

## 中国西南山茶科3种植物鸟类传粉研究初报

邱建生<sup>1,2</sup>, 杨再华<sup>1</sup>, 刘童童<sup>2</sup>, 许杰<sup>2</sup>, 谢正华<sup>1</sup>, 陈晓鸣<sup>1\*</sup>

(1. 中国林科院资源昆虫研究所, 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室 云南 昆明 650224;

2. 贵州省林业科学研究院, 贵州 贵阳 550011)

关键词: 中国西南; 山茶; 传粉; 鸟

中图分类号: S759.3

文献标识码: A

### Preliminary Study on the Birds Pollination of Three Theaceae Species in Southwest China

QIU Jian-sheng<sup>1,2</sup>, YANG Zai-hua<sup>1</sup>, LIU Tong-tong<sup>2</sup>, XU Jie<sup>2</sup>, XIE Zheng-hua<sup>1</sup>, CHEN Xiao-ming<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Resources Insects, Chinese Academy of Forestry; Insect Breeding and Utilization of Resources of

Key Laboratory of State Forestry Administration, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550011, Guizhou, China)

**Abstract:** From 2012 to 2015, 9 species of pollination birds belonging to 7 genera of 7 families were found on three Theaceae species, i. e., *Camellia oleifera* Abel., *Camellia riticulata* Lindl. and *Polyspora longicarpa* (H. T. Chang) C. X. Ye, in Guiyang, Ceheng, Wangmo of Guizhou Province and in Tengchong of Yunnan Province. Southwest China has long been considered as the differentiation center and biodiversity center of birds and Theaceae in Oriental, but so many pollinating birds concentrated on plant of Theaceae visiting flowers, especially some medium-sized birds, such as Pycnotidae, Chloropseidae, Dicruridae, and Corvidae, were very rare. Further studies showed that most pollinated birds of the three plants species are short-billed birds that are occasional nectarivores and pollination syndrome exhibits on the generalized bird pollinator adaptation. Theaceae pollination system consists of insect pollination and bird pollination, the two subsystems constitute the mosaic.

**Key words:** Southwest China; Theaceae; pollination; bird

鸟类是植物传粉的一个重要补充部分, 有关鸟类传粉的研究主要集中在3个特别重要的传粉鸟类群[蜂鸟科(Trochilidae)、太阳鸟科(Nectariniidae)和吸蜜鸟科(Meliphagidae)]上<sup>[1]</sup>。相比之下, 由于缺乏特化的鸟和花的协同进化关系, 欧亚大陆温带和亚热带地区的鸟类传粉现象很大程度上被忽略了<sup>[2]</sup>。尽管欧洲发现了最早的传粉鸟化石, 但在欧洲和亚洲喜马拉雅山以北地区几乎没有鸟类传粉的

报道<sup>[3-4]</sup>。在欧洲至今只有一种本土的豆科植物(*Anagyris foetida* L.)(Fabaceae)被证实是由莺科的3种鸟: 叽喳柳莺(*Phylloscopus collybita* Vieillot)、黑顶林莺(*Sylvia atricapilla* Linnaeus)、黑头林莺(*Sylvia melanocephala* Gmelin, JF)传粉, 在西班牙还发现这3种鸟及蓝山雀(*Parus caeruleus* Linnaeus)在枇杷(*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.)上访花<sup>[5-6]</sup>。

对亚洲的古北界区域鸟类传粉的研究也相对较

收稿日期: 2015-02-02

基金项目: 贵州省科技重大专项, 贵州油茶产业化关键技术研究与示范, 黔科合重大专项字[2009]6004.

作者简介: 邱建生(1965—), 男, 研究员, 在读博士, 研究方向: 授粉昆虫。E-mail: qiu1803@qq.com.

