

王思芳,李江杰,郑长英,等.甜菜夜蛾取食不同肥料水平种植白菜对其体内能源物质含量的影响[J].江苏农业科学,2017,45(16):89-92.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.16.022

# 甜菜夜蛾取食不同肥料水平种植白菜对其体内能源物质含量的影响

王思芳,李江杰,郑长英,张彬

(青岛农业大学农学与植物保护学院/山东省植物病虫害综合防控重点实验室,山东青岛 266109)

**摘要:**甜菜夜蛾 [*Spodoptera exigua* (Hübner)] 在我国的危害日趋严重,为研究不同施肥条件对甜菜夜蛾体内能源物质的影响,设置 5 个氮磷比(1:5、1:3、1:1、3:1、5:1)肥料水平,在不同肥料水平下种植白菜苗,将甜菜夜蛾 2 龄幼虫按照不同取食强度(2.5 头/株)、不同取食时间(连续取食 2.5 d)分别取食白菜,收集测定各个处理下甜菜夜蛾幼虫体内蛋白质、可溶性糖、脂类含量。结果表明,除高虫口密度甜菜夜蛾取食白菜苗 5d 后其幼虫体内蛋白质、可溶性糖含量在不同肥料水平间无显著差异外,不同肥料水平均能极显著影响甜菜夜蛾在不同取食处理后蛋白质、可溶性糖、脂类 3 种能源物质的含量,其中氮磷比为 1:3 的肥料水平在不同取食处理下有利于甜菜夜蛾幼虫体内能源物质的积累,氮肥比例的提升并不有助于甜菜夜蛾幼虫在不同取食处理下能源物质的积累。研究结果有助于进一步揭示甜菜夜蛾与寄主植物之间的营养关系,从而明确不同种植条件下甜菜夜蛾的发生规律、灾变机制。

**关键词:**甜菜夜蛾;白菜;营养物质;蛋白质;脂类;可溶性糖;发生规律;灾变机制

**中图分类号:** S433.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)16-0089-04

昆虫的能源物质主要有碳水化合物、脂类和氨基酸,糖、脂类和氨基酸等各种能源物质按照特定的代谢途径,产生可以供虫体各种生命活动所需的能量,如昆虫的迁飞、越冬、繁殖等。不同的营养条件会明显影响昆虫的生长发育和繁殖能力<sup>[1-2]</sup>。氮素对植物生长发育具有必不可少的生理性作用。在氮素充足时,植物本身可合成较多的蛋白质,促进细胞的分裂和增长,因此可以使叶片快速生长,从而加强光合作用<sup>[3-5]</sup>。磷对植物营养生长是不可或缺的,在植物体大部分有机化合物中都含有磷。植物本身的一些生理过程,如光合作用、能量储存和传递、呼吸作用、细胞分裂、细胞增大和其他一些过程都需要磷的参与。磷可以促进植物早期根系的形成和生长,提高植物适应外界不良环境条件的能力,有助于增强植物耐寒性;此外,磷还能够提高一些植物的抗病性、抗旱等能力<sup>[3-5]</sup>。

甜菜夜蛾 [*Spodoptera exigua* (Hübner)] 是一种重要的农业害虫,具有寄主范围广、适应能力强、繁殖速度快、发生世代多等特点,随着农业种植结构调整步伐的加快,特别是蔬菜等经济作物种植面积不断扩大,甜菜夜蛾逐渐成为常发性害虫,

造成的经济损失也在逐年增加<sup>[6]</sup>。之前对于甜菜夜蛾营养生态学的研究主要集中在寄主植物<sup>[7-9]</sup>和人工饲料<sup>[10-12]</sup>上,但是对于甜菜夜蛾取食不同施肥水平寄主植物后的研究鲜有报道,本试验模拟田间不同施肥条件种植白菜苗,测定不同取食强度甜菜夜蛾幼虫取食白菜后其体内蛋白质、可溶性糖和脂类 3 种能源物质的含量,以期对于初步揭示田间不同肥力水平甜菜夜蛾种群动态机制提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源与寄主植物

试验用虫源采自青岛市城阳区上马镇大葱田(地理位置 120.17°E,41.67°N),以在人工气候培养箱内按照肖伟等的方法<sup>[13]</sup>连续饲养 5~8 代的雌雄成虫作为本试验的试虫。白菜品种为苏州青 (*Brassica chinensis*)。

