

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.03.015

青藏高原东北坡蚂蚁物种的分布格局

陈超, 熊忠平, 徐正会*, 刘霞,
钱昱含, 祁彪, 钱怡顺, 郭宁妍

(西南林业大学生物多样性保护学院 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南昆明 650224)

摘要: [目的] 揭示青藏高原蚂蚁群落结构和分布规律。[方法] 采用样地调查法研究了青藏高原东北坡蚂蚁物种分布格局。[结果] 在该地区记录蚂蚁 2 亚科 13 属 30 种。气温、海拔、植被类型对蚂蚁物种的分布和丰富度起主要作用, 低海拔地带气温较高, 食物资源丰富, 栖息着更多的蚂蚁物种。草丛栖息的蚂蚁物种最丰富, 在土壤内筑巢和地表觅食的物种最多。光亮黑蚁 (*Formica candida* Smith) 是青藏高原东北坡分布最广泛、适应性最强的物种, 可作为该地区生态环境变化的指示物种。[结论] 大部分蚂蚁物种因受环境制约而分布范围较窄, 生态适应能力弱, 很容易因人为干扰而变得脆弱。虽然物种多样性偏低, 但是在该地区栖息的蚂蚁物种和其他地方相比有明显差异, 脆弱的生态系统中栖息着耐寒、耐干旱的物种, 对高海拔缺氧环境表现出良好适应性, 对高原生态系统土壤改良和植物种子扩散等具有重要作用。

关键词: 蚁科; 物种; 分布格局; 垂直带; 青藏高原

中图分类号: S763.43; Q969.554.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2022)03-0131-10

蚂蚁隶属于昆虫纲 (Insecta)、膜翅目 (Hymenoptera)、蚁科 (Formicidae), 目前全世界已记载 17 亚科、337 属、13 907 种^[1], 是地球陆地上分布最广、种类和数量最多的社会性昆虫^[2], 在生态系统中占有优势地位, 生态功能十分显著, 具有改良土壤、传播植物种子、控制害虫等功能^[3]。由于蚂蚁数量大、分布广、易于采集, 对生态环境变化敏感, 群落动态易于观察等特点, 对蚂蚁区系、多样性及分布格局的研究越来越多地受到人们关注。对蚂蚁物种分布格局的研究, 主要在云南哀牢山自然保护区^[4], 吉林西部草原^[5], 宁夏贺兰山^[6], 西藏东南部^[7-10]等地。相比之下, 地处青藏高原东北缘及邻近的甘肃中部以南地区的研究相对较少^[11]。

青藏高原是地球上海拔最高、面积最大、形成最晚的高原, 总面积约 2.53×10^6 km², 占中国领土面积的 26%。气候方面, 辐射强烈, 日照多, 气温低, 积温少, 气温随高度和纬度的升高而降

低, 气温日较差大; 干湿分明, 多夜雨; 冬季干冷漫长, 大风多; 夏季温凉多雨, 冰雹多。青藏高原的隆起对高原本身及其邻近地区的自然环境、生物多样性和人类活动产生了深刻影响^[12]。青藏高原是全球生物多样性研究的热点区域之一, 前人对该地区植物、兽类、昆虫的多样性及分布格局做了大量研究^[13-15], 但关于蚂蚁的研究非常稀少, 仅国外学者对青藏高原的蚂蚁分类做过有限报道^[16-17]。为全面揭示青藏高原蚂蚁多样性及其分布规律, 本项目研究了青藏高原东北坡海拔 1 119 m~4 759 m 范围的蚂蚁物种及其分布格局。

1 材料和方法

1.1 样地设置

从南向北依次在龙甲山垂直带、牛头碑垂直带、鄂拉山垭口垂直带、柳梢沟垭口垂直带、王家山垂直带 5 个垂直带上取样, 海拔每上升 250 m

收稿日期: 2021-10-29 修回日期: 2021-12-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31860615, 31860166, 31760633); 国家自然科学基金委员会应急管理项目子课题 (31750002)

* 通讯作者: 徐正会 (1962-), 男, 云南安宁人, 教授, 研究方向: 森林昆虫学、蚁类学, xuzhenghui1962@163.com

选取植被典型的 1 块 50 m × 50 m 的样地进行调查, 共调查 34 块样地。由于地形和植被条件的限

制, 选定典型样地时海拔会有一定偏差, 通常控制在 50 m 范围内, 各样地自然概况见表 1。

表 1 青藏高原东北坡蚂蚁群落调查样地概况

Table 1 Sample plot situation for ant community investigation on northeast slope of Qinghai-Tibet Plateau

