

doi:10.11707/j.1001-7488.20140115

分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的形态学和生物学 区别及其进化关系*

刘 群 常 虹 陈 娟 郝德君

(南京林业大学森林资源与环境学院 南京 210037)

摘 要: 分月扇舟蛾与仁扇舟蛾为重要的杨树食叶害虫,其成虫的外部形态、生活习性及其危害方式十分相似,极易引起混淆,且二者在国内的分布区有重叠,给 2 种舟蛾的准确鉴定及监测带来困难。通过室内饲养观察,比较分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的卵、幼虫、蛹和成虫不同虫态的形态特征和部分生物学特性,确定其在中国的分布范围;利用分子生物学方法扩增线粒体 CO I 基因的部分序列,比对分析二者的进化关系。

关键词: 分月扇舟蛾;仁扇舟蛾;分布;形态特征;生物学特性;线粒体 CO I 基因

中图分类号: S718.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-7488(2014)01-0097-06

Identification of *Clostera anastomosis* and *C. restitura* (Lepidoptera: Notodontidae) by Morphological and Biological Characters and Their Evolutionary Relationship

Liu Qun Chang Hong Chen Juan Hao Dejun

(College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University Nanjing 210037)

Abstract: *Clostera anastomosis* and *C. restitura* are similar in adult morphology, living habits and harm way and with overlapping 2, thus they are usually hard to be distinguished from each other. In order to accurately clarify their distribution and forecast their population dynamics, the morphological differences of egg, larva, pupae and adult were compared, and the distribution and biological characters were investigated. By amplifying part of mitochondria CO I gene, the evolutionary relationship between them was analysed.

Key words: *Clostera anastomosis*; *Clostera restitura*; distribution; morphological characters; biological characters; mtDNA CO I gene

分月扇舟蛾 (*Clostera anastomosis*) 和仁扇舟蛾 (*C. restitura*) 均为重要的杨树食叶害虫,同属鳞翅目 (Lepidoptera) 舟蛾科 (Notodontidae) 扇舟蛾属 (*Clostera*)。分月扇舟蛾于 1957—1958 年在大兴安岭首次发生,1979—1980 年在内蒙古昭乌达盟地区猖獗为害 (李艳梅, 1999), 1992 年传入河北围场 (孙鹤立等, 2006), 种群扩散迅速,并逐渐向南方各省市蔓延,直达仁扇舟蛾的分布区。近些年,江苏、安徽、江西、上海等地仁扇舟蛾爆发成灾,因其成虫的外部形态、生活习性以及危害方式与分月扇舟蛾十分相似,以致人们误将仁扇舟蛾认为是分月扇舟蛾。

笔者从江苏省南京市浦口区乌江镇农田防护林

的美洲黑杨 (*Populus deltoides*) 上采集到分月扇舟蛾和仁扇舟蛾,带回室内人工饲养并进行观察,分别从分布范围、各虫态的形态特征及生物学特性方面比较二者的异同,并通过扩增线粒体 CO I 基因的序列分析二者的进化关系,以期明确 2 种舟蛾的分类地位,为进行相关科学研究和指导生产实践提供基础资料。

1 分布

1.1 分月扇舟蛾

整体而言,分月扇舟蛾的分布偏北。世界范围内,分布于日本、朝鲜、俄罗斯、蒙古以及欧洲相关国家 (武春生等, 2003)。在中国,分布于黑龙江 (哈

收稿日期: 2013-01-31; 修回日期: 2013-05-19。

基金项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目 (CXLX12-0542)。

* 郝德君为通讯作者。

尔滨、大庆、牡丹江、海林、鸡西、讷河、尚志、大兴安岭)、吉林(长春、大安、白城、松原、四平、延边、公主岭、漫江)、辽宁(沈阳、宽甸、丹东)、内蒙古(呼和浩特、呼伦贝尔盟、兴安盟、哲里木盟、赤峰、临河)、河北(围场、丰宁、隆化、小五台山)、安徽(岳西)、江苏(南京、南通、吴江)、上海、浙江(杭州、天目山)、湖北(阳西、兴山、秭归)、湖南(沅江、汉寿、株洲、衡山)、四川(南充、灌县、西昌、泸州、泸定、康定、渡口、雅江、峨眉山)、贵州(江口)、云南(丽江、德钦、中甸、云龙)、福建(厦门)、陕西(留坝)、甘肃(宕昌、文县、舟曲)、新疆(阿克苏)、重庆(图 1 “□” 所

示区域)。

1.2 仁扇舟蛾

相对分月扇舟蛾,仁扇舟蛾的分布较南。世界范围内,主要分布于印度、越南、马来西亚以及印度尼西亚(武春生等,2003)。在中国,分布于江苏(南京、淮安、宿迁、镇江、徐州)、上海、浙江(杭州、天目山)、安徽(合肥、蚌埠、马鞍山)、江西(新建)、上海、福建(福州、武夷山)、湖南(衡山、汉寿、慈利)、广东(广州)、广西(桂林、南宁)、云南(云龙、下关)、海南(海口、尖峰岭)、台湾、香港(图 1 “□” 所示区域)。

