

翅形态特征在重阳木斑蛾成虫性别鉴定中的应用

潘鹏亮, 张方梅, 尹 健, 刘红敏*, 史洪中

(信阳农林学院农学院, 河南省豫南农作物有害生物绿色防控院士工作站, 信阳 464000)

摘要 为了明确重阳木斑蛾的翅形态特征在其性别鉴定中的作用, 探索雌雄难于区分的成虫的数值鉴定方法。采用图像处理与分析技术, 通过爱普生扫描仪获取重阳木斑蛾前翅图, 利用 BugShape v1.0 软件提取雌雄成虫翅的轮廓特征, 利用 tpsDig2 软件获取翅脉交叉点位置特征, 并利用独立样本 t 检验和标志点空间普氏叠加和扭曲分析, 以明确此类特征在该成虫雌雄鉴定中的作用。结果表明, 重阳木斑蛾成虫左右前翅轮廓特征在同一性别中差异不显著。仅利用左前翅数据进行分析时, 翅面积、短轴长度、等效圆半径、偏心率、球状性和圆形度在两个性别中存在极显著差异, 周长和长轴长度的差异达到显著水平, 而紧凑度和叶状性差异不显著。使用左右前翅作为数据集进行分析时, 除紧凑度和叶状性差异仍不显著外, 其余参数均达到极显著水平。雌雄前翅轮廓特征作为指标来判别性别时正确率为 100%, 但存在左右翅相互错判现象。翅膀内部翅脉交叉点的空间位置在个体间存在较大差异, 主要表现在相对于翅的横向方向变异大。雌雄间的差异主要存在于外缘附近的翅脉交叉点。结论: 通过前翅的轮廓特征可以区分重阳木斑蛾雌雄成虫的差异。翅脉交叉点空间位置在雌雄间和个体间存在一定的变异。

关键词 重阳木斑蛾; 数值分类; 特征提取; 翅脉交点; 雌雄判别

中图分类号: S 431.9 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018310

Application of wing morphological characteristics in the sex identification of *Histia rhodope* Cramer (Lepidoptera: Zygaenidae) adults

PAN Pengliang, ZHANG Fangmei, YIN Jian, LIU Hongmin, SHI Hongzhong

(College of Agronomy, Xinyang Agricultural and Forestry University; Henan Provincial South Henan Green Prevention and Control Academician Workstation of Crop Pests, Xinyang 464000, China)

Abstract Picture processing and analysis technology was employed to clarify the effects of wing morphological characteristics of *Histia rhodope* adults on sex recognition and explore the numerical identification method for these adults whose sex is hard to recognize. Forewing images of *H. rhodope* were captured by flat-plate scanner (Epson Perfection V370 Photo) with transparent adapter. The contour feature of wings from female and male adults was extracted by the software BugShape v1.0, and the landmarks of vein-junctions were acquired using tps-Dig2. Independent-sample t test, Procrustes superimposition of the landmarks and relative warps were computed to verify the effects of the parameters on sex identification. The results showed that there was no significant difference in contour features between two side wings from the same sexual cases. Data analysis based on the left wings showed that the most parameters, such as area, short axis length, equalradius, eccentricity, sphericity and circularity, exhibited highly significant differences ($\alpha=0.01$), or significant difference ($\alpha=0.05$) in terms of perimeter and long axis length, but no significant difference existed in compactness and lobation between male and female samples. However, except for the two parameters compactness and lobation, the difference was highly significant ($\alpha=0.01$) in the other parameters between male and female adults. Although some samples were not assigned to right groups between left and right wings, the accuracy distinguishing males and females was up to 100% by using forewing outline features as indicators. The spatial positions of vein landmarks showed remarkable varia-

收稿日期: 2018-07-14 修订日期: 2018-08-07

基金项目: 河南省高等教育教学改革研究与实践项目(2017SJGLX135); 信阳农林学院重点学科培育学科建设项目(ZDXK201701); 河南省高等学校重点科研项目(19A210021)

致 谢: 中国农业大学彩万志教授在昆虫种类鉴定方面提供大力帮助, 沈佐锐教授和高灵旺副教授在数据提取和分析方面提供了无私支持与帮助, 在此一并表示感谢!

* 通信作者 E-mail: liuhongm8@sina.com

tion, especially in transverse direction of wings, between male or female samples. There was wide variation between female and male adults in the vein landmark positions nearby the outer margin of wings. It is concluded that the difference between male and female *H. rhodope* adults can be distinguished by using the contour feature of fore wings. Some variation exists among the sexes and samples in the spatial position of the vein landmarks.

