应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2014, 51(3): 827–833. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2014.100

转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对田间节肢动物群落的影响*

季香云[1**] 徐雪亮[2] 蒋杰贤[1] 姚英娟[2***] 陈大洲[3] 肖叶青[3] 胡兰香[3]

（1. 上海市农业科学院生态环境保护研究所，上海 201403；2. 江西省农业科学院农业应用微生物研究所，南昌 330200；3. 江西省农业科学院水稻研究所，南昌 330200）

摘 要 **【目的】** 研究转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对田间节肢动物群落的影响。**【方法】** 以含有转 *cry1Ab/Ac* 基因水稻与常规对照为材料，2012 和 2013 连续两年在江西南昌县开展田间试验。**【结果】** 转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”田间节肢动物群落结构物种数、优势集中度、香农指数和均匀性指数与对照相比，均无显著差异；“赣绿 1 号”田间节肢动物 5 类功能团的优势度与对照田均无显著差异；“赣绿 1 号”田与对照田田间节肢动物群落相异性数值大多较低。**【结论】** 转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对田间节肢动物群落结构没有明显的不利影响。

关键词 转 Bt 基因水稻，群落结构，功能团优势度

Impact of transgenic Bt rice “Ganlv 1” on an arthropod community

JI Xiang-Yun[1**] XU Xue-Liang[2] JIANG Jie-Xian[1] YAO Ying-Juan[2***] CHEN Da-Zhou[3] XIAO Ye-Qing[3] HU Lan-Xiang[3]

(1. Eco-environment Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; 2. Applied Agricultural Micro-organism Research, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 3. Institute of Rice Research, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences , Nanchang 330200, China)

Abstract **[Objectives]** The objective of this study is to assess the effects of the transgenic Bt rice “Ganlv 1”on the arthropod communities in paddy fields. **[Method]** The rice expressing a fusion gene derived from *cry1Ab* and *cry1Ac* and a conventional control rice were investigated in Nanchang County, Jiangxi Province in 2012 and 2013. **[Result]** No significant differences in community indices such as species richness, dominance index, Shannon-Wiener diversity index and evenness index in the transgenic Bt rice plots compared with the control rice plots . Moreover, there were no significant differences in the five guilds dominance in the transgenic Bt rice plots and the control rice plots. Mosts of the dissimilarities between the arthropod communities in the transgenic Bt rice plots and the control were apparently low. **[Conclusion]** It was apparent that the transgenic Bt rice “Ganlv 1” had no significant adverse impact on the arthropod community structure under the field conditions.

Key words transgenic Bt rice, community structure, guild dominance

水稻是世界上最重要的粮食作物之一，也是我国最重要的粮食作物，有 65%的人口以水稻作为主食（章秀福等，2005）。但是，水稻也是受虫害最多的粮食作物，每年因虫害造成巨大的损失，据统计，仅水稻螟虫每年造成的经济损失就高达 115 亿元左右（盛承发等，2003；陈浩等，

* 资助项目：上海市科技兴农重点攻关项目（沪农科攻字（2012）第 2-10 号）；国家重大科技专项（2011ZX08001-001）

**E-mail: hwfy2002@.163.com

***通讯作者，E-mail: yaoyingjuan@webmail.hzau.edu.cn

收稿日期：2014-01-21，接受日期：2014-02-28

2009）。传统上农民对水稻害虫的防治主要依赖于化学杀虫剂，然而长期大量施用化学杀虫剂不仅造成严重的环境污染、提高了生产成本，还导致害虫抗性（Resistance）、农药残留（Residue）和害虫再猖獗（Resurgence）3R 问题，形成恶性循环，从而给生态环境和粮食安全带来潜在的负面影响（戈峰和李典谟，1997；Matteson，2000；吴敏等，2013；张凯等，2013）。

利用生物技术培育转基因抗虫水稻为控制水稻害虫为害提供了一条最为有效、经济的途径（傅强等，2013）。我国的转基因水稻研究工作已经开展了近 20 年，已经培育出多个表达不同 Bt 蛋白的抗虫水稻品种，均能高效控制其靶标害虫为害（舒庆尧等，1998；Tu *et al.*，2000；苏军等，2003；徐艳博等，2012）。2009 年，我国农业部为两个转基因抗虫水稻华恢 1 号和 Bt 汕优 63 颁发了安全证书，这对我国转基因抗虫水稻的发展具有里程碑的意义（Chen *et al.*，2011）。

