

中国南方竹区 4 种竹笋夜蛾的形态比较研究

张 琴^{1,2}, 张守科¹, 汪建波³, 张 威¹, 舒金平^{1*}, 吴 鸿¹, 王浩杰¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 富阳 311400; 2. 浙江省杭州市林业科学研究院, 杭州 311400;
3. 浙江省余姚市农林局, 余姚 315400)

摘要 竹笋夜蛾是我国重要的一类竹子笋期害虫, 种类多, 形态相似, 难以区分, 为更为准确地识别主要竹笋夜蛾的种类, 本研究通过野外取样和室内饲养, 对竹笋基夜蛾 *Kumasia kumaso*、竹笋禾夜蛾 *Oligia vulgaris*、笋连秀夜蛾 *Apamea repetita conjuncta* 及竹笋秀夜蛾 *Apamea apameoides* 4 种竹笋夜蛾卵、幼虫趾钩、臀棘及成虫翅脉和生殖器形态进行了观察和比较。结果表明, 竹笋基夜蛾在卵形态、幼虫体色和雌雄生殖器形态上与其他 3 种竹笋夜蛾形态差异明显, 其余 3 种夜蛾幼虫体表背线和亚背线形态有差异, 趾钩、臀棘、翅脉和雌、雄外生殖器形态差异不显著。本研究明确了我国南方竹区 4 种竹笋夜蛾的形态差异, 为竹笋夜蛾的精准防控提供了参考。

关键词 竹笋夜蛾; 形态特征; 外生殖器; 差异

中图分类号: S 436.44 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2017372

Morphological comparison among four species of bamboo shoot borers (Lepidoptera: Noctuidae) in South China

ZHANG Qin^{1,2}, ZHANG Shouke¹, WANG Jianbo³, ZHANG Wei¹,
SHU Jinping¹, WU Hong¹, WANG Haojie¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China;
2. Hangzhou Academy of Forestry, Zhejiang 311400, China; 3. Yuyao Agricultural and
Forestry Bureau, Zhejiang 315400, China)

Abstract The bamboo shoot noctuids are the dominant and most destructive insect pests of bamboo in South China, and it was very difficult to identify the species due to their similar morphological characters. To exactly distinguish the bamboo shoot borers, the morphology of eggs, crochets of larvae, cremasters of pupae, pterigostia and genitalia of adults of four bamboo noctuids, *Kumasia kumaso*, *Oligia vulgaris*, *Apamea repetita conjuncta* and *A. apameoides* were observed. The results showed that the morphological characters of eggs, larvae and genitalia of adults were significantly different from those of other three species, and the morphology of eggs, crochets of larvae, cremasters of pupae, veins and genitalia of adults among *Oligia vulgaris*, *Apamea repetita conjuncta* and *A. apameoides* were similar. This study explicated the difference in the morphological characters among the four bamboo noctuids, and provided the basis for the accurate control of bamboo shoot borers.

Key words bamboo shoot borer; morphology; genitalia; difference

竹笋夜蛾是取食竹笋的鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 害虫的统称, 是我国南方笋用竹种最为主要的笋期害虫之一, 以幼虫蛀食早竹 *Phyllostachys praecox* 等 20 多个笋用竹种的竹笋, 造成竹笋断头或死亡(图 1), 在浙江富阳、德清等笋用竹区为害率高达 90% 以上, 降低了竹笋及竹材的产量

和质量, 严重制约了竹林自然更新, 经济损失巨大^[1-3]。我国竹区发生危害的竹笋夜蛾主要有竹笋基夜蛾 *Kumasia kumaso*、竹笋禾夜蛾 *Oligia vulgaris*、笋连秀夜蛾 *Apamea repetita conjuncta* 及竹笋秀夜蛾 *Apamea apameoides*, 这 4 种竹笋夜蛾的成虫形态差异小, 幼虫为害特性相似, 实际生产中难

