

# 水稻与褐飞虱互作过程中虫体内类酵母共生菌的个体大小及数量变化

陈法军<sup>1,2</sup>, 张珏锋<sup>1</sup>, 陈建明<sup>1</sup>, 郑许松<sup>1</sup>, 陈列忠<sup>1</sup>, 俞晓平<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>浙江省农业科学院 植物保护与微生物研究所, 浙江 杭州 310021; <sup>2</sup>浙江大学 应用昆虫学研究所, 浙江 杭州 310029)

**摘要** 褐飞虱腹部脂肪体内普遍存在类酵母共生菌, 该类共生菌在虫体的生理代谢和营养利用等方面意义重大。研究采用冷冻切片技术结合显微摄像系统观察法测定了褐飞虱与水稻互作过程中虫体内共生菌的个体大小, 并通过“血球记数法”测定了虫体内该类共生菌的含量。与取食感虫品种水稻 TN1 的褐飞虱相比, 取食抗性水稻品种 IR26(*Bph1*) 和 IR36(*bph2*) 的褐飞虱体内共生菌的长度分别降低 23.2%~24.4% 和 18.0%~32.7%, 宽度分别降低 24.4%~28.8% 和 8.6%~30.6%。取食抗性水稻品种的褐飞虱体内共生菌数量都显著下降。其中, 连续取食 IR26 二代后褐飞虱体内共生菌显著降低, 第三代后虫体内共生菌数量又有所回升。说明抗性水稻品种与褐飞虱互作会导致虫体内类酵母共生菌的发育变小、数量减少。

**关键词** 褐飞虱; 类酵母共生菌; 水稻品种; 个体大小; 数量

中图分类号: S435.115

文献标识码: A

文章编号: 1004-1524(2006)05-0294-05

## Change in size and abundance of the yeast-like endosymbiote during the interaction between brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), and resistant-variety rice

CHEN Fa-jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Jue-feng<sup>1</sup>, CHEN Jian-ming<sup>1</sup>, ZHENG Xu-song<sup>1</sup>, CHEN Lie-zhong<sup>1</sup>, YU Xiao-Ping<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Science, Hangzhou 310021, China; <sup>2</sup>Institute of Applied Entomology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract** There are mass of yeast-like endosymbiote (YLES) in abdomen fat body of brown planthopper (BPH) *Nilaparvata lugens* (Stål), which plays vital physiological and nutritional roles on the BPH. In this study, the effects of the interaction between BPH and BPH-resistant rice (cv. IR26 with *Bph1* and cv. IR36 with *bph2* vs. the susceptible cv. TN1) on size and abundance of YLES were studied by the cryostat microtome method in combination with the photomicrography and by using the haemocytometer. Compared with the length and width of YLES in BPH reared on susceptible-variety rice TN1, the length of YLES decreased with 23.2%–24.4% and 18.0%–32.7%, the width of YLES decreased with 24.4%–28.8% and 8.6%–30.6%, respectively, when BPH fed on IR26 and IR36 for three successive generations. And the abundance of YLES also significantly decreased when BPH fed on IR26 and IR36 relative to TN1. Moreover, there was the lowest abundance of YLES after BPH fed on IR26 for two generations, and the abundance of YLES increased after the third generation. It is presumed that the interaction between BPH and BPH-resistant rice may result in smaller YLES and less abundance of YLES.

**Key words**: *Nilaparvata lugens*; yeast-like endosymbiote; rice variety; individual size; abundance

收稿日期: 2006-05-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(30270199 和 30470227); 中国博士后科学基金项目(2005038291); 浙江省博士后择优项目(2004BSH009) 浙江省自然科学基金(Y305630, Y304400)

作者简介: 陈法军(1974-)男, 山东省济阳县人, 博士, 主要从事昆虫生态学研究。现工作单位: 南京农业大学植保学院昆虫系。E-mail: fajunchen@njau.edu.cn

\* 通讯作者 E-mail: yuxiaoping@sina.com

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 是我国及东南亚地区水稻上的主要害虫。该虫不仅通过直接取食造成严重减产,也作为植物病毒的媒介造成间接性危害<sup>[1]</sup>。利用抗虫基因培育和推广抗性品种是综合治理褐飞虱的优先策略<sup>[2]</sup>。然而,褐飞虱对抗性水稻品种具有很强的适应能力,长期连续种植抗性水稻品种易使褐飞虱产生新的致害性,这给抗性水稻品种的选育和推广构成了严重的威胁<sup>[3,4]</sup>。故此,明确褐飞虱致害性产生原因,对于延长抗性品种的使用寿命和可持续利用具有重要意义。

