



王海贞, 刘昕. 玉树州境内草原毛虫种群分布及其对生境草场植被的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (4): 891–902.

玉树州境内草原毛虫种群分布及其对 生境草场植被的影响

王海贞¹, 刘昕^{2*}

(1. 吕梁学院生命科学系, 山西吕梁 033000; 2. 中山大学生命科学院, 广州 510275)

摘要: 草原毛虫 *Gynaephora qinghaiensis* 是分布在我国青藏高原高寒牧区的一种重要害虫, 对高寒草甸植被破坏相当严重。为调查青藏高原高寒牧区草场草原毛虫的分布与危害情况, 本研究在青海省玉树州的高寒牧区布设了 10 个调查样地, 连续 5 年 (2015–2019 年) 采用随机抽样的方法调查了草原毛虫种群密度, 并于 2016 年同步调查了草原毛虫生境植被指数, 并对 2016 年不同调查样地的草原毛虫种群密度与生境植被指数之间的相关关系进行了分析。调查结果显示, 10 个调查样地的草原毛虫种群密度在 1.0~200.6 头/m² 之间, 具有聚集性分布的特点, 集中分布在治多草原、嘉塘草原和隆宝草原。根据高寒草甸草原毛虫危害等级划分标准, 30% 调查样地达到重度、极重度危害等级。相关分析结果显示, 草原毛虫种群密度与植被总盖度之间呈极显著的负相关关系 ($P < 0.01$), 表明随着草原毛虫种群密度的增大, 草甸植被总盖度总体呈逐渐减小的趋势。总之, 玉树州高寒牧区草场草原毛虫种群分布相对集中, 密度较高, 对草场植被危害严重, 需及时采取有效措施予以治理。本研究对草原毛虫种群分布及其生境植被展开的基础调查工作可为草原毛虫灾害的预测预报以及草原毛虫的防控提供科学的基础数据, 对保护青藏高原高寒牧区草场生态环境具有重要的意义。

关键词: 青藏高原; 草原毛虫; 种群分布; 植被指数; 防控

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2022) 04-0891-12

Distribution of *Gynaephora qinghaiensis* population and its effect on habitat grassland vegetation in Yushu Prefecture

WANG Hai-Zhen¹, LIU Xin^{2*} (1. Department of Life Sciences, Luliang University, Luliang 033000, Shanxi Province, China; 2. School of Life Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: *Gynaephora qinghaiensis* is one of the most important pests in the alpine pastoral areas of Qinghai-Tibet Plateau in China, which damages seriously the alpine meadow vegetation. In order to investigate the distribution and damage of *G. qinghaiensis* from the grassland in the alpine pastoral area of Qinghai-Tibet Plateau, in this study, 10 sample plots were set up in the alpine pastoral area of Yushu Prefecture, Qinghai Province. Population density of *G. qinghaiensis* was investigated by random sampling method for five consecutive years (2015–2019), and habitat vegetation index of *G. qinghaiensis* was investigated simultaneously in 2016. In addition, the correlation between density of *G. qinghaiensis* population and habitat vegetation index in different sample plots in 2016 was analyzed. The results showed that population density of *G. qinghaiensis* in the grassland of 10 sample plots ranged from 1.0~200.6/m², showing the characteristics of aggregation distribution, and concentrated in Zhiduo, Jiatang

基金项目: 吕梁市引进高层次科技人才重点研发项目 (2021RC-1-7); 中山大学食品与健康教育部工程研究中心研究项目 (20140A001); 青藏高原三江源地区草原毛虫生物防治研究

作者简介: 王海贞, 男, 1985 年生, 山西省吕梁市人, 博士, 讲师, 主要从事害虫生物防治研究, E-mail: 573367435@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 刘昕, 教授, E-mail: 20201018@llu.edu.cn

收稿日期 Received: 2021-04-30; 接受日期 Accepted: 2021-12-09

and Longbao grassland. According to the classification standard of caterpillar hazard in alpine meadow grassland, 30% of the sample plots reached the level of severe or extremely severe hazard. The results of correlation analysis showed that there was a significant negative correlation between population density of *G. qinghaiensis* and total vegetation coverage ($P < 0.01$), indicating that with the increase of population density, total vegetation coverage of the meadow was gradually decreasing. In conclusion, population distribution of *G. qinghaiensis* in grassland was relatively concentrated and its density was relatively high in the alpine pastoral area of Yushu Prefecture, which caused serious harm to grassland vegetation and required timely and effective measures to control it. The basic investigation on the population distribution and habitat vegetation of *G. qinghaiensis* in the grassland in this study could provide scientific basic data for prediction of *G. qinghaiensis* disaster in the grassland as well as prevention and control of *G. qinghaiensis* in the grassland, which was of great significance for the protection of the ecological environment of the grassland in the alpine pastoral area of the Qinghai-Tibet Plateau.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau; *Gynaephora qinghaiensis*; population distribution; vegetation index; prevention and control

草原毛虫 *Gynaephora qinghaiensis* 别名红头黑毛虫, 隶属鳞翅目 Lepidoptera 毒蛾科 Lymantriidae 草原毛虫属 *Gynaephora*, 全世界共有 15 个种, 其中, 亚洲 13 个种, 欧洲 3 个种, 北美 1 个种, 北极 2 个种, 主要分布在北半球的高山以及北极的冻土地带, 尤以高原高海拔 (3 000 m 以上) 地区居多 (Levin *et al.*, 2003; 张棋麟和袁明龙, 2013; Yuan *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2017)。在我国分布的草原毛虫共有 8 个种, 全部为青藏高原特有种。

草原毛虫属完全变态发育类昆虫, 一个完整的世代由卵、幼虫、蛹和成虫 4 个阶段组成, 且一年发生一代 (张棋麟和袁明龙, 2013)。虫龄划分为雄虫 6 龄, 雌虫 7 龄。1~2 龄幼虫越冬后, 翌年 4 月下旬至 5 月上旬开始活动。5 月下旬至 6 月上旬为 3 龄幼虫盛期。幼虫第 2 个龄期长达 6~7 个月, 其余龄期一般为 15~20 d。7 月上旬雄性幼虫开始结茧化蛹, 7 月下旬雌性开始结茧化蛹, 一直持续到 10 月初才结束。8 月上、中旬为化蛹盛期, 8 月初成虫开始羽化、交配和产卵。9 月初, 卵开始孵化, 9 月底至 10 月中旬为孵化盛期 (王兰英, 2012)。

草原毛虫是一种草地害虫, 具有分布密度高、发生面积大、危害程度严重的特点 (Wang *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021)。据报道, 西藏那曲地区聂荣县连续 5 年 (1998 - 2002 年) 草原毛虫的成灾面积都在 $2.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 以上, 其中 2001 年达到了 $5.9 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 平均虫