以区分,常被混为一谈(统称竹笋夜蛾)^[4-5]。然而在林间这4种竹笋夜蛾生物学特性及发生规律明显不同^[6],虫种识别上的混淆导致防治靶标不清,时机不对,防治效果不佳。另外,因成虫形态近似,这4种竹笋夜蛾的分类地位也一直存在争议,其学名一再变更,最终分属于基夜蛾属 *Kumasia*、禾夜蛾属 *Oligia* 和秀夜蛾属 *Apamea* 3个属^[7-9],但文献中仍有混用的情况。因此,有必要对几种竹笋夜蛾的形态特征进行系统的比较区分,为竹笋夜蛾的林间识别及防治提供依据。



a: 为害状; b: 断头笋
a: Damage symptoms; b: Broken-tip shoot caused by shoot borer feeding

图1 林间竹笋夜蛾为害状

Fig. 1 Damage symptoms by bamboo shoot borer in a bamboo forest

国内外学者对竹笋夜蛾开展了大量研究,但主要集中在生物学及防治技术方面^[5,10-12],对竹笋夜蛾各虫态特征(幼虫趾钩、成虫翅脉及外生殖器等)进行系统比较的报道并不多见。本文通过比较4种竹笋夜蛾卵的形态,幼虫体色、斑纹、趾钩形态、臀棘形态及成虫翅脉形态和生殖器形态,明确4种竹笋夜蛾更为精确的区分及识别方法,同时为竹笋夜蛾的物种归属及系统发育等问题提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2014年4—5月分别在浙江省安吉市、临安市、宁波市及广东省怀集县竹子产区采集4种竹笋夜蛾幼虫,参照舒金平等的饲养方法^[2],在养虫室内,温度为 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$, RH $60\% \pm 10\%$,自然光照下用新鲜竹笋喂养至其老熟,幼虫化蛹后将蛹单头放置于养虫杯(顶口直径12 cm、底部直径8 cm,高度15 cm,底部铺有1.5 cm厚的湿润细沙)内,盖好杯盖(留有透气孔)直至羽化为成虫,将羽化当天的同种夜蛾的雌、雄成虫放入养虫笼内(50 cm×50 cm×100 cm,笼中间放置有2年生盆栽毛竹)饲养,待其交配后收集虫卵。试验期间,供以10%的蜂蜜水,并每天上午

8:00 更换新鲜蜂蜜水。

1.2 虫卵形态观察

收集养虫笼内毛竹叶片上分布的卵粒,每种夜蛾挑取30粒卵置于装有电镜保存液的洁净小瓶中,并利用超声波清洗机(KQ100DB,昆山市超声仪器有限公司)清洗干净,随后取出用水清洗后干燥并使用显微镜(Nikon AZ100 多功能变焦显微镜,上海衡浩仪器有限公司)拍摄4种竹笋夜蛾虫卵的外部形态特征。

1.3 幼虫形态观察

分别选取健康的4种竹笋夜蛾老熟幼虫各10头置于一 20°C 冰箱冰冻致死,观察体表斑纹特征;然后,用解剖刀切下腹部第3对腹足同一方位的趾钩,在显微镜下观察特征。

1.4 臀棘形态观察

挑选健康的4种竹笋夜蛾蛹各10头,利用超声波清洗机清除蛹上的杂质,在显微镜下观察臀棘形态的异同。

1.5 前翅脉序观察

分别选取翅膀完好的4种竹笋夜蛾成虫各10头,用镊子取下其前翅,用软毛刷蘸汽油刷去鳞片后染色,比较其脉序的差异。

1.6 成虫外生殖器形态观察

使用10%的NaOH溶液水解雌、雄成虫腹部,再经染色,脱水,二甲苯浸泡后,滴入中性树胶做成永久切片,观察其雌雄外生殖器形态并拍照。外生殖器玻片制备参考李后魂的制作方法^[13]。

