

亚致死剂量烯啶虫胺对褐飞虱体内脂肪、蛋白质、可溶性糖及游离氨基酸含量的影响*

张洁^{1,2}, 秦小娃², 袁凤辉², 刘杰², 黄婕², 张润杰²

(1. 云南省农业生物技术重点实验室//云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 云南昆明 650223;

2. 中山大学昆虫学研究所//有害生物控制与资源利用国家重点实验室, 广东广州 510275)

摘要: 测定了烯啶虫胺亚致死剂量 LC₁₀ 与 LC₃₀ 胁迫 12 h 与 24 h 下, 褐飞虱 5 龄若虫与成虫体内可溶性蛋白、糖类、甘油酯及游离氨基酸含量的变化。结果表明: LC₃₀ 与 LC₁₀ 胁迫下的 5 龄若虫与胁迫 12 h 后的成虫体内可溶性糖的含量显著高于对照组; 12 h 胁迫下, LC₃₀ 与 LC₁₀ 的烯啶虫胺均能提高 5 龄若虫与成虫体内游离氨基酸的含量, 而 24 h 处理下的成虫体内游离氨基酸的含量显著低于对照; 烯啶虫胺胁迫 12 h 后, 褐飞虱成虫与若虫体内甘油酯的含量显著高于对照, 而 24 h 处理下的 5 龄若虫体内甘油酯的含量显著低于对照; 烯啶虫胺亚致死质量浓度胁迫下的褐飞虱 5 龄若虫与成虫体内蛋白质含量的变化趋势与游离氨基酸含量的变化有着相似之处。

关键词: 褐飞虱; 烯啶虫胺; 亚致死效应; 可溶性蛋白; 甘油酯; 游离氨基酸; 可溶性糖

中图分类号: Q968 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2011) 06-0088-06

Effects of Sub-Lethal Concentration of Nitenpyram on Soluble Protein, Glyceride, Free Amino Acid and Soluble Sugar of Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae)

ZHANG Jie^{1,2}, QIN Xiaowa², YUAN Fenghui², LIU Jie², HUANG Jie², ZHANG Runjie²

(1. Biotechnology and Germplasm Resource Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yunnan Province Key Laboratory of Agricultural Biotechnology, Kunming 650223, China;

2. State Key Laboratory of Biocontrol and Institute of Entomology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: We compared the changes of soluble sugar, glyceride, free amino acid and soluble protein contents in the 5th instar nymphs and adults of *Nilaparvata lugens* treated with sub-lethal doses of nitenpyram. The results indicated that the reserves of energy sources in nymphs and adults did have different variation trends. Soluble sugar contents in the 5th instar nymphs treated with LC₁₀, LC₃₀ stress in 12 h and 24 h and adults in 12 h stress were significantly higher than those of control; Glyceride contents in 5th instar nymphs and adults treated with LC₁₀ stress were higher than those of control, but under 24 h stress, the glyceride content in the 5th instar nymphs was significantly lower than the control level; The variation trends of soluble protein contents in the 5th instar nymphs and adults were similar to that of free amino acid. The results suggested that under the control of sub-lethal doses of nitenpyram, the 5th instar nymphs and adults may have different coping mechanism and have important significance to understand the mechanism of sub-lethal doses of insecticide inducing resurgence of *Nilaparvata lugens*.

