

于居龙,周泳凯,顾浩天,等. 氯虫苯甲酰胺拌种处理对不同生育期水稻生化物质的影响[J].江苏农业学报,2019,35(2):289-294.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.02.007

## 氯虫苯甲酰胺拌种处理对不同生育期水稻生化物质的影响

于居龙<sup>1</sup>, 周泳凯<sup>2</sup>, 顾浩天<sup>2</sup>, 戈林泉<sup>2</sup>, 张 国<sup>1</sup>, 庄义庆<sup>1</sup>, 姚克兵<sup>1</sup>, 杨红福<sup>1</sup>,  
束兆林<sup>1</sup>

(1.江苏丘陵地区镇江农业科学研究所,江苏 句容 212400; 2.扬州大学园艺与植物保护学院,江苏 扬州 225009)

**摘要:** 为明确杀虫剂胁迫下水稻体内生化物质的变化,探讨生化物质变化对水稻感抗虫性的影响,本研究分析比较了不同用量氯虫苯甲酰胺拌种处理后,各生育期水稻叶片可溶性糖、类黄酮、游离氨基酸和草酸的含量变化。结果表明,不同用量氯虫苯甲酰胺拌种处理后,水稻不同生育期叶片游离氨基酸含量与对照相比无显著差异,苗期和4叶1心期叶片可溶性糖含量与对照相比无显著差异,但1.5~2.0 g/kg氯虫苯甲酰胺处理的水稻在分蘖期叶片可溶性糖含量显著增加。当氯虫苯甲酰胺有效用量为1.0~1.5 g/kg时,水稻各生育期叶片类黄酮含量显著增加,苗期和4叶1心期的草酸含量显著增加,而在分蘖期除1.5 g/kg处理的草酸含量显著增加外,其他处理与对照相比无显著差异。因此,推测氯虫苯甲酰胺拌种处理促进了水稻叶片类黄酮和草酸的增加,提高水稻不同生育期对稻纵卷叶螟的抗性,从而减少靶标害虫对水稻的为害。

**关键词:** 氯虫苯甲酰胺; 种子处理; 生化物质; 抗性

**中图分类号:** S473;S511

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2019)02-0289-06

## Effects of seed treated with chlorobenzamide on biochemical substances in rice at different growth stages

YU Ju-long<sup>1</sup>, ZHOU Yong-kai<sup>2</sup>, GU Hao-tian<sup>2</sup>, GE Lin-quan<sup>2</sup>, ZHANG Guo<sup>1</sup>, ZHUANG Yi-qing<sup>1</sup>,  
YAO Ke-bing<sup>1</sup>, YANG Hong-fu<sup>1</sup>, SHU Zhao-lin<sup>1</sup>

(1. Zhenjiang Institute of Agricultural Sciences of the Ning-Zhen Hilly District, Jurong 212400, China; 2. School of Horticulture and Plant Protection, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** To clarify the variation of biochemical substances in rice plants under pesticide stress and investigate the effects of these variation on rice susceptibility-resistance to insect pest, the changes of soluble sugar, flavonoids, free amino acids and oxalic acid content in rice plants at different growth stages after seed treating with different concentrations of chlorantraniliprole were determined. The results showed that there was no significant difference in the content of free amino acids of rice leaves at different growth stages after seed treating with different concentrations of chlorantraniliprole compared with the control. The soluble sugar contents of rice at the seedling stage and the four-leaf stage in the treated group were not significantly different from

those in the control group. Under the treatment of 1.5~2.0 g/kg chlorantraniliprole, the soluble sugar content in rice leaves increased significantly during tillering stage. The content of flavonoids in leaves of rice increased significantly during each growth period when the chlorantraniliprole was 1.0~1.5 g/kg. Additionally, the contents of oxalic acid increased at the seedling stage and the four-leaf stage when the chlorantraniliprole was 1.0~1.5 g/kg. At the tillering stage, the oxal-

收稿日期:2018-06-23

基金项目:江苏省农业自主创新基金项目[CX(16)1001];江苏省重点研发计划资助项目(BE2017366);镇江市科技支撑项目(NY2016026)

作者简介:于居龙(1988-),男,江苏仪征人,硕士,助理研究员,主要从事水稻虫害综合治理研究。(Tel) 0511-80978079; (E-mail) yujulong@126.com。周泳凯为共同第一作者。

通讯作者:束兆林, (E-mail) shuzl2005@163.com

ic acid content in the treatment of 1.5 g/kg chlorobenzamide was significantly increased compared with that in the control. Therefore, it is speculated that the treatment of chlorantraniliprole promotes the increase of flavonoids and oxalic acid in rice leaves and enhances rice resistance to insect pest, thus reducing the damage of target pests to rice.

