环境昆虫学报 2020，42（5）：1044－1050
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2020. 05. 2

徐安乐，董冰雪，彭孝含，徐齐云，李志刚．珠三角重要生态区域蝶类群落携粉特征研究［J］．环境昆虫学报，2020，42（5）：1044－1050.

珠三角重要生态区域蝶类群落携粉特征研究

徐安乐[1]，董冰雪[1]，彭孝含[2]，徐齐云[2]，李志刚[2*]
（1. 南阳师范学院，河南南阳 473061；
2. 广东省科学院动物研究所，广东省动物保护与资源利用重点实验室，广东省野生动物保护与利用公共实验室，广东广州 510260）

摘要：蝶类是常见的访花昆虫，研究其携粉特征是揭示蝶类群落在生态系统中传粉服务功能的重要一环。2019 年 9 月，对珠三角 9 个重要生态区域开展蝶类群落调查并分析其携粉特征。结果表明，携粉蝶类物种占群落总物种数的 74. 19%，携粉的蝶类个体数量比例为 49. 63%，其中，凤蝶科 Papilionidae 与斑蝶科 Danaidae 的携粉物种比例及携粉个体数量比例均高于其他各科，弄蝶科 Hesperiinae 的携粉物种比例最低，眼蝶科 Satyridae 的携粉个体数量最低。从携粉部位来看，翅（腹面）携粉的物种比例及个体数量比例均高于其他部位，不同科的不同部位的携粉种类和个体数量比例均存在较大差异。

关键词：珠三角；传粉昆虫；蝶类群落；携粉特征
中图分类号：Q968. 1；S433　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674－0858（2020）05－1044－07

Study on the features of butterfly pollinator communities in crucial ecological regions of the Pearl River Delta

XU An-Le[1], DONG Bing-Xue[1], PENG Xiao-Han[2], XU Qi-Yun[2], LI Zhi-Gang[2*] (1. Nanyang Normal University, Nanyang 473061, Henan Province, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510260, China)

Abstract: Butterflies are common flower-visiting insects. Studying the pollination features of butterflies is significant for figuring out the function of butterfly pollinator communities in nature ecosystem. In September 2019, the butterfly communities in 9 crucial ecological regions of the Pearl River Delta were investigated, while the pollinator features were researched. The results showed that, 74. 19% species of butterflies could carry pollens, 49. 63% could carry pollens from select quantity. The percentages of pollinator species and individual numbers of Papilionidae and Danaidae are higher than those in other families; the minimal percentages of pollinator existed in Hesperiinae in species and Satyridae in individual numbers. Whether pollen-carrying species and individual numbers, the percentages of the ventral sides of wings carrying pollens were both higher than other parts of butterfly´s body. The percentages of species and individual numbers of pollinator butterflies were significant differences on different places of a butterfly´s body of different families.

Key words: Pearl River Delta; pollinating insects; butterflies; pollen-carrying characteristics

---

基金项目：科技基础资源调查专项（2018FY100406）；广东省科学院建设国内一流研究机构行动专项资金项目（2020GDASYL－20200301003）；广东省科学院科技发展专项（2018GDASCX－0107）
作者简介：徐安乐，女，硕士研究生，主要从事昆虫多样性的保护与利用研究，E－mail：ariel_ 1107@163. com
* 通讯作者 Author for correspondence：李志刚，男，博士，副研究员，主要从事昆虫多样性与区域环境可持续发展研究，E－mail：leegdei@163. com
收稿日期 Received：2020－08－24；接受日期 Accepted：2020－08－28