Key words: *Nilaparvata lugens*; nitenpyram; sub-lethal effect; soluble protein; glyceride; free amino acid; soluble sugar

* 收稿日期: 2011-03-02

基金项目: 国家科技支撑资助项目 (2008BADA5B01)

作者简介: 张洁 (1983年生), 男, 博士; 通讯作者: 张润杰; E-mail: lsszj@mail.sysu.edu.cn

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 属迁飞性暴发性害虫, 是我国及东南亚最主要水稻害虫之一。据报道, 20 世纪 70 年代, 褐飞虱在我国曾有 5 年大发生, 80 年代至 90 年代中期有 8 次暴发, 其中 1991 年全国各稻区褐飞虱特大发生, 危害面积高达 2 320 万 hm^2 , 占全国水稻总种植面积的 60% 以上, 稻谷减产 25 亿 kg, 直接经济损失 50 亿元^[1]。专家统计, 2005 至 2006 年间, 褐飞虱的发生与危害达到了空前的程度。2006 年我国褐飞虱发生面积高达 1 667 万 hm^2 , 给农业生产带来毁灭性的打击^[2]。虽然褐飞虱的暴发与多种因素有关, 但其对杀虫剂产生抗药性是一个极其重要的因素^[3-4]。目前, 化学防治仍旧是褐飞虱防治的主要手段。化学药剂的不合理使用是导致褐飞虱对常规的有机磷类、氨基甲酸酯类杀虫剂和新烟碱类杀虫剂等产生不同程度抗药性的主要原因之一^[5-7]。

在农药施于田间后, 人们往往侧重于它对害虫的致死效果, 而忽视其在一定时期对整个生态系统产生的亚致死影响。随着杀虫剂的降解与淋溶、种群个体间接触药量及生理生化的差异等, 使得害虫往往处于农药的亚致死效应下。这些亚致死剂量的农药会对害虫种群造成很大影响, 包括害虫生物学和生态学行为的改变、生殖力的变化和抗药性的发展等^[8]。

昆虫生命活动所需要的能量主要由体内的能源物质提供^[9]。在昆虫的正常生命活动中, 糖类是最主要能量提供者。除直接被代谢供组织利用以外, 大部分昆虫将糖转变为海藻糖和糖原, 海藻糖是血淋巴内的主要糖类, 在需要时可相互转化^[10-11]。只有在长期飞行或饥饿等特殊条件下, 脂肪和氨基酸才被动员和消耗。脂肪酸是昆虫体内的主要储备能源和重要的营养物质, 而甘油酯是脂肪储存的主要形式^[12-13]。昆虫脂类贮藏于脂肪体, 但在其他部位氧化。脂类分解首先是脂肪体将甘油三酯转变为甘油二酯, 随后在血淋巴中以脂蛋白的形式转运; 另外一部分是以磷脂和固醇酸的形式存在于生物膜中^[10,14]。蛋白质是维系昆虫结构与功能的重要物质。在昆虫糖类耗尽的情况下, 蛋白质通过糖异生作用, 能够将氨基酸转变为丙酮酸或草酰乙酸, 为三羧酸循环提供代谢中间体, 启动丙酮酸的彻底氧化^[15]。在不良环境因子如杀虫剂的胁迫下, 糖类、脂肪与蛋白质之间的积累或利用可能会发生转化, 进而影响昆虫对不良因子的忍耐能力。印建莉等^[16]研究发现, 经三唑磷和溴氰菊酯处理过的水稻上饲养的成虫体内可溶性糖含量显著

高于对照, 而经低浓度杀虫剂处理的成虫体内的粗脂肪含量也显著高于对照。

烯啶虫胺属新型烟碱类杀虫剂, 是昆虫乙酰胆碱酯酶受体抑制剂, 作用于昆虫中枢神经系统, 具有强内吸和传导作用, 杀虫谱广、初效快、持效久、与常规农药无交互抗性^[17]。目前, 关于农药对褐飞虱体内能源物质影响的研究较少, 本研究旨在探讨烯啶虫胺亚致死质量浓度胁迫下褐飞虱成虫与若虫体内糖类、甘油酯、游离氨基酸及可溶性蛋白含量的变化。希望为揭示烯啶虫胺对褐飞虱的亚致死效应提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2008 年于广东省惠州市海纳粮油集团万卢基地采集褐飞虱成虫。由中山大学昆虫学研究所实验室内连续饲养 2 a 以上获得, 饲养条件为 $(28 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、14L:10D, 相对湿度为 $(70 \pm 5)\%$ 。