**Key words:** chlorantraniliprole; seed treatment; biochemical substances; resistance

氯虫苯甲酰胺是杜邦公司主导研究与开发的具有广谱性的化学药剂,是一种全新的邻酰胺基苯甲酰胺类杀虫剂。氯虫苯甲酰胺对多种农业害虫,如鳞翅目、鞘翅目、半翅目、双翅目等具有优异的防治效果,特别是在水稻生产上,对鳞翅目害虫防治效果好,安全系数高,对非靶标节肢动物(如稻田蜘蛛)具有较高的安全性,对哺乳动物、鱼类和鸟类等的毒性极低<sup>[1-4]</sup>。近年来,该药已大面积应用于水稻害虫的综合治理中。但是,长期的化学农药投入也带来了许多负面影响,如环境的污染,害虫抗药性引发的问题,收获作物上农药的残留,对非靶标生物的伤害等<sup>[5-7]</sup>。有研究表明,药剂可以诱导植物体内生理生化物质发生变化,产生害虫感虫性现象<sup>[8-9]</sup>。如利用吡虫啉、井冈霉素、杀虫双、三唑磷和某些除草剂处理水稻植株,导致植株体内有利于害虫取食的可溶性糖和氨基酸含量显著提高<sup>[10-11]</sup>,同时可导致植株体内不利于害虫取食的草酸含量下降,影响水稻的光合作用速率,而且水稻不同品种之间存在差异<sup>[12]</sup>。农药在对病虫害进行防治的同时,也会改变植株体内营养物质的含量,增加对害虫的吸引力,从而间接引起害虫再猖獗的现象<sup>[5]</sup>。因此,化学防治给农药的使用提出了新的问题。许多杀虫剂和杀菌剂对作物的生理、生长、产量有负效应<sup>[13]</sup>。不同农药的影响机制也不同,有的对害虫有促进作用,有的则有抑制作用。有研究发现,药剂处理改变了植株的营养物质,有利于害虫取食繁殖,诱导感虫性<sup>[8-9]</sup>。

本试验拟通过测定不同浓度氯虫苯甲酰胺拌种处理后,水稻叶片内与害虫生长发育有关系的营养物质(可溶性糖、游离氨基酸),以及不利于害虫发生的次生代谢物质(草酸、类黄酮)含量的变化,进一步探讨药剂拌种处理对水稻叶片内生化物质的影响,以期在生产上利用氯虫苯甲酰胺拌种处理可持续治理稻纵卷叶螟提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试水稻及药剂

水稻品种为江苏地区大面积推广种植的迟熟中

粳品种宁粳 4 号(南京农业大学农学院选育)。将不同浓度氯虫苯甲酰胺处理的水稻种子播在 60 cm×100 cm×200 cm 的水泥池中,每个水泥池分为 4 小块。供试药剂为 20% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂(杜邦公司产品)。

### 1.2 试验设计

氯虫苯甲酰胺的有效用量为 0 g/kg、0.5 g/kg、1.0 g/kg、1.5 g/kg、2.0 g/kg。

### 1.3 种子处理

称取 500 g 水稻种子置于网袋中,清水浸种 48 h 后沥干,按试验需要称取 20% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂,按照最终药液质量与种子质量比为 1:25 的比例添加清水,同时加入红色指示剂进行拌种,混合均匀。将种子与不同浓度的氯虫苯甲酰胺拌种液同时倒入一次性加厚塑料袋中,快速翻动混匀,使种子与药液充分接触,待整个袋子中种子呈现均匀红色,平铺于纸上阴干,然后正常播种。

### 1.4 测试指标

当水稻种子播种后长至苗期(17 d)、4 叶 1 心期(26 d)和分蘖期(36 d)时,用剪刀剪取水稻叶片,然后测定其叶片可溶性糖、游离氨基酸、草酸和类黄酮的含量。