口密度 200~500 头/ m^2 , 一些地区的虫口密度甚至达到 1 000 头/ m^2 以上 (杨爱莲, 2002; 范小建, 2011; 顾慧洁等, 2021); 来自青海省的草原毛虫调查资料显示, 2003 年, 青海省草原毛虫的发生面积达 $1.0 \times 10^6 \text{ hm}^2$ (何孝德和王薇娟, 2003; 张棋麟, 2014); 2009 年, 青海省海北州草原毛虫危害面积共计 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 严重危害面积 $6.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (史国菊和吉汉忠, 2010); 2016 年青海省黄南州草原毛虫发生面积约 $1.4 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 危害面积约 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 虫口密度约 128.5 头/ m^2 (马青山, 2018; 王海春, 2020)。草原毛虫不仅破坏草地植被, 而且能引发牲畜口膜炎和口腔溃疡疾病, 影响牲畜健康和草地畜牧业发展。2008 年 6 月, 青海省西宁市海晏县甘子河乡地区部分冬春草场爆发草原毛虫灾害, 由于没有及时防治, 从而导致该地区在 2009 年 3-4 月 40 多户牧民饲养的马、牦牛、藏羊等牲畜发生不同类型的口膜炎, 发病率达到 100% (尼玛等, 2011; 拉毛央尕, 2020)。

玉树州位于青海省西南青藏高原腹地的三江源头, 素有“中华水塔”的美誉, 占据着我国重要的生态地位。然而, 这里由于海拔高、气候寒冷等恶劣环境条件, 导致生态环境非常脆弱, 极易遭到破坏, 且破坏后又极难修复 (陈和庆等, 2014)。同时, 草场生态环境不仅是玉树州畜牧业的基础, 也是三江源地区经济社会发展的重要组成部分, 保护好草场生态资源, 对玉树州乃至整个青海省的环境和经济社会可持续发展都具有非常重要的意义。近年来, 随着全球气候变暖, 雪

线逐年上升, 冰川逐渐消失, 草地不断退化, 虫害频繁爆发。有资料表明, 玉树州植被的退化面积在逐年增多。全州范围内植被退化面积约 560 hm², 占总植被面积的 50%。其中, 草原毛虫害就会导致玉树州高寒牧区草场 50% ~ 80% 的牧草被蚕食殆尽 (求松保和赵强国, 2020), 尤其在草原毛虫灾害爆发的严重地区, 经常是牧草刚返青就被啃食一光, 危害期长达半年之久, 草场植被被严重破坏, 加剧了草场退化及草地沙化的进程, 曾经水草丰美的辽阔草场逐渐变成黄沙肆虐的“无人区”。有研究者对玉树州草原毛虫的种类进行了调查, 发现主要为青海草原毛虫 *Gynaephora qinghaiensis*, 集中分布在玉树、治多等地区 (周尧和印象初, 1979), 但对于玉树州草原毛虫种群分布以及对植被危害的研究, 近年来鲜有报道。本研究对玉树州草原毛虫的分布以及对生境草场植被的影响进行了调查分析, 为玉树州草原毛虫的防控提供参考依据, 对保护青藏高原

牧区草场生态环境, 促进高寒牧区农牧业健康有序发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 调查区域概况

调查区域涵盖青海省玉树州高寒牧区境内的嘉塘草原、巴塘草原、治多草原、曲麻莱草原和隆宝草原。研究区域中心位置地理坐标为 34°17′53.052″N, 94°25′38.964″E。东西跨度约 736 km, 南北跨度约 499 km (图 1)。

1.2 调查样地的布设

在玉树州高寒牧区 (治多县、杂多县、称多县、曲麻莱县、玉树市) 进行了为期 5 年 (2015 - 2019 年) 的野外调查, 并以国道 G214 和省道 308 为主线, 在海拔 4 188 ~ 4 580 m 之间设置了 10 个调查样地 (1# ~ 10#), 每个调查样地之间的距离均在 20 km 以上。10 个调查样地的地理信息见表 1。



图 1 草原毛虫及生境植被调查区域

Fig. 1 Survey area of *Gynaephora qinghaiensis* and its habitat vegetation

注: 图中红色方框内为本次调查区域; 该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS (2019) 3333 号的标准地图制作, 底图无修改。Note: The red box in the figure was the survey area; This map was made based on the standard map No. GS (2019) 3333 downloaded from the standard map service website of the National Administration of Surveying, Mapping and Geographic Information, without modification of the base map.

表 1 玉树州高寒牧区 10 个调查样地地理信息
Table 1 Geographic information of ten sample plots in the alpine pastoral area of Yushu Prefecture

样地 Sample plots	地理坐标 Geographical coordinates		海拔高度 (m) Altitude	坡向 Slope direction	草原区域 Prairie area
	纬度 Latitude	经度 Longitude			
1 [#]	32°53'26.13"	96°44'50.46"	4 245	阴坡 Shady slope	巴塘草原
2 [#]	32°53'31.96"	96°37'17.53"	4 370	无坡向 No slope	Batang grassland
3 [#]	33°21'18.67"	97°20'53.69"	4 233	阴坡 Shady slope	嘉塘草原 Jiatang grassland
4 [#]	33°18'1.64"	97°27'10.97"	4 471	阳坡 Sunny slope	
5 [#]	33°18'55.86"	97°31'15.25"	4 259	阴坡 Shady slope	治多草原 Zhidui grassland
6 [#]	33°47'11.92"	95°49'8.84"	4 580	阳坡 Sunny slope	
7 [#]	34° 02'4.32"	95°48'31.63"	4 188	阴坡 Shady slope	曲麻莱草原
8 [#]	33°54'46.92"	95°44'16.35"	4 270	阴坡 Shady slope	Qumarleb grassland
9 [#]	33°19'55.81"	97°24'27.01"	4 432	无坡向 No slope	嘉塘草原 Jiatang grassland
10 [#]	33°09'57.06"	96°38'24.09"	4 218	无坡向 No slope	隆宝草原 Longbao grassland

1.3 野外调查时间与方法

1.3.1 调查时间

草原毛虫种群密度调查时间为 2015 – 2019 年每年 6 月下旬，草场植被调查时间为 2016 年 6 月下旬，且与 2016 年的草原毛虫种群密度调查同步进行。

1.3.2 调查方法

(1) 草原毛虫种群密度调查方法

草原毛虫种群密度调查以 4 ~ 5 龄幼虫为研究对象，采用随机抽样的调查方法，在每个调查样地内随机抽取 5 个样方（每个样方的规格为 1 m × 1 m），记录每个样方内草原毛虫幼虫的数量，取 5 个样方内草原毛虫幼虫数量的平均值作为该样地草原毛虫的种群密度。