### 1.2 营养液的配制

本试验选用硝酸铵(ammonium nitrate,简称 AN)、磷酸一铵(monoammonium phosphate,简称 MP)、硫酸钾(potassium sulfate,简称 PS)为营养液原料配制母液。其中氮磷比=1:5 的配方需要 0.00 g AN,41.76 g MP,20.74 g PS;氮磷比=1:3 的配方需要 8.30 g AN,34.00 g MP,20.74 g PS;氮磷比=1:1 的配方需要 24.50 g AN,17.00 g MP,20.74 g PS;氮磷比=3:1 的配方需要 34.83 g AN,6.93 g MP,20.74 g PS;氮磷比=5:1 的配方需要 37.42 g AN,4.34 g MP,20.74 g PS。每个氮磷比加水配制成质量分数为 25% 的营养液母液。为保证白菜苗的正常生长,本试验在每个肥料水平下均加入一致的微量元素。本试验选用翠恩微量元素水溶肥料(多元 APN,青岛苏贝尔作物营养有限公司)配制微量元素母液,称取 3.332 g 微量元素肥,加入 200 mL 水配制成微量元素母液。施肥时按照以下配方配制成营养液:1 500 mL 水,3 mL

收稿日期:2017-01-25

基金项目:山东省优秀中青年科学家奖励基金(编号:BS2013NY005);山东省现代农业产业技术体系(编号:SDAIT-05-13);青岛农业大学高层次人才启动基金(编号:631316)。

作者简介:王思芳(1965—),女,山东寿光人,硕士,副教授,主要从事昆虫生态学研究;Tel:(0532)88030425,E-mail:wangsifangz@163.com。共同第一作者:李江杰(1994—),男,山东临朐人,主要从事昆虫生态学研究;Tel:(0532)88030425,E-mail:1362198192@qq.com。

通信作者:张彬,博士,讲师,研究方向为昆虫生态与分子生物学。Tel:(0532)88030425;E-mail:binzhang@qau.edu.cn。

营养液母液和 0.75 mL 微量元素母液。

1.3 白菜苗的种植

选取大小相似、种子活力相当的白菜种子,以珍珠岩为培养基质,将白菜种子放入事先用水浇灌的珍珠岩中,每盆放入 2~3 粒白菜种子。等到出芽后,每盆只保留 1 株白菜,置于温度(28±1)℃,光—暗周期 16 h—8 h,相对湿度(70±5)%的人工气候培养箱(RDN-300D-5;宁波市乐电仪器制造有限公司)内种植。本试验共种植白菜苗 150 株,每 30 株为 1 组,每组分别用不同氮磷比的营养液浇灌待用。在白菜生长初期每天加入 40 mL 营养液,待 15 d 后每天加入 60 mL 营养液,所有肥料水平的营养液用量一致。

1.4 甜菜夜蛾的接种

随机选取人工饲料饲养的 2 龄甜菜夜蛾幼虫,接种到白菜叶上,每个肥料水平设置 2 个虫口密度:2、5 头/株,在白菜底部铺垫 1 层滤纸,防止虫体脱落时落入珍珠岩中。每个肥料水平、每个虫口密度分别取食 2、5 d 后,收集白菜叶上的甜菜夜蛾幼虫,于-80℃保存,以待测定。每个处理重复 5 次。

1.5 能源物质的测定

将甜菜夜蛾样品在 70℃烘箱中完全烘干,称质量并研磨成粉末状,采用常量凯氏定氮法测定蛋白质含量。甜菜夜蛾脂类物质的测定参考 Bucolo 等的乙酰丙酮法<sup>[14]</sup>。可溶

性糖含量的测定采用蒽酮硫酸法。

1.6 数据分析

根据测定结果构建一般线性模型并采用双因素方差分析(ANOVAs),分析肥料水平、虫口密度和取食时间对甜菜夜蛾 3 种能源物质的影响。不同处理间多重比较采用 S-N-K 进行统计分析,确定差异显著水平为 α=0.05、0.01、0.001。所有的统计分析均由 SPSS 20.0 完成。

2 结果与分析

2.1 肥料水平和取食强度对甜菜夜蛾幼虫能源物质含量的影响

由表 1 可见,在低虫口密度下,取食时间、肥料水平以及两者之间的交互作用均会极显著影响甜菜夜蛾幼虫体内的可溶性糖、蛋白质和脂类含量;在高虫口密度下,肥料水平、取食时间和肥料水平之间的交互作用均会极显著影响甜菜夜蛾体内脂类含量,且取食时间也会显著影响甜菜夜蛾幼虫体内脂类含量;取食时间、取食时间和肥料水平之间的交互作用均会显著或极显著影响甜菜夜蛾体内蛋白质、可溶性糖含量,其中取食时间对蛋白质含量的影响,取食时间和肥料水平之间的交互作用对可溶性糖含量的影响均达到了极显著水平;肥料水平对甜菜夜蛾体内蛋白质、可溶性糖含量均无显著影响。

