



熊忠平, 和秋菊, 徐正会, 翟奖, 李彪, 黄钊, 钱昱含. 祁连山国家公园青海片区蚂蚁物种多样性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 93–103.

## 祁连山国家公园青海片区蚂蚁物种多样性研究

熊忠平<sup>1,2</sup>, 和秋菊<sup>1,2</sup>, 徐正会<sup>1,2\*</sup>, 翟奖<sup>1</sup>, 李彪<sup>1</sup>, 黄钊<sup>1</sup>, 钱昱含<sup>1</sup>

(1. 西南林业大学生物多样性保护学院, 昆明 650224; 2. 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 昆明 650224)

**摘要:** 本研究采用样地调查法研究了祁连山国家公园青海片区的蚂蚁物种多样性。在祁连山国家公园青海片区记录蚂蚁 2 亚科、6 属、13 种, 发现 1 个中国新记录种: 沃尔切胸蚁 *Temnothorax volgensis* (Ruzsky), 发现 7 个青海新记录种。光亮黑蚁 *Formica candida* Smith、满凹头蚁 *Formica manchu* Wheeler、亮腹黑褐蚁 *Formica gagatoides* Ruzsky 是蚂蚁群落的优势种。青海片区 4 个垂直带蚂蚁群落的多样性顺序为: 东段景阳岭垭口东坡 > 中西段热水垭豁东坡 > 中东段景阳岭垭口西坡 > 西段热水垭豁西坡。各垂直带物种数目、个体密度、多样性指数总体随海拔升高而降低, 主要受海拔和气温因素制约; 这些指标在不同垂直带出现多域效应、中域效应或底域效应现象, 说明不同海拔高度上栖息着适应了不同生境的物种聚集群, 同时受到人类对生境干扰的影响。青海片区东坡蚂蚁物种丰富度和多样性指数高于西坡, 主要受降雨和湿度影响。从相似性系数看, 青海片区不同生境的蚂蚁群落存在一定分化, 具有不同生态功能和保护价值。

**关键词:** 蚁科; 群落; 生物多样性; 国家公园; 祁连山

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 01-0093-11

## Ant species diversity of Qinghai part, Qilian Mountain National Park

XIONG Zhong-Ping<sup>1,2</sup>, HE Qiu-Ju<sup>1,2</sup>, XU Zheng-Hui<sup>1,2\*</sup>, ZHAI Jiang<sup>1</sup>, LI Biao<sup>1</sup>, HUANG Zhao<sup>1</sup>, QIAN Yu-Han<sup>1</sup> (1. College of Biodiversity Conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, Kunming 650224, China)

**Abstract:** In the present study, ant diversity in the Qilian Mountain National Park (Qinghai part) was surveyed using sample plot method. In total, 13 ant species belonging to 6 genera and 2 subfamilies of Formicidae were recognized. A new record species to China, *Temnothorax volgensis* (Ruzsky), and 7 new record species to Qinghai Province were reported. *Formica candida* Smith, *Formica manchu* Wheeler, and *Formica gagatoides* Ruzsky were the dominant species in the ant community. Diversity indexes of the ant communities in the 4 vertical zones of Qinghai part are: East section (east slope of Jingyangling Yakou) > middle-west section (east slope of Reshui Yahuo) > middle-east section (west slope of Jingyangling Yakou) > west section (west slope of Reshui Yahuo). Species numbers, individual densities and diversity indexes are generally decrease with the increase of altitude, which suggest that indexes were influenced by altitudes and air temperatures. In addition, the main indexes express multi-domain effect or

基金项目: 国家自然科学基金 (31860615); 国家自然科学基金委员会应急管理项目子课题 (31750002); 国家科学技术部科技基础性工作专项重点项目子课题 (2015FY210300); 祁连山国家公园青海片区昆虫调查

作者简介: 熊忠平, 男, 博士研究生, 高级实验师, 研究方向为森林昆虫学, E-mail: xzping\_0@126.com

\* 通讯作者 Author for correspondence: 徐正会, 博士, 教授, 研究方向为森林昆虫学, E-mail: xuzhenghui1962@163.com

收稿日期 Received: 2020-02-12; 接受日期 Accepted: 2020-09-07

mid-domain effect phenomenon or bottom-domain effects in different vertical zones, it implies that ant species assemblage adapted to varied habitats dwelling at different altitude of the vertical zones, at the same time, the habitat of ant communities were disturbed by human being. As influenced by rainfall and humidity, ant species richness and diversity index on the east slope of Qinghai part were higher than the west slope. Based on the similarity coefficients, ant communities are differentiated in a certain degree from distinct habitat of Qinghai part, which have significant ecological functions and protection value.

**Key words:** Formicidae; community; biodiversity; national park; Qilian Mountain

蚂蚁是昆虫纲 Insecta 膜翅目 Hymenoptera 蚁科 Formicidae 昆虫的总称, 全球已记载 17 亚科、337 属、13 674 种 (Bolton, 2020), 是地球陆地上种类和数量最多的社会性昆虫, 具有改良土壤、传播种子、帮助植物授粉、分解消耗小型动物尸体、控制害虫等作用 (Holldobler & Wilson, 1990), 因此研究蚂蚁的生物多样性对了解和利用其生态功能具有重要意义。祁连山国家公园地处青藏、蒙新、黄土 3 大高原交汇地带, 平均海拔 4 000 ~ 5 000 m, 气候为温带大陆性气候和高原山地气候, 年平均气温在 4℃ 以下, 山地东部气候较湿润, 西部较干燥。以保护森林、草原、冰川、荒漠等生态系统及其生物多样性为主要目标, 是我国西北地区重要生态安全屏障和黄河重要水源地。总面积 5.02 万 km<sup>2</sup>, 其中甘肃片区 3.44 万 km<sup>2</sup>, 青海片区 1.58 万 km<sup>2</sup>。祁连山是我国 32 个生物多样性保护优先区域之一, 已记载脊椎动物 294 种, 高等植物 1 311 种 (汪有奎和杨全生, 2008; 祁连山国家公园, 2020)。蔡海等 (2012) 在祁连山高寒草甸生态系统昆虫群落研究中报道蚂蚁 3 种。郝虎等 (2005) 在祁连山自然保护区药用昆虫资源研究中报道蚂蚁 1 种。蒋志成等 (2006) 在祁连山自然保护区膜翅目昆虫研究中报道蚂蚁 2 种。李晓明等 (2002) 在甘肃祁连山国家级自然保护区森林天敌昆虫研究中报道蚂蚁 1 种。孙建忠等 (2010) 在祁连山东大河林区天敌昆虫种类调查中报道蚂蚁 2 种。鱼小军等 (2010) 探讨了铺道蚁 *Tetramorium* sp. 对东祁连山高寒草地生态系统的影响。总体来看, 有关祁连山蚂蚁多样性及其生态功能的报道十分有限, 蚂蚁种类尚不清楚。祁连山是我国西北地区主要山脉之一, 在这个宏大的温带内陆山地生态系统中会演化出怎样的蚂蚁群落和物种多样性呢? 为了揭示这一科学问题, 采用样地调查法研究了祁连山国家公园青海片区的蚂蚁物种多样性。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