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

传粉昆虫作为生态系统的重要组成部分，为野生植物和农作物提供传粉服务，在维持稳定的生态系统和高效的农业生产力方面均具有重要作用。已报道的传粉昆虫约 35 万种，其中鳞翅目约 14 万种（Wardhaugh，2015；Ollerton，2017）。蝶类隶属于昆虫纲 Insecta 鳞翅目 Lepidoptera，是常见的访花昆虫。但与蜜蜂不同，蝶类成虫缺乏主动携带花粉的特定结构，而只对花蜜有需求，在吸食花蜜时身体与花药接触，花粉便附着在其身体的喙、头、胸和翅等部位。蝶类的传粉效率常常受到质疑，关于蝶类的传粉功能及其作为传粉者的价值的研究也相对较少。Martins（2014）报道了肯尼亚北部的旱地野花 *Gloriosa minor* 的以蝶类为唯一传粉者的专化传粉系统。邱建生（2015）开展中国西南山茶属植物传粉昆虫研究，发现鳞翅目昆虫参与了部分山茶属植物的传粉，凤蝶科 Papilionidae、蛱蝶科 Nymphalidae 和弄蝶科 Hesperiinae 的一些蝶类可为普通油茶 *Camellia oleifera* 传粉，琉璃蛱蝶 *Kaniska canace*、幻紫斑蛱蝶 *Hypolimnas bolina* 和青凤蝶 *Graphium sarpedon* 在山茶属植物上大多呈现间断型的访花节律。Balducci 等（2019）记录了兰科植物 *Bonatea cassidea* 的蝴蝶传粉系统，发现粉蝶科 Pieridae 和弄蝶科的某些种类访花，并可将花粉牢牢地附着在触须之间。

栖息地退化、气候变化、杀虫剂、转基因作物以及外来入侵种等因素均对传粉昆虫构成威胁（Potts *et al.*，2010，2016）。蝶类是环境变化对其他生物影响的敏感预测者，能指示栖息地的变化（房丽君和关建玲，2010；Merckx *et al.*，2013）。珠江三角洲地处沿海开放前沿，是我国开放程度最高、经济活力最强的区域之一。改革开放以来，该区域城市化进程加速推进，城市地域不断向外扩张，城乡绿色空间破碎化，区域生态安全体系亟待维护。但该区域地形地貌丰富，分布有众多生态绿地，不仅能改善城市生态环境，还能为生物提供避难所，对提高和稳定城市区域生物多样性具有重要作用（李志刚等，2015）。开展珠三角重要生态区域（自然保护区、郊野公园、城市绿地）蝶类群落调查并分析其携粉特征，可为蝶类传粉服务功能研究提供重要参考，并为该区域传粉昆虫资源保护与利用提供数据支撑。

1　研究区域与研究方法

1.1　研究区概况

珠江三角洲位于广东省中南部，属于南亚热带季风气候，气候冬暖夏热（年均温 21～23℃），降水量充沛（年降水量 1 800 mm），地带性土壤主要为赤红壤和红壤，地带性植被主要为季风常绿阔叶林（李楚均等，2019）。在该区域内，选择若干自然保护区（鼎湖山国家级自然保护区、象头山国家级自然保护区、惠东古田省级自然保护区）、郊野公园（塘朗山郊野公园、大鹏半岛国家地质公园、银瓶山森林公园）和城市绿地（东莞植物园、仙湖植物园、华侨城湿地公园）作为监测样地（表 1），开展蝶类群落调查。

1.2　研究方法

蝶类调查于 2019 年 9 月进行，采用样线法调查，根据上述 9 个监测样地的地形地貌、生境类型及植被的具体情况，每个监测样地设置 3 条监测样线，每条样线长 1 km。每条样线由 3 人采用网捕法采集，沿样线缓慢匀速前行，速度 1～1.5 km/h，采集样线左右 2.5 m、上方 5 m、前方 5 m 范围内的蝶类，采集的蝶类单只存放于三角纸袋内，注明采集的时间、地点及采集人。带回实验室制作蝶类标本，根据《中国蝶类分类与鉴定》（周尧，1998）、《中国蝶类志》（周尧，1994）和《中国蝴蝶图鉴》（武春生和徐堉峰，2017）进行种类鉴定。

统计蝶类群落的种类及个体数量；使用 Leica M205C 体式显微镜、Leica MC190 HD 摄像头和 Leica Application Suite V4.9 观察并拍照记录每个蝶类标本的喙、翅、足、头、胸、腹等身体部位携带花粉的情况（图 2）。