共生微生物总是与特定的汁液取食紧密联系的<sup>[5,6]</sup>,作为刺吸危害水稻汁液的主要害虫之一,褐飞虱体内也存在共生菌,即通常所讲的类酵母共生菌<sup>[7,8]</sup>。该类共生菌主要为寄主褐飞虱提供营养物质以补充宿主不平衡食物中所缺乏的营养,如含有高活性的尿酸酶,以利用褐飞虱的代谢氮废物(尿酸等)合成必需氨基酸供寄主生长发育<sup>[9]</sup>。此外,在褐飞虱对水稻营养物质的吸收和利用过程中也起着重要作用<sup>[10-12]</sup>。徐红星等<sup>[13]</sup>研究指出杀虫剂可降低褐飞虱成虫体内共生菌的数量,降幅达 50% 以上。而水稻品种抗性对褐飞虱体内共生菌的数量也有较明显影响,如取食抗性水稻后共生菌数量急剧减少<sup>[14-17]</sup>。其中,第 2 代是褐飞虱适应抗性水稻品种的关键世代,体内共生菌数量达到最低点;至第 3 代起,共生菌数量又开始回升。当体内共生菌的数量达到稳定之后,新的致害性种群形成,并且可以将这种性质稳定遗传给子代<sup>[18]</sup>。这均表明褐飞虱体内的共生菌与褐飞虱对抗性水稻品种的致害性差异间存在极为密切的关系。

本研究利用抗性水稻品种(R26 和 IR36),通过继代饲养的方法连续饲养生物型 I 褐飞虱种群(室内在感虫品种 TN1 水稻上继代饲养 15 代以上的实验种群),以测定抗性水稻品种与褐飞虱互作过程中虫体内类酵母共生菌的个体大小和数量变化,进一步明确该类共生菌与褐飞虱对抗性水稻品种的致害性差异间的密切关系。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试水稻

抗性水稻品种为含不同抗虫基因的水稻品种 IR26(含 *Bph1* 基因)和 IR36(含 *bph2* 基因),感虫品种水稻 TN1 作为对照品种,均来自国际水稻研究所。

### 1.2 供试褐飞虱

对照褐飞虱种群取自本实验室长期在感虫品种水稻 TN1(盆栽的 60 日龄稻苗)上连续继代饲养 15 代的实验种群。

### 1.3 试验处理

取对照褐飞虱种群分别接种于盆栽 60 日龄的 TN1, IR26 和 IR36 水稻苗上,置于温室内饲养。成虫产卵后,剥取卵块置于(26 ± 1)°C 的生化培养箱(DNP-9272;上海精虹电子有限公司)中至孵化。将初孵若虫再接种于各自的 60 日龄稻苗上,连续继代饲养 3 个世代。每个世代随机取刚羽化的褐飞虱雌、雄成虫各 100 头,50 头用于冷冻切片试验以测定个体大小,另 50 头称重、匀浆后测定单位(g)虫体内共生菌的含量。

冷冻切片机的参数设置、样品处理及结晶紫染色过程等详见陈法军等<sup>[19]</sup>。处理后的玻片于室内风干后在显微镜(Leica DMLS2; German)下观察、拍照(Leica DFC320; German),随机测定褐飞虱体内共生菌的长、宽度。实际测定中取已芽殖的成熟个体。褐飞虱体内的类酵母共生菌的分离和数量测定方法详见陈法军等<sup>[20]</sup>。

### 1.4 统计分析

采用三因子方差分析(SAS 6.12)统计不同处理、性别和世代间褐飞虱体内共生菌的长、宽度和数量差异。统计分析前先将数据进行对数转换以符合正态分布假设。同一世代、不同水稻品种处理间,同一水稻品种、不同世代间褐飞虱体内共生菌的长、宽度和数量间的差异显著性检验采用 Duncan 检验( $P < 0.05$ );同一世代、同一水稻品种处理雌、雄褐飞虱体内共生菌的长、宽度和数量间差异显著性采用 *t* 检验( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 褐飞虱成虫体内的类酵母共生菌的长、宽度指标