2019 年 8 月, 在祁连山国家公园青海片区, 采用样地调查法和搜索调查法 (徐正会, 2002; 徐正会等, 2011; 诸慧琴等, 2019), 共调查 19 块样地 (样地分布图见图 1), 采集和观察蚂蚁合计 12 127 头。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样地设置方法

根据祁连山脉西北-东南走向特点, 在祁连山国家公园青海片区祁连县和门源县境内从西向东依次在西段热水垭豁西坡、中西段热水垭豁东坡、中东段景阳岭垭口西坡、东段景阳岭垭口东坡 4 个垂直带上取样调查, 海拔每上升 250 m 设置 1 块 50 m × 50 m 的样地, 共调查 19 块样地。受地形和植被条件限制, 选定典型样地时海拔会有一定偏差, 通常控制在 50m 范围内 (诸慧琴等, 2019)。各样地自然概况见表 1; 其中: 海拔、坡度、高度等用相应的仪器和工具测量出; 郁闭度、盖度等为综合样地实地情况, 利用目测法获得。

#### 1.2.2 调查方法

采用样地调查法 (徐正会, 2002; 诸慧琴等, 2019) 分别对 19 块样地的蚂蚁进行调查, 在每块样地内沿对角线设置 5 个 1 m × 1 m 样方进行样方调查, 样方间距 10 m, 记录数据, 采集标本。样方调查结束后, 采用搜索调查法 (徐正会等, 2011; 诸慧琴等, 2019) 对样地内各种微生境的蚂蚁进行调查, 5 人调查 1 h, 采集标本并作记录, 带回实验室进行整理鉴定。

#### 1.2.3 标本鉴定方法

依据同种同巢原则、同种形态相同原则对野外采集的蚂蚁标本进行归类, 以同巢个体或同种个体为单位逐一编号, 记录个体数量。把每号标本 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 头的个体用无水乙醇浸渍保存。

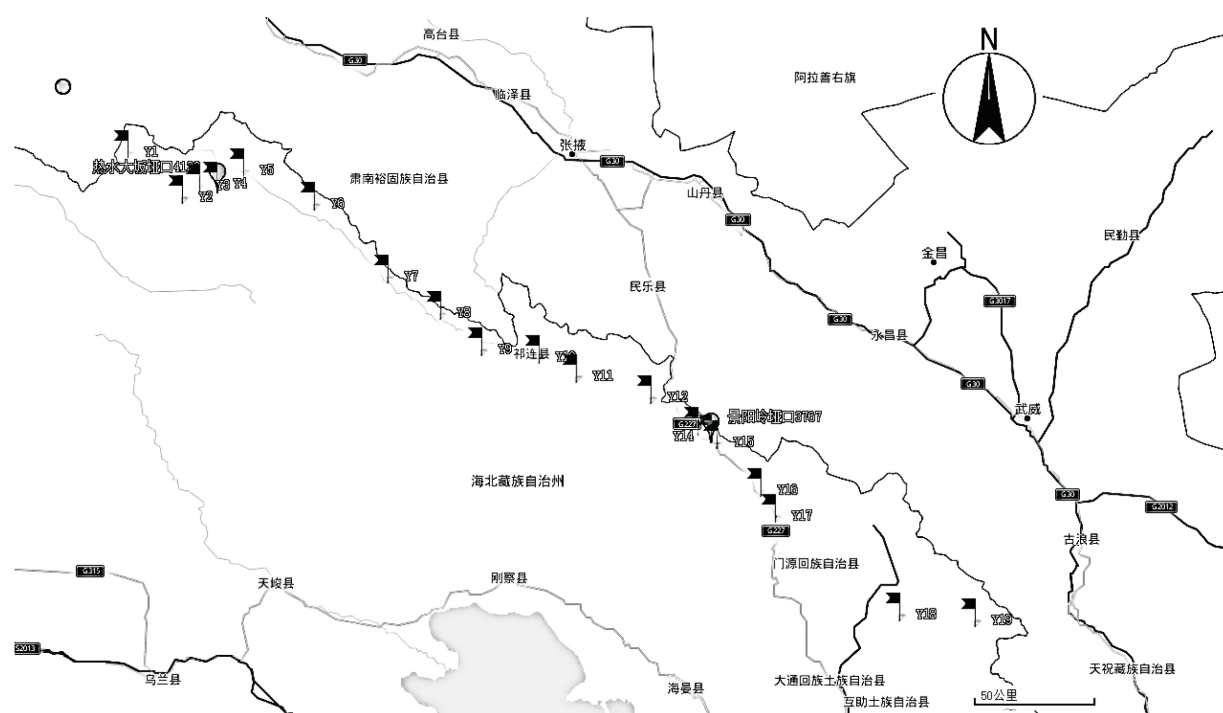


图 1 祁连山国家公园青海片区蚂蚁物种多样性调查样地分布图

Fig. 1 Distribution map of sample – plots for ant species diversity survey in Qinghai part of Qilian Mountain National Park  
注：用小旗子标识样地位置。Note: Small flag marks the location of the plots.

表 1 祁连山国家公园青海片区蚂蚁物种多样性调查样地概况

Table 1 Sample plot information for ant species diversity survey in Qinghai part of Qilian Mountain National Park