Key words *Histia rhodope*; numerical taxonomy; feature extraction; vein-junction; sex identification

重阳木斑蛾 *Histia rhodope* Cramer, 又名重阳木帆锦斑蛾^[1]、重阳木锦斑蛾^[2], 属于鳞翅目 Lepidoptera 斑蛾科 Zygaenidae 昆虫, 其寄主植物除重阳木 *Bischofia trifoliata* Hook 外, 还包括板栗 *Castanea mollissima* Blume^[3]。据《中国农业昆虫》和《中国蛾类图鉴(Ⅰ)》描述, 该害虫雄蛾翅展 47~54 mm, 雌蛾 61~64 mm^[4-5]。1983 年戴凤凤报道江西德兴县大茅山地区重阳木斑蛾雌雄成虫翅展分别为 50~60 mm 和 44~50 mm^[6]。另据报道, 在福州该虫的体长、翅展和翅长在雌雄间无明显差异^[7]。通过文献比较, 我们发现不同地区或不同年份关于重阳木斑蛾雌雄成虫翅展或翅长的描述不尽相同, 雌雄个体间在翅形和翅长等方面有无差异存在一定争议。

图像处理与分析技术的发展为此类问题的解决提供了强有力的工具。利用相关技术, 国内外有许多关于不同种类昆虫翅形结构差异等方面的报道。比如, 在膜翅目 Hymenoptera 昆虫中, Weeks 等在 20 世纪末报道了 5 种姬蜂科 Ichneumonidae 昆虫的翅形态差异, 并实现了此类昆虫的种类鉴定^[8-9], 出现了用于此类昆虫形态特征提取与鉴定的软件 ABIS^[10] 和 DrawWing^[11]。在鳞翅目 Lepidoptera 昆虫鉴定中, Watson 等利用 DAISY (digital automated identification system) 系统对 237 种 (每种 20 个进行训练) 活体标本图像进行了分析, 平均正确率 83%, 而无法对鳞片缺失或光照不均匀图片进行正确的归类^[12], 后续通过对 35 种鳞翅目昆虫 774 个活体标本的处理, 并通过数据挖掘分析, 成功率略有上升, 达到 85%^[13]。而 Zhu 等使用翅图的颜色特征, 如颜色直方图和灰度共生矩阵等特征, 对 100 种鳞翅目昆虫的正确识别率为 71.1%^[14]。除了利用与上述颜色或光照影响相关的特征外, 利用翅轮廓特征对昆虫进行分类鉴定效果要好一些, 如 Yang 等利用翅轮廓特征对 120 张 7 种蝶角蛉 Ascalaphidae 图片进行分析, 准确率为 90%~98%, 而再添加复眼特征后, 准确率会上升到 99%^[15]。这说明, 依托昆虫数字化技术的数值分类效果与特征选择有很大关

系, 同时也与昆虫种类有密切关系。根据上述研究结果, 可以初步认为翅形等特征是昆虫数值分类鉴定中的重要参数来源。

为了明确重阳木斑蛾成虫不同性别之间在翅形态结构上的差异, 本研究拟利用图像处理与分析技术, 对信阳地区发生的重阳木斑蛾进行形态测量学研究。研究结果不但可以为鳞翅目昆虫数值分类提供理论依据, 为此类昆虫种类的远程鉴定筛选有效的参数, 也为此类昆虫成虫的雌雄鉴定提供技术保障, 为解决蝶类等雌雄难辨昆虫的性别鉴定提供一种方法。

1 材料与方法

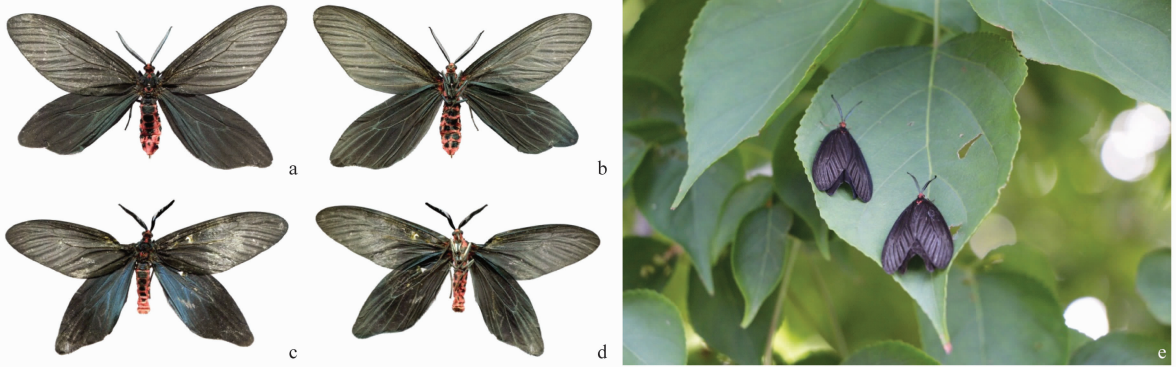
1.1 标本处理

本试验中的重阳木斑蛾成虫 (图 1) 采集时间为 2017 年 8 月 20 日, 采集地点为河南省信阳市信阳农林学院校内, 采集之前未使用化学农药进行防治, 可以排除使用杀虫剂对成虫翅形态特征的影响。从整理后的标本可以看出雌雄间除个体大小有差异外, 腹部黑斑的大小以及黑斑间距在雌雄个体间有明显不同, 但从生态照片上很难进行区分 (图 1)。

