

# 水稻品种中抗褐飞虱抗原次生物质的分析\*

赵颖\* 黄凤宽 童晓立 凌冰 庞雄飞

(<sup>1</sup> 华南农业大学理学院应用化学系, 资源环境学院昆虫生态研究室, 广州 510642)

**【摘要】** 借助高效液相色谱(HPLC)技术,研究了130份对褐飞虱生物型II具有不同抗性水平的水稻样品(26个品种)中13个次生物质含量(峰面积)的差异;运用主成分分析和多元回归分析,建立了水稻品种抗性级别的预测模型:  $Y = 3.4593 - 0.02491X_1 + 0.08475X_2 - 0.04227X_8 + 0.1174X_{12}$ . 结果表明,水稻的抗性水平与峰面积值之间极显著相关( $r^2 = 0.84, P < 0.01$ ),峰1、峰2、峰8、峰12对应的次生化合物是影响水稻对褐飞虱生物型II抗性水平的主要抗原次生化合物;水稻品种中起抗虫作用的抗原次生物质不止一种,而是几种的组合,而且它们对水稻抗虫性的贡献权重是不完全相同的。

**关键词** 抗原次生物质 水稻 抗虫育种 高效液相色谱 褐飞虱

文章编号 1001-9332(2004)11-2161-04 中图分类号 Q946.8 文献标识码 A

**Secondary compounds in rice varieties resistant to *Nilaparvata lugens*.** ZHAO Ying, HUANG Fengkuan, TONG Xiaoli, LING Bing, PANG Xiongfei (Department of Chemistry, College of Sciences, Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China). - Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(11): 2161~2164.

By the method of high performance liquid chromatography (HPLC), this paper studied the contents of 13 secondary compounds from 130 samples of 26 rice varieties resistant to brown planthopper (BPH) *Nilaparvata lugens* biotype II. A prediction model was established through principal component analysis and multiple regression analysis:  $Y = 3.4593 - 0.02491X_1 + 0.08475X_2 - 0.04227X_8 + 0.1174X_{12}$ . The relationships between the BPH resistant level of rice varieties and the area values of chromatographic peaks were significant ( $r^2 = 0.84, P < 0.01$ ). The results demonstrated that Peak 1, Peak 2, Peak 8 and Peak 12 were the major secondary compounds affecting the resistance to BPH biotype II, which suggested that the BPH resistance of the varieties came from the action of several secondary compounds that varied in contribution to the resistance.

**Key words** Resistant secondary compounds, Rice, Resistant breeding to insects, HPLC, Brown planthopper.

## 1 引 言

作物抗虫性本质上是一个植物防御问题<sup>[18, 22]</sup>, 其中植物次生化合物起着重要的作用<sup>[6, 14, 17]</sup>. 从20世纪50年代发现抗多种病虫害的重要物质丁布(DIMBOA)等羟基脲酸类及其衍生物以来, 包括水稻在内的禾本科作物的抗原次生化合物的研究表明, 在禾本科作物中, 不同品种的抗性差异与植株中抗原次生化合物的含量高低有密切的关系<sup>[1, 15]</sup>. 1种次生物质可能同时与作物品种的抗草性、抗虫性和抗病性有关<sup>[16]</sup>; 作物品种中抗性水平也可能与多种抗原次生化合物有关, 它们的相互作用会影响到作物品种的抗性水平<sup>[2, 5]</sup>. 因此, 利用特征次生化合物作为标记来评价作物品种的抗性水平是可行的<sup>[13]</sup>. 在水稻化感潜力研究中, 抗草水稻品种中存在的糖甙黄酮、糖甙氧脲酸、间糖甙长链烃基苯酚等次生代谢物质被认为是与抗草有关的抗原次生化合物<sup>[7]</sup>. 然而, 次生化合物对抗性的重要性在以往的研究中并未充分揭示, 更未曾利用它们作为指标来

实际评价水稻品种对褐飞虱(*Nilaparvata lugens*)的抗性水平.

