, 湿润条件有利于草甘膦在落叶中迅速分解。

草甘膦在土壤中半衰期差异很大, 从数日至数月或年, 土壤微生物群落及土壤粒子吸收程度影响很大, 其它因素如 pH 及有机质含量影响较少; 金属阳离子 F^{3+} 、 Al^{3+} 与草甘膦形成复合物, 使降解速度下降; 往土壤中施入磷酸盐与草甘膦竞争吸附点, 促使产生更多的草甘膦阴离子, 从而促进降解; 能够完全降解草甘膦的微生物有 *Pseudomonas aeruginosa*、*Pseudomonas* spp. 与 *Alcaligenes* spp.、*Althrobacter atrocyaneus* 以及 *Achromobacter* spp.^[14]。

4 抗草甘膦作物的发展

早在 80 年代初期, Monsanto 公司就开始研究抗草甘膦作物。造成作物抗性机制的原理有三: (1) EPSP 过量形成; (2) 向作物中导入与草甘膦亲和性下降的 EPSP; (3) 导入降解草甘膦的基因。向作物导入通过基因修饰技术对除草剂不敏感的 EPSP 成功的获得了草甘膦的抗性。

一系列细菌所含 EPSP 对草甘膦具有抗性, 所以细

菌培养是分离筛选抗性株系的来源, 在筛选中发现, 抗性最强的是 CP4 EPSP, 从农杆菌 (*Agrobacterium* spp.) 菌系 CP4 中克隆出 CP4 EPSP 基因, 这种基因是由 455 氨基酸多肽组成的一种 47.6kDa 蛋白质。

将 *Salmonella typhimurium aroA* 突变基因导入烟草是第 1 个获得的转基因抗草甘膦作物, 进而将细菌突变体基因与植物 EPSP 叶绿体融合, 然后导入植物中, 获得了对草甘膦的高度抗性。

从成功的获得抗草甘膦烟草以来, 抗草甘膦作物的创制一直成为农业生物技术研究的重点, 至今已取得了一系列抗草甘膦作物, 它们是: 大豆、棉花、玉米、油菜、甜菜、烟草、花生、小麦、向日葵、马铃薯、水稻、番茄、苜蓿、百脉根、黑麦草、杨树等, 其中以大豆、玉米、棉花与油菜发展最迅速, 如美国 1996 年开始种植抗草甘膦大豆, 当年种植约 0.4 百万 hm^2 , 1997 年增至 3.6 百万 hm^2 , 1998 年达 11.3 百万 hm^2 , 占大豆种植面积 40%, 1999 年占总面积的 50%, 2000 年占 57%, 2002 年占 74%, 2003 年增至 81%; 玉米与棉花也表现同样的趋势, 如 2000 年与 2002 年抗草甘膦玉米种植面积分别占总面积的 15% 与 32%, 棉花占 25.9% 与 36.2%; 阿根廷是世界上种植转基因抗草甘膦作物的第二大国, 1993 年抗草甘膦大豆的种植面积已达该国大豆种植面积的 80%, 其它如抗草甘膦玉米、油菜及棉花等作物在美国、阿根廷、加拿大等国均迅速发展。

巴西政府即将颁布一项法令, 解除对转基因作物的禁令, 巴西联邦法院最近推翻了原来的裁决, 允许种植并销售 Monsanto 的抗草甘膦大豆^[15], 目前, 巴西已跃居世界转基因大豆的第二种植大国。罗马尼亚大豆种植面积占欧洲第三位, 2003 年为 7.5万 hm^2 , 当年抗草甘膦大豆种植面积比 1999 年增加 55% ~ 66%, 平均增产 31%。与此同时, 转基因食品安全性进一步得到证实, 在奥地利召开的欧洲技术论坛上, 英国诺贝尔奖获得者 T. Hunt 发表了转基因作物对人无害的观点, 美国国家总审计局公布了转基因食品与传统食品一样的安全报告^[15]。

随着转基因抗草甘膦作物的迅速发展, 预计 2005 年草甘膦用量总计将达 34.5 万 t, 今后更会迎来草甘膦生产与销售的第二个春天。

我国转基因除草剂作物尚未推广种植, 目前仅停留在少数单位的研究与试验阶段, 今后主要决定于国家的产业政策, 有可能通过一定时期的观察与鉴定, 先开发异交作物如油菜与玉米的种植, 而转基因抗草甘膦大豆的大面积推广与种植尚待时日。