(2) 草甸植被调查方法

① 植被抽样调查与物种鉴定

在每个调查样地内随机抽取 5 个样方，每个样方用 1 m × 1 m 铁丝框（每个铁丝框用细绳分隔成 25 个小方格）取样（胡志坚，2010；李少松，2016），同时记录每个样方内的植物的种类、数量、盖度和总盖度，并计算物种丰富度指数（Species richness indexes, *S*）、物种多样性指数（Plant diversity index, *D*）和均匀度指数（Plant evenness index, *E*）（郭涛等，2007）。对于野外无法识别的植物物种，先做标记，并采集该植物标

本，装在标本夹内带回实验室，经广东省热带亚热带植物资源重点实验室进行物种分类与鉴定。植物物种的分类与鉴定参考《中国植物志》全文电子版网站（<http://frps.iplant.cn/>）和中国自然标本馆（Chinese Field Herbarium, CFH）自然图库（<http://www.cfh.ac.cn/Album/Albums.aspx>）。

② 植被盖度的测定

植被盖度是指植物地上部分覆盖地面的程度，分为总盖度、层盖度和分盖度。可借助 1 m² 的正方形采样框（框上用线绳分隔成 25 个小方格）调查植物盖度，每种植物想象地集中在一些网格内，并根据覆盖面积估算出总盖度和分盖度（李少松，2016）。

③ 物种多样性计算方法

A. 物种多样性指数

物种多样性指数是指群落内种类多样性的程度，用来衡量群落或生态系统的稳定性。物种多样性指数是均匀度和丰富度相结合的函数，根据两个变量赋予的不同权重，物种多样性指数有多种计算方法。本研究选择 Simpson 指数（*D*）和 Shannon-Wiener（*H*）指数来表示植被的物种多样性，其表达式分别为：

$$D = 1 - \sum P_i^2 \quad \text{公式 (1)}$$

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad \text{公式 (2)}$$

B. 均匀度指数 (E)

$$E = \frac{\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i}{\ln S} \quad \text{公式 (3)}$$

C. 物种丰富度指数 (S)

$$S = \text{样方内出现的物种数} \quad \text{公式 (4)}$$

以上各式中, P_i 是第 i 个种的个数 N_i 占总个体数 N 的比例, 各样地的多样性指数、均匀度指数和丰富度指数以每个样地内 5 个样方统计量的平均值表示。

1.1.4 数据处理

利用 SPSS 22.0 软件分别对 2015–2019 年不同调查样地的草原毛虫种群密度及其 2016 年不同调查样地的植被指数等统计量进行单因素方差分析 (One-way ANOVA); 依据草原毛虫种群密度, 对各个调查样地进行聚类分析 (K-Mean 聚类法); 海拔高度对草原毛虫种群密度的影响采用单因素方差分析 (One-way ANOVA); 各统计量之间的相关关系采用皮尔森 (Pearson) 相关分析 (Sig. 2-tailed)。

2 结果与分析

2.1 草原毛虫种群分布调查

2.1.1 草原毛虫种群密调查结果与显著性检验

2015–2019 年的调查结果显示 (表 2), 调查区域内草原毛虫种群密度在 1.0 ~ 200.6 头/ m^2 之间。同一个调查样地不同调查年份草原毛虫种群密度方差分析结果显示, 2015–2019 年, 9# 样地草原毛虫种群密度差异极显著 ($P < 0.01$), 其它 9 个调查样地草原毛虫种群密度差异均不显著 ($P > 0.05$), 表明在一定时期内草原毛虫种群总体上波动较小; 同一调查年份不同调查样地草原毛虫种群密度方差分析结果显示, 10 个调查样地草原毛虫种群密度差异均极显著 ($P < 0.01$), 表明草原毛虫在玉树州境内的分布情况并不相同, 且具有聚集性分布的特点, 集中分布在治多草原、嘉塘草原和隆宝草原。

表 2 2015–2019 年玉树州高寒牧区 10 个调查样地的草原毛虫种群密度调查结果

Table 2 Survey result of population density of *Gynaephora qinghaiensis* from ten sample plots in the alpine pastoral area of Yushu Prefecture from 2015 to 2019

样地 Sample plots	种群密度 (头/ m^2) Population density				
	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
1#	5.8 ± 1.8 b	12.8 ± 6.2 b	3.2 ± 1.5 d	4.4 ± 1.6 c	2.2 ± 1.1 c
2#	6.6 ± 1.9 b	13.6 ± 3.6 b	5.0 ± 2.6 d	6.2 ± 2.4 c	4.2 ± 1.2 c
3#	15.4 ± 3.0 b	26.6 ± 7.0 b	13.4 ± 2.0 d	16.8 ± 2.2 c	9.4 ± 2.4 c
4#	27.8 ± 7.9 b	52.2 ± 17.3 b	78.4 ± 14.9 c	45.2 ± 18.8 c	50.2 ± 12.0 c
5#	5.2 ± 2.5 b	9.2 ± 6.6 b	1.0 ± 0.6 d	5.0 ± 2.1 c	5.2 ± 2.0 c
6#	185.6 ± 28.2 a	150.2 ± 20.6 a	148.4 ± 32.0 b	145.4 ± 29.0 ab	106.4 ± 22.0 b
7#	12.2 ± 3.8 b	10.6 ± 4.4 b	3.2 ± 1.1 d	5.8 ± 1.8 c	3.2 ± 1.1 c
8#	11.2 ± 3.6 b	5.6 ± 2.2 b	7.6 ± 2.9 d	2.4 ± 1.0 c	6.4 ± 1.7 c
9#	196.2 ± 10.8 a	180.4 ± 22.3 a	156.4 ± 15.3 ab	120.6 ± 18.5 c	90.2 ± 12.4 bc
10#	200.6 ± 36.7 a	156.2 ± 32.5 a	196.4 ± 28.7 a	176.4 ± 26.8 a	186.6 ± 49.7 a

注: 表中数据为平均值 ± 标准误差, 相同字母表示差异性不显著 ($P > 0.05$), 不同字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)。
Note: Data in the table were mean ± SE; Same letters indicated no significant difference ($P > 0.05$), while different letters indicated significant difference ($P < 0.05$).