**1.4.1 可溶性糖含量** 可溶性糖含量的测试参照张治安等<sup>[14]</sup>的蒽酮法,略有改变。称取烘干的水稻叶片 0.3 g,放入大试管中,加入 10.0 ml 蒸馏水,沸水浴 20 min 后取出冷却,用滤纸过滤至 25.0 ml 的容量瓶中,再用蒸馏水冲洗残渣几次,最后定容。吸取 0.5 ml 提取液于试管中,加入蒸馏水 1.5 ml,先后向试管中加入 0.5 ml 蒽酮乙酸乙酯试剂(1 g 蒽酮溶于 50.0 ml 乙酸乙酯)和 5.0 ml 浓硫酸,充分振荡,立即沸水浴加热 5 min,然后冷却至室温,以空白为对照,用酶标仪(伯腾仪器有限公司产品)在 620 nm 吸收波长下测定吸光值。用蔗糖建立标准曲线,计算各样品中可溶性糖含量。各处理和对照均设 3 个重复。

可溶性糖含量(mg/g) =  $(C_1 \times V_1 \times n_1) / (W_1 \times a_1 \times 1\ 000)$

式中,  $C_1$ :标准曲线求得糖量( $\mu\text{g}$ );  $V_1$ :提取液量(ml);  $a_1$ :吸取样品液体积(ml);  $n_1$ :稀释倍数;  $W_1$ :组织质量(g)。

**1.4.2 类黄酮含量** 类黄酮含量的测量参照耿敬章<sup>[15]</sup>方法,略有改进。剪下待测的水稻组织擦拭干净,放入烘箱中 80 ℃ 烘 12 h,再用粉碎机进行粉碎,用 50 目筛筛选一次,准确称取 1 g 干粉放入离心管中,加入 10 ml 60%乙醇溶液,混匀后将离心管置于 70 ℃ 条件下进行超声波处理,超声波功率保持 350 W,超声时间 30 min,3 000 r/min 离心 5 min。同一样品按照上述方法重复操作 2 次。将离心后的上清液转移到 25 ml 的容量瓶中,用 60%乙醇溶液定容。混匀后吸取定容的提取液 1 ml 于 25 ml 容量瓶中,加入 5%  $\text{NaNO}_2$  溶液 1 ml,摇匀后静止 6 min,再加入 10%的  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  溶液 1 ml,摇匀后静止 6 min。随后加入 4%的  $\text{NaOH}$  10 ml,再加入 30%的乙醇溶液定容,摇匀后静置 15 min,用 722 型分光光度计在吸收波长 500 nm 处测吸光值。用芦丁建立标准曲线,计算各样品中类黄酮含量。各处理和对照均设 4 个重复。

$$\text{类黄酮含量}(\text{mg/g}) = (C_2 \times n_2) / (W_2 \times 1\,000)$$

式中,  $C_2$ :标准曲线求得芦丁量( $\mu\text{g}$ );  $n_2$ :总稀释倍数;  $W_2$ :组织质量(g)。

**1.4.3 游离氨基酸含量** 游离氨基酸含量的测定参照张宪政<sup>[16]</sup>的茚三酮法,略有改变。剪取新鲜的水稻叶片 0.2 g,加入 10.0%乙酸溶液 5.0 ml,放入研钵中碾碎研磨至糊状,将过滤液转移至 100.0 ml 的容量瓶中,用无氨蒸馏水定容。吸取提取液 1.0 ml,放入 25.0 ml 容量瓶中,加入 3.5 ml 的茚三酮缓冲显色液,再加入 0.1%的抗坏血酸溶液 0.1 ml,摇匀后置于沸水浴中处理,显色 20 min,待冷却后加入 10.0 ml 80.0%乙醇溶液,加水定容至 25.0 ml,用酶标仪在波长 570 nm 处测定吸光值。用谷氨酸建立标准曲线,计算各处理和对照样品中游离氨基酸的含量。各处理和对照均设 3 个重复。