稻田是一个以水稻为基础，多种节肢动物通过食物链的物质流和信息流相互关联并共存的复杂网络结构，转基因抗虫水稻必然会对稻田生态系统产生影响。尤其是其对鳞翅目害虫高致死作用，由此对以该类害虫为食食物链带来直接或间接作用，以致进一步对整个节肢动物群落产生影响。因此，评价转基因抗虫水稻对田间节肢动物群落结构的影响具有非常重要的科学价值和意义。本研究通过两年田间试验评价了一个含有 *cry1Ab/1Ac* 基因的新品种对田间节肢动物群落结构的影响，以期能够为转基因抗虫水稻田间生物安全性评价提供依据，为转基因水稻的病虫害防治策略的建立提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试水稻材料

试验水稻材料为含有融合基因 *cry1Ab/1Ac* 的“赣绿 1 号”(为常规水稻“9311”与转 *cry1Ab/1Ac* 融合基因“华恢 1 号”杂交的中稻材料）（BT），以常规水稻“9311”（CK）作为对照，“赣绿 1 号”和“9311”均由作者研究组培育。

1.2 田间调查方法

2012 和 2013 年连续两年于南昌县广福试验基地开展田间试验。每个品种设 3 个重复小区，随机区组设计。每个小区面积为 13 m×15 m。2012 年 5 月 22 号播种，6 月 20 号移栽；2013 年 5 月 21 号播种，6 月 21 号移栽。单本移栽，移栽后一个月开始调查，每隔 10 d 左右调查一次，共吸虫调查 6 次。整个水稻生长期均不施用任何化学农药，田间水肥管理均按照当地常规管理。采用对角线五点法取样调查。首先用采样框（0.5 m × 0.5 m × 0.9 m）罩住取样点的全部水稻（6 丛），再使用自己改装的吸虫器将采样框内的所有节肢动物收集，然后用乙酸乙酯毒死采集到的节肢动物，使用 75%的酒精保存标本，最后进行鉴定和统计。

1.3 数据处理与分析

在参考前人方法基础上（Heong *et al.*，1991；Schoenly *et al.*，1998；刘志诚等，2003）将稻田节肢动物按营养关系划分为植食类、捕食类、寄生类、腐食类和其它类 5 个功能团。再分析各功能团优势度及其时间动态变化，即各个功能团内个体总数占调查所有节肢动物个体总数的百分率。计算和分析转基因抗虫水稻田间与对照田间节肢动物群落结构 4 个参数：物种数（*S*）、香农指数（Shannon-Wiener 多样性指数，*H′*）、均匀性指数（*J*）和优势集中性指数（*D*）。群落的相异性测度采用 Bray-Curtis 距离系数计算。

所有的数据均使用 EXCEL2003 软件和 SPSS 统计分析软件进行，对物种数数值进行自然对数转换；对物种数、香农指数、均匀性指数和优势集中性指数时间动态进行 RM 方差分析；对所有百分数先进行平方根反正弦转换，再进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 转 Bt 基因水稻田间节肢动物群各功能团优势种

由表 1 可知，两年转 Bt 基因水稻与对照田

间植食类功能团内优势种完全一致，3 大优势种依次为褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål，白背飞虱 *Sogatella furcifera* Horváth 和黑尾叶 *Nephotettix cincticeps Uhler*；两年转 Bt 基因水稻与对照田间捕食类功能团内优势种均相同，2012 年 3 大优势种依次为草间钻头蛛 *Hylyphantes Graminicola* Sundevall、拟环纹豹蛛 *Pardosa Pseudoannulata* Boesenberg et Strand 和拟水狼蛛 *Pirata Subpiraricus* Boesenberg et Strand，2013 年分别为拟环纹豹蛛、草间钻头蛛和八斑鞘腹蛛 *Coleosoma Octomaculatum* Boesenberg et Strand；2012 年转 Bt 基因水稻与对照田间寄生类功能团内优势种均为稻虱缨小蜂 *Anagrus Nilaparvatae* Pang et Wang，2013 年转 Bt 基因水稻田间优势种为黑尾叶蝉头蝇 *Tomosvaryelle oryzaetora* Koizumi，而对照田间优势种为绒茧金小蜂 *Trichomalopsis apanteloctenus* Crawford；2012 和 2013 两年转 Bt 基因水稻与对照田间其它类功能团内优势种均为稻黑摇蚊；2012 年转 Bt 基因水稻与对照田间腐食类功能团内优势种为蕈蚋，而 2013 年优势种为弹尾虫。