表 1 表明,不同水稻品种处理、性别和世代

间褐飞虱成虫体内共生菌的大小存在显著差异 ( $P < 0.001$ )。对共生菌的长、宽度指标而言,水稻品种与性别和世代间均存在显著的交互作用 ( $P < 0.001$ );此外,三种因子间对共生菌的长度 ( $P < 0.01$ )和宽度( $P < 0.001$ )指标还存在显著的交互作用。

表 1 水稻品种、饲养代数及性别三因子对褐飞虱类酵母共生菌影响的方差分析表(  $P$  值 )

Table 1 Effects of rice variety, number of reared generation and sex of brown planthopper ( BPH ), *Nilaparvata lugens*, on yeast-like endosymbiote ( YLES) in BPH ( Three-way ANOVAS ;  $P$  value )

作用因子	YLES/ $\mu\text{m}$		每 g BPH 体内 YLES 数量( 常用对数转换 )
	长度	宽度	
<sup>a</sup> Sex	< 0.001	< 0.001	< 0.001
<sup>b</sup> Gen	< 0.001	< 0.001	0.12
<sup>c</sup> Rice variety	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Sex $\times$ Gen	0.14	0.18	0.66
Sex $\times$ Rice variety	< 0.001	< 0.001	0.95
Gen $\times$ Rice variety	< 0.001	< 0.001	0.15
SexGen $\times$ Rice variety	0.0011	< 0.001	0.84

注 :YLES ,yeast-like endosymbiote( 类酵母共生菌 ) ;BPH ,brown planthopper( 褐飞虱 )。 <sup>a</sup>Sex ( 性别 :雌成虫和雄成虫 ) , <sup>b</sup>Gen ( 世代 :第一代、第二代和第三代 ) , <sup>c</sup>Rice variety ( 水稻品种 : TN1、IR26 和 IR36 )。下同。

由表 2 得知,取食抗性水稻品种的过程中,褐飞虱体内共生菌的个体发育变小。与取食 TN1 的褐飞虱相比,取食 IR26 和 IR36 的褐飞虱

体内共生菌的长度分别降低 23.2% ~ 24.4% ( IR26 )和 18.0% ~ 32.7%( IR36 ),宽度分别降低 24.4% ~ 28.8%( R26 )和 8.6% ~ 30.6%( IR36 )。除取食三种水稻的第一代褐飞虱雄成虫体内共生菌的宽度指标外,取食抗性水稻品种( IR26 和 IR36 )均显著降低雌、雄成虫体内共生菌的长、宽度指标(  $P < 0.05$  ),此外,取食 IR36 两个世代后,其雌、雄成虫体内共生菌的长度指标和雌虫体内共生菌的宽度指标都显著降低(  $P < 0.05$  )。同时,取食 IR26 两个世代后其雄虫体内共生菌的宽度指标也显著降低(  $P < 0.05$  )。此外,同一水稻品种处理、同一世代褐飞虱雌虫体内共生菌的长、宽度指标都明显大于雄虫体内共生菌个体。

2.2 褐飞虱成虫体内的类酵母共生菌的数量差异

不同水稻品种处理和性别间褐飞虱成虫体内共生菌的数量存在显著差异(  $P < 0.001$ , 表 1 )。与取食 TN1 的褐飞虱相比,取食抗性水稻品种( IR26 和 IR36 )的褐飞虱体内共生菌的数量显著下降(  $P < 0.05$ , 表 3 )。同一水稻品种处理、同一世代褐飞虱雌成虫体内共生菌的数量均显著大于雄虫体内该类共生菌的数量(  $P < 0.05$ , 表 3 )。此外,连续取食 IR26 二代后褐飞虱雌虫体内共生菌的数量显著降低(  $P < 0.05$  ),第三代雌虫体内共生菌的数量又较第二代雌性个体内共生菌数量有所回升,但增加不显著(  $P > 0.05$ , 表 3 )。

表 2 褐飞虱与抗性水稻品种( IR26 和 IR36 vs. TN1 ,对照品种为感虫水稻 TN1 )互作过程中其成虫体内的类酵母共生菌的个体大小差异

Table 2 Changes in individual size of yeast-like endosymbiote during the interaction between brown planthopper ( BPH ), *Nilaparvata lugens* and BPH-resistant rice ( cv. IR26 and IR36 vs. the susceptible cv. TN1 )