1.2 杀虫剂

$w = 98\%$ 烯啶虫胺标准品由广东农科院植保所提供。

1.3 烯啶虫胺胁迫下褐飞虱五龄若虫及成虫体内能源物质的含量的测定

基于前期烯啶虫胺对褐飞虱的毒杀实验结果, 选择了 LC_{10} (0.09 mg/L) 与 LC_{30} (0.30 mg/L) 两种质量浓度作为供试亚致死质量浓度。采用庄永林等^[18]稻茎浸渍法对褐飞虱进行处理。将 5 龄若虫与成虫各 15 头称量后分别接到处理和对照 (未用农药处理) 的 3 株长势相同的水稻上。各种处理与对照在同一人工气候箱 [$(28 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、14L:10D、RH $(70 \pm 5)\%$] 中进行培养。12 h 与 24 h 后分别测定各能源物质的含量。实验重复 3 次。

1.4 可溶性糖含量的测定

可溶性糖的测定采用蒽酮法。(1) 标准曲线的制定。配制 100 mg/L 葡萄糖标准溶液, 分别取 0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8 和 1.0 mL 于试管中用蒸馏水补足至 1 mL, 加入 5 mL 蒽酮试剂, 混合均匀。沸水浴中加热 10 min, 取出后在自来水中冷却 20 min。用 752N 型分光光度计 (下同) 于 620 nm 处测定 A 值, 得到葡萄糖质量浓度标准曲线。(2) 样品的测定。每个处理取褐飞虱 15 头, 称其质量后加入 1 mL $w = 30\%$ KOH 溶液研磨均匀, 沸水浴 30 min; 加入 3 mL 无水乙醇, 混匀, 4 500 r/min 离心 5 min。取上清液, 加入 3 mL 0.6 mol/L 盐酸溶液, 沸水浴 2 h, 过滤, 加入 1 mL 蒽酮试剂

按上述方法测定糖含量。

1.5 甘油酯含量的测定

采取索氏脂肪提取法提取虫体内总的脂类物质。然后将抽提的脂类物质经过皂化、氧化和显色等步骤, 最终生成物在 420 nm 处比色, 测定 A 值。以三油酸甘油酯标准液作对照, 计算甘油三酯的含量。

1.6 游离氨基酸含量的测定

游离氨基酸含量的测定采用茚三酮法。①标准曲线的制作。分别取 0.6 mmol/L 的标准谷氨酸溶液 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于试管中, 用水补足至 1 mL。各加入 1 mL pH5.4、2 mol/L 醋酸缓冲液; 再加入 1 mL 茚三酮显色液, 充分混匀后, 盖住试管口, 100 °C 水浴加热 15 min, 用自来水冷却。放置 5 min 后, 加入 3 mL $\varphi = 60\%$ 乙醇稀释, 充分摇匀, 570 nm 处比色测定 A 值 (脯氨酸和羟脯氨酸与茚三酮反应呈黄色, 应于 440 nm 处测定 A 值)。②氨基酸样品的测定。各处理取褐飞虱 15 头, 称量后加入 1.2 mL 蒸馏水研磨均匀得到样品液。取样品液 1 mL, 加入 pH5.4、2 mol/L 醋酸缓冲液 1 mL 和茚三酮显色液 1 mL, 混匀后于 100 °C 沸水浴中加热 15 min, 自来水冷却。放置 5 min 后, 加 3 mL $\varphi = 60\%$ 乙醇稀释, 摇匀后于 570 nm 处比色测定 A 值。