2.2 转 Bt 基因水稻田间节肢动物群落结构特征

由表 2 可知，除 2013 年转 Bt 基因水稻田间节肢动物群落均匀性指数显著低于对照田外，2012 和 2013 两年调查转 Bt 基因水稻田间节肢动物群落结构物种数、优势集中度、香农指数和均匀性指数总体结果均无显著差异。

两年 6 次调查转 Bt 基因水稻田与对照田间节肢动物群落 4 个参数：物种数、优势集中度、香农指数和均匀性指数时间动态如图 1 和图 2 所示。2012 年转 Bt 基因水稻和对照田间节肢动物群落物种数和香农指数在第 3 次调查（8 月 13 日）到达顶峰，同时优势集中度指数到达谷底。2013 年转 Bt 基因水稻田与对照田间节肢动物物种数在第 5 次调查（8 月 30）到达顶峰。转 Bt 基因水稻田间四个参数时间动态曲线走势与对照田基本一致，除个别调查时间有差异外，大多均无明显差异。通过 RM 方差分析两年转 Bt 基因水稻和对照田间节肢动物群落这 4 个参数时间动态也均无显著差异。（2012 年：物种数：df=1，4，F=1.853，P=0.245；优势集中度：df=1，4，F=0.001，P=0.971；香农指数：df=1，4，F=0.579，P=0.489；均匀性指数：df=1，4，F=0.088，P=0.781。2013 年：物种数：df=1，4，F=5.619，P=0.077；优势集中度：df=1，4，F=3.913，P=0.119；香农指数：df=1，4，F=6.379，P=0.065；均匀性指数：df=1，4，F=4.801，P=0.094。）

2.3 转 Bt 基因水稻田间节肢动物群落功能团及其优势度

2012 年转 Bt 基因水稻田间节肢动物植食类功能团、捕食类功能团、其它类功能团优势度与对照田均无显著差异，转 Bt 基因水稻田间寄生类功能团和腐食类功能团的优势度显著低于对照田；2013 年转 Bt 基因水稻田间节肢动物 5 类功能团优势度与对照田相比，均无显著差异（表 3）。

表 2 转 Bt 基因水稻田间节肢动物群落总体特征

Table 2 The arthropod community structure of transgenic Bt rice and control rice plots

指数 Index	2012		2013	
	BT	CK	BT	CK
物种数 Species richness (S)	63.000±4.041a	68.000±2.000a	52.000±2.309a	59.667±2.603a
优势集中度 Dominance index (D)	0.286±0.022a	0.231±0.018a	0.172±0.015a	0.118±0.017a
香农指数 Shannon-Wiener diversity index (H')	1.873±0.085a	2.134±0.060a	2.327±0.099a	2.713±0.105a
均匀性指数 Evenness index (J)	0.453±0.027a	0.506±0.017a	0.589±0.019b	0.663±0.019a

同行数据后标有不同字母表示不同品种参数之间的显著差异(P<0.05)。下表同。

Data followed by different capital letters in the same row indicate significantly different at the 0.05 level. The same below.