1.7 数据统计与分析

本研究所使用Nikon AZ100 多功能变焦显微镜(上海衡浩仪器有限公司),形态数据借助NIS-Elements D 4.00.00软件进行测量,用统计分析软件SPSS 18.0进行数据统计分析。卵大小、幼虫趾钩长短等参数均采用单因素方差分析(One-way ANOVA, LSD)。

2 结果与分析

2.1 4种竹笋夜蛾卵形态比较

4种竹笋夜蛾的卵形态较为接近,其中竹笋基夜蛾卵呈扁椭球形,其他3种竹笋夜蛾均为近圆球形。竹笋秀夜蛾卵壳表面被纵条纹,其他3种竹笋夜蛾卵壳表面均光滑无条纹(图2)。4种夜蛾卵的大小存在显著差异,以竹笋基夜蛾卵最大,笋连秀夜蛾卵最小(表1)。

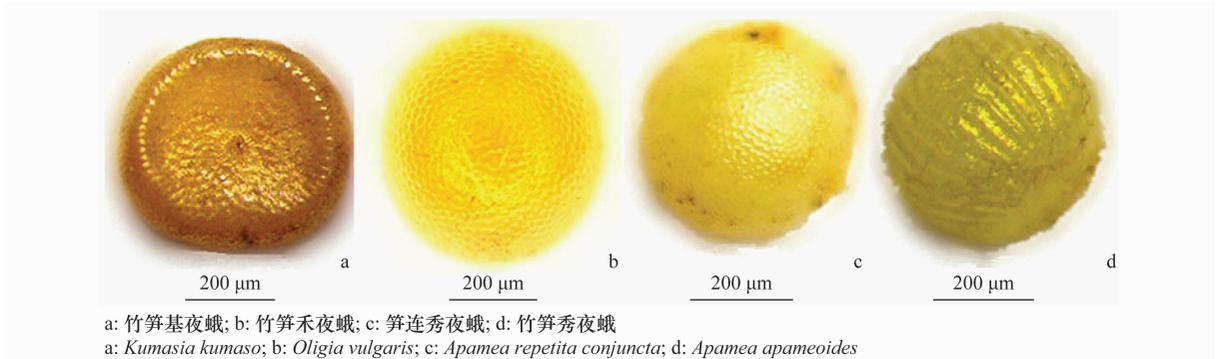


图 2 4 种竹笋夜蛾卵的形态

Fig. 2 Egg morphology of four species of bamboo shoot borers

表 1 4 种竹笋夜蛾卵的形态特征比较¹⁾

Table 1 Morphological comparison of the eggs among four species of bamboo shoot borers

种类 Species	形状 Shape	长径/ μm Length of major axis	短径/ μm Length of minor axis	卵壳外形 Morphological characteristics of egg shell
竹笋基夜蛾 <i>K. kumaso</i>	扁椭球形	(881.88 \pm 10.25)a	(493.62 \pm 2.20)c	初产白色,后变淡黄色,孵化前为淡褐色,卵壳上无斑纹
竹笋禾夜蛾 <i>O. vulgaris</i>	近圆球形	(760.14 \pm 5.42)b	(744.57 \pm 5.79)a	初产白色,后变淡黄色,卵壳上无斑纹
笋连秀夜蛾 <i>A. repetita conjuncta</i>	近圆球形	(301.63 \pm 5.60)d	(285.03 \pm 5.56)d	初产白色,后变淡黄色,卵壳上无斑纹
竹笋秀夜蛾 <i>A. apameoides</i>	近圆球形	(699.44 \pm 4.03)c	(519.93 \pm 5.94)b	初产白色,后变淡黄色,卵壳上由卵孔处至下放射纵纹