1.7 可溶性蛋白含量的测定

可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 法。①以牛血清蛋白作为标准蛋白, 配制 1 mg/mL 的标准蛋白溶液, 之后用蒸馏水稀释成 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的标准蛋白溶液。在 5 mL 离心管内各加入 0、0.0、0.2、0.3、0.4、0.5 mL 标准蛋白溶液, 蒸馏水定容至 0.5 mL, 每管加考马斯亮蓝 G-250 2.5 mL 混合摇匀, 放置 5 min, 在 595 nm 波长下测 A 值。②各样品蛋白质含量测定。于各管中加入酶原 0.1 mL、蒸馏水 0.4 mL、考马斯亮蓝 G-250 2.5 mL, 混合摇匀, 放置 5 min 后于 595 nm 波长下测定 A 值。

1.8 数据分析

所有数据均采用 SPSS13.0 软件进行 t 检验分析。

2 结果与分析

2.1 亚致死质量浓度烯啶虫胺对褐飞虱体内可溶性糖含量的影响

LC_{30} 与 LC_{10} 的烯啶虫胺对褐飞虱体内可溶性糖含量的胁迫结果见图 1 (a)、(b)。由图可以看

出, 与对照 ck 相比, 两种亚致死质量浓度烯啶虫胺均可使褐飞虱 5 龄若虫体内可溶性糖的含量显著上升 ($P < 0.05$), 其中 LC_{30} 处理组可溶性糖含量上升幅度最大, 高于 LC_{10} 处理组。与 5 龄若虫相比, LC_{30} 与 LC_{10} 的烯啶虫胺处理 12 h 后, 褐飞虱成虫体内可溶性糖的含量显著高于对照 ($P < 0.05$); 24 h 后, 成虫体内可溶性糖含量均略低于对照组。

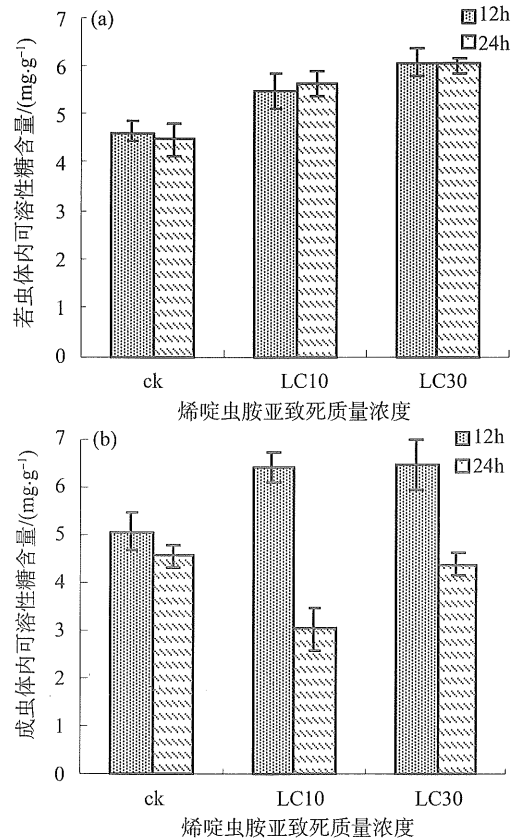


图 1 烯啶虫胺对褐飞虱 5 龄若虫 (a) 与成虫 (b) 体内可溶性糖含量的影响

Fig. 1 The influence of nitenpyram on soluble sugar contents in the 5th instar nymphs (a) and adults (b) (图中数据为平均数 \pm 标准误)

2.2 亚致死质量浓度烯啶虫胺对褐飞虱体内游离氨基酸含量的影响

两种亚致死质量浓度烯啶虫胺对褐飞虱体内游离氨基酸含量的影响见图 2 (a)、(b)。由图 2 (a) 可以看出, 处理 12 和 24 h 后, 两种亚致死质量浓度的烯啶虫胺对褐飞虱 5 龄若虫体内游离氨基酸含量影响的差异不显著 ($P > 0.05$)。由图 2 (b) 可以看出, LC_{30} 与 LC_{10} 处理褐飞虱成虫 12 h 后, 体内游离氨基酸含量明显上升, 均显著高于对照组 ($P < 0.05$); 处理 24 h 后, 成虫体内游离氨