| 编号<br>No. | 样地地点<br>Sample-plot sites          | 海拔<br>( m )<br>AL | 坡向<br>SD | 坡度<br>( x <sup>2</sup> )<br>SE | 土壤类型<br>Soil type        | 土壤<br>湿度<br>SM | 植被<br>类型<br>Vegetation<br>types | 乔木郁<br>闭度<br>CD | 灌木<br>盖度<br>( % )<br>SC | 草本<br>盖度<br>( % )<br>HC | 地被物<br>盖度<br>( % )<br>LC | 地被物<br>厚度<br>( cm )<br>LT |
|-----------|------------------------------------|-------------------|----------|--------------------------------|--------------------------|----------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1         | 祁连县二指龙<br>Erzhilong , Qilian       | 3 269             | SW       | 20                             | 黄沙壤<br>Yellow sandy soil | 湿润<br>Moist    | 草丛<br>Herb                      | 0               | 0                       | 90                      | 90                       | 0.5 ~ 1                   |
| 2         | 祁连县小央龙<br>Xiaoyanglong , Qilian    | 3 506             | S        | 15                             | 灰沙壤<br>Grey sandy soil   | 湿润<br>Moist    | 草丛<br>Herb                      | 0               | 0                       | 95                      | 95                       | 1 ~ 2                     |
| 3         | 祁连县热水西沟<br>Reshuixigou , Qilian    | 3 729             | SE       | 35                             | 棕壤<br>Brown soil         | 湿润<br>Moist    | 草丛<br>Herb                      | 0               | 0                       | 95                      | 95                       | 0.5 ~ 1                   |
| 4         | 祁连县热水亚豁<br>Resuiyahuo , Qilian     | 4 003             | S        | 25                             | 灰棕壤<br>Grey brown soil   | 湿<br>Wet       | 灌丛<br>Shrub                     | 0               | 30                      | 70                      | 70                       | 0.5 ~ 1                   |
| 5         | 祁连县上热水沟<br>Shangreshuigou , Qilian | 3 758             | NE       | 7                              | 灰棕壤<br>Grey brown soil   | 湿<br>Wet       | 草丛<br>Herb                      | 0               | 0                       | 100                     | 100                      | 0.5 ~ 1                   |
| 6         | 祁连县野马咀<br>Yemazui , Qilian         | 3 548             | SW       | 10                             | 灰棕壤<br>Grey brown soil   | 湿润<br>Moist    | 草丛<br>Herb                      | 0               | 0                       | 100                     | 100                      | 0.5 ~ 1                   |
| 7         | 祁连县野牛沟<br>Yeniugou , Qilian        | 3 269             | SW       | 20                             | 灰沙壤<br>Grey sandy soil   | 潮<br>Damp      | 灌丛<br>Shrub                     | 0               | 70                      | 90                      | 90                       | 1 ~ 2                     |

续表 1 Continued table 1

| 编号<br>No. | 样地地点<br>Sample-plot sites             | 海拔<br>(m)<br>AL | 坡向<br>SD | 坡度<br>( $^{\circ}$ )<br>SE | 土壤类型<br>Soil type        | 土壤<br>湿度<br>SM | 植被<br>类型<br>Vegetation<br>types                | 乔木郁<br>闭度<br>CD | 灌木<br>盖度<br>(%)<br>SC | 草本<br>盖度<br>(%)<br>HC | 地被物<br>盖度<br>(%)<br>LC | 地被物<br>厚度<br>(cm)<br>LT |
|-----------|---------------------------------------|-----------------|----------|----------------------------|--------------------------|----------------|------------------------------------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| 8         | 祁连县边麻村<br>Bianmacun, Qilian           | 3 042           | W        | 37                         | 黄沙壤<br>Yellow sandy soil | 潮<br>Damp      | 灌丛<br>Shrub                                    | 0               | 25                    | 85                    | 90                     | 1 ~ 2                   |
| 9         | 祁连县西沟<br>Xigou, Qilian                | 2 987           | NW       | 32                         | 棕壤<br>Brown soil         | 湿润<br>Moist    | 云杉林<br><i>Picea</i> forest                     | 0.7             | 20                    | 100                   | 100                    | 3 ~ 4                   |
| 10        | 祁连县下搭链<br>Xiadalian, Qilian           | 2 722           | N        | 5                          | 棕壤<br>Brown soil         | 湿润<br>Moist    | 云杉林<br><i>Picea</i> forest                     | 0.8             | 5                     | 90                    | 100                    | 3 ~ 4                   |
| 11        | 祁连县阿柔大寺<br>Aroudasi, Qilian           | 2 997           | SE       | 27                         | 棕壤<br>Brown soil         | 湿润<br>Moist    | 草丛<br>Herb                                     | 0               | 0                     | 100                   | 100                    | 1 ~ 2                   |
| 12        | 祁连县风峡湾<br>Fengxiawan, Qilian          | 3 240           | E        | 15                         | 棕壤<br>Brown soil         | 湿润<br>Moist    | 草丛<br>Herb                                     | 0               | 0                     | 100                   | 100                    | 1 ~ 2                   |
| 13        | 祁连县才日德<br>Cairide, Qilian             | 3 538           | W        | 15                         | 棕壤<br>Brown soil         | 湿润<br>Moist    | 草丛<br>Herb                                     | 0               | 0                     | 100                   | 100                    | 0.5 ~ 1                 |
| 14        | 祁连县景阳岭垭口<br>Jingyanglingyakou, Qilian | 3 762           | S        | 15                         | 棕壤<br>Brown soil         | 湿<br>Wet       | 草丛<br>Herb                                     | 0               | 0                     | 100                   | 100                    | 1 ~ 2                   |
| 15        | 门源县下店沟<br>Xiadiangou, Menyuan         | 3 513           | E        | 30                         | 红棕壤<br>Red brown soil    | 湿<br>Wet       | 灌丛<br>Shrub                                    | 0               | 40                    | 95                    | 95                     | 0.5 ~ 1                 |
| 16        | 门源县花海鸳鸯<br>Huahaiyuanyang, Menyuan    | 3 261           | NW       | 20                         | 灰棕壤<br>Grey brown soil   | 湿润<br>Moist    | 灌丛<br>Shrub                                    | 0               | 20                    | 100                   | 100                    | 1 ~ 2                   |
| 17        | 门源县大咀子<br>Dazuizi, Menyuan            | 2 999           | SE       | 35                         | 黄壤<br>Yellow soil        | 湿润<br>Moist    | 柳树林<br><i>Salix</i> forest                     | 0.6             | 0                     | 100                   | 100                    | 2 ~ 3                   |
| 18        | 门源县祁汉开沟<br>Qihankaigou, Menyuan       | 2 762           | E        | 25                         | 棕壤<br>Brown soil         | 湿润<br>Moist    | 针阔混交林<br>Conifer-<br>broadleaf<br>mixed forest | 0.4             | 50                    | 100                   | 100                    | 2 ~ 3                   |
| 19        | 门源县寺沟<br>Sigou, Menyuan               | 2 532           | W        | 5                          | 棕壤<br>Brown soil         | 湿润<br>Moist    | 针阔混交林<br>Conifer-<br>broadleaf<br>mixed forest | 0.5             | 30                    | 90                    | 100                    | 3 ~ 4                   |

Note: No, Sample-plot numbers; AL, Altitude; SD, Slope direction; SE, Slope degree; SM, Soil moisture; CD, Tree canopy density; SC, Shrub coverage; HC, Herb coverage; LC, Litter coverage; LT, Litter thickness.

