



杨蕊, 熊忠平, 徐正会, 祁彪, 刘霞, 周雪英, 许国莲. 青藏高原西北坡蚂蚁物种的分布格局 [J]. 环境昆虫学报, 2025, 47 (1): 199–205. YANG Rui, XIONG Zhong-Ping, XU Zheng-Hui, QI Biao, LIU Xia, ZHOU Xue-Ying, XU Guo-Lian. Distribution patterns of ant species on northwest slope of Qinghai-Xizang Plateau [J]. Journal of Environmental Entomology, 2025, 47 (1): 199–205.

## 青藏高原西北坡蚂蚁物种的分布格局

杨蕊<sup>1</sup>, 熊忠平<sup>1</sup>, 徐正会<sup>1\*</sup>, 祁彪<sup>1,2</sup>, 刘霞<sup>1</sup>, 周雪英<sup>1</sup>, 许国莲<sup>1</sup>

(1. 西南林业大学林学院, 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 昆明 650224; 2. 广西壮族自治区国有东门林场, 广西扶绥 532108)

**摘要:** 本研究采用样地调查法研究了青藏高原西北坡从唐古拉山口海拔 5 243 m 至吐鲁番艾丁湖海拔 -154 m 垂直带上蚂蚁物种的分布格局。共记录蚁科 Formicidae 昆虫 2 亚科 12 属 26 种。艾箭蚁 *Cataglyphis aenescens* (Nylander)、红林蚁 *Formica clara* Forel、寇氏心结蚁 *Cardiocondyla koshewnikovi* Ruzsky 和草地铺道蚁 *Tetramorium caespitum* (Linnaeus) 这 4 个物种具有宽阔的垂直分布范围和生态适应幅度, 可作为监测青藏高原西北坡生态环境变化的指示物种; 其余蚂蚁物种的生态适应范围相对狭窄。杨树林中栖息的蚂蚁物种最丰富 (16 种); 大多数物种以地表觅食 (22 种) 和土壤筑巢 (21 种) 为主。结论认为, 蚂蚁物种的分布格局受海拔、气候和植被丰富度等因素的影响, 大多数蚂蚁物种对生境的依赖性很强, 一旦所依赖生境破坏或丧失, 很容易出现局部灭绝事件。建议应对青藏高原生态系统中不同海拔的植被类型及其蚂蚁多样性妥善保护, 以维持其水土涵养和生物多样性保护功能。尽管青藏高原西北坡蚂蚁物种多样性偏低, 但是该地区的物种与其他地区相比表现出良好的耐寒、耐旱能力, 对高原生态系统土壤改良和植物种子扩散等仍具有重要作用。

**关键词:** 蚁科; 水平分布; 垂直分布; 栖息生境; 觅食场所; 筑巢场所

中图分类号: Q968.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2025) 01-0199-07

### Distribution patterns of ant species on northwest slope of Qinghai-Xizang Plateau

YANG Rui<sup>1</sup>, XIONG Zhong-Ping<sup>1</sup>, XU Zheng-Hui<sup>1\*</sup>, QI Biao<sup>1,2</sup>, LIU Xia<sup>1</sup>, ZHOU Xue-Ying<sup>1</sup>, XU Guo-Lian<sup>1</sup>  
(1. Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Dongmen State-owned Forest Farm of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Fusui 532108, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China)

**Abstract:** In this study, the distribution patterns of ant species were investigated using plot-sampling method on the vertical zone from Tanggula Pass at an altitude of 5243 m to Aydingköl Lake of Turpan at -150 m on the northwest slope of Qinghai-Xizang Plateau. A total of 26 species belonging to 12 genera and 2 subfamilies of Formicidae were recorded. 4 species, *Cataglyphis aenescens* (Nylander), *Formica clara* Forel, *Cardiocondyla koshewnikovi* Ruzsky and *Tetramorium caespitum* (Linnaeus), had a wide vertical distribution range and ecological adaptability, which can be used as indicator species to monitor the ecological environment changes of the northwest slope of Qinghai-Xizang Plateau, while the range of ecological adaptation of other ant species was relatively narrow. Ant species in *Populus* forest were particularly diverse (16 species). Most species foraged on the ground (22 species) and nest in the soil (21 species). It was concluded that the distribution pattern of ant species was influenced by factors such as altitude, climate, and vegetation richness, and most ant species were highly habitat-dependent. The destroy

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

作者简介: 杨蕊, 女, 硕士, 研究方向为森林昆虫学, E-mail: 2598556004@qq.com

\*通讯作者 Author for correspondence: 徐正会, 男, 教授, 从事森林昆虫学和蚁类学研究, E-mail: xuzhenghui1962@163.com

收稿日期 Received: 2023-09-09; 修回日期 Revision received: 2024-04-12; 接受日期 Accepted: 2024-04-15

or disappearance of the habits they depend on will easily lead to their partial extinction. Therefore, the different vegetation types and ant diversity at different altitudes in the Qinghai-Xizang Plateau ecosystem should be well-protected to maintain its water, soil and biodiversity conservation functions. Although the species diversity of ants on the northwest slope of Qinghai-Xizang Plateau was low, the species in this area showed good cold and drought resistance compared with other areas, which played an important role in soil improvement and plant seed dispersal in plateau ecosystem.

**Key words:** Formicidae; horizontal distribution; vertical distribution; habitat; forage place; nesting site

蚂蚁隶属于昆虫纲 Insecta 膜翅目 Hymenoptera 蚁科 Formicidae, 是与人类关系最密切的昆虫之一, 全球已知蚁科昆虫 16 亚科 346 属 14 143 种 (Bolton, 2023)。蚂蚁具有生物量大、分布广泛、对环境变化敏感等特点, 常被作为关键类群进行研究 (Andersen, 1990)。蚂蚁生态功能显著, 可以改良土壤、传播植物种子 (徐正会, 2002), 还与植物和其他昆虫具有互利关系 (王亮等, 2020)。青藏高原是世界上海拔最高的高原, 被称为地球第三极, 无数的高山、湖泊、峡谷、荒原形成了丰富的生态资源, 是我国乃至亚洲的生态安全屏障。前人对青藏高原蚂蚁的研究集中于分类学方面 (Mayr, 1889; Ruzsky, 1915; Eidmann, 1941; 唐觉和李参, 1982)。近年来相继报道了青藏高原西北坡 (钱怡顺等, 2023)、西南坡 (李彪等, 2022) 蚂蚁物种多样性, 以及东北坡 (陈超等, 2022)、西南坡 (李彪等, 2022) 蚂蚁物种的分布格局, 为本研究提供了重要参考。青藏高原西北坡包括了唐古拉山、风火山、可可西里、昆仑山、柴达木盆地、当金山、敦煌绿洲、定西干旱极干旱区域、哈密绿洲及戈壁滩、吐鲁番盆地等众多的生态系统, 从寒冷至炎热、从潮湿至干旱的复杂气候条件。从唐古拉山口海拔 5 243 m 至吐鲁番艾丁湖海拔 -154 m 的垂直带上栖息着多少蚂蚁物种, 海拔和植被的变化对蚂蚁物种的分布产生了怎样的影响? 为了回答这一科学问题, 采用样地调查法 (徐正会等, 1999; 徐正会, 2002) 研究了青藏高原西北坡蚂蚁物种的分布格局, 以期保护高寒和干旱生态系统生物多样性和巩固西北生态安全屏障提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 样地设置

由南向北依次在青藏高原西北坡的唐古拉山 (样地 1~4)、风火山 (样地 5~10)、昆仑山 (样地

11~20)、当金山南坡 (样地 21~26)、当金山北坡 (样地 27~38)、柳园 (样地 39~42)、哈密 (样地 43~56) 7 个垂直带上设置样地。在各个垂直带上, 从海拔最低点开始, 海拔每上升 250 m (允许上下浮动 50 m) 选取 1 块 50 m × 50 m 的样地进行调查, 共调查 56 块样地。各样地概况详见网络版增强出版材料附表 4。