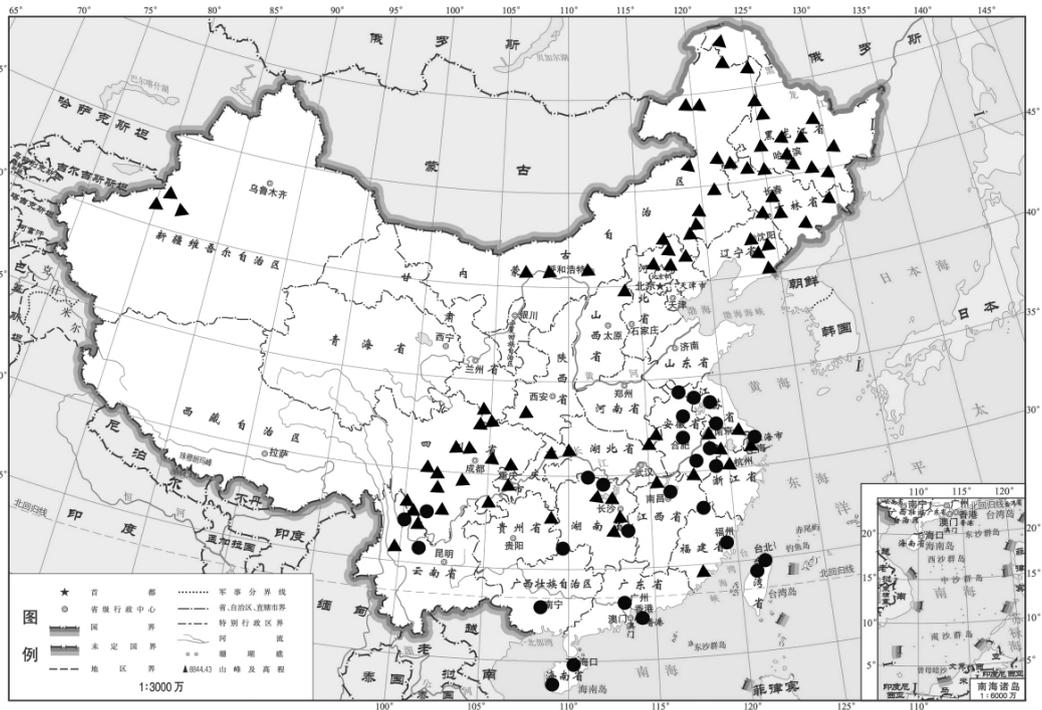


图 1 分月扇舟蛾和仁扇舟蛾的分布范围

Fig. 1 The distribution range of *C. anstomosis* and *C. restituta*

□分月扇舟蛾 *C. anstomosis*; ▲仁扇舟蛾 *C. restituta*

2 形态

2.1 成虫

2.1.1 分月扇舟蛾(图版 I - 1, 3, 4) 体灰褐至暗灰褐色; 头顶到胸背中央黑棕色。前翅灰褐至暗灰褐色, 顶角斑扇形, 红褐色; 3 条灰白横线具暗边; 中室下内外线之间有 1 斜三角形影状斑; 外线在 M_2 脉前稍弯; 亚端线由 1 列脉间黑点组成, 波浪形, 在 Cu_1 脉呈直角弯曲, Cu_1 脉以前其内侧衬 1 波浪形暗褐色带; 端线细, 不清晰; 横脉纹圆形、暗褐色, 中央有 1 灰白线将圆斑横割成两半。后翅颜色较前翅略淡。雄虫腹部较瘦弱, 尾部具一丛长毛, 体色较雌虫深(武春生等, 2003)。

雄性外生殖器(图版 I - 7) 上爪形突较爪形突稍长, 粗, 圆柱形; 爪形突 2 叶细长, 弯曲, 末端具缺刻, 呈 2 尖齿形; 阳茎粗直, 中央细, 端部圆, 有许多倒钩形小齿。雌性外生殖器(图版 I - 8) 后表皮突较前表皮突细长; 后阴片膜质, 前阴片端缘呈深弧缺刻; 囊导管较粗, 前半段有点扭曲而稍骨化; 囊体较大; 囊突大, 位于中央, 近圆形, 上有齿突(武春生等, 2003)。

2.1.2 仁扇舟蛾(图版 I - 2, 5, 6) 体灰褐至暗灰褐色; 头顶到胸背中央黑棕色。前翅灰褐至暗灰褐色, 顶角斑扇形, 红褐色; 3 条灰白色横线具暗边; 中室下内外线之间有 1 斜的三角形影状斑; 外

线在 M_2 脉前稍弯曲; 亚端线由 1 列脉间黑色点组成, 波浪形, 在 Cu_1 脉呈直角弯曲, Cu_1 脉以前其内侧衬 1 波浪形暗褐色带; 端线细, 不清晰; 横脉纹圆形暗褐色, 中央有 1 灰白线把圆斑横割成两半。后翅黑褐色。雄虫腹部较瘦弱, 尾部有长毛一丛(武春生等, 2003)。

雌性外生殖器(图版 II - 1) 上爪形突宽大, 扁桃形; 爪形突短小, 弯曲, 末端呈 2 尖齿形; 阳茎粗直, 中央细, 端部圆, 有许多倒钩形小齿。雌性外生殖器(图版 II - 2) 后表皮突和前表皮突均短; 后阴片膜质, 前阴片缺环形; 囊导管细, 较短; 囊体长大; 囊突较小, 横条形, 上有齿突(武春生等, 2003)。

2.2 卵

2.2.1 分月扇舟蛾 卵成堆状排列, 每一卵堆含卵 50 ~ 120 粒。卵, 圆形, 底部平, 表面具 2 条灰白色平行条纹。初产时淡青色, 孵化前呈红褐色, 直径约 0.6 mm, 竖径约 0.5 mm (图版 II - 3, 4)。