依据蚂蚁分类学著作 (Bingham, 1903; Bolton, 1994; 唐觉等, 1995; 吴坚和王常禄, 1995; 周善义, 2001; 徐正会, 2002), 采用形态分类学方法对蚂蚁标本逐一进行鉴定, 尽可能鉴定到种。

#### 1.2.4 群落结构分析方法

依据蚂蚁物种个体所占百分比将群落中的物种划分为 5 个类型:  $\geq 10\%$  为优势种, 用 A 表示;

5.0% ~ 9.9% 为常见种, 用 B 表示; 1.0% ~ 4.9% 为较常见种, 用 C 表示; 0.1% ~ 0.9% 为较稀有种, 用 D 表示;  $< 0.1\%$  为稀有种, 用 E 表示 (黄钊等, 2019)。

#### 1.2.5 多样性指标测定方法

采用 6 项主要指标测定蚂蚁物种多样性: 物种数目、个体密度、Shannon-Wiener 多样性指数、

Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度指数、Jaccard 相似性系数 (王宗英等, 1996; 徐正会, 2002)。

(1) Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i \quad (p_i = \frac{N_i}{N})$$

式中:  $N_i$  是指第  $i$  个物种的个体数,  $N$  是  $S$  个物种的总个体数。

(2) Pielou 均匀度指数:  $E = \frac{H}{\ln S}$

式中:  $H$  是 Shannon - Wiener 多样性指数,  $S$  是物种数目。

(3) Simpson 优势度指数:  $C = \sum_{i=1}^s (p_i)^2 = \sum_{i=1}^s (\frac{N_i}{N})^2$  式中:  $N_i$  是指第  $i$  个物种的个体数,  $N$  是  $S$  个物种的总个体数。

(4) Jaccard 相似性系数:  $q = \frac{c}{(a + b - c)}$

式中:  $c$  为两个群落共同物种数,  $a$  和  $b$  分别为群落 A 和群落 B 的物种数。

2 结果与分析

2.1 蚂蚁群落结构

在祁连山国家公园青海片区 4 个垂直带、

19 块样地内合计观察到蚂蚁 12 127 头, 经鉴定隶属于 2 亚科、6 属、13 种, 切叶蚁亚科 Myrmicinae 4 属、8 种, 蚁亚科 Formicinae 2 属、5 种。其中发现 1 个中国新记录种: 沃尔切胸蚁 *Temnothorax volgensis* (Ruzsky); 发现 7 个青海新记录种: 堆土细胸蚁 *Leptothorax acervorum* (Fabricius)、吉市红蚁 *Myrmica jessensis* Forel、纵沟红蚁 *M. sulcinodis* Nylander、科氏红蚁 *M. kozlovi* Ruzsky、阿富汗红蚁 *M. afghanica* Radchenko & Elmes、满斜结蚁 *Plagiolepis manczshurica* Ruzsky、满凹头蚁 *Formica manchu* Wheeler (表 2)。

在青海片区蚂蚁群落中发现优势种 3 个: 光亮黑蚁、满凹头蚁、亮腹黑褐蚁, 占物种总数的 23.2%; 常见种 1 个: 科氏红蚁, 占物种总数的 7.7%; 较常见种 6 个, 阿富汗红蚁、吉市红蚁、西藏红蚁等, 占物种总数的 46.1%; 较稀有种 1 个: 沃尔切胸蚁, 占物种总数的 7.7%; 稀有种 2 个: 满斜结蚁、纵沟红蚁, 占物种总数的 15.3% (表 2)。

2.2 多样性指标分析

2.2.1 物种数目

祁连山国家公园青海片区蚂蚁群落物种数目 13 种, 4 个垂直带的物种丰富度顺序为: 东段景阳岭垭口东坡 (11 种) > 中西段热水垭豁东坡

表 2 祁连山国家公园青海片区蚂蚁群落结构  
Table 2 Ant community composition in Qinghai part of Qilian Mountain National Park

| 编号<br>No. | 物种名称<br>Species name                             | 个体数目 (头)<br>Individual numbers | 百分比 (%)<br>Percentage | 物种类型<br>Species types |
|-----------|--------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1         | 光亮黑蚁 <i>Formica candida</i> Smith                | 5 124                          | 42.2528               | A                     |
| 2         | 满凹头蚁 <i>Formica manchu</i> Wheeler               | 2 699                          | 22.2561               | A                     |
| 3         | 亮腹黑褐蚁 <i>Formica gagatoides</i> Ruzsky           | 1 638                          | 13.5071               | A                     |
| 4         | 科氏红蚁 <i>Myrmica kozlovi</i> Ruzsky               | 859                            | 7.0834                | B                     |
| 5         | 阿富汗红蚁 <i>Myrmica afghanica</i> Radchenko & Elmes | 542                            | 4.4694                | C                     |
| 6         | 吉市红蚁 <i>Formica jessensis</i> Forel              | 513                            | 4.2302                | C                     |
| 7         | 西藏红蚁 <i>Formica tibetana</i> (Mayr)              | 227                            | 1.8719                | C                     |
| 8         | 堆土细胸蚁 <i>Leptothorax acervorum</i> (Fabricius)   | 187                            | 1.5420                | C                     |
| 9         | 广布弓背蚁 <i>Camponotus herculeanus</i> Linnaeus     | 167                            | 1.3771                | C                     |
| 10        | 中华红林蚁 <i>Formica sinensis</i> Wheeler            | 148                            | 1.2204                | C                     |
| 11        | 沃尔切胸蚁 <i>Temnothorax volgensis</i> (Ruzsky)      | 21                             | 0.1732                | D                     |
| 12        | 满斜结蚁 <i>Plagiolepis manczshurica</i> Ruzsky      | 1                              | 0.0082                | E                     |
| 13        | 纵沟红蚁 <i>Formica sulcinodis</i> Nylander          | 1                              | 0.0082                | E                     |
| 合计 Total  |                                                  | 12 127                         | 100.0000              |                       |

(10 种) > 中东段景阳岭垭口西坡 (9 种) > 西段热水垭豁西坡 (4 种)。西段热水垭豁西坡垂直带 4 块样地的物种数目 0~4 种, 平均 2.0 种; 各样地物种数目随海拔升高而降低, 表现出底域效应现象 (徐正会等, 2001)。中西段热水垭豁东坡垂直带 7 块样地的物种数目 0~6 种, 平均 2.9 种; 各样地物种数目总体随海拔升高而降低, 在垂直带下部、中下部出现 2 个峰值, 表现出多域效应

现象 (李文琼等, 2016)。中东段景阳岭垭口西坡垂直带 5 块样地的物种数目 0~6 种, 平均 3.0 种; 各样地物种数目随海拔升高而降低, 表现出底域效应现象。东段景阳岭垭口东坡垂直带 6 块样地的物种数目 0~9 种, 平均 3.8 种; 各样地物种数目随海拔升高先升高后降低, 表现出中域效应现象 (Bharti *et al.*, 2013) (表 3)。