雌雄成虫各 50 头进行乙酸乙酯熏蒸处理, 剪取前后翅并使用化学去鳞方法^[16], 去除翅表鳞片, 制成翅脉标本。最终选择翅面无折叠、无破损的完整翅脉标本雌雄各 19 头进行图像获取和特征提取, 共得到雌雄左前翅图片各 19 张, 雌虫右前翅图片 16 张, 雄虫右前翅图片 13 张。而由于后翅柔软、易破损, 只得到雌虫左后翅图 1 张、右后翅图 6 张, 雄虫右后翅图 3 张, 这部分数据过少, 未做分析。

1.2 图像获取

本研究使用爱普生平板式扫描仪 (Epson Perfection V370 Photo) 作为翅图像获取的主要工具。通过比较几种扫描模式 (胶片、反射稿、反射稿+平面光源) 的图像效果, 最终选择使用胶片模式进行扫描, 分辨率设定为 2 400 dpi。每个翅作为独立文件保存为 .bmp 格式, 以便后期各软件的特征提取。



a: 雌成虫(背面观); b: 雌成虫(腹面观); c: 雄成虫(背面观); d: 雄成虫(腹面观); e: 生态照片
a: Female (dorsal view); b: Female (ventral view); c: Male (dorsal view); d: Male (ventral view); e: Ecological image

图 1 重阳木斑蛾雌雄成虫标本和生态图片

Fig. 1 Ecological and specimen images of male and female *Histia rhodope* adults

1.3 特征提取

本研究首先使用了由中国农业大学 IPMist 实验室开发的 BugShape v1.0 软件^[17],对翅的外部形态特征进行了自动获取,为保证提取的参数能准确代表翅的轮廓特征,每张翅图提取两次,一次为所有参数由软件自动调节,另一次为手动调节,最终得到翅的面积、周长、长轴长度、短轴长度、等效圆半径、偏心率、紧凑度、叶状性和圆形度 10 个参数^[18]。此外,利用美国 F. James Rohlf 开发的一系列 tps 软件(<http://129.49.19.42/ee/rohlf/software.html>)进行了翅脉交叉点数据提取与分析,如利用 tpsDig2^[19]获取重阳木斑蛾前翅内部 13 个翅脉交叉点数据等。

1.4 分析方法

同一性别重阳木斑蛾左右前翅看作两个处理,不同性别前翅作为两个处理,利用独立样本 t 检验检测由 BugShape v1.0 软件得到的 10 个参数在不同处理中的差异性。在进行典型判别分析(canonical discriminat analysis)时,把两个性别和左右两侧的翅分别看作不同的处理,即 4 个处理(雌性左翅、雌性右翅、雄性左翅和雄性右翅),通过获得的参数建立 Fisher 判别函数,并对各样本进行分组判别,上述分析在 SPSS 22.0 中进行。而利用 tpsDig2 获取的翅脉交点坐标,使用其专用的软件 tpsSuper 进行普氏叠加分析,叠加分析后再利用 tpsRelw 进行相对扭曲分析^[19],以分析重阳木斑蛾翅内部翅脉交叉点在空间分布上的变化。

2 结果与分析

2.1 成虫左右前翅形态学参数在同一性别中的差异

雌虫数据通过 Levene 变异数相等测试,各参数的显著性 P 值在 0.123~0.945 之间,说明雌虫左前

翅和右前翅数据集整齐度好。独立样本 t 检验($n=19,16$)结果表明,各参数的显著性 P 值范围为 0.289~0.878,差异均不显著。同样,在雄虫左右前翅相关参数的检验中,Levene 变异数检测中各参数的显著性 P 值范围为 0.339~0.968。独立样本 t 检验显著性 P 值范围为 0.268~0.991,各参数间差异也不显著(图 2)。

2.2 雌雄成虫左前翅在形态学参数上的差异

大多数情况下,进行鳞翅目昆虫种类的鉴定,利用翅面特征只使用一侧的翅表斑纹等。本文首先分析了雌雄成虫左前翅形态结构特征,结果表明,Levene 变异数相等测试表明各参数显著性 P 值范围为 0.228~0.927,处理内各样本间差异很小。独立样本 t 检验结果表明,左前翅面积($t=5.787, df=36, P<0.001$)、短轴长度($t=8.977, df=36, P<0.001$)、等效圆半径($t=5.733, df=36, P<0.001$)、偏心率($t=-7.966, df=36, P<0.001$)、球状性($t=5.420, df=36, P<0.001$)和圆形度($t=6.843, df=36, P<0.001$)在不同性别间差异达到极显著水平,周长($t=2.641, df=36, P=0.012$)和长轴长度($t=2.357, df=36, P<0.024$)差异达到显著水平,而紧凑度($t=1.335, df=36, P=0.190$)和叶状性($t=-0.664, df=36, P=0.511$)在两个性别间差异不显著(图 3)。