样地编号 Sample numbers	样地地点 Sample site	海拔 Altitude/m	坡向 Slope direction	坡度 Slope gradient/(°)	土壤类型 Soil types	植被类型 Vegetation types	乔木郁闭度 Canopy density	盖度/% Coverage			地被物厚度 Litter thickness/cm
								灌木 Shrub	草本 Herb	地被物 Litter	
1	青海曲麻莱县龙甲山	4 759	SE	20	棕壤	草甸	0	0	85	85	0.5~1
2	青海曲麻莱县东风	4 497	E	30	棕壤	草甸	0	0	100	100	0.5~1
3	青海曲麻莱县巴干寺	4 236	SW	30	棕壤	草丛	0	0	90	90	1~2
4	青海曲麻莱县团结村	4 077	S	30	灰棕壤	草丛	0	0	95	95	1~2
5	青海玛多县牛头碑	4 536	S	30	黄沙壤	草甸	0	0	100	100	1~2
6	青海玛多县牛头碑南	4 281	S	10	黄棕壤	草丛	0	0	100	100	1~2
7	青海玛多县豆错	4 294	S	25	黄棕壤	草甸	0	0	80	80	0.5~1
8	青海兴海县姜路岭垭口	4 473	NE	30	棕壤	草甸	0	0	90	90	0.5~1
9	青海兴海县姜路岭垭口北	4 255	SE	25	黄壤	草甸	0	0	85	85	0.5~1
10	青海兴海县博荷沁	3 955	SE	30	黄沙壤	草丛	0	0	90	90	0.5~1
11	青海兴海县鄂拉山南	4 293	NW	25	黄棕壤	草丛	0	0	95	95	0.5~1
12	青海兴海县鄂拉山垭口	4 501	NW	10	灰棕壤	草甸	0	0	95	95	1~2
13	青海兴海县鄂拉山北	4 269	E	15	黄棕壤	草甸	0	0	85	85	0.5~1
14	青海兴海县五道河	4 040	SE	10	灰沙壤	草丛	0	0	90	95	0.5~1
15	青海兴海县清根河村	3 728	E	20	黄棕壤	草丛	0	0	95	95	0.5~1
16	青海兴海县河卡垭口南坡	3 791	E	30	棕壤	草丛	0	0	100	100	1~2
17	青海兴海县河卡垭口北坡	3 767	NW	25	棕壤	灌丛	0	80	100	100	1~2
18	青海兴海县恰让	3 568	SE	27	棕壤	草丛	0	0	95	95	0.5~1
19	青海兴海县果拉托勒	3 280	SE	15	黄沙壤	草丛	0	0	95	95	0.5~1
20	青海共和县下乙格日	3 045	NE	37	黄沙壤	草丛	0	0	90	95	0.5~1
21	青海共和县切吉陇哇	3 290	SE	20	黄沙壤	草丛	0	0	90	90	0.5~1
22	青海共和县柳梢沟垭口	3 571	SE	25	棕壤	草丛	0	0	95	95	0.5~1
23	青海湟源县日月山	3 234	E	30	棕壤	草丛	0	0	100	100	1~2
24	青海湟源县下和拉	3 008	NE	35	棕壤	草丛	0	10	100	100	2~3
25	青海湟源县榨油坊	2 741	NE	30	黄棕壤	杨树林	0.6	20	100	100	1~3
26	青海湟中县松林沟	2 537	SE	37	棕壤	灌丛	0.1	60	100	100	2~4
27	青海西宁市曹家沟	2 278	SE	30	黄沙壤	草丛	0	5	90	95	1~2
28	青海乐都县李家道沟	2 054	NE	45	黄沙壤	锦鸡儿灌丛	0	50	80	80	1~2
29	甘肃皋兰县大窑沟	1 739	W	35	黄沙壤	矮灌丛	0	70	80	80	1~2
30	甘肃靖远县阳洼沟	1 476	E	30	黄沙壤	灌丛	0	80	50	70	0.5~1
31	甘肃平川区王家山	1 786	S	15	黄沙壤	草丛	0	5	70	70	0.5~1
32	宁夏中宁县喊叫水	1 489	W	25	黄沙壤	碱蓬矮灌丛	0	40	30	40	0.5~1
33	宁夏中宁县双龙石窟	1 236	S	20	黄沙壤	落叶阔叶林	50	20	60	60	1~2
34	宁夏银川贺兰山农牧场	1 119	S	10	黄沙壤	落叶阔叶林	50	5	80	80	1~2

1.2 调查方法

2020 年 7—8 月在青藏高原东北坡采用样地调查法对样地内蚂蚁进行调查^[3]。在选定的样地内沿对角线选取 5 块面积为 1 m × 1 m 的样方, 样方间距 10 m。先在样方表面采集、统计地表活动的蚂

蚁; 然后调查土壤样, 挖掘深度为 20 cm, 采集、统计土壤内活动和筑巢的蚂蚁; 之后使用震落法对样方上方的树冠进行振动, 调查采集树冠上的蚂蚁。样方调查结束后, 对 50 m × 50 m 样地内各种微生境的蚂蚁进行搜索调查。用无水乙醇将所有标

本浸泡并保存于 2 mL 冻存管内,书写标签,带回实验室作室内研究。

1.3 标本的制作与鉴定

将野外采集的蚂蚁标本进行整理、归类、编号,将每号标本 9 头以内的个体制作成三角纸干制标本供鉴定使用,多于 9 头的个体制作成浸渍标本保存。依据国内外主要蚂蚁分类著作^[3, 18-20]对三角纸干制标本进行分类鉴定。

1.4 数据分析

运用采获频数法统计分析蚂蚁物种的水平分布、垂直分布、栖息生境、觅食和筑巢场所等分布格局特征^[3-4, 10]。

2 结果与分析

2.1 水平分布

在青藏高原东北坡 5 个垂直带、34 块样地内共观察到蚂蚁 23 800 头,经鉴定隶属于 2 亚科、13 属、30 种,其中切叶蚁亚科 (Myrmicinae) 共 8 属、15 种,蚁亚科 (Formicinae) 共 5 属、15 种,其中有 4 个待定种。在采获的 30 种蚂蚁中, 16 个

种分布于 6 个属中,红蚁属 (*Myrmica* Latreille) 和蚁属 (*Formica* Linnaeus) 是种类最多的属,各有 7 个种 (表 2)。

由表 2 看出, 5 个垂直带物种丰富度由高到低依次为: 柳梢沟垭口垂直带 (24 种) > 王家山垂直带 (14 种) > 鄂拉山垭口垂直带 (12 种) > 龙甲山垂直带 (4 种) > 牛头碑垂直带 (2 种)。30 个物种的水平分布广度由高到低依次为: 光亮黑蚁 (*Formica candida* Smith) 分布于 4 个垂直带; 红林蚁 (*Formica clara* Forel)、满斜结蚁 (*Plagiolepis manczshurica* Ruzsky)、黑毛蚁 (*Lasius niger* Linnaeus)、满凹头蚁 (*Formica manchu* Wheeler)、箭蚁待定种 (*Cataglyphis* sp.)、西藏盘腹蚁 (*Aphaenogaster tibetana* Donisthorpe) 和弯角红蚁 (*Myrmica lobicornis* Nylander) 分布于 3 个垂直带; 黄毛蚁 (*Lasius flavus* (Fabricius))、多色毛蚁 (*Lasius coloratus* Santschi) 等 9 种蚂蚁分布于 2 个垂直带; 吉市红蚁 (*Myrmica jessensis* Forel)、掘穴蚁 (*Formica cunicularia* Latreille) 等 13 种蚂蚁仅分布于 1 个垂直带。