2.1.2 调查样地海拔高度和坡向对草原毛虫种群密度的影响分析

(1) 调查样地海拔高度对草原毛虫种群密度的影响分析

方差分析结果显示, 海拔高度对草原毛虫种群密度的影响极显著 ($P < 0.01$); 草原毛虫种群密度对应海拔高度的变化趋势如图 2, 海拔在 4 188 ~ 4 580 m 之间, 随着海拔高度的增加, 草原

毛虫的种群密度无明显的变化规律,但种群密度较高的调查样地海拔大部分在 4 200 m 以上。

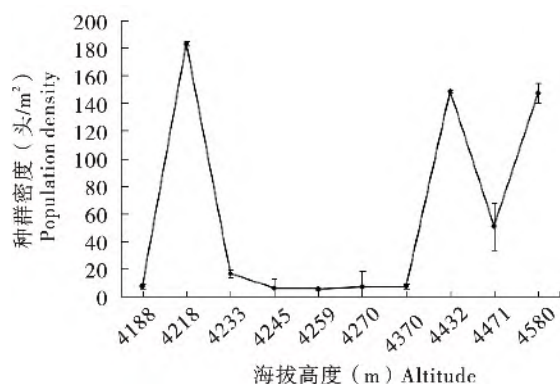


图2 草原毛虫种群密度对应海拔高度的变化趋势

Fig. 2 Change trend of population density of *Gynaephora qinghaiensis* to altitude

(2) 调查样地坡向对草原毛虫种群密度的影响分析

依据草原毛虫的种群密度,对玉树州高寒牧区 10 个调查样地进行聚类分析,共获得 3 个类别,即高密度、中密度和低密度类别(表 3)。其中,高密度类别调查样地包括 6[#]、9[#]和 10[#]样地,坡向分别为阳坡或无坡向;中密度类别调查样地包括 4[#]样地,坡向为阳坡;低密度类别调查样地包括 1[#]、2[#]、3[#]、5[#]、7[#]和 8[#]样地,除 2[#]样地无坡向

表 3 草原毛虫调查样地聚类及坡向信息

Table 3 Clustering and slope direction of sample plots of *Gynaephora qinghaiensis*

类别	调查样地	坡向
Classes	Sample plots	Slope direction
高密度	6 [#]	阳坡 Sunny slope
	9 [#]	无坡向 No slope
	10 [#]	无坡向 No slope
中密度	4 [#]	阳坡 Sunny slope
低密度	1 [#]	阴坡 Shady slope
	2 [#]	无坡向 No slope
	3 [#]	阴坡 Shady slope
	5 [#]	阴坡 Shady slope
	7 [#]	阴坡 Shady slope
	8 [#]	阴坡 Shady slope

外,其它样地均为阴坡。在 10 个调查样地中,高密度和中密度调查样地的坡向多为阳坡或无坡向,低密度调查样地的坡向大部分为阴坡,说明草原毛虫主要分布在阳坡或无坡向的高寒草甸,这与草原毛虫幼虫喜好阳光的生活习性有关。

2.1.3 草原毛虫危害程度等级划分

根据于健龙和石红霄(2010)对高寒草甸草原毛虫危害等级划分标准(表 4),在 10 个调查样地中,重度、极重度危害级调查样地共 3 个(6[#]、9[#]、10[#]),占调查样地总数量的 30%;轻度危害级调查样地 1 个(4[#]),占调查样地总数量的 10%;生态平衡级调查样地 6 个(1[#]、2[#]、3[#]、5[#]、7[#]、8[#]),占调查样地总数量的 60%(表 5)。

表 4 高寒草甸草原毛虫危害等级划分标准

Table 4 Standard for Hazards of *Gynaephora qinghaiensis* in the alpine meadow

级别	名称	种群密度 (头/m ²)
Level	Name	Population density
1	生态平衡级 Ecological balance class	0 ~ 29
2	轻度危害级 Minor hazard level	30 ~ 79
3	中度危害级 Moderate hazard level	80 ~ 129
4	重度、极重度危害级 Severe and extremely severe hazards	≥130

2.1.4 草原毛虫种群增长趋势分析

2015-2019 年玉树州高寒牧区 10 个调查样地的草原毛虫种群密增长趋势图显示(图 3),除 6[#]、7[#]和 9[#]样地外,其它各个样地的草原毛虫种群密度总体呈逐年波动趋势,表明草原毛虫种群增长具有大小年变化规律。

2.2 草甸植被调查与分析

2.2.1 调查样地植被组成分析

10 个样地共有植被 19 科、38 属、67 种,其中,共有种为小嵩草 *Kobresia parva*,其次分布样地最多的种为珠芽蓼 *Polygonum viviparum*。8 个样地有特有种,其中,1[#]样地特有种为尖苞风毛菊 *Saussurea subuliquama*、细叶西伯利亚蓼 *Polygonum sibiricum*; 2[#]样地特有种为卵叶风毛菊 *Saussurea ovatifolia*、甘青铁线莲 *Clematis tangutica*; 3[#]样地

表 5 草原毛虫调查样地危害等级统计
Table 5 Statistics on hazard levels of sample plots of *Gynaephora qinghaiensis*

危害等级 Hazard ranking	调查样地 Sample plots	占调查样地总数量 的概率 (%) Percentage of the total number of sample plots
生态平衡级 Ecological balance class	1 [#]	60
	2 [#]	
	3 [#]	
	5 [#]	
	7 [#]	
	8 [#]	
轻度危害级 Minor hazard level	4 [#]	10
重度、极重度危害级 Severe and extremely severe hazards	6 [#]	30
	9 [#]	
	10 [#]	

注: 调查样地危害等级的划分取决于每个样地最大的种群密度。Note: Hazard ranking of sample plots depended on the maximum population density of each plot.

特有种为细裂亚菊 *Ajania przewalskii*、鸦跖花 *Oxygraphis glacialis*、高山米口袋 *Gueldenstaedtia verna*、美丽马先蒿 *Pedicularis bella*、双花堇菜 *Vida biflora*; 4[#]样地特有种为珠峰火绒草 *Leontopodium himalayanum*、大黄 *Rheum palmatum*、草甸马先蒿 *Pedicularis roylei*; 5[#]样地特有种为条裂委陵菜 *Potentilla lancinata*、银光委陵菜 *Potentilla argrophylla*、圆叶点地梅 *Androsace gracieae*、鼠掌老鹳草 *Geranium sibiricum*、马先蒿 *Pedicularis* sp.; 7[#]样地特有种为节节草 *Equisetum ramosissimum*; 8[#]样地特有种为风毛菊 *Saussurea japonica*、穆坪高山耳蕨 *Polystichum moupinense*; 9[#]样地特有种为发草 *Deschampsia caespitosa*、大萼蓝钟花 *Gyananthus macrocalyx*; 6[#]和 10[#]样地无特有种。

2.2.2 草甸植被调查与分析

(1) 植被指数调查结果与显著性检验

植被指数调查结果显示 (表 6), 植被总盖度在 58.2% ~ 94.4% 之间, Simpons 多样性指数在 0.54 ~ 1.19 之间, Shannon-Wiener 多样性指数在 0.99 ~ 1.41 之间, 均匀度指数在 0.51 ~ 0.70 之间。方差分析结果显示 (表 8), 不同调查样地的 Shannon-Wiener 多样性指数和均匀度指数差异性均不显著 ($P > 0.05$), 但 Simpons 多样性指数和植被总盖度存在极显著差异 ($P < 0.01$)。