抗性品种的应用和推广一直是控制水稻褐飞虱种群发展的最经济有效而又不污染环境的办法, 而抗虫性的鉴定是一切抗虫育种研究的基础<sup>[9, 21, 22]</sup>. 无论是传统的杂交育种方法还是现代的转基因育种技术, 最终都要通过抗性鉴定来筛选抗性. 目前, 我国抗褐飞虱水稻品种的苗期筛选方法均采用国际水稻研究所(IRRI)的标准苗期集团筛选法(简称SSST法)<sup>[3, 11]</sup>, 虽然近年来国内外不少学者对此法作了修改<sup>[12, 19]</sup>, 但改不离宗, 抗虫性的筛选仍包括养虫、接虫、鉴定等环节, 费时费力, 而且抗虫鉴定还受虫源、气候、筛选方法等因素的干扰, 而影响鉴定结果. 因此, 寻求快速、简捷、准确、稳定的抗性鉴定新方法或新途径, 一直是各国抗性育种和昆虫学工

\* 国家自然科学基金重点项目(39930120)和华南农业大学校长基金资助项目(2002047).

\*\* 通讯联系人.

2003-10-12收稿, 2004-02-28接受.

作者所关注的焦点。

我们前期的研究发现,在抗虫和感虫水稻品种中,叶片组织中的一些次生化合物组合和含量都存在差异。因此,本研究借助 HPLC 技术检测水稻中的次生物质,同时考虑多种次生物质对水稻抗性的可能影响,运用多元分析方法,分析、鉴别和水稻对褐飞虱生物型 II 抗性水平密切相关的色谱峰,由此建立回归模型鉴定和预测水稻品种的抗性水平,指导抗性选育。

## 2 材料与方法

### 2.1 水稻品种

供试 130 份样品中的 20 个栽培稻品种均来源于广西农业科学院植物保护所抗虫育种课题组,6 个野生药稻品种由华南农业大学植物分子育种研究中心提供。品种苗期抗性级别鉴定采用已建立的方法<sup>[19]</sup>,并参照国际水稻所抗褐飞虱评级标准,即 0 级:免疫;1 级:高抗(0.1~1.9);3 级:抗(2.0~3.9);5 级:中抗(4.0~5.9);7 级:中感(6.0~7.9);9 级:高感(8.0~9.0)。

### 2.2 样品处理

将 54 cm × 37 cm × 15 cm 的塑料方盆分成 12 个小方格,水稻种子洗净、催芽后,各品种随机分播于塑料盆的各小方格中,每品种 5 个重复,每重复播 10 粒种子。在网室中培养,每天补充足够的水分,待水稻植株长到 3 叶期,每重复选取 5 株健壮植株,叶片剪碎、混匀、缩分后,称取鲜样 106.7 ± 0.2 mg,用 5 ml 甲醇浸泡 12 h,取其上层清液,挥发干溶剂,加入 5 ml 体积分数为 50% 的甲醇水溶液,重新溶解,作为测试样品,用 HPLC 进行测定。

### 2.3 HPLC 测定的色谱条件

样品在 HP1100 高效液相色谱仪上采用 C<sub>18</sub>反相柱(Hypersil ODS 5 μm, 4.0 mm × 250 mm),以 1% 乙酸水溶液(A)和乙腈(B)的混合溶剂为梯度洗脱的流动相进行测定。色谱条件主要参照 Mattice 等<sup>[13]</sup>和孔垂华等<sup>[7]</sup>的方法。为提高各谱峰分离度,本研究对他们的方法作了改进,将流动相梯度调整为:在 1.5 ml·min<sup>-1</sup>流速下,以 8% B 洗脱 3 min 后,在 22 min 内提高到 35% B,再在 4 min 内继续提高到 80% B,最后在 11 min 内降回 8% B,共运行 40 min。采集前 30 min 的色谱数据,确定相应色谱峰的保留时间和面积积分。进样量 10 μl,紫外检测 OD<sub>320</sub>值。

### 2.4 数据分析

谱图中保留 10~14.6 min 的 13 个谱峰的峰面积值用于数据分析。运用主成分分析法(PCA)对这 13 个谱峰进行研究,以便确定其中与抗褐飞虱有关的主要谱峰。同时对抗性级别值和这 13 个峰的峰面积值进行多元回归分析,以确定这些主要谱峰对水稻抗性的相对贡献。采用 SAS 统计软件(6.12 版)进行统计分析和统计检验。

## 3 结果与分析

### 3.1 抗-感品种的 HPLC 谱图差异

在本研究的色谱条件下,所测样品的 HPLC 谱峰主要集中在 10~16 min 内。褐飞虱典型抗-感水稻品种的 HPLC 谱图见图 1。供试的 19 个栽培稻品种在 10~14.6 min 内均能检测到分离较好的 13 个峰。所有峰面积值经邓肯氏新复极差分析表明,供试的品种中存在种间差异(表 1)。这种差异并不是简单的有无某个峰(对应某种次生物质组分)的差异,而更主要的是种间这些物质含量及组合上的差异。

