

DOI: 10.5846/stxb201601220151

陈顺安, 张强, 万蓉, 赵世文, 刘志涛, 罗建成, 叶银龙, 张学文. 澜沧江流域北部中华蜜蜂食源和营养生态位随海拔梯度的变化特征. 生态学报, 2017, 37(9): - .

Chen S A, Zhang Q, Wan R, Zhao S W, Liu Z T, Luo J C, Ye Y L, Zhang X W. Response of food resources and trophic niche of *Apis cerana cerana* to an altitudinal gradient in the north valley of the Lancang River. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(9): - .

澜沧江流域北部中华蜜蜂食源和营养生态位随海拔梯度的变化特征

陈顺安¹, 张强², 万蓉², 赵世文², 刘志涛², 罗建成³, 叶银龙³, 张学文^{1,*}

1 云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所, 蒙自 661101

2 云南省疾病预防控制中心, 昆明 650022

3 兰坪县疾病预防控制中心, 兰坪 671401

摘要: 为了解澜沧江流域北部中华蜜蜂 (*Apis cerana cerana*) 的分布, 探究中华蜜蜂的食源和营养生态位沿海拔梯度的变化特征, 调查了澜沧江流域北部各海拔区域中华蜜蜂的种群分布, 运用蜂蜜孢粉学 (melissopalynology) 分析了各海拔区域中华蜜蜂蜂蜜中花粉的组成特征和变化规律, 并综合分析海拔、中华蜜蜂营养生态位和蜂蜜中花粉的相关性, 探讨了自然环境与中华蜜蜂的分布、海拔梯度与蜜粉源植物、中华蜜蜂的食源和营养生态位的关系。结果表明: 澜沧江流域北部中华蜜蜂的食源种类丰富, 中华蜜蜂种群主要分布于 2200—2800 m 海拔区域。不同海拔区域中华蜜蜂采食花粉的种类和数量不同, 中华蜜蜂种群分布多的海拔区域, 蜂蜜中花粉的种类较多, 但花粉数量相对少。随着海拔梯度升高, 中华蜜蜂蜂蜜中花粉的数量表现为先降后增, 而花粉的种类则表现为先增后降。不同海拔区域的中华蜜蜂营养生态位存在差异, 推测各海拔区域蜜粉源植物分布、中华蜜蜂种内和种间授粉昆虫及食草动物等竞争因素不同, 但各海拔梯度间的变化差异不显著。海拔与中华蜜蜂营养生态位呈正相关 ($r = 0.051$), 相关性不显著; 海拔与蜂蜜中花粉数量呈正相关 ($r = 0.047$), 与蜂蜜中花粉种类呈正相关 ($r = 0.144$), 相关性都不显著; 中华蜜蜂营养生态位与蜂蜜中花粉的种类呈负相关 ($r = -0.305$), 相关性显著 ($P < 0.05$); 与花粉的数量呈负相关 ($r = -0.064$), 相关性不显著。蜂蜜中花粉的数量与种类呈正相关 ($r = -0.303$), 且相关性显著 ($P < 0.05$)。

关键词: 中华蜜蜂; 蜂蜜孢粉学; 蜜粉源植物; 营养生态位; 海拔梯度; 澜沧江流域

Response of food resources and trophic niche of *Apis cerana cerana* to an altitudinal gradient in the north valley of the Lancang River

CHEN Shunan¹, ZHANG Qiang², WAN Rong², ZHAO Shiwen², LIU Zhitao², LUO Jiancheng³, YE Yinlong³, ZHANG Xuewen^{1,*}

1 Institute of Sericulture and Apiculture, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Mengzi 661101, China

2 Yunnan Provincial Center for Disease Control and Prevention, Kunming 650022, China

3 Lanping Center for Disease Control and Prevention, Lanping 671401, China

Abstract: To further understand the distribution of *Apis cerana cerana* in the north valley of the Lancang River, as well as variations in food resources and trophic niche, we investigated honeybee distribution at different altitudes. Using melissopalynology, we studied pollen composition of the honey samples collected from different altitudes. We analyzed the correlations between altitude, food resources, and trophic niche. The associations between the natural environment and *A.*

基金项目: 国家现代农业产业技术体系-蜂产业技术体系 (CARS-45-SYZ 17); 兰坪县蜂蜜蜂蛹中毒相关危险因素分析; 云南西部地区食用蜂蜜蜂蛹中毒相关危险因素研究

收稿日期: 2016-01-22; 网络出版日期: 2016-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zwx216226 @ 163.com

cerana cerana distribution, altitude, nectar and pollen plants, food resources, and trophic niche were addressed in this study. The results showed that food resources were abundant in the north valley of the Lancang River, and *A. cerana cerana* mainly inhabited areas between 2,200 to 2,800 m above sea level. The types and quantities of pollen consumed by *A. cerana cerana* differed by altitude. At the altitude that most *A. cerana cerana* inhabited, pollen was rich in type but low in quantity. With altitude increasing, the quantity of pollen first decreased and then increased, whereas the types first increased and then decreased. Trophic niches of *A. cerana cerana* were different according to altitude, which might be caused by the differences in plants, pollinating insects, and herbivorous animals. No significant correlations were detected between altitude and trophic niches ($r=0.051$), altitude and pollen quantity ($r=0.047$), or altitude and pollen types ($r=0.144$). Trophic niches were positively correlated with pollen types ($r=-0.305$, $P<0.05$), but not with pollen quantity ($r=-0.064$). Pollen types in the honey sample were positively correlated with pollen quantity ($r=-0.303$, $P<0.05$).

Key Words: *Apsis cerana cerana*; melissopalynology; nectar and pollen plant; trophic niche; altitude; Lancang river valley

蜜蜂是自然生态链中不可或缺的重要一环,很多植物以蜜粉作为食源吸引蜜蜂等昆虫为其授粉,开花植物与蜜蜂保持着一种持续的协同关系,但这种关系在不同的环境条件下是不同的。随着海拔梯度的变化环境因子发生了改变,环境中植物的开花、分泌花蜜和花粉等生理特性也会随之发生改变,有些蜜粉源植物会出现只开花,不分泌花蜜和花粉的情况,不同地区相同的植物与蜜蜂之间的协同关系不完全相同^[1]。蜜蜂对植物蜜粉的利用,一方面反映蜜蜂所处生态系统中可利用蜜粉源植物的种类和丰度;另一方面也反映了蜜蜂的采食和营养需求特征。营养生态位是指动物对其食物资源能够实际和潜在占据、利用或适应的部分^[2-3],蜜蜂采集的蜜粉种类和丰度能反映出蜜蜂与植物之间的协同关系,以及蜜蜂所处生态系统中蜜蜂的食物网结构和蜜蜂利用食物资源的情况。