表 6 植被指数调查结果
Table 6 Survey results of vegetation indexes

调查样地 Sample plots	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>E</i>	<i>C</i>
1 [#]	0.62 ± 0.16	1.36 ± 0.15	0.69 ± 0.05	87.6% ± 1.6%
2 [#]	0.64 ± 0.02	1.23 ± 0.08	0.70 ± 0.03	86.4% ± 1.7%
3 [#]	0.58 ± 0.08	1.20 ± 0.17	0.56 ± 0.08	76.2% ± 2.0%
4 [#]	0.65 ± 0.03	1.28 ± 0.07	0.64 ± 0.04	94.4% ± 0.8%
5 [#]	1.19 ± 0.06	1.41 ± 0.15	0.65 ± 0.04	82.6% ± 1.9%
6 [#]	0.54 ± 0.08	1.14 ± 0.18	0.59 ± 0.07	58.2% ± 2.8%
7 [#]	0.56 ± 0.03	1.12 ± 0.05	0.58 ± 0.03	92.6% ± 1.8%
8 [#]	0.58 ± 0.04	1.11 ± 0.07	0.54 ± 0.03	92.4% ± 1.6%
9 [#]	0.55 ± 0.06	1.14 ± 0.10	0.51 ± 0.04	60.4% ± 4.4%
10 [#]	0.59 ± 0.02	0.99 ± 0.04	0.62 ± 0.03	76.8% ± 3.9%

注: *E*, 均匀度指; *D*, Simpons 多样性指数; *H*, Shannon-Wiener 多样性指数; *C*, 植被总盖度; 表中数据为平均值 ± 标准误差。Note: *E*, Evenness index; *D*, Simpons index; *H*, Shannon-Wiener index; *C*, Total vegetation coverage; Data in the table were mean ± SE.

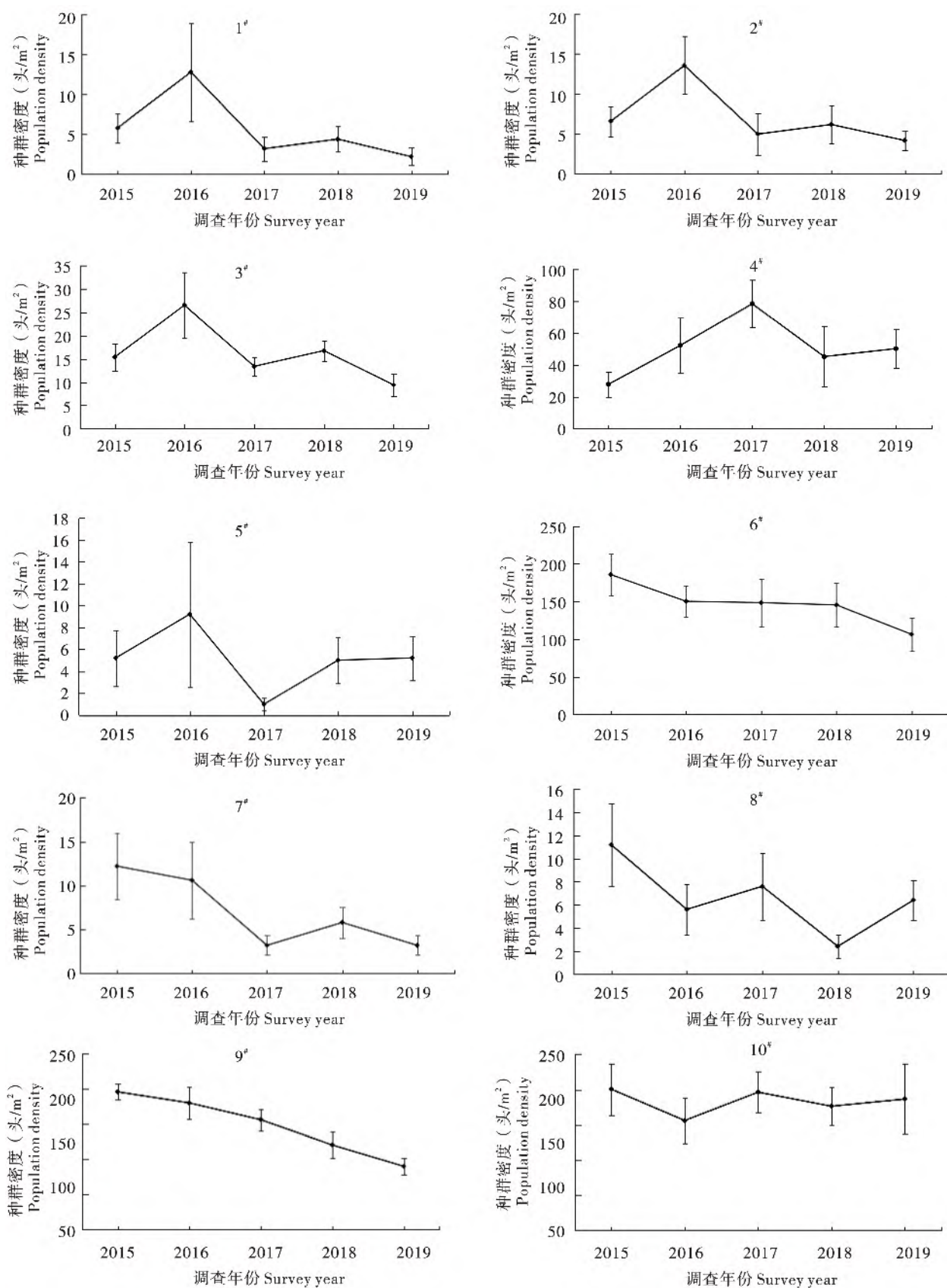


图3 2015-2019年玉树州高寒牧区10个样地的草原毛虫种群增长趋势

Fig. 3 Increased trend of population density of *Gynaephora qinghaiensis* from ten sample plots in the alpine pastoral area of Yushu Prefecture from 2015 to 2019

表 7 10 个调查样地植被指数方差分析
Table 7 Variance analysis of vegetation index from ten sample plots

植被指数 Vegetation indexes	平方和 Sum of squares	均方 Mean square	df	F	P
D	1.689	0.188	9	10.006	<0.01**
H	0.631	0.070	9	0.820	0.602
E	0.176	0.020	9	1.379	0.231
C	0.760	0.084	9	27.577	<0.01**

注: E, 均匀度指数; D, Simpons 多样性指数; H, Shannon-Wiener 多样性指数; C, 植被总盖度; ** 在 0.01 水平 (双尾), 相关性显著。Note: E, Evenness index; D, Simpons index; H, Shannon-Wiener index; C, Total vegetation coverage; ** at the 0.01 level (two-tailed), the correlation was significant.

