

# 转 Bt 基因水稻对土壤微生物生态系统的潜在影响<sup>\*</sup>

王忠华

(浙江万里学院生物技术研究所, 宁波 315100)

**【摘要】** 随着转基因作物商品化应用的增多, 对其进行生态风险性评价尤为重要. 国内外对转基因作物中外源基因向野生亲缘物种漂移的可能性、昆虫对抗虫转基因作物的耐受性以及转基因作物对生物多样性的潜在影响等问题进行了广泛的研究. 文中从 Bt 杀虫结晶蛋白在土壤中的残留特性、Bt 杀虫晶体蛋白对土壤微生物可培养类群和土壤酶活性的影响等方面对转 Bt 基因抗虫水稻的潜在生态风险性进行了简要综述, 以期同类研究提供有益的信息.

**关键词** 转 Bt 基因水稻 草铵膦 Bt 杀虫晶体蛋白 生态安全性 土壤微生态系统

**文章编号** 1001 - 9332(2005) 12 - 2469 - 04 **中图分类号** Q78 **文献标识码** A

**Potential effects of Bt transgenic rice on soil micro-ecosystem.** WANG Zhonghua ( *Institute of Biotechnology, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China* ). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(12) : 2469 ~ 2472.

With the increasing commercial use of genetically modified crops (GMCs), it is quite important to assess their potential ecological risk. The likelihood of genes dispersal from GMCs to related wild species, the tolerance of insects to insect-resistant GMCs, and the potential impact of GMCs on biodiversity have been extensively investigated. This article reviewed the potential ecological risk assessment of transgenic Bt rice-expressed products, including the persistence characteristics of Bt insecticidal crystal proteins in soil, and their effects on soil culturable microbial flora and soil enzyme activities, which could provide useful information for related researches.

**Key words** Transgenic *Bacillus thuringiensis* (Bt) rice, Bt insecticidal crystal proteins, Ecological safety, Soil micro-ecosystem.

## 1 引言

自人类首次获得转基因烟草和马铃薯以来, 植物基因工程技术的发展日新月异, 其研究和开发已取得显著进展, 一大批新型抗虫、抗病、耐除草剂和高产优质的农作物新品种或新材料选育成功, 包括由原浙江农业大学原子核农业科学研究所与加拿大渥太华大学合作培育出的“克螟稻”<sup>[6, 8, 23, 24]</sup>. 这些转基因作物新品种或新材料在农业生产中的应用引起了农业生产方式的巨大变革和经济效益的大幅度提高, 并为人类解决目前所面临的人口膨胀、环境恶化、资源匮乏和效益衰减等问题提供了一条新的思路和途径. 与此同时, 它可能造成的负面影响已引起世界各国科学家的关注, 如转基因植物中的抗除草剂基因转移到其它亲缘野生种中可能会形成“超级杂草”, 抗病毒基因逃逸到其它微生物中可能会产生“超级病毒”, 目标生物体对药物产生抗性和转基因及其产物在环境中的残留等<sup>[1, 2, 5, 10, 13, 15, 20, 21, 25 ~ 28]</sup>. 这些问题一旦发生, 将会给人类带来无法预料的影响. 因此, 在转基因作物进入大田试验和商品化生产阶段前进行生态风险性评价极其必要.

土壤微生态系统包括土壤微生物种类与数量、土壤理化性质、土壤养分的释放及有效性等, 是地球生态系统物质与能量循环的重要场所与组成部分. 转 Bt 水稻主要表达产物——杀虫结晶蛋白或内毒素在土壤微生物生态系统的转移途径是多种多样的, 其中最直接的途径包括以下几个方面: 1) 植