表 2 青藏高原东北坡蚂蚁物种的水平分布

Table 2 Horizontal distribution of ant species from northeast slope of Qinghai-Tibet Plateau

物种名称 Species names	采获频数 Collecting frequency					垂直带合计 Vertical zone amount
	龙甲山垂直带 Longjiashan vertical zone	牛头碑垂直带 Niutoubei vertical zone	鄂拉山垭口垂直带 Elashan Pass vertical zone	柳梢沟垭口垂直带 Liushaogou Pass vertical zone	王家山垂直带 Wangjiashan vertical zone	
光亮黑蚁 <i>Formica candida</i> Smith	61	63	214	86	0	4
红林蚁 <i>Formica clara</i> Forel	0	0	18	2	31	3
满斜结蚁 <i>Plagiolepis manczshurica</i> Ruzsky	0	0	9	164	141	3
黑毛蚁 <i>Lasius niger</i> (Linnaeus)	0	0	2	77	72	3
满凹头蚁 <i>Formica manchu</i> Wheeler	0	0	15	65	2	3
箭蚁待定种 <i>Cataglyphis</i> sp.	0	1	45	36	0	3
西藏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster tibetana</i> Donisthorpe	2	0	1	0	5	3
弯角红蚁 <i>Myrmica lobicornis</i> Nylander	0	0	3	1	1	3
黄毛蚁 <i>Lasius flavus</i> (Fabricius)	0	0	0	61	26	2
多色毛蚁 <i>Lasius coloratus</i> Santschi	0	0	0	74	18	2

续表 2

物种名称 Species names	采集频数 Collecting frequency					垂直带合计 Vertical zone amount
	龙甲山垂直带 Longjiashan vertical zone	牛头碑垂直带 Niutoubei vertical zone	鄂拉山垭口垂直带 Elashan Pass vertical zone	柳梢沟垭口垂直带 Liushaogou Pass vertical zone	王家山垂直带 Wangjiashan vertical zone	
刀圆颚蚁 <i>Strongylognathus dao</i> Radchenko <i>et al.</i>	0	0	1	34	0	2
草地铺道蚁 <i>Tetramorium caespitum</i> (Linnaeus)	0	0	25	1	0	2
凹唇蚁 <i>Formica sanguinea</i> Latreille	0	0	0	69	7	2
喜马毛蚁 <i>Lasius himalayanus</i> Bingham	0	0	0	7	3	2
纵沟红蚁 <i>Myrmica sulcinodis</i> Nylander	0	0	0	28	36	2
红蚁待定种 <i>Myrmica</i> sp.	0	0	1	1	0	2
蒙古原蚁 <i>Proformica mongolica</i> (Emery)	0	0	0	4	7	2
吉市红蚁 <i>Myrmica jessensis</i> Forel	0	0	0	23	0	1
掘穴蚁 <i>Formica cunicularia</i> Latreille	0	0	0	13	0	1
中华红林蚁 <i>Formica sinensis</i> Wheeler	0	0	0	33	0	1
莱曼蚁 <i>Formica lemani</i> Bondroit	0	0	0	13	0	1
针毛收获蚁 <i>Messor aciculatus</i> (Smith)	0	0	0	6	0	1
艾箭蚁 <i>Cataglyphis aenescens</i> (Nylander)	0	0	0	9	0	1
切胸蚁待定种 <i>Temnothorax</i> sp.	0	0	1	0	0	1
科氏红蚁 <i>Myrmica kozlovi</i> Ruzsky	0	0	0	2	0	1
西藏红蚁 <i>Myrmica tibetana</i> Mayr	4	0	0	0	0	1
盘腹蚁待定种 <i>Aphaenogaster</i> sp.	0	0	0	4	0	1
贾氏火蚁 <i>Solenopsis jacoti</i> Wheeler	0	0	0	0	2	1
寇氏心结蚁 <i>Cardiocondyla</i> <i>koshewnikovi</i> Ruzsky	0	0	0	0	1	1
阿富汗红蚁 <i>Myrmica afghanica</i> Radchenko & Elmes	3	0	0	0	0	1
物种数 species number	4	2	12	24	14	—

2.2 垂直分布

在青藏高原东北坡海拔 1 119 ~ 4 759 m 范围内, 通过调查仅在 1 119 ~ 4 281 m 范围内

发现蚂蚁的垂直分布。在采集的 30 个物种中, 光亮黑蚁、红林蚁、艾箭蚁 (*Cataglyphis aenescens* (Nylander)) 等 5 个种垂直分布高差达 2 000 m

及以上,生态适应幅度达到宽阔水平;其中光亮黑蚁垂直分布海拔最高,达到4 250 m,且海拔高差也最大,达到2 250 m。西藏红蚁(*Myrmica tibetana* Mayr)和弯角红蚁垂直分布高差达1 500 m,生态适应幅度达到较宽水平;满斜结蚁、刀圆颚蚁(*Strongylognathus dao* Radchenko et al.)、切胸蚁待种(*Temnothorax* sp.)和针毛收获蚁(*Messor*

aciculatus (Smith))垂直分布高差1 000~1 250 m,生态适应幅度达到中等水平;凹唇蚁(*Formica sanguinea* Laterille)、箭蚁待种等6个种垂直分布高差500~750 m,生态适应幅度达到较窄水平;黄毛蚁、中华红林蚁(*Formica sinensis* Wheeler)等12个种垂直分布高差0~250 m,生态适应幅度达到狭窄水平(表3)。