### 1.2 调查方法

采用样地调查法对青藏高原西北坡 7 个垂直带的蚂蚁群落进行调查。首先在选定样地内, 沿对角线选取 5 个 1 m × 1 m 的样方做样方调查, 样方间距 10 m, 在划好边界的样方内先调查采集地表的蚂蚁, 书写标签, 保存于盛有无水乙醇的 2 mL 冻存管内; 发现蚁巢时铲入塑料方盘内统计数量, 采集 30 头个体作为标本, 同巢个体单独装入 1 个冻存管, 其余个体放生。然后调查土壤样, 用手镐挖土至 20 cm 深度, 捣碎土块, 采集零散蚂蚁个体, 发现蚁巢时先统计数量再采集标本。最后用 1 块 2 m × 2 m 的白色幕布平置于样方之上, 振落周围灌木和乔木树冠上的蚂蚁, 采集标本。样方调查结束之后, 采用搜索调查法 (徐正会等, 2011) 在样地内进行搜索调查, 4 人调查 1 h, 调查采集植物上、朽木内、朽木下、牛粪下、苔藓内、地被物内、地表、石下、土壤内各种微生境中觅食和筑巢的蚂蚁, 采集标本; 发现蚁巢时采集 30 头个体作为标本, 其余放生。样地调查结束后, 对样地概况进行拍照、作记录, 将标本带回实验室进行室内研究。

### 1.3 标本的制作与鉴定

在实验室内, 用无水乙醇对野外采集的标本进行清洗, 按照形态种进行归类、编号、登记。将每号标本 9 头以内个体制作成三角纸干制标本供鉴定使用, 其余个体用无水乙醇制作成浸渍标本。依据蚂蚁分类学著作 (Bingham, 1903; Bolton, 1994; 唐觉等, 1995; 吴坚和王常禄, 1995; 徐正会, 2002; 徐正会等, 2022) 和蚂蚁研究网站

(AntWeb, 2023; AntWiki, 2023; Bolton, 2023) 对每号蚂蚁标本逐一进行鉴定, 尽可能鉴定到种。

#### 1.4 数据分析

运用采获频数法(徐正会, 2002; 徐正会等, 2011) 统计分析青藏高原西北坡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。生态适应幅度依据蚂蚁物种的垂直分布海拔高差(AD)划分: AD<500 m, 狭窄; 500 m≤AD<1 000 m, 较窄; 1 000 m≤AD<1 500 m, 中等; 1 500 m≤AD<2 000 m, 较宽; AD≥2 000 m, 宽阔(于娜娜等, 2011)。

## 2 结果与分析

### 2.1 水平分布

水平分布是指从空中观察地面, 蚂蚁物种在青藏高原西北坡从南到北依次出现的唐古拉山、风火山、昆仑山、当金山南坡、当金山北坡、柳园、哈密7个地理单元中的分布情况。在青藏高原西北坡7个垂直带中共观察到蚂蚁29 012头, 经鉴定隶属于2亚科12属26种, 其中包含23个已知种和3个待定种。7个垂直带的蚂蚁物种丰富度由高到低依次为: 当金山北坡垂直带(17种)>哈密垂直带(16种)>柳园垂直带(13种)>当金山南坡垂直带(5种)>昆仑山垂直带(4种), 唐古拉山垂直带和风火山垂直带未发现蚂蚁。26个物种的水平分布广度由高到低依次为: 艾箭蚁 *Cataglyphis aenescens* (Nylander) 分布于5个垂直带; 红林蚁 *Formica clara* Forel、蒙古原蚁 *Proformica mongolica* (Emery) 分布于4个垂直带; 寇氏心结蚁 *Cardiocondyla koshewnikovi* Ruzsky、掘穴蚁 *Formica cunicularia* Latreille 等6种蚂蚁分布于3个垂直带; 光亮黑蚁 *Formica candida* Smith、突厥弓背蚁 *Camponotus turkestanicus* Emery 等7种蚂蚁分布于2个垂直带; 多色毛蚁 *Lasius coloratus* Santschi、喜马毛蚁 *Lasius himalayanus* Bingham 等10种蚂蚁仅分布于1个垂直带(详见网络版增强出版材料附表1)。

### 2.2 垂直分布

调查发现, 青藏高原西北坡的蚂蚁分布于海拔-154~3 542 m范围, 3 542 m以上至5 243 m范围未发现蚂蚁的分布。在采获的26个物种之中, 艾箭蚁、红林蚁、寇氏心结蚁等6种蚂蚁的垂直分布高差超过2 000 m, 生态适应幅度达到宽阔水平;

掘穴蚁、贾氏火蚁 *Solenopsis jacoti* Wheeler、亚齿举腹蚁 *Crematogaster subdentata* Mayr 等4种垂直分布高差在1 500~1 733 m之间, 生态适应幅度为较宽水平; 长柄心结蚁 *Cardiocondyla elegans* Emery、针毛收获蚁 *Messor aciculatus* (Smith)、收获蚁待定种1 *Messor* sp.1 等6种蚂蚁垂直分布高差在500~987 m之间, 生态适应幅度处于较窄水平; 光亮黑蚁、阿禄斜结蚁 *Plagiolepis alluaudi* Emery、喜马毛蚁等10种蚂蚁垂直分布高差在0~489 m之间, 生态适应幅度处于狭窄水平(详见网络版增强出版材料附表2)。

### 2.3 栖息生境

在青藏高原西北坡12类生境中, 物种丰富度顺序依次为: 杨树林(16种)>落叶阔叶林(14种)>灌丛(12种)>桤柳灌丛(10种)>疏灌丛(9种)>落叶阔叶林片段(6种)>枸杞林(3种)=沙漠疏灌丛(3种)=戈壁滩疏灌丛(3种)>戈壁滩(2种)>芦苇灌丛(1种)=草丛(1种)。在采获的26种蚂蚁中, 艾箭蚁可栖息于11种生境, 其生境多样性最丰富; 草地铺道蚁 *Tetramorium caespitum* (Linnaeus)、亚齿举腹蚁可栖息于6种生境, 位于第二; 红林蚁、蒙古原蚁、收获蚁待定种1可栖息于5种生境, 位居第三; 满斜结蚁 *Plagiolepis manczshurica* Ruzsky、掘穴蚁、贾氏火蚁、铺道蚁待定种1 *Tetramorium* sp.1 可栖息于4种生境, 位于第四; 长柄心结蚁、西藏心结蚁 *Cardiocondyla tibetana* Seifert、光亮黑蚁可栖息于3种生境, 位居第五; 寇氏心结蚁、针毛收获蚁、工匠收获蚁 *Messor structor* (Latreille)、诺斯铺道蚁 *Tetramorium nursei* Bingham 可栖息于2种生境, 位于第六; 阿禄斜结蚁、喜马毛蚁、多色毛蚁等9种蚂蚁仅栖息于1种生境, 位居第七(详见网络版增强出版材料附表2)。

### 2.4 觅食场所

在青藏高原西北坡7类觅食场所中, 物种丰富度顺序依次为: 地表(23种)>土壤内(19种)>植物上(12种)>石下(6种)>灌丛下(3种)>地被物下(2种)=朽木内(2种)。在采获的26种蚂蚁中, 光亮黑蚁可在6类场所中觅食, 觅食场所最丰富; 蒙古原蚁、亚齿举腹蚁可在5类场所中觅食, 位居第二; 艾箭蚁、红林蚁、满斜结蚁等5种可在4类场所中觅食, 位居第三; 长柄心结蚁、工匠收获蚁、诺斯铺道蚁可在3类场所中觅食, 位居第四; 西藏心结蚁、寇氏心结蚁、突厥弓背蚁等