中华蜜蜂(*Apis cerana cerana*)善于利用零星蜜粉源,抗逆性强,适应山区复杂环境,能为植株矮小、种群分散和生长隐蔽的植物传授花粉,是我国本地重要的传粉昆虫^[4]。澜沧江流域北部地处“三江”并流区域,海拔落差大,多为山区地形地貌特征,区域内蜜蜂和蜜粉源植物资源丰富,中华蜜蜂为分布范围较广的一个种群,其对当地植物群落的繁殖和物种多样性具有重要影响。伴随着人类活动的日益频繁,澜沧江流域自然生态环境遭受到严重破坏^[5-9],中华蜜蜂的分布和活动范围开始缩小,种群数量递减,当地对蜜蜂资源的保护和利用还很原始,关于澜沧江流域地区中华蜜蜂和蜜粉源植物资源分布、中华蜜蜂营养生态位、环境因素与中华蜜蜂的相关研究还较少。

蜂蜜孢粉学可用于分析蜂蜜中花粉的组成,进而推测蜜蜂采访的主要蜜粉源植物种类^[10]和频率,并进一步鉴定蜂蜜的地域来源,同时,蜂蜜孢粉学还可应用于蜂蜜的掺假检测、有毒蜂蜜的鉴定和营养生态位研究等^[11-14]。为了比较分析澜沧江北部地区各海拔区域中华蜜蜂的食源和营养生态位,本文通过沿澜沧江江边低海拔区域至碧罗雪山高海拔区域,调查了中华蜜蜂的分布情况,采用蜂蜜孢粉学(melissopalynology)检测了各海拔区域中华蜜蜂蜂蜜中植物花粉的组成情况,分析了中华蜜蜂的食源变化。运用营养生态位理论和分析方法研究了各海拔区域中华蜜蜂的营养生态位,以期探索该区域中华蜜蜂的食物来源和营养生态位随海拔梯度的变化规律,为评估最适中华蜜蜂生存的海拔区域和生态环境提供参考,为研究和保护不同海拔区域的中华蜜蜂种群提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

兰坪县地处横断山脉滇西北纵谷澜沧江流域北部,隶属怒江傈僳族自治州,东接剑川县、丽江市,南邻云龙县,西靠泸水县、福贡县,北至维西县,位于 $98^{\circ}58'23''$ — $99^{\circ}38'34''$ E, $26^{\circ}06'39''$ — $27^{\circ}04'52''$ N之间^[15],区域面积 4388 km^2 。气候属于低纬山地季风气候,因地形复杂,海拔高差大,形成典型的垂直分布的立体气候

带。多年平均气温 13.7 ℃,7 月份气温最高,平均气温达 25.5 ℃,极端最高气温为 31.7 ℃;1 月份气温最低,平均气温 3.4 ℃,极端最低气温零下 12 ℃,气温年较差 14.5 ℃。平均日照 2008.7 h,年均有效光时 897.3 h,有效光时比为 45%,光热能辐射年均 532.619232 kJ/cm²。年平均降水量为 1002.4 mm,年平均降雨 158 d。年平均风速为 1.3 m/s,最大风速 16 m/s,风向年平均偏西,夏季偏南^[16]。

1.2 研究方法

1.2.1 调查和样品采集

澜沧江流域北部云南省怒江州兰坪县域最低海拔 1360 m,最高海拔 4435.4 m,2013—2015 年沿澜沧江流域下游至上游,从低海拔河谷区域至高海拔高山区域进行走访,调查中华蜜蜂分布和生态环境情况,记录中华蜜蜂种群数量、蜜粉源植物分布和 GPS 坐标等信息。以中华蜜蜂群体分布为基础,7—9 月在各中华蜜蜂集中分布点随机选取并标记蜂群 3 群以上,使用自制取巢内蜜、粉工具,收集中华蜜蜂蜂巢内的蜂蜜和蜂花粉样品;同时,在所有可采到蜂蜜样品的点,收集中华蜜蜂有效采集范围内蜜粉源植物、中华蜜蜂采集蜂后足上的花粉。

1.2.2 食源分析^[4,11-12,17-22]

采用蜂蜜孢粉学分析中华蜜蜂的食源。首先,将蜂蜜进行去杂处理,得到去杂纯化后的样品,待分析;然后,分别称取蜂蜜 25 g,用 50 ml 蒸馏水溶解,移入离心管,以 3000 r/min 条件离心 10 min,弃上层液;加入新配制的醋酸酐-浓硫酸(9:1)混合液 5 ml,将离心管放入沸腾水浴锅加热消煮 10 min,取出待混合液冷却后,以 3000 r/min 条件离心 10 min 弃上层液;分别向每个离心管中加入 8 ml 蒸馏水漂洗,重复漂洗 3 次,再次以 3000 r/min 条件离心后弃蒸馏水,收集残留混合物。

向上述残留混合物中加 1% 石炭酸 3—4 滴混匀,用滴管吸取 1 滴放在载玻片上,盖上盖玻片,将边缘多余液体用滤纸吸干,用加拿大树脂胶封边,保存备用。

分别将上述制备好的玻片置于光学显微镜 100 倍、400 倍和 1000 倍下,观察花粉的形态,并对照制备好的蜜粉源植物花粉图谱,鉴别出蜂蜜中花粉的种类;每个被测样品随机选择 10 个视野进行观察,鉴定并统计花粉粒的种类和数量,确定蜂蜜中的主要花粉种类,重复计数 3 次,取平均值。

计算公式为:

某种花粉粒% = 10 个视野中某种花粉粒个数 / 10 个视野中花粉粒总数 × 100%

根据数据,某种花粉粒数最多,且大于 50%,即可认定为蜂蜜主成分花粉。

1.2.3 营养生态位分析

采用 Levins^[24],1968 的营养生态位宽度指数(B)测度中华蜜蜂的营养生态位宽度。

$$B = 1/S \sum_{i=1}^S P_i^2$$

式中: B 为物种的营养生态位宽度; S 为每个资源序列的总单位数,即蜂蜜中花粉的种类数; P_i 为一个物种利在一个资源序列 i 单位中所占比例,即各种花粉分别占蜂蜜中总花粉的比例。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件软件对数据进行统计,并进行单因素方差分析(one-way ANOVA)、LSD 法进行数据的显著性分析($P=0.05$)和相关性分析及作图。

2 结果与分析

2.1 各海拔区域的调查情况

调查结果显示,澜沧江流域北部地区自然环境中零星辅助蜜粉源植物分布较多,中华蜜蜂蜂群多为半野生和野生状态,海拔 1500 m 以下和 3000 m 以上的区域有中华蜜蜂活动,但未观察到中华蜜蜂种群分布。在 1500—3000 m 海拔区域内区域,有半野生和野生的中华蜜蜂分布,村落里有大量采用传统方法进行人工饲养的中华蜜蜂蜂群,单户饲养蜂群数量从几群至几十群不等。各海拔区域中华蜜蜂种群的分布有差异,个体出