\* 通讯作者。

少,在日本发现了暗绿绣眼鸟 (*Zosterops japonica* Temminck et Schlegel) 为硬刺杜鹃 (*Rhododendrom barbatum* Wall. et G. Don) 传粉<sup>[7]</sup>。在河南发现暗绿绣眼鸟 (*Z. japonica* Temminck et Schlegel)、白头鹎 (*Pycnonotus sinensis* Gmelin, JF) 为冬季开花的枇杷传粉<sup>[8]</sup>。米团花 (*Leucoseptrum canum* Smith) 主要由短喙蓝翅希鹎 (*Minla cyanouroptera* Hodgson) 和灰腹绣眼鸟 (*Zosterops palpebrosa* Temminck) 传粉,该植物通过花蜜的色彩和动态变化来吸引鸟类传粉者<sup>[9]</sup>。此外,日本、韩国的研究发现绣眼鸟 (*Zosterops japonica* Temminck et Schlegel) 是山茶 (*Camellia japonica* L.) 最有效的传粉者<sup>[10-12]</sup>。在温带,绣眼鸟与山茶的牢固关系十分少见,但在一些火山活动的岛屿上,绣眼鸟担当着重要生态作用,包括促进花粉的流动,保证了山茶的遗传多样性,增加山茶种子的产量。有研究还表明,有鸟传粉的植株,其山茶种子产量是没有鸟传粉植株的6倍<sup>[13-16]</sup>。在亚洲东洋界区域,鸟类传粉报道也不多。近年来,研究发现暗绿绣眼鸟 (*Z. japonica* Temminck et Schlegel) 和叉尾太阳鸟 (*Aethopyga christinae* (Swinhoe)) 是红花荷 (*Rhodoleia championii* Hook. f.) 的主要传粉者<sup>[17]</sup>。在西双版纳热带雨林中,植物与食果鸟、传粉鸟,组成二个互惠系统,有7个科17种食蜜鸟,拜访32种植物(分属22个科)并取食花蜜<sup>[18]</sup>。在中国植物区系中,鸟类传粉广泛存在于30余科的植物,大多表现出热带区系成分。在四川发现太阳鸟、黄腹绣眼鸟 (*Z. fuscicapillus* Salvadori)、暗绿绣眼鸟为朱缨花 (*Calliandra haematocephala* Hassk.) 传粉<sup>[19]</sup>。在海南岛太阳鸟、啄花鸟、绣眼鸟,不仅为热带森林或灌丛中许多植物传粉,也为栽培的椰树、油棕、荔枝、芒果和腰果等植物传粉。

2012—2015年,作者在云南和贵州的油茶产区,对山茶科的3种植物,普通油茶 (*Camellia oleifera* Abel.)、滇山茶 (*Camellia ridiculata* Lindl.)、长果大头茶 (*Polyspora longicarpa* (H. T. Chang) C. X. Ye) 的访花鸟类及其传粉行为进行了研究,旨在为山茶科植物的鸟类传粉现象研究,探讨鸟类传粉的形成及演化规律等提供依据。

## 1 材料及方法

### 1.1 研究地点

研究地点位于贵州和云南的油茶产区,在4个

市县选择了7个地点,包括北亚热带和南亚热带气候类型(表1)。

表1 研究地点基本情况

地点名称	省、市(县)	经纬度	海拔/m	气候类型
风滩凹	贵州省贵阳市	26°32'26"N 106°44'25"E	1 213	北亚热带
迪斯科	贵州省贵阳市	25°30'55"N 106°44'30"E	1 242	北亚热带
秧坝	贵州省册亨县	24°52'39"N 105°50'01"E	952	南亚热带
油迈	贵州省望谟县	25°05'04"N 105°57'51"E	626	南亚热带
坝碰	贵州省望谟县	25°07'36"N 106°03'44"E	499	南亚热带
来凤山	云南省腾冲县	25°01'17"N 98°29'14"E	1 691	南亚热带
西山坝	云南省腾冲县	25°03'30"N 98°28'08"E	1 829	南亚热带