表 3 祁连山国家公园青海片区蚂蚁群落主要指标

Table 3 Main indexes of ant communities from Qinghai part of Qilian Mountain National Park

| 植被类型<br>Vegetation types                   | 海拔 (m)<br>Altitude | 物种数目<br>Species<br>amount | 个体密度(头/m <sup>2</sup> )<br>Individual<br>densities | 多样性指数 <i>H</i><br>Diversity<br>indexes | 均匀度指数 <i>E</i><br>Evenness<br>indexes | 优势度指数 <i>C</i><br>Dominant<br>indexes |
|--------------------------------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 草丛 Herb                                    | 3 269              | 4                         | 38.8                                               | 0.3953                                 | 0.2851                                | 0.8125                                |
| 草丛 Herb                                    | 3 506              | 2                         | 22.6                                               | 0.5539                                 | 0.7992                                | 0.6326                                |
| 草丛 Herb                                    | 3 729              | 2                         | 9.4                                                | 0.6714                                 | 0.9686                                | 0.5216                                |
| 灌丛 Shrub                                   | 4 003              | 0                         | 0.0                                                | —                                      | —                                     | —                                     |
| 热水垭豁西坡垂直带<br>W slope Reshuiyahu VZ         | —                  | 4                         | —                                                  | 0.5852                                 | 0.4221                                | 0.6412                                |
| 热水垭豁西坡平均值<br>Average W slope Reshuiyahu VZ | 3 626              | 2.0                       | 17.7                                               | 0.5402                                 | 0.6843                                | 0.6556                                |
| 灌丛 Shrub                                   | 4 003              | 0                         | 0.0                                                | —                                      | —                                     | —                                     |
| 草丛 Herb                                    | 3 758              | 0                         | 0.0                                                | —                                      | —                                     | —                                     |
| 草丛 Herb                                    | 3 548              | 1                         | 0.2                                                | 0.0000                                 | —                                     | 1.0000                                |
| 灌丛 Shrub                                   | 3 269              | 2                         | 13.6                                               | 0.6411                                 | 0.9249                                | 0.5512                                |
| 灌丛 Shrub                                   | 3 042              | 6                         | 48.6                                               | 1.1300                                 | 0.6307                                | 0.4715                                |
| 云杉林 Picea forest                           | 2 987              | 5                         | 27.0                                               | 1.0085                                 | 0.6266                                | 0.4470                                |
| 云杉林 Picea forest                           | 2 722              | 6                         | 23.8                                               | 1.5013                                 | 0.8379                                | 0.2898                                |
| 热水垭豁东坡垂直带<br>E slope Reshuiyahu VZ         | —                  | 10                        | —                                                  | 1.6594                                 | 0.7207                                | 0.2408                                |
| 热水垭豁东坡平均值<br>Average E slope Reshuiyahu VZ | 3 332              | 2.9                       | 16.2                                               | 0.8562                                 | 0.7550                                | 0.5519                                |
| 云杉林 Picea forest                           | 2 722              | 6                         | 23.8                                               | 1.5013                                 | 0.8379                                | 0.2898                                |
| 草丛 Herb                                    | 2 997              | 5                         | 50.0                                               | 1.1413                                 | 0.7091                                | 0.3300                                |
| 草丛 Herb                                    | 3 240              | 4                         | 67.2                                               | 0.9017                                 | 0.6504                                | 0.4698                                |
| 草丛 Herb                                    | 3 538              | 0                         | 0.0                                                | —                                      | —                                     | —                                     |
| 草丛 Herb                                    | 3 762              | 0                         | 0.0                                                | —                                      | —                                     | —                                     |
| 景阳岭垭口西坡垂直带<br>W slope Jingyanglingyakou VZ | —                  | 9                         | —                                                  | 1.5645                                 | 0.7121                                | 0.2719                                |

续表 1 Continued table 1

| 植被类型<br>Vegetation types                           | 海拔 ( m)<br>Altitude | 物种数目<br>Species<br>amount | 个体密度( 头/ m <sup>2</sup> )<br>Individual<br>densities | 多样性指数 <i>H</i><br>Diversity<br>indexes | 均匀度指数 <i>E</i><br>Evenness<br>indexes | 优势度指数 <i>C</i><br>Dominant<br>indexes |
|----------------------------------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 景阳岭垭口西坡平均值<br>Average W slope Jingyanglingyakou VZ | 3 252               | 3. 0                      | 28. 2                                                | 1. 1814                                | 0. 7325                               | 0. 3632                               |
| 草丛 Herb                                            | 3 762               | 0                         | 0. 0                                                 | —                                      | —                                     | —                                     |
| 灌丛 Shrub                                           | 3 513               | 0                         | 0. 0                                                 | —                                      | —                                     | —                                     |
| 灌丛 Shrub                                           | 3 261               | 5                         | 35. 6                                                | 0. 9420                                | 0. 5853                               | 0. 4268                               |
| 柳树林 Salix forest                                   | 2 999               | 5                         | 98. 6                                                | 0. 7206                                | 0. 4477                               | 0. 6440                               |
| 针阔混交林<br>Conifer-broadleaf mixed forest            | 2 762               | 9                         | 111. 6                                               | 1. 5826                                | 0. 7203                               | 0. 2608                               |
| 针阔混交林<br>Conifer-broadleaf mixed forest            | 2 532               | 4                         | 119. 8                                               | 1. 2353                                | 0. 8911                               | 0. 3244                               |
| 景阳岭垭口东坡垂直带<br>E slope Jingyanglingyakou VZ         | —                   | 11                        | —                                                    | 1. 8598                                | 0. 7756                               | 0. 1860                               |
| 景阳岭垭口东坡平均值<br>Average E slope Jingyanglingyakou VZ | 3 138               | 3. 8                      | 60. 9                                                | 1. 1201                                | 0. 6611                               | 0. 4140                               |
| 青海片区 Qinghai part                                  | —                   | 13                        | —                                                    | 1. 6932                                | 0. 6601                               | 0. 2560                               |
| 青海片区平均值<br>Average Qinghai part                    | 3 315               | 3. 0                      | 31. 4                                                | 0. 9284                                | 0. 7082                               | 0. 4981                               |

注：VZ，垂直带。Notes: VZ，vertical zone.