株残茬: 随着水稻秸秆还田技术在农业生产上的大面积推广应用, 转 Bt 水稻在收割前后遗留在田间的植株残茬通过耕作方式向土壤微生态系统释放 Bt 杀虫结晶蛋白是 Bt 毒蛋白进入土壤生态系统中最重要途径; 2) 根系分泌物: 它是植物根系在生命活动过程中向外界环境分泌的各种有机化合物的总称<sup>[25]</sup>. 按分子量大小可分为低分子量分泌物和高分子量分泌物, 前者主要是有机酸、糖类、酚类和各种氨基酸(包括非蛋白氨基酸), 而后者主要包括粘胶和外酶, 其中粘胶有多糖和多糖醛酸两类. 根系分泌物可影响土壤生物学和理化性质, 并对土壤养分的释放与有效性产生较大效应<sup>[25]</sup>. 由于转 Bt 水稻根系能表达毒素蛋白, 因此其分泌物会源源不断地向作物根际周围的土壤微生态系统释放 Bt 毒素蛋白; 3) 花粉: 转 Bt 水稻在花粉中会表达 Bt 杀虫结晶蛋白<sup>[29]</sup>. 因此, 转 Bt 水稻的花粉落入田中也是转 Bt 水稻释放 Bt 杀虫结晶蛋白进入土壤生态系统的一条重要途径. 上述水稻植株的不同部位转移入土壤生态系统后, Bt 杀虫结晶蛋白或多或少地会对人类赖以生存的土壤微生态产生一定的影响. 本文从生物活性 Bt 杀虫结晶蛋白在土壤中的残留特性和 Bt 杀虫结晶蛋白对土壤微生物群落及土壤酶活性的影响 3 个方面进行阐述.

<sup>\*</sup>国家自然科学基金资助项目(30070156; 20177021).  
2004 - 10 - 22 收稿, 2005 - 03 - 09 接受.

## 2 生物活性 Bt 杀虫结晶蛋白在土壤中的残留特性

由于土壤中的成分非常复杂,不同类型土壤的差异也很大,因此当 Bt 杀虫结晶蛋白进入不同性质的土壤时的残留特性可能不尽相同。由苏云金杆菌产生 Bt 杀虫结晶蛋白进入土壤后,可被粘土矿物(蒙脱石和高岭石)<sup>[17,18]</sup>、腐殖酸<sup>[3]</sup>和有机矿物聚合物<sup>[4]</sup>等土壤表面活性颗粒快速吸附,并与之紧密结合,但不会与粉粒和砂粒结合<sup>[14]</sup>。粘土矿物和腐殖酸的不同类型对 Bt 毒素的吸附特性影响较大。Tapp 等<sup>[17]</sup>研究发现,蒙脱石对 Bt 毒素的吸附能力明显高于高岭石,其最大吸附量分别为 790 和 280  $\mu\text{g} \cdot \text{mg}^{-1}$ 。Crecchio 等<sup>[3]</sup>对纯化 Bt 毒素蛋白与 4 种不同土壤纯化的腐殖酸的结合关系进行了研究。结果发现,腐殖酸对 Bt 毒素的吸附能力与其功能基的含量有关,酸度较高和酚基含量高的腐殖酸吸附能力较高,羟基的含量和聚合作用的强度与其吸附能力无关。但这些与土壤表面活性颗粒结合的 Bt 毒素不能作为碳源被微生物利用,且仍具有杀虫活性<sup>[12,21]</sup>。

鉴于转 Bt 作物中的毒素蛋白在结构上可能与苏云金杆菌本身所产生的 Bt 蛋白存在差异,吴立成等<sup>[30]</sup>在实验室条件下对来源于转 Bt 基因水稻的纯毒素在 7 种不同性质土壤中的吸附与降解规律进行了探讨。结果发现,7 种土壤对纯 Bt 蛋白的吸附率随着 Bt 蛋白加入浓度的降低(125 ~ 780  $\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ )而升高,两者呈显著正相关;土壤 pH 值和 OM 值对 Bt 蛋白的吸附率存在明显的正相关性。经过 150 d 的室内恒温培养后,在 7 种土壤中都能检测到 Bt 蛋白,其中粗砂土中的 Bt 蛋白的含量高达 600  $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$  风干土。在恒温培养 345 d 后,在粗砂土和红砂土中仍能检测到 Bt 蛋白。

为了更准确地了解转 Bt 作物释放后其表达产物在土壤中的残留特性,人们在室内和田间条件下以转 Bt 作物的植株残茬和根系分泌物为对象采用包埋和添加的方法进行了探讨。吴立成等<sup>[30]</sup>以转 Bt 基因水稻秸秆为对象,在实验室条件下采用添加的方法对 Bt 蛋白在 5 种不同土壤中的降解规律进行了研究。结果发现,Bt 水稻秸秆中的 Bt 毒素在土壤中的持留时间为几个星期或几个月,最长为 146 d。这与 Bt 棉花、Bt 玉米的结果相一致<sup>[7,9,21,22]</sup>。与前面提到的 Bt 纯蛋白相比,Bt 毒素的持留时间明显缩短。造成这种情况可能有:1) Bt 纯蛋白更容易与土壤表面活性颗粒结合,降低了微生物对其利用的效率;2) 与 Bt 纯蛋白相比,转 Bt 水稻秸秆中的蛋白质种类更多,造成 Bt 蛋白与土壤基质的机会大大降低;3) 转 Bt 水稻秸秆的加入,增加了土壤中的营养成分,使土壤微生物的活性增强,从而加速了 Bt 蛋白的降解。