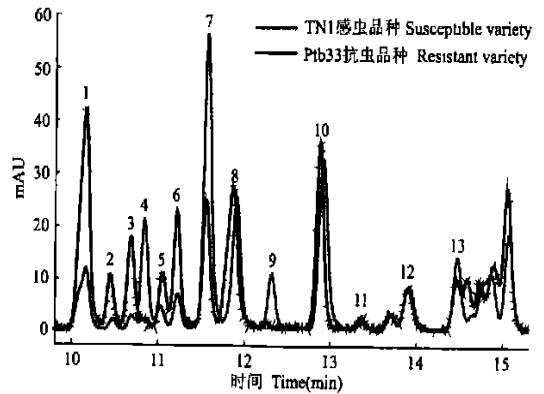


图 1 褐飞虱生物型 II 抗-感水稻品种的 HPLC 谱图

Fig. 1 HPLC chromatograms of resistant and susceptible varieties to BPH biotype II.

### 3.2 抗原次生物质含量与品种抗性的关系

经主成分分析,并综合考虑各因子对前 3 个主分量(反映了总信息量的 89.59%)的负荷量及这 3 个主分量所包含的信息百分比,可见峰 1、峰 2、峰 8、峰 12 对应的组分对前 3 个主分量贡献相对都较大,它们可能是影响水稻对褐飞虱生物型 II 抗性的主要抗原次生物质。对品种的抗性级别值和这 13 个峰的峰面积值进行多元回归分析,得到最优回归方程:

$$Y = 3.4593 - 0.02491X_1 + 0.08475X_2 - 0.04227X_8 + 0.1174X_{12}$$

式中,  $Y$  为水稻对褐飞虱生物型 II 的抗性级别值,  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_8$ 、 $X_{12}$  分别为峰 1、峰 2、峰 8、峰 12 的峰面积值。

方差分析和各参数检验结果表明,拟合的回归方程中抗性级别值  $Y$  与峰 1、峰 2、峰 8、峰 12 的峰面积值  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_8$ 、 $X_{12}$  之间回归极显著( $r^2 = 0.84$ ,  $F = 18.07$ ,  $P < 0.01$ );各回归参数估计值的假设检验结果也都差异极显著(表 2),该模型能很好地拟合次生物质含量与水稻抗性级别之间的关系。此结

表 1 19 个水稻品种对褐飞虱生物型 II 的抗性级别值与 HPLC 谱峰峰面积

Table 1 Scales of 19 rice varieties resistant to BPH biotype II and area values of their HPLC chromatographic peaks