2. 2. 2 个体密度

祁连山国家公园青海片区蚂蚁群落个体密度平均值 31. 4 头/ m<sup>2</sup>，4 个垂直带的个体密度平均值顺序为：东段景阳岭垭口东坡（60. 9 头/ m<sup>2</sup>）> 中东段景阳岭垭口西坡（28. 2 头/ m<sup>2</sup>）> 西段热水垭豁西坡（17. 7 头/ m<sup>2</sup>）> 中西段热水垭豁东坡（16. 2 头/ m<sup>2</sup>）。西段热水垭豁西坡垂直带 4 块样地的个体密度 0. 00 ~ 38. 8 头/ m<sup>2</sup>，平均 17. 7 头/ m<sup>2</sup>；各样地个体密度随海拔升高而降低，表现出底域效应现象。中西段热水垭豁东坡垂直带 7 块样地的个体密度 0. 00 ~ 48. 6 头/ m<sup>2</sup>，平均 16. 2 头/ m<sup>2</sup>；各样地物种数目随海拔升高先升高后降低，表现出中域效应现象。中东段景阳岭垭口西坡垂直带 5 块样地的个体密度 0. 00 ~ 67. 2 头/ m<sup>2</sup>，平均 28. 2 头/ m<sup>2</sup>；各样地个体密度随海拔升高先升高后降低，表现出中域效应现象。东段景阳岭垭口东坡垂直带 6 块样地的个体密度 0. 00 ~ 119. 8 头/ m<sup>2</sup>，平均 60. 9 头/ m<sup>2</sup>；各样地个体密度随海拔升高而降低，表现出底域效应现象（表 3）。

2. 2. 3 多样性指数

祁连山国家公园青海片区蚂蚁群落多样性指数 1. 6932，4 个垂直带的多样性指数顺序为：东段景阳岭垭口东坡（1. 8598）> 中西段热水垭豁东坡（1. 6594）> 中东段景阳岭垭口西坡（1. 5645）> 西段热水垭豁西坡（0. 5852），与物种丰富度顺序一致。西段热水垭豁西坡垂直带 4 块样地的多样性指数 0. 3953 ~ 0. 6714，平均 0. 5402；各样地多样性指数随海拔升高而升高，表现出顶域效应现象。中西段热水垭豁东坡垂直带 7 块样地的多样性指数 0. 0000 ~ 1. 5013，平均 0. 8562；各样地多样性指数总体随海拔升高而降低，但出现了 2 个峰值，表现出多域效应现象。中东段景阳岭垭口西坡垂直带 5 块样地的多样性指数 0. 9017 ~ 1. 5013，平均 1. 1814；各样地多样性指数随海拔升高而降低，表现出底域效应现象。东段景阳岭垭口东坡垂直带 6 块样地的多样性指数 0. 7206 ~ 1. 5826，平均 1. 1201；各样地多样性指数总体随海拔升高而降低，但出现两个峰值，表现出多域效应现象（表 3）。

2.2.4 均匀度指数

祁连山国家公园青海片区蚂蚁群落均匀度指数 0.6601, 4 个垂直带的均匀度指数顺序为: 东段景阳岭垭口东坡 (0.7756) > 中西段热水垭豁东坡 (0.7207) > 中东段景阳岭垭口西坡 (0.7121) > 西段热水垭豁西坡 (0.4221), 与物种丰富度和多样性指数顺序一致。西段热水垭豁西坡垂直带 4 块样地的均匀度指数 0.2851 ~ 0.9686, 平均 0.6843; 各样地均匀度指数随海拔升高而升高, 表现出顶域效应现象。中西段热水垭豁东坡垂直带 7 块样地的均匀度指数 0.9249 ~ 0.6266, 平均 0.7550; 各样地均匀度指数随海拔升高先降低后升高, 出现两个峰值, 表现出多域效应现象。中东段景阳岭垭口西坡垂直带 5 块样地的均匀度指数 0.8379 ~ 0.6504, 平均 0.7325; 各样地均匀度指数随海拔升高而降低, 表现出底域效应现象。东段景阳岭垭口东坡垂直带 6 块样地的均匀度指数 0.4477 ~ 0.8911, 平均 0.6611; 各样地均匀度指数总体随海拔升高而降低, 但出现两个峰值, 表现出多域效应现象 (表 3)。

2.2.5 优势度指数

祁连山国家公园青海片区蚂蚁群落优势度指数 0.2560, 4 个垂直带的优势度指数顺序为: 西段热水垭豁西坡 (0.6412) > 中东段景阳岭垭口西坡 (0.2719) > 中西段热水垭豁东坡 (0.2408) > 东段景阳岭垭口东坡 (0.1860), 与物种丰富度、多样性指数和均匀度指数顺序相反。西段热水垭豁西

坡垂直带 4 块样地的优势度指数 0.5216 ~ 0.8125, 平均 0.6556; 各样地优势度指数随海拔升高而降低, 表现出底域效应现象。中西段热水垭豁东坡垂直带 7 块样地的优势度指数 0.2898 ~ 1.0000, 平均 0.5519; 各样地优势度指数随海拔升高而升高, 表现出顶域效应现象。中东段景阳岭垭口西坡垂直带 5 块样地的优势度指数 0.2898 ~ 0.4698, 平均 0.3632; 各样地优势度指数随海拔升高而升高, 表现出顶域效应现象。东段景阳岭垭口东坡垂直带 6 块样地的优势度指数 0.2608 ~ 0.6440, 平均 0.4140; 各样地优势度指数总体随海拔升高而升高, 但出现两个峰值, 表现出多域效应现象 (表 3)。

2.3 蚂蚁群落相似性

祁连山国家公园青海片区 4 个垂直带蚂蚁群落之间的相似性系数 0.2500 ~ 0.900, 处于中等不相似至极相似水平; 平均值 0.5377, 显示中等相似水平。其中, 中西段热水垭豁东坡与中东段景阳岭垭口西坡蚂蚁群落间相似性最大 (0.9000), 达到极相似水平; 中西段热水垭豁东坡与东段景阳岭垭口东坡、中东段景阳岭垭口西坡与东段景阳岭垭口东坡蚂蚁群落间相似性较大 (0.6154 ~ 0.7273), 达到中等相似水平; 西段热水垭豁西坡与其余 3 个垂直带蚂蚁群落间相似性较小 (0.2500 ~ 0.4000), 处于中等不相似水平。可见在青海片区, 从西到东 4 个垂直带蚂蚁群落间存在一定差异 (表 4)。

表 4 祁连山国家公园青海片区 4 个垂直带蚂蚁群落间相似性系数 ( $q$ )  
Table 4 Similarity coefficients ( $q$ ) between ant communities from the 4 vertical zones in Qinghai part of Qilian Mountain National Park

| 垂直带<br>Vertical zones                                            | 西段 (热水垭豁西坡)<br>West section<br>(W slope Reshuiyahu) | 中西段 (热水垭豁东坡)<br>Middle-west section<br>(E slope Reshuiyahu) | 中东段 (景阳岭垭口西坡)<br>Middle-east section<br>(W slope Jingyanglingyakou) |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 中西段 (热水垭豁东坡)<br>Middle-west section (E slope Reshuiyahu)         | 0.4000                                              |                                                             |                                                                     |
| 中东段 (景阳岭垭口西坡)<br>Middle-east section (W slope Jingyanglingyakou) | 0.3333                                              | 0.9000                                                      |                                                                     |
| 东段景阳岭垭口东坡<br>East section (E slope Jingyanglingyakou)            | 0.2500                                              | 0.6154                                                      | 0.7273                                                              |