6种可在2类场所中觅食, 位居第五; 喜马毛蚁、贾氏火蚁、铺道蚁待种1等8种仅在1类场所中觅食, 位居第六(详见网络版增强出版材料附表3)。

### 2.5 筑巢场所

在青藏高原西北坡8类筑巢场所中, 物种丰富度顺序依次为: 土壤巢(21种) > 石下巢(13种) > 地表巢(7种) > 朽木下巢(4种) > 地表碎屑巢(2种) > 朽木内巢(1种) = 牛粪下巢(1种) = 草根下巢(1种)。在采集的26种蚂蚁中, 艾箭蚁可在5类场所中筑巢, 筑巢场所最丰富; 亚齿举腹蚁、红林蚁、掘穴蚁可在4类场所中筑巢, 位居第二; 光亮黑蚁、蒙古原蚁、满斜结蚁、草地铺道蚁可在3类场所中筑巢, 位居第三; 工匠收获蚁、寇氏心结蚁、多色毛蚁等6种可在2类场所中觅食, 位居第四; 长柄心结蚁、西藏心结蚁、突厥弓背蚁等9种仅在1类场所筑巢, 位居第五。此外, 诺斯铺道蚁、箭蚁待种1、侧扁弓背蚁的筑巢场所在本研究中暂未查明, 有待在后续研究中进一步调查完善(详见网络版增强出版材料附表3)。

## 3 结论与讨论

### 3.1 讨论

气候变化对昆虫的生长发育和种群动态具有显著影响(董兆克和戈峰, 2011), 其中温度直接影响了昆虫的生存和繁殖能力(蒋丰泽等, 2015)。平均海拔4 000 m以上的青藏高原具有特殊的高寒气候特征, 高原腹地年平均温度在0°C以下, 最暖月平均温度也不足10°C(杨勤业, 1995)。在青藏高原西北坡发现蚁科昆虫2亚科12属26种, 属种的丰富度稍低于青藏高原东北坡(2亚科13属30种)(陈超等, 2022), 但高于青藏高原西南坡(2亚科8属15种)(李彪等, 2022), 西北、西南、东北3个坡面的蚂蚁物种均隶属于蚁亚科Formicinae和切叶蚁亚科Myrmicinae, 说明这2个亚科的蚂蚁对青藏高原高寒气候具有良好的适应性。青藏高原西北坡蚂蚁物种丰富度处于较低水平, 低于藏东南地区的德姆拉山东坡和察隅河谷(5亚科22属47种)(张成林等, 2012)、嘎隆拉山和墨脱河谷(8亚科45属96种)(刘霞等, 2017), 但是高于喜马拉雅山的普兰段和吉隆段(3亚科9属15种)(张翔等, 2018)、底雅段和札

达段(2亚科5属7种)(刘霞等, 2020)以及错那段(2亚科5属7种)(刘霞等, 2021)。可见, 青藏高原西北坡蚂蚁物种丰富度偏低与青藏高原纬度偏北、海拔过高、温度过低有关。

从水平分布看, 唐古拉山垂直带和风火山垂直带最低海拔在4 607 m以上, 均未发现蚂蚁; 昆仑山垂直带最低海拔2 693 m, 发现4种蚂蚁; 当金山南坡垂直带最低海拔2 693 m, 发现5种蚂蚁; 当金山北坡垂直带最低海拔1 002 m, 发现17种蚂蚁; 柳园垂直带最低海拔1 002 m, 发现13种蚂蚁; 哈密垂直带最低海拔-150 m, 发现16种蚂蚁。蚂蚁物种的水平分布总体呈现出随着各垂直带的海拔降低, 温度逐渐升高, 植被类型从高山草甸逐渐过度到草丛、灌丛、阔叶林, 蚂蚁的食物资源和栖息环境得到改善, 蚂蚁物种丰富度得到提高。进一步分析发现, 虽然柳园垂直带和哈密垂直带的海拔更低, 温度更高, 但是因为地处内陆干旱和极干旱地区, 主要的生境类型是戈壁和沙漠, 过低的湿度降低了蚂蚁物种的丰富度(钱怡顺等, 2023)。此外, 在完全被沙漠包围的敦煌市月牙泉海拔1 145 m落叶阔叶林片段样地中, 竟然发现了草地铺道蚁、贾氏火蚁、满斜结蚁、艾箭蚁、红林蚁、掘穴蚁6个物种, 仅靠爬行蚂蚁很难跨越没有任何植被的长距离沙漠, 显然这些蚂蚁物种是通过植造树木和草地人为带入, 或者是通过大风将其有翅繁殖蚁从附近的植被中吹入月牙泉绿地, 然后繁殖出相对孤立的蚂蚁群落。

从生态适应幅度看, 光亮黑蚁是青藏高原东北坡生态适应幅度最宽的物种(垂直分布高差2 250 m)(陈超等, 2022), 安宁弓背蚁 *Camponotus anningensis* Wu & Wang 是青藏高原西南坡生态适应幅度最宽的物种(垂直分布高差1 497 m)(李彪等, 2022), 草地铺道蚁是新疆天山东部及邻近地区生态适应幅度最宽的物种(垂直分布高差2 763 m)(翟奖等, 2021)。从垂直分布来看, 艾箭蚁是青藏高原西北坡分布海拔范围最宽(-150~3 297 m), 垂直高差最大(3 447 m), 生态适应幅度最宽的物种。可见同一区域的不同坡面, 由于生态环境的显著差异, 蚂蚁群落中生态适应幅度最宽的物种大不相同。在青藏高原西北坡, 生态适应幅度宽阔的物种还有红林蚁、寇氏心结蚁、草地铺道蚁, 它们的垂直分布范围在海拔13~3 265 m之间, 其垂直分布几乎跨越了该区域有蚂

蚁分布的海拔范围, 可以和艾箭蚁一起作为监测环境变化的指示物种。与生态适应幅度宽阔的物种相比, 另一些物种的生态适应幅度特别狭窄, 垂直分布的海拔高差在500 m以内, 这样的物种多达10个, 占物种总数(26种)的38.5%, 其中有8个物种仅在1个海拔高度上分布, 表现出脆弱性, 这些物种很容易因为环境的改变而出现局部灭绝的风险。此外, 从垂直分布看出, 不同的蚂蚁物种已经表现出明显的垂直生态位分化现象。光亮黑蚁是典型的高海拔分布种(海拔范围2 776~3 265 m), 喜毛蚁、多色毛蚁、箭蚁待种1分布在海拔2 000 m以上区域, 也属于高海拔分布种; 相反, 长柄心结蚁、工匠收获蚁、阿禄斜结蚁、突厥弓背蚁、侧扁弓背蚁、拟凶铺道蚁、吉市红蚁等物种表现为低海拔分布种, 它们分布于海拔1 000 m及以下区域。其余物种的垂直分布海拔范围则不尽相同, 表现为中高海拔分布种、中低海拔分布种或中海拔分布种。

从栖息生境来看, 草丛是青藏高原东北坡蚂蚁物种最丰富的生境(22种)(陈超等, 2022), 高山栎 *Quercus semicarpifolia* Smith 林和锦鸡儿 *Caragana sinica* (Buc'hoz) Rehd. 灌丛是青藏高原西南坡蚂蚁物种最丰富的生境(均为10种)(李彪等, 2022), 中山阔叶林是喜马拉雅山珠峰段蚂蚁物种最丰富的生境(11种)(李文琼等, 2017), 高山栎林是藏东南德姆拉山西坡及波密河物种最丰富的生境(12种)(刘霞等, 2012), 而沟谷雨林是藏东南嘎隆拉山及墨脱河谷物种最丰富的生境(73种)(刘霞等, 2016)。青藏高原西北坡地理跨度及海拔落差巨大, 存在着丰富的植被类型, 在多种植被类型中, 以低海拔、有水源的绿洲周围的杨树林蚂蚁物种最丰富(16种), 可见青藏高原不同区域蚂蚁物种最丰富的生境很不相同。与上述区域的天然植被不同, 杨树林通常是人工林, 容易受到人为干扰, 生态系统很不稳定; 然而在这样的生境中却栖息着最丰富的物种, 说明水源供给和湿度在青藏高原西北坡中低海拔区域成为制约蚂蚁物种分布的主导因素, 干旱和缺水是导致该区域蚂蚁丰富度和多样性偏低的主因, 比如哈密垂直带50~52号样地的伊州区西戈壁、伊州区龙须滩和鄯善县红方台的生境均为戈壁滩, 由于湿度过低寸草不生, 均未发现蚂蚁分布; 哈密垂直带海拔最低的56号样地高昌区艾丁湖仅发