2　结果与分析

2.1　珠三角重要生态区域携粉蝶类的数量特征

调查共采集到 9 科 93 种 538 号蝶类标本，利用体式显微镜对调查采集到的所有蝶类标本的头、胸、腹、喙、翅和足等部位进行观察，确定是否携带花粉。结果表明，携粉的种类占蝶类群落的 74.19%，携粉的蝶类个体数量比例为 49.63%。不同科的蝶类携粉情况存在较大差异（表 2），从种类上来看，凤蝶科、斑蝶科 Danaidae

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 蝶类群落监测样地设置及生境概况

Table 1 Monitoring regions of butterfly communities and habitat conditions

	生境类型 Habitat type	人为干扰 Human disturbance	样线生境 Line transect habitat	地理分布 Geographical distribution
鼎湖山国家级自然保护区 Dinghushan National Nature Reserve	山地林区	弱	林内、林缘	肇庆市鼎湖区
象头山国家级自然保护区 Xiangtoushan National Nature Reserve	山地林区	弱	林内、林缘	惠州市博罗县
惠东古田省级自然保护区 Huidong Gutian Provincial Nature Reserve	山地林区	弱	林内、林缘	惠州市惠东县
塘朗山郊野公园 Tanglang Mountain Country Park	森林公园	较强	林内、游道	深圳市南山区
大鹏半岛国家地质公园 Dapeng Peninsula Geopark	森林公园、景区	较强	林缘、游道	深圳市大鹏新区
银瓶山森林公园 Yinpingshan Forest Park	森林公园、景区	较强	游道、溪流	东莞市谢岗镇
东莞植物园 Dongguan Botanical Garden	城市绿地	强	游道	东莞市南城区
仙湖植物园 Fairylake Botanical Garden	城市绿地	强	游道	深圳市罗湖区
华侨城湿地公园 Overseas Chinese Town Wetland Park	城市绿地	强	游道	深圳市南山区

和环蝶科 Amathusiidae 的所有蝶类种类均具有携粉现象；粉蝶科中携粉的蝶类种类占该科所有种类的 83.33%；蚬蝶科 Riodinidae、眼蝶科 Satyridae、蛱蝶科和灰蝶科 Lycaenidae 的携粉种类比例分别为 75.00%、70.00%、68.42% 和 68.00%；弄蝶科的携粉种类比例最低，为 61.54%。从个体数量上看，斑蝶科和凤蝶科中携粉的个体数量较大，占各自科内总个体数量的比例分别为 97.83% 和 80.85%；其次为蛱蝶科、灰蝶科、环蝶科和蚬蝶科，分别为 57.97%、50.00%、50.00% 和 47.37%；粉蝶科和弄蝶科中携粉的个体数量比例较低，分别为 40.68% 和 37.50%；眼蝶科携粉的个体数量比例最低，仅为 15.48%（图 1）。

