

西双版纳热带雨林聚果榕隐头果的昆虫群落结构与多样性^{*}

杨大荣^{**} 彭艳琼 张光明 宋启示 谷海燕 王秋艳

(中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223)

【摘要】 聚果榕(*Ficus racemosa*)是西双版纳热带雨林生态系统中的一个优势种群。在聚果榕隐头果内外,形成了为聚果榕传粉、传播种子和在榕果上取食、栖息、繁衍后代的昆虫群落。在西双版纳勐仑国家自然保护区、植物园沟谷雨林、植物园江边次生林等样地内,对聚果榕隐头果中的昆虫群落结构、动态和多样性进行了研究。样地内采集到184 264号昆虫标本,隶属5个目,19个科,36属,51种;论种类和个体数量,膜翅目最为丰富,占聚果榕隐头果昆虫总数的37.3%,尤其传粉榕小蜂,种群数量在昆虫群落中占绝对优势,其传粉行为影响着聚果榕种群的构建和稳定;鳞翅目占昆虫总数的31.4%;鞘翅目、同翅目和双翅目三类仅占聚果榕隐头果昆虫总数的31.3%。3个样地的多样性指数、均匀度和种类丰富度,以勐仑国家自然保护区最高,其次是沟谷雨林保护区,再次是植物园次生林。资料分析表明,热带雨林片断化使聚果榕隐头果上的昆虫种类呈明显下降趋势,常见种个体数量增加,特有种数量减少。

关键词 热带雨林 聚果榕果实 昆虫群落 多样性

文章编号 1001-9332(2003)10-1710-05 **中图分类号** Q968 **文献标识码** A

Structure and biodiversity of insect community on syconia fruits of *Ficus racemosa* in tropical rainforest of Xishuangbanna, China. YANG Darong, PENG Yanqiong, ZHANG Guangming, SONG Qishi, GU Haiyan, WANG Qiuyan (Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(10):1710~1714.

Ficus racemosa is a keystone plant in tropical rainforest of Xishuangbanna, Yunnan. The structure, dynamic and biodiversity of insect community on its syconia fruits were investigated in different plots located in Menglun nature reserve, ravine rainforest in the botanical garden, and secondary forest by Luosuo River. The results showed that the total number of collected insects were 184 264, belonging to 5 order, 19 families, 36 genera, and 51 species. Hymenoptera was the most dominant group, accounted for 37.3 % of the total collected species. The pollinator of *Ceratosolen fusciceps* had huge individual quantities among Hymenoptera, and its successful pollination influenced the stability and development of *F. racemosa* population. In addition, the proportion of Lepidopter insects was 31.4 %, and the other 31.3 % species belonged to Coleoptera, Homopter and Diptera. Through calculating diversity index, evenness index and richness of three plots, it showed that these three indexes were the highest in Menglun nature reserve, secondary in ravine rainforest, and low species diversity and richness in secondary forest by Luosuo River. The experimental results reported here showed that the insect species decreased, the individual number of common species increased, and special species reduced.

Key words Tropical rainforest, *Ficus racemosa* fruits, Insects community, Diversity.

1 引言

西双版纳是中国现存面积最大的热带雨林地区。其中,榕树是热带植物区系中最大的木本树种之一。榕树是榕属(*Ficus*)中全部树种的总称,属于荨麻目(Urticales)、桑科(Moraceae),主要分布于热带,部分种类延至亚热带和温带。全世界榕树已知1000多种及变种。中国有97种及50多个变种,占世界榕树总数的10%左右。全国榕树最多的地区是云南省,目前已记载有67种及31个变种,占全国已知榕树总数的67%。云南的榕树又有49种及23个变种分布在西双版纳热带地区,占全省榕树总数的

74%^[11,13,19,20]。在全球热带雨林中,榕树物种的增加和减少直接影响着热带雨林生态系统结构,没有榕树就形成不了热带雨林生态系统^[3~4,6~7,10]。

聚果榕(*Ficus racemosa*)主要分布于中国云南省热带雨林地区及部分南亚热带地区,此外,越南、老挝、马来西亚、缅甸和印度东北部也有分布^[13,20]。它是西双版纳热带雨林中的一个优势种,主要生长在原始雨林内部和低洼处及沟河江边,常5~10株

^{*} 中国科学院知识创新工程重要方向基金(KSCX2-SW-105)、国家自然科学基金(30170171、30200200)和云南省应用基础基金资助项目(2000C0083M、2001C0065M)。