世代	水稻品种	类酵母共生菌的长度/ $\mu\text{m}$		$t$ 检验 ( $P$ 值 )	类酵母共生菌的宽度/ $\mu\text{m}$		$t$ 检验 ( $P$ 值 )
		♀	♂		♀	♂	
第 1 代	TN1	14.46 $\pm$ 0.94 a, A	12.89 $\pm$ 0.76 a, A	< 0.001	4.32 $\pm$ 0.23 a, A	3.79 $\pm$ 0.14 a, A	< 0.001
	IR26	11.01 $\pm$ 0.91 c, A	10.72 $\pm$ 0.94 b, A	0.470	3.09 $\pm$ 0.31 c, A	3.46 $\pm$ 0.69 a, A	0.10
	IR36	11.86 $\pm$ 0.33 b, A	10.35 $\pm$ 0.75 b, A	< 0.001	3.95 $\pm$ 0.45 b, A	3.53 $\pm$ 0.51 a, A	0.009
第 2 代	TN1	14.39 $\pm$ 0.69 a, A	12.86 $\pm$ 0.73 a, A	< 0.001	4.21 $\pm$ 0.32 a, A	3.67 $\pm$ 0.21 a, B	< 0.001
	IR26	10.88 $\pm$ 0.71 b, A	10.61 $\pm$ 1.04 b, A	0.360	3.00 $\pm$ 0.19 b, A	3.07 $\pm$ 0.28 b, B	0.34
	IR36	9.68 $\pm$ 0.28 c, B	9.17 $\pm$ 0.12 c, B	0.004	2.92 $\pm$ 0.15 b, B	3.03 $\pm$ 0.12 b, A	0.22
第 3 代	TN1	14.30 $\pm$ 0.63 a, A	13.03 $\pm$ 0.64 a, A	< 0.001	3.96 $\pm$ 0.23 a, B	3.55 $\pm$ 0.15 a, B	< 0.001
	IR26	10.99 $\pm$ 0.37 b, A	10.10 $\pm$ 0.40 b, A	< 0.001	2.99 $\pm$ 0.16 b, A	3.01 $\pm$ 0.15 b, B	0.73
	IR36	9.66 $\pm$ 0.30 c, B	9.95 $\pm$ 0.15 b, AB	0.130	2.90 $\pm$ 0.15 b, B	3.39 $\pm$ 0.08 c, A	< 0.001

注 :新复极差检验(  $P < 0.05$  )没有相同小写字母表示同一世代不同水稻品种处理间差异显著,没有相同大写字母表示同一水稻品种处理的不同世代间差异显著; $t$  检验表示同一世代、同一水稻品种处理雌、雄个体间体内共生菌的长度/宽度的差异性检验。

表3 褐飞虱与抗性水稻品种互作过程中其成虫体内类酵母共生菌的数量变化

Table 3 Changes in abundance of yeast-like endosymbiote during the interaction between brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* and BPH-resistant rice varieties (cv. IR26 and IR36 vs. the susceptible cv. TN1)

世代	水稻品种	每g虫体内共生菌的数量(常用对数转换)		t检验 (P值)
		♀	♂	
第1代	TN1	7.86 ± 0.02 a, A	7.71 ± 0.03 a, A	< 0.001
	IR26	7.66 ± 0.05 b, A	7.52 ± 0.03 b, A	< 0.001
	IR36	7.63 ± 0.04 b, A	7.51 ± 0.05 b, A	< 0.001
第2代	TN1	7.84 ± 0.04 a, A	7.74 ± 0.07 a, A	0.012
	IR26	7.60 ± 0.04 b, B	7.49 ± 0.04 b, A	< 0.001
	IR36	7.64 ± 0.02 b, A	7.51 ± 0.05 b, A	< 0.001
第3代	TN1	7.85 ± 0.04 a, A	7.72 ± 0.05 a, A	< 0.001
	IR26	7.61 ± 0.04 b, AB	7.47 ± 0.06 b, A	< 0.001
	IR36	7.63 ± 0.05 b, A	7.50 ± 0.02 b, A	< 0.001

注: t 检验表示同一世代、同一水稻品种处理雌、雄个体间体内共生菌的数量差异性检验

### 3 讨论

微生物的世代交替时间短, 基因组成相对简单, 因而具有遗传基因易变的特点。在外界条件发生变化的情况下, 类酵母菌相比寄主褐飞虱更容易发生变异或突变。以往的研究已经证明类酵母菌在褐飞虱对水稻营养物质的吸收和利用过程中起着重要作用, 褐飞虱种群对抗性水稻品种的致害性变化往往伴随着体内共生菌的变化<sup>[14, 16, 21]</sup>。