吴立成等<sup>[30,31]</sup>还对 Bt 水稻根系分泌物中 Bt 蛋白在根际土壤中的残留情况进行了试验,从分蘖始期至成熟期均未检测到 Bt 蛋白的残留,这与 Bt 水稻根系分泌 Bt 蛋白较低有关。喂虫实验也未发现异常情况。因此,从根系分泌 Bt 蛋白及其在土壤中的残留特性角度看,Bt 水稻对土壤微生态系统的不良影响比 Bt 玉米相对较小。

## 3 生物活性 Bt 杀虫结晶蛋白对土壤微生物群落的影响

土壤生物在土壤微生态系统中作为消费者和分解者,以不同方式改变着土壤的物理、化学和生物学特性,并对全球物质和能量循环起着不可替代的作用。转基因作物对土壤生物的影响不仅包括外源基因本身,还包括外源基因所表达的产物及次级代谢产物等<sup>[25]</sup>。Bt 作物释放后,Bt 毒素在土壤活性颗粒表面会不断发生分离和吸附的过程。Bt 杀虫结晶蛋白一旦转移到非靶标土壤生物体中并经过一段时间的积累,可能会对土壤非靶标生物如土壤微生物和有益昆虫等产生不利的影响,尤其是对土壤微生物活动过程的影响,如硝化作用与反硝化作用等,可导致土壤生物地球化学循环的严重变化<sup>[1,26]</sup>。因此,土壤微生物成为 Bt 作物释放后生态风险性评价的重点对象。

本课题组在研究中发现,在整个生育期,Bt 水稻“克螟稻”根际土中的细菌数量显著低于其非转基因亲本根际土,而真菌数量则相反。由于根系分泌物中的 Cry1Ab 毒蛋白含量很低,而且根际土中检测不到 Cry1Ab 毒蛋白的残留。因此笔者认为,Bt 水稻“克螟稻”根际土中细菌数量的显著下降和真菌数量的显著增加由 Cry1Ab 毒蛋白直接引起的可能性很小,更大的可能是由于 Bt 水稻“克螟稻”根系分泌物中其它物质组成(如有机酸种类和含量、次生代谢物及其选择标记基因表达产物——潮霉素转移酶和新霉素磷酸转移酶)与非转基因亲本的差异引起的。最近,笔者利用 HPLC 技术对 Bt 水稻“克螟稻”与非转基因亲本根系分泌物中主要有机酸含量的差异进行了比较研究。结果发现,克螟稻根系分泌物中有机酸(主要为酒石酸)的含量显著低于其非转基因亲本。因此初步推测,Bt 水稻根际土中微生物群落数量的变化可能主要由根系分泌物中酒石酸含量的不同引起的。

由于根际土样品来自复杂的大田环境,许多影响因素难以控制,因此开展了实验室条件下的秸秆还土法研究。如王伟祥等<sup>[33,34]</sup>在实验室条件下,采用秸秆还土法比较了 Bt 水稻及其亲本对土壤微生物群落影响的差异。结果发现,与亲本对照相比,Bt 水稻秸秆的添加对土壤好氧性细菌、放线菌和真菌的数量无显著性影响;对土壤氨化细菌、自生固氮菌和纤维素降解菌的数量在培养中期有些差异,但差异并不持续。任馨等<sup>[11]</sup>利用 PCR-变性凝胶电泳(DGGE)指纹图谱和主成分分析(PCA)技术,研究了抗虫水稻 Bt 基因表达量最高期秸秆和同一时期非转基因亲本水稻秸秆的添加对淹水土壤可培养厌氧细菌数量和细菌群落组成的影响。结果发现,在培养初期(3 ~ 5 周)两种秸秆处理对土壤细菌群落组成的差异达到显著水平,但随着培养时期的延长,这种差异逐渐减小,到培养的第 11 周,差异基本消失。由此表明 Bt 水稻中 Bt 蛋白对土壤中可培养的微生物群落无明显的毒害作用。王洪兴等<sup>[19]</sup>采用类似的方法研究了 Bt 水稻及其亲本秸秆在降解过程中对土壤微生物主要类群的影响。结果发现,与亲本对照相比,Bt 水稻秸秆的添加明显地增加了细菌和真菌的数量,而放线菌和反硝化细菌明显降低。徐晓宇等<sup>[35]</sup>