2.2.2 仁扇舟蛾 卵成片状单层排列, 每片数量不等。卵, 馒头形, 表面具 2 条灰白色条纹。初产时淡青色, 孵化前呈红褐色, 直径约 0.8 mm, 竖径约 0.6 mm (图版 II - 5, 6)。

2.3 幼虫

2.3.1 分月扇舟蛾(图版 II - 7) 老熟幼虫纺锤形, 体长 35 ~ 40 mm; 头黑色, 具淡褐色毛; 体红褐色, 有淡褐色毛, 亚背线鲜黄色, 气门上线淡褐色; 中、后胸和腹部第 2 节背部各有 2 个红色瘤状突起; 第 1, 8 腹节背面各有 1 大黑瘤, 瘤上着生黑毛及 4 个小的馒头形毛瘤, 前面 2 个较大, 后面 2 个较小; 第 8 腹节的黑瘤前有 1 对鲜黄色突起; 2 条亚背线之间除前胸及腹部 1, 8 节外, 每节有白色圆点 1 对。气门黑色, 第 1 腹节气门下具 1 小黑瘤。

2.3.2 仁扇舟蛾(图版 II - 8) 老熟幼虫圆筒形, 体长 28 ~ 32 mm; 头灰色, 具黑色斑点; 体灰色至淡红褐色, 被淡黄色毛, 胸部两侧毛较长; 中、后胸背部各有 2 个白色瘤状突起; 第 1, 8 腹节背面各有 1 杏黄色大瘤, 瘤上着生 2 个小的馒头状突起, 瘤后生有 2 个黑色小毛瘤; 第 1 腹节的两侧各着生 1 个大黑瘤; 第 2, 3 腹节背部各有黑色瘤状突起 2 个, 其他腹部各节具白色突起 1 对。

2.4 蛹

2.4.1 分月扇舟蛾 蛹红褐色, 具光泽, 略呈圆锥形, 长 15 ~ 18 mm; 背部有清晰的纹络, 保留幼虫期的背部特征; 尾部有臀棘(图版 III - 1)。

2.4.2 仁扇舟蛾 蛹黄褐色, 具光泽, 近圆锥形, 长

10 ~ 15 mm; 背部无明显的纹络; 尾部有臀棘(图版 III - 2)。

3 生物学特性

在我国北部, 分月扇舟蛾是杨树食叶害虫的优势种。在黑龙江 1 年发生 2 ~ 3 代(李君, 2011; 宁献婧等, 2010), 在内蒙古 1 年发生 1 ~ 3 代(崔彩琴等, 2001; 李莉等, 2000), 在吉林 1 年发生 1 代(车永贵等, 2001) 或 3 代(周桂芝等, 1997; 刘小明等, 2010; 王福维等, 1998), 在河北 1 年发生 2 代(孙鹤立等, 2006; 李艳梅, 1999; 刘憬志等, 1996)。8, 9 月份, 以 2, 3 龄幼虫拉网下树, 在枯枝落叶及树干裂缝处结白色茧越冬。翌年 4, 5 月份, 越冬幼虫开始活动, 上树取食叶片。在长江流域的各分布区, 包括安徽、江苏、上海也有分月扇舟蛾生物学特性的研究报道, 但据作者观察, 此记载实为仁扇舟蛾。仁扇舟蛾 1 年发生 6 ~ 7 代(郑茂灿等, 2006; 漆娟英等, 2006; 吴文杰等, 2006), 主要以卵在枝干上越冬。越冬卵翌年 4 月下旬开始孵化, 初孵幼虫群集取食, 3 龄以后分散取食。

从野外采回 2 种舟蛾的幼虫, 在实验室进行群体饲养, 可知分月扇舟蛾的最适生长发育温度为 18 ~ 22 °C, 仁扇舟蛾的最适生长发育温度为 25 ~ 28 °C。在适宜的培养条件下, 观察记录二者的平均世代周期, 如表 1。

表 1 分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的世代周期
Tab. 1 Generation cycle of *C. anastomosis* and

世代周期 Generation cycle	<i>C. restitura</i>	
	分月扇舟蛾 <i>C. anastomosis</i>	仁扇舟蛾 <i>C. restitura</i>
幼虫期 Larva stage	27	12
预蛹期 Pre-pupa stage	2	1
蛹期 Pupa stage	8	4
卵期 Egg stage	8	6
总历期 Total period	45	23

饲养过程中发现分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的生活习性十分相似, 3 龄之前幼虫均聚集取食(图版 III - 3); 3 龄后开始分散, 取食量明显增加, 叶片被咬成缺刻; 老龄幼虫将树叶卷曲或在 2 树叶之间结茧化蛹(图版 III - 4)。不同的是, 10 月初, 羽化的分月扇舟蛾成虫不再交尾, 而仁扇舟蛾成虫则可继续交尾产卵, 这可能与仁月扇舟蛾的世代数较多有关。

4 进化关系

因 mtDNA 较基因组 DNA 要小很多, 具有进化速率快和母本遗传特性, 适合于种群历史和亲

缘关系相近的分类单元间进化关系的研究 (Pashley *et al.*, 1992)。其细胞色素 C 氧化酶 I (cytochrome oxidase subunit I, CO I) 基因结构保守, 种间变异较大, 能提供丰富的系统发育信息 (Hebert *et al.*, 2003)。本研究利用 PCR 技术, 体外扩增分月扇舟蛾和仁扇舟蛾成虫 mtDNA 中的 CO I 基因, 比较 CO I 基因的序列差异。与其他扇舟蛾属昆虫的 CO I 基因进行同源比对, 得到 2 种舟蛾的进化关系。