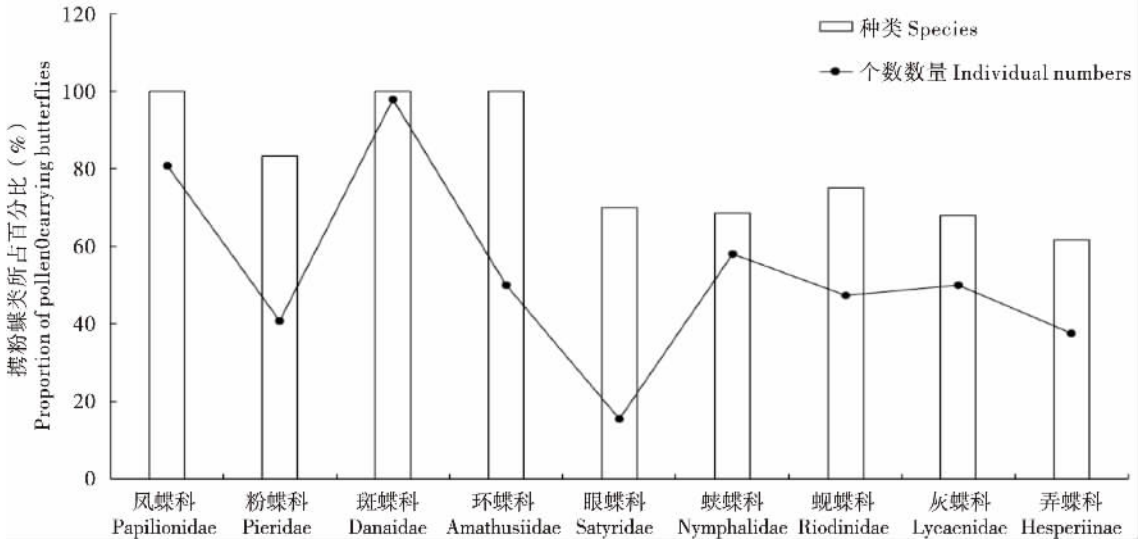

图 1 珠三角重要生态区域蝶类群落携粉种类及个体数量比例

Fig. 1 Pollen-carrying species and individual numbers proportion of butterfly communities in crucial ecological regions of the Pearl River Delta

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　珠三角重要生态区域携粉蝶类的数量特征

Table 2　Quantitative characteristics of pollen-carrying butterfly communities in crucial ecological regions of the Pearl River Delta

	蝶类群落 Butterfly community		携粉蝶类 Pollen-carrying butterfly	
	种类 Species	个体数量 Individual numbers	种类 Species	个体数量 Individual numbers
凤蝶科 Papilionidae	9	47	9	38
粉蝶科 Pieridae	6	118	5	48
斑蝶科 Danaidae	6	46	6	45
环蝶科 Amathusiidae	1	2	1	1
眼蝶科 Satyridae	10	84	7	13
蛱蝶科 Nymphalidae	19	69	13	40
蚬蝶科 Riodinidae	4	38	3	18
灰蝶科 Lycaenidae	25	110	17	55
弄蝶科 Hesperiinae	13	24	8	9
合计 Total	93	538	69	267

无论从种类还是个体数量分析，凤蝶科和斑蝶科的携粉比例均最高，野外调查时也观察到凤蝶科和斑蝶科的蝶类存在较多的访花现象。粉蝶科和眼蝶科虽然携粉种类比例较高，但携粉的个体数量比例较低，可能与某些不携粉的蝶类种群个体数量较大有关。

2.2　珠三角重要生态区域携粉蝶类不同部位的携粉特征

对携带花粉的蝶类按照携粉的不同部位进行分析，总的来看，翅（腹面）携粉的种类比例最高，为 87.88%，其次为胸和足，腹部携粉的种类比例最低，为 34.85%。不同科的携粉部位存在较大差异（表 3），喙部携粉的蝶类种类比例较高的科为斑蝶科、粉蝶科和凤蝶科，分别为 83.33%、80.00% 和 77.78%。翅（腹面）携粉的蝶类种类在较多的科中均表现出较高的比例，其中，凤蝶科、斑蝶科、环蝶科、眼蝶科和蚬蝶科所有的携粉种类均存在翅（腹面）携粉现象，其次为蛱蝶科，翅（腹面）携粉种类比例为 92.31%。足部携粉种类比例最高的科为斑蝶科，达到 100%，其次是凤蝶科，为 88.89%。头部（不含喙）携粉的蝶类种类比例较高的科是凤蝶科，为 77.78%。胸部携粉的蝶类种类比例较高的科为斑蝶科、粉蝶科和凤蝶科。腹部携粉的蝶类种类比例在所有科中均较低，最高的凤蝶科仅为 55.56%。