注: 当  $q$  值为 0.00 ~ 0.24 时, 表示两个群落之间极不相似; 当  $q$  值为 0.25 ~ 0.49 时, 表示两个群落之间中等不相似; 当  $q$  值为 0.50 ~ 0.74 时, 表示两个群落之间中等相似; 当  $q$  值为 0.75 ~ 1.00 时, 表示两个群落之间极相似 (王宗英等, 1996; 徐正会, 2002)。Notes: When  $q$  between 0.00 ~ 0.24 means the two communities extremely dissimilar; when  $q$  between 0.25 ~ 0.49 means the two communities moderately dissimilar; when  $q$  between 0.50 ~ 0.74 means the two communities moderately similar; when  $q$  between 0.75 ~ 1.00 means the two communities extremely similar (Wang et al., 1996; Xu, 2002)。

### 3 结论与讨论

祁连山是我国西北地区主要山脉之一,但是迄今涉及其蚂蚁区系和多样性研究的报道十分有限。蔡海等(2012)明确记录祁连山高寒草甸生态系统蚂蚁3种:长凹头蚁 *Formica longiceps* Dlussky、黑高加索蚁 *Formica transcaucasica* Nasonov、铺道蚁 *Tetramorium caespitum* (Linnaeus)。郝虎等(2005)报道祁连山自然保护区蚂蚁1种(红蚂蚁 *Formia* sp.);蒋志成等(2006)报道祁连山自然保护区蚂蚁2种(褐林蚁 *Formica* sp.,铺道蚁 *Tetramorium* sp.);李晓明等(2002)报道祁连山国家级自然保护区蚂蚁1种(褐林蚁 *Formica* sp.);孙建忠等(2010)报道祁连山东大河林区蚂蚁2种(红蚂蚁 *Formia* sp.1,褐林蚁 *Formia* sp.2);鱼小军等(2010)报道东祁连山高寒草地生态系统蚂蚁1种(铺道蚁 *Tetramorium* sp.);以上5篇文章报道的7种蚂蚁均为待定种,未确定种名。本研究在祁连山国家公园青海片区报道蚂蚁13种,其中发现1个中国新记录种、7个青海新记录种,丰富了祁连山国家公园和青海省蚂蚁区系基础数据。

本研究在青海片区调查了4个垂直带的蚂蚁物种多样性。从西到东4个垂直带各样地的平均海拔依次降低:西段热水垭豁西坡(3 626 m) > 中西段热水垭豁东坡(3 332 m) > 中东段景阳岭垭口西坡(3 252 m) > 东段景阳岭垭口东坡(3 138 m)。在蚂蚁群落主要指标中,个体密度平均值的变化规律基本与平均海拔相反:东段景阳岭垭口东坡(60.9 头/m<sup>2</sup>) > 中东段景阳岭垭口西坡(28.2 头/m<sup>2</sup>) > 西段热水垭豁西坡(17.7 头/m<sup>2</sup>) > 中西段热水垭豁东坡(16.2 头/m<sup>2</sup>)。从西到东随着海拔降低,气温依次升高,个体密度较低,可见蚂蚁群落个体密度主要受海拔和气温制约(徐正会等,2001;张念念和邱建生,2018)。至于西段热水垭豁西坡个体密度小于中东段景阳岭垭口西坡,与后者上部2个样地均未发现蚂蚁有关。

蚂蚁群落主要指标中,物种丰富度顺序为:东段景阳岭垭口东坡(11种) > 中西段热水垭豁东坡(10种) > 中东段景阳岭垭口西坡(9种) >

西段热水垭豁西坡(4种);多样性指数顺序为:东段景阳岭垭口东坡(1.8598) > 中西段热水垭豁东坡(1.6594) > 中东段景阳岭垭口西坡(1.5645) > 西段热水垭豁西坡(0.5852);均匀度指数顺序为:东段景阳岭垭口东坡(0.7756) > 中西段热水垭豁东坡(0.7207) > 中东段景阳岭垭口西坡(0.7121) > 西段热水垭豁西坡(0.4221)。物种丰富度、多样性指数、均匀度指数3项指标表现出相同的变化规律:东部大于西部,东坡大于西坡。而优势度指数表现出相反的变化规律:西段热水垭豁西坡(0.6412) > 中东段景阳岭垭口西坡(0.2719) > 中西段热水垭豁东坡(0.2408) > 东段景阳岭垭口东坡(0.1860)。因从西到东平均海拔依次降低,前3项指标东部大于西部,说明这3项指标主要受海拔和气温制约(徐正会等,2001);东坡大于西坡,说明前3项指标还受到降雨和湿度影响。祁连山处于西北内陆,因降雨量较少,湿度总体较低,降雨主要来自东方的印度洋季风(祁连山,2020),因此东坡相对较高的降雨量可能是导致青海片区东坡蚂蚁多样性较高的成因。

随着海拔升高、气温降低,4个垂直带蚂蚁群落主要指标的变化规律不尽相同,物种数目、个体密度、多样性指数、均匀度指数主要表现出底域效应现象(徐正会等,2001),说明蚂蚁群落主要受海拔和气温制约;东段垂直带的物种数目、中西段和中东段垂直带的个体密度表现出中域效应现象(Bharti *et al.*, 2013; 张念念和邱建生, 2018),说明在气温因素主导下,蚂蚁群落在祁连山县西沟至阿柔大寺之间、门源县寺沟一带人口密集区受到人为较大干扰,致使物种数目或个体密度在垂直带下部降低。中西段垂直带的物种数目,中西段和东段垂直带的多样性指数和均匀度指数表现出多域效应现象(李文琼等,2016),说明在气温因素主导下,一方面在垂直带中上部的灌丛和下部的乔木林中存在不同物种的集聚群,另一方面在垂直带下部生境受到了较大的人为干扰。在西段垂直带上,多样性指数和均匀度指数出现了罕见的顶域效应现象,说明垂直带中上部蚂蚁物种虽少,但每个物种个体分配均匀,群落更加稳定,多样性因此升高。此外,在4个垂直带上部垭口附近样地中没有发现蚂蚁,可能与风速太

大、气温过低有关 (李文琼等, 2016)。

青海片区 4 个垂直带蚂蚁群落之间相似性系数总体较高 (0.2500 ~ 0.900), 处于中等不相似至极相似水平之间, 一方面说明位于青海片区西段、中西段、中东段、东段的蚂蚁群落结构不尽相同, 存在一定差异; 另一方面说明处于垂直带不同海拔高度的蚂蚁群落之间存在一定分化, 说明位于垂直带不同生境的蚂蚁群落具有不同生态功能和保护价值 (陈又清, 2017)。

致谢: 青海师范大学陈振宁教授邀请课题组前往祁连山国家公园青海片区参与昆虫考察, 为本研究提供了条件; 西南林业大学森林保护学专业硕士生和玉成、赵梦乔、祁彪、陈超、钱怡顺、郭宁妍, 植物保护学专业本科生杨蕊、都红、武必念参与了标本整理和制作工作。特此致谢!