使用动物组织/细胞基因组 DNA 提取试剂盒, 磁珠法提取 2 种舟蛾的总 DNA (常虹等, 2012), 用无脊椎动物 CO I 基因通用引物 J1718: GGAGGATTTGGAAATTGATTAGTTCC 和 N2191:

CCCCGGTAAAATTTAAAATATAAACTTC 进行 PCR 扩增, 扩增产物经纯化后送交南京思普金生物科技有限公司进行双向测序。正反向测序结果经 ContigExpress 软件 (Lu *et al.*, 2004) 进行拼接后, 用 Clustal X 1.83 软件 (Chenna *et al.*, 2003) 及 MEGA 5.0 软件 (Kumar *et al.*, 2008) 进行分析。

分月扇舟蛾与仁扇舟蛾 CO I 基因部分序列的比对结果如图 2, 两序列的同一性为 93%, *e* 值为 0.0, 说明二者的遗传相似度很高。

此外, 用同样方法提取杨扇舟蛾 (*C. anachoreta*) 总 DNA 并扩增得到其 CO I 基因的部分序列, 同时从 GenBank 上下载其他扇舟蛾属昆虫 CO I 基因部分序列 (表 2) 进行比对, 结果如图 3。

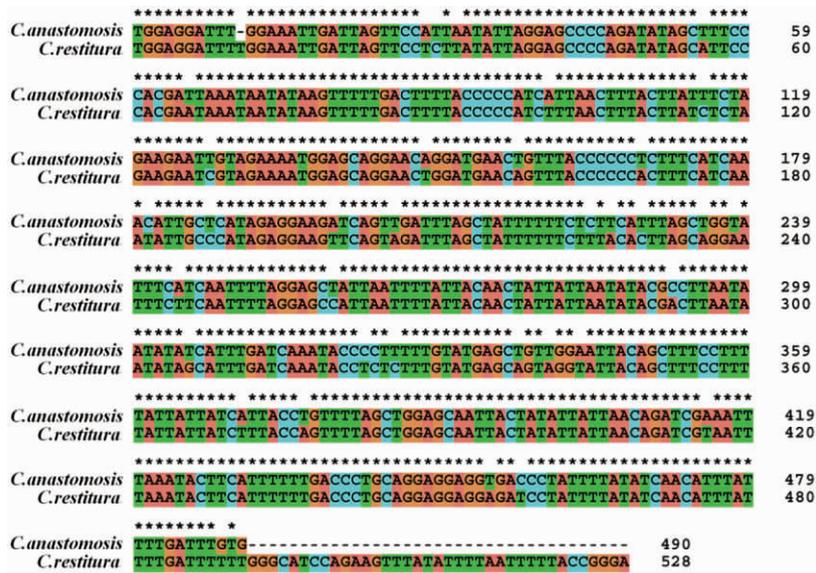


图 2 分月扇舟蛾与仁扇舟蛾 CO I 基因部分序列比对

Fig. 2 Alignment of partial CO I gene sequences of *C. anastomosis* and *C. restitura*

表 2 使用 GenBank 下载的 CO I 基因序列

种名 Species name	登录号 Accession No.
<i>C. curtula</i>	JF860203.1
<i>C. albosigma</i>	HM870242.1
<i>C. brucei</i>	HM864778.1
<i>C. apicalis</i>	HM867322.1
<i>C. pigra</i>	JF415332.1

根据图 3 的序列比对结果, 分别利用邻接法 (neighbor joining, NJ) 和最大似然法 (maximum likelihood, ML), 同时采用 Bootstrap 重复抽样 1 000 次检验分子系统树各分支的置信度, 构建系统发育树 (图 4)。

在 2 种系统发育树中, 分月扇舟蛾和仁扇舟蛾均聚在一起, 说明在扇舟蛾属中, 二者亲缘关系最

近, 这与形态观察的结果一致。

5 讨论

分月扇舟蛾和仁扇舟蛾在形态和生物学习性上有许多相似和容易混淆之处, 以致我国南方各省市误将仁扇舟蛾认为是分月扇舟蛾。二者形态上的主要区别见表 3。

国际上关于分月扇舟蛾的报道较多, 但对仁扇舟蛾的研究报道则较少, 因其在印度西北部爆发成灾, 相关研究多集中在此区域 (Sangha, 2011; Singh *et al.*, 2012)。国内虽然对仁扇舟蛾的研究较多, 但多被误认为是分月扇舟蛾, 未曾提出仁扇舟蛾这一名称。分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的分布区域有重叠, 在长江流域, 包括江苏、安