表 1 施肥水平和取食强度对甜菜夜蛾幼虫体内能源物质含量的影响

因素	低密度(2 头/株)处理 F 值			高密度(5 头/株)处理 F 值		
	可溶性糖	蛋白质	脂类	可溶性糖	蛋白质	脂类
取食时间	1 498.927 **	118.418 **	20.966 **	9.747 *	17.418 **	9.179 *
肥料水平	269.006 **	140.921 **	15.604 **	—	—	14.001 **
取食时间×肥料水平	145.750 **	39.092 **	17.314 **	6.585 **	4.037 *	11.125 **

注:“\*\*”表示有极显著影响(P<0.001);“\*”表示有显著影响(P<0.05);“—”表示无显著影响。表 2 同。

2.2 不同取食时间对甜菜夜蛾幼虫能源物质含量的影响

由表 2 可以看出,低虫口密度甜菜夜蛾取食 2、5 d 后,不同肥料水平间甜菜夜蛾体内能源物质含量表现为极显著差异;但在高虫口密度甜菜夜蛾取食 2 d 后,除脂类含量在不同

肥料水平间表现为极显著差异外,可溶性糖、蛋白质含量均表现为显著性差异;高虫口密度取食 5 d 后,除可溶性糖含量受到肥料水平的显著影响外,蛋白质、脂类含量在不同肥料水平间均无显著性差异。

表 2 取食时间对甜菜夜蛾幼虫体内能源物质含量的影响

取食时间 (d)	低密度(2 头/株)处理 F 值			高密度(5 头/株)处理 F 值		
	可溶性糖	蛋白质	脂类	可溶性糖	蛋白质	脂类
2	205.000 **	223.870 **	16.331 **	3.944 *	3.663 *	15.851 **
5	229.861 **	31.014 **	62.185 **	6.821 *	—	—

2.3 不同肥料水平对甜菜夜蛾幼虫可溶性糖含量影响

在低虫口密度下,甜菜夜蛾取食不同肥料水平下种植的白菜苗 2 d 后,体内可溶性糖含量整体差异极显著(F=205.000,P<0.001),其中取食氮磷比=1:5 肥料水平下种植的白菜苗后甜菜夜蛾体内可溶性糖含量最低,其次的肥料水平依次为氮磷比=5:1、3:1、1:1,可溶性糖含量在氮磷比=1:3 下最高;当甜菜夜蛾在低虫口密度下继续取食 5 d 后,其体内可溶性糖含量在整体肥料水平下差异依然极显著(F=229.861,P<0.001),氮磷比=3:1、5:1 时甜菜夜蛾体内的可溶性糖含量最低,且两者间无显著性差异(P>0.05),氮磷比=1:5、1:3、1:1 时可溶性糖含量均显著高于前两者,且其间无显著性差异(图 1)。

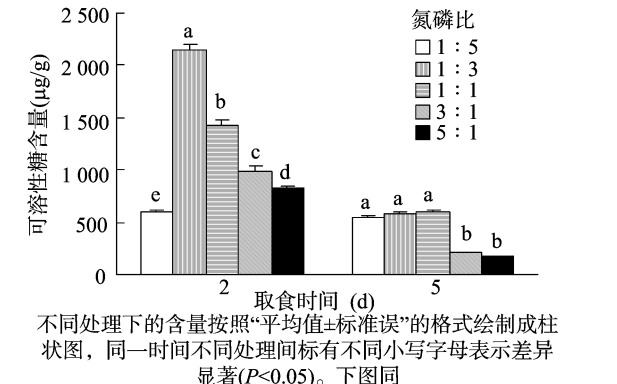


图1 低虫口密度下不同肥料水平对甜菜夜蛾幼虫可溶性糖含量影响

从图 2 可以看出,在高虫口密度条件下,甜菜夜蛾取食不同肥料水平下种植的白菜苗 2 d 后,体内可溶性糖含量差异显著( $F=3.944, P=0.016<0.05$ ),氮磷比=1:5、5:1 肥料水平下甜菜夜蛾体内可溶性糖含量最低,其他 3 个肥料水平间无显著性差异;取食 5 d 后的甜菜夜蛾体内可溶性糖含量在整体上差异依然极显著( $F=6.821, P=0.001<0.01$ ),氮磷比=1:5 时甜菜夜蛾体内的可溶性糖含量最高,其余 4 个肥料水平间无显著差异( $P>0.05$ )。

