

水稻-白背飞虱-拟水狼蛛食物链中 生物量流动的定量研究

文斗斗, 贺一原*, 吕志跃, 杨海明, 王洪全

(湖南师范大学生命科学院, 长沙 410081)

摘要: 采用荧光物质示踪技术对早稻稻田生态系统中的水稻-白背飞虱-拟水狼蛛食物链在抽穗期与乳熟期中营养物质流动进行了定量测定。结果表明: 在所施荧光示踪物质 3 种质量浓度 20、50、100 mg/L 中, 水稻、白背飞虱、拟水狼蛛的荧光物含量 [$\mu\text{g}/\text{鲜重}(\text{g})$] 随所施荧光物浓度的增加而增加, 浓度组间差异达到显著水平, 呈现出较为稳定的规律性。早稻抽穗期每头白背飞虱每 24 h 取食水稻 0.0636 g, 平均每头拟水狼蛛每 24 h 捕食白背飞虱 0.0336 g, 约 6~7 头; 在早稻乳熟期每头白背飞虱每 24 h 取食水稻 0.0155 g, 平均每头拟水狼蛛每 24 h 捕食白背飞虱 0.0416 g, 约 16 头。结合田间调查数据分析, 抽穗期白背飞虱危害低于乳熟期, 差异显著; 两个水稻生育期 3~4 龄拟水狼蛛的控虫力差异显著, 乳熟期高于抽穗期。

关键词: 白背飞虱; 拟水狼蛛; 荧光物示踪; 生物量流动; 定量测定

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296 (2003) 02-0178-06

A quantitative study of biomass flow in the rice-*Sogatella furcifera*-*Pirata subpiraticus* food chain using fluorescent substance tracing

WEN Dou-Dou, HE Yi-Yuan*, LU Zhi-Yue, YANG Hai-Ming, WANG Hong-Quan (College of Life Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China)

Abstract: The fluorescent substance tracing method was used to quantitatively measure and analyze the damage to rice plants by the white-backed planthopper *Sogatella furcifera* and the ability of the lycosid spider *Pirata subpiraticus* to control *Sogatella furcifera* during the two rice growth stages (the tasseling and maturing stage). The results show that the fluorescent substance content of the rice plant, *Sogatella furcifera* and *Pirata subpiraticus* obviously increased with increasing concentration of fluorescent substance from 20 mg/L to 50 mg/L to 100 mg/L respectively. During the tasseling stage, rice consumption by *Sogatella furcifera* was 0.0636 g per insect every 24 h, and the consumption of *Sogatella furcifera* by *Pirata subpiraticus* was 0.0336 g per spider every 24 h, equaling 6-7 planthoppers per day. During the maturing stage, rice consumption of *Sogatella furcifera* was 0.0115 g per insect every 24 h, and the consumption of *Sogatella furcifera* by *Pirata subpiraticus* was 0.0416 g per spider every 24 h, equaling 16 planthoppers per day. Comparing the two growth stages, the per gram fluorescent substance content of *Sogatella furcifera* and *Pirata subpiraticus* was significantly higher at the maturing stage than at the tasseling stage.

Key words: *Sogatella furcifera*; *Pirata subpiraticus*; fluorescent substance; biomass flow; quantitative analysis

早稻期间白背飞虱 *Sogatella furcifera* 是主要危害稻虫之一, 拟水狼蛛 *Pirata subpiraticus* 是稻田蜘蛛的优势种之一, 水稻-白背飞虱-拟水狼蛛是早稻期间的一条重要食物链。以往对以蜘蛛为中心的食物链营养关系研究基本上处于定性水平 (王洪全和颜亨梅, 1996; 张古忍等, 1997), 不能准确估算害虫对水稻的危害程度和蜘蛛对害虫的捕食控制能

力, 只有定量分析以蜘蛛为中心的食物链营养关系才能为“以蛛治虫”提供科学的依据。为此, 本研究采用荧光物示踪技术 (王洪全等, 2001) 定量测定该食物链在早稻抽穗期和乳熟期的物质流动情况, 分析了该食物链的营养物质流动规律, 并结合田间调查数据, 估算出白背飞虱在早稻期间的危害程度以及拟水狼蛛对白背飞虱的控制能力。

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (39830040)