氨基酸含量下降至较低水平,均低于对照组。

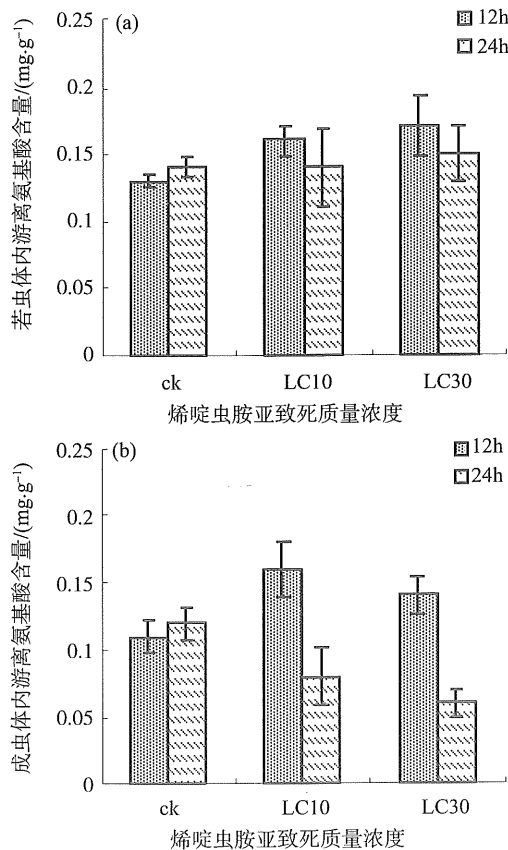


图2 烯啶虫胺对褐飞虱5龄若虫(a)与成虫(b)体内游离氨基酸含量的影响

Fig. 2 The influence of nitenpyram on free amino acid contents in the 5th instar nymphs (a) and adults (b)

2.3 亚致死质量浓度烯啶虫胺对褐飞虱体内可溶性蛋白含量的影响

两种亚致死质量浓度对褐飞虱体内蛋白质含量的影响见图3(a)、(b)。由图3(a)可以看出,两种亚致死质量浓度的烯啶虫胺处理褐飞虱5龄若虫12h后,5龄若虫体内蛋白含量均显著高于对照组($P < 0.05$);与LC₁₀处理组相比,LC₃₀处理组蛋白质含量上升更显著。由图3(b)可以看出,两种质量浓度烯啶虫胺处理褐飞虱若虫24h后,褐飞虱体内蛋白质含量均稍有降低,但降低幅度不大。LC₃₀与LC₁₀处理褐飞虱成虫12h后,体内蛋白质含量明显上升,均与对照组达到差异显著水平($P < 0.05$),处理24h后,成虫体内蛋白质含量均低于对照组,其中LC₃₀处理组蛋白质含量与对照组差异显著($P < 0.05$)。