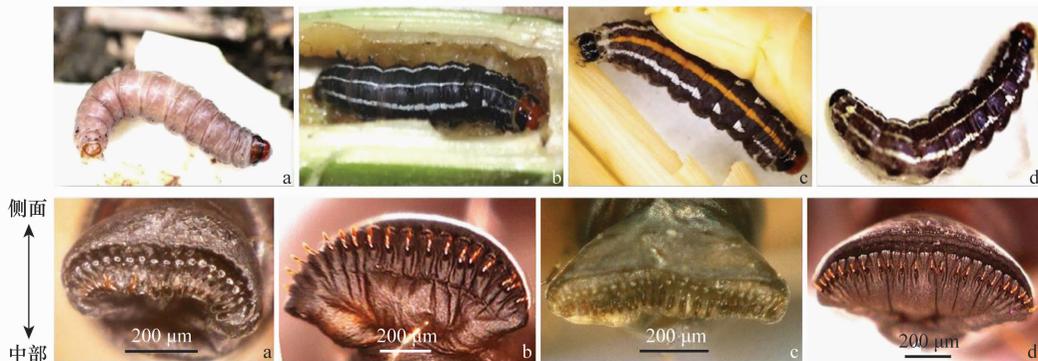
1) 同列数据后不同字母表示不同夜蛾种类间经多重比较(LSD)在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。下同。

The different letters in the same column indicates significant difference at $P < 0.05$ level by LSD analysis (One-way ANOVA). The same below.

2.2 4 种竹笋夜蛾幼虫及其趾钩形态比较

4 种竹笋夜蛾幼虫中,竹笋基夜蛾幼虫体白色,无斑纹。竹笋禾夜蛾幼虫体黑色,背线白色,亚背线第 5 节缺失。笋连秀夜蛾体黑色,背线黄色或红色,亚背线白色,中间不连续。竹笋秀夜蛾体黑色,背线

白色,亚背线前 5 节断断续续。每种竹笋夜蛾腹足趾钩排列方式均为单序中带(图 3)。4 种竹笋夜蛾趾钩数量无明显差异,竹笋基夜蛾趾钩数量最少。趾钩长度中,竹笋基夜蛾趾钩较短,竹笋禾夜蛾其次,其他 2 种竹笋夜蛾趾钩长度差异不明显(表 2)。



幼虫为老熟幼虫,照片由佳能EOS 60D拍摄。a: 竹笋基夜蛾; b: 竹笋禾夜蛾; c: 笋连秀夜蛾; d: 竹笋秀夜蛾

The photos of mature larvae are taken by Cannon EOS 60D. a: *Kumasia kumaso*; b: *Oligia vulgaris*; c: *Apamea repetita conjuncta*; d: *Apamea apameoides*

图 3 4 种竹笋夜蛾幼虫及其趾钩形态

Fig. 3 Larvae and larval crochet features of four species of bamboo shoot borers

2.3 4 种竹笋夜蛾臀棘的观察

4 种竹笋夜蛾臀棘差异不明显,臀棘数量均为 6 根,中间 2 根粗长,前后各 2 对,细短(图 4)。竹笋基夜

蛾和竹笋秀夜蛾中间 2 根臀棘长度差异不明显,与余下 2 种夜蛾有差异。2 对细小臀棘中,竹笋禾夜蛾和竹笋秀长度差异不明显,与余下 2 种夜蛾有差异(表 3)。

表 2 4 种竹笋夜蛾幼虫趾钩的形态特征比较

Table 2 Morphological comparison of the crochets of larvae among four species of bamboo shoot borers

夜蛾种类 Species	数量/个 Number	长度/ μm Length	排列方式 Arrangement
竹笋基夜蛾 <i>K. kumaso</i>	16~25	(113.41 \pm 1.74)c	单序中带
竹笋禾夜蛾 <i>O. vulgaris</i>	18~28	(131.65 \pm 8.08)b	单序中带
笋连秀夜蛾 <i>A. repetita conjuncta</i>	18~26	(142.65 \pm 18.64)a	单序中带
竹笋秀夜蛾 <i>A. apameoides</i>	18~22	(145.94 \pm 15.44)a	单序中带



a: 竹笋基夜蛾; b: 竹笋禾夜蛾; c: 笋连秀夜蛾; d: 竹笋秀夜蛾。放大倍数80倍
a: *Kumasia kumaso*; b: *Oligia vulgaris*; c: *Apamea repetita conjuncta*; d: *Apamea apameoides*. Photos are magnified by 80 times