### 1.2 山茶科的3种植物

普通油茶是中国长江以南广泛栽培的山茶属物种,常绿灌木或小乔木,花白色,顶生或腋生,果球形、桃形、橄榄形、橘形等,果色红、黄、青等。每果的种子4~8粒,种子黄褐色或黑色,可榨油。树龄30~40年。

滇山茶是分布在云南西部的窄生态幅山茶物种,常绿灌木至小乔木,花顶生,红色,蒴果扁球形,3月裂开,种子卵球形,黄褐色或黑色,可榨油。树龄40~50年。

长果大头茶广泛分布在中国西南、东南部及台湾地区的山茶科植物,常绿乔木,花白色,种子连翅长约2 cm,宽6 mm,黄褐色或黑色。树龄30 a。

### 1.3 方法

在贵州贵阳、册亨、望谟及云南腾冲等地,处于盛花期的普通油茶、滇山茶及长果大头茶林分中,进行连续观察,发现访花鸟类后,连续跟踪观察,记录访问次数、持续时间等,拍摄影像协助分析。选3~5个点,用纱网罩30~50朵开放的油茶花,每天用1 mL注射器抽取花蜜并测定体积。

## 2 结果及分析

### 2.1 山茶科3种植物的传粉鸟种类

在山茶科(Theaceae)的普通油茶、滇山茶、长果大头茶3种植物上有7科7属9种访花鸟类,普通油茶3种,滇山茶8种,长果大头茶1种,分属于雀形目的绣眼鸟科、太阳鸟科、莺科、叶鹎科、鹎科、卷尾科及鸚科(表2)。

上述9种访花鸟类中,叉尾太阳鸟、蓝喉太阳鸟、暗绿绣眼鸟、红肋绣眼鸟和黄腰柳莺,5种鸟为小型鸟。橙腹叶鹎、灰卷尾、黑喉红臀鹎、灰喜鹊4种鸟

表2 中国西南山茶科3种植物访花鸟类分类

序号	植物名称	种名	科
1	普通油茶( <i>C. oleifera</i> Abel.)	叉尾太阳鸟( <i>A. christinae</i> Swinhoe)	太阳鸟科(Nectariniidae)
		暗绿绣眼鸟( <i>Z. japonica</i> Temminck et Schlegel)	绣眼鸟科(Zosteropidae)
		红肋绣眼鸟( <i>Z. erythropleurus</i> (Swinhoe))	绣眼鸟科(Zosteropidae)
		暗绿绣眼鸟( <i>Z. japonica</i> Temminck et Schlegel)	绣眼鸟科(Zosteropidae)
		红肋绣眼鸟( <i>Z. erythropleurus</i> (Swinhoe))	绣眼鸟科(Zosteropidae)
2	滇山茶( <i>C. ariculata</i> Lindl.)	蓝喉太阳鸟( <i>A. gouldiae</i> Vigors)	太阳鸟(Nectariniidae)
		橙腹叶鹎( <i>Chloropsis hardwickii</i> Jardine et Selby)	叶鹎科(Chloropseidae)
		黑喉红臀鹎( <i>Pycnonotus cafer</i> Linnaeus)	鹎科(Pycnonotidae)
		黄腰柳莺( <i>Phylloscopus proreghus</i> Pallas)	莺科(Sylviidae)
		灰卷尾( <i>Dicrurus leucophaeus</i> Vieillot)	卷尾科(Dicruridae)
3	长果大头茶( <i>G. longicarpa</i> (H. T. Chang) C. X. Ye))	灰喜鹊( <i>Phylloscopus cyana</i> Pallas)	鸦科(Corvidae)
		橙腹叶鹎( <i>C. hardwickii</i> Jardine et Selby)	叶鹎科(Chloropseidae)