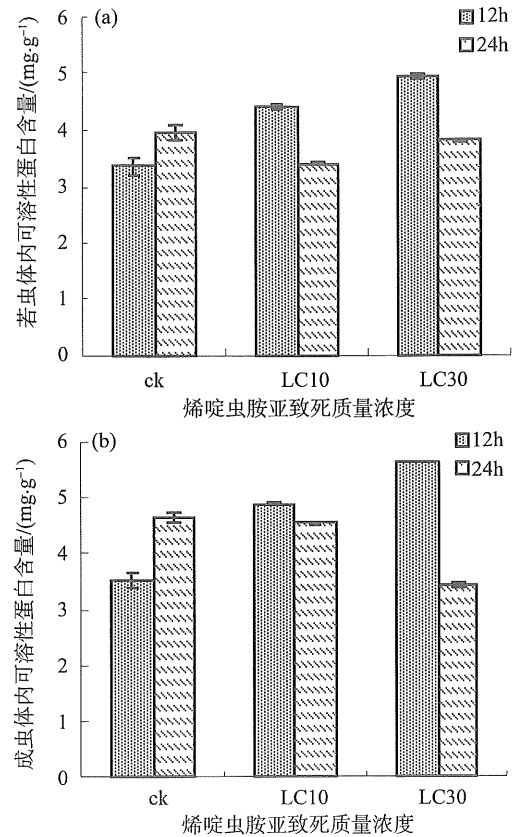


图3 烯啶虫胺对褐飞虱5龄若虫(a)与成虫(b)体内可溶性蛋白含量的影响

Fig. 3 The influence of nitenpyram on soluble protein contents in the 5th instar nymphs (a) and adults (b)

2.4 亚致死质量浓度烯啶虫胺对褐飞虱体内甘油酯含量的影响

LC₃₀与LC₁₀的烯啶虫胺对褐飞虱体内甘油酯含量的影响见图4(a)、(b)。由图4可以看出,LC₁₀与LC₃₀处理12h后,褐飞虱5龄若虫体内甘油酯的含量均高于对照组,处理24h后的情况恰好相反,均显著低于对照组。两种亚致死质量浓度的烯啶虫胺处理12h和24h后,褐飞虱成虫体内甘油酯的含量均呈上升趋势,且随着处理质量浓度的增大和时间的延长,甘油酯含量上升得越显著。

3 讨论

关于亚致死剂量的杀虫剂对褐飞虱生殖力影响的研究已有不少,大多研究表明农药的亚致死效应是导致褐飞虱再猖獗的主要原因之一^[19-22]。也有研究表明杀虫剂处理的水稻能够刺激褐飞虱的取食,进而刺激飞虱脂肪的积累和生殖^[23]。Yin et al^[22]的研究表明,亚致死质量浓度杀虫剂处理后的水稻能够促进褐飞虱体内生物化学物质的积累。这与本实验中亚致死质量浓度烯啶虫胺胁迫下,尤

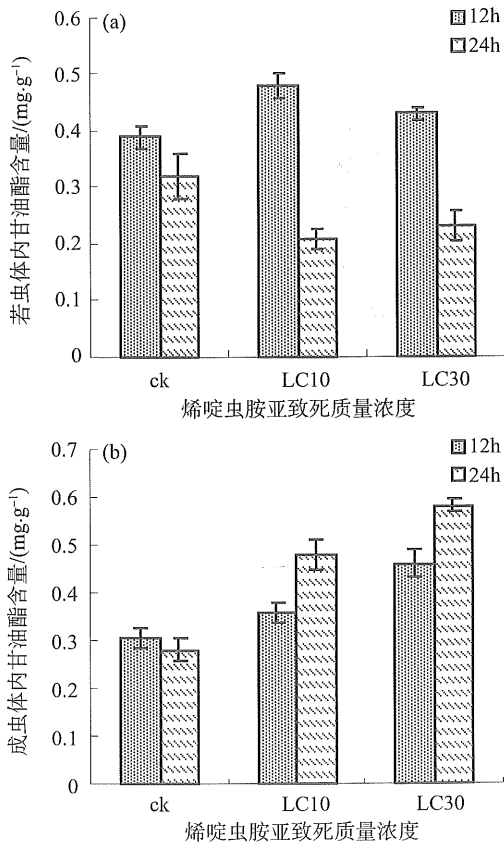


图4 烯啶虫胺对褐飞虱5龄若虫(a)与成虫(b)体内甘油酯含量的影响

Fig. 4 The influence of nitenpyram on glyceride contents in the 5th instar nymphs (a) and adults (b)

其是处理12 h后, 能源物质的变化趋势是基本一致的。在本研究中, LC₁₀与LC₃₀浓度的烯啶虫胺胁迫下的褐飞虱5龄若虫及处理12 h后的成虫体内可溶性糖的含量均显著高于对照, 这与印建莉等^[16]的研究结果一致。