图 4 4 种竹笋夜蛾雌蛹臀棘的形态

Fig. 4 Morphology of pupal cremaster of four species of bamboo shoot borers

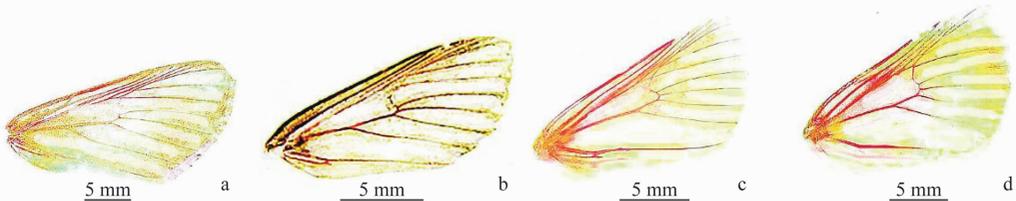
表 3 4 种竹笋夜蛾雌蛹臀棘的形态特征比较

Table 3 Morphological comparison of the cremaster of pupae among four species of bamboo shoot borers

夜蛾种类 Species	数量/根 Number	中间臀棘长度/ μm Length of middle cremaster	两边臀棘长度/ μm Length of side cremaster	分布方式 Distribution
竹笋基夜蛾 <i>K. kumaso</i>	6	(456.26 \pm 25.61)b	(328.87 \pm 35.01)b	中间 2 根,粗长,前后各 2 对,细短
竹笋禾夜蛾 <i>O. vulgaris</i>	6	(642.20 \pm 4.33)a	(289.09 \pm 49.81)c	中间 2 根,粗长,前后各 2 对,细短
笋连秀夜蛾 <i>A. repetita conjuncta</i>	6	(641.26 \pm 14.03)a	(383.25 \pm 32.66)a	中间 2 根,粗长,前后各 2 对,细短
竹笋秀夜蛾 <i>A. apameoides</i>	6	(346.15 \pm 14.79)c	(281.53 \pm 39.84)c	中间 2 根,粗长,前后各 2 对,细短

2.4 4 种竹笋夜蛾成虫翅脉的观察和比较

4 种竹笋夜蛾前翅脉序基本相同,R 脉 5 条,R₃ 脉与 R₄ 脉基部共柄,有副室(图 5)。



a: 竹笋基夜蛾; b: 竹笋禾夜蛾; c: 笋连秀夜蛾; d: 竹笋秀夜蛾。放大倍数10倍
a: *Kumasia kumaso*; b: *Oligia vulgaris*; c: *Apamea repetita conjuncta*; d: *Apamea apameoides*. Photos are magnified by 10 times