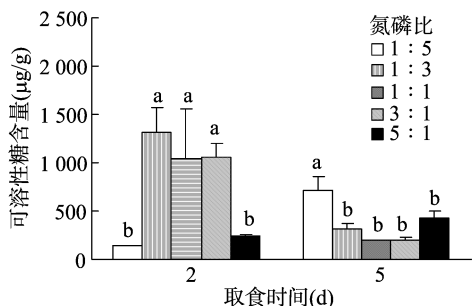


图2 高虫口密度下不同肥料水平对甜菜夜蛾可溶性糖含量影响

#### 2.4 不同肥料水平对甜菜夜蛾幼虫蛋白质含量影响

在低虫口密度下,甜菜夜蛾取食不同肥料水平下种植的白菜苗 2 d 后,体内蛋白质含量差异极显著( $F=223.870, P<0.001$ ),氮磷比=1:1 肥料水平下甜菜夜蛾体内蛋白质含量最低,以后依次为氮磷比=5:1、1:5、3:1,氮磷比=1:3 时蛋白质含量最高;在低虫口密度下继续取食至 5 d 后的甜菜夜蛾体内蛋白质含量在不同肥料水平间也差异极显著( $F=31.014, P<0.001$ ),氮磷比=1:3 时甜菜夜蛾体内的蛋白质含量最高,其他处理蛋白质含量由高到低依次为氮磷比 3:1>1:1>1:5>5:1(图 3)。

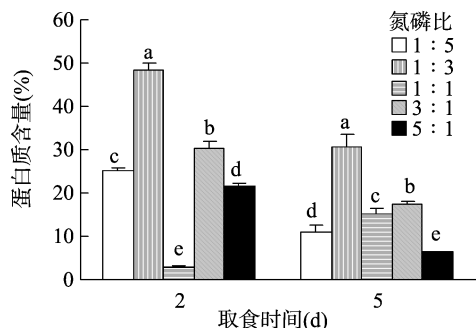


图3 低虫口密度下不同肥料水平对甜菜夜蛾幼虫蛋白质含量影响

从图 4 可以看出,在高虫口密度条件下,甜菜夜蛾取食不同肥料水平下种植的白菜苗 2 d 后,体内蛋白质含量差异显著( $F=3.663, P=0.021<0.05$ ),氮磷比=5:1 肥料水平下甜菜夜蛾体内蛋白质含量最低,其他 4 个肥料水平间无显著性差异;取食 5 d 后的甜菜夜蛾体内蛋白质含量在不同施肥条件下无显著差异( $F=1.164, P=0.356>0.05$ )。

#### 2.5 不同虫口密度下不同肥料水平对甜菜夜蛾幼虫脂类含量影响

在低虫口密度下,甜菜夜蛾取食不同肥料水平种植的白菜苗 2 d 后,体内脂类含量差异极显著( $F=16.331, P<0.001$ ),氮磷比=1:3 肥料水平下甜菜夜蛾体内脂类含量最高,但其他 4 个肥料水平间无显著性差异( $P>0.05$ );取食

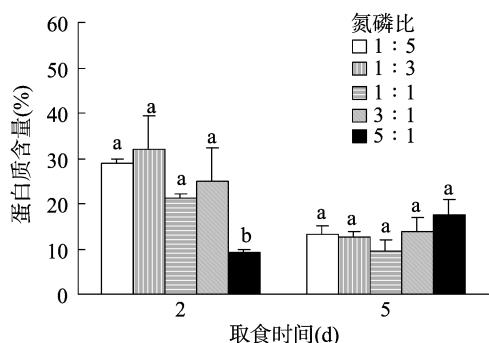


图4 高虫口密度下不同肥料水平对甜菜夜蛾幼虫蛋白质含量影响

5 d 后的甜菜夜蛾体内脂类含量差异依然极显著( $F=62.185, P<0.001$ ),氮磷比=3:1、5:1 时甜菜夜蛾体内的脂类含量最低且两者间无显著性差异,氮磷比=1:3<氮磷比=1:5,氮磷比=1:1 肥料水平下甜菜夜蛾幼虫体内的脂类含量最高(图 5)。