品 种 Variety	抗性级别 Resistant score	峰面积值 Area values of the HPLC chromatographic peaks												
		峰 1 Peak 1	峰 2 Peak 2	峰 3 Peak 3	峰 4 Peak 4	峰 5 Peak 5	峰 6 Peak 6	峰 7 Peak 7	峰 8 Peak 8	峰 9 Peak 9	峰 10 Peak 10	峰 11 Peak 11	峰 12 Peak 12	峰 13 Peak 13
IR982841-2-1	3.0	112.7cd	5.3ef	6.9ef	192.6bc	50.3cd	71.8cd	27.2cd	63.1de	92.1c	351.0b	15.3cdef	34.3fgh	20.6efgh
IR36	3.0	132.4c	10.7def	10.5ef	215.5bc	55.7bcd	75.8cd	29.9cd	82.7cd	86.9cd	415.8a	14.9cdef	43.5efgh	23.6efg
ASD7	3.0	233.9b	32.4c	35.0c	60.5defgh	77.4a	130.8a	135.7b	170.4b	45.3g	192.9efg	12.9defg	92.4bc	82.8b
Pt183	3.0	296.4a	67.6a	103.6a	10.7i	67.6ab	136.9a	150.9b	244.9a	14.5l	222.3e	23.5ab	97.8b	61.8c
IR13240393333	3.3	107.8cd	16.8def	22.0d	69.7def	58.6bc	84.1cd	18.4cd	92.0cd	57.2f	210.1ef	14.9cdef	42.9def	23.2efg
IRB427-0-122-1	3.5	94.2cde	4.8ef	4.6f	187.3bc	38.4efg	54.3fgh	75.1c	90.1cd	105.7b	287.4c	19.6bc	56.9def	5.4i
IR21567-9-2-22-1	3.5	109.1cd	6.7ef	8.0ef	168.4c	33.6fg	72.0cde	35.6cd	60.5de	57.6f	358.4b	15.8cde	40.2fgh	5.5i
KAU1675	3.6	87.0cde	9.5def	11.0ef	27.3ghi	30.3fg	46.2h	236.4a	109.3c	18.2kl	229.8cd	15.8cde	65.6de	15.5fghi
IR9828943	3.8	112.9cd	9.3def	8.9ef	304.5a	43.6def	69.4cdefgh	33.2cd	91.3cd	121.8a	430.9a	14.6cdef	51.2def	24.3ef
IR3939-190223-1	3.9	110.3cd	7.3ef	8.7ef	72.3de	49.0cd	79.4cd	155.3b	153.8b	38.5ghij	286.5c	19.0bcd	72.8cd	44.2d
IR420158332-2	4.4	42.0f	3.1f	4.6f	38.7efghi	31.9fg	62.6defgh	9.7d	37.4e	46.5fg	125.0hi	9.3fgh	28.0gh	10.7ghi
KANNAGI	4.5	73.0def	5.8ef	8.3ef	20.0i	67.8ab	106.5b	25.3cd	64.8de	32.3hij	109.3hi	8.1gh	43.8defg	28.9e
IR1929209222-3	4.6	33.1f	1.8f	3.3f	27.1ghi	26.5g	53.0fgh	9.1d	31.3e	40.0ghi	148.0h	11.1efgh	22.6f	11.4fghi
IR1972893-2	4.8	58.8ef	2.3f	5.4f	10.2i	51.2cd	90.6bc	38.4cd	63.0de	30.0ij	158.1fgh	14.5cdef	49.4efg	32.2e
IR1578-15123-22	4.8	44.1f	1.7f	3.0f	62.4defg	32.5fg	54.5efgh	5.1d	30.9e	77.8de	153.5fgh	7.3gh	25.6h	9.1hi
IR155292561	4.8	32.2f	1.7f	3.2f	35.9fghi	30.5fg	55.4efgh	5.3d	31.8e	49.0fg	113.0hi	6.7h	24.4h	8.9hi
SS12B199	5.3	32.0f	3.6f	7.1ef	8.2i	31.3fg	49.4h	11.5d	41.2e	42.0ghi	83.4j	10.9efgh	40.3fgh	22.4efg
Mudgo	8.0	280.4a	46.4b	51.7b	25.3i	81.6a	127.9a	261.8a	211.3a	27.7jk	274.1cd	27.2a	136.2a	61.4c
TN1	9.0	106.7cd	12.9de	16.2de	88.0d	39.0efg	58.8efgh	274.1a	161.5b	75.1e	229.6cd	29.0a	110.9b	102.7a

同列字母相同者在 0.05 水平上差异不显著 Means followed by the same letter in each column are not significantly different ( $P < 0.05$ ).

果与主分量分析的结果正好能相互印证。由模型可见, 这些次生物质对水稻抗性的贡献有些为正, 有些则为负。峰 1、峰 8 对应的次生物质含量的增加将降低水稻对褐飞虱生物型 II 的抗性级别值, 即增强水稻的抗性; 而峰 2 和峰 12 的作用则相反。次生物质含量对水稻抗性水平的综合影响以及相对贡献率, 都可以从模型中定量地反映出来。因此, 有可能利用此模型来鉴定和预测水稻品种对褐飞虱生物型 II 的抗性水平。

表 2 回归模型的参数估计值

Table 2 Parameter estimates of the regression model

变量 Variable	参数估计值 Parameter estimate	F	P	确定系数 Coefficient of determination
截距 Intercept	3.4593	58.99	0.0001	
$X_1$	-0.02491	11.68	0.0042	
$X_2$	0.08475	7.44	0.0164	
$X_8$	-0.04227	14.18	0.0021	
$X_{12}$	0.1174	55.68	0.0001	
模型 Model		18.07	0.0001	0.8377