图 5 4 种竹笋夜蛾成虫前翅脉序

Fig. 5 Forewing venation of four species of bamboo shoot borers

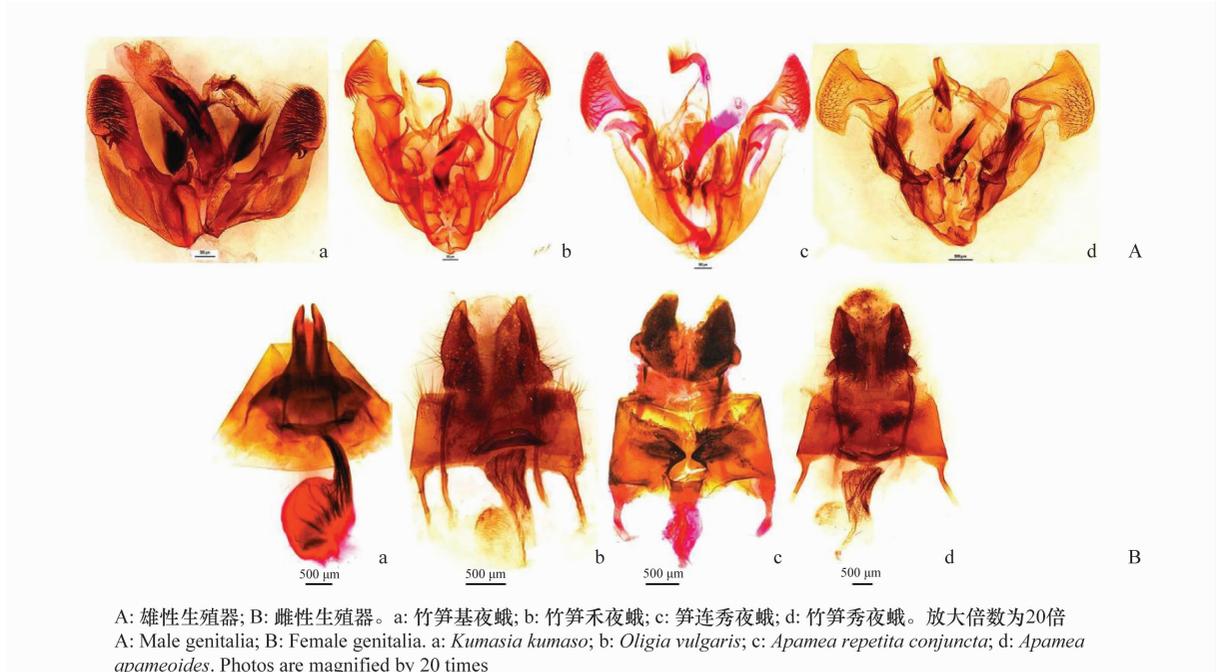
2.5 4 种竹笋夜蛾成虫雌雄外生殖器的观察和比较

4 种竹笋夜蛾雌性生殖器差异不明显(图 6,表 4)。仅竹笋基夜蛾抱器瓣端部形态与其他 3 种竹笋夜蛾有

差异,并具抱器端刺,且阳茎粗大,其他 3 种竹笋夜蛾阳茎均较小,无明显差异。竹笋禾夜蛾抱器瓣上的抱器腹突较细长,竹笋基夜蛾和笋连秀夜蛾抱器腹突较短

粗,竹笋秀夜蛾具抱器内突(图 6)。4 种竹笋夜蛾的雌性生殖器中,竹笋基夜蛾的肛瓣细长,条形,与其他 3 种

竹笋夜蛾差异明显,且交配囊几与囊导管等长。其他 3 种竹笋夜蛾雌性生殖器基本无明显差异(图 6)。



A: 雄性生殖器; B: 雌性生殖器。a: 竹笋基夜蛾; b: 竹笋禾夜蛾; c: 笋连秀夜蛾; d: 竹笋秀夜蛾。放大倍数为 20 倍
A: Male genitalia; B: Female genitalia. a: *Kumasia kumaso*; b: *Oligia vulgaris*; c: *Apamea repetita conjuncta*; d: *Apamea apameoides*. Photos are magnified by 20 times

图 6 4 种竹笋夜蛾成虫雌、雄性外生殖器形态

Fig. 6 Morphology of male and female genitalia of four species of bamboo shoot borers

表 4 4 种竹笋夜蛾成虫外生殖器形态比较

Table 4 Morphological comparison of genitalia among four species of bamboo shoot borers