采用改良的亨盖特技术,通过最大或然数法及固体滚筒法系统研究了 Bt 水稻秸秆对淹水条件下稻田土壤厌氧微生物群落的影响。结果表明,与亲本对照相比,Bt 水稻秸秆对水田土壤反硝化细菌和产甲烷细菌种群存在显著的抑制作用;对厌氧发酵细菌种群存在显著的刺激作用;而对厌氧固氮细菌种群有刺激作用但差异未达显著水平。

综上所述,不同实验者得出的结论不尽相同。这可能与 Bt 水稻秸秆的添加量、土壤类型及操作方法的不同有关。

#### 4 生物活性 Bt 杀虫结晶蛋白对土壤酶活性的影响

土壤酶活性反映了土壤中各种生物化学过程的强度和方向,是土壤微生态系统重要的生物学特性。土壤中的脲酶、磷酸酶、脱氢酶、纤维素酶、蔗糖酶和芳基硫酸酯酶等与土壤中的 N、P、S、C 等营养元素循环及植物营养状况密切相关。Bt 作物释放后 Bt 毒素是否会对在生态系统营养元素循环中发挥重要作用的土壤酶活性产生影响已引起了人们的关注。吴伟祥等<sup>[32]</sup>在实验室条件下,采用秸秆还土法比较了 Bt 水稻及其亲本对土壤酶活性影响的差异。结果发现,与亲本对照相比,Bt 水稻秸秆的添加对土壤蛋白酶、中性磷酸酶、脲酶的活性无显著性影响,但对脱氢酶活性具有明显促进作用。他们还采用相同方法研究了 Bt 水稻对淹水土壤酶活性的影响。与同一生长期的亲本水稻秸秆相比,孕穗期和成熟期 Bt 水稻秸秆对淹水土壤磷酸酶活性的影响较小,而对淹水土壤脱氢酶活性的影响极其显著<sup>[33,34]</sup>。徐晓宇等<sup>[35]</sup>采用比色法研究了 Bt 水稻秸秆还田后对淹水土壤酶活性的影响。结果表明,与亲本水稻秸秆相比,Bt 水稻秸秆还田后的开始几周时间内显著提高了土壤磷酸酶和纤维素酶的活性,但随后这种影响逐渐消失;而对土壤脱氢酶活性,则在短时间内产生抑制作用,随后呈现明显的刺激作用。孙彩霞等<sup>[16]</sup>采用盆栽试验探讨了 Bt 水稻苗期对土壤酶活性的影响。结果发现,与亲本对照相比,Bt 水稻生长 15 d 时,土壤脲酶的活性显著下降,土壤酸性磷酸酶的活性显著升高,而土壤芳基硫酸酯酶、蔗糖酶和脱氢酶活性的变化差异不显著;生长 30 d 时,土壤脲酶的活性仍显著下降,土壤酸性磷酸酶、芳基硫酸酯酶和脱氢酶的活性显著升高,而土壤蔗糖酶活性的变化差异仍不显著。这种差异的产生可能是由于外源 Bt 基因插入水稻染色体中的某一位置引发不同生长发育阶段基因表达的多效性,进而引起水稻秸秆化学组成的变化所致。

#### 5 结 语

由上可知,转 Bt 基因水稻中的 Bt 杀虫结晶蛋白可通过秸秆或残枝落叶残留在土壤中,从而引起土壤微生物种类、数量及土壤酶活性的变化。因此转 Bt 基因水稻在进入田间释放后和商业化应用前必须加强这方面的研究。目前的研究大多停留在实验室水平,而转 Bt 基因水稻释放的现实环境为大田,因此有必要开展大田条件下的综合研究。将室内与大田研究相结合,更能反映实验结果的可靠性与真实性。由于大田条件下影响因子繁多(如土、肥、气、热和水等),加大