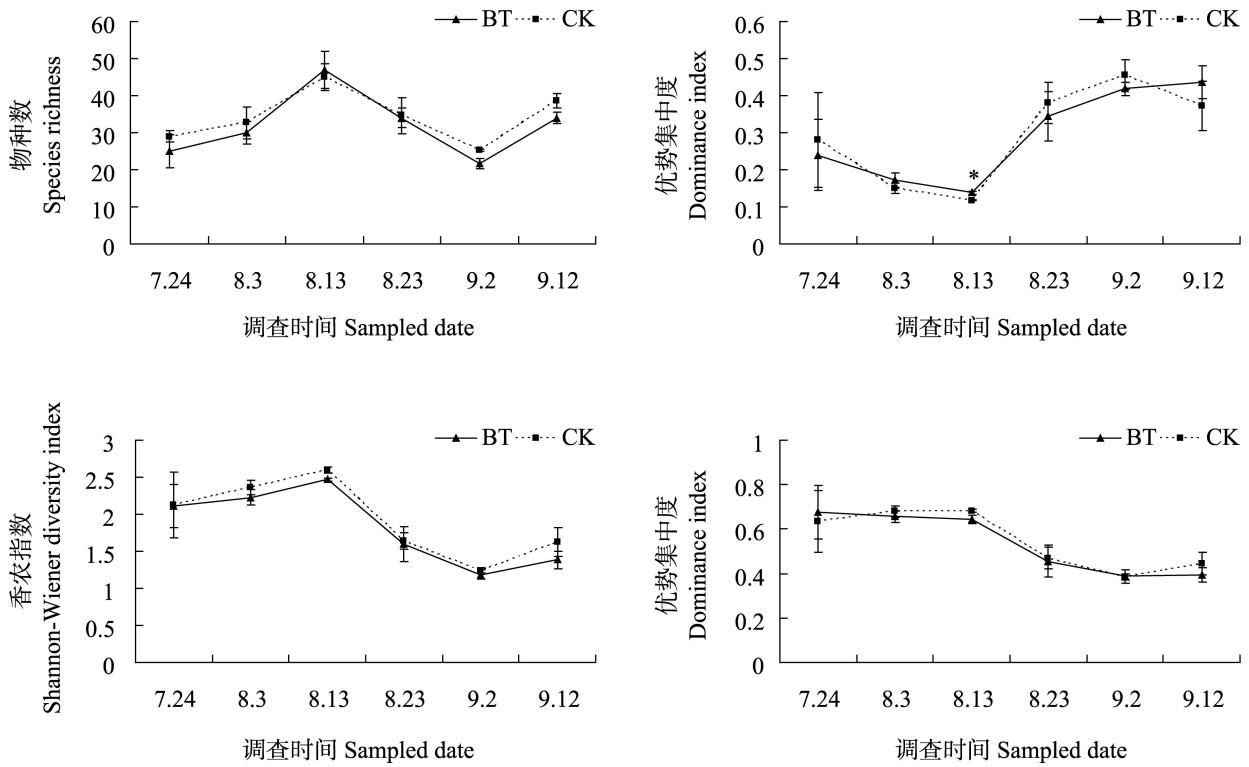

图 1　2012 年转 Bt 基因水稻田间节肢动物群落结构特征主要参数时间动态变化的比较

Fig. 1　Temporal dynamics of arthropod community diversity in transgenic Bt rice and control rice plots in 2012