^{**} 通讯联系人。

聚群,株间距离 50~120 m,每年结实 5~7 次。当其它植物无果实时(特别是冬季),聚果榕仍为多种食果类动物提供丰富的食物来源及活动场所,还为多种土壤动物、微生物,及附生、腐生、寄生和荫生的植物提供良好的栖息和生存场所,因而被公认为热带雨林中的关键种^[1,2,5,8,12,14~19,21]。由于聚果榕在热带雨林具有常年挂果的特殊习性,其不同发育期的果实内外形成了一个以昆虫为主的动物群落,直接影响聚果榕的生长发育及繁衍。聚果榕上昆虫群落的结构和多样性,在国内外鲜见报道。作为热带雨林中一年四季均结实的树种,掌握聚果榕隐头果上的昆虫种群组成,可为热带森林生物多样性保护提供

参考依据,特别是对聚果榕的传粉昆虫榕小蜂和天敌昆虫的深入研究,可为热带雨林的保护、管理、利用及退化热带雨林生态系统的恢复起积极作用。

2 研究地区与研究方法

2.1 研究地区自然概况

样地设在西双版纳傣族自治州勐腊县勐仑镇境内,海拔 560~600 m,为低山、宽谷型地貌,属于季风热带气候,年平均温度 21.4~22.6℃,年降雨量 1 556.8 mm,且多集中在雨季,形成明显的干湿季之分,全年由于干热季、雨季和雾凉季组成,雨季约占年降雨量的 83%,干季仅占 17%,但干季多大雾、重露,可部分弥补降雨的不足。全年不同季节降水量的明显差异,形成了特有的物候和生态节律(表 1)。根据榕树

表 1 云南西双版纳季节划分及物候特点

Table 1 Seasonal patterns and phenological characteristics in Xishuangbanna, Yunnan

季节 Season	月份 Month	平均温度 Temperature(℃)	降雨量 Rainfall (mm)	干燥度 Arid degree	相对湿度 Relative humidity(%)	聚果榕物候现象 F. racemosa phenology
干热季 Dry hot season	3~4	21.3~23.5	450.55	1.78	40~50	聚果榕结实 1 次,果整齐,昆虫逐渐增多,以膜翅目为主
雨季 Rainy season	5~10	>24	1106.32	0.81	70~85	聚果榕结实 4~5 次,果整齐,昆虫种类多,结构复杂
雾凉季 Fog cool season	11~2	15.1~18.2	817.5	4.31~5.67	45~60	聚果榕结实 1~2 次,果实不同枝中大小不整齐,昆虫较单纯,以膜翅目为主

种群的丰富度、地理位置、面积、人为干扰程度、代表性、观察的难易等方面因素选择样地,共设 3 块研究样地。1 号样地位于勐仑国家自然保护区,于景洪县小勐养至勐腊县公路 54~55 km 处,与其它 2 个样地距离为 10~12 km,海拔 570~580 m,面积 86 000 hm²,系 1958 年建立的勐仑自然保护区主体。该区多年来已形成了一个较大面积的热带片断雨林,样地内热带雨林林相保护完整,覆盖度为 90%~95%,人为干扰少,聚果榕主要生长在小溪和两旁,样地内共 6 株,株距约 100~180 m。2 号样地位于植物园罗梭江边次生林,西双版纳植物园西面,与其它 2 个样地距离为 5~10 km,海拔 560 m,面积 3.5 hm²,一面为罗梭江,另三面与植物园中的柚子园、竹林和次生林相连,为砍伐残存的热带原始林和次生林地,植被覆盖度为 75%,人为干扰逐年严重。聚果榕主要分布在次生林内,样地内共有 11 株,株距 40~120 m。3 号样地位于植物园沟谷雨林保护区,与另 2 个样地距离为 4~15 km,海拔 570 m,面积 90 hm²,片断雨林一面靠罗梭江,一面与植物园橡胶和果园相连,另一面与勐仑石灰山自然保护区靠近。20 世纪 60 年代前是连片的热带原始雨林,后被砍伐为片断状,20 世纪 80 年代后成为濒危植物迁地保护区。样地内有栽培的珍稀树种及部分原始残林和生长好的次生林,覆盖度为 90%,人畜干扰较少,聚果榕生长在沟谷至罗梭江边,样地内共 5 株,株距 80~150 m。