已有研究证明水稻品种抗性对褐飞虱体内共生菌的数量有明显影响, 如取食抗性水稻品种(Mudgo 含 *Bph1* 抗虱基因和 ASD7 含 *bph2* 抗虱基因)后共生菌数量急剧减少; 其中, 第2代是褐飞虱适应抗性水稻品种的关键代, 体内共生菌数量达到最低点, 至第3代起虫体内共生菌数量又开始回升<sup>[16]</sup>。本研究结果得出, 抗性水稻品种(IR26 含 *Bph1* 抗虱基因和 IR36 含 *bph2* 抗虱基因)可显著降低褐飞虱体内的类酵母共生菌的个体大小; 同时, 具有世代效应, 即连续取食二三个世代后雌、雄虫体内共生菌的个体大小明显变小, 如连续取食 IR36 二代后, 其雌、雄成虫体内共生菌的长度指标和雌成虫体内共生菌的宽度指标都显著降低 ( $P < 0.05$ ), 连续取食 IR26 两个世代后, 其雄成虫体内共生菌的宽度指标也显

著降低 ( $P < 0.05$ )。此外, 该类共生菌的个体大小还存在显著的性别效应, 即雌性体内的类酵母共生菌明显大于雄性个体内的该类共生菌。

另一方面, 连续取食抗性水稻品种(IR26 和 IR36)二三个世代后, 褐飞虱体内共生菌的数量均显著降低, 与吕仲贤等<sup>[14~16, 18]</sup>的试验结果一致, 这也充分显示因褐飞虱取食抗性水稻品种(如 IR26 和 IR36)而对其体内类酵母共生菌的生长发育和增殖的极大不利影响。同时, 还得出取食 IR26 的第三代褐飞虱雌成虫体内共生菌的数量较第二代雌性个体内共生菌数量有所回升, 但增幅不大。这也从另一个侧面显示该类共生菌对抗性水稻品种的快速适应能力。当然, 这还需要更进一步的试验研究来验证。

Treseder<sup>[22]</sup>研究指出共生菌以其短的生活史及其与寄主密切的营养共生关系使其对寄主所处环境变化的反应更敏感、适应更迅捷。在褐飞虱对抗性水稻品种互作过程中其体内的类酵母共生菌的个体发育变小和数量减少等情况下必然减弱“褐飞虱-共生菌”这一营养共生关系, 进而导致寄主昆虫对抗性水稻品种致害性(适应性)的降低。当然, 通过长期的继代取食, 褐飞虱体内共生菌可能产生变异或者适应品种的共生菌占优势。当体内共生菌的数量回升, 达到稳定之后, “褐飞虱-类酵母共生菌”这一营养共生体又恢复功能, 新的致害性种群形成。这都表明褐飞虱体内共生菌与褐飞虱对抗性水稻品种的致害性差异间可能存在着极为密切的关系。

### 参考文献:

- [1] 李汝铎, 丁锦华, 胡国文. 褐飞虱及其种群管理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1996.
- [2] 陶林勇, 俞晓平, 巫国瑞. 中国稻褐飞虱生物型的早期监测[J]. 中国农业科学, 1992, 25(3): 9-13.
- [3] 吕仲贤, 俞晓平, 陶林勇, 等. 褐飞虱虫源的致害特性研究[J]. 西南农业大学学报, 1998, 20(5): 446-449.
- [4] Lü ZX, Yu XP, Wu GR, et al. The virulence change and damage characteristics of various geographic populations of brown planthopper[J]. *Entomol Sin*, 1999, 6(2): 146-154.
- [5] Douglas AE. The nutritional quality of phloem sap utilized by natural aphid populations[J]. *Ecol Entomol*, 1993, 18: 31-38.
- [6] Douglas AE. Sulphate utilization in an aphid symbiosis[J]. *Insect Biochemistry*, 1998, 18: 599-605.
- [7] 陈法军, 张珏锋, 俞晓平. 稻飞虱酵母类胞内共生菌的组

织学研究进展[ J ]. 昆虫知识 , 2005 , 42 ( 6 ) : 607 - 611 .

[ 8 ] 王国超. 稻褐飞虱体内类酵母共生菌的营养功能及其分子基础的研究[ D ]. 北京 : 中国农业科学院博士学位论文 , 2005 , 34 - 39 . <http://210.22.176.35:83/mst.dll?DATABASE=CDDBFT&FMT=CDDBFTN&OP=I&MFN=446771>

[ 9 ] Hongoh Y , Ishikawa H . Uric acid as a nitrogen resource for the brown planthopper , *Nilaparvata lugens* : studies with synthetic diets and aposymbiotic insects[ J ]. *Zool Sci* , 1997 , 14 : 581 - 586 .