<i>C.anastomosis</i>	GGAAATGATTAGTTCCATTAATATTAGGAGCCCAGATATAGCTTCCCACGATTAAT	[60]
<i>C.restitura</i>	.....TC.T.....A.....A.....	[60]
<i>C.anachoreta</i>	.....T.....A.....T.....A.....	[60]
<i>C.albosigma</i>	.....A.C.....C.....C.....C.....	[60]
<i>C.apicalis</i>	.....C..A.C.....T.....A.....	[60]
<i>C.brucei</i>	.....A.....A.....A.....A.....	[60]
<i>C.curtula</i>	.....A.....T.....T.....A.....	[60]
<i>C.pigra</i>	.....A.....G.....A.....	[60]
<i>C.anastomosis</i>	AATATAAGTTTTGACTTTTACCCCGATCAITAACTTTACTTATTTCTAGAAGAATTGTA	[120]
<i>C.restitura</i>	.....T.....T.....C.....C.....	[120]
<i>C.anachoreta</i>	.....C.T.....T.....T.....A.T.....	[120]
<i>C.albosigma</i>	.....C.T.....C.T.....C.....A.T.....	[120]
<i>C.apicalis</i>	.....CC.T.....T.....T.....C.....A.T.....	[120]
<i>C.brucei</i>	.....C.....C.T.....T.....T.....C.....A.T.....G.....	[120]
<i>C.curtula</i>	.....C.T.....T.....T.....C.....C.....A.T.....G.....T	[120]
<i>C.pigra</i>	.....C.T.....C.T.....A.T.....G.....	[120]
<i>C.anastomosis</i>	GGAAATGGAGGAGGAACAGGATGAACCTGTTTACCCCGCTTTTCATCAACATTTGCTCAT	[180]
<i>C.restitura</i>	.....T.....A.....A.....T.....C.....	[180]
<i>C.anachoreta</i>	.....G.....A.....T.....T.....C.....	[180]
<i>C.albosigma</i>	.....G.....A.....T.....T.....C.....	[180]
<i>C.apicalis</i>	.....T.....A.....T.....A.....T.....A.....	[180]
<i>C.brucei</i>	.....G.....A.....T.....T.....C.....C	[180]
<i>C.curtula</i>	.....A..G.....A.....T.....T.....C.....	[180]
<i>C.pigra</i>	.....G.....A.....T.....T.....C	[180]
<i>C.anastomosis</i>	AGAGGAAGATGAGTTGATTAGCTATTTTTCCTCTTCATTTAGCTGGTATTTGATCAAIT	[240]
<i>C.restitura</i>	.....T.....A.....T.A.C.....A.....A.....T.....	[240]
<i>C.anachoreta</i>	G.T.....T.A.....T.....A.....C.....C.....	[240]
<i>C.albosigma</i>	G.....T.....A.....C.....C.....C.....T.....	[240]
<i>C.apicalis</i>	G.....T.....T.....CT.A.C.....C.....	[240]
<i>C.brucei</i>	G.....T.....A.....C.....T.....T.....	[240]
<i>C.curtula</i>	G.....C.....A.....C.....C.....T.....	[240]
<i>C.pigra</i>	G.....C.....A.....C.....C.....	[240]
<i>C.anastomosis</i>	TTAGGAGCTAATTAATTTTATTACAACATTTATTAAATATACGCCCTTAATAATATATCATT	[300]
<i>C.restitura</i>	.....C.....A.....A.....G.....	[300]
<i>C.anachoreta</i>	.....C.....A.....A.....G.....	[300]
<i>C.albosigma</i>	.....C.....A.....A.....G.....	[300]
<i>C.apicalis</i>	.....A.....A.....T.....	[300]
<i>C.brucei</i>	.....A.....A.....T.....	[300]
<i>C.curtula</i>	.....T.....A.....T.....	[300]
<i>C.pigra</i>	.....C.....AA.....	[300]
<i>C.anastomosis</i>	GATCAAAATACCCCTTTTGTATGAGCTTTGGA	[333]
<i>C.restitura</i>	.....T.....C.....A.....A.....T	[333]
<i>C.anachoreta</i>	.....T.....T.....T.....T	[333]
<i>C.albosigma</i>	.....T.....T.....T.....T	[333]
<i>C.apicalis</i>	.....T.....T.....T.....T	[333]
<i>C.brucei</i>	.....T.....T.....T.....T	[333]
<i>C.curtula</i>	.....T.....T.....T.....T	[333]
<i>C.pigra</i>	.....T.....T.....T.....T	[333]