2.2 研究方法

2.2.1 取样时间 每月取样 3 次,每月 5~7 日、15~17 日、25~27 日各取 1 次。每天分早(6:00~9:00 时)、中(12:00~14:00 时)、晚(18:00~20:00 时)3 次在不同果态(嫩果、生果、熟果、腐烂果、种子)的果实周围静观访问不同发育期榕果的昆虫种类,并采集标本投入 75% 乙醇中保存。记录每天各个时段访问榕果的昆虫数量,将资料进行统计、整理,分

析各类昆虫在榕果上活动的高峰。

2.2.2 套袋取虫 当榕果接近成熟期时,用 100~120 目的绢纱网缝制 10 cm×15 cm 口袋,每个样地套袋 50 个熟果,封袋口,每天早、中、晚 3 次收集榕果内寄生的各类昆虫,直至出完虫,解剖检查果内死虫,用 75% 乙醇浸泡,带回实验室分类和统计各类数目。

2.2.3 取虫方法 每个样地,摘取未出虫的熟果 50 个,把榕果带回室内,在烤箱中用手把榕果瓣成两半,口向下,置于铁网漏斗中,上面用绢纱覆盖,用 Tullgren 装置烘烤 48 h,分离出果内榕小蜂,用 75% 乙醇接虫,然后进行分检、记数和鉴定。

2.3 数据分析方法

采用 Shannon-Wiener 多样性指数公式:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (1)$$

式中, H' 为多样性指数, P_i 为第 i 种的个体比例。采用 Pielou 均匀性公式:

$$e = H' / \ln S \quad (2)$$

式中, e 为均匀度, S 为种类数。采用 Berger-Parker 优势度指数公式:

$$d = N_{\max} / N_i \quad (3)$$

式中, $N_{\max}$ 为优势种的种群数, N_i 为全部物种的种群数量。用公式(1)~(3)计算和分析聚果榕隐头果(序)果的昆虫群落结构水平指标。

3 结果与分析

3.1 聚果榕隐果上昆虫群落的组成及变化

榕树的果实与其它植物不同,从幼花期就状如果实,花序均为隐头花序(俗称隐头果或无花果)。果

表 2 聚果榕隐头果昆虫群落种类结构与生态特征

Table 2 Community structure and ecological aspects of insects community on or in the fruits of *Ficus racemosa* in Xishuangbanna, Yunnan