巢活动的起始和停止时间不同;开花蜜粉源植物的分布也不同,主要蜜粉源植物少,野生零星辅助蜜粉源植物多。在被调查区域内,海拔 2200—2800 m 为中华蜜蜂和蜜粉源植物的主要分布区域,海拔 2400—2600 m 区域分布较为集中,海拔 2000—2600 m 中华蜜蜂群体分布数量为递增。海拔 1600 m 以下、1800—2000 m 和 3000 m 以上区域未观察到中华蜜蜂种群,海拔 1600 m 以下区域多为干热河谷地形,仅有零星蜜粉源植物,不利于蜜蜂生存;海拔 1600—1800 m 蜜粉源植物分布较少,仅有 3 个中华蜜蜂种群集中分布地;海拔 1800—2000 m 区域内连绵的大型水电站、公路和隧道建设等频繁的人类活动对生态破坏严重,蜜粉源植物稀少,非常不适合蜜蜂个体生存和种群繁衍;2000—2200 m 有 3 个中华蜜蜂种群集中分布地;2200—2400 m 有 7 个中华蜜蜂种群集中分布地;2400—2600 m 有 20 个中华蜜蜂种群集中分布地;2600—2800 m 中华蜜蜂种群集中分布地为 10 个;2800—3000 m 中华蜜蜂种群集中分布地减少为 5 个。海拔 3000 m 以上地区,环境温度逐渐转凉,蜜蜂活动的适温期变短,植物主要以耐寒物种居多,仅有少量零星辅助蜜粉源植物分布。

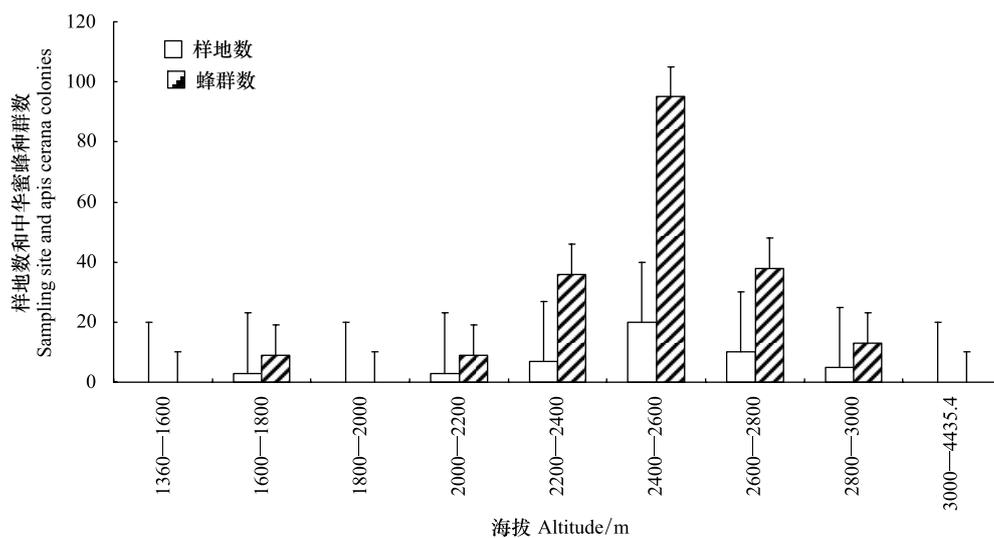


图 1 各海拔区域中华蜜蜂分布调查

Fig.1 The distribution survey of *Apis cerana cerana* at different altitude regions

2.2 中华蜜蜂食源分析

为分析中华蜜蜂的营养生态位随海拔梯度的变化,采用蜂蜜孢粉学对各海拔区域中华蜜蜂的蜂蜜样品 No.1—54 进行分析,探讨各海拔区域中华蜜蜂的食源,各海拔中华蜜蜂蜂蜜中各蜜粉源植物花粉种类在一个资源序列 i 单位中所占比例 P_i 的分析结果见表 1—6。蜜粉源植物花粉种类的分析结果显示,各海拔区域中华蜜蜂蜂蜜中花粉的种类和数量不相同,中华蜜蜂采集蜜粉源植物的种类多样,零星辅助蜜粉源植物相对较多,这一结论与前人研究发现的结论:“中华蜜蜂对蜜源植物的喜好性差异较小,能够利用零星的蜜源植物”相吻合^[4]。蜜粉源植物种类主要包括:金丝桃 (*Hypericum monogynum* L.)、荞麦 (*Fagopyrum esculentum* Moench)、百合 (*Lilium brownii* var. *viridulum* Baker)、丝毛飞廉 (*Carduus crispus* L.)、剑麻 (*Agave sisalana* Perr. ex Engelm.)、滇藏钝果寄生 (*Taxillus thibetensis* (Lecomte) Danser)、野蔷薇 (*Rosa multiflora* Thunb.)、油白菜 (*Brassica chinensis* L. var. *oleifera* Makino et Namot)、香薷 (*Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyland.)、华西小石积 (*Osteomeles schwerinae* Schneid.)、马鞭草 (*Verbena officinalis* L.)、胡颓子 (*Elaeagnus pungens* Thunb.)、白菜 (*Brassica pekinensis* (Lour.) Rupr.)、粉枝莓 (*Rubus biflorus* Buch.-Ham. Ex Smith)、山樱花 (*Cerasus serrulata* (Lindl.) G. Don ex London)、黄花菜 (*Hemerocallis itrine* Baron)、南烛 (*Vaccinium bracteatum* Thunb.)、鬼针草 (*Bidens pilosa* L.)、刺芹 (*Eryngium foetidum* L.)、水红木 (*Viburnum cylindricum* Buch.-Ham. ex D. Don)、南瓜 (*Cucurbita moschata* (Duch. Ex Lam.) Duch. Ex Poiret)、金丝梅 (*Hypericum patulum* Thunb. Ex Murray)、千里光 (*Senecio scandens* Buch.-Ham. Ex D. Don)、黄瓜菜 (*Hemerocallis citrina* Baroni)、鲜黄小檗 (*Berberis diaphana*