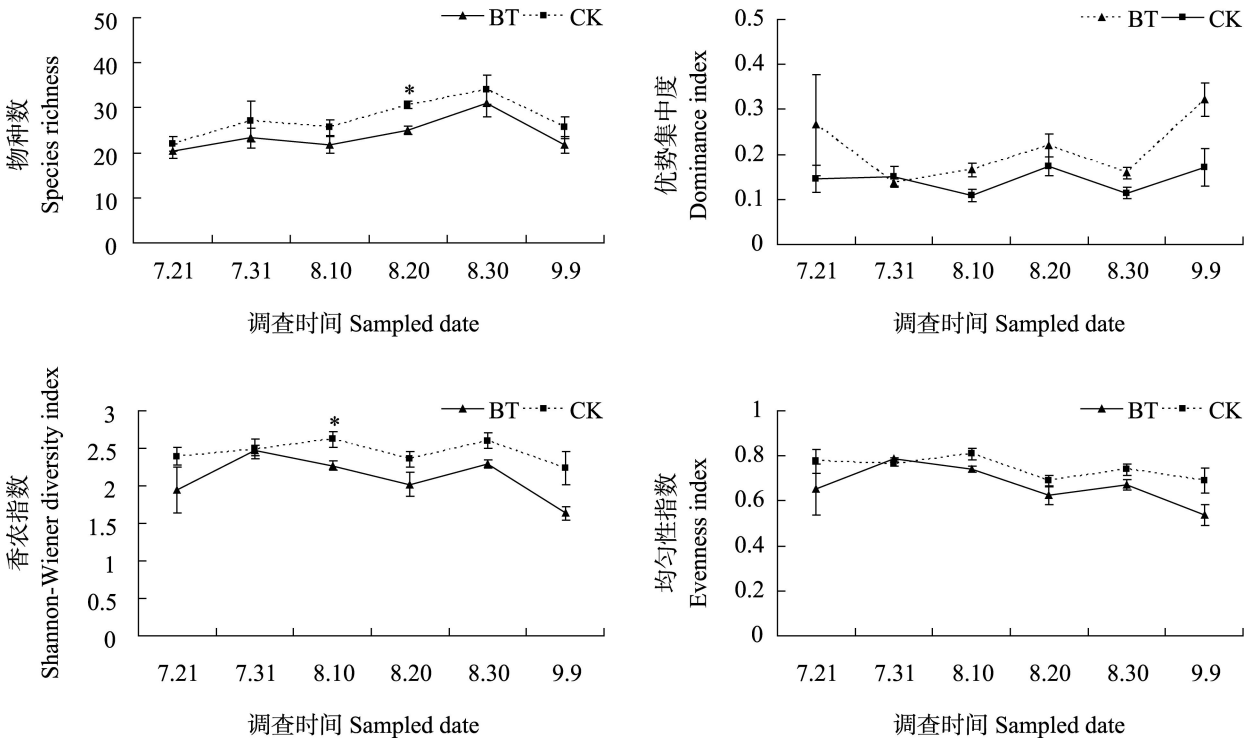

图 2　2013 年转 Bt 基因水稻田间节肢动物群落结构特征主要参数时间动态变化的比较

Fig. 2　Temporal dynamics of arthropod community diversity in transgenic Bt rice and control rice plots in 2013

表 3 转 Bt 基因水稻与对照田间节肢动物功能团及其优势度（%）
Table 3 The guild dominance(%) in the arthropod community of transgenic Bt rice and control rice plots

功能团 Guild	2012		2013	
	BT	CK	BT	CK
植食类 Phytophages	77.151±1.899a	69.821±4.141a	60.110±3.263a	51.604±5.151a
捕食类 Predators	10.836±1.593a	12.856±1.068a	20.811±1.124a	27.755±2.662a
寄生类 Parasitoids	0.319±0.001b	0.666±0.027a	0.763±0.293a	1.043±0.063a
腐食类 Detritivores	1.140±0.253b	2.045±0.123a	0.911±0.420a	2.152±1.140a
其它类 Others	10.554±0.658a	14.612±3.592a	17.405±3.843a	17.446±4.361a

2.4 转 Bt 基因水稻与对照田间节肢动物群落相似性

两年转 Bt 基因水稻田与对照田节肢动物群落之间的 Bray-Curtis 距离系数如表 4 所示。2012 和 2013 年植食类、捕食类、寄生类、其它类、腐食类和节肢动物群落 Bray-Curtis 距离系数均较低，表明两者间群落相似性较高。其中两年节肢动物群落 Bray-Curtis 距离系数均为 0.22；2012 年其它类 Bray-Curtis 距离系数最小，为 0.10，说明该类群落相似性最高；2013 年捕食类 Bray-Curtis 距离系数最小，为 0.08，表明捕食类群落相似性最高。

表 4 转 Bt 基因水稻与对照田间节肢动物群落的 Bray-Curtis 距离系数
Table 4 Bray-Curtis similarity indices of arthropod communities in transgenic Bt rice and control rice plots

群落类型 Community type	距离系数 Bray-Curtis	
	2012	2013
植食类 Phytophage	0.25	0.27
捕食类 Predator	0.20	0.08
寄生类 Parasitoid	0.30	0.44
腐食类 Detritivore	0.15	0.36
其它类 Others	0.10	0.19
节肢动物群落 Arthropod community	0.22	0.22