$$\text{游离氨基酸含量}(\text{mg/g}) = (C_3 \times n_3) / (W_3 \times 1\,000)$$

式中,  $C_3$ :标准曲线求得的游离氨基酸量( $\mu\text{g}$ );  $n_3$ :总稀释倍数;  $W_3$ :组织质量(g)。

**1.4.4 草酸含量** 测定水稻中草酸含量参照何春燕等<sup>[17]</sup>的三氯化钛比色法,略有改变。剪取水稻叶片 1 g,将其剪碎后充分研磨,用超纯水 10 ml 冲洗

至 50 ml 的三角瓶中,加入约 1/3 体积的活性炭,摇匀后放置 30 min 脱色,脱色后于 4 ℃ 条件下 3 000 r/min 离心 15 min 分离活性炭,一次脱色不充分时可多次脱色,直至溶液无色或略呈乳白色。取上清液 3 ml,加入 3%的三氯化钛(用 10%稀盐酸配制) 240  $\mu\text{l}$ ,然后用酶标仪在波长为 400 nm 处测定吸光值。用草酸(分析纯)建立标准曲线,计算各样品中的草酸含量。各处理和对照均设 3 个重复。

$$\text{草酸含量}(\text{mg/g}) = (C_4 \times n_4) / (W_4 \times 1\,000)$$

式中,  $C_4$ :标准曲线求得的草酸量( $\mu\text{g}$ );  $n_4$ :总稀释倍数;  $W_4$ :组织质量(g)。

## 1.5 数据分析

利用单因素方差分析法分析不同处理和不同生育期水稻叶片内可溶性糖、类黄酮、游离氨基酸及草酸的含量。所有数据采用 DPS 软件分析系统进行处理<sup>[18]</sup>,所有数据均未经转换。

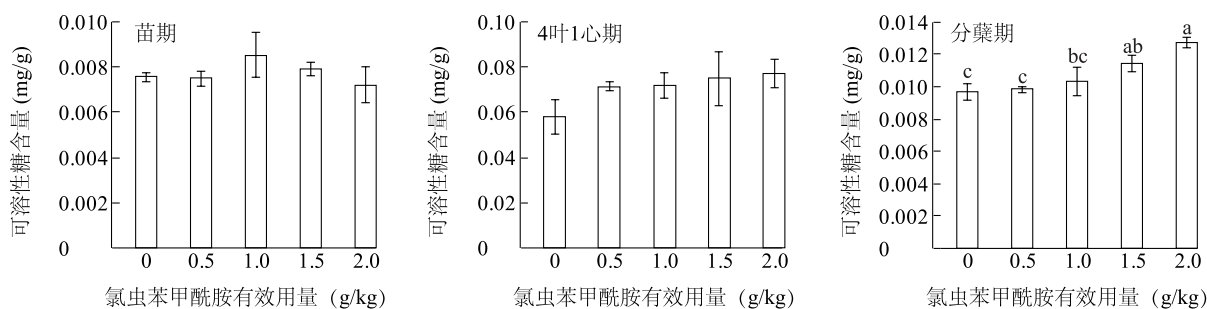
## 2 结果与分析

### 2.1 不同有效用量氯虫苯甲酰胺拌种处理对各生育期水稻叶片可溶性糖含量的影响

图 1 显示,不同有效用量氯虫苯甲酰胺拌种处理后,苗期和 4 叶 1 心期水稻叶片可溶糖含量与对照相比均无显著差异(苗期:  $F = 2.2$ ,  $df = 4, 14$ ,  $P = 0.150\,0$ ; 4 叶 1 心期:  $F = 3.2$ ,  $df = 4, 14$ ,  $P = 0.060\,0$ )。在水稻分蘖期,1.5 g/kg 和 2.0 g/kg 氯虫苯甲酰胺拌种处理与对照相比,叶片的可溶性糖含量显著增加,分别增加了 17.5% 和 30.9% (分蘖期:  $F = 19.4$ ,  $df = 4, 14$ ,  $P = 0.000\,1$ )。