夜蛾种类 Species	雄性生殖器 Male genitalia	雌性生殖器 Female genitalia
竹笋基夜蛾 <i>K. kumaso</i>	抱器瓣较短,具抱器端刺,抱器腹突较短粗,阳茎较大,具针形状器	肛瓣细长,条形,微向内弯曲,中间产卵孔
竹笋禾夜蛾 <i>O. vulgaris</i>	抱器瓣发达,抱器腹突细长,阳茎较小	肛瓣短粗,括弧形,中间产卵孔
笋连秀夜蛾 <i>A. repetita conjuncta</i>	抱器瓣发达,抱器腹突中等,阳茎较小	肛瓣短粗,括弧形,中间产卵孔
竹笋秀夜蛾 <i>A. apameoides</i>	抱器瓣发达,具抱器内突,阳茎较小具齿形状器	肛瓣短粗,括弧形,中间产卵孔

3 结论和讨论

4 种竹笋夜蛾由于形态较接近,其分类问题一直有争议,在早期的报道中也较为混乱。本研究选取 4 种竹笋夜蛾各虫态的典型分类特征,对其进行了形态比较分析。竹笋基夜蛾、竹笋禾夜蛾和竹笋秀夜蛾卵的形态、幼虫体色和斑纹、趾钩排列方式等描述与已有报道吻合^[8,10],但臀棘数量与先前报道的不同,席克等^[10]观察竹笋夜蛾臀棘数为 4 根,而本研究发现 3 种夜蛾雌、雄成虫蛹上的臀棘皆为 6 根,中间 2 根粗长,前后两对短小,末端卷曲。另外,有关笋连秀夜蛾在浙江、江苏等食

用竹产区发生量的研究报道并不多见,亦可能和其他的种类混淆,本研究首次对笋连秀夜蛾各虫态的形态特征进行了详尽描述,可为各竹笋夜蛾的区分提供依据。

竹笋基夜蛾各个虫态的特征与其他 3 种夜蛾均差异明显,其卵扁椭圆形,而其他 3 种竹笋夜蛾近圆球形(表 1);其幼虫体色为白色,无斑纹和明显条纹(图 3);雄性生殖器抱器瓣短小,雌性生殖器的肛瓣与交配囊细长(图 6),在形态上竹笋基夜蛾表现出显著分化的趋势,而其他 3 种夜蛾除幼虫体表斑纹形态差异明显外形态基本相似。

线粒体 DNA 是一种进化速度较快的分子标记,

其中线粒体细胞色素氧化酶亚基I(mtDNA COI) 基因由于其分布的普遍性以及序列和结构的相对保守性而被广泛应用于昆虫不同分类阶元的分子系统学及进化生物学研究, DNA 条形码技术可以用于物种及亲缘关系的鉴定^[14-16]。当前基于昆虫形态将 4 种夜蛾分为 3 个属,但仍争议不断^[7-9]。因此,笔者认为在形态分类的基础上,应从分子水平上进一步研究,以准确分类这 4 种夜蛾,为确定其亲缘关系及系统发育提供重要理论依据。

参考文献

[1] YOSHIMATSU S, KUSIGEMATI K, GYOUTOKU N, et al. Some lepidopterous pests of bamboo and bamboo grass shoots in Japan [J]. Japanese Journal of Entomology, 2005, 8 (3): 91-97.

[2] 舒金平, 滕莹, 张爱良, 等. 竹笋基夜蛾的求偶及交配行为[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12): 3421-3428.

[3] 叶碧欢, 张亚波, 滕莹, 等. 笋秀夜蛾的求偶及交配行为[J]. 生态学杂志, 2014, 33(8): 2136-2141.

[4] 徐天森. 中国竹子主要害虫[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004: 45-52.

[5] 陈贻金. 笋秀夜蛾的研究[J]. 林业科学, 1982(2): 41-49.

[6] 张琴, 莫有迪, 张亚波, 等. 基于线粒体 COI 基因的竹笋夜蛾亲缘关系[J]. 林业科学, 2017, 53(4): 96-104.