图 3 扇舟蛾属昆虫 CO I 基因部分序列比对

Fig. 3 Alignment of partial CO I gene sequences of insects in *Clostera*

表 3 分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的主要形态区别

Tab.3 Morphological differences between *C. anstomosis* and *C. restitura*

	分月扇舟蛾 <i>C. anstomosis</i>	仁扇舟蛾 <i>C. restitura</i>
雄性外生殖器 Male genitalia	上爪形突粗长, 圆柱形; 爪形突细长 Long strong upper uncus is cylindrical; uncus is slender	上爪形突宽短, 扁桃形; 爪形突短小 Broad short upper uncus is amygdaline; uncus is small
雌性外生殖器 Female genitalia	后表皮突比前表皮突细长; 前阴片端缘呈深弧缺刻; 囊导管粗长, 前半段扭曲; 囊突大, 近圆形 The posterior apophysis is slenderer than the front apophysis; the apical of lamella antevaginalis is in a shape of deep arc incision; the ductus bursae is thick and long, with the first half distorting; the signum is big, near round	后表皮突和前表皮突均短; 前阴片缺环形; 囊导管细短, 不扭曲; 囊突小, 横条形 Both the posterior and front apophysis are short; lamella antevaginalis is penellipse; the ductus bursae is thin and short, not distorting; the signum is small, with a shape of horizontal bar
卵 Egg	卵成堆状排列, 每一卵堆含卵 50 ~ 120 粒; 圆形; 直径约 0.6 mm, 竖径约 0.5 mm The eggs are arranged in piles, with 50 to 120 eggs each pile; round shape; the transverse diameter is about 0.6 mm, the vertical diameter is about 0.5 mm	卵成片状单层排列, 每片卵数量不等; 馒头形; 直径约 0.8 mm, 竖径约 0.6 mm The eggs are arranged in platy single layer, with different amount every flake; steamed bread shape; the transverse diameter is about 0.8 mm, the vertical diameter is about 0.6 mm
幼虫 Larva	老熟幼虫长 35 ~ 40 mm; 头黑色具淡褐色毛; 体红褐色, 被淡褐色毛; 中、后胸和腹部第 2 节背部各有红色瘤状突起 2 个; 第 1,8 腹节背面各有 1 大黑瘤; 其他腹部各节有白色圆点 1 对 The mature larva is 35 to 40 mm long; the head is black with light brown hair; the body is reddish, covered with light brown hair; two red strumaes exist on the 2nd segment of the mesothorax, metathorax and abdomen; one big black strumae appears on the back of 1st and 8th abdominal segment; a pair of white blot position on the other segments	老熟幼虫长 28 ~ 32 mm; 头灰色具黑色斑点; 体灰色至淡红褐色, 被淡黄色毛; 中、后胸背部各有白色瘤状突起 2 个, 腹部第 2,3 节背部各有黑色瘤状突起 2 个; 第 1,8 腹节背面各有 1 杏黄色大瘤; 其他腹部各节有白色突起 1 对 The mature larva is 28 to 32 mm long; the head is grey with black blots; the body is grey to light reddish, covered with light yellow hair; two white strumaes exists on mesothorax and metathorax; one big apricot strumae appears on the back of 1st and 8th abdominal segment; a pair of white protuberance position on the other segments
蛹 Pupa	蛹红褐色, 长 15 ~ 18 mm; 背部有清晰的纹络 The pupae is reddish, 15 to 18 mm long; distinct texture exist on the back	蛹黄褐色, 长 10 ~ 15 mm; 背部没有纹络 The pupae is tawny, 10 to 15 mm long; no texture exist on the back

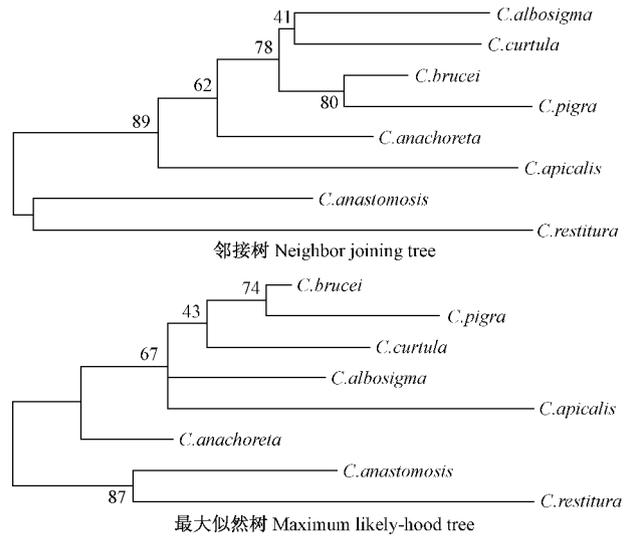


图 4 基于 CO I 部分序列的 8 种扇舟蛾 NJ 和 ML 树

Fig. 4 Neighbor joining tree and maximum likely-hood tree based on eight moths of *Clostera*

各分支上的数字为 bootstrap 1 000 次循环的自举检验值。Numbers marked on the branches stand for the bootstrap testing values of 1 000 replications.

徽、江西、上海等地可同时发现分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的危害, 且仁扇舟蛾是优势种, 分月扇舟蛾则多在我国北部为害。

形态上, 分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的区别在幼虫期明显不同; 成虫除外生殖器有差别外, 外部特

征极其相似；卵期可根据卵的排列状态进行区分，分月扇舟蛾的卵是成堆状，而仁扇舟蛾卵则是单层平铺；蛹期的区别主要是：分月扇舟蛾蛹的背面具清晰的纹络，而仁扇舟蛾则无。

二者的生活习性及其危害症状均十分相似，但分月扇舟蛾的生活周期明显长于仁扇舟蛾，世代数少于仁扇舟蛾。由于分月扇舟蛾的分布范围相对仁扇舟蛾偏北，故其温度适生范围也低于仁扇舟蛾，前者为 18~22℃，而后者为 25~28℃。

提取 2 种舟蛾成虫的总 DNA，PCR 扩增出 mtDNA 中 CO I 基因的部分序列，比对后发现二者的同一性高达 93%。结合其他已报道的扇舟蛾属昆虫的 CO I 基因序列，构建出 NJ 和 ML 系统发育树，发现分月扇舟蛾和仁扇舟蛾都聚在一个分支，说明分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的亲缘关系非常接近。

同为杨树的重要食叶害虫，分月扇舟蛾与仁扇舟蛾十分相似，但又有所不同。应根据这些相异之处加以区分鉴别，并采用不同策略有针对性地进行防治。

参 考 文 献

常 虹,郝德君,肖荣堂,等.2012.基于线粒体 CO I 基因的齿小蠹属昆虫 DNA 条形码研究.昆虫学报,55(9):1075-1081.

车永贵,张家利,朱华年,等.2001.分月扇舟蛾生物学特性及其综合防治.吉林林业科技,30(5):18-19,26.

崔彩琴,范继锋,周延超,等.2001.分月扇舟蛾室内饲养观察及防治技术.内蒙古科技与经济,(5):109-110.

李 君.2011.分月扇舟蛾的发生特点及防治措施.农村实用科技信息,(2):42.