(2) 相关性分析

利用 SPSS 22.0 软件对 2016 年调查的 10 个样地草原毛虫种群密度、植被总盖度、均匀度指数、Simpons 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数两两之间进行皮尔森相关分析, 从分析结果得出 (表 8), 草原毛虫种群密度与草甸植被多样性指数

以及均匀度指数之间的相关性均不显著 ($P > 0.05$), 表明草原毛虫种群密度对草甸植被多样性指数和均匀度指数的影响较小。草原毛虫种群密度与植被总盖度之间呈极显著的负相关关系 ($P < 0.01$), 表明随着草原毛虫种群密度的增大, 草甸植被总盖度总体呈逐渐减小的趋势 (图 4)。

表 8 2016 年草原毛虫种群密度和植被指数之间的皮尔森相关系数

Table 8 Pearson's correlation coefficient between population density of *Gynaephora qinghaiensis* and vegetation indexes in 2016

	E	D	H	C	Q
E	1	0.374	0.561	0.415	-0.400
D	0.374	1	0.671*	0.175	-0.346
H	0.561	0.671*	1	0.283	-0.549
C	0.415	0.175	0.283	1	-0.813**
Q	-0.400	-0.346	-0.549	-0.813**	1

注: E, 均匀度指数; D, Simpons 多样性指数; H, Shannon-Wiener 多样性指数; C, 植被总盖度; Q, 草原毛虫种群密度; ** 在 0.01 水平 (双尾), 相关性显著, * 在 0.05 水平 (双尾), 相关性显著。Note: E, Evenness index; D, Simpons index; H, Shannon-Wiener index; C, Total vegetation coverage; Q, Population density of *Gynaephora*; ** at the 0.01 level (two-tailed), the correlation was significant, * at the 0.05 level (two-tailed), the correlation was significant.

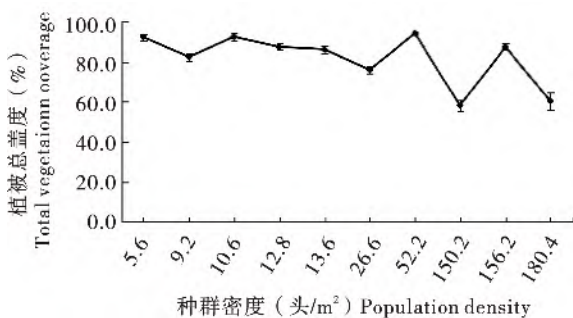


图 4 2016 年草原毛虫种群密度对植被总盖度的影响趋势
Fig. 4 Influence trend of population density of *Gynaephora qinghaiensis* on total vegetation coverage in 2016

3 结论与讨论

青藏高寒牧区居青藏高原腹地, 是牦牛、藏羊的主要产地, 也是最主要的牧业基地。这里气候凉爽, 太阳辐射强, 5-7 月份降水丰富, 为草原毛虫的分布、为害提供了有利的外界条件。仅玉树州境内的草原毛虫分布面积就高达 $5.4 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占青海省草原毛虫分布总面积的 50.9%, 其中, 重度以上为害面积达 $3.2 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占全省为害总面积的 45.7% (何孝德和王薇娟, 2003)。根据何孝德和王薇娟 (2003) 对青海省草原毛虫

分布区域的划分,玉树州被定位为江河源头草原毛虫重灾区 I 类亚区。根据于健龙和石红霄 (2010) 对高寒草甸草原毛虫危害等级划分标准,在玉树州调查的 10 个样地中,有 3 个样地的草原毛虫已达重度、极重度危害等级(种群密度大于或等于 $130 \text{ 头}/\text{m}^2$),占调查样地总数的 30%。说明玉树州境内的草原毛虫分布集中,部分地区危害严重,需及时采取防治措施。

草原毛虫雌成虫翅已退化,与雄虫交配后在原地结茧产卵,因此,草原毛虫只能依靠幼虫近距离迁移,这直接导致草原毛虫种群呈聚集分布型,并随着长期以来的生存特点逐渐形成点状与岛屿状分布(严林,2006)。据报道,青海草原毛虫分布中心点密度高达 $1\ 000 \text{ 头}/\text{m}^2$ (杨爱莲,2002;严林,2006)。本研究通过野外调查发现,青藏高寒牧区草场的草原毛虫同样呈聚集型分布,集中分布在嘉塘草原、隆宝草原和治多草原,种群密度最大达 $200.6 \text{ 头}/\text{m}^2$,以此为核心的周边区域草原毛虫种群密度较小,有些地方甚至没有草原毛虫分布。草原毛虫聚集分布习性以及较强的子代繁殖能力可能是玉树州部分地区草原毛虫成灾的主要原因。草原毛虫喜食植物种类较少,尤其喜食嵩草属植物,如小嵩草、矮嵩草 *Kobresia humilis* 等,并以这些植物的茎尖、叶端和叶缘为主要取食部位(万秀莲和张卫国,2006)。因此,草原毛虫种群分布还受限于喜食植物的空间格局。万秀莲和张卫国(2006)研究表明,草原毛虫总体空间格局上呈聚集型分布,但在小尺度下则呈均匀型分布,且虫口密度与喜食植物的丰富度和多样性具有紧密的关联。随着喜食植物丰富度和多样性的增加,草原毛虫种群密度显著上升,随着喜食植物丰富度和多样性的减少,草原毛虫种群密度显著下降。在野外调查中同样发现,嵩草属植物盖度较高的草甸,草原毛虫种群密度较大,嵩草属植物盖度较低,且其他种类植物较多的草甸,草原毛虫种群密度较小。此外,草原毛虫种群分布还受海拔高度和坡向的影响,草原毛虫种群密度受海拔高度的影响极显著,且高密度的调查样地海拔大部分在 $4\ 200 \text{ m}$ 以上。阚绪甜(2016)对青藏高原草原毛虫种群密度调查结果显示,草原毛虫主要分布在海拔 $4\ 074 \sim 4\ 450 \text{ m}$ 之间,低于 $4\ 000 \text{ m}$ 的海拔区域基本没有毛虫分布。青藏高原高海拔地区是一种寒冷且缺氧的极端生境,草原毛虫对这种极端生境表现出的适应性是

由其自身的遗传机制决定的(张棋麟,2014; Yuan *et al.*,2015; 杨兴卓等,2018)。研究表明,高海拔极端生境生活的昆虫能够调整自身基本代谢过程适应低氧压力(Zhao *et al.*,2013)。在野外调查中还发现,草原毛虫幼虫主要分布在阳坡或无坡向的高寒草甸,这可能与草原毛虫幼虫喜好温暖、阳光充足的气候有关,尤其是进入快速生长期的幼虫(5~6龄),需在白天吸收阳光以满足自身生长发育的能量需求。