5 杂草对草甘膦的抗性

草甘膦是杂草产生抗性较差的除草剂品种,从1974年广泛使用以来,直到1993年仍未发现杂草产生抗性^[16]。虽然报道了田旋花(*Convolvulus arvensis* L.)的天然耐性生物型^[17],但此种生物型并非选择性压力造成,耐性最强的生物型植株内,3-脱氧-D-阿拉伯-庚酮-7-磷酸合成酶活性较强,酚化合物含量高,这说明其莽草酸合成活性大于敏感生物型;在幼苗培养中,用1.1kg/hm²草甘膦处理7d,耐性生物型植株各部位EPSP活性增强^[18]。

由于草甘膦本身的独特特性如化学结构、作用机制、代谢及无土壤活性,因此杂草对其抗性难以发展;但另一方面,由于草甘膦无土壤残留活性,所以往往需要多次喷药,这似乎又对杂草产生选择压力,同时也加大脱靶的危险。

首次报道抗草甘膦杂草是在澳大利亚发现的瑞士黑麦草(*Lolium rigidum*)^[19],两种群落对草甘膦抗性提高了7~11倍,同时对结构与草甘膦近似的除草剂2-羟基-3-(1,2,4-三唑-1-基)丙基磷酸也产生抗性,而草甘膦向质体内作用靶点传导的下降可能是抗性机制之一^[20]。其后不久在南非及美国加州也发现了瑞士黑麦草抗性群落。1999年末,智利果园首次发现,草甘膦防治多花黑麦草(*Lolium multiflorum*)效果很差,这是使用草甘膦8~10年造成的选择性压力使杂草抗性发展的结果^[21]。

1997年在马来西亚发现,连续使用草甘膦10年后,牛筋草(*Eleusine indica*)抗性提高了8~12倍^[5],抗性生物型EPSP蛋白质有4个单一核苷酸发生变化,其中2个造成氨基酸变化,在此变化中,其中之一使脯氨酸在10b位被丝氨酸置换,此种变化与过去已经鉴定出的*Salmonella typhimarium*中对草甘膦不敏感的EPSP相同,这表明,EPSP酶的变化是所有植物对草甘膦产生抗性的原因^[22]。新近报导,在澳大利亚抗草甘膦瑞士黑麦草群落对ALS及ACCase抑制剂产生了交互抗性^[22],这种抗性值得我们注意。

在美国特拉华州连续种植3年抗草甘膦的大豆田,小白酒草(*Conyza Canadensis*)抗性提高了8~11倍^[23],与敏感生物型比较,降低鲜重50%所需草甘膦剂量提高了4倍^[24],其抗性机制可能是:(1)存在编码各种EPSP同工酶的EPSP多基因致使对草甘膦抑制作用反应差异;(2)抗性生物型可能含有一种草甘膦氧化还原(GOX)酶的类似酶,此种酶促使草甘膦代谢;(3)存在着一种变化的EPSP,此种酶能缓慢恢复莽草酸合成,使植物继续营养生长^[25]。

天然耐性杂草是草甘膦使用中的另一问题,如

茄科杂草、卷茎蓼(*Polygonum convolvulus*)、蒲公英(*Taraxacum* spp.)、牵牛(*Ipomoea* spp.)等对草甘膦均具有不同程度耐性,在连年使用草甘膦条件下,这些杂草将成为优势种杂草;事实上,在亚洲东南部,随着草甘膦大量使用,一年生阔叶杂草十万错(*Asystasia* spp.)、丰花草(*Borreria* spp.)及Heydyotis已成为主要杂草。转基因抗除草剂作物收获时落粒而成为轮作中后茬作物田杂草也是一个问题。目前,在美国中部地区,抗草甘膦玉米与向日葵落粒已成为后茬大豆与小麦田杂草。

6 草甘膦混剂

草甘膦是现有除草剂中杀草谱最广的品种,但它也有一些缺点,如:(1)无土壤活性,喷药1次难以根治作物生育期间所有杂草;(2)药效发挥缓慢,喷药后约需10~15d杂草才开始死亡;(3)存在着天然耐性杂草。此外,随着转基因抗草甘膦作物的迅速推广,草甘膦使用范围显著扩大,每年使用次数增加,必然会造成选择性压力增强,杂草抗性进一步发展,因此,草甘膦与其它除草剂的混剂及混用日益引起人们的重视。