现艾箭蚁1种蚂蚁, 由于温度过高、湿度过低, 艾箭蚁在高温的盐碱地表要么飞速疾行, 根本看不清踪影, 要么躲到草丛之下, 以躲避高温和干旱的胁迫。

从觅食和筑巢场所看, 青藏高原东北坡(陈超等, 2022)、青藏高原西南坡(李彪等, 2022)、藏东南德姆拉山西坡及波密河谷(刘霞等, 2012)、藏东南嘎隆拉山及墨脱河谷(刘霞等, 2016)、喜马拉雅山珠峰段(李文琼等, 2017)的蚂蚁物种均以地表觅食为主。青藏高原西北坡的蚂蚁物种同样以地表觅食为主(22种), 与上述区域不同的是该区域在植物上觅食的蚂蚁物种(12种)所占比例更高, 达到46.2%, 稍高于青藏高原西北坡(43.3%)(陈超等, 2022), 显著高于其他区域在植物上觅食的物种比例(11.1%~34.4%)(刘霞等, 2012, 2016; 李文琼等, 2017; 李彪等, 2022), 说明在青藏高原西北坡由于干旱和缺水原因, 有更多的蚂蚁物种会前往植物上, 尤其是树木上获取植物分泌的蜜露和汁液或昆虫分泌的蜜露, 以补充必需的水分。另一个有趣的现象是在青藏高原西北坡多风和风速过大的灌丛、草丛中, 为了防止被大风吹飞, 蚂蚁个体会在风大时快速躲入灌丛或草丛中, 静待风速降低时快速越过光秃的沙地或戈壁, 以确保安全觅食并顺利返回蚁巢。从筑巢场所看, 高海拔区域的蚂蚁以石下筑巢为主, 比如藏东南工布自然保护区(徐正会等, 2011)、藏东南德姆拉山西坡及波密河谷(刘霞等, 2012)和喜马拉雅山珠峰段(李文琼等, 2017), 而低海拔区域以土壤内筑巢为主, 比如滇西南地区(郭宁妍等, 2022)、云南文山国家级自然保护区(崔文夏等, 2023)、云南元阳梯田森林生态系统(杨蕊等, 2022)等。青藏高原西北坡因为栖息于高海拔区段的蚂蚁物种相对较少, 而栖息于中低海拔区段的物种较多, 所以总体来看以土壤内筑巢的物种为主, 石下筑巢的物种位列第二。

### 3.2 结论

青藏高原西北坡杨树林中栖息的蚂蚁物种最丰富(16种), 艾箭蚁、红林蚁、寇氏心结蚁和草地铺道蚁这4个物种具有宽阔的垂直分布范围和生态适应幅度, 可作为监测青藏高原西北坡生态环境变化的指示物种。大多数蚂蚁物种的生态适应范围狭窄并表现出脆弱性, 大多数物种以地表觅

食 (22 种) 和土壤筑巢 (21 种) 为主。结论认为, 蚂蚁物种的分布格局受海拔、气候和植被丰富度等因素的影响, 大多数蚂蚁物种对生境的依赖性很强, 一旦所依赖生境破坏或丧失, 很容易出现局部灭绝事件。建议应对青藏高原生态系统中不同海拔的植被类型及其蚂蚁多样性妥善保护, 以维持其水土涵养和生物多样性保护功能。尽管青藏高原西北坡蚂蚁物种多样性偏低, 但是该地区的物种与其他地区相比, 表现出良好的耐寒、耐旱能力, 对高原生态系统土壤改良和植物种子扩散等仍具有重要作用。

### 参考文献 (References)

- Andersen AN. The use of ant communities to evaluate change in Australian terrestrial ecosystems: A review and a recipe [J]. *Proceeding of Ecological Society of Australia*, 1990, 16: 347–357.
- AntCat. An Online Catalog of the Ants of the World by Barry Bolton [EB/OL]. (2023) [2023–09–19]. <https://www.antcat.org/>, retrieved on 19 September 2023.
- AntWeb. AntWeb, California Academy of Sciences, San Francisco, California, USA [EB/OL]. (2023) [2023–07–17]. <http://www.antweb.org/>, retrieved on 17 July 2023.
- AntWiki. Antwiki provides a wealth of information on the world's ants [EB/OL]. (2023) [2023–07–17]. <http://www.antwiki.org/>, retrieved on 17 July 2023.
- Bingham CT. The Fauna of British India, including Ceylon and Burma. Hymenoptera, Vol. II. Ants and Cuckoo-wasps [M]. London: Taylor and Francis, 1903.
- Bolton B. Identification Guide to the Ant Genera of the World [M]. Cambridge, USA: Harvard University Press, 1994.
- Chen C, Xiong ZP, Xu ZH, et al. Distribution pattern of ant species on the northeast slope of Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Forest Research*, 35 (3): 131–140. [陈超, 熊忠平, 徐正会, 等. 青藏高原东北坡蚂蚁物种的分布格局 [J]. 林业科学研究, 2022, 35 (3): 131–140]
- Cui WX, Fang H, Xu ZH, et al. Ant species diversity and distribution patterns in Wenshan National Nature Reserve [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2023, 43 (1): 103–112. [崔文夏, 房华, 徐正会, 等. 文山国家级自然保护区蚂蚁多样性与分布格局 [J]. 森林与环境学报, 2023, 43 (1): 103–112]
- Dong ZK, Ge F. The impact of temperature rise on the occurrence and development of insects [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2011, 48 (5): 27–34. [董兆克, 戈峰. 温度升高对昆虫发生发展的影响 [J]. 应用昆虫学报, 2011, 48 (5): 27–34]
- Eidmann H. Zur Ökologie und Zoogeographie der Ameisenfauna von Westchina und Tibet. Wissenschaftliche Ergebnisse der 2. Brooke Dolan-Expedition 1934–1935 [J]. *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere*, 1941, 38: 1–43.
- Guo NY, Qian YH, Xu ZH, et al. Distribution patterns of ant species in southwestern Yunnan [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2022, 37 (1): 10–23. [郭宁妍, 钱昱含, 徐正会, 等. 滇西南地区蚂蚁物种分布格局研究 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2022, 37 (1): 10–23]
- Jiang FZ, Zheng LY, Guo JX, et al. Effects of temperature stress on insect fertility and its physiological and biochemical mechanisms [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 653–663. [蒋丰泽, 郑灵燕, 郭技星, 等. 温度对昆虫繁殖力的影响及其生理生化机制 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (3): 653–663]
- Li B, Xiong ZP, Xu ZH, et al. Ant species diversity of upper Yarlung Zangbo Valley and southwest slope of Qinghai-Tibet Plateau, China [J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2022, 51 (2): 267–274. [李彪, 熊忠平, 徐正会, 等. 雅鲁藏布河谷上游及青藏高原西南坡蚂蚁物种多样性 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2022, 51 (2): 267–274]
- Li B, Xiong ZP, Xu ZH, et al. Distribution patterns of ant species from upper Yarlung Zangbo Valley and southwest slope of Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2022, 39 (3): 590–597. [李彪, 熊忠平, 徐正会, 等. 雅鲁藏布河谷上游及青藏高原西南坡蚂蚁物种的分布格局 [J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39 (3): 590–597]
- Li WQ, Xu ZH, Zhou XY, et al. Distribution patterns of ant species from Mount Everest section of Mt. Himalaya [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (5): 1054–1062. [李文琼, 徐正会, 周雪英, 等. 喜马拉雅山珠峰段蚂蚁物种的分布格局 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (5): 1054–1062]
- Liu X, Xu GL, Xu ZH, et al. Diversity of ants along an elevational gradient at Cona section of Mt. Himalaya [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (3): 584–593. [刘霞, 许国莲, 徐正会, 等. 喜马拉雅山错那段不同海拔梯度蚂蚁多样性 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (3): 584–593]
- Liu X, Xu ZH, Yu NN, et al. Ant species diversity of Mount Galongla and Medog Valley in Southeastern Tibet [J]. *Forest Research*, 2017, 30 (1): 34–40. [刘霞, 徐正会, 于娜娜, 等. 藏东南嘎隆拉和墨脱河谷蚂蚁群落研究 [J]. 林业科学研究, 2017, 30 (1): 34–40]
- Liu X, Xu ZH, Yu NN, et al. Distribution patterns of ant species (Hymenoptera: Formicidae) in Galongla Mountains and Medog Valley of Southeastern Tibet [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2016, 52 (11): 88–95. [刘霞, 徐正会, 于娜娜, 等. 藏东南嘎隆拉山及墨脱河谷蚂蚁物种的分布格局 [J]. 林业科学, 2016, 52 (11): 88–95]
- Liu X, Xu ZH, Zhang CL, et al. Distribution patterns of ants from west slope of Mount Demula and Bomi Valley in Southeastern Tibet [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2012, 27 (4): 77–82. [刘霞, 徐正会, 张成林, 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]
- Liu X, Xu ZH, Zhang X, et al. Ant species diversity of Diyag and Zanda sections of Himalayas [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2020, 40 (3): 313–320. [刘霞, 徐正会, 张翔, 等. 喜马拉雅山底雅段和札达段蚂蚁多样性 [J]. 森林与环境学报, 2020, 40 (3):