作者简介: 文斗斗, 女, 24 岁, 硕士研究生, 研究方向为动物生态学, E-mail: doudou2177@yahoo.com

* 通讯作者 Author for correspondence

收稿日期 Received: 2002-05-14; 接受日期 Accepted: 2003-01-17

1 材料与方方法

1.1 水稻品种

广陆矮 4 号。

1.2 稻虫、蜘蛛来源及处理方法

将长沙市郊水稻田中捕回的白背飞虱进行饲养, 取所需龄期的稻虫; 拟水狼蛛从长沙市郊水稻田中捕回, 饥饿处理 48 h 后投放。

1.3 测定方法

水稻设 3 个质量浓度处理组 (20 mg/L、50 mg/L 和 100 mg/L) 和 1 个空白对照组, 每组 3 个重复, 栽种于直径 25 cm 的塑料桶中, 每桶 3 蔸。标记荧光物以离子态施入土壤中, 水稻从根系吸收。(胡霁堂等, 2000; 邢廷铄等, 2000) 按水稻生育期取材, 所取材料去根后从叶鞘处分为茎与叶两部分, 各称取鲜重 2 g, 入恒温箱中烘至恒重。

取与田间调查数据相应虫龄的白背飞虱 (抽穗期 20 头/笼, 乳熟期 30 头/笼) 投入高 1 m, 直径 26 cm 的自制圆形纱笼网罩中, 统一摄食时间为 72 h。回收的稻虫分为两部分, 其中 10 头用于测定, 其余部分投入 250 mL 烧杯中模拟其生态环境, 供拟水狼蛛捕食。取统一龄期为 3~4 龄的蜘蛛饥饿处理 48 h 后投入上述烧杯, 每个烧杯中放 1 头蜘蛛, 每个浓度组 3 个重复, 统一捕食时间为 48 h。将回收所得的白背飞虱和拟水狼蛛称得鲜重, 然后入 80℃ 恒温箱中处理 1 h, 称得干重。将烘干的水稻、稻虫和稻田蜘蛛装在小瓷坩埚中入马弗氏炉中 800℃ 高温灰化处理 1 h, 而后用荧光物质示踪测定方法处理, 经 RF-5301PC 岛津荧光分光光度计测得其荧光强度值, 结合空白对照组数据与该荧光物标准曲线回归方程 $y = -0.8344 + 177.0988x$ (见中华人民共和国知识产权局专利公开号: CN 1316642A) 得工作曲线, 再依据工作曲线求得荧光物的含量 (μg), 由此可得水稻荧光物含量, 白背飞虱在单位

时间内的摄取水稻量和拟水狼蛛的捕虫量, 以此评价稻虫对水稻的危害程度以及蜘蛛对稻虫的控制能力。

1.4 统计方法

用 SPSS10.0 for Windows 进行统计学分析。所得数据符合正态分布, 经 Bartlett 检验, 方差齐性后, One-way Anova 和 TTEST 双尾检测。根据平均值绘制统计图。

2 结果

2.1 早稻抽穗期水稻-白背飞虱-拟水狼蛛食物链各营养级荧光物含量

2.1.1 早稻抽穗期水稻对荧光物的吸收情况: 根据空白对照组数据作工作曲线 $y = 0.811 + 177.0988x$, 得水稻荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$), 其值随所施荧光物质量浓度的增高而显著递增, 3 个浓度组差异显著 ($P < 0.05$)。各组浓度的水稻茎荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$) 均高于叶的含量, 经 TTEST 检验差异显著 ($P = 0.021, P < 0.05$) (图 1, 表 1)。

2.1.2 早稻抽穗期白背飞虱摄食量: 根据空白对照组数据作工作曲线 $y = 1.056 + 177.0988x$, 得白背飞虱的荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$), 其值随所施荧光物浓度的增高而递增, 3 个浓度组间差异显著 ($P < 0.05$) (图 2)。将白背飞虱的荧光物含量除以水稻的数值 (因早稻抽穗期白背飞虱主要危害水稻茎部, 故仅取茎的数据), 得白背飞虱取食水稻量 (g), 3 组浓度的数值基本一致, 差异不显著 ($P > 0.05$) (表 1), 这说明 3 种不同的荧光物浓度对白背飞虱的摄食生理机能无大影响, 通过荧光物示踪的方法可以较真实反映稻虫的摄食危害情况。平均 3 组浓度数值可得: 每克白背飞虱每 24 h 取食水稻 11.363 g, 根据早稻抽穗期白背飞虱田间调查虫龄比 (表 4) 平均每头白背飞虱每 24 h 取食水稻 0.0636 g。