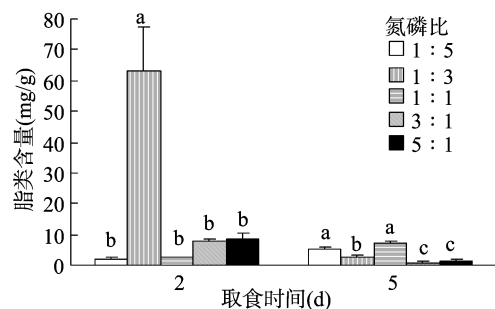


图5 低虫口密度下不同肥料水平对甜菜夜蛾幼虫脂类含量影响

在高虫口密度条件下,甜菜夜蛾取食不同肥料水平下种植的白菜苗 2 d 后,体内脂类含量差异极显著( $F=15.851, P<0.001$ ),氮磷比=1:3、1:5、3:1 肥料水平下甜菜夜蛾体内脂类含量较低,氮磷比=1:1 时,甜菜夜蛾脂类含量最高;甜菜夜蛾幼虫取食 5 d 后其体内脂类含量在不同肥料水平间无显著性差异( $F=0.914, P=0.475>0.05$ )(图 6)。

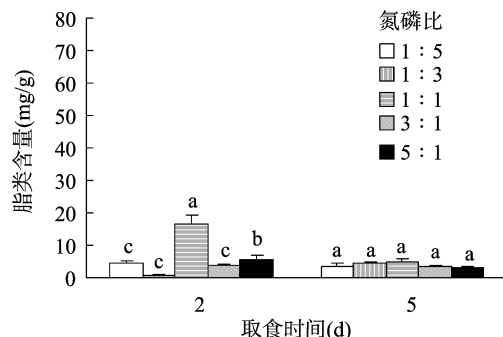


图6 高虫口密度下不同肥料水平对甜菜夜蛾脂类含量影响

### 3 结论与讨论

本研究结果显示,随着肥料中氮肥比例的提升,甜菜夜蛾幼虫体内的可溶性糖含量在降低,而磷肥比例的提高却在一定程度上增加了甜菜夜蛾幼虫体内的可溶性糖含量。可溶性糖是昆虫重要的能源物质,它可以为昆虫各种生命活动提供能量<sup>[15]</sup>。氮肥比例的提升会使植物中蛋白质含量提升<sup>[14,16]</sup>,

甜菜夜蛾摄入高含量蛋白质的食料后,会提高新陈代谢的速率,增加对能量的消耗,从而降低可溶性糖在甜菜夜蛾体内的含量。另外研究还显示,氮磷比 = 1 : 3 的肥料水平在不同取食处理下甜菜夜蛾幼虫可溶性糖含量均处于较高的水平,这可能由于在此种肥料水平下,白菜苗的根系发育程度最佳,从而使植物获得了最佳的营养积累,但由于氮肥比例处于较低水平,从而导致甜菜夜蛾幼虫体内的新陈代谢活动处于较低水平,使甜菜夜蛾幼虫体内的可溶性糖得到了最大程度的积累。

在低虫口密度下,甜菜夜蛾体内蛋白质含量并未随氮肥比例的提高而增加,而是在氮磷比 = 1 : 3、3 : 1 的肥料水平下相对较高,其中氮磷比 = 1 : 3 肥料水平下蛋白质含量最高。这可能是由于以上 2 种肥料水平相较于其他肥料水平可以使白菜苗处于较佳营养状态,从而使甜菜夜蛾取食后体内蛋白质含量较高。其他几种肥料水平在白菜低虫口密度甜菜夜蛾幼虫的取食压力下,可能会更多地采用合成抗性物质来抵御甜菜夜蛾的危害。但是当虫口密度增加后,甜菜夜蛾取食各个肥料水平下的白菜苗后其体内蛋白质含量几乎没有差异。这说明随着甜菜夜蛾取食压力的增大,寄主植物抵御机制被破坏,使各个肥料水平下寄主植物营养水平基本处于贫乏的状态,所以被高虫口密度甜菜夜蛾取食后肥料水平对其体内蛋白质含量几乎没有显著影响。

脂类物质作为昆虫重要的储存能量物质,在一定程度上反映昆虫是否处于合适的生存状态<sup>[17]</sup>。本研究表明,在低虫口密度及高虫口密度下取食 2 d 后,甜菜夜蛾在氮磷比 = 1 : 3、1 : 1 肥料水平下其体内脂类含量较高,而高氮肥比例条件会导致甜菜夜蛾脂类含量处于较低的水平。这表明在低取食强度下,氮肥比例的提升并未使甜菜夜蛾能量过剩并储存。