2.3　珠三角重要生态区域携粉蝶类不同部位携粉的个体数量

按照不同携粉部位统计蝶类的个体数量，翅（腹面）携粉的个体数量比例最高，为 76.03%，腹部携粉的个体数量比例最低，为 13.11%。不同科不同部位携粉的个体数量存在较大差异（表 3），凤蝶科、粉蝶科、斑蝶科、蛱蝶科、蚬蝶科、灰蝶科及弄蝶科均有喙部携粉的个体，但携粉个体数比例均在 50% 以下，环蝶科与眼蝶科没有喙部携粉的个体。本次采集到的 9 个科均有翅（腹面）携粉的个体，且携粉个体数量比例均超过 50%，其中，环蝶科和眼蝶科翅（腹面）携粉个体数量比例达到 100%。足部携粉蝶类个体数量比例最高的为斑蝶科，达到 82.22%，其次是凤蝶科，为 52.63%，环蝶科及弄蝶科没有发现足部携粉的个体。胸部携粉的蝶类个体数量比例最高的是斑蝶科，为 77.78%，其次是弄蝶科，为 44.44%。头部（不含喙）及腹部携粉的蝶类个体数量比例在各科中均较低。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3　珠三角重要生态区域携粉蝶类不同部位的携粉特征

Table 3　Pollen-carrying characteristics of different parts of butterflies in crucial ecological regions of the Pearl River Delta

	总数 Total	喙 Proboscis		翅(腹面) Wings (Ventral side)		足 Legs		头(不含喙) Head(without proboscis)		胸 Thorax		腹 Abdomen	
	种类 Species	种类 Species	比例(%) Proportion	种类 Species	比例(%) Proportion	种类 Species	比例(%) Proportion	种类 Species	比例(%) Proportion	种类 Species	比例(%) Proportion	种类 Species	比例(%) Proportion
凤蝶科 Papilionidae	9	7	77.78	9	100.00	8	88.89	7	77.78	7	77.78	5	55.56
粉蝶科 Pieridae	5	4	80.00	3	60.00	3	60.00	2	40.00	4	80.00	2	40.00
斑蝶科 Danaidae	6	5	83.33	6	100.00	6	100.00	4	66.67	5	83.33	3	50.00
环蝶科 Amathusiidae	1	0	0.00	1	100.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
眼蝶科 Satyridae	7	0	0.00	7	100.00	1	14.29	2	28.57	3	42.86	1	14.29
蛱蝶科 Nymphalidae	13	5	38.46	12	92.31	6	46.15	2	15.38	6	46.15	5	38.46
蚬蝶科 Riodinidae	3	2	66.67	3	100.00	2	66.67	2	66.67	1	33.33	0	0.00
灰蝶科 Lycaenidae	17	7	41.18	13	76.47	7	41.18	8	47.06	8	47.06	5	29.41
弄蝶科 Hesperiinae	5	2	40.00	4	80.00	0	0.00	3	60.00	4	80.00	2	40.00
合计 Total	66	32	48.48	58	87.88	33	50.00	30	45.45	38	57.58	23	34.85

表 4　珠三角重要生态区域携粉蝶类不同部位携粉的个体数量

Table 4　Individual numbers of different parts of pollen-carrying butterflies in crucial ecological regions of the Pearl River Delta

	总数 Total	喙 Proboscis		翅(腹面) Wings (Ventral side)		足 Legs		头(不含喙) Head(without proboscis)		胸 Thorax		腹 Abdomen	
	个体数量 Individual numbers	个体数量 Individual numbers	比例(%) Proportion	个体数量 Individual numbers	比例(%) Proportion	个体数量 Individual numbers	比例(%) Proportion	个体数量 Individual numbers	比例(%) Proportion	个体数量 Individual numbers	比例(%) Proportion	个体数量 Individual numbers	比例(%) Proportion
凤蝶科 Papilionidae	38	14	36.84	35	92.11	20	52.63	9	23.68	12	31.58	10	26.32
粉蝶科 Pieridae	48	22	45.83	30	62.50	16	33.33	8	16.67	17	35.42	2	4.17
斑蝶科 Danaidae	45	20	44.44	44	97.78	37	82.22	14	31.11	35	77.78	4	8.89
环蝶科 Amathusiidae	1	0	0.00	1	100.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
眼蝶科 Satyridae	13	0	0.00	13	100.00	1	7.69	2	15.38	3	23.08	1	7.69
蛱蝶科 Nymphalidae	40	8	20.00	33	82.50	14	35.00	7	17.50	14	35.00	8	20.00
蚬蝶科 Riodinidae	18	4	22.22	13	72.22	2	11.11	3	16.67	2	11.11	0	0.00
灰蝶科 Lycaenidae	55	11	20.00	29	52.73	12	21.82	17	30.91	20	36.36	8	14.55
弄蝶科 Hesperiinae	9	2	22.22	5	55.56	0	0.00	3	33.33	4	44.44	2	22.22
合计 Total	267	81	30.34	203	76.03	102	38.20	63	23.60	107	40.07	35	13.11