选择未参与模型拟合的褐飞虱生物型 II 抗性品种: 药用野生稻和栽培稻广东推广品种“佛山油粘”对这一模型作了的验证(表 3)。

### 3.3 抗性预测模型的验证

广西药用野生稻对褐飞虱生物型 II 普遍具有较高抗性<sup>[8]</sup>, 模型预测的结果与此吻合。被检测的 6 份广西药稻, 除广西蒙江药稻预测处于中抗水平外, 其余均预测为抗或高抗。栽培稻的验证结果也较理想。生测结果表明, 推广品种“佛山油粘”对褐飞虱生物型 II 的抗性处于中抗临界值, 模型预测的结果也是中抗水平。

表 3 检验品种抗性级别的生测值和拟合值比较

Table 3 Bioassay scores and the simulated scores for the BPH resistance of different rice varieties

品 种 Variety	生测值 Bioassay score	拟合值 Simulated score
佛山油粘 Fushanyouzhhan	5.7	4.7
广西倒水药稻 <i>Oryza officinalis</i> from Daoshui Guangxi	-	2.5
广西华堂药稻 <i>Oryza officinalis</i> from Huatang Guangxi	-	3.9
广西夏鄂药稻 <i>Oryza officinalis</i> from Xiae Guangxi	-	3.1
广西蒙江药稻 <i>Oryza officinalis</i> from Mengjiang Guangxi	-	5.3
广西横江药稻 <i>Oryza officinalis</i> from Hengjiang Guangxi	-	3.7
广西石桥药稻 <i>Oryza officinalis</i> from Shiqiao Guangxi	-	1.5

## 4 讨 论

褐飞虱是取食水稻韧皮部液汁的, 与感虫品种相比, 褐飞虱在抗虫品种上有较高的刺探频率和较低的刺吸作用, 表明褐飞虱对抗性品种的刺吸作用受味觉刺激的控制<sup>[9]</sup>。而挥发性物质主要影响昆虫的趋性等行为, 其作用依赖于昆虫嗅觉器官对它们的识别<sup>[4, 10, 20]</sup>。因而笔者认为, 稻株中非挥发性次生物质对品种抗性的影响, 可能比挥发性物质的影响更为重要。本研究借助 HPLC, 有选择地分析了稻株中强极性、非挥发性组分与品种抗性之间的关系。结果表明, 品种抗性确与被分析的非挥发性组分的含量及组合密切相关, 其中峰 1、峰 2、峰 8 和峰 12 是影响水稻抗褐飞虱生物型 II 性能的主要物质。这 4 个次生物质组分对水稻抗性的贡献有些为正, 有些则为负, 它们的贡献权重也是各不相同的, 不能简

单加和. 与水稻化感作用、黄酮类物质对褐飞虱的刺刺激探作用一样<sup>[2,5,7]</sup>, 水稻的抗虫性也是多种次生物质共同作用的结果. 对比抗草品种的 HPLC 谱图可初步确定, 峰 8、峰 12 可能同时与水稻抗草性有关<sup>[7]</sup>. 峰 1 和峰 2 则未见相关报道.

由于液相色谱仪的检测前处理简单, 每一样品分析运行时间短, 只需极少量的叶片组织, 以不损害水稻植株的方式即可完成谱峰检测和抗性鉴定. 本文通过一些品种的验证表明, 通过建立回归模型来鉴定和预测水稻的抗性水平是可行的. 该方法可用于大量筛选含有抗原次生化化合物的抗性品系, 使杂交后代抗性植株的鉴定与筛选变得容易, 大大缩短抗性品种的育成周期, 为建立快速、简捷、准确、稳定的水稻 3 叶期抗性鉴定方法提出了新途径.

致谢 华南农业大学植物分子育种研究中心刘向东教授为本研究提供了所有供试野生药稻品种, 特此致谢.