类群与种类 Insects groups and species	访问隐头果时期 Period of visitings yconium					访问行为 Visiting behavior
	A*	B*	C*	D*	E*	
膜翅目 Hymenoptera						
聚果榕小蜂 <i>Ceratosolen fusciceps</i>	+	+	+	+	+	传粉者, 寄生于短柱花子房内, 与榕树为互惠共生伙伴。 Pollinator, which parasitizes the ovaries of short-style flowers, in mutualism with host fig tree.
<i>Apocrypta westwoodi</i>			+	+	+	寄生于传粉小蜂 Parasite of pollinator.
<i>Apocrypta</i> sp.			+	+	+	
亚格拉小蜂 <i>Platyneura agraeensis</i>			+	+	+	取食和寄生果内瘿花, 与榕小蜂争夺资源
<i>Platyneura Mayri</i>			+	+	+	Inquiline in gall of pollinator,
<i>Platyneura testacea</i>			+	+	+	they compete foods with pollinator
凹纹胡蜂 <i>Vespa auraria</i>					+	取食熟榕果肉和捕食小蜂
果马蜂 <i>Polistes olivaceus</i>					+	Eating pulp of mature fig and preying on fig wasps
焰马蜂 <i>P. adustus</i>					+	
丽阿格姬蜂 <i>Agrypon facetum</i>					+	寄生于幼虫 Parasite of larva.
红树蚁 <i>Oecophylla smaragdina</i>					+	取食熟榕果肉和捕食小蜂 Eating pulp of
红黑细长蚁 <i>Tetraponera rufonigra</i>					+	mature fig and spreading seeds and preying on fig washps.
榕细长蚁 <i>Tetraponera microcarpa</i>					+	
鼎突多刺蚁 <i>Polyrhachis vicina</i>					+	
举腹蚁 <i>Crematogaster rogenhoferi</i>					+	
罗夫顿举腹蚁 <i>C. wroughtoni</i>					+	
小家蚁 <i>Monomorium pharaonis</i>					+	取食熟榕果肉 Eating pulp of mature fig
鳞翅目 Lepidoptera						
嘴壶夜蛾 <i>Oraesia emarginata</i>				+	+	成虫取食成熟榕果 Imago eats mature fig
乌嘴壶夜蛾 <i>O. excavata</i>				+	+	
蛀果蛾 <i>Heterogymna</i> sp.	+	+	+	+	+	幼虫蛀食榕果 Larva eats fig
枯夜蛾 <i>Adris tyrannus</i>					+	成虫吸食熟果汁 Imago sucks juice of mature fig
艳叶夜蛾 <i>Eudocima salaminia</i>					+	
仪长须夜蛾 <i>Hypena abyssinalis</i>					+	
造桥夜蛾 <i>Anomis fulvida</i>				+	+	
胡夜蛾 <i>Calesia dasyptera</i>					+	
蠹夜蛾 <i>Pandesma quenavadi</i>					+	成虫取食落地腐烂果 Imago eats rotten fig
波纹蛱蝶 <i>Ariadne ariadne</i>					+	
赤蛱蝶 <i>Cynthia cardui</i>					+	
枯叶蛱蝶 <i>Kallima inachus</i>					+	
云南垂耳尺蛾 <i>Terpna apicalis</i>			+	+		取食果实, 形成黑斑 Eating fig and leading to black spot
一点拟灯蛾 <i>Asota caricae</i>	+	+	+			幼虫取食嫩叶和嫩果 Larva eats tender leaf and fig
条斑蠹蛾 <i>Xyleutes ceramicus</i>	+	+	+	+	+	幼虫取食果实, 形成孔洞 Larva eats fig and produces hole on the fig wall
闪蓝亮蠹蛾 <i>Xyleutes mineus</i>	+	+	+	+	+	
鞘翅目 Coleoptera						
果实象虫 <i>Curculio chenensis</i>			+	+	+	蛀食绿果和成熟果, 形成碎屑, 加速果腐烂 Eating tender and mature fig
长管小瓢虫 <i>Scymnus longisiphonulus</i>	+	+		+	+	
毒隐翅虫 <i>Paederus fuscipes</i>				+	+	在熟果内捕食小蜂等昆虫 Preying on fig wasps within mature fig
小红隐翅虫 <i>Paederus idae</i>				+	+	
同翅目 Homoptera						
碧蛾蜡蝉 <i>Geisha distinctissima</i>	+	+	+			刺吸嫩果汁液, 刺吸处凹陷, 形成褐色硬斑
眼臀网盾蚧 <i>Pseudomida duplex</i>	+	+				Sucking juice of tender fig, sucking site
黄炎盾蚧 <i>Hemiberlesia cyanophylli</i>	+	+				becomes sunken and forms a brown hard spot
椭圆盾蚧 <i>Aspidiotus destructor</i>	+	+				
榕长足蚜 <i>Cinara grossa</i>	+	+				刺吸嫩果汁液, 排蜜露引蚂蚁 Sucking juice of tender fig, inducing ants by secreting honeydew
双翅目 Diptera						
芒果实蝇 <i>Bactrocea occipitalis</i>	+	+	+	+		寄生嫩榕果 Parasitizing tender fig
榕果寡鬃实蝇 <i>Dacus</i> sp.	+	+	+	+	+	
元斑果蝇 <i>Drosophila immacularis</i>					+	寄生、取食熟果和烂果 Parasitizing and eating mature and rotten fig
突角银额果蝇 <i>Drosophila nasuta</i>				+	+	
银额果蝇 <i>Drosophila albomicans</i>					+	
秀仑银额果蝇 <i>Drosophila hurmae</i>				+	+	
榕果银额果蝇 <i>Drosophila</i> sp.				+	+	

+ : 指访问榕果时期 Period of visiting syconia; A: 雌花前期 Pre-female floral; B: 雌花期 Female floral; C: 间花期 Inter floral; 雄花期 Male floral; E 花后期 Post floral.