- 313-320]
- Mayr G. Insecta in itinere Cl. Przewalski in Asia Centrali novissime lecta. XVII. Formiciden aus Tibet [J]. *Trudy Russkago Entomologicheskago Obshchestva*, 1889, 24: 278-280.
- Qian YS, Xiong ZP, Xu ZH, et al. Ant species diversity on the northwest slope of Qinghai-Tibet Plateau and adjacent areas [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2023, 42 (7): 1721-1730. [钱怡顺, 熊忠平, 徐正会, 等. 青藏高原西北坡及邻近地区蚂蚁物种多样性 [J]. 生态学杂志, 2023, 42 (7): 1721-1730]
- Ruzsky M. On the ants of Tibet and the southern Gobi. On material collected on the expedition of Colonel P. K. Kozlov [J]. *Ezhegodnik Zoologicheskago Muzeya*, 1915, 20: 418-444.
- Tang J, Li S, Huang EY, et al. Economic Insect Fauna of China (Fasc. 47). Hymenoptera: Formicidae (1) [M]. Beijing: Science Press, 1995. [唐觉, 李参, 黄恩友, 等. 中国经济昆虫志 (第四十七册) 膜翅目 蚁科 [M]. 北京: 科学出版社, 1995]
- Tang J, Li S. Hymenoptera: Formicidae. In: Huang FS. Insects of Tibet. Vol. 2 [M]. Beijing: Science Press, 1982: 371-374. [唐觉, 李参. 膜翅目: 蚁科. 见: 黄复生主编. 西藏昆虫 (第2卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1982: 371-374]
- Wang L, Zhang JT, Li ZB, et al. Research advances in mutualistic relationship between ants and plants [J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Science Edition)*, 2020, 40 (1): 181-188. [王亮, 张锦堂, 李宗波, 等. 蚂蚁与植物的互惠共生关系研究进展 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学版), 2020, 40 (1): 181-188]
- Wu J, Wang CL. The Ants of China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995. [吴坚, 王常禄. 中国蚂蚁 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995]
- Xu ZH, Chu JJ, Zhang CL, et al. Ant species and distribution pattern in Gongbo Nature Reserve in Southeastern Tibet [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2011, 30 (1): 118-123. [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, 30 (1): 118-123]
- Xu ZH, Jiang M, Yang GL, et al. Pictorial Book of Ants of Mt. Gaoligong [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2022. [徐正会, 姜明, 杨桂良, 等. 高黎贡山蚂蚁图鉴 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2022]
- Xu ZH, Zeng G, Liu TY, et al. A study on communities of Formicidae ants in different subtypes of vegetation in Xishuangbanna District of China [J]. *Zoological Research*, 1999, 20 (2): 118-125. [徐正会, 曾光, 柳太勇, 等. 西双版纳地区不同植被亚型蚁科昆虫群落研究 [J]. 动物学研究, 1999, 20 (2): 118-125]
- Xu ZH. A Study on the Biodiversity of Formicidae Ants of Xishuangbanna Nature Reserve [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. [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]
- Yang QY. Geography Museum [M]. Zhengzhou: Henan Education Press, 1995. [杨勤业. 地理博物馆 [M]. 郑州: 河南教育出版社, 1995]
- Yang R, He QJ, Xu ZH, et al. Ant community and distribution pattern of terraced field forest ecosystem in Yuanyang, Yunnan Province [J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2022, 40 (4): 591-605. [杨蕊, 和秋菊, 徐正会, 等. 云南元阳梯田森林生态系统蚂蚁群落和分布格局研究 [J]. 四川农业大学学报, 2022, 40 (4): 591-605]
- Yu NN, Xu ZH, Zhang CL, et al. Distribution patterns of ant species from Mount Sejila, southeastern Tibet [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2021, 33 (5): 75-80. [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]
- Zhai J, Li B, Xu ZH, et al. Ant species and distribution pattern in eastern Tianshan Mountain and adjacent area of Xinjiang [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2021, 41 (4): 431-438. [翟奖, 李彪, 徐正会, 等. 新疆天山东部与邻近地区蚂蚁种类及其分布规律 [J]. 森林与环境学报, 2021, 41 (4): 431-438]
- Zhang CL, Xu ZH, Yu NN, et al. Distribution patterns of ant species on east slope of Mount Demola and Zayu Valley in Southeastern Tibet [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2012, 40 (3): 87-92. [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, 40 (3): 87-92]
- Zhang X, Xu ZH, Li WQ, et al. Ant species diversity of Burang and Gyirong sections of Mt. Himalaya [J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Science Edition)*, 2018, 38 (1): 103-109. [张翔, 徐正会, 李文琼, 等. 喜马拉雅山普兰段和吉隆段蚂蚁物种多样性研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学版), 2018, 38 (1): 103-109]

附录: 表1 青藏高原西北坡蚂蚁物种的水平分布

表2 青藏高原西北坡蚂蚁物种的栖息生境和垂直分布

表3 青藏高原西北坡蚂蚁物种的觅食和筑巢场所

表4 青藏高原西北坡蚂蚁群落调查样地概况

详细数据见网络版增强出版附件材料 (<http://hjkcxb.alljournals.net/>)

附表 1 青藏高原西北坡蚂蚁物种的水平分布

Annexed table 1 Horizontal distribution of ant species from northwest slope of Qinghai-Xizang Plateau

物种名称 Species names	采集频数 Collecting frequency							垂直带合计 Vertical zone amount
	唐古拉山垂直带 Tanggulashan vertical zone	风火山垂直带 Fenghuoshan vertical zone	昆仑山垂直带 Kunlunshan vertical zone	当金山南坡垂直带 Dangjinshan south slope vertical zone	当金山北坡垂直带 Dangjinshan north slope vertical zone	柳园垂直带 Liuyuan vertical zone	哈密垂直带 Hami vertical zone	
艾箭蚁 <i>Cataglyphis aenescens</i> (Nylander)	0	0	44	46	107	67	70	5
红林蚁 <i>Formica clara</i> Forel	0	0	44	27	21	0	96	4
蒙古原蚁 <i>Proformica mongolica</i> (Emery)	0	0	0	17	55	16	26	4
寇氏心结蚁 <i>Cardiocondyla koshewnikovi</i> Ruzsky	0	0	3	21	0	0	3	3
掘穴蚁 <i>Formica cunicularia</i> Latreille	0	0	0	0	69	14	21	3
满斜结蚁 <i>Plagiolepis manczshurica</i> Ruzsky	0	0	0	0	38	16	7	3
亚齿举腹蚁 <i>Crematogaster subdentata</i> Mayr	0	0	0	0	38	10	82	3
草地铺道蚁 <i>Tetramorium caespitum</i> (Linnaeus)	0	0	0	0	29	1	31	3
贾氏火蚁 <i>Solenopsis jacoti</i> Wheeler	0	0	0	0	6	2	2	3
光亮黑蚁 <i>Formica candida</i> Smith	0	0	53	19	0	0	0	2
突厥弓背蚁 <i>Camponotus turkestanicus</i> Emery	0	0	0	0	46	46	0	2