#### 参考文献

- Besson E, Dellamonica G, Chopin J, et al. 1985. G glycosyl flavone from *Oryza sativa*. *Phytochemistry*, **24**(5): 1061~ 1064
- Chung IM, Kim KH, Ahn JK, et al. 2002. Screening of allelochemicals on banyagrass (*Echinochloa crus-galli*) and identification of potentially allelopathic compounds from rice (*Oryza sativa*) variety hull extracts. *Crop Prot*, **21**: 913~ 920
- Cohen MB, Alam SN, Medina EB, et al. 1997. Brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resistance in rice cultivar IR64: Mechanism and role in successful *N. lugens* management in Central Luzon, Philippines. *Ent Exp Appl*, **85**: 221~ 229
- Hu G W(胡国文), Liang T X(梁天锡), Liu G J(刘光杰), et al. 1994. The extraction, chemical analysis and bioassays of secondary volatiles from rice varieties susceptible and resistant to the white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). *Chin J Rice Sci*(中国水稻科学), **8**(4): 223~ 230 (in Chinese)
- Kim M, Koh HS, Fukami H. 1985. Isolation of G-glycosylflavones as the probing stimulant of planthoppers in rice plant. *J Chem Ecol*, **11**: 441~ 452
- Kong G H(孔垂华). 2002. Frontier fields of plant chemical ecology in the 21 st century. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **13**(3): 349~ 353(in Chinese)
- Kong G H(孔垂华), Xu X-H(徐效华), Hu F(胡飞), et al. 2002. Using specific secondary metabolites as markers to evaluate allelopathic potentials of rice varieties and individual plants. *Chin Sci Bull*(科学通报), **47**(3): 203~ 206(in Chinese)
- Li R-B(李容柏), Qin X-Y(秦学毅). 1994. The main findings of resistant identification of Guangxi wild rice to diseases and pests. *Guangxi Sci*(广西科学), **1**(1): 83~ 85(in Chinese)
- Li R-D(李汝铎), Ding J-H(丁锦华), Hu G-W(胡国文), et al. 1996. The Brown Planthopper and Its Population Management. Shanghai: Fudan University Press. 72~ 76(in Chinese)
- Ling B(凌冰), Zhang M-X(张茂新), Kong G-H(孔垂华), et al. 2003. Chemical composition of volatile oil from *Chromolaena odorata* and its effect on plant, fungi and insect growth. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **14**(5): 744~ 746(in Chinese)
- Liu G-J(刘光杰), Zheng Y-C(郑宜才), Gui L-Q(桂丽琴), et al. 1999. On the screening methods for resistance to rice planthoppers (Homoptera: Delphacidae) in some Chinese rice varieties. *Acta Agric Zhejiangensis*(浙江农业学报), **11**(6): 306~ 310(in Chinese)
- Lü Z-X(吕仲贤), Yu X-P(俞晓平), Tao L-Y(陶林勇), et al. 2002. Resistance evaluation of newly bred rice varieties (lines) to brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål in China. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **35**(2): 225~ 229(in Chinese)
- Mattice JD, Dilday RH, Gbur EE, et al. 2001. Barnyardgrass growth inhibition with rice using high performance liquid chromatography to identify rice accession activity. *Agron J*, **93**: 8~ 11
- Maxwell FG, Jennings PR. 1980. Breeding Plants Resistant to Insects. New York: John Wiley & Sons. 23~ 61
- Niemeyer HM. 1988. Hydroxamic acids (4-hydroxy-1, 4-benzoxazin-3-ones), defense chemicals in the Gramineae. *Phytochemistry*, **27**(11): 3349~ 3358
- Niemeyer HM, Perez FJ. 1995. Potential of hydroxamic acids in the control of cereal pests, diseases, and weeds. *ACS Symp Series*, **582**: 260~ 270
- Pang X-F(庞雄飞). 1999. Plant protectants and plant immune engineering against insect pests. *J World Sci Technol Res Dev*(世界科技研究与发展), **21**(2): 24~ 28(in Chinese)
- Qin J-D(钦俊德). 1987. The Relationship of Plants and Insects. Beijing: Science Press. 38~ 58 (in Chinese)
- Wei S-M(韦素美), Luo S-Y(罗善昱), Huang F-K(黄凤宽), et al. 1998. Resistance evaluation of newly bred rice varieties in Guangxi to different biotypes of brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *J Guangxi Agric Sci*(广西农业科学), (5): 238~ 239(in Chinese)
- Yan S-C(严善春), Zhang D-D(张丹丹), Chi D-F(迟德富). 2003. Advances of studies on the effects of plant volatiles on insect behavior. *Chin J Appl Eco*(应用生态学报), **14**(2): 310~ 313 (in Chinese)
- Zhang G, Zhang W, Lian B, et al. 1999. Insecticidal effects of extracts from two rice varieties to brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *J Chem Ecol*, **25**(8): 1843~ 1853
- Zhou M-Z(周明). 1992. Principles and Applications of Crop Resistance to Insects. Beijing: Beijing Agricultural University Press. 37~ 41(in Chinese)

作者简介 赵颖,女,1967年出生,硕士,讲师,主要从事天然产物化学及化学生态方面的研究. E-mail: zhaoying@scau.edu.cn