2.3 雌雄成虫双侧前翅形态学参数的差异

虽然同一性别成虫左右前翅的形态特征在统计学上差异不显著,可以简单地推断出左右翅基本对称,但可以看出左右翅并不是完全对称的,当左右翅混合使用时,这种微小差异是否会影响性别的最终判定需要做进一步的证明。因此,本文把每一性别左右翅数据重新组合成一个新的数据集,并进行了

统计分析。结果表明,Levene 变异数据相等测试显著性 P 值范围为 $0.076\sim0.788$ 。独立样本 t 检验结果表明,雌雄两性间翅面积($t=8.437,df=65,P<0.001$)、周长($t=4.478,df=65,P<0.001$)、长轴长度($t=4.385,df=65,P<0.001$)、短轴长度($t=11.642,df=65,P<0.001$)、等效圆半径($t=$

$8.513,df=65,P<0.001$)、偏心率($t=-10.090,df=65,P<0.001$)、球状性($t=7.907,df=65,P<0.001$)和圆形度($t=8.194,df=65,P<0.001$)之间的差异均达到极显著水平,而紧凑度($t=1.938,df=65,P=0.057$)和叶状性($t=-0.506,df=65,P=0.614$)差异不显著(图 4)。

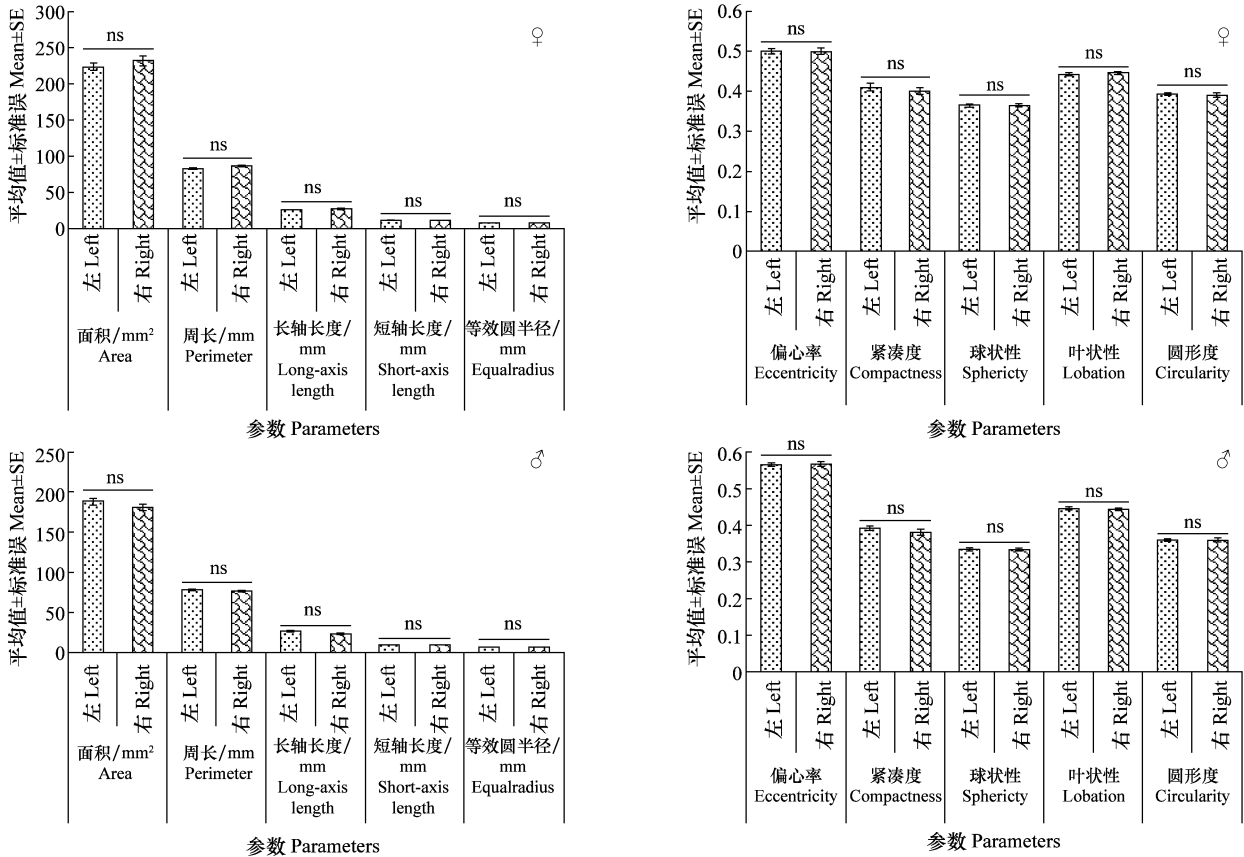
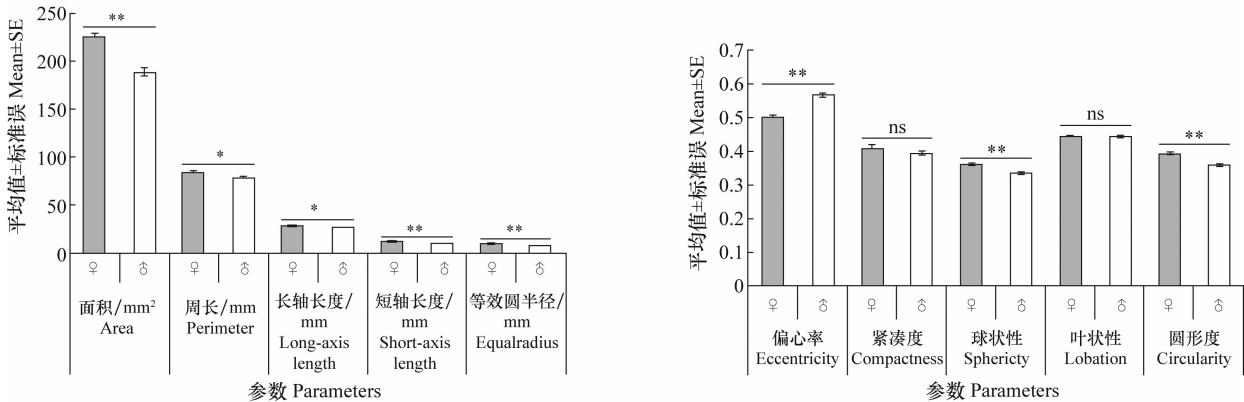