物种名称 Species names	采集频数 Collecting frequency							垂直带合计 Vertical zone amount
	唐古拉山垂直带 Tanggulashan vertical zone	风火山垂直带 Fenghuoshan vertical zone	昆仑山垂直带 Kunlunshan vertical zone	当金山南坡垂直带 Dangjinshan south slope vertical zone	当金山北坡垂直带 Dangjinshan north slope vertical zone	柳园垂直带 Liuyuan vertical zone	哈密垂直带 Hami vertical zone	
吉市红蚁 <i>Myrmica jessensis</i> Forel	0	0	0	0	0	0	7	1
诺斯铺道蚁 <i>Tetramorium nursei</i> Bingham	0	0	0	0	0	0	4	1
拟凶铺道蚁 <i>Tetramorium feroxoides</i> Dlussky & Zabelin	0	0	0	0	0	0	2	1
物种数 Species numbers	0	0	4	5	17	13	16	-

附表 2 青藏高原西北坡蚂蚁物种的栖息生境和垂直分布

Annexed table 2 Habitat and vertical distribution of ant species from the northwest slope of Qinghai-Xizang Plateau

物种名称 Species names	各类生境中采获频数 Collecting frequency in different habitat												栖息生境数 Habitat amount	海拔范围 (m) Altitude range	海拔高差 (m) Altitude difference	生态适应幅度 Ecological adaptation range
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L				
	艾箭蚁 <i>Cataglyphis aeneszens</i>	31	25	71	48	58	1	23	13	6	0	6				
红林蚁 <i>Formica clara</i>	122	60	1	0	0	2	3	0	0	0	0	0	5	13~3 265	3 252	宽阔 Wide
寇氏心结蚁 <i>Cardiocondyla koshewnikovi</i>	24	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	13~3 198	3 185	宽阔 Wide
草地铺道蚁 <i>Tetramorium caespitum</i>	25	11	19	1	3	1	0	0	0	0	0	0	6	13~2 748	2 735	宽阔 Wide
蒙古原蚁 <i>Proformica mongolica</i>	2	0	69	15	27	0	0	1	0	0	0	0	5	1 000~3 542	2 542	宽阔 Wide
满斜结蚁 <i>Plagiolepis manczshurica</i>	15	0	11	16	0	3	0	0	0	0	0	0	4	13~2 264	2 251	宽阔 Wide
掘穴蚁 <i>Formica cunicularia</i>	70	4	0	14	0	2	0	0	0	0	0	0	4	13~1 746	1 733	较宽 Relatively wider
贾氏火蚁 <i>Solenopsis jacoti</i>	3	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	4	13~1 746	1 733	较宽 Relatively wider
亚齿举腹蚁 <i>Crematogaster subdentata</i>	61	21	26	4	9	0	0	5	0	0	0	0	6	13~1 723	1 710	较宽 Relatively wider
铺道蚁待定种 1 <i>Tetramorium sp.1</i>	1	3	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	1 097~2 748	1 651	较宽 Relatively wider

物种名称 Species names	各类生境中采集频数 Collecting frequency in different habitat												栖息生境数 Habitat amount	海拔范围 (m) Altitude range	海拔高差 (m) Altitude difference	生态适应幅度 Ecological adaptation range
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L				
	长柄心结蚁 <i>Cardiocondyla elegans</i>	29	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0				
针毛收获蚁 <i>Messor aciculatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	749~1 521	772	较窄 Relatively narrower
收获蚁待定种 1 <i>Messor</i> sp.1	1	1	2	0	5	0	0	0	7	0	0	0	5	1 291~2 040	749	较窄 Relatively narrower
西藏心结蚁 <i>Cardiocondyla tibetana</i>	0	3	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3	1 002~1 746	744	较窄 Relatively narrower
工匠收获蚁 <i>Messor structor</i>	28	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	13~741	728	较窄 Relatively narrower
诺斯辅道蚁 <i>Tetramorium nursei</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	2	749~1 271	522	较窄 Relatively narrower
光亮黑蚁 <i>Formica candida</i>	19	20	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	3	2 776~3 265	489	狭窄 Narrow
阿禄斜结蚁 <i>Plagiolepis alluaudi</i>	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13~278	265	狭窄 Narrow
喜马毛蚁 <i>Lasius himalayanus</i>	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2 748	0	狭窄 Narrow
多色毛蚁 <i>Lasius coloratus</i>	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2 478	0	狭窄 Narrow
箭蚁待定种 1 <i>Cataglyphis</i> sp.1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2 264	0	狭窄 Narrow
偶弓背蚁 <i>Camponotus invidus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1 291	0	狭窄 Narrow



物种名称 Species names	各类生境中采集频数 Collecting frequency in different habitat												栖息生境数 Habitat amount	海拔范围 (m) Altitude range	海拔高差 (m) Altitude difference	生态适应幅度 Ecological adaptation range
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L				
突厥弓背蚁 <i>Camponotus turkestanicus</i>	0	0	0	46	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 002	0	狭窄 Narrow
侧扁弓背蚁 <i>Camponotus compressus</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 002	0	狭窄 Narrow
拟凶铺道蚁 <i>Tetramorium feroxoides</i>	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	547	0	狭窄 Narrow
吉市红蚁 <i>Myrmica jessensis</i>	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	278	0	狭窄 Narrow
物种数 Species numbers	16	14	12	10	9	6	3	3	3	2	1	1	-	-	-	-

注：A, 杨树林；B, 落叶阔叶林；C, 灌丛（盖度大于 50%）；D, 柽柳灌丛；E, 疏灌丛（盖度小于 50%）；F, 落叶阔叶林片段；G, 枸杞林；H, 戈壁滩疏灌丛；I, 沙漠疏灌丛；J, 戈壁滩；K, 芦苇灌丛；L, 草丛。生态适应幅度依据物种的垂直分布海拔高差（AD）划分：AD<500 m, 狭窄；500 m≤AD<1 000 m, 较窄；1 000 m≤AD<1 500 m, 中等；1 500 m≤AD<2 000 m, 较宽；AD≥2 000 m, 宽阔。Notes: A, *Populus* forest; B, Deciduous broadleaf forest; C, Shrub (Coverage greater than 50%); D, *Tamarix chinensis* shrub, E, Sparse shrub (Coverage less than 50%); F, Deciduous broadleaf forest fragment; G, *Lycium chinense* forest; H, Gobi sparse shrub; I, Desert sparse shrub; J, Gobi desert; K, *Phragmites australis* shrub; L, Grassland. Ecological adaptation range was divided based on the altitude difference (AD) of species in vertical distribution: AD<500 m, narrow; 500 m≤AD<1 000 m, relatively narrower; 1 000 m≤AD<1 500 m, medium; 1 500 m≤AD<2 000 m, relatively wider; AD≥2 000 m, wide.