### 2.2 不同有效用量氯虫苯甲酰胺拌种处理对各生育期水稻叶片类黄酮含量的影响

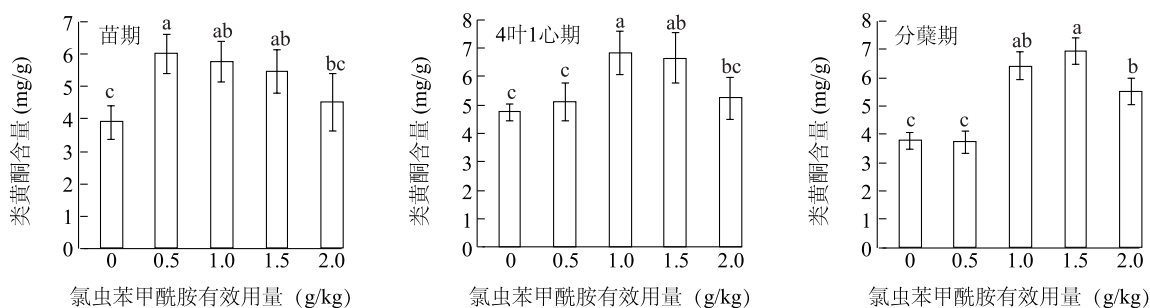
图 2 显示,不同有效用量氯虫苯甲酰胺拌种处理会影响水稻不同生育期叶片的类黄酮含量(苗期:  $F = 7.0$ ,  $df = 4, 19$ ,  $P = 0.002\,2$ ; 4 叶 1 心期:  $F = 7.6$ ,  $df = 4, 19$ ,  $P = 0.001\,5$ ; 分蘖期:  $F = 47.0$ ,  $df = 4, 19$ ,  $P = 0.000\,1$ )。0.5 g/kg、1.0 g/kg 和 1.5 g/kg 氯虫苯甲酰胺分别拌种处理后,水稻苗期叶片类黄酮含量与对照相比分别增加了 54%、47% 和 40%。1.0 g/kg、1.5 g/kg 和 2.0 g/kg 氯虫苯甲酰胺分别拌种处理后,水稻 4 叶 1 心期叶片类黄酮含量与对照相比分别增加了 44%、40% 和 11%,水稻分蘖期叶片类黄酮含量与对照相比分别增加了 69%、84% 和 46%。



不同小写字母表示同一生育时期不同处理间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

图1 氯虫苯甲酰胺拌种处理对不同生育期水稻叶片可溶性糖含量的影响

Fig.1 Effects of rice seed treated with chlorantraniliprole on soluble sugar content in different rice growth stages



不同小写字母表示同一生育时期不同处理间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

图2 氯虫苯甲酰胺拌种处理对不同生育期水稻叶片类黄酮含量的影响

Fig.2 Effects of rice seed treated with chlorantraniliprole on flavonoid content in different rice growth stages

### 2.3 不同有效用量氯虫苯甲酰胺拌种处理对各生育期水稻叶片游离氨基酸含量的影响

图3显示,不同有效用量氯虫苯甲酰胺拌种处理后,水稻不同生育期叶片游离氨基酸含量与对照

相比无显著差异(苗期:  $F = 0.79$ ,  $df = 4, 14$ ,  $P = 0.60$ ; 4叶1心期:  $F = 1.10$ ,  $df = 4, 14$ ,  $P = 0.40$ ; 分蘖期:  $F = 3.10$ ,  $df = 4, 14$ ,  $P = 0.07$ )。

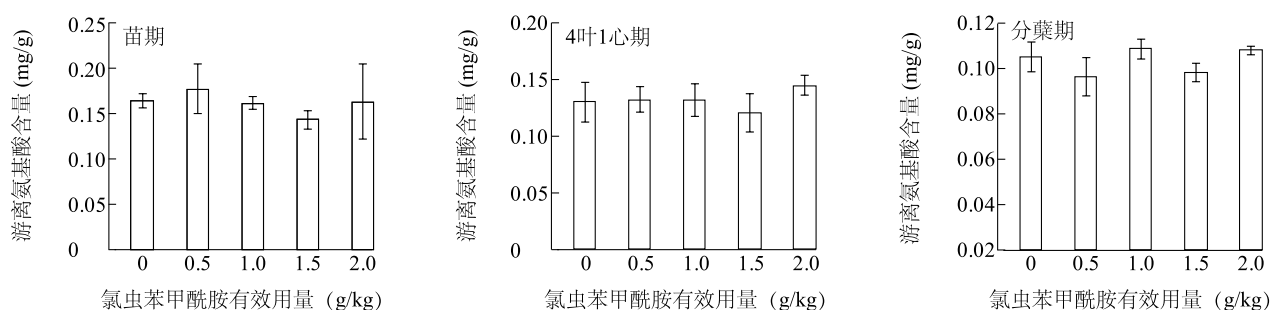


图3 氯虫苯甲酰胺拌种处理对不同生育期水稻叶片游离氨基酸含量的影响

Fig.3 Effects of rice seed treated with chlorantraniliprole on free amino acid content in different rice growth stages