图 2 重阳木斑蛾左右前翅形态学参数在相同性别中的差异显著性($\alpha=0.05$, ns=不显著)
Fig. 2 Differences in the morphological parameters of two side forewings from the same gender of *Histia rhodope* adults($\alpha=0.05$, ns=no significant)



**: $\alpha=0.01$; *: $\alpha=0.05$; ns: 不显著。下同
**: $\alpha=0.01$; *: $\alpha=0.05$; ns: no significant. The same below

图 3 重阳木斑蛾雌雄成虫左前翅形态学参数的差异显著性
Fig. 3 Differences in the morphological parameters of left forewings from male and female *Histia rhodope* adults

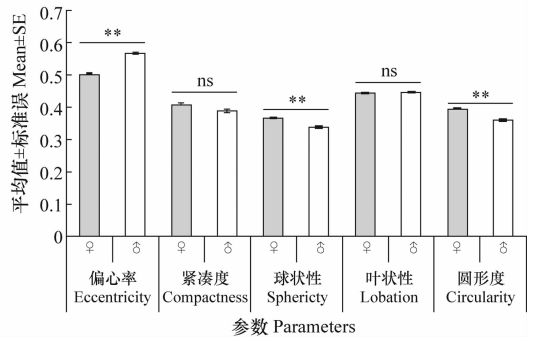
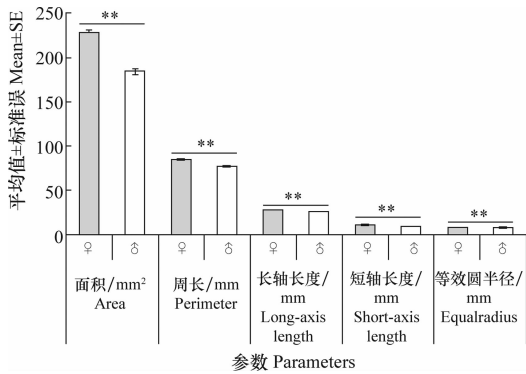


图 4 重阳木斑蛾雌雄双侧前翅形态特征参数的差异显著性

Fig. 4 Differences in the morphological parameters of two side forewings from male and female *Histia rhodope* adults

2.4 雌雄判别结果

利用典型判别分析(canonical discriminant analysis)建立 4 个 Fisher 判别函数,在判别分析中用到 3 个。其中第 1 个函数的贡献率为 93.6%,第 2 个函数的贡献率为 4.7%。从最终的分类结果来看,会出现左右翅相互误判现象。其中,左前翅的分组正确率(86.85%)明显高于右前翅(67.55%)。但雌雄两性间无误判现象(100.00%),其分组散布图如下(图 5)。

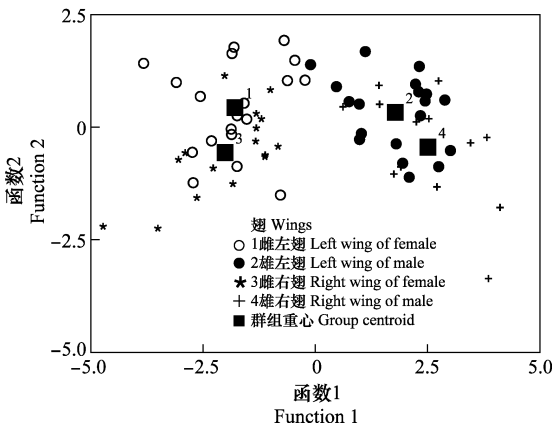


图 5 所有处理典型判别分析分组图

Fig. 5 Scatter plot of all groups by canonical discriminant analysis in all cases