3 讨论

连续两年田间试验结果表明，除个别参数个别调查日期有显著差异外，两年转 Bt 基因水稻田间节肢动物 4 个参数的时间动态曲线走势与对照田大体相似，基本没有明显差异。总体而言，转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对田间节肢动物群落主要参数及其时间动态没有显著影响，表明该转 Bt 基因水稻对田间节肢动物群落没有明显的负作用，这与前人研究证明转 Bt 基因对田间节肢动物群落没有显著影响的结果相一致（刘志诚等，2004；Li *et al.*，2007；蒋显斌和肖国樱，2010）。

除 2012 年转 Bt 基因水稻田间寄生类和腐食类功能团优势度显著低于对照田外，两年转 Bt 基因水稻田间 5 类功能团优势度与对照田均无显著差异。结果表明转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对田间节肢动物植食类、捕食类、寄生类、其它类和腐食类 5 类功能团优势度均无显著影响，这与刘志诚等（2011）研究发现转 *cry1Ab* 基因水稻对功能团优势度及其时间动态没有明显的影响一致。

两年转 Bt 基因水稻与对照田间 5 类功能团和节肢动物群落 Bray-Curtis 距离系数均较小，表明转 Bt 基因水稻与对照田间节肢动物群落相似性较高。

按照个案原则，本文利用 2 年的田间试验数据，从群落水平宏观地评价了一个新的转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对田间节肢动物的影响，结

果表明其对稻田节肢动物群落没有明显的不利影响。然而，转基因抗虫水稻田间生态安全性评价需要进一步改进研究。如延长试验时间，增大试验田面积，增加试验地点等。目前，转基因抗虫水稻并未实现商业化生产，在此之前需要一个长期持续、全面系统的评价，为其安全和可持续利用提供科学依据和支持。

参考文献 (References)

Chen M, Shelton A, Ye GY, 2011. Insect-resistant genetically modified rice in China: from research to commercialization. *Annu. Rev. Entomol*., 56: 81–101.

Heong KL, Aquino GB, Barrion AT, 1991. Arthropod community structures of rice ecosystems in the Philippines. *Bull. Entomol. Res*., 81(4): 407–416.

Li FF, Ye GY, Wu Q, Peng YF, Chen XX, 2007. Arthropod abundance and diversity in Bt and non-Bt rice fields. *Environ. Entomol*., 36(3): 646–654.

Matteson PC, 2000. Insect pest management in tropical Asian irrigated rice. *Annu. Rev. Entomol*., 45: 549–574.

Schoenly KG, Justo HD, Barrion AT, Harris MK, Bottrell DG, 1998. Analysis of invertebrate biodiversity in a Philippine farmer's irrigated rice field. *Environ. Entomol*., 27(5): 1125–1136.

Tu JM, Zhang GA, Datta K, Xu CG, He YQ, Zhang QF, Khush GS, Datta SK, 2000. Field performance of transgenic elite commercial hybrid rice expressing *Bacillus thuringiensis* δ-endotoxin. *Nat. Biotechnol*., 18(10): 1101–1104.

陈浩, 林拥军, 张启发, 2009. 转基因水稻研究的回顾与展望. 科学通报, 54(18): 2699–2717.[Chen H, Lin YJ, Zhang QF, 2009. Review and Prospect of transgenic rice studies. *Scientific Bulletin*, 54(18): 2699–2717.]

傅强, 赖凤香, 陈洋, 李凯龙, 2013. 抗虫转基因水稻对非靶标生物的生态安全性研究进展. 植物生理学报, 49(7): 655–663. [Fu Q, Lai FX, Chen Y, Li KL, 2013. A review of the ecological safety of the insect-resistant transgenic rices to non-target organisms. *Plant Physiology Communications*, 49(7): 655-663.]

戈峰, 李典谟, 1997. 可持续农业中的害虫管理问题. 昆虫知识, 34(1): 39 – 45.[Yi F, Li DM, 1997. Pest management in sustainable agriculture. *Insect Knowledge,* 34(1): 39–45.]

蒋显斌, 肖国樱, 2011. 转基因抗除草剂水稻对稻田叶冠层节肢动物群落多样性的影响. 中国生态农业学报, 11(18): 1277 – 1283. [Jiang XB, Xiao GY, 2011. Diversity of arthropod community in the canopy of genetically modified herbicide-tolerant rice (Oryza sativa L.). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 11(18): 1277-1283.]