目前以草甘膦为主的混剂主要有(g/L):Fallow Star[草甘膦+麦草畏(dicamba)],Backdraft[草甘膦+咪唑喹啉酸(imazaquin)](149+178),Extreme[草甘膦+咪唑乙烟酸(imazethapyr)](238+258),Staple Plus[草甘膦+嘧草硫醚(pyriithiobac)](40.2+1.7),Campaign and Landmater(草甘膦+2,4-D)(108+192),Fidlemaster(乙草胺+莠去津+草甘膦)(240+180+90)以及Ready Master ATZ(莠去津+草甘膦)(240+180)等。

在转基因抗草甘膦作物田,根据作物种类可将草甘膦与该作物所使用的除草剂品种加工成混剂或进行混用。

7 扩大草甘膦的使用范围

草甘膦是内吸、传导性、灭生性除草剂,由于它不具有选择性,故广泛用于非农田、果园、道路、林业等,近年来其应用范围逐步过大。

少耕与免耕作物种植前或播种后出苗前喷药,防止已出苗杂草,用量0.20~2.24kg/hm²。观赏植物、木本植物与葡萄园杂草出苗后后定向喷药,防治一年生与多年生杂草,是胶园与果园重要除草剂,用量0.85~4.2kg/hm²。保护性喷雾在玉米、高粱、大豆等作物株高25~30cm以上时,在喷雾器上安装保护罩进行喷雾,使药液雾滴不接触作物,而喷于杂草植株上。此外,这种喷雾方法也可用来防治稻田田埂杂草。

甘蔗增糖:在甘蔗收割前10~15d,喷洒低剂量

草甘膦。

作物干燥与催熟：主要用于小麦、玉米、大豆与棉花等作物，通常在收获期前10~15d左右喷药，小麦、玉米用量0.25~0.85kg/hm²，棉花用量0.85~4.0kg/hm²。在我国东北地区，由于生育期短，作物收获时籽粒含水量高，出现所谓“水苞米”现象，喷洒草甘膦将有助于解决这一问题。

抑制牧草生长，改进饲料品质：应用草甘膦可抑制禾本科牧草剪股颖（*Agrostis* spp.）抽穗及降低顶端休眠，提高可食性以及干物质与蛋白质含量；抑制草地早熟禾（*Poa pratensis*）、雀稗（*Paspalum* spp.）、羊茅（*Festuca ovina*）、狗牙根（*Cynodon dactylon*）等生长。提高饲料品质，通常用量0.15~0.20kg/hm²。