为中型鸟。总体看,3种山茶科植物的传粉鸟以“非专性嗜蜜鸟”为主,类群丰富,特别是鹎科、叶鹎科、

卷尾科、鸦科的一些中型鸟类集中参与其中,十分少见(图1)。



图1 山茶科植物的访花鸟类

## 2.2 山茶科3种植物的传粉鸟分布及访花习性

山茶科3种植物上的9种访花鸟类,主要分为两个类群,以绣眼鸟、柳莺、太阳鸟组成的小型鸟类群和以橙腹叶鹎、灰卷尾、灰喜鹊、黑喉红臀鹎组成的中型鸟类群,分布在北亚热带和南亚热带两个气候带上(表3)。

北亚热带上的有叉尾太阳鸟、暗绿绣眼鸟和红肋绣眼鸟3种传粉鸟,全部为小型鸟类,主要分布在贵州的中部,以贵阳为分布中心,全部在普通油茶上的访花;南亚热带上有9种传粉鸟,主要分布在贵州

的西南部的册亨、望谟和云南西部的腾冲县。贵州有叉尾太阳鸟和暗绿绣眼鸟2种访花鸟,均为小型鸟,在普通油茶访花。云南腾冲分布有暗绿绣眼鸟、红肋绣眼鸟、蓝喉太阳鸟、黑喉红臀鹎、橙腹叶鹎、灰卷尾、灰喜鹊7种山茶访花鸟,前3种为小型鸟,后4种为中型鸟,全部在滇山茶上访花,仅有橙腹叶鹎1种同时也在长果大头茶上访花。

贵州普通油茶的访花鸟的访花时间为9月至12月,覆盖了初花期—盛花期—末花期;1d的访花时段主要在9:00—11:00、13:00—15:00、16:00—17:00。

表3 3种山茶科植物访花鸟记录

植物名称	时间	地点	气候类型	种名	数量/只	访花时间
普通油茶	2012.9.25	贵州贵阳迪斯科	北亚热带	叉尾太阳鸟(♀)	8~9	10:00-11:00
	2013.9.9	迪斯科		叉尾太阳鸟(♀)	5	12:00-17:00
	2013.9.10	迪斯科		叉尾太阳鸟(♀)	8~11	10:00-11:00
	2013.10.25	贵州贵阳风滩凹		暗绿、红肋绣眼鸟	20~30	9:30-10:00
	2013.12.17	贵州册亨秧坝	南亚热带	暗绿绣眼鸟	9	14:30-15:00
	2013.12.18	贵州望谟油迈	南亚热带	暗绿绣眼鸟	7~8	10:30-11:00
	2013.12.18	贵州望谟坝碰		叉尾太阳鸟(♂)	1	13:00-14:00
	滇山茶	2012.2.25	云南腾冲来凤山	南亚热带	暗绿绣眼鸟	20~30
2015.1.30		来凤山		橙腹叶鹀♀♂	15	9:33-12:00
2015.1.30		来凤山		红肋绣眼鸟	3	10:00-12:00
2015.1.30		来凤山		暗绿绣眼鸟	30~50	10:00-12:00
2015.1.30		来凤山		黑喉红臀鹀	3~5	11:30-12:00
2015.1.30		来凤山		黄腰柳莺	1	11:50
2015.1.30		云南腾冲西山坝		暗绿绣眼鸟	10~20	16:30-17:00
2015.1.30		西山坝		黑喉红臀鹀	5	16:30-17:00
2015.1.30		西山坝		灰喜鹊	1	16:40-17:00
2015.1.31		云南腾冲来凤山		暗绿绣眼鸟	20~30	10:00-12:00
2015.1.31		来凤山		蓝喉太阳鸟	1	10:40
2015.1.31		来凤山		灰喜鹊	1	10:50
2015.1.31		来凤山		黄腰柳莺	1	11:00
2015.1.31		来凤山		黑喉红臀鹀	8	11:10-11:30
2015.1.31		来凤山		暗绿绣眼鸟	20~40	13:00-17:00
2015.1.31		来凤山		橙腹叶鹀♂♀	7	13:00-16:30
2015.2.1		来凤山		灰卷尾鸟	1	11:50-12:00
2015.2.1		来凤山		灰喜鹊	2	14:00
长果大头茶	2015.1.30	云南腾冲来凤山	南亚热带	橙腹叶鹀♀	2	11:40
	2015.1.31	来凤山		橙腹叶鹀♀	1	15:50