2.5 翅脉交叉点空间位置变化

通过普氏叠加和相对扭曲分析发现,所研究的样本无论是雌性或是雄性,翅脉交叉点在翅膀横向上的变化较大,且外围两个翅脉交叉点变异最大。通过相对扭曲分析,绝大部分样本翅脉内部交叉点的变异不大,有部分样本(雌性 5 个,雄性 4 个)存在较大变异。雌雄作为两个数据集进行分析时,差异变化最大的翅脉交叉点为标号 5 和 6 两个点(图 6)。

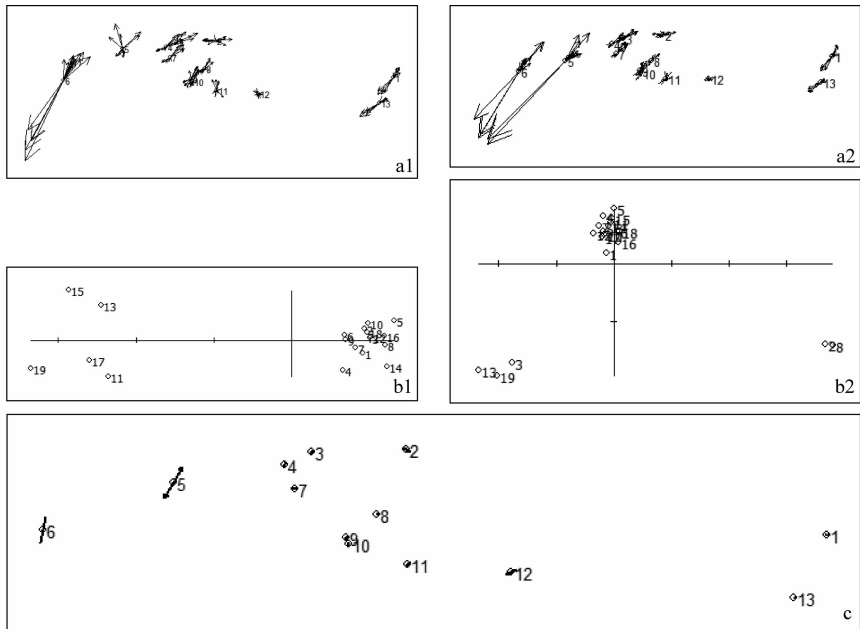
3 结论与讨论

通过上述分析,本研究认为重阳木斑蛾成虫左

右前翅在轮廓特征上无显著差异,雌雄间存在显著差异。其中,仅利用左前翅的 10 个轮廓特征参数进行比较时,翅面积、短轴长度、等效圆半径、偏心率、球状性和圆形式在两个性别间的差异达到极显著水平,周长和长轴长度的差异达到显著水平,而紧凑度和叶状性的差异不显著。利用两侧前翅的数据集时,除紧凑度和叶状性的差异不显著外,其余参数均达到极显著水平。虽然利用左前翅的数据集在进行判别分析时分组正确率达到 86.85%,且显著高于右前翅的正确率(67.55%),存在左右翅误判的情况,但整体数据集对雌雄无误判现象。雌性或雄性个体间在翅脉交叉点空间位置上的变化多发生在相对于翅的横向方向,且外缘附近的变异更大。

在研究过程当中,最初使用未去除鳞片的翅,但在图像获取时鳞片容易脱落,污染背景,且无法准确获取翅脉交叉点位置,利用化学方法去除鳞片^[20]是获取鳞翅目昆虫翅脉的关键一步。但这种方法的缺点是只适用于普通昆虫标本,而对于珍稀标本,建议使用其他非破坏性操作方法,如微型计算机断层成像技术(micro-computed tomography)^[21]等。

本研究结果认为从前翅的轮廓特征来看,同一性别个体间无显著差异,仅利用这些特征可以对重阳木斑蛾成虫进行雌雄区别,并且可以左右翅相互替换。从实际的测量值(平均值±标准误差)来看,雌雄间双侧前翅的面积[♀:(227.92±4.085)mm²;♂:(185.23±2.84)mm²],周长[♀:(84.26±1.24)mm;♂:(77.41±0.85)mm],长轴长度[♀:(27.19±0.28)mm;♂:(25.56±0.24)mm],短轴长度[♀:(11.35±0.11)mm;♂:(9.77±0.08)mm],等效圆半径[♀:(8.51±0.08)mm;♂:(7.67±0.06)mm]存在显著差异,在这些指标上雌性大于雄性,这支持了参考文献^[4-6]中的描述。



a1: 雌虫翅脉交叉点变化向量; a2: 雄虫翅脉交叉点变化向量; b1: 雌虫样本相对扭曲排列; b2: 雄虫样本相对扭曲排列; c: 雌雄翅脉变异向量
a1: Vector plot for vein junctions of female adults; a2: Vector plot for vein junctions of male adults; b1: Relative warp ordination plot for female adults; b2: Relative warp ordination plot for male adults; c: Vector plot for vein junctions of female and male adults

图 6 重阳木斑蛾雌雄成虫翅脉交叉点空间位置变化

Fig. 6 Variation of spatial position from vein junctions between male and female *Histia rhodope* adults