李 莉,孙 旭,孟焕文.2000.分月扇舟蛾生物学特性及防治.内蒙古农业大学学报,21(3):18-21.

李艳梅.1999.分月扇舟蛾的危害及其防治技术.防护林科技,(2):46-48.

刘憬志,成利强,暴永冬,等.1996.分月扇舟蛾防治技术研究.河北林学院学报,(11):253-254.

刘小明,庄庆美,于 健,等.2010.分月扇舟蛾生物学特性及防治.吉林林业科技,39(1):53-55.

宁献婧,聂向华.2010.试论分月扇舟蛾生物学特性及防治.黑龙江科

技信息,(29):258.

漆娟英,宋军华,黄启明.2006.杨树食叶害虫——分月扇舟蛾的发生与防治.中国花卉盆景,(9):30.

孙鹤立,崔同祥.2006.分月扇舟蛾的发生与防治.河北林业科技,(3):58-59.

王福维,牛延章,侯丽伟,等.1998.分月扇舟蛾生物学特性及其防治研究.林业科学研究,11(3):325-329.

武春生,方承莱.2003.中国动物志.昆虫纲.第三十一卷.鳞翅目:舟蛾科.北京:科学出版社,804-808.

吴文杰,申维新,孙兴全.2006.上海地区杨分月扇舟蛾生物学特性.上海交通大学学报:农业科学版,24(4):394-397.

郑茂灿,吴小芹,钱范俊,等.2006.上海地区分月扇舟蛾生物学特性和发生规律.南京林业大学学报,30(3):117-120.

周桂芝,孙传洲.1997.分月扇舟蛾发生规律及防治方法.吉林林业科技,(2):20-22.

朱锦洲.2008.杨树四种舟蛾的识别与防治.安徽农学通报,14(23):224-225.

Chenna R, Sugawara H, Koike T, et al. 2003. Multiple sequence alignment with the Clustal series of programs. Nucleic Acids Research, 31(13):3497-3500.

Hebert P D, Cywinska A C, Ball S L, et al. 2003. Biological identifications through DNA barcode. Proc R Soc Lond B Biol Sci, 270(1512):313-321.

Kumar S, Nei M, Dudley J, et al. 2008. MEGA: A biologist-centric software for evolutionary analysis of DNA and protein sequences. Brief Bioinform, 9(4):299-306.

Lu G, Moriyama E N. 2004. Vector NTI, a balanced all-in-one sequence analysis suite. Brif Bioinform, 5(4):378-388.

Pashley D P, Ke L D. 1992. Sequence evolution in mitochondrial ribosomal and ND-1 genes in Lepidoptera: implications for phylogenetic analyses. Mol Biol Evol, 9(6):1061-1075.

Singh G, Sangha K S. 2012. Ovipositional preference and larval performance of poplar defoliator, *Clostera restituta* on different poplar clones in north-western India. Journal of Forestry Research, 23(3):447-452.

Sangha K S. 2011. Evaluation of management tools for the control of poplar leaf defoliators (Lepidoptera: Notodontidae) in northwestern India. Journal of Forestry Research, 22(1):77-82.

(责任编辑 朱乾坤)

刘 群等：分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的形态学和生物学区别及其进化关系

图版 I

Liu Qun *et al.*: Identification of *Clostera anastomosis* and *C. restitura* (Lepidoptera: Notodontidae) by morphological and biological characters and their evolutionary relationship

Plate I



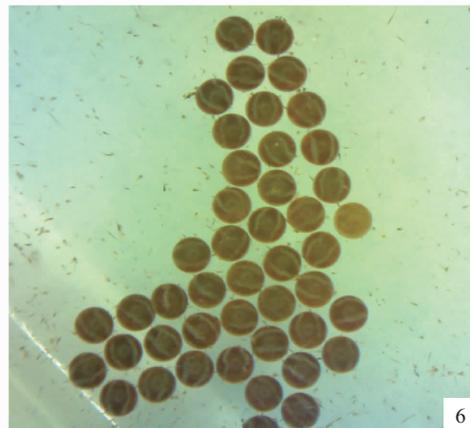
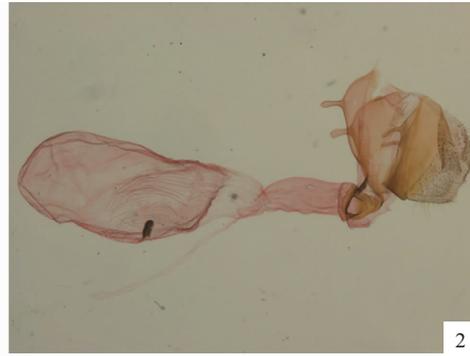
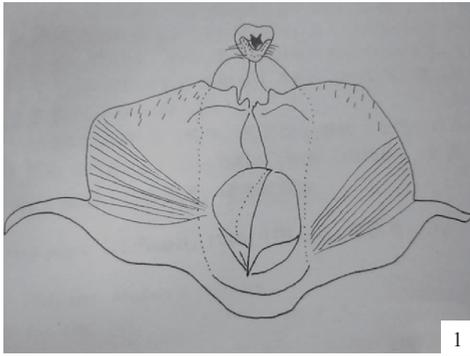
图版说明见图版 III See explanation at Plate III

刘 群等：分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的形态学和生物学区别及其进化关系

图版 II

Liu Qun *et al.*: Identification of *Clostera anastomosis* and *C. restitura* (Lepidoptera: Notodontidae) by morphological and biological characters and their evolutionary relationship