Maxim.)、花红 (*Malus asiatica* Nakai)、尼泊尔桤木 (*Alnus nepalensis* D. Don)、野草香 (*Elsholtzia cypriani* (Pavol.) C. Y. Wu et S. Chow)、粉花月见草 (*Oenothera rosea* L Herpt. ex Ait.)、辣蓼 (*Polygonum hydropiper* L.)、白车轴草 (*Trifolium repens* L.)、丽江堇花 (*Wikstroemia lichiangensis* W. W. Smith)、女贞 (*Ligustrum lucidum* Ait.)、鸡骨柴 (*Elsholtzia fruticosa* (D. Don) Rehd.)、大叶桉 (*Eucalyptus robusta* Smith)、密花香薷 (*Elsholtzia densa* Benth.)、萼距花 (*Cuphea hookeriana* Walp.)、五色梅 (*Lantana camara* L.)、桃金娘 (*Rhodomyrtus tomentosa*)、山莓 (*Rubus corchorifolius* L. f.)、白杜鹃 (*Rhododendron mucronatum* (Blume) G. Don)、山萇藨 (*Dioscorea tokoro* Makino) 等。

表 1 蜂蜜样品中的花粉种类及其比例

Table 1 Plant pollen species and proportion of pollen identified from honey samples

植物花粉种类 Plant pollen species	各花粉在其蜂蜜中占总花粉的比例(P_i)/%								
	Proportion of pollen identified from honey samples								
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i> L.	100	58.3	99	100	67		93	91	84
荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench		8.3	1					9	3
百合 <i>Lilium brownii</i> var. <i>viridulum</i> Baker		33.4					2		
丝毛飞廉 <i>Carduus crispus</i> L.					33				
剑麻 <i>Agave sisalana</i> Perr. ex Engelm.						100	4		
滇藏钝果寄生 <i>Taxillus thibetensis</i> (Lecomte) Danser							1		
野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i> Thunb.									13

表 2 蜂蜜样品中的花粉种类及其比例

Table 2 Plant pollen species and proportion of pollen identified from honey samples

植物花粉种类 Plant pollen species	各花粉在其蜂蜜中占总花粉的比例(P_i)/%								
	Proportion of pollen identified from honey samples								
	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18
金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i> L.	45	95	79	55	75	100		100	100
荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench							3		
油白菜 <i>Brassica chinensis</i> L. var. <i>oleifera</i> Makino et Namot	55	5	21	45	25		97		

表 3 蜂蜜样品中的花粉种类及其比例

Table 3 Plant pollen species and proportion of pollen identified from honey samples

植物花粉种类 Plant pollen species	各花粉在其蜂蜜中占总花粉的比例(P_i)/%								
	Proportion of pollen identified from honey samples								
	No.19	No.20	No.21	No.22	No.23	No.24	No.25	No.26	No.27
金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i> L.		71	88		100			81	72
荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench	3		6	44			100		10
油白菜 <i>Brassica chinensis</i> L. var. <i>oleifera</i> Makino et Namot	97			56		43			18
胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i> Thunb.			6						
南烛 <i>Vaccinium bracteatum</i> Thunb.						57			
黄花菜 <i>Hemerocallis</i> <i>itirine</i> Baron								19	
粉枝莓 <i>Rubus biflorus</i> Buch.-Ham. ex Smith		17							
香薷 <i>Elsholtzia ciliata</i> (Thunb.) Hyland.		12							

进一步分析中华蜜蜂食源利用谱的整体情况,如图 2 所示,中华蜜蜂酿造的蜂蜜中含有数十种花粉,主成分花粉为金丝桃、荞麦、尼泊尔桤木、鬼针草、油白菜、滇藏钝果寄生、胡颓子等。表明澜沧江流域北部地区中华蜜蜂的食源种类多样性丰富,中华蜜蜂采集的蜜粉源植物种类主要为金丝桃、荞麦、尼泊尔桤木、鬼针草、油白菜、滇藏钝果寄生、胡颓子等。

表 4 蜂蜜样品中的花粉种类及其比例

Table 4 Plant pollen species and proportion of pollen identified from honey samples

植物花粉种类 Plant pollen species	各花粉在其蜂蜜中占总花粉的比例(P_i)/%								
	Proportion of pollen identified from honey samples								
	No.28	No.29	No.30	No.31	No.32	No.33	No.34	No.35	No.36
金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i> L.	94		6	54	96	50	100	69	100
荞麦 <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench		10		46				13	
剑麻 <i>Agave sisalana</i> Perr. ex Engelm.			5						
油白菜 <i>Brassica chinensis</i> L. var. <i>oleifera</i> Makino et Namot					4	50			
胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i> Thunb.	6							2	
水红木 <i>Viburnum cylindricum</i> Buch. -Ham. ex D. Don		44							
百合 <i>Lilium brownii</i> var. <i>viridulum</i> Baker			2					16	
千里光 <i>Senecio scandens</i> Buch.-Ham. Ex D. Don			87						
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> L.		46							

表 5 蜂蜜样品中的花粉种类及其比例

Table 5 Plant pollen species and proportion of pollen identified from honey samples

植物花粉种类 Plant pollen species	各花粉在其蜂蜜中占总花粉的比例(P_i)/%								
	Proportion of pollen identified from honey samples								
	No.37	No.38	No.39	No.40	No.41	No.42	No.43	No.44	No.45
金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i> L.	88	88	92	93	61	77	47		100
野蔷薇 <i>Rosa multiflora</i> Thunb.						12			
香薷 <i>Elsholtzia ciliata</i> (Thunb.) Hyland.						3			
胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i> Thunb.			8	7		2			
丽江茺花 <i>Wikstroemia lichiangensis</i> W. W. Smith						1			
女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> Ait.						5			
滇藏钝果寄生 <i>Taxillus thibetensis</i> (Lecomte) Danser							2		
白菜 <i>Brassica pekinensis</i> (Lour.) Rupr.									
粉枝莓 <i>Rubus biflorus</i> Buch.-Ham. ex Smith	12						48	36	
大叶桉 <i>Eucalyptus robusta</i> Smith							1		
密花香薷 <i>Elsholtzia densa</i> Benth.							2		
白车轴草 <i>Trifolium repens</i> L.									10
萼距花 <i>Cuphea hookeriana</i> Walp.									5
五色梅 <i>Lantana camara</i> L.									1
桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>									48
剑麻 <i>Agave sisalana</i> Perr. ex Engelm.		10							
水红木 <i>Viburnum cylindricum</i> Buch. -Ham. ex D. Don						37			
南瓜 <i>Cucurbita moschata</i> (Duch. ex Lam.) Duch. ex Poiret						2			
百合 <i>Lilium brownii</i> var. <i>viridulum</i> Baker		2							

表 6 蜂蜜样品中的花粉种类及其比例

Table 6 Plant pollen species and proportion of pollen identified from honey samples