均成群活动,按一定方向在油茶植株间运动,单只鸟的访花频率很快,在花枝上快速移动至花朵,吸食花蜜,通常持续2~17 s不等,可连续性访花5~20朵,有时也通过煽动翅膀作短暂的悬停来吸取花蜜。

云南腾冲为南亚热带区域,山茶访花鸟分布广泛,在滇山茶的盛花期各种访花鸟活动频繁,在绣眼鸟、柳莺、蓝喉太阳鸟组成的小型鸟类群中,以暗绿绣眼鸟最为活跃,每群10~30只不等,从9:00-17:00都在访花,在连续3 d的观察中,访花鸟活动从未间断,雨天也不间断,其他访花鸟如柳莺、蓝喉太阳鸟,则主要以1~3只分散活动,间歇性的访花,访花时在枝间快速移动,连续性访花3~8朵不等;中型鸟类群,如橙腹叶鹀、灰卷尾、灰喜鹊和黑喉红臀鹀,喜欢在高大植株或树冠顶部访花,访花时,灰卷尾以单只活动为主,灰喜鹊则2~3只一起交替访花,橙腹叶鹀雌鸟单独或与雄同时访花,其中雌鸟较为活跃,无论在访花数量和频率上均高于雄鸟。黑喉红臀鹀则5~8只成群活动。

### 2.3 3种山茶科植物花的结构与花蜜

花的结构:(1)普通油茶:花顶生或腋生,白色,

花径4~8 cm。苞片圆形,外被丝毛。花瓣5~7片,倒卵形先端凹入,外面被疏毛。雄蕊多数、无毛,2~4轮排列,基部合生。子房被毛,柱头3~5裂。花期9月至次年2月。(2)滇山茶:花顶生,红色,直径10 cm,无柄。苞片及萼片10~11片,组成长2.5 cm的杯状苞被,最下1~2片半圆形,短小,其余圆形,长1.5~2 cm,背面多黄白色绢毛。花瓣6~7片,最外1片近似萼片,倒卵圆形,长2.5 cm,背有黄绢毛,其余各片,倒卵圆形,长5~5.5 cm,宽3~4 cm,先端圆或微凹入,基部相连生约1.5 cm,无毛。雄蕊长约3.5 cm,外轮花丝基部1.5~2 cm连结成花丝管。子房有黄白色长毛,花柱长3~3.5 cm,无毛或基部有白色。花期12月至次年4月。(3)长果大头茶:花单生于小枝上部叶腋,白色,径8~10 cm。花梗粗壮,长6~8 mm,具小苞片脱落后的痕迹,被灰黄色绒毛,小苞片5,螺旋状排列在花梗上,早落,萼片5,较大,阔卵圆形,长1.5~2 cm,外面不为褐色,密被黄色绢毛,毛被达边缘,里面被短柔毛或近无毛。花瓣5,阔倒卵形,长5~6.5 cm,先端凹入,基部合生成3~5 mm的短管。雄蕊长2~

2.5 cm,花丝近基部被柔毛,基部与花瓣贴生。子房卵球形,长约4 mm,被灰白色绒毛,花柱长约2 cm,被绒毛,柱头5。花期10月至次年1月。

花蜜量:(1)普通油茶:单花1 d的花蜜分泌量平均为 $146.1 \pm 0.1258 \mu\text{L}$  ( $n = 156$ ),花蜜浓度 $312.85 \pm 9.29 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,成分以多糖为主(占80%以上,其中,蔗糖占近50%),蔗糖/果糖 $>1$ 。(2)滇山茶:单花1天的花蜜分泌量平均为 $69.5 \pm 0.05118 \mu\text{L}$  ( $n = 100$ ),花蜜浓度 $124.95 \pm 2.79 \sim 200.64 \pm 1.23 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,成分为多糖(种类待定)。长果大头茶:由于树体高大,未测量。一般鸟类传粉的植物花蜜分泌量为 $2.7 \sim 11.7 \mu\text{L}$ ,糖浓度为 $9.9\% \sim 31.2\%$ 。油茶花蜜量平均为 $145.40 \pm 24.89 \mu\text{L}$ ,含糖量为 $23.13\% \pm 1.03$ ,其花蜜和浓度均具备鸟类传粉的特征<sup>[21]</sup>。