表3 青藏高原东北坡蚂蚁物种的栖息生境和垂直分布

Table 3 Habitat and vertical distribution of ant species from northeast slope of Qinghai-Tibet Plateau

物种名称 Species names	各类生境中捕获频数 Collecting frequency						栖息 生境数 Habitat amount	海拔 范围 Altitude range/m	海拔 高差 Altitude difference /m	生态适应 幅度 Ecological adaptation range
	A	B	C	D	E	F				
光亮黑蚁 <i>Formica candida</i> Smith	0	0	412	2	1	9	4	2 000 ~ 4 250	2 250	宽阔
红林蚁 <i>Formica clara</i> Forel	31	0	18	0	0	2	3	1 000 ~ 3 000	2 000	宽阔
艾箭蚁 <i>Cataglyphis aenescens</i> (Nylander)	27	12	43	29	40	0	5	1 000 ~ 3 000	2 000	宽阔
草地铺道蚁 <i>Tetramorium caespitum</i> (Linnaeus)	47	43	78	99	47	0	5	1 000 ~ 3 000	2 000	宽阔
掘穴蚁 <i>Formica cunicularia</i> Latreille	5	0	1	0	0	0	2	1 000 ~ 3 000	2 000	宽阔
喜马拉雅蚁 <i>Lasius himalayanus</i> Bingham	2	0	48	16	2	14	5	1 000 ~ 3 000	2 000	宽阔
西藏红蚁 <i>Myrmica tibetana</i> Mayr	0	0	80	1	0	5	3	2 500 ~ 4 000	1 500	较宽
弯角红蚁 <i>Myrmica lobicornis</i> Nylander	0	1	4	0	0	0	2	1 500 ~ 3 000	1 500	较宽
满斜结蚁 <i>Plagiolepis manczshurica</i> Ruzsky	5	5	30	39	13	0	5	1 000 ~ 2 250	1 250	中等
刀圆颚蚁 <i>Strongylognathus dao</i> Radchenko et al.	2	0	2	6	0	0	3	1 000 ~ 2 250	1 250	中等
切胸蚁待种 <i>Temnothorax</i> sp.	0	14	31	35	7	0	4	1 500 ~ 2 500	1 000	中等
针毛收获蚁 <i>Messor aciculatus</i> (Smith)	1	26	15	3	19	0	5	1 250 ~ 2 250	1 000	中等
凹唇蚁 <i>Formica sanguinea</i> Laterille	0	0	20	3	0	0	2	2 500 ~ 3 250	750	较窄
红蚁待种 <i>Myrmica</i> sp.	0	0	1	1	0	0	2	2 500 ~ 3 250	750	较窄
吉市红蚁 <i>Myrmica jessensis</i> Forel	0	0	4	22	0	9	3	2 250 ~ 3 000	750	较窄
箭蚁待种 <i>Cataglyphis</i> sp.	0	0	47	28	1	0	3	1 500 ~ 2 250	750	较窄
满凹头蚁 <i>Formica manchu</i> Wheeler	0	0	26	0	0	0	1	3 000 ~ 3 500	500	较窄
蒙古原蚁 <i>Proformica mongolica</i> (Emery)	0	4	3	2	2	0	4	1 500 ~ 2 000	500	较窄
黄毛蚁 <i>Lasius flavus</i> (Fabricius)	0	0	0	3	0	3	2	2 500 ~ 2 750	250	狭窄
西藏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster tibetana</i> Donisthorpe	0	0	2	0	0	0	1	4 000	0	狭窄
阿富汗红蚁 <i>Myrmica afghanica</i> Radchenko & Elmes	0	0	3	0	0	0	1	4 000	0	狭窄
纵沟红蚁 <i>Myrmica sulcinodis</i> Nylander	0	0	33	0	0	0	1	3 000	0	狭窄

续表 3

物种名称 Species names	各类生境中捕获频数 Collecting frequency						栖息 生境数 Habitat amount	海拔 范围 Altitude range/m	海拔 高差 Altitude difference /m	生态适应 幅度 Ecological adaptation range
	A	B	C	D	E	F				
多色毛蚁 <i>Lasius coloratus</i> Santschi	0	0	1	0	0	0	1	3 000	0	狭窄
科氏红蚁 <i>Myrmica kozlovi</i> Ruzsky	0	0	0	0	0	13	1	2 750	0	狭窄
莱曼蚁 <i>Formica lemani</i> Bondroit	0	0	0	0	0	2	1	2 750	0	狭窄
中华红林蚁 <i>Formica sinensis</i> Wheeler	0	0	0	9	0	0	1	2 500	0	狭窄
盘腹蚁待定种 <i>Aphaenogaster</i> sp.	0	0	0	4	0	0	1	2 500	0	狭窄
黑毛蚁 <i>Lasius niger</i> (Linnaeus)	0	0	0	13	0	0	1	2 500	0	狭窄
贾氏火蚁 <i>Solenopsis jacoti</i> Wheeler	2	0	0	0	0	0	1	1 000	0	狭窄
寇氏心结蚁 <i>Cardiocondyla koshewnikovi</i> Ruzsky	1	0	0	0	0	0	1	1 000	0	狭窄
物种数 species number	10	7	22	18	9	8	—	—	—	—

注: A落叶阔叶林, B碱蓬矮灌丛, C草丛, D灌丛, E锦鸡儿灌丛, F杨树林。生态适应幅度依据物种垂直分布海拔高差划分: 海拔高差<500 m, 狭窄; 500 m≤海拔高差<1 000 m, 较窄; 1 000 m≤海拔高差<1 500 m, 中等; 1 500 m≤海拔高差<2 000 m, 较宽; 海拔高差≥2 000 m, 宽阔^[9]。
Note: Deciduous broadleaf forest (A), *Suaeda* low shrub (B), Herb (C), Shrub (D), *Caragana* shrub (E), *Populus* forest (F). Ecological adaptation range is divided based on vertical distribution difference of species: Altitude difference<500 m (narrow); 500 m≤Altitude difference<1 000 m (relatively narrow); 1 000 m≤Altitude difference<1 500 m (medium); 1 500 m≤Altitude difference<2 000 m (relatively wide); Altitude difference ≥ 2 000 m (wide)^[9].