Plate II



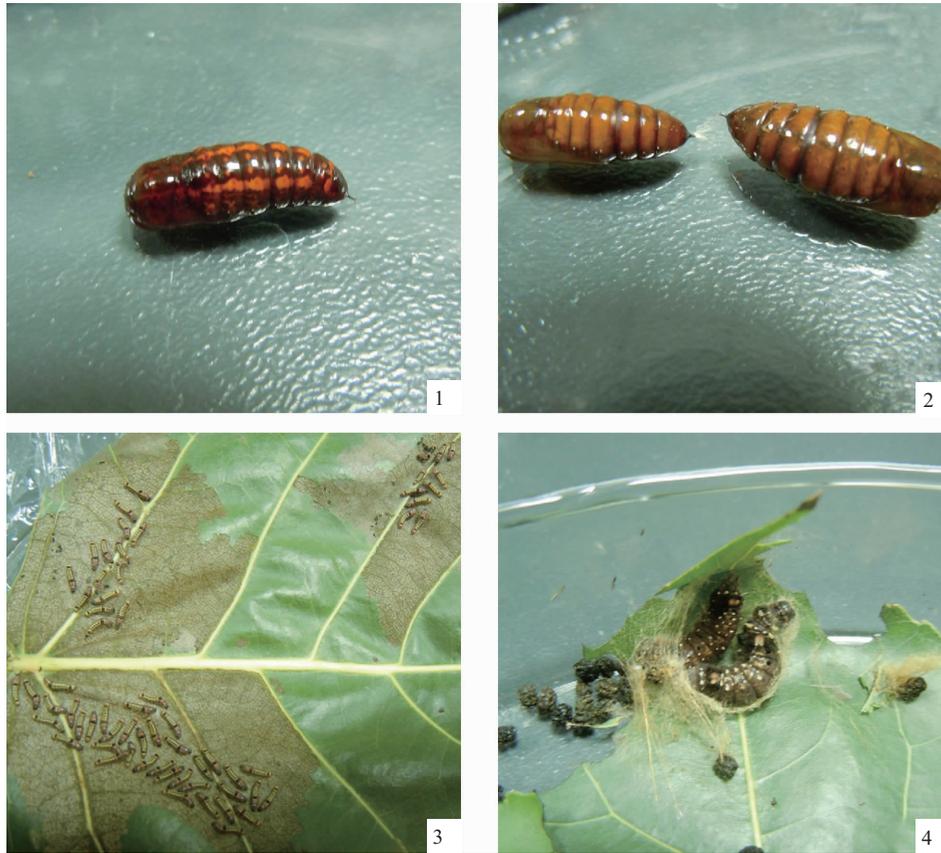
图版说明见图版 III See explanation at Plate III

刘 群等：分月扇舟蛾与仁扇舟蛾的形态学和生物学区别及其进化关系

图版 III

Liu Qun *et al.*: Identification of *Clostera anastomosis* and *C. restituta* (Lepidoptera: Notodontidae) by morphological and biological characters and their evolutionary relationship

Plate III



图版 I 说明 Explanation of Plate I

1.分月扇舟蛾的静置状态；2.仁扇舟蛾的静置状态；3.分月扇舟蛾♂的翅面形态；4.分月扇舟蛾♀的翅面形态；5.仁扇舟蛾♂的翅面形态；6.仁扇舟蛾♀的翅面形态；7.分月扇舟蛾♂的外生殖器；8.分月扇舟蛾♀的外生殖器。7和8引自武春生和方承莱《中国动物志·昆虫纲·第三十一卷·鳞翅目：舟蛾科》。

1. The standing state of *C. anastomosis*; 2. The standing state of *C. restituta*; 3. The morphology of the wing surface in *C. anastomosis* ♂; 4. The morphology of the wing surface in *C. anastomosis* ♀; 5. The morphology of the wing surface in *C. restituta* ♂; 6. The morphology of the wing surface in *C. restituta* ♀; 7. External genitalia of *C. anastomosis* ♂; 8. External genitalia of *C. anastomosis* ♀. 7 and 8 were cited from Wu Chunsheng and Fang Chenglai "Fauna Sinica, Insecta, Vol. 31, Lepidoptera: Notodontidae".

图版 II 说明 Explanation of Plate II

1.仁扇舟蛾♂的外生殖器；2.仁扇舟蛾♀的外生殖器；3.分月扇舟蛾初产卵；4.分月扇舟蛾即将孵化卵；5.仁扇舟蛾初产卵；6.仁扇舟蛾卵表面条纹；7.分月扇舟蛾幼虫；8.仁扇舟蛾幼虫。

1. External genitalia of *C. restituta* ♂; 2. External genitalia of *C. restituta* ♀; 3. Newly laid eggs of *C. anastomosis*; 4. Hatching eggs of *C. anastomosis*; 5. Newly laid eggs of *C. restituta*; 6. Two stripes on the egg surfaces of *C. restituta*; 7. Larva of *C. anastomosis*; 8. Larva of *C. restituta*.

图版 III 说明 Explanttion of Plate III

1.分月扇舟蛾蛹；2.仁扇舟蛾蛹；3.分月扇舟蛾幼虫聚集取食；4.仁扇舟蛾结茧化蛹。

1. Pupa of *C. anastomosis*; 2. Pupa of *C. restituta*; 3. *C. anastomosis* in post-hibernating stage; 4. *C. restituta* in cocooning and pupating.