附表3 青藏高原西北坡蚂蚁物种的觅食和筑巢场所

Annexed table 3 Foraging places and nesting sites of ant species from northwest slope of Qinghai-Xizang Plateau

物种名称 Species names	各类觅食场所捕获频数 Collecting frequency in various foraging places							觅食场所合计 Total	各类筑巢场所捕获频数 Collecting frequency in various nesting sites								筑巢场所合计 Total
	a	b	c	d	e	f	g		h	i	j	k	l	m	n	o	
光亮黑蚁 <i>Formica candida</i> Smith	35	4	15	2	0	1	1	6	11	2	0	0	0	0	0	1	3
蒙古原蚁 <i>Proformica mongolica</i> (Emery)	68	6	5	2	1	0	0	5	18	12	2	0	0	0	0	0	3
亚齿举腹蚁 <i>Crematogaster subdentata</i> Mayr	80	3	25	0	2	0	3	5	5	0	2	1	0	5	0	0	4
艾箭蚁 <i>Cataglyphis aenescens</i> (Nylander)	188	20	8	5	0	0	0	4	53	13	5	1	0	0	1	0	5
红林蚁 <i>Formica clara</i> Forel	82	19	29	7	0	0	0	4	40	7	2	0	3	0	0	0	4
满斜结蚁 <i>Plagiolepis manczhurica</i> Ruzsky	32	1	6	1	0	0	0	4	1	3	0	1	0	0	0	0	3
草地铺道蚁 <i>Tetramorium caespitum</i> (Linnaeus)	31	3	1	4	0	0	0	4	9	11	1	0	0	0	0	0	3
掘穴蚁 <i>Formica cunicularia</i> Latreille	53	4	20	0	0	1	0	4	6	1	3	2	0	0	0	0	4
长柄心结蚁 <i>Cardiocondyla elegans</i> Emery	25	6	5	0	0	0	0	3	8	0	0	0	0	0	0	0	1
工匠收获蚁 <i>Messor structor</i> (Latreille)	18	6	1	0	0	0	0	3	6	0	0	0	3	0	0	0	2
诺斯铺道蚁 <i>Tetramorium nursei</i> Bingham	2	1	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
西藏心结蚁 <i>Cardiocondyla tibetana</i> Seifert	32	7	0	0	0	0	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	1
寇氏心结蚁 <i>Cardiocondyla koshewnikovi</i> Ruzsky	15	5	0	0	0	0	0	2	6	1	0	0	0	0	0	0	2
突厥弓背蚁 <i>Camponotus turkestanicus</i> Emery	12	1	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1
多色毛蚁 <i>Lasius coloratus</i> Santschi	3	4	0	0	0	0	0	2	3	4	0	0	0	0	0	0	2

物种名称 Species names	各类觅食场所捕获频数 Collecting frequency in various foraging places							觅食场所合计 Total	各类筑巢场所捕获频数 Collecting frequency in various nesting sites							筑巢场所合计 Total	
	a	b	c	d	e	f	g		h	i	j	k	l	m	n		o
	吉市红蚁 <i>Myrmica jessensis</i> Forel	2	3	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0
阿禄斜结蚁 <i>Plagiolepis alluaudi</i> Emery	9	0	1	0	0	0	0	2	8	0	1	0	0	0	0	0	2
箭蚁待定种 1 <i>Cataglyphis</i> sp.1	2	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
喜毛蚁 <i>Lasius himalayanus</i> Bingham	2	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	2
贾氏火蚁 <i>Solenopsis jacoti</i> Wheeler	2	0	0	0	0	0	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	2
铺道蚁待定种 1 <i>Tetramorium</i> sp.1	2	0	0	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	1
针毛收获蚁 <i>Messor aciculatus</i> (Smith)	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
拟凶铺道蚁 <i>Tetramorium feroxoides</i> Dlussky & Zabelin	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
收获蚁待定种 1 <i>Messor</i> sp.1	0	3	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0	0	1
侧扁弓背蚁 <i>Camponotus compressus</i> (Fabricius)	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
偶弓背蚁 <i>Camponotus invidus</i> Forel	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
物种数 Species numbers	23	19	12	6	3	2	2	-	21	13	7	4	2	1	1	1	-

注: a, 地表; b, 土壤; c, 植物上; d, 石下; e, 灌丛下; f, 地被物下; g, 朽木内; h, 土壤巢; i, 石下巢; j, 地表巢; k, 朽木下巢; l, 地表碎屑巢; m, 朽木内巢; n, 牛粪下巢; o, 草根下巢。Note: a, On ground; b, In soil; c, On plant; d, Under stone; e, Beneath shrub; f, Under litter; g, Inside rotten wood; h, Nest in soil; i, Nest under stone; j, Nest on ground; k, Nest under rotten wood; l, Ground debris-mound nest; m, Nest inside rotten wood; n, Nest under cow dung; o, Nest under grassroots.

附表 4 青藏高原西北坡蚂蚁群落调查样地概况

Annexed table 4 Sample plot situation for ant community investigation on the northwest slope of Qinghai-Xizang Plateau

样地编号 Plot no.	调查地点 Survey sites	海拔 (m) Altitude	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 (cm) Litter thickness
								灌木 Shrub	草本 Herb	地被物 Litter	
1	格尔木市唐古拉山口 Tanggula Pass, Golmud City	5 243	NE	15	灰沙壤 Gray sandy soil	草甸 Meadow	0	0	70	70	0.5
2	格尔木市贡玛日 Gongmari, Golmud City	4 979	NE	10	红沙壤 Red sandy soil	草甸 Meadow	0	0	70	70	0.5~1
3	格尔木市雁石坪南 Yanshiping South, Golmud City	4 756	S	25	红沙壤 Red sandy soil	草丛 Grassland	0	10	70	70	0.5~1
4	治多县乌丽 Wuli, Zhiduo County	4 576	E	10	红沙壤 Red sandy soil	草丛 Grassland	0	0	90	90	0.5~1
5	治多县风火山南 Fenghuoshan South, Zhiduo County	4 758	SE	15	红沙壤 Red sandy soil	草甸 Meadow	0	0	70	70	0.5~1
6	治多县风火山口 Fenghuoshan Pass, Zhiduo County	4 962	SW	25	红沙壤 Red sandy soil	草甸 Meadow	0	0	60	70	0.5~1
7	治多县风火山北 Fenghuoshan North, Zhiduo County	4 749	W	17	红棕壤 Red brown soil	草甸 Meadow	0	0	85	85	0.5~1
8	治多县勒玛曲 Lemaqu, Zhiduo County	4 581	NW	10	红沙壤 Red sandy soil	草丛 Grassland	0	0	80	80	0.5~1
9	曲麻莱县五道梁南 Wudaoliang South, Qumarleb County	4 721	NE	20	红棕壤 Red brown soil	草甸 Meadow	0	0	95	95	0.5~1
10	曲麻莱县不冻泉 Budongquan, Qumarleb County	4 607	SE	20	灰沙壤 Gray sandy soil	疏草丛 Sparse grassland	0	0	50	50	0.5~1
11	格尔木市昆仑山口 Kunlun Pass, Golmud City	4 767	SW	25	灰棕壤 Grey brown soil	草丛 Grassland	0	0	85	85	0.5~1



样地编号 Plot no.	调查地点 Survey sites	海拔 (m) Altitude	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 (cm) Litter thickness
								灌木	草本	地被物	
								Shrub	Herb	Litter	
12	格尔木市昆仑山北 Kunlun North, Golmud City	4 575	N	25	灰棕壤 Greyish brown soil	疏草甸 Sparse meadow	0	0	70	70	0.5~1
13	格尔木市西大滩南 Xidatan South, Golmud City	4 270	NE	7	灰棕壤 Greyish brown soil	草丛 Grassland	0	0	80	80	0.5~1
14	格尔木市西大滩 Xidatan, Golmud City	4 067	NW	15	黄沙壤 Yellow sandy soil	金缕梅灌丛 <i>Hamamelis mollis</i> shrub	0	30	90	90	1~2
15	格尔木市西大滩北 Xidatan North, Golmud City	3 831	N	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	草丛 Grassland	0	0	50	50	0.5
16	格尔木市纳赤台 Nachitai, Golmud City	3 576	SE	25	黄沙壤 Yellow sandy soil	灌丛 Shrub	0	30	40	40	0.5
17	格尔木市三道湾 Sandaowan, Golmud City	3 265	N	5	黄沙壤 Yellow sandy soil	枸杞林 <i>Lycium chinense</i> forest	0.1	30	60	60	1~2
18	格尔木市南山口 Nanshan Pass, Golmud City	3 088	N	5	红沙壤 Red sandy soil	落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest	0.3	30	80	80	0.5~1
19	格尔木市铁园 Tieyuan, Golmud City	2 776	E	5	黄沙壤 Yellow sandy soil	落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest	0.6	50	50	50	2~3
20	格尔木市加尔苏 Galsu, Golmud City	2 693	N	3	黄碱壤 Yellow alkaline soil	芦苇丛 <i>Phragmites australis</i> shrub	0	10	50	70	2~3
21	海西州锡铁山 Xitieshan, Haixi Prefecture	3 028	SE	5	黄沙壤 Yellow sandy soil	杨树林 <i>Populus</i> forest	0.3	0	5	5	0.5
22	海西州塔克勒根 Tacklegen, Haixi Prefecture	3 263	SE	12	黄沙壤 Yellow sandy soil	疏灌丛 Sparse shrub	0	10	10	15	0.5
23	海西州大柴旦 Dachaidan, Haixi Prefecture	3 198	SW	10	灰沙壤 Gray sandy soil	杨树林 <i>Populus</i> forest	0.4	5	60	90	2~3