2.3 栖息生境

在青藏高原东北坡 6 类生境中, 物种丰富度顺序依次为: 草丛 (22 种) > 灌丛 (18 种) > 落叶阔叶林 (10 种) > 锦鸡儿 (*Caragana*) 灌丛 (9 种) > 杨树林 (8 种) > 碱蓬 (*Suaeda*) 矮灌丛 (7 种)。在该地区采集的 30 个物种中, 艾箭蚁、草地铺道蚁 (*Tetramorium caespitum* (Linnaeus))、喜马毛蚁 (*Lasius himalayanus* Bingham)、满斜结蚁、针毛收获蚁均可栖息在 5 类生境中, 其中艾箭蚁和喜马毛蚁主要栖息于草丛中, 满斜结蚁和草地铺道蚁主要栖息于灌丛中, 针毛收获蚁主要栖息于碱蓬矮灌丛中; 光亮黑蚁、切胸蚁待定种、蒙古原蚁 (*Proformica mongolica* (Emery)) 均可栖息于 4 类生境中; 红林蚁、箭蚁待定种、吉市红蚁、刀圆颚蚁、西藏红蚁均可栖息于 3 类生境中; 凹唇蚁、黄毛蚁等 5 种蚂蚁均可栖息于 2 类生境中; 中华红林蚁、盘腹蚁待定种 (*Aphaenogaster* sp.) 等 12 种蚂蚁仅栖息于 1 类生境中, 且大多栖息于草丛和灌丛之中 (表 3)。

2.4 觅食场所

在青藏高原东北坡 9 类觅食场所中, 物种丰富度顺序依次为: 地表 (27 种) > 土壤内 (20 种) >

石下 (18 种) > 植物上 (13 种) > 灌丛下 (6 种) > 牛粪下 (4 种) > 朽木下 (2 种) > 地被内 (1 种) = 树根下 (1 种)。在 30 个物种之中, 草地铺道蚁的觅食场所最丰富, 可在 8 类场所中觅食; 艾箭蚁、红林蚁、光亮黑蚁、切胸蚁待定种、满斜结蚁可在 5 类场所中觅食; 箭蚁待定种、纵沟红蚁 (*Myrmica sulcinodis* Nylander) 等 4 种蚂蚁可在 4 类场所中觅食; 凹唇蚁、中华红林蚁、盘腹蚁待定种等 10 种蚂蚁可在 3 类场所中觅食; 刀圆颚蚁、贾氏火蚁 (*Solenopsis jacoti* Wheeler) 等 4 种蚂蚁可在 2 类场所中觅食; 莱曼蚁 (*Formica lemani* Bondroit)、黄毛蚁等 5 种蚂蚁仅在 1 类场所中觅食; 多色毛蚁的觅食场所暂未明确。多数蚂蚁物种仅在 1 ~ 3 类场所觅食, 少数物种可在多种生境中觅食 (表 4)。

2.5 筑巢场所

在青藏高原东北坡 10 类筑巢场所中, 物种丰富度顺序依次为: 土壤巢 (19 种) > 石下巢 (17 种) > 牛粪下巢 (5 种) > 地表巢 (4 种) > 朽木内巢 (3 种) = 地表碎屑巢 (3 种) > 朽木下巢 (2 种) > 树根下巢 (1 种) = 草根下巢 (1 种) = 地被下巢 (1 种)。红林蚁、光亮黑蚁、草地铺道

表4 青藏高原东北坡蚂蚁物种的觅食和筑巢场所

Table 4 Foraging places and nesting sites of ant species from northeast slope of Qinghai-Tibet Plateau