[7] 朱弘复, 陈一心. 中国经济昆虫志. 第 6 册. 鳞翅目夜蛾科(二)

(上接 23 页)

[9] EDGAR R C. UPARSE: highly accurate OTU sequences from microbial amplicon reads [J]. Nature Methods, 2013, 10(10): 996-998.

[10] DILLON R J, WEBSTER G, WEIGHTMAN A J, et al. Diversity of gut microbiota increases with aging and starvation in the desert locust [J]. Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology, 2010, 97(1): 69-77.

[11] GRENIER A M, NARDON C, RAHBE Y. Observations on the microorganisms occurring in the gut of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1994, 70(1): 91-96.

[12] 靳亮, 王金昌, 王洪秀, 等. 16S rRNA 基因的 PCR-DGGE 技术分析茶尺蠖幼虫肠道细菌种群结构及多样性[J]. 江西科学, 2013, 31(6): 759-763.

[13] 刘小改, 杨亚军, 廖秋菊, 等. 稻纵卷叶螟肠道细菌群落结构与多样性分析[J]. 昆虫学报, 2016, 59(9): 965-976.

[14] SCHLOSS P D, DELALIBERA I, HANDELSMAN J O, et al.

[M]. 北京: 科学出版社, 1964: 1-206.

[8] 陈一心. 中国经济昆虫志. 第 32 册. 鳞翅目夜蛾科(四)[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 1-167.

[9] 陈一心. 鳞翅目: 夜蛾科[M]// 湖南林业厅. 湖南森林昆虫图鉴. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1992: 947-1040.

[10] 席客, 郑建伟, 许建中. 江苏常见的 3 种蛀笋夜蛾比较及防治[J]. 江苏林业科技, 2001, 28(1): 37-45.

[11] 梁光红, 林毓银. 黄甜竹基夜蛾生物学特性及其防治[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2003(1): 36-40.

[12] 邵识烦, 陈拓, 黄焕华, 等. 茶秆竹竹笋夜蛾形态特征及生物学习性研究[J]. 广东林业科技, 2002(3): 33-36.

[13] 李后魂. 小蛾类复杂雄性外生殖器的制片方法[J]. 应用昆虫学报, 1996(2): 115-116.

[14] TAUTZ D, ARCTANDER P, MINELLI A, et al. A plea for DNA taxonomy [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2003, 18: 70-74.

[15] HEBERT P D N, PENTON E H, BURNS J M, et al. Ten species in one: DNA barcoding reveals cryptic species in the neotropical skipper butterfly *Astraptes fulgerator* [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(41): 14812-14817.

[16] LI Qingqing, LI Diyan, YE Hui, et al. Using COI gene sequence to barcode two morphologically alike species: the cotton bollworm and the oriental tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Molecular Biology Reports, 2011, 38 (8): 5107-5113.

(责任编辑: 田 喆)

Bacteria associated with the guts of two wood-boring beetles: *Anoplophora glabripennis* and *Saperda vestita* (Cerambycidae) [J]. Environmental Entomology, 2006, 35(3): 625-629.

[15] BEHAR A, YUVAL B, JURKEVITCH E. Gut bacterial communities in the Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) and their impact on host longevity [J]. Journal of Insect Physiology, 2008, 54(9): 1377-1383.

[16] 张某, 杨璞, 朱家颖, 等. 基于 16SrDNA 基因序列的泽兰实蝇幼虫肠道细菌多样性分析[J]. 昆虫学报, 2016, 59(2): 200-208.

[17] 王娇莉. 核桃举肢蛾 *Atrijuglans hetaohei* 和桃蛀螟 *Dichocrocis punctiferalis* 幼虫肠道细菌组成及多样性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.

[18] GLASER R L, MEOLA M A. The native *Wolbachia* endosymbionts of *Drosophila melanogaster* and *Culex quinquefasciatus* increase host resistance to West Nile virus infection [J]. PLoS ONE, 2010, 5(8): e11977.

(责任编辑: 田 喆)