植物花粉种类 Plant pollen species	各花粉在其蜂蜜中占总花粉的比例(P_i)/%								
	Proportion of pollen identified from honey samples								
	No.46	No.47	No.48	No.49	No.50	No.51	No.52	No.53	No.54
金丝桃 <i>Hypericum monogynum</i> L.	60	66	100	100	62	100	99	100	16
滇藏钝果寄生 <i>Taxillus thibetensis</i> (Lecomte) Danser									84
白菜 <i>Brassica pekinensis</i> (Lour.) Rupr.	40	17							
萼距花 <i>Cuphea hookeriana</i> Walp.		17							
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i> L.					38				
剑麻 <i>Agave sisalana</i> Perr. ex Engelm.							1		

2.3 各海拔区域中华蜜蜂蜂蜜中花粉的数量分析

为了解各海拔区域中华蜜蜂蜂蜜中的花粉数量,进行了花粉数量分析,结果表明,海拔 1600—1800 m 区域(平均值为 166 粒/个样)中华蜜蜂蜂蜜中含花粉数量最多,2000—2200 m 区域蜂蜜中含花粉数量最少(平均值为 20 粒/个样);2200—2400 m(平均值为 53 粒/个样)、2400—2600 m(平均值为 85 粒/个样)、2600—2800 m(平均值为 125 粒/个样)、2800—3000 m 区域(平均值为 140 粒/个样)蜂蜜中花粉的数量递增。各海拔区域中华蜜蜂蜂蜜的颜色和气味等理化性质不同,蜂蜜中的花粉含量不同(图 3),海拔 1600—1800 m 区域中华蜜蜂蜂蜜中花粉的数量与 2000—2200 m、2200—2400 m 区域的蜂蜜差异极显著($P < 0.01$);海拔 2000—2200 m 区域中华蜜蜂蜂蜜中花粉的数量与 1600—1800、2600—2800 m 和 2800—3000 m 区域的蜂蜜差异极显著($P < 0.01$);其他海拔区域间蜂蜜中花粉的数量差异不显著;海拔 2000—3000 m 区域蜂蜜中花粉的数量整体水平呈递增规律。以上结果表明澜沧江流域北部地区各海拔区域中华蜜蜂对蜜粉源植物的采访行为可存在差异,推测各海拔区域开花蜜粉源植物的分布丰度也存在差异。

2.4 各海拔区域中华蜜蜂蜂蜜中花粉的种类分析

蜂蜜中花粉种类越多,蜜蜂活动地域内蜜粉源植物的种类可能就越丰富。为了解各海拔区域中华蜜蜂采集开花蜜粉源植物的种类,对蜂蜜中花粉的种类进行了统计分析,结果表明,中华蜜蜂蜂蜜中含有数十种花粉,各海拔区域蜂蜜中花粉的种类组成不同。海拔 2600—2800 m 区域中华蜜蜂蜂蜜中花粉的种类最多,2000—2200 m 区域蜂蜜中花粉的种类最少;海拔 2000—2800 m 区域蜂蜜中花粉的种类递增,2800—3000 m 区域又逐渐递减(图 4)。海拔 2000—2200 m 区域中华蜜蜂蜂蜜中花粉的种类与 1600—1800、2600—2800 m 和 2800—3000 m 区域的蜂蜜差异极显著($P < 0.01$),与 2200—2400 m、2400—2600 m 区域的蜂蜜差异显著($P < 0.05$);海拔 1600—1800 m 与 2200—2400 m、2400—2600 m、2600—2800 m 和 2800—3000 m 海拔间差异不显著。蜂蜜中花粉的种类分析结果表明,澜沧江流域北部地区蜂蜜中花粉的种类丰富,推测该地区蜜粉源植物种类分布多样性很丰富。

2.5 各海拔中华蜜蜂的营养生态位分析

海拔 1600—3000 m 区域内各中华蜜蜂分布点的营养生态位统计分析结果表明,各海拔点中华蜜蜂的营

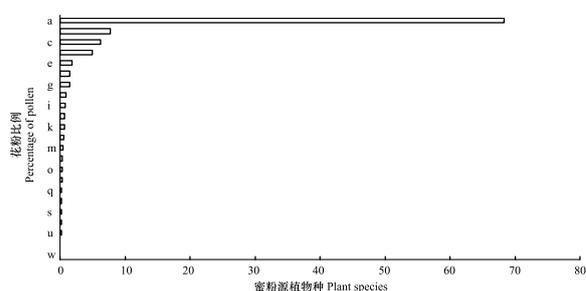


图 2 中华蜜蜂蜂蜜中花粉组成比例(%)

Fig. 2 Species and proportion of pollen identified in honey of *Apis cerana cerana*

a 金丝桃 *Hypericum monogynum* L.; b 荞麦 *Fagopyrum esculentum* Moench; c 粉枝莓 *Rubus biflorus* Buch.-Ham. ex Smith; d 尼泊尔柃木 *Alnus nepalensis* D. Don; e 鬼针草 *Bidens pilosa* L.; f 滇藏钝果寄生 *Taxillus thibetensis* (Lecomte) Danser; g 油白菜 *Brassica chinensis* L. var. *oleifera* Makino et Namot; h 胡颓子 *Elaeagnus pungens* Thunb.; i 水红木 *Viburnum cylindricum* Buch.-Ham. ex D. Don; j 千里光 *Senecio scandens* Buch.-Ham. ex D. Don; k 剑麻 *Agave sisalana* Perr. ex Engelm.; l 百合 *Lilium brownii* var. *viridulum* Baker; m 华西小石积 *Osteomeles schwerinae* Schneid.; n 香薷 *Elsholtzia ciliata* (Thunb.) Hyland.; o 山樱花 *Cerasus serrulata* (Lindl.) G. Don ex London; p 剑麻 *Agave sisalana* Perr. ex Engelm.; q 野蔷薇 *Rosa multiflora* Thunb.; r 白车轴草 *Trifolium repens* L.; s 马鞭草 *Verbena officinalis* L.; t 白菜 *Brassica pekinensis* (Lour.) Rupr.; u 刺芹 *Eryngium foetidum* L.; v 野草香 *Elsholtzia cypriani* (Pavol.) C. Y. Wu et S. Chow; w 丝毛飞廉 *Carduus crispus* L.