### 3 讨论

绣眼鸟科分布于亚洲,后扩展到非洲和澳大利亚,全世界共14属94种,中国分布1属3种。本研究发现有2个种:暗绿绣眼鸟和红肋绣眼鸟,在山茶属植物普通油茶和滇山茶上访花,在腾冲同时发现这两种鸟也在梅(*Prunus mume* Sieb. et zucc.)上访花。暗绿绣眼鸟还是枇杷(*E. japonica* (Thunb.) Lindl.)、红花荷(*R. championii* Hook. f.)、日本山茶(*C. japonica* L.)、朱缨花(*C. haematocephala* Hassk.)及毛叶桑寄生(*Taxillus yadorigi* Hayata)的传粉鸟。绣眼鸟在中国分布广泛,从东北一直到台湾均有分布,尤其在南部、西南部的山地森林中数量丰富,是主要的传粉鸟。太阳鸟科属东半球热带地区鸟类,是热带旧大陆分布为主的鸟类南方代表性科,全球分布14属130种,中国分布5属13种,该科的叉尾太阳鸟在普通油茶,蓝喉太阳鸟在滇山茶上访花,因此,绣眼鸟科和太阳鸟科可能是中国西南区的重要传粉鸟类,在热带、亚热带区域广泛分布的山茶植物如金花茶、越南油茶、博白大果油茶、西南红山茶、怒江山茶等可能也是其拜访的对象。莺科鸟类的分布基本限于旧大陆,有48属281种,中国18属82种,本研究发现有黄腰柳莺在滇山茶上访花,国外报道叽咋柳莺、黑头林莺和黑顶林莺在枇杷(*E. japonica* (Thunb.) Lindl.)上访花,该科是亚热带、温带区域主要的传粉鸟类,在今后的研究中应予以重视。

本研究发现有5个科的中型鸟类在山茶植物上

访花,这些“非专性嗜蜜鸟”传粉少有报道。叶鹎科、卷尾科集中于东洋界,前者共1属11种27个亚种,中国有1属6种,后者有2属22种,中国有1属7种。这2个科的橙腹叶鹎的(♀、♂)鸟、灰卷尾在滇山茶上访花,同时橙腹叶鹎♀鸟在长果大头茶上访花。鹎科全世界有15属125种,中国有4属20种,分布广泛,本次发现黑喉红臀鹎(*P. cafer* Linnaeus)在滇山茶上访花,白头鹎(*Pycnonotus sinensis* Gmelin, JF)在冬季开花的枇杷(*E. japonica* (Thunb.) Lindl.)传粉,说明这个科的访花较为普遍;鸭科是鸟类中智力水平最高,适应能力非常强,广布于世界各地,有26属103种,中国有11属27种,本研究发现有灰喜鹊(*C. cyana* Pallas)在滇山茶上访花。