高寒草甸是青藏高原主要的天然草地类型(孙飞达等,2009),不仅是畜牧业发展的资源依托,而且也是许多适应极端生境物种分化变异的中心(江小雷等,2004;于健龙和石红霄,2010)。植物群落结构和土壤环境是高寒草甸生态系统最基本的参照特征(孙飞达等,2009),其稳定性是草甸生态系统存在的必要条件和功能表现。草原毛虫作为青藏高原高寒草甸的主要害虫之一,主要取食莎草科、禾本科、豆科等各类占植被群落优势地位的牧草,尤其对嵩草属植物表现出强烈的偏好和倾向性(万秀莲和张卫国,2006)。在草原毛虫密集区,大量的嵩草属植物被草原毛虫蚕食殆尽,导致其在植物群落结构中的竞争力下降,其他植物物种的竞争力增强,随之,植物群落中物种生态位发生变化,进而影响到整个草甸生态系统的稳定性。草甸生态系统的失衡,又进一步加剧草甸退化和草甸生态系统恶化。马培杰等(2016)研究表明,草原毛虫对小嵩草草甸植被总生物量、盖度和丰度的影响不大,但能显著降低植被的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数。于健龙和石红霄(2010)对高寒嵩草草甸植被调查结果显示,草原毛虫虫口密度与高寒嵩草草甸地上生物量具有显著的正相关关系,与草甸地下生物量、生草层厚度和牧草高度具有显著的负相关关系,与植被总盖度的相关性不显著,但当虫口密度达到重度、极重度危害等级时,植被总盖度显著降低。在本研究中,草原毛虫种群密度与高寒草甸植被多样性指数和均匀度指数之间的相关性均不显著($P > 0.05$),但与植被总盖度之间具有极显著的负相关关系($P < 0.01$),随着草原毛虫种群密度的增加,草甸植被总盖度总体呈逐渐减小的趋势。草原毛虫幼虫喜食小嵩草、矮嵩草和大花嵩草 *Carex nudicarpa* 等嵩草属的植物,喜食植物种类较少(万秀莲和张卫国,2006),因此不会影响草甸植被的多样性和均匀

度,但嵩草属植物大多为草甸优势种,植被覆盖度较大,当草原毛虫种群密度过高时,这些优势植物就会被大面积破坏,从而使草甸植被总盖度明显减小。

参考文献 (References)

- Chen HQ, Fan YQ, Chen KX, et al. Present situation and protection measures of grassland ecological environment in Yushu Prefecture [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2014, 13: 280-281. [陈和庆, 范玉琴, 陈坤贤, 等. 玉树州草原生态环境现状及保护措施 [J]. 现代农业科技, 2014, 13: 280-281]
- Chou I, Ying CC. A taxonomic study on the steppe caterpillars (Lepidoptera: Lymantriidae) [J]. *Entomotaxonomia*, 1979, 1 (1): 23-28. [周尧, 印象初. 草原毛虫的分类研究 [J]. 昆虫分类学报, 1979, 1 (1): 23-28]
- Fan XJ. Research on Poverty Alleviation and Development and Disaster Reduction and Prevention Industry Development on Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 4-25. [范小建. 扶贫开发及青藏高原减灾避灾产业发展研究 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 4-25]
- Gu HJ, Wang H, Shangguan ZJ, et al. Effects of nitrogen addition on the population density of *Gynaephora menyuanensis* in Tibetan alpine grassland [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 42 (5): 1-10. [顾慧洁, 汪浩, 上官子健, 等. 外源氮添加对高寒草甸源草原毛虫种群密度的影响 [J]. 生态学报, 2021, 42 (5): 1-10]
- Guo T, Yang XB, Liao XJ, et al. Investigation on the vegetation of iron tailing wasteland in Shilu, Changjiang, Hainan Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (2): 755-762. [郭涛, 杨小波, 廖香俊, 等. 海南昌江石碌铁矿尾矿区植被调查 [J]. 生态学报, 2007, 27 (2): 755-762]
- He XD, Wang WJ. A preliminary study on the distribution and classification of grassland caterpillar in Qinghai Province [J]. *Pratacultural Science*, 2003, 20 (8): 45-48. [何孝德, 王薇娟. 青海省草原毛虫分布区域及为害等级划分初探 [J]. 草业科学, 2003, 20 (8): 45-48]
- Hu ZJ. Studies on the Traits of Vegetation and Soil in the *Cordyceps sinensis* Habitats in Mt. Sejila, Tibet [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Master Thesis, 2010. [胡志坚. 西藏色季拉山地区冬虫夏草生境植被与土壤特征研究 [D]. 广州: 中山大学硕士论文, 2010]
- Jiang XL, Zhang WG, Yang ZY, et al. Plant diversity variations in zokor-mound communities along a successional stage [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15 (5): 814-818. [江小雷, 张卫国, 杨振宇, 等. 不同演替阶段鼢鼠土丘群落植物多样性变化研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15 (5): 814-818]
- Kan XT. Studies on the Distribution and Phylogenetics of *Gynaephora* sp. and Its Parasitoid [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Master Thesis, 2016. [阚绪甜. 青藏高原草原毛虫及其寄生性天敌调查和系统分类学研究 [D]. 广州: 中山大学硕士论文, 2016]
- La MYG. Investigation on the present situation and distribution of insect pests in natural grassland [J]. *Animal Science and Veterinary Science*, 2020, 9: 26-27. [拉毛央尔. 天然草原虫害危害现状与分布调查 [J]. 畜牧兽医科学, 2020, 9: 26-27]
- Levin DB, Danks HV, Barber SA. Variations in mitochondrial DNA and gene transcription in freezing-tolerant larvae of *Eurosta solidaginis* (Diptera: Tephritidae) and *Gynaephora groenlandica* (Lepidoptera: Lymantriidae) [J]. *Insect Molec. Biol.*, 2003, 12 (3): 281-289.
- Li SS. Transcriptomic Analysis of Developmental Stages of *Ophiocordyceps sinensis* and Study on Its Hosts Breeding [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Doctoral Thesis, 2016. [李少松. 冬虫夏草发育过程转录组分析及其寄生昆虫繁育研究 [D]. 广州: 中山大学博士论文, 2016]
- Ma PJ, Pan DF, Chen BJ, et al. Effects of grassland caterpillar on the vegetation community of *Kobresia pygmaea* alpine meadow [J]. *Grassland and Turf*, 2016, 36 (5): 111-114. [马培杰, 潘多锋, 陈本建, 等. 草原毛虫对小嵩草草地植被群落的影响 [J]. 草原与草坪, 2016, 36 (5): 111-114]
- Ma QS. Present situation and countermeasures of grassland pests in Huangnan Prefecture [J]. *Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2018, 48 (1): 53-55. [马青山. 黄南州草原虫害现状及对策建议 [J]. 青海畜牧兽医杂志, 2018, 48 (1): 53-55]
- Ni M, He SD, Li CY, et al. Observation on prevention and control effect of grassland caterpillar on yak stomatitis [J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2011, 4: 111. [尼玛, 河生德, 李长云, 等. 草原毛虫引起牦牛口膜炎的防治效果观察 [J]. 畜牧与兽医, 2011, 4: 111]
- Qiu SB, Zhao GQ. Status and protection measures of vegetation ecological environment in Yushu Prefecture [J]. *Protection Forset Science and Technology*, 2020, 3: 79-80. [求松保, 赵强国. 玉树州植被生态环境现状及保护措施 [J]. 防护林科技, 2020, 3: 79-80]
- Shi GJ, Ji HZ. Forecast and analysis of grassland pest damage trend in Haihei Prefecture in 2010 [J]. *Qinghai Pratacultural*, 2010, 19 (1): 31-35. [史国菊, 吉汉忠. 海北州 2010 年草地虫害危害趋势预测分析 [J]. 青海草业, 2010, 19 (1): 31-35]
- Sun FD, Long RJ, Lu CX, et al. Effects of rodents activities on primary productivity and soil physical characteristics in alpine meadow [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2009, 16 (3): 225-229. [孙飞达, 龙瑞军, 路承香, 等. 鼠类活动对高寒草甸初级生产力和土壤物理性状的影响 [J]. 水土保持研究, 2009, 16 (3): 225-229]
- Wan XL, Zhang WG. Feeding habit and spatial pattern of *Gynaephora alpherakii* larvae [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2006, 14 (1): 84-88. [万秀莲, 张卫国. 草原毛虫幼虫的食性及其空间格局 [J]. 草地学报, 2006, 14 (1): 84-88]
- Wang LY. Occurrence and control of caterpillars in grassland [J]. *Pratacultural & Animal Husbandry*, 2012, 11: 31-33. [王兰英. 草原毛虫的发生及其防治 [J]. 草业与畜牧, 2012, 11: 31-33]
- Wang HC. Prediction of the occurrence trend of grassland pests in Qinghai Province [J]. *Qinghai Pratacultural*, 2020, 29 (2): 60. [王海春. 青海省草原虫害近期发生趋势预测 [J]. 青海草业,