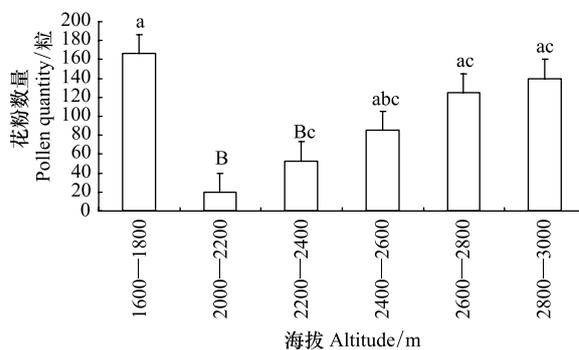


图 3 各海拔区域蜂蜜中花粉的数量

Fig. 3 The change of pollen quantity of honey samples at different altitude

各柱形图间字母不同,表示差异显著($P < 0.05$);字母和大小写均不同表示差异极显著($P < 0.01$)

养生态位宽度不同,最大值 0.779 出现在海拔 2426 m 处,最小值 0.075 出现在 2512 m 处。中华蜜蜂群体最集中的区域营养生态位宽度值都在 0.3 以下(图 5)。海拔 2426 m 处的生态位值反映出该海拔开花蜜粉源植物的分布可能较为丰富,中华蜜蜂可利用的食源充足,其生存竞争可能没有其他海拔区域激烈;而 2512 m 处可能是中华蜜蜂可利用的开花蜜粉源较少,以及种内和种间生存竞争较激烈。

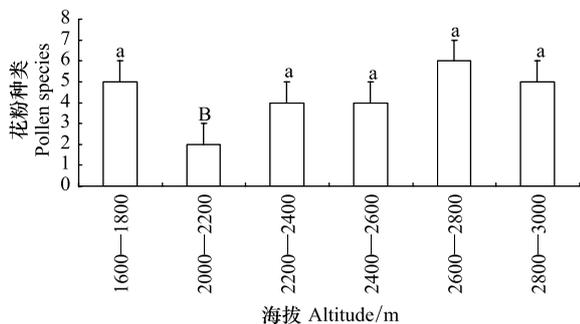


图 4 各海拔区域蜂蜜中花粉的种类

Fig.4 The change of pollen species of honey samples at different altitude

各海拔区域中华蜜蜂营养生态位变化的总体水平分析结果显示,各海拔区域中华蜜蜂的营养生态位宽度不相同,海拔 1600—1800 m(平均值为 0.5328)、2000—2200 m(平均值为 0.4311)、2200—2400 m(平均值为 0.4255)、2400—2600 m(平均值为 0.4568)、2600—2800 m(平均值为 0.3490)和 2800—3000 m(平均值为 0.6199),各海拔区域间中华蜜蜂的营养生态位差异不显著(图 6)。

中华蜜蜂的营养生态位与各海拔区域开花蜜粉源植物的种类和丰度、蜜蜂种群的分布密度及其他授粉昆虫的竞争等因素相关。营养生态位宽度值越大,表明在相对应区域内中华蜜蜂对蜜粉源植物的利用率越高,开花蜜粉源植物可能分布很丰富,中华蜜蜂种内和种间授粉昆虫及食草动物等对食源的竞争可能都很小。

2.6 海拔与中华蜜蜂营养生态位及蜂蜜中花粉的关系

海拔与中华蜜蜂营养生态位、蜂蜜中花粉的数量和种类的相关性分析结果表明,海拔与中华蜜蜂营养生态位的相关系数为 0.051,相关性不显著。不同海拔区域蜜粉源植物的分布情况直接反映了中华蜜蜂所处海拔可利用的食源,但种内和种间的竞争、开花习性等相关因素又间接影响了中华蜜蜂对食源利用的程度,开花蜜粉源植物分布丰富的海拔区域中华蜜蜂营养生态位值不一定就高。海拔与蜂蜜中花粉数量的相关系数为 0.047,与蜂蜜中花粉种类的相关系数为 0.144,相关性都不显著。中华蜜蜂营养生态位与蜂蜜中的花粉数量和种类的相关性分析结果表明,中华蜜蜂营养生态位与蜂蜜中花粉的种类呈正相关,相关性显著($P < 0.05$),与花粉的数量相关性不显著。蜂蜜中花粉数量与种类的相关性分析结果表明,蜂蜜中花粉的数量与种类呈正相关,且相关性显著($P < 0.05$)。上述结果表明海拔因素可能影响蜜粉源植物种类和数量的分布,进而影响中华蜜蜂采访开花蜜粉源植物的规律和营养生态位。

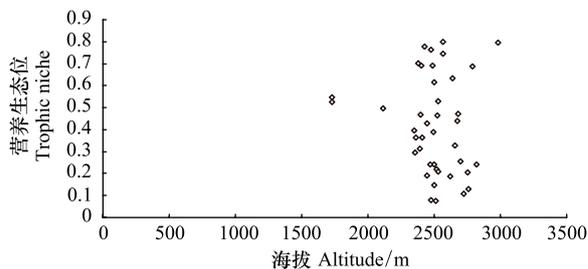


图 5 各海拔中华蜜蜂的营养生态位宽度

Fig.5 Trophic niche of *Apis cerana cerana* at different altitude

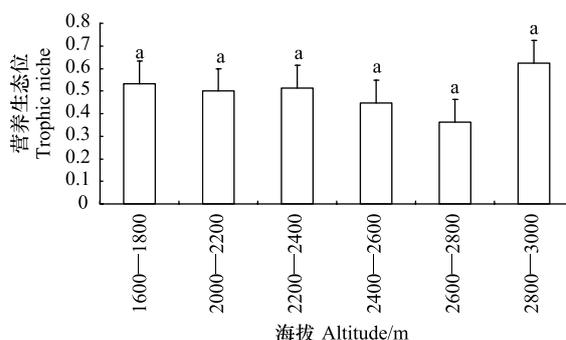


图 6 各海拔区域中华蜜蜂的营养生态位宽度

Fig.6 Trophic niche of *Apis cerana cerana* changing with altitude

3 讨论

3.1 自然环境与中华蜜蜂的分布

自然环境对蜜粉源植物和蜜蜂种群的影响都很大^[23-27],其作用因素也很多,适宜的自然环境有利于蜜粉源植物和蜜蜂生存繁衍。澜沧江流域北部海拔 1500 m 以下和 3000 m 以上区域分别为干热和寒冷等极端气候发生较多的区域,适应这两类自然环境的蜜粉源植物种类较少,海拔 1500 m 以下区域多为抗旱耐热的植物,3000 m 以上区域多为耐寒植物。这些区域极端温期长,而蜜蜂活动的适温期较短,不利于中华蜜蜂生存和繁衍,自然环境中存在中华蜜蜂个体活动的现象,但未观察到中华蜜蜂种群分布。

海拔 1500—3000 m 区域相对海拔 1500 m 以下和 3000 m 以上区域的自然环境更好,适合蜜粉源植物生长的区域广,蜜蜂活动的适温期更长,其他生存条件也更好。所以,蜜粉源植物多样性丰富,蜜蜂的种类和种群数量都更多,存在人类多年延续性驯养中华蜜蜂的行为。随着澜沧江流域北部的社会发展,人类活动正逐渐成为影响中华蜜蜂生存的另一重要因素。澜沧江流域跨度范围较大的梯级水电站、延伸长的公路及隧道建设等设施占据了原为蜜粉源植物分布和蜜蜂种群生存繁衍的区域,这些人类活动会干扰蜜粉源植物和蜜蜂的正常生存繁衍,使蜜粉源植物的种类和数量逐渐减少。并可能会导致蜜蜂种群活动、生存和繁衍的区域会发生改变,引起蜜蜂种群发生飞逃、迁移和消亡等现象。可能还会引起蜜蜂的区域种群密度发生改变,使部分蜜蜂分布区域内蜜蜂种群减少,而有蜜蜂种群迁入的区域出现种内、种间及与其他授粉昆虫间的食源竞争更加激烈。