鸟类传粉系统可分为两类,即特化的鸟类传粉系统(specialized bird pollination systems)如蜂鸟和泛化的鸟类传粉系统(generalized bird pollination systems)如雀形目中的停栖型传粉鸟类。山茶科植物的鸟类传粉系统,既属于泛化的鸟类传粉系统,又具有特化的鸟类传粉系统的特征。就普通油茶和长果大头茶传粉的综合征而言是泛化的,它们没有针对某一特定的传粉者一对一特化的表型性状,也缺乏典型的鸟媒传粉征如鲜艳的颜色(红、橙)或特化的花冠,这与特化的鸟类传粉系统不同。滇山茶来说,又具有特化的鸟类传粉特征如其合生(1/2)的花丝管及鲜艳的红色花冠,增厚的花瓣及丰富的花蜜。特化的鸟类传粉系统和泛化的鸟类传粉系统,以花蜜分泌量、浓度及成分构成为主要特征,通常泛化的鸟类传粉系统,花蜜的分泌量为 $40 \sim 100 \mu\text{L}$ ,浓度为 $8\% \sim 12\%$ ,蔗糖浓度为 $1\% \sim 5\%$ 以上;与之相反,特化的鸟类传粉系统(蜂鸟、太阳鸟)的花蜜的体积为 $10 \sim 30 \mu\text{L}$ ,浓度为 $15\% \sim 25\%$ ,蔗糖含量为总糖的 $40\% \sim 60\%$ <sup>[22-24]</sup>。普通油茶的花蜜特征,从花蜜量和浓度来说是符合泛化鸟类传粉特征的,但从糖的成分上讲又符合特化的鸟类传粉特征(其花蜜中主要以多糖糖为主,其中蔗糖的含量占到了总糖的50%以上),这种二元的特征,非常有意思,它即合理的解释了特化传粉鸟(叉尾太阳鸟)在普通油茶上访花的问题,又合理的解释了杂食性鸟(绣眼鸟)的访花问题。滇山茶的花蜜构成与普通油茶有相似之处,从花蜜量和浓度来说是符合泛化鸟类传粉特征的,但从糖的成分构成上(以多糖为主),又符合特化的鸟类传粉特征,因此,在滇山茶上

聚集了特化的太阳鸟科的鸟类和泛化的雀形目鸟类。在东洋界的热带、亚热带、温带,泛化的鸟类传粉广泛存在,且主要为雀形目鸟类,以绣眼鸟科、太阳鸟科、叶鹎科、鹎科、莺科、鸚科、卷尾科、太平鸟科(Bombycillidae)、山雀科(Paridae)、长尾山雀科(Aegithalidae)、啄花鸟科(Dicaeidae)、旋木雀科(Certhiidae)和画眉科(Timaliidae)等的鸟类最多。同时以太阳鸟科为主要的特化鸟类传粉系统也是共同存在的,但一对一的特化的鸟类传粉系统是极少的。作为泛化的传粉系统,山茶植物与昆虫和鸟类等传粉者之间的传粉网络结构是嵌套的<sup>[25]</sup>。