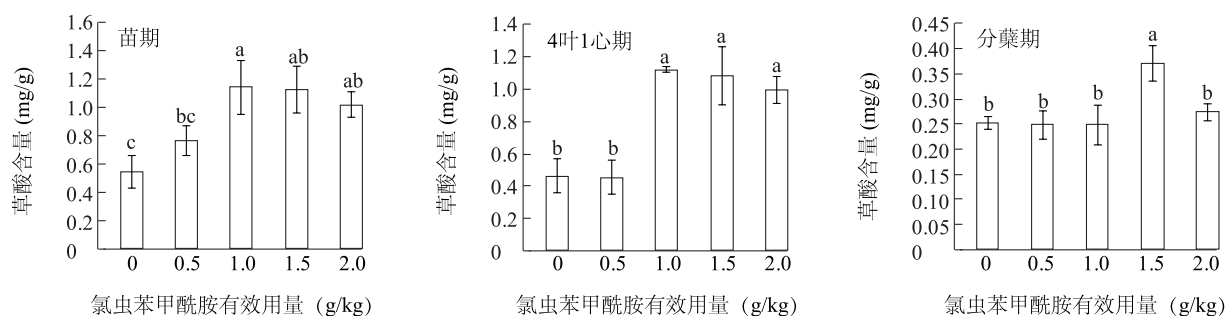
### 2.4 不同有效用量氯虫苯甲酰胺拌种处理对各生育期水稻叶片草酸含量的影响

图4显示,不同有效用量氯虫苯甲酰胺拌种处理会影响不同生育期水稻叶片草酸含量(苗期:  $F = 10.6$ ,  $df = 4, 14$ ,  $P = 0.0013$ ; 4叶1心期:  $F = 27.2$ ,  $df = 4, 14$ ,  $P = 0.0001$ ; 分蘖期:  $F = 10.3$ ,  $df = 4, 14$ ,

$P = 0.0014$ )。1.0 g/kg、1.5 g/kg和2.0 g/kg氯虫苯甲酰胺分别拌种处理后,水稻苗期叶片草酸含量与对照相比分别增加了110%、107%和87%,水稻4叶1心期叶片草酸含量与对照相比分别增加了143%、135%和115%,水稻分蘖期,1.5 g/kg氯虫苯甲酰胺拌种处理后水稻叶片草酸含量与对照相比增



加了 47%,其他用量处理与对照相比无显著差异。



不同小写字母表示同一生育时期不同处理间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

图 4 氯虫苯甲酰胺拌种处理对不同生育期水稻叶片草酸含量的影响

Fig.4 Effects of rice seed treated with chlorantraniliprole on oxalic acid content in different rice growth stages

### 3 讨论

农药胁迫下,水稻植株体内生理生化物质会发生变化,诱导水稻对褐飞虱<sup>[5-6,19-20]</sup>、稻纵卷叶螟<sup>[21]</sup>、三化螟<sup>[12]</sup>等害虫的感虫性。本研究结果表明,在水稻苗期和 4 叶 1 心期,不同用量的氯虫苯甲酰胺拌种处理不会显著影响水稻叶片可溶性糖含量,但在分蘖期,氯虫苯甲酰胺用量为 1.5~2.0 g/kg 时,水稻叶片可溶性糖含量显著高于对照。糖是各种生物体内重要的营养物质之一,可为生物活动提供必要的能量,也可以转化为另外 2 种重要的营养物质(蛋白质和脂肪)<sup>[22]</sup>。可溶性糖含量升高可以提高植物自身的抗性水平,增加植株对害虫的抗性<sup>[23-24]</sup>,如水稻植株经硅肥诱导后,可溶性糖含量显著提高,水稻对稻纵卷叶螟的抗性得到增强<sup>[25]</sup>。但也有研究结果表明,水稻植株内糖含量越高,越利于害虫的发生<sup>[26-27]</sup>。本研究中,用 1.5 g/kg 和 2.0 g/kg 的氯虫苯甲酰胺拌种处理后,水稻分蘖期可溶性糖含量显著升高,而该条件下可溶性糖的升高对水稻抗虫能力的影响还需进一步验证和研究。

