

白龙江林区地表甲虫沿海拔梯度的群落结构及动态分析*

李丹春^{1,2**} 付作霖^{1,2***} 罗子渝^{1,2} 林媛^{1,2} 蔡建华^{1,2} 唐明代^{1,2}

(1. 甘肃省白龙江林业管理局林业科学研究所, 兰州 730000; 2. 甘肃白龙江森林生态系统国家定位观测研究站, 舟曲 746300)

摘要 【目的】揭示白龙江林区地表甲虫群落沿海拔梯度(927-2 735 m)的多样性格局、群落结构及动态变化,为林区内生物多样性长期监测及保护提供理论基础和依据。【方法】采用巴氏罐诱捕法,沿不同海拔梯度(927、1 794、2 376和2 735 m)设置陷阱诱集地表甲虫。【结果】共采集2 015头地表甲虫,包括18科95种。虎甲科Cicindelidae的个体数量最多(436只)占总数的21.6%,其次是叩甲科Elateridae、步甲科Carabidae、葬甲科Silphidae、隐翅甲科Staphylinidae。5个科的采集数量占到总数的75.1%,是白龙江地区优势种群。随着海拔梯度的升高,流域内地表甲虫的数量及优势种群数量都呈先上升后下降的趋势。在海拔2 376 m处,地表甲虫丰富度最高,诱集数量最多。低海拔地区地表甲虫丰富度低,诱集数量少。在种群动态变化中,中高海拔地区的优势种群在6-9月间的种群数量变化趋势呈单峰增长模式,且不同海拔高度不同科种群的诱集峰值不同。如在不同海拔梯度内诱集的步甲科数量均在7月份最多;在海拔2 376 m处,叩甲科个体数量在8月份最多,相比海拔较低的1 794 m处,则7月份数量最多,在低海拔927 m处和高海拔地区2 735 m处,叩甲科的个体数量急剧减少,且动态变化不明显。【结论】在白龙江林区拱坝河流域,地表甲虫种类丰富,优势种群明显。在不同海拔梯度上,其优势种群表现出不同的变化模式。根据地表甲虫群落在海拔梯度上的分布,可将地表甲虫分为三类。一是分布在中高海拔,包括步甲科、隐翅甲科及虎甲科等,在流域内4个不同海拔梯度都有分布。二是在中高海拔和高海拔处种类丰富,在低海拔处未诱集到相应甲虫,包括叩甲科及葬甲科。三是在不同海拔高度都有分布,但数量少,未形成优势种群,包括金龟科、象甲科及瓢虫科等。

关键词 多样性; 地表甲虫; 海拔梯度; 群落结构; 动态变化

Community structure and dynamics of ground beetles along an altitudinal gradient in the Bailongjiang forest

LI Dan-Chun^{1,2**} FU Zuo-Lin^{1,2***} LUO Zi-Yu^{1,2} LIN Yuan^{1,2}
CAI Jian-Hua^{1,2} TANG Ming-Dai^{1,2}

(1. Institute of Forestry Science, Bailongjiang Forestry Management Bureau of Gansu Province, Lanzhou 730000, China;

2. Gansu Bailongjiang National Forest Ecosystem Research Station, Zhouqu 746300, China)

Abstract 【Objectives】 To describe the diversity, community structure and change in the ground beetle community along an altitude gradient (927-2 735 m) in the Bailong River forest area, and demonstrate the benefits of long-term monitoring and protection of forest biodiversity. 【Methods】 Babbitt pot traps were set at different altitudes (927, 1 794, 2 376, 2 735 m) to capture ground beetles. 【Results】 A total of 2 015 ground beetles were caught, which could be classified into 95 species and 18 families. Among these, the Elateridae, Carabidae, Silphidae, Staphylinidae and Cicindelidae were the dominant families comprising 75.1% of all species captured. The most numerically abundant family was the Cicindelidae which comprised 436 individuals or 21.6% of the total. The number of dominant species first increased, then decreased, along the elevation gradient.