了研究的难度。但随着新技术与方法的不断引入和研究力度的加大,必将加快这方面的研究进程,从而使转基因植物朝着有利于人类生存与发展的方向前进。

#### 参考文献

- Bai Y-Y(白耀宇),Jiang M-X(蒋明星),Cheng J-A(程家安),et al. 2003. Advances in safety studies of soil Bt toxin proteins released from transgenic Bt crops. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报),**14**(11):2062~2066(in Chinese)
- Conner AJ, Gare TR, Nap JP. 2003. The release of genetically modified crops into the environment. Overview of ecological risk assessment. *Plant J*,**33**:19~46
- Crecchio C, Stotzky G. 1998. Insecticidal activity and biodegradation of the toxin from *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* bound to humic acids from soil. *Soil Biol Biochem*,**30**(4):463~470
- Crecchio C, Stotzky G. 2001. Biodegradation and insecticidal activity of the toxin from *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* bound on complexes of montmorillonite-humic acids-Al hydroxypolymers. *Soil Biol Biochem*,**33**:573~581
- Dale PJ, Clarke B, Fontes EMG. 2002. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nat Biotechnol*,**20**:567~574
- Fan Y-L(范云六),Zhang C-Y(张春义). 1999. Greeting the challenges of crop biotechnology in the 21st century. *Biotechnol Inform* (生物技术通报), (5):1~6(in Chinese)
- Hopkins DW, Greorich EG. 2003. Detection and decay of the Bt endotoxin in soil from a field trial with genetically modified maize. *European J Soil Sci*,**54**:793~800
- Li B-J(李宝健),Zhu H-C(朱华晨). 2004. Prospects of agricultural biotechnology in the 21st century. *Acta Univ Sunyatseni* (Nat Sci) (中山大学学报·自然科学版),**43**(3):56~61(in Chinese)
- Palm CJ, Schaller DL, Donegan KK, et al. 1996. Persistence in soil of transgenic plant produced *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* delta-endotoxin. *Can J Microbiol*,**42**(12):1258~1262
- Qian Y-Q(钱迎倩),Ma K-P(马克平). 1998. Progress in the studies on genetically modified organisms, and the impact of its release on environment. *Acta Ecol Sin* (生态学报),**18**(1):1~9(in Chinese)
- Ren X(任 馨),Wu W-X(吴伟祥),Ye Q-F(叶庆富),et al. 2004. Effect of Bt transgenic rice straw on the bacterial community composition in a flooded paddy soil. *Acta Sci Circ* (环境科学学报),**24**(5):871~877(in Chinese)
- Saxena D, Florest S, Stotzky G. 1999. Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. *Nature*,**402**:480
- Snow AA, Palma PM. 1997. Commercialization of transgenic plants: Potential ecological risks. *Bioscience*,**47**(2):86~96
- Stotzky G. 2000. Persistence and biological activity in soil of insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis* and of bacterial DNA bound on clays and humic acids. *J Environ Qual*,**9**:691~705
- Sun C-X(孙彩霞),Chen L-J(陈利军),Wu Z-J(武志杰). 2002. Research advances in soil persistence characteristics of toxins released by transgenic Bt crops and their relationships with soil properties. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报),**13**(11):1478~1482(in Chinese)
- Sun C-X(孙彩霞),Chen L-J(陈利军),Wu Z-J(武志杰),et al. 2003. Effect of transgenic Bt rice planting on soil enzyme activities. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报),**14**(12):2261~2264(in Chinese)
- Tapp H, Calamai L, Stotzky G. 1994. Adsorption and binding of the insecticidal proteins of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* and subsp. *Tenebrionis* on clay minerals. *Soil Biol Biochem*,**26**:663~679
- Tapp H, Stotzky G. 1998. Persistence of the insecticidal toxin from *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* in soil. *Soil Biol Biochem*,