- 2020, 29 (2): 60]
- Wang HZ, Zhong X, Gu L, et al. Analysis of the *Gynaephora qinghaiensis* pupae immune transcriptome in response to parasitization by *Thektogaster* sp. [J]. *Arch. Insect Biochem. Physiol.*, 2019, 100 (3): 1–20.
- Wang HZ, Zhong X, Gu L, et al. Transcriptome characterization and gene expression analysis related to potential immunity of male and female pupae in *Gynaephora qinghaiensis* [J]. *J. Asia – Pac. Entomol.*, 2020, 23 (2): 458–469.
- Wang HZ, Zhong X, Lin HF, et al. Genetic diversity and population structure of *Gynaephora qinghaiensis* in Yushu Prefecture, Qinghai Province based on the mitochondrial COI gene [J]. *Biochem. Genet.*, 2021, 59 (6): 1396–1412.
- Yang AL. In Tibet and Qinghai, the caterpillar is seriously harmful to the grassland [J]. *Pratacultural Science*, 2002, 19 (5): 73–75. [杨爱莲. 西藏、青海部分地区草原毛虫为害严重 [J]. 草业科学, 2002, 19 (5): 73–75]
- Yan L. Studies of Taxonomy, Geographic Distribution in *Gynaephora* Genus and Life History Strategies on *Gynaephora menyuanensis* [D]. Lanzhou: Lanzhou University Doctoral Thesis, 2006. [严林. 草原毛虫属的分类、地理分布及门源草原毛虫生活史对策的研究 [D]. 兰州: 兰州大学博士论文, 2006]
- Yang XZ, Zhang QL, Li M, et al. Comparative analysis of the microRNA transcriptomes between two *Gynaephora* species (Lepidoptera: Lymantriinae) inhabiting different high altitudes of the Tibetan Plateau [J]. *Science in China (Life Sciences)*, 2018, 48 (6): 671–683. [杨兴卓, 张麒麟, 李敏, 等. 栖息于青藏高原不同海拔环境的两种草原毛虫 miRNA 转录组的比较分析 [J]. 中国科学 (生命科学), 2018, 48 (6): 671–683]
- Yu JL, Shi HX. Effects of grassland caterpillars on the plant community structure of alpine Kobresia meadows and soil properties [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38 (9): 62–64. [于健龙, 石红霄. 草原毛虫对高寒嵩草草甸植物群落结构及土壤特性的影响 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38 (9): 62–64]
- Yuan ML, Zhang QL, Guo ZL, et al. The complete mitochondrial genome of *Gynaephora alpherakii* (Lepidoptera: Lymantriidae) [J]. *Mitochondrial DNA*, 2016, 27 (3): 2270–2271.
- Yuan ML, Zhang QL, Wang ZF, et al. Molecular phylogeny of grassland caterpillars (Lepidoptera: Lymantriinae: *Gynaephora*) endemic to the Qinghai–Tibetan Plateau [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10 (3): 1–16.
- Zhang L, Zhang QL, Wang XT, et al. Selection of reference genes for RT-qPCR and expression analysis of high-altitude-related genes in grassland caterpillars (Lepidoptera: Erebidae: *Gynaephora*) along an altitude gradient [J]. *Ecol. Evol.*, 2017, 7 (21): 9054–9065.
- Zhang QL, Yuan ML. Research status and prospect of grassland caterpillars (Lepidoptera: Lymantriidae) [J]. *Pratacultural Science*, 2013, 30 (4): 638–646. [张麒麟, 袁明龙. 草原毛虫研究现状与展望 [J]. 草业科学, 2013, 30 (4): 638–646]
- Zhang QL. Genomes Between Two *Gynaephora* Species (Lepidoptera: Lymantriidae) [D]. Lanzhou: Lanzhou University Master Thesis, 2014. [张麒麟. 两种草原毛虫的比较线粒体基因组学研究 [D]. 兰州: 兰州大学硕士论文, 2014]
- Zhao DJ, Zhang ZY, Cease A, et al. Efficient utilization of aerobic metabolism helps Tibetan locusts conquer hypoxia [J]. *BMC Genomics*, 2013, 14 (1): 631.