## 参考文献 (References)

- Bharti H, Sharma YP, Bharti M, *et al.* Ant species richness, endemism and functional group, along an elevational gradient in the Himalayas [J]. *Asian Myrmecology*, 2013, 5 (1): 79–101.
- 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. An Online Catalog of the Ants of the World [DB/OL]. (2020-02-23) [2020-03-20]. <http://www.antcat.org/>.
- Bolton B. Identification Guide to the Ant Genera of the World [M]. Cambridge, USA: Harvard University Press, 1994.
- Cai H, Li JM, Cheng X, *et al.* Features of insect communities of alpine meadow ecosystem in Qilian Mountain regions [J]. *Pratacultural Science*, 2012, 29 (1): 121–127. [蔡海, 李婧梅, 程茜, 等. 祁连山高寒草甸生态系统昆虫群落特征 [J]. 草业科学, 2012, 29 (1): 121–127]
- Chen YQ. The progress of study on the relationship between ant community and habitat and a new trend [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (4): 735–740. [陈又清. 蚂蚁群落与栖境关系研究进展及新趋势 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (4): 735–740]
- Hao H, Feng WD, Wang L. The research on officinal insect resource in the Qilian Mountains National Nature Reserve [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2005, 2: 50–53, 60. [郝虎, 冯炜东, 王零. 祁连山自然保护区药用昆虫资源初考 [J]. 特产研究, 2005, 2: 50–53, 60]
- Hölldobler B, Wilson EO. The Ants [M]. Cambridge, US: Belknap Press of Harvard University Press, 1990.
- Huang Z, Xu ZH, Liu X, *et al.* Ant species diversity of northeastern Yunnan [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38 (12): 3697–3705. [黄钊, 徐正会, 刘霞, 等. 滇东北地区的蚂蚁物种多样性 [J]. 生态学杂志, 2019, 38 (12): 3697–3705]
- Jiang ZC, Jing ZL, Wang YK. The Hymenoptera insects and their species in Qilian Mountain Nature Reserve [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2006, 21 (6): 139–144. [蒋志成, 景作兰, 汪有奎. 祁连山自然保护区膜翅目昆虫及其种类 [J]. 西北林学院学报, 2006, 21 (6): 139–144]
- Li WQ, XU ZH, Zhou XY, *et al.* Ant species diversity of Mount Everest section of the Himalaya Mountains [J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2016, 36 (1): 114–120. [李文琼, 徐正会, 周雪英, 等. 喜马拉雅山珠峰段的蚂蚁物种多样性 [J]. 西南林业大学学报, 2016, 36 (1): 114–120]
- Li XM, LU YQ, Wang YK. Natural enemy insects in Qilian Mountain National Nature Reserve in Gansu [J]. *Journal of Gansu Normal University*, 2002, 7 (5): 36–41. [李晓明, 倪永清, 汪有奎. 甘肃祁连山国家级自然保护区森林天敌昆虫概貌 [J]. 甘肃高师学报, 2002, 7 (5): 36–41]
- Qilian Mountain National Park. Park resources [EB/OL]. (2018-12-28) [2020-03-20]. <http://www.forestry.gov.cn/qls/3/index.html>. [祁连山国家公园. 祁连山国家公园 (青海片区) 简介: 公园资源 [EB/OL]. (2018-12-28) [2020-03-20]. <http://www.forestry.gov.cn/qls/3/index.html>]
- Sun JZ, Hao H, Liu JQ, *et al.* Investigation on species of the forest natural enemy insects in Dongdahe forest region of Qilian Mountains Nature Reserve [J]. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 2010, 35 (4): 23–26. [孙建忠, 郝虎, 刘建泉, 等. 祁连山东大河林区天敌昆虫种类调查 [J]. 甘肃林业科技, 2010, 35 (4): 23–26]
- 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 (一) [M]. 北京: 科学出版社, 1995]
- Wang Yk, Yang QS. Forest Insects in the Qilian Mountain Area [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 2008: 6–27. [汪有奎, 杨全生. 祁连山森林昆虫 [M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 2008: 6–27]
- Wang ZY, Lu YH, Wang HF. The ecological distribution of soil mites in Jiuhua Mountains [J]. *Acta Ecologica Sinica*. 1996, 16 (1): 58–64. [王宗英, 路有成, 王慧英. 九华山土壤螨类的生态分布 [J]. 生态学报, 1996, 16 (1): 58–64]
- 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, 褚皎皎, 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, Li JG, Fu L, *et al.* A study on the ant communities on west slope at different elevation of the Gaoligongshan Mountain Nature

- Reserve in Yunnan, China [J]. *Zoological Research*, 2001, 22 (1): 58–63. [徐正会, 李继乖, 付磊, 等. 高黎贡山自然保护区西坡垂直带蚂蚁群落研究 [J]. 动物学研究, 2001, 22 (1): 58–63]
- Xu ZH. A Study on the Biodiversity of Formicidae Ants of Xishuangbanna Nature Reserve [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2002. [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]
- Yu XJ, Pu XP, Hung SJ, et al. Effects of ants (*Tetramorium* sp.) on eastern Qilian Mountains alpine grassland ecosystem [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2010, 19 (2): 140–145. [鱼小军, 蒲小鹏, 黄世杰, 等. 蚂蚁对东祁连山高寒草地生态系统的影响 [J]. 草业学报, 2010, 19 (2): 140–145]
- Zhang NN, Qiu JS. The research on the ant species diversity in large scale spatial patterns [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (5): 1003–1013. [张念念, 邱建生. 蚂蚁物种多样性大尺度空间分布研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (5): 1003–1013]
- Zhou SY. Ants of Guangxi [M]. Guilin: Guangxi Normal University Press, 2001. [周善义. 广西蚂蚁 [M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 2001]
- Zhu HQ, Xu ZH, Zhang XM, et al. Ant species diversity of Southeastern Yunnan [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (3): 533–544. [诸慧琴, 徐正会, 张新民, 等. 滇东南地区的蚂蚁物种多样性 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (3): 533–544]