*资助项目 Supported projects: 甘肃省科技厅自然科学基金项目(17JR5RA058)

**第一作者 First author, E-mail: gslide@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: sunlucky621@126.com

收稿日期 Received: 2020-12-21; 接受日期 Accepted: 2021-04-19

Both the diversity and number of beetles trapped were highest at 2 376 m, whereas both diversity and abundance were relatively low in low altitude areas. The number of dominant species in middle and high altitude areas had a single-peak growth pattern from June to September. Peak capture values differed among families at different altitudes. For example, the Carabidae were the most abundant beetles caught in July at all altitudes. However, the Elateridae were the most frequently caught in August at 2 376 m and 1 794 m. Conversely, the number of Elateridae captured decreased sharply at 927 m and 2 735 m. **[Conclusion]** Ground beetle species are abundant and dominant species are obvious in the Gongba River basin of the Bailongjiang forest. Dominant species varied with altitude. Ground beetles can be categorised into three types according to their distribution on the altitude gradient. The Mid-high altitude group includes the Carabidae, Staphylinidae and Cicindelidae, which are widely distributed at 4 different altitudes in the basin. The mid-high and high-altitude group, includes the Elateridae and Silphidae. The third group, comprised of the Scarabaeidae, Curculidae and Coccinellidae, are found at all altitudes, but are less abundant and are not dominant taxa at any altitude.

Key words diversity; ground beetles; altitude; community structure; dynamic change

甲虫是鞘翅目 *Coleoptera* 昆虫的统称, 隶属昆虫纲 *Insecta*, 几乎在陆地上的任何地方都能发现地表甲虫, 迄今记载种类约有 39 万 (聂瑞娥等, 2019)。鞘翅目昆虫是陆地生态系统主要的优势种群, 其种类的生物多样性一定程度上反映区域生态系统多样性, 它们生命周期短、种类繁多, 且分布广泛 (曹秀文, 2006), 对生物环境和非生物环境的变化均很敏感 (Hodkinson and Jackson, 2005; 张萌娜等, 2015)。地表甲虫是鞘翅目甲虫的一部分, 是栖息于地表最庞大、种类最丰富的昆虫类群之一, 其分布通常选择不同生境或局限于特定的栖息地, 表现出它们具有对栖息地的特殊性和适生性 (Hodkinson and Jackson, 2005), 具有广谱的生物地理学和生物学探针的功能 (Hodkinson, 2005; Rahbek, 2005)。利用地表甲虫对不同生境变化的敏感性可以监测不同生境下的生物多样性的变化 (Rainio and Niemelä, 2003)。

已有研究表明, 在森林的不同生境中, 地表甲虫在不同林分结构及不同土壤环境下, 其昆虫群落结构有明显不同 (朱纪元等, 2016; 顾伟等, 2017; 吴龙飞等, 2017)。在森林砍伐后形成的边缘效应研究中, 发现步甲从森林到边缘的分布成明显的梯度分布 (Magura, 2002; Yu *et al.*, 2006, 2007; 徐世才和王丽娟, 2017)。在不同农业生境中, 对主要害虫与优势天敌的相关性研究较多, 且鞘翅目昆虫是优势天敌的重要组成部分。以苜蓿蚜虫 *Aphis craccivora* 的天敌为例,

在害虫发生为害后, 其天敌的发生时期比害虫推迟 10-20 d, 存在明显的跟随现象 (张新瑞等, 2007; 陈明等, 2011; 孙骊珠等, 2016)。此外, 麦蚜及天敌的种群动态变化受农业景观格局的强烈影响 (Schmidt *et al.*, 2004; 刘文惠等, 2014; 侯笑云等, 2015)。在沙质草地沙漠化过程中, 地表甲虫群落的变化主要受制于植被盖度、凋落物量、土壤有机碳和养分含量降低等因素影响 (赵哈林等, 2013)。如宁夏荒漠草原的地表甲虫功能群多样性受季节变化影响, 且与植物多样性间呈现出复杂的线性关系 (陈蔚等, 2019)。