3.2 海拔梯度与蜜粉源植物和蜜蜂的关系

海拔梯度包含了温度、湿度和光照等诸多环境因子的剧烈变化,其造成不同海拔区域动植物分布的情况发生变化,而物种种群的分布格局又使海拔梯度上动植物多样性及其分布界限发生变化^[28-37]。不同海拔植物群落分布多样性具有海拔梯度、纬度梯度等多种环境梯度格局,海拔梯度为环境梯度格局中的主导梯度^[38-40],同种植物在不同地区的分布数量、生长和开花等生理特性不同^[41]。不同海拔昆虫种群的分布有一定区别,昆虫群落物种数量随海拔的变化而发生变化,昆虫群落的组成和结构明显不同^[42]。

随着海拔的变化,自然环境中的温度、湿度、光照等诸多环境因子发生了变化,这些变化造成蜜粉源植物多样性发生变化,最终影响中华蜜蜂种群的分布。澜沧江流域北部各海拔中华蜜蜂蜂蜜中花粉的组成情况不同,表明中华蜜蜂采集的开花蜜粉源植物不同。蜂蜜中花粉种类多的海拔区域,蜜粉源植物多样性应该很丰富,中华蜜蜂种群分布集中,且种群数量多。同时,这些海拔区域还存在黑色小蜜蜂(*Apis audreniformis*)、黑色大蜜蜂(*Apis laboriosa* Smith)。部分海拔区域的蜂蜜中花粉种类少,对应的中华蜜蜂种群数量也少,但蜂蜜中花粉的总数却多。海拔梯度可能导致蜜粉源植物的分布产生差异,进而影响蜜蜂种群的分布。在部分蜜粉源植物种类分布少的海拔区域,中华蜜蜂能充分利用单一的蜜粉源植物,但单一的蜜粉源植物种类,不利于中华蜜蜂种群生存,蜜粉源植物的多样性越丰富越有利于中华蜜蜂种群的生存和繁衍。

3.3 中华蜜蜂的营养生态位

营养生态位能反映中华蜜蜂食源可利用性的情况,及与中华蜜蜂存在供食和授粉互惠关系的植物种类。还能推测出中华蜜蜂种内、种间以及与其他授粉昆虫间的食源竞争关系和状况,了解中华蜜蜂种群自身的生存状况。野生和半野生状态下的中华蜜蜂处于自由生活状态下,其可根据其对蜜粉源植物种类的偏爱性和可利用性自由选择食源,食源利用谱是实现的资源利用谱,以此为基础的生态位是现实的生态位,即实际生态位^[43-46]。可利用的蜜粉源植物丰富时,中华蜜蜂能够选择喜食的蜜粉源植物种类,而当其喜食的蜜粉源植物短缺时,则被迫采食先前不喜食的蜜粉源植物种类,以此为基础的营养生态位能推测中华蜜蜂偏爱的蜜粉源植物种类、蜜粉源植物的实际可利用性和变化情况。

澜沧江流域北部各海拔中华蜜蜂的实际营养生态位存在差异,其原因应包括食源可利用性、种间和种内以及其他授粉昆虫的竞争等。中华蜜蜂蜂蜜中的主成分花粉分析显示中华蜜蜂可能与某些植物存在协同关

系,且与其他植物种类相比,二者间的关系更密切。在中华蜜蜂种群集中分布的海拔区域,中华蜜蜂蜂蜜中的花粉种类多样,表明与中华蜜蜂存在互惠关系的植物种类多,中华蜜蜂可利用的蜜粉源植物多样性丰富。而在中华蜜蜂种群分布较少的海拔区域,中华蜜蜂蜂蜜中的花粉种类相对较少,但花粉的总数量较多,推测中华蜜蜂能充分利用种类有限的蜜粉源,并与这些植物表现出较强的协同关系。另外,蜂蜜中花粉种类多的蜂蜜样品的营养生态位值不一定大,相反部分蜂蜜中花粉种类组成单一蜂蜜样品的营养生态位值却大。这可能是由于可利用蜜粉源植物资源丰富时,蜜蜂利用最偏爱、最适于其生存和最方便利用的食物资源,导致蜜蜂的营养生态位值变小;也可能是由于这些海拔区域蜜蜂种群数量多,而种内和种间可利用食源的相似度高,导致种群间在同一生态位上的生态位重叠程度大,平均能够实际和潜在占据、利用的食源变少,导致采食竞争很激烈。而在可利用蜜粉源植物种类少的海拔区域,蜜蜂种群数量少,种群间的采食竞争小;当可利用蜜粉源植物资源种类有限时,蜜蜂能充分利用有限的食源,而使营养生态位宽度值变大。

参考文献 (References):