表 1 早稻抽穗期白背飞虱对不同荧光物浓度水稻的取食量比较

Table 1 Comparison of the fluorescent substance content of *S. furcifera* at different concentrations in the rice tasseling stage

	处理浓度 Fluorescent substance concentration			空白对照组荧光强度
	20 mg/L	50 mg/L	100 mg/L	Contrast
水稻荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$)	0.0978	0.1810	0.2556	0.0811
fluorescent substance content of rice				
白背飞虱荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$)	3.0526	6.3735	9.2981	1.056
fluorescent substance content of <i>S. furcifera</i>				
白背飞虱摄食水稻量 (g)	30.667	35.212	36.391	-
rice consumption by <i>S. furcifera</i>				

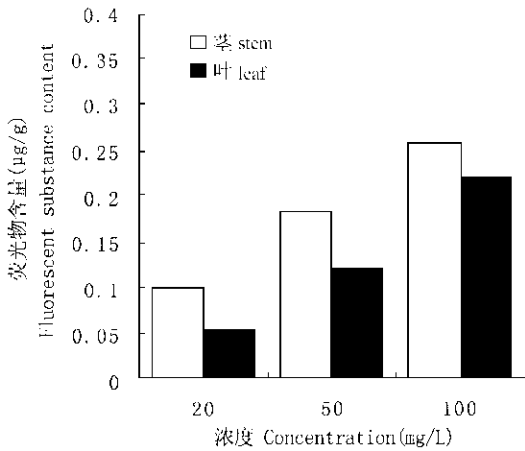
图1 早稻抽穗期水稻荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$)

Fig. 1 The fluorescent substance content of rice in the tasseling stage ($\mu\text{g/g}$)

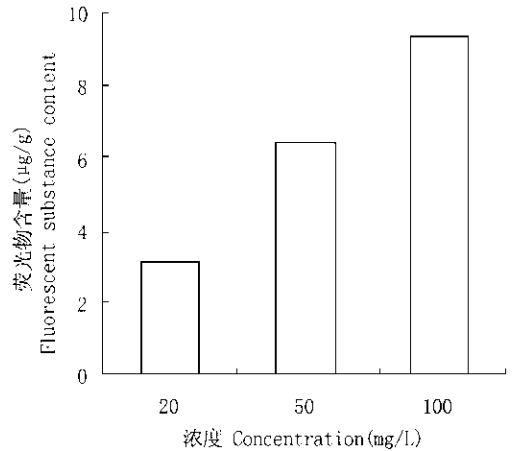
图2 早稻抽穗期白背飞虱荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$)

Fig. 2 The fluorescent substance content of *S. furcifera* in the tasseling stage ($\mu\text{g/g}$)

2.1.3 早稻抽穗期拟水狼蛛摄食量: 根据空白对照组数据作工作曲线 $y = 1.731 + 177.0988x$, 得早稻抽穗期拟水狼蛛荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$), 其值随所施荧光物浓度的增高而递增, 3 个浓度组间差异显著 ($P < 0.05$) (图 3)。将拟水狼蛛荧光物含量

($\mu\text{g/g}$) 除以白背飞虱的数值得拟水狼蛛的捕食稻虫量 (g), 3 组浓度的数值差异不显著 ($P > 0.05$) (表 2), 平均可得: 每克拟水狼蛛每 24 h 捕食白背飞虱 2.24 g, 平均每头拟水狼蛛每 24 h 捕食白背飞虱 0.0336 g, 约 6~7 头白背飞虱。

表 2 早稻抽穗期拟水狼蛛不同荧光物浓度捕食白背飞虱量比较

Table 2 Comparison of the fluorescent substance content of *P. subpiraticus* at different concentrations in the rice tasseling stage