[ 10 ] Lee YH , Hou RF . Physiological roles of a yeast-like symbiote in reproduction and embryonic development of the brown planthopper , *Nilaparvata lugens* ( Stål ) [ J ]. *J Insect Physiol* , 1987 , 33 : 851 - 860 .

[ 11 ] 傅强 , 张志涛 , 胡萃 , 等 . 高温对酵母类共生菌和褐飞虱氨基酸需求的影响[ J ]. 昆虫学报 , 2001 , 44 ( 4 ) : 534 - 540 .

[ 12 ] 王国超 , 傅强 , 赖凤香 , 等 . 褐飞虱体内酵母共生菌与氨基酸营养的关系[ J ]. 昆虫学报 , 2005 , 48 ( 4 ) : 483 - 490 .

[ 13 ] 徐红星 , 董中华 . 杀虫剂对褐飞虱体内共生菌的影响[ J ]. 浙江农业学报 , 2000 , 12 ( 3 ) : 126 - 128 .

[ 14 ] 吕仲贤 , 俞晓平 , 陈建明 , 等 . 褐飞虱体内共生菌群及其与抗性水稻品种的关系[ A ]. 李典谟 . 走向 21 世纪的中国昆虫学[ M ]. 北京 : 中国科学出版社 . 2000 , 969 - 973 .

[ 15 ] 吕仲贤 , 俞晓平 , 陈建明 , 等 . 不同虫源和致害性的褐飞虱体内共生菌的种群动态[ J ]. 华东昆虫学报 , 2001 , 10 ( 1 ) : 44 - 49 .

[ 16 ] 吕仲贤 , 俞晓平 , 陈建明 , 等 . 共生菌在褐飞虱致害性变化中的作用[ J ]. 昆虫学报 , 2001 , 44 ( 2 ) : 197 - 204 .

[ 17 ] 吕仲贤 , 俞晓平 , 陈建明 , 等 . 共生菌对褐飞虱生长发育和繁殖的影响[ J ]. 植物保护学报 , 2001 , 28 ( 3 ) : 193 - 197 .

[ 18 ] Lü ZX , Yu XP , Chen JM , et al . Dynamics of yeast-like symbiote and its relationship with the virulence of brown planthopper , *Nilaparvata lugens* Stål , to resistant rice varieties[ J ]. *J Asia-Pacific Entomol* , 2004 , 7 ( 3 ) : 317 - 323 .

[ 19 ] 陈法军 , 张珏峰 , 夏湛恩 , 等 . 褐飞虱体内酵母类共生菌的形态观察[ J ]. 动物分类学报 , 2006 , 31 ( 1 ) : 55 - 62 .

[ 20 ] 陈法军 , 张珏峰 , 周彦铨 , 等 . 不同地理种群褐飞虱体内共生酵母菌的个体大小及数量差异[ J ]. 昆虫知识 , 2006 , 43 ( 4 ) : 460 - 465 .

[ 21 ] 张志涛 , 陈伟 , 姜人春 , 等 . 稻褐飞虱致害性的变化[ J ]. 昆虫学报 , 1997 , 40 ( S0 ) : 110 - 115 .

[ 22 ] Treseder KK A meta-analysis of mycorrhizal responses to nitrogen , phosphorus , and atmospheric CO<sub>2</sub> in field studies[ J ]. *New Phytology* , 2004 , 164 : 347 - 350 .

( 责任编辑 陈华平 )

## 特 别 提 醒

本刊增设新的投稿专用电子邮箱 [zjnynxb@126.com](mailto:zjnynxb@126.com)

为使稿件投寄更加顺畅、快捷、有效 , 本刊特增设投稿专用电子邮箱 E-mail : [zjnynxb@126.com](mailto:zjnynxb@126.com) , 即日起即可使用 . 原邮箱( [zjnynxb@zaas.org](mailto:zjnynxb@zaas.org) ) 仍然保留 , 作者可同时向两个邮箱发送 . 并寄纸样稿一式两份 ( 详见本刊投稿须知 ) 至本刊 , 务必在稿件首页脚注处注明联系电话、手机和 E-mail 地址 , 以便及时告知稿件处理情况 .

《浙江农业学报》编辑部