糖类、脂肪、蛋白质等是储存于昆虫体内的主要能源物质。正常的生命活动中, 昆虫消耗的主要能源物质是糖类。但在不良环境因子如杀虫剂的胁迫下, 糖类、脂肪与蛋白质之间的积累或利用会发生转化, 进而影响昆虫对不良因子的抵抗能力。在亚致死剂量的杀虫剂胁迫下, 褐飞虱长翅型成虫可能会有“迁飞”的趋势以躲避其影响, 而高龄若虫则加强对水稻碳水化合物及游离氨基酸的吸收, 加强代谢, 以缩短羽化时间进而迁飞。昆虫飞行利用的能源物质主要有3类, 即碳水化合物、脂类和蛋白质类。不同昆虫飞行期间消耗的能源物质种类及其过程有所不同^[24]。而作为褐飞虱迁飞中能源物质的研究大多表明脂类是褐飞虱远距离迁飞的能量提供者, 而糖类或游离氨基酸仅仅在飞行初期提供能量。如陈若簾根据褐飞虱迁飞途径, 定期收集

起飞迁出、空中运行和降落的虫源, 测定了脂肪的含量, 表明在迁移过程中褐飞虱脂肪含量随迁移距离而明显下降, 即脂类是褐飞虱迁飞的主要能源物质^[25]。本研究中通过烯啶虫胺对褐飞虱亚致死效应的研究, 证明了亚致死质量浓度的烯啶虫胺能够促进成虫体内脂类的积累。

LC₁₀与LC₃₀胁迫24 h下的若虫体内甘油酯的含量显著低于对照; 而成虫体内甘油酯的含量仍高于对照。并且, 烯啶虫胺亚致死质量浓度越大, 成虫体内甘油酯的含量越高。这表明褐飞虱若虫与成虫在应对亚致死质量浓度的杀虫剂胁迫时所采取的应对机制有所不同。若虫可能通过增加体内糖类、游离氨基酸等能量物质的吸收与脂类的消耗来提高代谢活性以应对烯啶虫胺的亚致死效应, 而成虫则更倾向于增加体内脂类的贮存以“逃避”不利环境。

两种亚致死质量浓度烯啶虫胺的胁迫作用显著提高了5龄若虫与成虫体内可溶性糖的含量。这表明亚致死质量浓度的烯啶虫胺能够刺激5龄若虫与成虫对糖类的吸收。而在24 h胁迫下, 成虫体内可溶性糖含量不再高于对照水平, 这可能是可溶性糖向脂类转化的结果。烯啶虫胺胁迫12 h下的5龄若虫与成虫体内游离氨基酸的含量均显著高于对照; 而24 h处理下的若虫体内游离氨基酸含量降低到对照水平, 在成虫阶段则表现为显著低于对照水平, 这同样可能是因为游离氨基酸向脂类转化的原因。亚致死质量浓度胁迫下的褐飞虱5龄若虫与成虫体内蛋白质含量的变化与其体内氨基酸的含量变化有着相似之处。这可能是因为虫体取食的氨基酸一部分用于代谢外, 有相当多的部分用于合成体内蛋白质和脂类。并且, 24 h胁迫下的成虫体内可溶性蛋白的含量同样显著低于对照水平, 这也表明蛋白有向脂类转化的可能。

本研究主要探讨了烯啶虫胺在两种亚致死质量浓度(LC₁₀与LC₃₀)胁迫下, 褐飞虱成虫与若虫体内各能源物质含量的变化, 至于这种变化是否与褐飞虱不同发育期相关, 以及若虫与成虫对亚致死效应的应对机制等方面有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 程遐年, 吴进才, 马飞. 褐飞虱研究与防治[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 38-45.
- [2] 郑许松, 陈桂华, 徐红星, 等. 温度和氮肥对褐飞虱存活、生长发育和繁殖的交互作用[J]. 应用生态学报, 2009, 20: 1171-1175.