	处理浓度 Fluorescent substance concentration			空白对照组荧光强度
	20 mg/L	50 mg/L	100 mg/L	Contrast
白背飞虱荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$) fluorescent substance content of <i>S. furcifera</i>	3.0526	6.3735	9.2981	1.056
拟水狼蛛荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$) fluorescent substance content of <i>P. subpiraticus</i>	13.652	28.359	41.873	1.731
拟水狼蛛捕食稻虫量 (g) consumption of <i>S. furcifera</i> by <i>P. subpiraticus</i>	4.4723	4.4495	4.5034	-

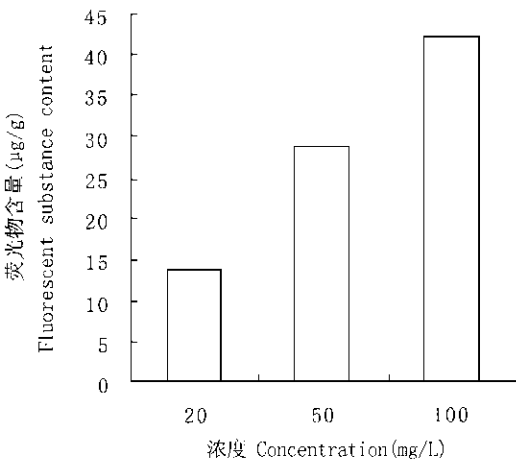
图3 早稻抽穗期拟水狼蛛荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$)

Fig. 3 The fluorescent substance content of *P. subpiraticus* in the tasseling stage ($\mu\text{g/g}$)

2.2 早稻乳熟期水稻-白背飞虱-拟水狼蛛食物链中各营养级荧光物含量

2.2.1 早稻乳熟期水稻对荧光物的吸收情况: 根据空白对照组数据作工作曲线 $y = 0.521 + 177.0988x$, 得乳熟期水稻荧光物含量, 其值随所施荧光物浓度的增高而递增 (图 4), 3 个浓度组间的差异均达到显著水平 ($P < 0.05$), 水稻茎荧光物含量高于水稻叶部分 (包括穗子), 经 TTEST 检验差异显著 ($P = 0.046$, $P < 0.05$)。

2.2.2 早稻乳熟期白背飞虱摄食量: 根据空白对照组数据作工作曲线 $y = 1.368 + 177.0988x$, 得白背飞虱的荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$), 其值随所施荧光物浓度的增高而递增, 差异显著 ($P < 0.05$) (图 5)。将白背飞虱的荧光物含量除以水稻的数值 (因为在

乳熟期白背飞虱危害水稻部位向叶有所转移, 故水稻浓度背景值取茎, 叶各 50%) 得其水稻摄食量, 3 个浓度组差异不显著 ($P > 0.05$), 平均每克白背飞虱每 24 h 摄食水稻 11.9483 g, 根据早稻田田间调查数据 (表 4) 平均每头白背飞虱每 24 h 摄食水稻 0.0155 g。

2.2.3 早稻乳熟期拟水狼蛛摄食量: 根据空白对照组数据作工作曲线 $y = 1.985 + 177.0988x$, 得拟

水狼蛛的荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$), 其值随所施荧光物浓度的增高而递增, 差异显著 ($P < 0.05$) (图 6)。将拟水狼蛛的荧光物含量除以白背飞虱的数值得其捕食稻虫量 (表 5), 3 个浓度组差异不显著 ($P > 0.05$) 平均可得: 每克拟水狼蛛每 24 h 捕食白背飞虱 2.773 g, 平均每头拟水狼蛛每 24 h 捕食白背飞虱 0.0416 g, 约 16 头白背飞虱。

表 3 早稻乳熟期白背飞虱对不同荧光物浓度水稻取食量比较

Table 3 Comparison of fluorescent substance content of *S. furcifera* at different concentrations in the rice maturing stage

	处理浓度 Fluorescent substance concentration			空白对照组荧光强度 Contrast
	20 mg/L	50 mg/L	100 mg/L	
水稻荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$) fluorescent substance content of rice	0.1248	0.1354	0.1599	0.521
白背飞虱荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$) fluorescent substance content of <i>S. furcifera</i>	3.8866	4.8665	6.2242	1.368
白背飞虱取食水稻量 (g) rice consumption by <i>S. furcifera</i>	31.1427	35.9418	38.9256	-