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

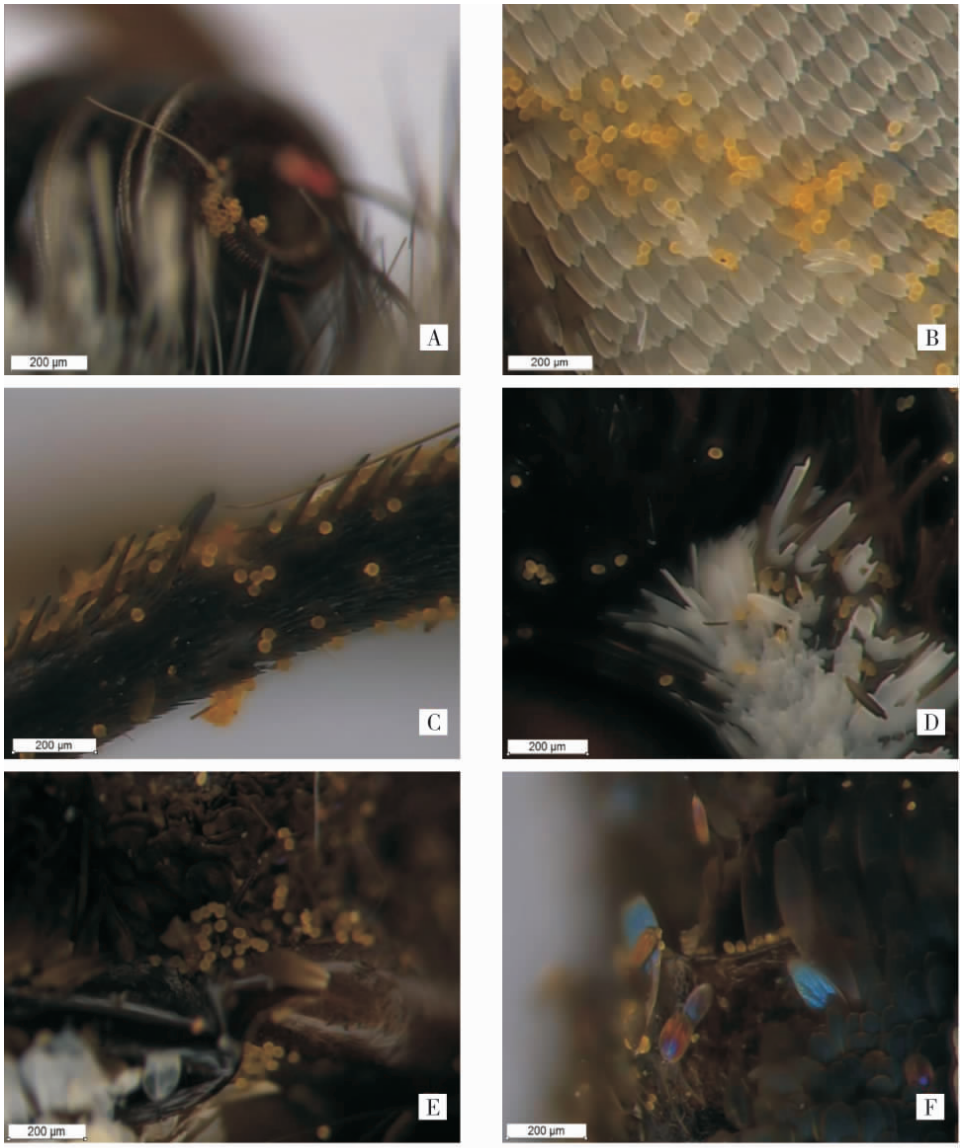

图 2　珠三角重要生态区域蝶类不同部位携粉情况

Fig. 2　Pollen-carrying situation of different parts of butterflies in crucial ecological regions of the Pearl River Delta

注：A，喙；B，翅（腹面）；C，足；D，头（不含喙）；E，胸；F，腹。Note: A, proboscis; B, wings (ventral side); C, legs; D, head (without proboscis); E, thorax; F, abdomen.