样地编号 Plot no.	调查地点 Survey sites	海拔 (m) Altitude	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 (cm) Litter thickness
								灌木	草本	地被物	
								Shrub	Herb	Litter	
24	海西州查干楚鲁图 Chagan Chulutu, Haixi Prefecture	3 297	SE	7	灰沙壤 Gray sandy soil	疏灌丛 Sparse shrub	0	10	10	10	0.5
25	海西州青山口 Qingshan Pass, Haixi Prefecture	3 542	SE	12	黄沙壤 Yellow sandy soil	疏灌丛 Sparse shrub	0	15	10	15	0.5
26	阿克塞县喀拉阿德尔 Karaadel, Aksai County	3 338	S	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	疏灌丛 Sparse shrub	0	10	10	15	0.5
27	阿克塞县当金山口 Dangjinshan Pass, Aksai County	3 533	NE	25	黄沙壤 Yellow sandy soil	草丛 Grassland	0	5	70	70	0.5~1
28	阿克塞县当金山口北 Dangjinshan North, Aksai County	3 349	N	30	黄沙壤 Yellow sandy soil	草丛 Grassland	0	0	90	90	0.5~1
29	阿克塞县加尔玛 Garma, Aksai County	3 096	N	30	黄沙壤 Yellow sandy soil	锦鸡儿灌丛 <i>Caragana sinica</i> shrub	0	30	60	60	0.5~1
30	阿克塞县博罗转井东 Boluo Zhuanjing East, Aksai County	2 748	NE	35	黄沙壤 Yellow sandy soil	灌丛 Shrub	0	30	80	80	1~2
31	阿克塞县博罗转井 Boluo Zhuanjing, Aksai County	2 507	NE	15	黄沙壤 Yellow sandy soil	灌丛 Shrub	0	25	50	50	0.5~1
32	阿克塞县博罗转井北 Boluo Zhuanjing North, Aksai County	2 264	NE	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	灌丛 Shrub	0	30	30	40	0.5
33	阿克塞县岔道口道班 Chadaokoudaoban, Aksai County	2 040	NE	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	灌丛 Shrub	0	25	20	25	0.5
34	阿克塞县水泥厂 Shuinichang, Aksai County	1 746	NE	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest	0.4	10	80	80	1~2
35	敦煌市沙山子道班 Shashanzidaoban, Dunhuang City	1 521	W	20	黄沙壤 Yellow sandy soil	沙漠疏灌丛 Desert sparse shrub	0	10	5	10	0.5

样地编号 Plot no.	调查地点 Survey sites	海拔 (m) Altitude	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 (cm) Litter thickness
								灌木	草本	地被物	
								Shrub	Herb	Litter	
36	敦煌市党河水库 Danghe Reservoir, Dunhuang City	1 322	NE	5	黄沙壤 Yellow sandy soil	杨树林 <i>Populus</i> forest	0.3	30	85	85	1~2
37	敦煌市月牙泉 Yucya Spring, Dunhuang City	1 145	N	20	黄沙壤 Yellow sandy soil	落叶阔叶林片段 Deciduous broadleaf forest fragment	0.2	30	70	70	0.5~1
38	敦煌市窑湾 Yaowan, Dunhuang City	1 097	NE	5	黄沙壤 Yellow sandy soil	杨树林 <i>Populus</i> forest	0.6	30	80	80	2~3
39	瓜州县西湖村 Xihucun, Guazhou County	1 002	NE	5	黄壤 yellow soil	怪柳灌丛 <i>Tamarix chinensis</i> shrub	0	50	65	65	1~2
40	瓜州县石窑子 Shiyaozi, Guazhou County	1 291	S	5	黄沙壤 Yellow sandy soil	疏灌丛 Sparse shrub	0	5	5	5	0.5
41	瓜州县寡妇店 Guafudian, Guazhou County	1 515	S	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	灌丛 Shrub	0	10	10	15	0.5
42	瓜州县柳园南 Liuyuan South, Guazhou County	1 723	NW	12	黄沙壤 Yellow sandy soil	戈壁滩疏灌丛 Gobi sparse shrub	0	20	20	20	1~2
43	瓜州县马莲井 Malianjing, Guazhou County	1 681	S	15	黄沙壤 Yellow sandy soil	怪柳灌丛 <i>Tamarix chinensis</i> shrub	0	15	40	30	0.5
44	伊州区红柳井 Hongliujing, Yizhou District	1 536	W	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	疏灌丛 Sparse shrub	0	20	5	20	0.5
45	伊州区木头井子 Mutoujingzi, Yizhou District	1 271	N	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	疏灌丛 Sparse shrub	0	20	5	20	0.5
46	伊州区苦水 Kushui, Yizhou District	1 000	E	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	灌丛 Shrub	0	30	60	60	0.5~1
47	伊州区天山墩子 Tianshandunzi, Yizhou District	749	SW	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	戈壁滩 Gobi desert	0	0	1	1	0.5

样地编号 Plot no.	调查地点 Survey sites	海拔 (m) Altitude	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 (cm) Litter thickness
								灌木	草本	地被物	
								Shrub	Herb	Litter	
48	伊州区文化公园 Wenhua Park, Yizhou District	741	SE	5	灰沙壤 Gray sandy soil	杨树林 <i>Populus</i> forest	0.3	40	85	100	1~2
49	伊州区南湖 Nanhu, Yizhou District	547	N	5	灰沙壤 Gray sandy soil	落叶阔叶林 Deciduous broadleaf forest	0.2	10	50	50	1~2
50	伊州区西戈壁 Sigobi, Yizhou District	550	W	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	戈壁滩 Gobi desert	0	0	0	0	0
51	伊州区龙须滩 Longxutan, Yizhou District	265	S	15	黄沙壤 Yellow sandy soil	戈壁滩 Gobi desert	0	0	0	0	0
52	鄯善县红方台 Hongfangtai, Shanshan County	251	N	10	黄沙壤 Yellow sandy soil	戈壁滩 Gobi desert	0	0	0	0	0
53	鄯善县上巴格 Shangbage, Shanshan County	505	W	5	灰沙壤 Gray sandy soil	杨树林 <i>Populus</i> forest	0.8	40	10	100	3~4
54	鄯善县也扎买里 Yazhamari, Shanshan County	278	S	10	灰沙壤 Gray sandy soil	杨树林 <i>Populus</i> forest	0.8	10	30	100	2~3
55	高昌区苏公塔 Sugong Tower, Gaochang District	13	S	3	灰黄壤 Grayish yellow soil	杨树林 <i>Populus</i> forest	0.7	0	60	100	0.5~1
56	高昌区艾丁湖 Aydingköl Lake, Gaochang District	-154	SW	3	盐碱壤 Saline-alkaline soil	草丛 Grassland	0	0	60	60	0.5

注: 灌丛指多种树种组成的灌丛, 疏灌丛指盖度<50%的灌丛, 疏草丛指盖度<50%的草丛, 疏草甸指盖度<50%的草甸。Note: Shrub means the shrub composed of multiple plant species, sparse shrub means the shrub with coverage less than 50%, sparse grassland means the grassland with coverage less than 50%, sparse meadow means the meadow with coverage less than 50%.