笔者在试验过程中还发现,在 5 种肥料水平中,氮磷比 = 1 : 3 条件下白菜苗的生长状态最好,这可能与白菜苗期对磷肥需求量较大有关<sup>[18]</sup>。在本试验中大多数处理下,甜菜夜蛾在氮磷比 = 1 : 3 肥料水平下能源物质的含量最高也反映了以上结果。3 种能源物质含量的提高不仅意味着甜菜夜蛾积累了足够的能源物质,而且可能预示着甜菜夜蛾种群抗逆能力的提高,从而加大了防治的难度。所以不同施肥水平对于甜菜夜蛾田间的发生规律、防治策略都有明显的影响。需要指出的是,本试验选用了白菜苗作为供试植物,其他寄主植物及其不同生育期对于肥料水平的需求是不同的,而且种群密度也会对寄主植物的营养状态、次生代谢物产生影响,从而反过来影响甜菜夜蛾的种群发生动态,所以对于甜菜夜蛾种群动态与田间栽培制度的关系需要系统深入的研究。

#### 参考文献:

[1] Awmack C S, Leather S R. Host plant quality and fecundity in

herbivorous insects [J]. Annual Review of Entomology, 2002, 47 (1): 814 - 844.

[2] Behmer S T. Insect herbivore nutrient regulation [J]. Annual Review of Entomology, 2009, 54 (54): 165 - 187.

[3] Ostertag R. Foliar nitrogen and phosphorus accumulation responses after fertilization: an example from nutrient - limited Hawaiian forests [J]. Plant and Soil, 2010, 334 (1/2): 85 - 98.

[4] Elser J J, Dobberfuhl D R, Mackay N A, et al. Organism size, life history, and N : P stoichiometry toward a unified view of cellular and ecosystem processes [J]. Bioscience, 1996, 46 (9): 674 - 684.

[5] Sinclair T R, Vadez V. Physiological traits for crop yield improvement in low N and P environments [J]. Plant and Soil, 2002, 245 (1): 1 - 15.

[6] 张 彬, 刘 怀, 王进军, 等. 甜菜夜蛾研究进展 [J]. 中国农学通报, 2008, 24 (10): 427 - 433.

[7] 张 娜, 郭建英, 万方浩, 等. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育和消化酶活性的影响 [J]. 植物保护学报, 2009, 36 (2): 146 - 150.

[8] 范锦胜, 张李香, 王贵强, 等. 寄主植物对甜菜夜蛾种群动态的影响 [J]. 植物保护, 2012, 38 (4): 33 - 37.

[9] 范锦胜, 张李香, 王贵强, 等. 甜菜夜蛾幼虫对寄主植物的选择及营养利用 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (30): 233 - 236.

[10] Zhang B, Liu H, Helen H S, et al. Effect of host plants on development, fecundity and enzyme activity of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10 (8): 1232 - 1240.

[11] Zhang B, Helen H S, Wang J J, et al. Performance and enzyme activity of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) under various nutritional conditions [J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10 (5): 737 - 746.

[12] 曹 玲, 刘 怀, 张 彬, 等. 不同蛋白质含量的人工饲料对甜菜夜蛾能源物质的影响 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2007, 32 (1): 102 - 106.

[13] 肖 伟, 邓新平, 刘 怀. 甜菜夜蛾幼虫饲养技术的改进 [J]. 昆虫知识, 2005, 42 (5): 581 - 583.

[14] Bucolo G, David H. Quantitative determination of serum triglycerides by the use of enzymes [J]. Clinical Chemistry, 1973, 19 (5): 476 - 482.

[15] 李克斌, 高希武, 曹雅忠, 等. 甜菜夜蛾能源物质积累及其飞行能耗与动态 [J]. 植物保护学报, 2005, 32 (1): 13 - 17.

[16] 张巧凤, 田峰秀, 付必胜, 等. 不同播期、密度及氮肥运筹对糯小麦宁糯麦 1 号产量和品质的影响 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44 (12): 133 - 136.

[17] Chen Y, Ruberson J R, Olson D M, et al. Nitrogen fertilization rate affects feeding, larval performance, and oviposition preference of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*, on cotton [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2008, 126 (3): 244 - 255.

[18] 张 辉, 马洪波, 朱德进, 等. 不同施肥处理对油菜生物量累积, 分配及养分吸收的影响 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28 (5): 1042 - 1048.