而从翅脉交叉点的空间分布来看,不但雌雄间存在较大差异,同一性别不同个体间也存在显著差异,主要表现在相对于翅的横向方向的变化,并且靠近外缘的翅脉交叉点位置变化大。许多标本中会出现翅脉交叉点位置缺失或多出,因此所选翅脉交叉点相对位置有很大变化。据报道,在一些膜翅目和双翅目昆虫中,翅脉交叉点位置的相对变化是评价其不同亚种或近似种的重要依据^[11, 22-23]。而在一些水生昆虫中,不良的环境条件和杀虫剂很可能影响到昆虫左右对称性^[24]。本研究采集标本之前,采集地从未使用杀虫剂进行防治,基本可以排除杀虫剂对重阳木斑蛾成虫翅形的影响。根据相关报道,鳞翅目昆虫翅脉交叉点的空间变异,可以用于区别不同夜蛾科昆虫^[19],但是否适用于所有鳞翅目或其他种类的昆虫,能否形成适合绝大多数昆虫的标准化数据库,这些还需要做进一步的研究。

在鳞翅目昆虫的饲养和应用当中,尤其是对蝴蝶雌雄的判别方面,除了专业的分类人员可以通过生殖器结构、体和翅正反面彩色鳞片 and 鳞毛的差异等特征进行鉴别外,大部分工作人员很难准确判断。对于研究中的重阳木斑蛾成虫来说,雌雄间除了翅的形态特征可用于数字化鉴定外,通过腹末生殖节形态也可以做出较准确的判断。一般情况下雌性产

卵器为管状外伸,而雄性腹部末端较平截(图 1)。另外,雌虫腹部成对的黑斑多相连,而雄性腹部成对的黑斑多分离。但对于其他鳞翅目昆虫来说,这些并不是稳定的鉴定特征。如果能够通过翅的形态特征区别此类昆虫的种类和雌雄,将有利于此类昆虫的数字化鉴定,形成标准化的数据库,推动鳞翅目或其他昆虫种类的远程鉴定功能。

参考文献

[1] 李世广,林华峰,李利华,等. 重阳木帆锦斑蛾的生物学特性及防治[J]. 昆虫知识,2006,43(6):777-780.
[2] 周英. 一种分辨重阳木锦斑蛾雌雄蛹的简易方法[J]. 中国森林病虫,2012,31(6):40-41.
[3] 申效诚. 河南昆虫名录[M]. 北京:中国农业科技出版社,1993.
[4] 中国科学院动物研究所. 中国农业昆虫(下册)[M]. 北京:农业出版社,1987.
[5] 中国科学院动物研究所. 中国蛾类图鉴 I[M]. 北京:科学出版社,1981.
[6] 戴凤凤. 重阳木斑蛾的初步观察[J]. 江西林业科技,1983(4):21-22.
[7] 黄邦侃. 重阳木斑蛾的生物学及防治研究[J]. 福建农学院学报,1980(1):61-79.
[8] WEEKS P, GAULD I, GASTON K, et al. Automating the identification of insects: A new solution to an old problem [J]. Bulletin of Entomological Research, 1997, 87 (2): 203-211.
[9] WEEKS P J D, O'NEILL M A, GASTON K J, et al. Species-

identification of wasps using principal component associative memories [J]. Image and Vision Computing, 1999, 17(12): 861 – 866.

[10] SCHRÖDER S, DRESCHER W, STEINHAGE V, et al. An automated method for the identification of bee species (Hymenoptera: Apoidea)[C]//Proceedings of the International Symposium on Conserving Europe’s Bees, Londres, Reino Unido. 1995: 6 – 7.

[11] TOFILSKI A. DrawWing, a program for numerical description of insect wings [J]. Journal of Insect Science, 2004, 17(4): 1 – 5.

[12] WATSON A T, O’NEILL M A, KITCHING I J. Automated identification of live moths (Macrolepidoptera) using digital automated identification system (DAISY)[J]. Systematics and Biodiversity, 2004, 1(3): 287 – 300.

[13] MAYO M, WATSON A T. Automatic species identification of live moths [J]. Knowledge-Based Systems, 2007, 20(2): 195 – 202.

[14] ZHU Leqing, ZHANG Zhe. Auto-classification of insect images based on color histogram and GLCM. 2010 [C]// Yantai: International Conference on Fuzzy System & Knowl, 2010: 2589 – 2593.

[15] YANG Heping, MA Chunsen, WEN Hui, et al. A tool for developing an automatic insect identification system based on wing outlines [J]. Scientific Reports, 2015(5): 12786.

[16] 潘鹏亮, 沈佐锐, 杨红珍, 等. 三种绢蝶翅脉数字化特征的提取及初步分析[J]. 动物分类学报, 2008, 33(3): 566 – 571.

[17] 潘鹏亮, 刘红敏, 张方梅, 等. 四种网蝽科昆虫外部形态特征提

取与分析[J]. 四川动物, 2017, 36(5): 531 – 539.

[18] 于新文, 沈佐锐, 高灵旺, 等. 昆虫图像几何形状特征的提取技术研究[J]. 中国农业大学学报, 2003, 8(3): 47 – 50.