实由花序托发育而成, 花蕊着生于肉质球形或梨形的果实内壁, 是产生种子和传粉昆虫活动和繁殖的场所, 也是许多从花期到果实期危害榕树和与传粉昆虫争夺资源的害虫生活场所. 聚果榕是雌雄同株

榕树, 每个隐头果内壁着生着生长柱雌花(受精后发育成种子)、短柱雌花(中性花, 由昆虫寄生后形成瘿花, 不寄生则成败育花)和雄花. 所以, 从聚果榕隐头果的形成初期一直到果实成熟期, 会出现与小花、果

皮、种子、果肉生活的昆虫类群。1999~2001年,在3块样地的聚果榕隐头果内外取样,共获得各类昆虫184 264头,分属5目19科36属51种(表2)。从表2看出,聚果榕隐头果内外昆虫类群是相当丰富和多样的,其中膜翅目昆虫最为丰富,共19种,占总数的37.3%,它们是聚果榕的传粉者、寄生者或传播种子者,是与聚果榕繁衍最密切的类群。其次是鳞翅目的种类,有16种,占总数31.4%,均为危害不同发育期隐头果的害虫。再其次是双翅目昆虫,有7种,占总数的13.7%,它们是危害嫩隐头果内小花和腐生的类群。在隐头果内外活动的同翅目和鞘翅目分别有5种和4种,分别占总数的9.8%和7.8%。同翅目昆虫是嫩果期害虫;而鞘翅目中除一种是果实害虫外,其它3种均为肉食性的捕食性昆虫。

3.2 各样地聚果榕隐头果上的昆虫类群的比较

在西双版纳热带雨林地区,由于聚果榕分布样地人为活动程度和雨林片断化程度等生态环境的差异,隐头果上分布的昆虫群落也出现一定的差异(表3)。从3个不同环境样地的聚果榕隐头果上的昆虫各阶段的数量来看,3个样地的聚果榕隐头果上均出现5个目的昆虫,但从科属种的数量来看则出现了很大的差异,以勐仑自然保护区为最丰富,其次是植物园迁地保护区,再其次是植物园江边次生林;而个体数量上则又相反,即植物园江边次生林中最多,其次是植物园迁地保护区,再次是勐仑自然保护区。各样地聚果榕隐头果上昆虫结构的变化说明,森林保护对昆虫群落中的种类丰富度非常重要。随着森林的破坏及环境变化,昆虫群落的种丰富度不断下降。但从昆虫个体数量看,保护好的林地内由于生存环境稳定,昆虫种群也相对稳定,无特别明显的优势种群出现,每种昆虫的种群相对较小。随着热带雨林的破坏程度加剧,有些昆虫种类由于不适应破坏的环境,被迫迁移或灭绝,另一些种类能较快适应新环境而成为优势种,种群数量大大增加。

3.3 聚果榕隐头果上昆虫群落的时空动态

位于热带北缘的西双版纳热带雨林地区受南亚热带季风气候影响,自然生态复杂多样,气候呈水平和立体梯度变化,因而在不同季节昆虫群落差异很大。聚果榕一年中结实4~5次,一年中任何时期和季节均可见到聚果榕不同植株挂果,但由于受环境中温湿度的影响,不同时期的挂果数量和果径大小是有区别的,其隐头果内外的昆虫群落不同季节中也出现不同的空间动态(图1)。虽然西双版纳无

表3 不同样地内聚果榕隐头果上昆虫类群的比较(1999~2001年平均值)

Table 3 Statistics of taxa of insects collected from the syconia fruits of *F. racemosa* in different locations during 1999~2001

类群 Groups	勐仑自然保护区 Menglun Nature Reserve	次生林地 Secondary forest	沟谷雨林保护区 Ravine Rainforest Reserve
目 Orders	5	5	5
科 Families	18	13	16
属 Genera	35	29	33
种 Species	49	41	44
个体数 Number	54 521	69 210	60 533

明显四季之分,但是不同样地内在雨季、雾凉季、干热季中聚果榕隐头果上的昆虫群落有着明显的差异。雨季的昆虫群落最丰富多样,其次是干热季,再次是雾凉季,说明后者不适应大部分昆虫的繁殖与生活。