- [1] 陈顺安, 赵文正, 和绍禹, 山口喜久二. 东方蜜蜂采集的野坝子蜂蜜分析研究. 云南农业大学学报, 2012, 27(6): 914-917.
- [2] 康乐, 陈永林. 草原蝗虫营养生态位的研究. 昆虫学报, 1994, 37(2): 178-189.
- [3] 张光明, 谢寿昌. 生态位概念演变与展望. 生态学杂志, 1997, 16(6): 46-51.
- [4] 董霞, 周丹银. 中蜂采集性的观察. 蜜蜂杂志, 1996, 3: 16-18.
- [5] 温敏霞, 刘世梁, 崔保山, 富伟, 杨敏. 澜沧江流域云南段道路网络对生态承载力的影响研究. 环境科学学报, 2008, 28(6): 1241-1248.
- [6] 钟华平, 刘恒, 耿雷华. 澜沧江流域梯级开发的生态环境累积效应. 水利学报, 2007, (S): 577-581.
- [7] 陈丽晖, 何大明. 澜沧江-湄公河水梯级开发的生态影响. 地理学报, 2000, 55(5): 577-586.
- [8] 张景华, 封志明, 姜鲁光, 杨艳昭, 刘晓娜. 道路干扰对澜沧江流域景观格局的影响. 自然资源学报, 2013, 28(6): 969-980.
- [9] 王娟, 崔保山, 刘杰, 姚华荣, 翟红娟. 云南澜沧江流域土地利用及其变化对景观生态风险的影响. 环境科学学报, 2008, 28(2): 269-277.
- [10] Lieux M H. Minor honeybee plants of Louisiana indicated by pollen analysis. *Economic Botany*, 1978, 32(4): 418-432.
- [11] 刘宇佳, 赵天瑞, 赵风云. 云南中华蜜蜂与意大利蜜蜂的蜂蜜孢粉学和营养生态位. 应用生态学报, 2013, 24(1): 205-210.
- [12] 赵风云, 董霞, 李建军. 蜂蜜孢粉学的研究与应用. 云南农业大学学报, 2007, 22(2): 270-274.
- [13] 刘炳仑. 我国有毒蜜粉源植物及其花粉形态(一). 养蜂科技, 2000, 6: 4-5.
- [14] 陈顺安, 张强, 刘志涛, 余思洋, 李娟娟, 张学文, 万蓉. 澜沧江流域北部中华蜜蜂有毒蜂蜜孢粉学和营养生态位分析. 生态学报, 2015, 35(20): 6734-6741.
- [15] 彭亚勇. 兰坪县森林生态效益补偿机制研究. 中国林业经济, 2014, 3: 58-61.
- [16] 赵玉华. 试论兰坪县雨季造林的措施. 绿色科技, 2014, 11: 65-66.
- [17] Kaya C K. *Pollen Analysis*. Beijing: Science Press, 1956.
- [18] Eltmann. *Pollen Morphology and Plant Classification*. Beijing: Science Tech Publishing House, 1962.
- [19] Eltmann. *Palynology Manual*. Beijing: Science Tech Publishing House, 1978.
- [20] 陈顺安. 云南武定野坝子蜂蜜孢粉学分析. 蜜蜂杂志, 2011, 31(3): 7-8.
- [21] 赵风云, 周丽贞, 邝涓, 董霞. 东、西方蜜蜂蜂蜜的差异性分析. 蜜蜂杂志, 2007, 27(12): 9-10.
- [22] 赵风云, 周丽贞, 邝涓, 董霞. 云南省部分蜜源植物花粉图谱. 蜜蜂杂志, 2007, 27(11): 45-46.
- [23] 王玉良, 郑玉华. 八种蜂蜜的孢粉学研究. 中国农学通报, 2007, 23(2): 121-124.
- [24] Levins R. *Evolution in Changing Environments*. New Jersey: Princeton University Press, 1968.
- [25] Verma L R. *Beekeeping in Integrated Mountain Development*. New Delhi: Oxford and IBH Publishing Company P V T Limited, 1990.
- [26] 余林生, 邹运鼎, 毕守东, 巫厚长, 曹义锋. 安徽省蜜蜂种群消长及其分布与自然环境的关系. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1465-1468.
- [27] 余林生, 韩胜明. 栖息环境和种间竞争对中华蜜蜂群体分布的影响. 应用生态学报, 2003, 14(4): 553-556.
- [28] 何艳华, 闫明, 张钦弟, 张直峰, 苗艳明, 毕润成. 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局. 生态学报, 2013, 33(8): 2452-2462.
- [29] Hunter M L, Yonzon P. Altitudinal distributions of birds, mammals, people, forests, and parks in Nepal. *Conservation Biology*, 1993, 7(2): 420-423.
- [30] Qiao X J, Tang Z Y, Shen Z H, Fang J Y. What causes geographical variation in the species-area relationships? A test from forests in China. *Ecography*, 2012, 35(12): 1110-1116.
- [31] Stevens G C. The latitudinal gradient in geographical range: how so many species coexist in the tropics?. *The American Naturalist*, 1989, 133(2):

240-256.

- [32] Stevens G C. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of rapoport's latitudinal rule to altitude. *The American Naturalist*, 1992, 140(6): 893-911.
- [33] Wang Z H, Tang Z Y, Fang J Y. Altitudinal patterns of seed plant richness in the Gaoligong Mountains, south-east Tibet, China. *Diversity and Distributions*, 2007, 13(6): 845-854.
- [34] Kikkawa J, Williams E E. Altitudinal distribution of land birds in New Guinea. *Search*, 1971, 2: 64-69.
- [35] 何艳华, 闫明, 张钦弟, 张直峰, 苗艳明, 毕润成. 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局. *生态学报*, 2013, 33(8): 2452-2462.
- [36] 张跃, 雷开明, 张语克, 肖长林, 杨玉花, 孙鸿鸥, 李淑君. 植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例. *生态学报*, 2012, 32(13): 4228-4235.
- [37] 李义明, 许龙, 马勇, 杨敬元, 杨玉慧. 神农架自然保护区非飞行哺乳动物的物种丰富度: 沿海拔梯度的分布格局. *生物多样性*, 2003, 11(1): 1-9.
- [38] 郑智, 龚大洁, 孙呈祥, 李晓军, 李万江. 秦岭两栖、爬行动物物种多样性海拔分布格局及其解释. *生物多样性*, 2014, 22(5): 596-607.
- [39] 金慧, 赵莹, 赵伟, 尹航, 秦立武, 崔凯峰, 李晓杰, 黄祥童. 长白山牛皮杜鹃群落物种多样性的海拔梯度变化及相似性. *生态学报*, 2015, 35(1): 125-133.
- [40] 王长庭, 王启基, 龙瑞军, 景增春, 史惠兰. 高寒草甸群落植物多样性和初级生产力沿海拔梯度变化的研究. *植物生态学报*, 2004, 28(2): 240-245.
- [41] 赵振勇, 王让会, 尹传华, 张慧芝, 王雷. 天山南麓山前平原植物群落物种多样性及空间分异研究. *西北植物学报*, 2007, 27(4): 784-790.
- [42] 袁建英, 张金屯, 席跃翔. 山西关帝山亚高山灌丛、草甸物种多样性的研究. *草业学报*, 2004, 13(3): 34-39.
- [43] 潘红丽, 李迈和, 蔡小虎, 吴杰, 杜忠, 刘兴良. 海拔梯度上的植物生长与生理生态特性. *生态环境学报*, 2009, 18(2): 722-730.
- [44] 张承祚, 姚利忠, 李强, 李正跃, 宋家雄, 阮应珍. 云南不同海拔花椒园昆虫群落结构及动态. *应用生态学报*, 2006, 17(5): 915-919.
- [45] 王桂明, 周庆强, 钟文勤. 内蒙古典型草原 4 种常见小哺乳动物的营养生态位及相互关系. *生态学报*, 1996, 16(1): 71-76.
- [46] 杨维康, 刘伟, 黄怡, 乔洪海, 徐文轩, 夏参军, 林杰, 徐峰, Blank D. 古尔班通古特沙漠南缘大沙鼠的食性. *干旱区地理*, 2011, 34(6): 912-918.