表 4 早稻抽穗期和乳熟期田间白背飞虱调查表 (单位: 头/50 茏)

Table 4 Life-history of *S. furcifera* during the tasseling and maturing stages

	1 龄若虫 1st instar	2 龄若虫 2nd instar	3 龄若虫 3rd instar	4 龄若虫 4th instar	5 龄若虫 5th instar	短翅型成虫 Short-wing imagines	长翅型成虫 Long-wing imagines	总数 Sum	平均鲜重 FW (g)
抽穗期 tasseling stage	4	5.7	2.7	26.3	26.7	15.7	11	92.1	0.0056
乳熟期 maturing stage	295.7	5.7	0	0	58.7	7	20.2	387.3	0.0013

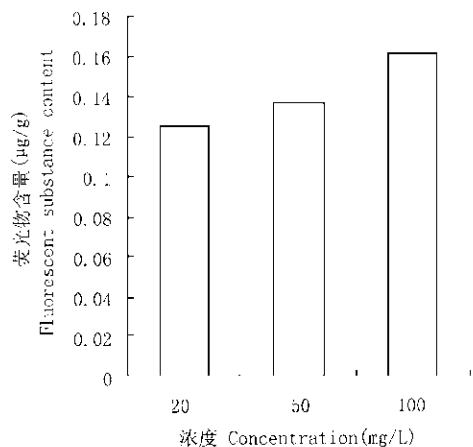


图 4 早稻乳熟期水稻荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$)

Fig. 4 The fluorescent substance content of rice in the maturing stage ($\mu\text{g/g}$)

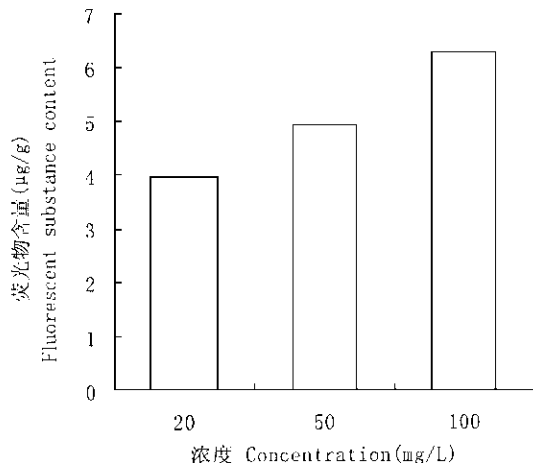


图 5 早稻乳熟期白背飞虱荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$)

Fig. 5 The fluorescent substance content of *S. furcifera* in the maturing stage ($\mu\text{g/g}$)

表5 早稻乳熟期拟水狼蛛不同荧光物浓度组捕食白背飞虱量比较
Table 5 The comparing of the fluorescent substance content of *P. subpiraticus* in the different concentration group in the maturing stage

	处理浓度 Fluorescent substance concentration			空白对照组荧光强度
	20 mg/L	50 mg/L	100 mg/L	Contrast
白背飞虱荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$) fluorescent substance content of <i>S. furcifera</i>	3.8866	4.8665	6.2242	1.368
拟水狼蛛荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$) fluorescent substance content of <i>P. subpiraticus</i>	21.531	26.996	34.603	1.985
拟水狼蛛捕食稻虫量 (g) consumption of <i>S. furcifera</i> by <i>P. subpiraticus</i>	5.5398	5.5473	5.5594	-

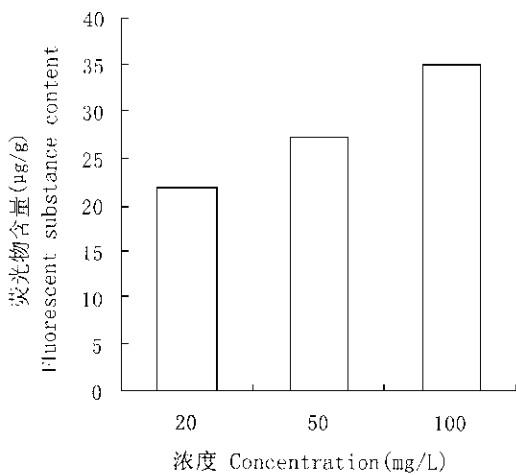


图6 早稻乳熟期拟水狼蛛荧光物含量 ($\mu\text{g/g}$)
Fig. 6 The fluorescent substance concentration of *P. subpiraticus* in the maturing stage ($\mu\text{g/g}$)