[19] 蔡小娜, 黄大庄, 沈佐锐, 等. 用于昆虫分类鉴定的几何形态计量学方法研究: 相对扭曲分析[J]. 生物数学学报, 2016(2): 254 – 262.

[20] 潘鹏亮, 沈佐锐, 高灵旺, 等. 昆虫翅脉特征自动获取技术的初步研究[J]. 昆虫分类学报, 2008, 30(1): 72 – 80.

[21] POINAPEN D, KONOPKA J K, UMOH J U, et al. Micro-CT imaging of live insects using carbon dioxide gas-induced hypoxia as anesthetic with minimal impact on certain subsequent life history traits [J]. BMC Zoology, 2017, 2 (9): 13.

[22] FRANCOY T M, WITTMANN D, DRAUSCHKE M, et al. Identification of Africanized honey bees through wing morphometrics: Two fast and efficient procedures [J]. Apidologie, 2008, 39(5): 488 – 494.

[23] GILCHRIST A S, CRISAFULLI D C A. Using variation in wing shape to distinguish between wild and mass-reared individuals of Queensland fruit fly, *Bactrocera tryoni* [J]. Entomologia Experimentalis et Applicata, 2006, 119(2): 175 – 178.

[24] CHANG Xiaoli, ZHAI Baoping, LIU Xiangdong, et al. Effects of temperature stress and pesticide exposure on fluctuating asymmetry and mortality of *Coper a annulata* (Selys) (Odonata: Zygoptera) larvae [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2007, 67(1): 120 – 127.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 70 页)

即戈洛文属 *Golovinomyces* (U. Braun) V. P. Gelyuta^[10]; 以触瓣花白粉菌 *Erysiphe galeopsidis* 为模式种建立了一个新属, 定名为新白粉菌属 *Neoerysiphe* U. Braun^[11]。现在, 该分类方法已被大多数学者认可。狭义的白粉菌属 *Erysiphe* s. str. 在形态上与钩丝壳属 *Uncinula* 十分接近, 并通过一些中间类群彼此相连。钩丝壳属的种在假孢抱支系中构成了基部的一个亚分支, 包括大多数钩丝壳属的种和几个狭义白粉菌属的种^[10]。因此 Braun & Takamatsu 将钩丝壳属作为白粉菌属 *Erysiphe* 的异名^[12], 桑钩丝壳 *Uncinula mori* 作为原钩丝壳属中的一种, 也应该归为白粉菌属。

本文通过对病原菌的形态特征观察和 ITS、D1/D2 基因的序列分析, 明确了桑里白粉病的病原菌为桑生球针壳 *Phyllactinia moricola*; 桑表白粉病的病原菌为桑白粉菌 *Erysiphe mori*, 桑钩丝壳 *Uncinula mori* 这个学名不再使用, 是桑白粉菌的异名。

参考文献

[1] 韦海玲. 桑断枝烂叶病的病原菌种类鉴定[D]. 南宁: 广西大学, 2015.

[2] 祁广军. “东桑西移”背景下广西蚕业发展实证研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2013.

[3] 徐伟芳, 王爱印, 舒平, 等. 几种常见桑树病害的识别与防治[J]. 蚕学通讯, 2015, 35(2): 22 – 30.

[4] 郑儒永, 余永年. 中国真菌志: 第一卷白粉菌目[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1 – 552.

[5] 杨俐. 云南桑白粉病病原菌 *Phyllactinia moricola* 的鉴定及分生孢子发芽特性的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.

[6] 陈廷速, 李松, 张金莲, 等. 丛枝菌根(AM)真菌对甘蔗根系侵染研究[J]. 西南农业学报, 2011, 24(5): 1757 – 1760.

[7] MEBOON M, TAKAMATSU S. New records of *Erysiphe* sect. *Uncinula* spp. (Erysiphales) from Thailand and *E. liquidambaris* var. *acalycinae* var. nov [J]. Mycoscience, 2017, 58: 236 – 241.

[8] 郑儒永, 陈桂清. 中国钩丝壳属的分类研究 I. 中国钩丝壳一种的讨论[J]. 微生物学报, 1977, 17(3): 189 – 197.

[9] 古玉环, 张兴礼. 白粉菌分类中无性型特征的研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 1993(2): 46 – 50.

[10] 刘淑艳, 高松. 白粉菌属级分类系统的讨论[J]. 菌物学报, 2006 (1): 152 – 159.

[11] BRAUN U. Some critical notes on the classification and generic concept of the Erysiphaceae [J]. Schlechtendalia, 1999, 3: 49 – 55.

[12] BRAUN U, TAKAMATSU S. Phylogeny of *Erysiphe*, *Microsphaera*, *Uncinula* (Erysiphaceae) and *Cystotheca*, *Podosphaera*, *Sphaerotheca* inferred from rDNA ITS sequences-some taxonomic consequences [J]. Schlechtendalia, 2000, 4: 1 – 33.

(责任编辑: 田 喆)