- [3] 程家安, 祝增荣. 2005年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析[J]. 植物保护, 2006, 32: 1-4.
- [4] 王彦华, 陈进, 沈晋良, 等. 防治褐飞虱的高毒农药替代药剂的室内筛选及交互抗性研究[J]. 中国水稻科学, 2008, 22: 519-526.
- [5] HIRAI K. Recent trends of insecticide susceptibility in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) [J]. Appl Entomol Zool, 1993, 28: 339-346.
- [6] NAGATA T. Insecticide resistance and chemical control of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) [J]. Bull Kyushu Nat Agric Exp Sta, 1982, 22: 49-164.
- [7] WANG Yanhua, GAO Congfeng, ZHU Yucheng, et al. Imidacloprid susceptibility survey and selection risk assessment in field populations of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) [J]. J Econ Entomol, 2008, 101: 515-522.
- [8] 王小艺, 杀虫剂对昆虫的亚致死效应[J]. 世界农药, 2004, 26: 24-27.
- [9] 张克斌, 谭六谦. 昆虫生理学[M]. 西安: 山西科学出版社, 1989: 55-62.
- [10] 胡美英, 钟国华, 林进添, 等. 闹羊花素-III对昆虫血淋巴能源物质含量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21: 338-342.
- [11] WYATT, G R. The biochemistry of sugars and polysaccharides in insects [J]. Adv Insect Physiol, 1967, 4: 287-360.
- [12] COHEN A C. Extra-oral digestion in predaceous terrestrial arthropoda [J]. Annual Review of Entomology, 1995, 40: 85-103.
- [13] 吴孔明, 郭予元. 棉铃虫飞翔的能源物质及消耗[J]. 昆虫学报, 1998, 41: 15-20.
- [14] STANLEY-SAMUELSON D W, JURENKA R A, CRIPPS C, et al. Fatty acids in insects: Composition, metabolism and biological significance [J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology, 1988, 9: 1-33.
- [15] 王荫长. 昆虫生理生化[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 170.
- [16] 印建莉, 胡君欢, 徐海伟, 等. 杀虫剂胁迫下褐飞虱迁飞虫和本地虫后代体内粗脂肪、可溶性糖及氨基酸含量的比较[J]. 昆虫学报, 2008, 51: 1103-1112.
- [17] 唐振华. 新烟碱类杀虫剂的结构与活性及其药效基团[J]. 现代农药, 2002(1): 1-6.
- [18] 庄永林, 沈晋良, 陈峥. 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: 21-24.
- [19] CHELLIAH S, HEINRICHS E A. Factors affecting insecticide-induced resurgence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* on rice [J]. Environmental Entomology, 1980, 9: 773-777.
- [20] 王荫长, 范加勤, 田学志, 等. 溴氰菊酯和甲胺磷引起稻飞虱再猖獗问题的研究[J]. 昆虫知识, 1994, 31: 257-262.
- [21] WU Jincai, XU Jianxiang, YUAN Shuzong, et al. Pesticide-induced susceptibility of rice to brown planthopper *Nilaparvata lugens* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2001, 100: 119-126.
- [22] YIN Jianli, XU Haiwei, WU Jincai, et al. Cultivar and insecticide applications affect the physiological development of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) [J]. Environmental Entomology, 2008, 37: 206-212.
- [23] WU Jincai, XU Jianxiang, YUAN Shuzong, et al. Effects of herbicides on rice resistance and on multiplication and feeding of brown planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) [J]. International Journal of Pest Management, 2001, 47: 153-159.
- [24] KLAUSE H, Hoffmann. Environment Physiology and Biochemistry of Insects [M]. New York: Springer Berlin Heidelberg, 1985: 112-118.
- [25] 陈若簏. 脂类作为褐飞虱飞行能量来源的研究[J]. 昆虫学报, 1983, 26: 42-48.