- 30:471 ~ 476
- 19 Wang H-X(王洪兴), Chen X(陈欣), Tang J-J(唐建军), *et al.* 2004. Influence of the straw decomposition of Bt transgenic rice on soil culturable microbial flora. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **24**(1): 89 ~ 94 (in Chinese)
  - 20 Wang J-W(王建武), Feng Y-J(冯远娇), Luo S-M(骆世明). 2002. Effects of transgenic crops on soil ecosystem. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(4): 491 ~ 494 (in Chinese)
  - 21 Wang J-W(王建武), Luo S-M(骆世明), Feng Y-J(冯远娇), *et al.* 2003. Environmental fate and ecological effects of Bt toxin from transgenic Bt crops in soil. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **23**(4): 797 ~ 804 (in Chinese)
  - 22 Wang J-W(王建武), Feng Y-J(冯远娇), Luo S-M(骆世明). 2003. Studies on spatial-temporal dynamics of insecticidal protein expression of Bt corn and its degradation in soil. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), **36**(11): 1279 ~ 1286 (in Chinese)
  - 23 Wang Z-H(王忠华), Shu Q-Y(舒庆尧), Cui H-R(崔海瑞), *et al.* 1999. The study of insect-resistant plant with *Bacillus thuringiensis* crystal protein genes. *Chin Bull Bot* (植物学通报), **16**(1): 51 ~ 58 (in Chinese)
  - 24 Wang Z-H(王忠华), Shu Q-Y(舒庆尧), Xia Y-W(夏英武). 1999. Advances in the study on the improvement of rice through gene engineering. *Biotechnol Bull* (生物技术通报), **15**(1): 5 ~ 8 (in Chinese)
  - 25 Wang Z-H(王忠华), Ye Q-F(叶庆富), Shu Q-Y(舒庆尧), *et al.* 2002. Impact of root exudates from transgenic plants on soil micro-ecosystem. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **13**(3): 373 ~ 375 (in Chinese)
  - 26 Wang Z-H(王忠华), Ye Q-F(叶庆富), Shu Q-Y(舒庆尧), *et al.* 2002. The transfer of foreign genes and its expression products in genetically modified crops. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **22**(9): 1521 ~ 1526 (in Chinese)
  - 27 Wei W(魏伟), Qian Y-Q(钱迎倩), Ma K-P(马克平). 1999. Gene flow between transgenic crops and their wild related species. *Acta Bot Sin* (植物学报), **41**(4): 343 ~ 348 (in Chinese)
  - 28 Wolfenbarger LL, Phifer PR. 2000. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science*, **290**: 2088 ~ 2093
  - 29 Wu G, Cui H, Ye G, *et al.* 2002. Inheritance and expression of the Cry1Ab gene in Bt (*Bacillus thuringiensis*) transgenic rice. *Theor Appl Genet*, **104**: 727 ~ 734
  - 30 Wu L-C(吴立成). 2004. Environmental behavior of Cry1Ab protein from Bt transgenic rice in soil. Master degree thesis. Hangzhou: Zhejiang University. 54 ~ 76 (in Chinese)
  - 31 Wu L-C(吴立成), Li X-F(李啸风), Ye Q-F(叶庆富), *et al.* 2004. Expression and root exudation of Cry1Ab toxin protein in Cry1Ab transgenic rice and its residue in rhizosphere soil. *Environ Sci* (环境科学), **25**(5): 116 ~ 121 (in Chinese)
  - 32 Wu W-X(吴伟祥), Ye Q-F(叶庆富), Min H(闵航), *et al.* 2003. Effect of Cry1Ab toxin released from straw of Bt transgenic rice on microflora and enzyme activities in upland soil. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), **40**(4): 606 ~ 612 (in Chinese)
  - 33 Wu W-X(吴伟祥), Ye Q-F(叶庆富), Min H(闵航). 2003. Enzyme activities variation in flooded soils amended with Bt transgenic rice straws at different stages of plant development. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **23**(11): 2353 ~ 2358 (in Chinese)
  - 34 Wu WX, Ye QF, Min H, *et al.* 2003. Bt transgenic rice straw affects the culturable microbiota and dehydrogenase and phosphatase activities in a flooded paddy soil. *Soil Biol Biochem*, **36**: 289 ~ 295
  - 35 Xu X-Y(徐晓宇), Ye Q-F(叶庆富), Wu W-X(吴伟祥), *et al.* 2004. Effects of transgenic Bt rice straw on anaerobic microbial populations and enzyme activities in paddy soil. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), **10**(1): 63 ~ 67 (in Chinese)

---

作者简介 王忠华,男,1972年生,博士.主要从事植物生物技术及安全性评价研究,发表论文 40 余篇. Tel: 0574-88222420; E-mail: wang1972@zwwu.edu.cn

---