参考文献

- [1] Thomas W E, Pline-Strniæ W A, Thomas J E, et al. Glyphosate negatively affects pollen viability but not pollination and seed set in glyphosate-resistant corn[J]. *Weed Sci*, 2004, 52: 725-734
- [2] Wildburn A T. Glyphosate: production, pricing and use worldwide[J]. *Pest Manag Sci*, 2000, 56: 309-312
- [3] Baylis A D. Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects[J]. *Pest Manag Sci*, 2000, 56: 299-308
- [4] 刘支前, ZabKiewicz J A. 表面活性剂对草甘膦叶面吸收的影响[J]. *农药*, 1998, 37: 31-34
- [5] Komoba D, Genniby I, Sandermann H. Plant metabolism of herbicide with C-P bonds: Glyphosate[J]. *Pestic Biochem physiol*, 1992, 43: 85-94
- [6] Hoagland R E. Effects of glyphosate on metabolism of phenolic compounds: . Effects of glyphosine and glyphosate metabolites on phenylalanine ammonia-lyase activity, growth, and protein, chlorophyll, and anthocyanin levels in soybean (*Glycine max*) seedlings[J]. *Weed Sci*, 1980, 28: 393-400
- [7] Padgett S R, Taylor N B, Nida B L, et al. The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybean[J]. *Nutr*, 1996, 126: 702-716
- [8] Arregui M C, Lenardon A, Sanchez D, et al. Monitoring glyphosate residues in transgenic glyphosate-resistant soybean. *Pest Manag Sci*[J], 2004, 60: 163-166
- [9] Reddy K N, Rimando A M, Duke S O. Aminomethylphosphonic acid, a metabolite of glyphosate, causes injury in glyphosate-treated, glyphosate-resistant soybean[J]. *Agric Food Chem*, 2004, 52: 5139-5143
- [10] Newton M, Horner L M, Cowell J E, et al. Dissipation of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in North American forests[J]. *Agric Food Chem*, 1994, 42: 1795-1802
- [11] Newton M, Howard K M, Kelpas B R, et al. Fate of glyphosate in an Oregon forest ecosystem[J]. *Agric Food Chem*, 1984, 32: 1144-1151
- [12] Klimek M, Leiczak B, Kafarski P, et al. Metabolism of the phosphonate herbicide glyphosate by an ammonium-nitrate-utilizing strain of *Penicillium chrysogenum*[J]. *Pest Manag Sci*, 2001, 57: 815-821
- [13] Wirén-Lehr S Von, Komoba D, GläBgen W E, et al. Mineralization of [14C] glyphosate and its plant-associated residues in arable soils originating from different farming systems[J]. *Pestic Sci*, 1997, 51: 436-442
- [14] Forlani G, Mangiagalli A, Nielsen E, et al. Degradation of the phosphonate herbicide glyphosate in soil: evidence for a possible involvement of uriculate microorganisms[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999, 31: 991-997
- [15] 相巍民编译. 世界各国转基因作物的研究概述[J]. *世界农药*, 2004, (4): 41-43
- [16] Holt J, Powles S, Holtum J. Mechanism and agronomic aspects of herbicide resistance[J]. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1993, 44: 203-229
- [17] DeGenaro F P, Weller S C. Differential susceptibility of field bindweed (*Convolvulus arvensis*) biotypes to glyphosate[J]. *Weed Sci*, 1981, 32: 472-476
- [18] Westwood J H, Weller S C. Cellular mechanisms influence differential glyphosate sensitivity in field bindweed (*Convolvulus arvensis*) biotypes[J]. *Weed Sci*, 1997, 45: 2-11
- [19] Pratley J E, Urwin N A R, Stanton R A, et al. Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*. I Bioevaluation[J]. *Weed Sci*, 1999, 47: 405-411
- [20] Lorraine-Colwill D F. Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*[J]. *Pestic Sci*, 1999, 55: 489-491
- [21] Perez A, Kogan M. Glyphosate-resistant *Lolium multiflorum* in Chilean orchards[J]. *Weed Res*, 2003, 43: 12-19
- [22] Baerson S R, Rodrigue D J, M Tran, et al. Glyphosate-resistant goosegrass, identification of a mutation in the target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-phosphate synthase[J]. *Plant Physiol*, 2002, 129: 1265-1275
- [23] Van Gessel M J. Glyphosate-resistant horseweed from Delaware[J]. *Weed Sci*, 2001, 49: 703-705
- [24] Main C L, Mueller T C, Hayes R M, et al. Response of selected horseweed (*Conyza Canadensis* (L.) Cronq.) populations to glyphosate[J]. *Agric Food Chem*, 2004, 52: 879-883
- [25] Mueller T C, Massey J H, Hayes R M, et al. Shikimate accumulates in both glyphosate-sensitive and glyphosate-resistant horseweed (*Conyza Canadensis* L. Cronq.) [J]. *Agric Food Chem*, 2003, 51: 680-684

责任编辑：陈启辉

海南绿僵菌制剂取得成功

海南省利用绿僵菌防治椰心叶甲研究取得进展，这是继释放姬小蜂迎战椰心叶甲之后，海南又将新增一种生物防治利器，可大面积应用于受害棕榈科植物，保护其生长。

在日前举行的“绿僵菌防治椰心叶甲可持续配套技术研究”的评审会上，专家认为，该项目研究在高毒力菌株筛选、生产工艺、剂型研制、林间使用技术等方面均取得了进展，大面积防治效果显著，为重大检害虫椰心叶甲的生物防治找到持续控制的方法和途径。

目前，海南省利用绿僵菌防治椰心叶甲已累计防治3.5万株感虫植株。2005年还可完成防治30万至50万感虫株所需的绿僵菌制剂生产。