类黄酮是植物体内自身合成的重要次生代谢产物,以结合态或自由态存在,能提高植物的抗胁迫能力<sup>[28]</sup>,同时也是一种抗虫次生物质,害虫取食后会产生忌避或拒食反应,甚至中毒<sup>[29]</sup>。用 500  $\mu\text{g/ml}$  类黄酮溶液涂抹水稻叶片,对褐飞虱雌成虫产生明显的拒食和忌避产卵作用<sup>[30]</sup>。本研究结果表明,当氯虫苯甲酰胺有效用量为 1.0~1.5 g/kg 时,与对照相比,水稻各生育期叶片类黄酮含量显著增加,有利于提高水稻对稻纵卷叶螟的抗性。

水稻中游离氨基酸含量与对靶标害虫的抗性之间有着重要的联系<sup>[31-32]</sup>。有研究结果表明,游离氨基酸含量与稻纵卷叶螟的发生程度呈正相关<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,采用不同有效用量氯虫苯甲酰胺拌种处理后,在水稻的苗期、4 叶 1 心期及分蘖期叶片游离氨基酸含量无显著变化,对稻纵卷叶螟的发生无促进作用。

草酸是生物体的一种代谢产物,普遍存在于植物界中<sup>[33]</sup>。从水稻叶鞘中提取出的草酸能有效抑制褐飞虱的取食,感虫和抗虫品种水稻中草酸含量与水稻对褐飞虱的抗性呈显著对应关系<sup>[34]</sup>。本研究结果表明,在 4 叶 1 心期,1.0~2.0 g/kg 氯虫苯甲酰胺拌种处理后,水稻叶片草酸含量与对照相比显著增加。1.5 g/kg 氯虫苯甲酰胺拌种处理后,水稻分蘖期叶片草酸含量与对照相比显著增加。草酸含量的增加有利于提高水稻植株对稻纵卷叶螟的抗性,减轻稻纵卷叶螟的为害。

水稻自身生化物质的变化会影响其对靶标害虫的抗性,利用氯虫苯甲酰胺拌种处理水稻种子,可刺激植株不同生育期的生化物质对其做出响应,从而影响害虫取食能力。利用氯虫苯甲酰胺处理水稻种子可有效控制田间稻纵卷叶螟的为害,一方面是因为植株体内的残留药剂可以直接控制稻纵卷叶螟,另一方面是因为水稻体内抗虫物质(类黄酮和草酸)含量增加,影响稻纵卷叶螟的取食及其生长发育,从而有效控制稻纵卷叶螟对水稻的为害和种群数量的增长。后续研究应结合氯虫苯甲酰胺拌种处理在水稻不同生育期对稻纵卷叶螟的防治效果,进一步探索水稻植株体内生化物质变化与控害能力之