刘志诚, 叶恭银, 胡萃, Swapan K DATTA, 2003. 转 cry1Ab/1Ac 基因籼稻对稻田节肢动物群落影响. 昆虫学报, 46(4): 454–465. Liu ZC, Ye GY, Hu C, Swapan K D, 2003. Impact of transgenic indica rice with a fused gene of cry1Ab/cry1Ac on the rice paddy arthropod community. *Acta Entomologica Sinica*, 46(4): 454-465.]

刘志诚, 叶恭银, 胡萃, 2004. 抗虫转基因水稻和化学杀虫剂对稻田节肢动物群落的影响. 应用生态学报, 12(15): 2309–2314. [Liu ZC, Ye GY, Hu C, 2004. Effects of Bacillus thuringiensis transgenic rice and chemical insecticides on arthropod communities in paddy-fields. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 12(15): 2309-2314.]

刘志诚, 陈洋, 田俊策, 卢增斌, 舒庆尧, 胡萃, 彭于发, 叶恭银, 2011. 转 cry1Ab 基因粳稻对稻田节肢动物群落的影响. 生物安全学报, 20(1): 69–76. [Liu ZC, Chen Y, Tian JC, Lu ZB, Shu QY, Hu C, Peng YF, Ye GY, 2011. Impact of transgenic cry1Abjaponica rice on the arthropod community of rice paddies in China. *Journal of Biosafety*, 20(1): 69-76.]

盛承发, 王红托, 高留德, 宣维健, 2003. 我国水稻螟虫大发生现状、损失估计及防治对策. 植物保护, 29(1): 37–39. [Sheng CF, Wang HT, Gao LD, Xuan WJ, 2003. Current outbreak, yield loss estimation and controlling countermeasures of paddy rice borer in China. *Plant Protection*, 29(1): 37-39.]

舒庆尧, 叶恭银, 崔海瑞, 项友斌, 高明尉, 1998. 转基因水稻“克螟稻”选育. 浙江农业大学学报, 24(6): 579–580. [Shu QY, Ye GY, Cui HR, Xiang YB, Gao MW, 1998. Development of transgenic bacillus thuriengiensis rice resistant to rice stem borers and leaf folders. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 24(6): 579-580.]

苏军, 胡昌泉, 翟红利, 陈在杰, 王锋, 2003. 农杆菌介导籼稻明恢 86 高效稳定转化体系的建立. 福建农业学报, 18(4): 209 – 213. [Su J, Hu CQ, Zhai HL, Chen ZJ, Wang F, 2003. Establishment of a highly efficient and stable transforming system mediated by agrobacterium tumefacien in indica rice. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 18(4): 209-213.]

吴敏, 张真真, 高聪芬, 2013. 水稻二化螟抗药性监测方法. 应用昆虫学报, 50(2): 548–552. [Wu M, Zhang ZZ, Gao CF, 2013. Methods of insecticides resistance monitoring of the striped stem borer, Chilo suppressalis. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 0(2): 548-552.]

徐艳博, 王孟伦, 韩兰芝, 陈法军, 2012. 人工饲料、转 Bt 水稻及其亲本稻苗饲养下二化螟种群适合度的比较研究. 应用昆虫学报, 49(6): 1535–1540. [Xu YB, Wang ML, Han LZ, Chen FJ,

2012. The suitability of Chilo suppressalis reared on artificial diet, seedings of transgenic Bt rice and nontransgenic rice. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1535-1540.]

张凯, 王志伟, 高聪芬, 2013. 稻飞虱的抗药性监测方法. 应用昆虫学报, 50(2): 542−547. [Zhang K, Wang ZW, Gao CF, 2013. Methods for rice planthopper resistance monitoring. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(2): 542-547.].

章秀福, 王丹英, 方福平, 曾衍坤, 廖西元, 2005. 中国粮食安全和水稻生产. 农业现代化研究, 26(2): 85–88. [Zhang XF, Wang DY, Fang FP, Zeng YK, Liao XY, 2005. Food safety and rice production in China. *Research of Agricultural Modernization*, 26(2): 85-88.]