物种名称 Species names	各类觅食场所采获频数										合计 Total	各类筑巢场所采获频数										合计 Total
	Collecting frequency in various foraging places											Collecting frequency in various nesting sites										
	a	b	c	d	e	f	g	h	i			j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	
草地铺道蚁 <i>Tetramorium caespitum</i> (Linnaeus)	16	56	15	2	3	3	1	1	0	8	52	1	0	15	0	4	0	1	0	0	5	
艾箭蚁 <i>Cataglyphis aenescens</i> (Nylander)	72	25	2	4	1	0	0	0	0	5	42	0	0	2	0	2	1	0	0	0	4	
红林蚁 <i>Formica clara</i> Forel	16	7	6	7	0	0	2	0	0	5	5	2	0	4	0	1	1	0	0	0	5	
光亮黑蚁 <i>Formica candida</i> Smith	99	28	54	19	0	5	0	0	0	5	39	11	1	167	0	0	0	0	0	1	5	
切胸蚁待定种 <i>Temnothorax</i> sp.	56	19	1	0	2	1	0	0	0	5	6	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	
满斜结蚁 <i>Plagiolepis manczshurica</i> Ruzsky	48	27	4	1	0	0	0	0	1	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	
箭蚁待定种 <i>Cataglyphis</i> sp.	39	23	0	2	1	0	0	0	0	4	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
纵沟红蚁 <i>Myrmica sulcinodis</i> Nylander	6	3	7	4	0	0	0	0	0	4	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	
吉市红蚁 <i>Myrmica jessensis</i> Forel	14	7	3	1	0	0	0	0	0	4	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	2	
西藏红蚁 <i>Myrmica tibetana</i> Mayr	39	7	12	2	0	0	0	0	0	4	7	1	0	18	0	0	0	0	0	0	3	
凹唇蚁 <i>Formica sanguinea</i> Latreille	2	1	2	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	5	0	0	0	0	1	0	3	
中华红林蚁 <i>Formica sinensis</i> Wheeler	2	0	2	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	1	
盘腹蚁待定种 <i>Aphaenogaster</i> sp.	0	1	2	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
黑毛蚁 <i>Lasius niger</i> (Linnaeus)	3	2	4	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	
科氏红蚁 <i>Myrmica kozlovi</i> Ruzsky	3	2	2	0	0	0	0	0	0	3	1	0	3	2	0	0	0	0	0	0	3	
掘穴蚁 <i>Formica cunicularia</i> Latreille	2	1	0	1	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	
喜毛蚁 <i>Lasius himalayanus</i> Bingham	32	16	3	0	0	0	0	0	0	3	18	0	1	12	0	0	0	0	0	0	3	
针毛收获蚁 <i>Messor aciculatus</i> (Smith)	39	6	0	0	1	0	0	0	0	3	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
弯角红蚁 <i>Myrmica lobicornis</i> Nylander	2	0	1	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
满凹头蚁 <i>Formica manchu</i> Wheeler	6	0	1	2	0	0	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	16	0	2	
刀圆颚蚁 <i>Strongylognathus dao</i> Radchenko <i>et al.</i>	4	5	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
贾氏火蚁 <i>Solenopsis jacoti</i> Wheeler	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
红蚁待定种 <i>Myrmica</i> sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
蒙古原蚁 <i>Proformica mongolica</i> (Emery)	6	5	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
莱曼蚁 <i>Formica lemani</i> Bondroit	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	
黄毛蚁 <i>Lasius flavus</i> (Fabricius)	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	
寇氏心结蚁 <i>Cardiocondyla koshewnikovi</i> Ruzsky	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
西藏盘腹蚁 <i>Aphaenogaster tibetana</i> Donisthorpe	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	

续表 4

物种名称 Species names	各类觅食场所捕获频数										合计 Total	各类筑巢场所捕获频数										合计 Total
	Collecting frequency in various foraging places											Collecting frequency in various nesting sites										
	a	b	c	d	e	f	g	h	i			j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	
阿富汗红蚁 <i>Myrmica afghanica</i> Radchenko & Elmes	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
多色毛蚁 <i>Lasius coloratus</i> Santschi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
物种数 species number	27	20	18	13	6	4	2	1	1	—	19	5	3	17	1	4	2	1	3	1	—	

注：a地表觅食，b土壤内觅食，c石下觅食，d植物上觅食，e灌丛下觅食，f牛粪下觅食，g朽木下觅食，h地被内觅食，i树根下觅食；j土壤巢，k牛粪下巢，l朽木内巢，m石下巢，n树根下巢，o地表巢，p朽木下巢，q草根下巢，r地表碎屑巢，s地被下巢

Note: Forage on the ground (a), Forage in soil (b), Forage under stone (c), Forage on plant (d), Forage under herb (e), Forage under cow dung (f), Forage under deadwood (g), Forage in litter (h), Forage under tree root (i); Nest in soil (j), Nest under cow dung (k), Nest in deadwood (l), Nest under stone (m), Nest under tree root (n), Nest on ground (o), Nest under deadwood (p), Nest under grass root (q), Nest on surface debris (r), Nest under litter(s)

蚁 3 种蚂蚁的筑巢场所最丰富，可在 5 类场所筑巢；艾箭蚁可在 4 类场所筑巢；凹唇蚁、切胸蚁待种等 6 种蚂蚁可在 3 类场所筑巢；满斜结蚁、黑毛蚁等 6 种蚂蚁可在 2 类场所筑巢；中华红林蚁、箭蚁待种等 7 种蚂蚁仅在 1 类场所筑巢。另外盘腹蚁待种、贾氏火蚁等 7 种蚂蚁的筑巢场所尚不清楚（表 4）。

3 讨论

印度板块与欧亚板块的碰撞以及深层热隆扩展的联合作用形成了平均海拔高、面积广、变形强烈的青藏高原^[21-22]。青藏高原的强烈隆起开始于上新世末和早更新世初，这一时期青藏高原的气候显著变化，一些种类迁移到了环境较好的高原东南部避难所，更多的物种则在新的环境中强烈演化而出现新的性状或习性^[23]，从而形成了部分青藏高原特有种类，比如西藏盘腹蚁（*Aphaenogaster tibetana* Donisthorpe）。

在青藏高原东北坡 5 个垂直带共捕获蚂蚁 2 亚科 13 属 30 种，其中发现 4 个待种。辛明等^[24]报道宁夏地区蚁科昆虫 3 亚科 19 属 69 种，宋伶俐等^[25]在陕甘宁蒙沙漠地区采集到蚁科昆虫 3 亚科 14 属 41 种，与这些地区相比，青藏高原东北坡的蚂蚁种类明显偏少。宁夏地区海拔高差不如青藏高原明显，虽有六盘山、贺兰山等山脉，但其海拔明显较低，积温较高，分布有多样的植被类型，具有森林为主的生态系统，因此栖息着更丰富的蚂蚁物种。陕甘宁蒙沙漠地区地域范围广，加之海拔范围总体较低，也栖息着较多的蚂蚁物种。在该研究中，青藏高原东北坡除了宁夏和甘肃范围内的样

地海拔较低外，青海范围的样地海拔上升较快，积温过低，生境类型较少，主要以高山草甸和草丛为主（占样地总数的 73.5%），从而导致青藏高原东北坡蚂蚁种类相对较少。蚂蚁通常喜欢气温高、湿度适宜、阳光充足、食物资源丰富、酸性土壤的环境^[26]，植被可以调节小气候，改变了气温而直接影响蚂蚁的分布、代谢和觅食，是影响蚂蚁种群的重要因素之一^[27-28]。