## 参考文献:

- [1] Quentin Cronk, Isidro Ojeda. Bird-pollinated flowers in an evolutionary and molecular context[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2008, 59(4): 715-727.
- [2] 顾 垒,张奠湘. 中国植物区系的鸟类传粉现象[J]. *热带亚热带植物学报*, 2009, 17(2): 194-204.
- [3] Mayr G. Old World fossil record of modern-type hummingbirds[J]. *Science*, 2004, 304(5672): 861-864.
- [4] Fossil-first-earliest-bird-pollination[EB/OL]. <http://news.national-geographic.com/>, 2014-05-14/2014-5-27.
- [5] Ortega-Olivencia A, Rodriguez-Riano T, Valtuena FJ, et al. First confirmation of a native bird-pollinated plant in Europe[J]. *Oikos*, 2005, 110(3): 578-590.
- [6] Merino S, Noguera I. Loquat *Eriobotrya japonica* as a winter nectar source of birds in central Spain[J]. *Ardeola*, 2003, 50(2): 265-267.
- [7] 黄双全. 探秘暗绿绣眼鸟为杜鹃花授粉[J]. *大自然*, 2011, (1): 34-37.
- [8] Qiang Fang, Ying-Zhuo Chen, Shuang-Quan Huang. Generalist passerine pollination of a winter-flowering fruit tree in central China[J]. *Annals Botany*, 2012, 109(2): 379-384.
- [9] Feng Pingzhang, Xiang Haicai, Hong Wang, et al. Dark purple nectar as a foraging signal in a bird-pollinated Himalayan plant[J]. *New Phytologist*, 2012, 193(1): 188-195.
- [10] Jeong Rae Rho, Jae Chun Choe. Floral visitors and nectar secretion of the Japanese camellia, *Camellia japonica* L[J]. *Korean Journal of Biological Sciences*. 2003, 7(2): 123-125.
- [11] Yoko Kawate Kunitake, Masami Hasegawa, Tadashi Miyashita, et al. Role of a seasonally specialist bird *Zosterops japonica* on pollen transfer and reproductive success of *Camellia japonica* in a temperate area[J]. *Plant Species Biology*, 2004, 19(3): 127-218.
- [12] Takakazu Yumoto. Pollination systems in the cool temperate mixed coniferous and broad-leaved forest zone of Yakushima Island. *Ecological research*, 1988, 3(2): 117-129.
- [13] Harue Abe, Masami Hasegawa. Impact of volcanic activity on a plant-pollinator module in an island ecosystem; the example of the association of *Camellia japonica* and *Zosterops japonica*[J]. *Ecological research*, 2008, 23(1): 141-150.
- [14] Harue Abe, Saneyoshi Ueno, Yoshihiko Tsumura, et al. Expanded Home Range of Pollinator Birds Facilitates Greater Pollen Flow of *Camellia japonica* in a Forest Heavily Damaged by Volcanic Activity [M]. *Ecological Research Monographs*, 2011: 47-62.
- [15] Harue Abe, Saneyoshi Ueno, Toshimori Takahashi, et al. Resilient-Plant-Bird Interactions in a Volcanic Island Ecosystem; Pollination of Japanese Camellia Mediated by the Japanese White-eye[J]. *PLoS ONE*, 2013, 8(4): 62-69.
- [16] Kunitake YK, Hasegawa M, Myyashita T, et al. Role of a seasonally specialist bird *Zosterops japonica* on pollen transfer and reproductive success of *Camellia japonica* in a temperate area[J]. *Plant Species Biology*, 2004, 19(3): 197-201.
- [17] 顾 垒,张奠湘. 红花荷的传粉生物学研究[D]. 全国系统与进化植物学研讨会暨第九届系统与进化植物学青年研讨会论文摘要集, 2006.
- [18] Sawat Sanitjan 等. 中国西南地区西双版纳热带雨林中植物与食果鸟、传粉鸟二个互惠系统的比较: 鸟类组成和动植物关系网特征[D]. 中国科学院研究生院博士论文, 2012.
- [19] 陈发军, 李建军. 引种植物朱缨花的访花者及其活动时间格局[J]. *四川动物*, 2014, 33(2): 244-247.
- [20] 杨世雄. 国产大头茶属的分类处理[J]. *热带亚热带植物学报*, 2005, 13(4): 363-365.
- [21] 邓园艺, 喻勋林, 罗毅波. 传粉昆虫对我国中南地区油茶结实和结籽的作用[J]. *生态学报*, 2010, 30(16): 4427-4436.
- [22] Steven D Johnson, Susan W Nicolson. Evolutionary associations between nectar properties and specificity in bird pollination systems[J]. *Biological Letters*, 2008, 4: 49-52.
- [23] Y. L. Dupont, D. M. Hansen, J. T. Rasmussen and J. M. Olesen. Evolutionary changes in nectar sugar composition associated with switches between bird and insect pollination: the Canarian bird-flower element revisited[J]. *Functional Ecology*, 2004, 181(5): 670-676.
- [24] Perret M, Chautems A, Spichiger R, et al. Nectar sugar composition in relation to pollination syndromes in Sinningieae (Gesneriaceae)[J]. *Annals of Botany*, 2001, 87(2): 267-273.
- [25] 黄双全. 花部特征演化的最有效传粉者原则: 证据与疑问[J]. *生命科学*, 2014, 26(2): 118-24.