3　结论与讨论

本次调查采集到的携粉蝶类物种占群落总物种数的 74.19%，携粉的蝶类个体数量比例为 49.63%，其中，凤蝶科与斑蝶科的携粉物种比例及携粉个体数量比例均高于其他各科，弄蝶科的携粉物种比例最低，眼蝶科的携粉个体数量最低。从携粉部位来看，翅（腹面）携粉的物种比例及个体数量比例均高于其他部位，不同科的不同部位的携粉种类和个体数量比例均存在较大差异。

研究结果与野外调查时观察到的蝶类访花情况基本一致，凤蝶科与斑蝶科偏爱访色泽鲜艳的花朵，且停靠时间较长，粉蝶科的一些种类也有访花现象，但在花上停留时间较短，而弄蝶科和眼蝶科的种类访花次数相对较少。蝶类的翅（腹面）比头、胸、腹等其他部位更容易携带花粉，Butler & Johnson（2020）证实了网球花属植物 *Scadoxus multiflorus* 主要依赖大型蝶类的翅进行传粉，并推断至少 9 种南非石蒜科植物存在蝶类翅传粉现象，蝶类翅基部至外缘的距离与花的雄蕊和柱头的长度匹配，蝶类访花时与外露的雄蕊接触，花粉就附着在翅的腹侧表面。花被减少、花丝伸长、球形刷子状的花朵组成紧凑的伞形花序

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

均为蝶类翅传粉的适应性特征，另外，相对扁平的花粉形状可能增加其对蝴蝶翅表面的附着力。

传粉是一项极其重要的生态系统服务，昆虫传粉是作物产量最重要的驱动因素（Motzke *et al.*，2015）。据统计，2005 年世界粮食总产值 161.8 万亿欧元，其中 62.5 万亿欧元来自于 46 种昆虫传粉的农作物，占世界粮食总产值的 39%（Gallai *et al.*，2009）。da Silva Santos 等（2002）对巴西东北部蝶类对澳洲坚果 *Macadamia integrifolia* 的传粉服务功能进行研究，通过观察记录 22 种昆虫的访花次数，发现蝶类的访花次数超过蜜蜂，达到了 50% 以上，证实了澳洲坚果的产量主要得益于蝶类的传粉服务。蝶类作为传粉昆虫中的重要类群，其传粉价值不容忽略。

一种昆虫的传粉效率与其相对多度、访花率以及携带和转移花粉的数量密切相关（Young，2002；Liu *et al.*，2020）。分析不同蝶类物种及其不同部位的携粉情况，可以为评价蝶类的传粉效率提供参考依据。另外，不同蝶类物种携带花粉的种类和数量也与其传粉服务功能密切相关，传粉蝶类与开花植物的相互作用尚需进一步深入研究。

致谢：感谢中国科学院华南植物园罗世孝研究员在实验设计中给予的指导与帮助。

参考文献（References）

Balducci MG，Van der Niet T，Johnson SD，*et al.* Butterfly pollination of *Bonatea cassidea*（Orchidaceae）：Solving a puzzle from the Darwin era［J］. *South African Journal of Botany*，2019，123：308－316.

Butler HC，Johnson SD. Butterfly－wing pollination in *Scadoxus* and other South African Amaryllidaceae［J］. *Botanical Journal of the Linnean Society*，2020，193（3）：363－374.