3 讨论

以上结果表明：在早稻抽穗期每克白背飞虱每24 h取食水稻11.363 g，折合每头白背飞虱每24 h取食水稻0.0636 g；每克拟水狼蛛每24 h捕食白背飞虱2.24 g，平均每头拟水狼蛛每24 h捕食白背飞虱0.0336 g，约6~7头。在早稻乳熟期每克白背飞虱每24 h取食水稻11.9483 g，折合每头白背飞虱每24 h取食水稻0.0115 g；每克拟水狼蛛每24 h捕食白背飞虱2.773 g，平均每头拟水狼蛛每24 h捕食白背飞虱0.0416 g，约16头。

与早稻抽穗期白背飞虱的摄食量相比，乳熟期每克白背飞虱数的水稻摄食量高于抽穗期，TTEST检验差异显著。参考田间调查数据（见表4）可知造成这种差异的原因在于稻虫虫龄比的变动：乳熟期的1龄和2龄若虫占总虫数的72.2%，远远高于

抽穗期13.2%的比值。1~2龄若虫处于身体快速生长期，同化作用远大于异化作用，而其鲜重仅为其他虫龄稻虫的1/10至1/3，所以较其他虫龄稻虫有更高的荧光物含量。与早稻抽穗期相比，在乳熟期拟水狼蛛的荧光捕食量显著高于抽穗期，捕虫数目亦有显著上升。造成这种差异的原因主要在于乳熟期的1~2龄若虫比例高达72.2%，对于游猎型的拟水狼蛛来说，移动范围小，个体小的1~2龄若虫更易于捕食，所以拟水狼蛛乳熟期的摄食量显著高于抽穗期。结合田间调查数据可知乳熟期虫口密度约为抽穗期的4倍，因此白背飞虱在早稻乳熟期的危害要大于抽穗期。拟水狼蛛对白背飞虱的捕食量乳熟期亦高于抽穗期，这是与食物链物质流动规律相符合的。

稻田生态系统中各营养级间关系错综复杂，本研究仅对水稻-白背飞虱-拟水狼蛛单一食物链营养关系进行了测定，欲对稻田生态系统物质流动有一个系统描述需进一步研究。

参 考 文 献 (References)

- Hu A T, Zhou Q S, Zheng S J, 2000. The distributive behavior of rare earth elements in wheat. *Acta Ecology Sinica*, 20 (4): 639 - 645. [胡霁堂, 周权锁, 郑绍健, 2000. 稀土元素在小麦体内分配行为的研究. *生态学报*, 20 (4): 639 - 645]
- Wang H Q, Yan H M, 1996. Research on the utilization and ecology of paddy field spiders. *Scientia Agricultura Sinica*, 29 (5): 68 - 75. [王洪全, 颜亨梅, 1996. 中国稻田蜘蛛生态与利用研究. *中国农业科学*, 29 (5): 68 - 75]
- Wang H Q, Yang H M, Li C Z, Zhu Z R, He Y Y, Hu Z Q, Yan H M, Li H H, 2001. The Method of Quantitative Analysis on the Flow of Labeled Substance through Food Chain. Beijing: Knowledge Property Right Press. [王洪全, 杨海明, 李承志, 朱泽瑞, 贺一原, 胡自强, 颜亨梅, 黎红辉, 2001. 食物链传递定量分析法. 北京: 知识产权出版社]

Xing T X, Li L L, Peng Y, 2000. Study on contents of the trace elements in the soil-crop-animal ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 19 (2): 24-30. [邢廷铤, 李立丽, 彭艺, 2000. 土壤-作物-动物生态体系中微量元素含量. 生态学杂志, 19 (2): 24-30]

Zhang G R, Zhang W Q, Gu D X, 1997. Application of ELISA method for

determining control effects of predatory arthropods on rice planthoppers in rice field. *Acta Entomologica Sinica*, 40 (2): 171-176. [张古忍, 张文庆, 古德祥, 1997. 用 ELISA 研究稻田节肢类捕食者对稻飞虱的捕食作用. 昆虫学报, 40 (2): 171-176]