从水平分布看，青藏高原东北坡柳梢沟垭口垂直带分布着 24 种蚂蚁，占所调查蚂蚁物种的 80%，而牛头碑垂直带仅分布 2 种蚂蚁，占所调查蚂蚁物种的 6.7%，从各个垂直带的海拔可以看出，牛头碑垂直带的海拔总体在 3 955 m 以上，而柳梢沟垭口垂直带最低点仅有 1 476 m，最高点 3 571 m。因为海拔较高、气温较低，在调查的所有样地中有 11 块样地（占 32.3%）未发现蚂蚁，12 块样地（占 35.3%）物种数目较贫乏均少于 5 种。并且有 24 块样地（占 70.6%）海拔高于 3 000 m，可见海拔高度和气温是制约蚂蚁物种分布的主要因素^[3,10]。海拔较低，生境气温上升，植物丰富度升高，食物资源增加的垂直带明显栖息着更多的蚂蚁种类和个体数量^[29]。

从垂直分布及生态适应幅度看，青藏高原东北坡蚂蚁群落中蚁亚科的适应性最强，其次是切叶蚁亚科。在同亚科同属的不同种之间，适应性存在明显差别，例如光亮黑蚁的海拔分布范围在 2 000 ~ 4 250 m 之间，海拔高差达 2 250 m，而满凹头蚁的海拔分布范围在 3 000 ~ 3 500 m 之间，海拔高差仅 500 m，莱曼蚁仅生活在 2 750 m 的海拔高度上。在本次调查中，海拔最高的样地达到了

4759 m, 但是样地海拔下降到 4 281 m 才发现了蚂蚁的分布(光亮黑蚁)。在徐正会等^[30]对西藏蚂蚁的研究中报道,光亮黑蚁的垂直分布达到 5 183 m, 是目前已知世界蚂蚁垂直分布的最高纪录。出现这种差异的原因主要和纬度有关,青藏高原东北坡纬度高于喜马拉雅地区,在相同的海拔高度上,纬度越低积温越高,所以在纬度较低的喜马拉雅山,光亮黑蚁的垂直分布海拔更高。

在青藏高原东北坡 6 类生境中,蚂蚁物种丰富度由高到低为草丛、灌丛、落叶阔叶林、锦鸡儿灌丛、杨树林、碱蓬矮灌丛。在低海拔地区,树种丰富的森林通常拥有最丰富的蚂蚁物种^[2],而在青藏高原东北坡缺乏高大乔木的草丛和灌丛却拥有更丰富的蚂蚁物种,可以看出高海拔地区与低海拔地区蚂蚁物种在生境选择上存在一定差异,与食物的获取相比,高海拔地区蚂蚁物种对热量获取的需求显得更为迫切,因此在没有高大乔木的草丛和灌丛生境中,地表附近的蚁巢更容易获取热量^[8]。

地表和土壤内是蚂蚁主要的觅食场所,因为地表是一个开阔且连贯的场所,土壤内孔穴众多且食物丰富;石下和植物上也是蚂蚁比较喜爱的觅食场所,因为石块是山地环境中牢固且稳定的场所,植物上栖息着蚜虫、介壳虫等分泌蜜露的昆虫,蜜露是蚂蚁喜欢的食物。蚁巢是蚂蚁生活和抚育后代的重要场所,对蚁群的发展壮大至关重要^[19]。青藏高原东北坡的蚂蚁以土壤内筑巢的物种最为丰富,其次是在石下筑巢。因为土壤和石下这两类微生境较为稳固,土壤具有良好的保温效果,在高原生境中石头具有良好的导热作用,有利于提高蚁巢的温度^[10]。在藏东南地区,多数蚂蚁物种首选在石下筑巢^[7-10,21],主要原因是藏东南地区生境更为丰富,针叶林和阔叶林分布较广,蚂蚁物种对筑巢场所的选择更为广泛;而青藏高原东北坡的环境大多以草丛、灌丛为主,缺少高大乔木的环境,所以蚂蚁在筑巢的选择上更趋向于安全稳定且食物充足的土壤内。蚂蚁对觅食与筑巢场所的选择具有差异性,对生境选择的优先顺序不同,食物差异与筑巢场所不同最大限度降低了生态位竞争,符合生态学的竞争平衡假说^[3],对不同生境、栖息与觅食场所的选择分化避免了种内和种间竞争,有利于蚁群的建立和发展。

4 结论

青藏高原的隆起,对包括蚂蚁在内的中国生物

多样性分布格局产生了巨大影响。青藏高原东北坡蚂蚁物种丰富度相对较低。随着海拔快速升高,气温急剧降低,银川至喊叫水一带虽然气温较高但是降水总体偏低,湿度不足,总体降低了蚂蚁物种多样性水平。虽然蚂蚁物种多样性偏低,但是在该地区栖息的物种与其他地方相比存在明显差异,脆弱生态系统中栖息着耐寒、耐干旱的物种,对高海拔缺氧环境表现出良好适应性,对高原生态系统土壤改良和植物扩散等具有重要作用。

参考文献:

- [1] Bolton B. An Online Catalog of the Ants of the World [EB/OL]. <http://www.antcat.org>, retrieved on October 27, 2021.
- [2] Hölldobler B, Wilson E O. The Ants [M]. Cambridge, USA: Belknap Press of Harvard University Press, 1990.
- [3] 徐正会. 西双版纳自然保护区蚁科昆虫生物多样性研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002.
- [4] 陈友, 罗长维, 徐正会. 哀牢山自然保护区西坡蚂蚁分布规律[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(7): 65-68.
- [5] 侯继华, 周道玮, 姜世成. 吉林西部草原地区蚂蚁种类及分布[J]. 生态学报, 2002, 22(10): 1781-1787.
- [6] 王继飞, 杨贵军, 王新谱, 等. 宁夏贺兰山蚂蚁及其生态分布研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(23): 11032-11035, 11055.
- [7] 刘霞, 徐正会, 于娜娜, 等. 藏东南德姆拉山西坡及波密河谷蚂蚁分布格局[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(4): 77-82.
- [8] 徐正会, 褚姣姣, 张成林, 等. 藏东南工布自然保护区的蚂蚁种类及分布格局[J]. 四川动物, 2011, 3(1): 118-123.
- [9] 于娜娜, 徐正会, 张成林, 等. 藏东南色季拉山蚂蚁物种的分布格局[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(5): 75-80.
- [10] 张成林, 徐正会, 于娜娜, 等. 藏东南德姆拉山东坡及察隅河谷蚂蚁物种的分布格局[J]. 东北林业大学学报, 2012, 4(3): 87-93.
- [11] 熊忠平, 钱昱含, 徐正会, 等. 祁连山国家公园青海片区蚂蚁物种的分布格局[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(11): 92-97, 14.
- [12] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [13] 张晓蕾, 董世魁, 郭贤达, 等. 青藏高原高寒草地植物多样性调查方法的比较[J]. 生态学杂志, 2015, 34(12): 3568-3574.
- [14] 黄薇, 夏霖, 杨奇森, 等. 青藏高原兽类分布格局及动物地理区划[J]. 兽类学报, 2008(4): 375-394.
- [15] 金倩, 阮倩倩, 陈芬, 等. 青藏高原地区不同环境条件下鳞翅目昆虫物种多样性与系统发育多样性的初步研究[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(1): 102-110.
- [16] Mayr G. Insecta in itinere Cl. Przewalskii in Asia centrali novissime lecta. 17. Formiciden aus Tibet[J]. Trudy Russkago Entomologicheskago Obshehestva, 1890, 24: 278-280.

- [17] Bingham C T. The Fauna of British India, Including Ceylon and Burma. Hymenoptera 2. Ants and Cuckoo-wasps [M]. London: Taylor and Francis, 1903.
- [18] Bolton B. Identification Guide to the Ant Genera of the World [M]. Cambridge, USA: Harvard University Press, 1994.
- [19] 吴 坚, 王常禄. 中国蚂蚁[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [20] 周善义. 广西蚂蚁[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 2001.
- [21] Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision[J]. Science, 1975, 189(4201): 419-426.
- [22] 崔军文. 岩石圈深层扩张与青藏高原隆升——岩石圈深层扩张模式初论[J]. 地质论评, 1994, 40 (2): 106-110.
- [23] 郑 度. 青藏高原形成环境与发展[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2003.
- [24] 辛 明, 马永林, 贺达汉. 宁夏蚊科昆虫区系研究[J]. 宁夏大学学报:自然科学版, 2011, 32 (4): 403-407 + 412.
- [25] 宋伶英, 贺达汉, 孙幸福. 陕甘宁蒙沙漠地区蚂蚁区系研究[J]. 农业科学研究, 2007, 28 (4): 4-6 + 11.
- [26] Nielsen M G. Respiratory rates of ants from different climatic areas[J]. Journal of Insect Physiology, 1986, 32: 125-131.
- [27] Jensen T F, Hoolm-Jensen I. Energetic cost of running in workers of three ant species, *Formica fusca* L. *Formica rufa* L. and *Camponotus herculeanus* L. (Hymenoptera, Formicidae)[J]. Journal of Comparative Physiology, 1980, 137: 151-156.
- [28] López F, Serrano J M, Acosta F J. Temperature - vegetation structure interaction: The effect on the activity of ant *Messor barbarous* (L.) [J]. Vegetation, 1992, 100: 119-128.
- [29] 魏 琮, 贺 虹, 刘铭汤, 等. 太白山蚂蚁垂直分布的研究[J]. 林业科学, 2001, 37 (3): 83-91.
- [30] 徐正会, 杨比伦, 刘 霞, 等. 西藏蚂蚁区系及物种多样性研究[J]. 西南林业大学学报:自然科学, 2021, 41 (1): 1-16.

Distribution Pattern of Ant Species on the Northeast Slope of Qinghai-Tibet Plateau

CHEN Chao, XIONG Zhong-ping, XU Zheng-hui, LIU Xia,
QIAN Yu-han, QI Biao, QIAN Yi-shun, GUO Ning-yan

(Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, College of Biodiversity Conservation, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: [Objective] To reveal community composition and distribution regularity of ants on Qinghai-Tibet Plateau, [Method] Distribution patterns of ant species on the northeast slope of Qinghai-Tibet Plateau were investigated through plot-sampling method. [Result] The result showed that a total of 30 ant species belonging to 2 subfamilies and 13 genera of Formicidae were recognized. Temperature, altitude, and vegetation types play major role in the distribution and richness of ant species. More ant species inhabited in the lower altitude zone with higher air temperature and richer food resources. Grass land had the richest ant species, and most ant species nested in the soil and foraged on the ground. *Formica candida* Smith had the strongest adaptability and the widest distribution range on the northeast slope of Qinghai-Tibet Plateau, and could be used as an indicator species for the ecological changes in the region. [Conclusion] It is concluded that most ant species have narrow distribution range and weak ecological adaptability in response to the environmental constraints, and easily become fragile due to human disturbance. Although the ant species diversity is lower, the ant species inhabiting in the region are significantly different from those of other places. Fragile ecosystem is inhabited by cold-tolerant and drought-tolerant ant species, which shows outstanding adaptability to the high-altitude oxygen-deficient environment and plays an important role in soil improvement, plant seeds dispersal, etc. in the plateau ecosystem.

Keywords: Formicidae; species; distribution pattern; vertical zone; Qinghai-Tibet Plateau

(责任编辑: 崔 贝)