间的关系。

## 参考文献:

- [1] SATTELLE D B, CORDOVA D, CHEEK T R. Insect ryanodine receptors: molecular targets for novel pest control chemicals [J]. *Invertebrate Neuroscience*, 2008, 8(3):107-119.
- [2] LAHM G P, CORDOVA D, BARRY J D. New and selective ryanodine receptor activators for insect control[J]. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 2009, 17(12):4127-4133.
- [3] BARBEE G C, MCCLAIN W R, LANKA S K, et al. Acute toxicity of chlorantraniliprole to non-target crayfish (*Procambarus clarkia*) associated with rice crayfish cropping systems[J]. *Pest Management Science*, 2010, 66(9):996-1001.
- [4] 邱良妙,刘其全,卢学松,等. 福建省水稻纵卷叶螟田间种群对6种杀虫剂的敏感性测定[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(1):62-67.
- [5] CHELLIAN S, FABELLAR L T, HEIRICH S A. Effect of sublethal doses of three insecticides on the reproductive rate of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* on rice[J]. *Environmental Entomology*, 1980, 9(6):778-781.
- [6] HEINRICHS E A, AQUINO G B, CHELLIAN S L, et al. Resurgence of *Nilaparvata lugens* (Stål) populations as influenced by methods and timing of insecticide applications in lowland rice[J]. *Environmental Entomology*, 1982, 11(1):78-84.
- [7] 宋世明,陈兆杰,吴秋榕,等. 不同剂型硝磺草酮及其原药对斑马鱼的急性毒性评价[J]. *南方农业学报*, 2017, 48(8):1518-1523.
- [8] WU J, XU J, YUAN S, et al. Pesticide-induced susceptibility of rice to brown planthopper *Nilaparvata lugens*[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2001, 100(1):119-126.
- [9] WU J C, XU J X, LIU J L, et al. Effects of herbicides on rice resistance and on multiplication and feeding brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) [J]. *International Journal of Pest Management*, 2001, 47(2):153-159.
- [10] 刘井兰,王美凤,徐建祥,等. 农药对水稻体游离氨基酸含量及抗虫性的影响[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2005, 26(3):74-78.
- [11] 余月书,吴进才,王芳,等. 吡虫啉胁迫对水稻可溶性糖、游离氨基酸及钾等矿物元素含量的影响[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2008, 29(1):85-89.
- [12] 吴进才,许俊峰,冯绪猛,等. 稻田常用农药对水稻3个品种生理生化影响[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(5):536-541.
- [13] 许俊峰. 几种农药对水稻抗性及其生理生化的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2002.
- [14] 张治安,张美善,蔚荣海. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2004:54-59.
- [15] 耿敬章. 超声波辅助提取玉米中黄酮类化合物[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(8):42-45.
- [16] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社, 1992:140-142.
- [17] 何春燕,黄敏华,李惠萍. 比色法测定啤酒中的草酸含量[J]. *啤酒科技*, 2006(11):13-15.
- [18] 唐启义,冯明光. 使用统计分析及其DPS数据处理系统[M]. 北京:科学出版社, 2002:65-70.
- [19] 顾秀慧,贝亚维,郭义扬. 几种杀虫剂亚致死中量对褐稻虱生殖力影响的初报[J]. *应用昆虫学报*, 1984(6):39-42.
- [20] 庄永林,沈晋良. 三唑磷对不同翅型稻褐飞虱繁殖力的影响[J]. *南京农业大学学报*, 1999, 22(3):21-24.
- [21] 王芳,吴进才. 2种选择性农药刺激稻纵卷叶螟产卵的研究[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(26):11437-11438.
- [22] 吴相钰,陈阅增. 陈阅增普通生物学:普通生物学[M]. 北京:高等教育出版社, 2005:95-99.
- [23] 李进步,方丽平,吕昭智,等. 棉花抗蚜性与可溶性糖含量的关系[J]. *植物保护*, 2008, 34(2):26-30.
- [24] 雒瑞瑜,崔金杰,王春义,等. 棉花叶片蛋白质、可溶性糖和花青素含量及其与绿盲蝽抗性的关系[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2011(8):75-80.
- [25] 韩永强,弓少龙,文礼章,等. 水稻施用硅肥对稻纵卷叶螟幼虫取食和成虫产卵选择性的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(5):1623-1629.
- [26] 戈林泉,王芳,吴进才. 不同水稻品种对稻纵卷叶螟耐虫性的研究[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2013, 34(4):84-88.
- [27] 刘光杰,黄和平,谢秀芳,等. 早稻品种对二化螟的抗性及其生化基础研究[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 1998, 20(5):512-515.
- [28] HARBORNE J B, WILLIAMS C A. Advances in flavonoid research since 1992[J]. *Phytochemistry*, 2000, 55(6):481-504.
- [29] CABALLERO P, SMITH C M, FRONCZEK F R, et al. Isoflavones from an insect-resistant variety of soybean and the molecular structure of afmosin[J]. *Journal of Natural Products*, 1986, 49(6):1126-1129.
- [30] 凌冰,董红霞,张茂新,等. 水稻黄酮对褐飞虱的抗性潜力[J]. *生态学报*, 2007, 27(4):1300-1307.
- [31] 曾玲,吴荣宗,冯成,等. 水稻品种游离氨基酸含量与抗褐稻虱的关系[J]. *华南农业大学学报*, 1992, 13(4):69-76.
- [32] 吴碧球,黄所生,胡大星,等. 苗龄、光照强度和施氮量对水稻营养物质的影响及其与抗褐飞虱的关系[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(5):1048-1056.
- [33] 李克梅,张芯伪,王丽丽,等. 草酸诱导紫花苜蓿对霜霉病的抗性[J]. *草业科学*, 2015, 32(1):36-40.
- [34] YOSHIBARA T, SOGAWA K, PATHAK M D, et al. Oxalic acid as a sucking inhibitor of the brown planthopper in rice (Delphacidae, Homoptera).[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1980, 27(2):149-155.

(责任编辑:王妮)