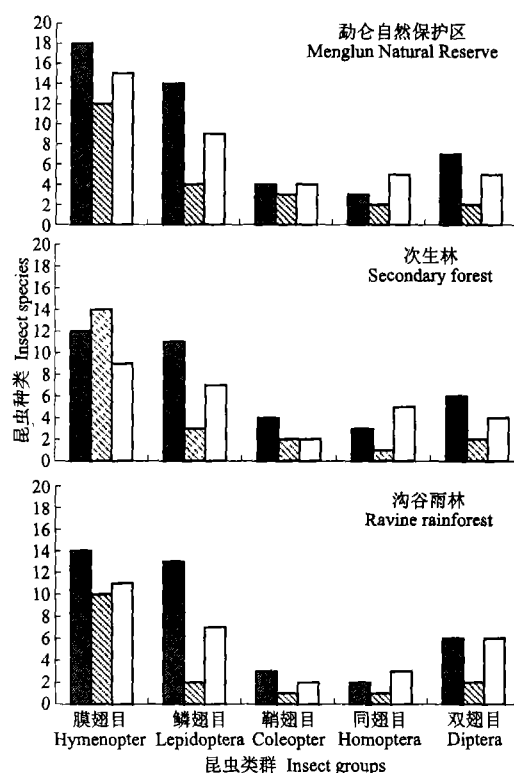


图1 不同样地不同季节聚果榕隐头果上昆虫群落变化

Fig.1 Variation of insect communities on the syconia fruits of *F. racemosa* in the different seasons.

3.4 昆虫群落多样性指数的季节性变化

多样性是研究生物群落结构水平的可测定指标之一。西双版纳热带雨林内聚果榕隐头果上的昆虫群落由于生境不同,特别是林地覆盖度不同、片断化程度不同、生长地点不同等,使隐头果上的昆虫群落在不同样地上的多样性指数存在明显差异(表4)。

从3个样地聚果榕隐头果上昆虫的种类、群落多样性指数、均匀度等指标看,勐仑国家自然保护区的种类、群落多样性指数、均匀度等指标明显高于其它两个样地,表明国家自然保护区内的植物群落与

空间结构复杂多样,人为活动和破坏最少,整个生态环境相对稳定,聚果榕隐头果上的昆虫群落也相对稳定,所以昆虫种类多,但优势种群少,优势度指数

表 4 不同样地聚果榕隐头果昆虫群落主要多样性指标比较
Table 4 Comparison of diversity indices for the insect community on the syconia fruits of *F. racemosa*

样地 Sampling location	种类 Species	个体数 Number	多样性 Diversity	均匀性 J	优势度 D
勐仑自然保护区 Menglun Nature Reserve	49	54521	2.4605	0.6322	0.2450
次生林地 Secondary forest	41	69210	1.4907	0.4142	0.5122
沟谷雨林保护区 Rainforest Nature Reserve	44	60533	2.0264	0.5355	0.2727

低。植物园沟谷雨林保护区虽然近年来保护较好,森林覆盖度也较高,但整个生态环境正处于恢复之中,不如勐仑国家自然保护区好,所以前几项指标比后者低,但优势度又比后者高。植物园次生林地,一面靠江,三面与人工种植的水果和竹林相依,林内均为次生林,而且人为干扰严重,不适宜多种昆虫生存,导致昆虫的种类、多样性指数和均匀性指数最低。由于长期人为干扰,部分昆虫适应了这样的生态环境,从而形成了优势种群,所以优势度最高。这也说明,该样地聚果榕隐头果上的整个昆虫群落结构正在重建之中,群落还相当不稳定。

4 结 语

热带雨林作为陆地森林生态系统中最主要的生命功能体,不仅具有地球上最丰富的物种量和生物生产力,而且以其强大的环境影响及改造能力维系和支撑地球上大部分生态的平衡。西双版纳是我国最大面积的热带雨林地区。榕树在西双版纳热带地区除了种类丰富多样、群体大、分布广等特点外,还具有以下特点:1)生长快,3~5年就可达直径20 cm左右,高2~15 m的乔木;2)遮蔽面积广,具有独树成林和独树绿化面积大的特点;3)大部分榕树终年均结有果实,取食、寄生、栖息、腐生、附生等动植物能很快形成小群落,并不断扩大;4)生长环境广阔,在原始森林、次生林、疏林地、荒地、城镇、乡村、公园、路边、江河溪边、房前屋后都能良好生长,对恢复以热带森林为主的热带雨林生态系统起重要作用。研究表明,热带雨林中榕树隐头果上昆虫群落丰富的多样性与榕树种群和周围林相等生态环境的丰富度有着十分密切的关系,它们之间的互惠共生关系(榕树与榕小蜂)和食物链(其他昆虫)关系,既包含着协同进化者(榕树与榕小蜂)和生产者、消费者的营养结构关系,又包含着生态系统的能流循环及动