Fang LJ，Guan JL. Progress in the studies of butterflies in responding to global climate change［J］. *Journal of Environmental Entomology*，2010，32（3）：399－406.［房丽君，关建玲．蝴蝶对全球气候变化的响应及其研究进展［J］．环境昆虫学报，2010，32（3）：399－406］

Gallai N，Salles JM，Settele J，*et al.* Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline［J］. *Ecological Economics*，2009，68（3）：810－821.

Li CJ，Chen XM，Wen XH，*et al.* Effects of urbanization on community structure and plant diversity in evergreen broadleaved forests of the Pearl River Delta［J］. *Chinese Journal of Ecology*，2019，38（11）：3298－3305.［李楚均，陈小梅，温小浩，等．城市化背景下珠江三角洲常绿阔叶林群落结构及植物多样性［J］．生态学杂志，2019，38（11）：3298－3305］

Li ZG，Zeng HC，Ye JW，*et al.* Butterfly diversity in major ecological regions in the Pearl River Delta and its indicative function to regional environment［J］. *Ecological Science*，2015，34（5）：167－171.［李志刚，曾焕忱，叶静文，等．珠三角重要生态区域蝶类多样性及其对区域环境的指示［J］．生态科学，2015，34（5）：167－171］

Liu RR，Chen DL，Luo SD，*et al.* Quantifying pollination efficiency of flower－visiting insects and its application in estimating pollination services for common buckwheat［J］. *Agriculture，Ecosystems and Environment*，2020，301，107011.

Martins DJ. Butterfly pollination of the dryland wildflower *Gloriosa minor*［J］. *Journal of East African Natural History*，2014，103（1）：25－30.

Merckx T，Huertas B，Basset Y，*et al.* A global perspective on conserving butterflies and moths and their habitats. In：Macdonald DW，Willis KJ，eds. Key Topics in Conservation Biology 2［M］. Oxford：John Wiley and Sons Ltd.，2013：237－257.

Motzke I，Tscharntke T，Wanger TC，*et al.* Pollination mitigates cucumber yield gaps more than pesticide and fertilizer use in tropical smallholder gardens［J］. *Journal of Applied Ecology*，2015，52（1）：261－269.

Ollerton J. Pollinator diversity：Distribution，ecological function，and conservation［J］. *Annual Review of Ecology，Evolution and Systematics*，2017，48（1）：353－376.

Potts SG，Biesmeijer JC，Kremen C，*et al.* Global pollinator declines：Trends，impacts and drivers［J］. *Trends in Ecology and Evolution*，2010，25（6）：345－353.

Potts SG，Imperatriz－Fonseca V，Ngo HT，*et al.* Safeguarding pollinators and their values to human well－being［J］. *Nature*，2016，540（7632）：220－229.

Qiu JS. Study on the Pollinators of Camellia Plants in Southwest China［D］. Beijing：Chinese Academy of Forestry，2015.［邱建生．中国西南山茶属植物传粉昆虫研究［D］．北京：中国林业科学研究院，2015］

Silva MM，da Silva Santos R，Oliveira Milfont M，*et al.* Butterflies provide pollination services to macadamia in northeastern Brazil［J］. *Scientia Horticulturae*，2020，259，108818.

Wardhaugh CW. How many species of arthropods visit flowers？［J］. *Arthropod－Plant Interactions*，2015，9（6）：547－565.

Wu CS，Xu YF. Butterflies of China［M］. Fuzhou：The Straits Publishing House，2017.［武春生，徐堉峰．中国蝴蝶图鉴［M］．福州：海峡出版发行集团，2017］

Young HJ. Diurnal and nocturnal pollination of *Silene alba*（*Caryophyllaceae*）［J］. *American Journal of Botany*，2002，89（3）：433－440.

Zhou Y. Classification and Identification of Chinese Butterflies［M］. Zhengzhou：Henan Science and Technology Press，1998.［周尧．中国蝶类分类与鉴定［M］．郑州：河南科学技术出版社，1998］

Zhou Y. Monographia Rhopalocerorum Sinensium［M］. Zhengzhou：Henan Science and Technology Press，1994.［周尧．中国蝶类志［M］．郑州：河南科学技术出版社，1994］

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net