态关系。因此,加强热带雨林的保护,既直接保护了榕树类群的多样性,又保护了榕树上昆虫群落的多样性,使热带雨林生态环境得以良性循环。

参考文献

- Anstett MC, Bronstein JL, Hossaert-McKey M. 1996. Resource allocation: A conflict in the fig/fig wasp mutualism? *J Ecol Biol*, 9: 417~428
- Beardsley JW. 1998. Chalcid wasps (Hymenoptera: Chalcidoidea) associated with fruit of *Ficus microcarpa* in Hawaii's. *Proc Hawaii Entl Soc*, 33: 19~34
- Herre EA. 1989. Convolution of reproductive characteristics in 12 species of new world figs and their pollinator wasps. *Experientia*, 45: 637~647
- Janzen DH. 1979. How to be a fig. *Ann Rev Ecol Syst*, 10: 13~51
- Kjellberg F, Jouselin E, et al. 2001. Pollination mode in fig wasps: The predictive power of correlated traits. *Proc R Soc Lond*, 268: 1113~1121
- Krebs CJ. 1978. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. New York: Harper & Row Press.
- McKey D. 1989. Population biology of figs: Application for conservation. *Experientia*, 45: 661~673
- Peng Y-Q (彭艳琼), Yang D-R (杨大荣), Su S-J (苏绍菊). 2002. Insect communities of *Ficus auriculata* and *Ficus hispida*. *For Res* (林业科学研究), 15(2): 136~142 (in Chinese)
- Ramirez WB. 1991. Evolution of the mandibular appendage in fig wasp (Hymenoptera: Agaonidae). *Rev Biol Trop*, 39(1): 87~95
- Ware AB, Stephen GC. 1994. Responses of fig wasps to host plant volatile cues. *J Chem Ecol*, 20(3): 785~802
- Weiblen GD. 2002. How to be fig wasp. *Ann Rev Ent*, 47: 299~330
- Wiebes JT. 1979. Co-evolution of fig and their insect pollinators. *Ann Rev Ecol Syst*, 10: 1~12
- Wu Z-Y (吴征镒). 1995. Flora Yunnanica. Tomus 6. Beijing: Science Press. 595~671 (in Chinese)
- Xu Z-F (许再富). 1994. *Ficus*—A keystone plant species in the tropical rainforest ecosystem of south Yunnan. *Chin Biodiver* (生物多样性), 2(1): 21~23 (in Chinese)
- Yang D-R (杨大荣), Li C-D (李朝达), Yang B (杨兵). 1997. Studies on animal structure and biodiversity on *Ficus* in the tropical rain of Xishuangbanna, China. *Zool Res* (动物学研究), 18(2): 189~190 (in Chinese)
- Yang D-R (杨大荣), Li C-D (李朝达), Han D-B (韩灯保), et al. 1999. The effects of fragmenting of tropical rainforest on the species structure of fig wasps and fig trees, China. *Zool Res* (动物学研究), 20(2): 126~130 (in Chinese)
- Yang D-R (杨大荣), Zhao T-Z (赵庭周), Wang R-W (王瑞武), et al. 2001. Study on pollination ecology of fig wasp (*Ceratosolen* sp.) in the Tropical Rainforest of Xishuangbanna, China. *Zool Res* (动物学研究), 20(2): 126~130 (in Chinese)
- Yang D-R (杨大荣), Peng Y-Q (彭艳琼), Song Q-S (宋启示), et al. 2002. Pollination biology of *Ficus hispida* in the tropical rainforest of Xishuangbanna, China. *Acta Bot Sin* (植物学报), 44(5): 519~526 (in Chinese)
- Yang D-R (杨大荣), Peng Y-Q (彭艳琼), Zhang G-M (张光明), et al. 2002. Relationship between population variation of fig trees and environment in the tropical rainforests of Xishuangbanna. *Environ Sci* (环境科学), 23(4): 106~113 (in Chinese)
- Zhang X-S (张秀实), Wu Z-Y (吴征镒). 1998. Flora Republicana Popularize Sinica. Tomus 23(1). Beijing: Science Press. 91~219 (in Chinese)
- Zhao T-Z (赵庭周), Yang D-R (杨大荣), Xu J-H (许继宏). 2001. The role and comprehensive value of fig trees in tropical rainforests of Xishuangbanna. *For Res* (林业科学研究), 14(4): 441~445 (in Chinese)

作者简介 杨大荣,男,1954年生,首席研究员,主要从事进化生态学和资源昆虫学研究,发表学术论文120多篇。E-mail: yangdr@xtbg.ac.cn, yangdr@xtbg.org.cn