昆虫生存的环境随海拔高度的不同而产生变化, 因此海拔梯度可视为几个环境 (温度、湿度等) 梯度的替代物 (Hodkinson, 2005)。海拔梯度不仅影响物种丰富度的格局, 而且还影响其生境结构 (Hodkinson and Jackson, 2005)。不同的海拔高度会影响物种的分布, 对于地表甲虫来说, 这种分布差异可能反映了物种的特定生活史及其利用特定海拔栖息地的能力 (Hodkinson, 2005)。沿海拔梯度的种群生态学可能为物种或群落应对气候变化的反应提供线索 (Rainio and Niemelä, 2003; Hodkinson, 2005)。近年来, 国内学者对不同生境与地表甲虫群落结构的相关性进行大量研究 (侯笑云等, 2015; 朱纪元等, 2016; 顾伟等, 2017; 刘生冬等, 2018; 陈蔚等, 2019), 但从海拔梯度出发, 对地表甲虫群落结构、多样性及动态变化随海拔不同而变化等方面的研究鲜有报道。因此, 本研究通过研究白龙江

林区地表甲虫群落沿海拔梯度(927-2 735 m)的多样性格局、群落结构及动态变化,旨在为林区内生物多样性长期监测及保护提供理论基础和依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

拱坝河流域(33°14'-33°46'N, 104°00'-104°49'E)位于甘肃南部,发源于白龙江林区岷山山系羊不梁和大草坡一带,是白龙江的右岸主要支流(图 1)。其位置图来源甘肃省行政边界划分及白龙江林区地形图,以 1:50 000 比例尺建立拱坝河流域等高线地形图,不同海拔高度与等高线相对应。因地势高耸,垂直梯度变化明显,流域气候从河口的暖温带到头部的青藏高寒气候过渡(赵栋等, 2018)。根据白龙江生态系统定位研究站监测数据,年平均气温 13.6 °C,最

高气温 36.5 °C,最低气温 -13.8 °C,夏季产生大量降雨,流域内年降雨最高达 865.7 mm。

流域内植物主要有冷杉、云杉、油松、黄杨及油橄榄等多种植物(包琼, 2014),整个流域地处岷山腹地,自西北向东南流经舟曲县的茶岗、拱坝和武都区的黄鹿坝等地,于两水汇入白龙江,全长 94 km。海拔从河口的 1 035 m,到源头的 4 256 m,相对高差达 3 221 m,流域面积 1 284 km²,整个流域边缘海拔在 3 000 m 以上,以森林和草甸为主,伴有裸岩和雪峰,四周与白龙江干流流域、白水江流域及其支流中路河流域相接。

1.2 调查方法及标本鉴定

沿拱坝河流域于 2018 年 5 月至 10 月,2019 年 5 月至 10 月期间,分别在海拔梯度 927 m(段河坝)、1 794 m(三场)、2 376 m(一场)及 2 735 m(花草坡)处设置样点采集地表甲虫(表 1)。在每个海拔梯度设置 3 块样地,样地大小设为 20 m × 30 m。每个样地内设置 5 个样点,每个样点内设 60 个诱杯,间距为 1.5 m,采用“Z”形取样法调查地表昆虫种类。地表甲虫的采集采用巴氏罐诱法(周红章等, 2014),即用塑料杯(300 mL,直径 8 cm,深 12 cm)作为罐诱捕器,在杯沿上打 4 个小孔防止雨水过多致使标本流失。每个诱杯倒入 200 mL 诱剂诱集甲虫,引诱剂为醋、糖、医用酒精和水的混合物,重量比为 2:1:1:20,每 10 d 采集 1 次。将采集到的地表甲虫带回实验室进行针插标本制作,附采集信息,最后进行分类鉴定及统计分析。标本鉴定主要依据相关论著(萧刚柔, 1992; 杨星科, 2014; 蔡邦华, 2019),并在有关专家的帮助下完成。

1.3 数据处理与分析

地表甲虫类群的优势度采用 Berger-Parker 指数(W)划分, $W=N_{\max}/N$,其中 N_{\max} 为数量优势类群的个体数, N 为个体总数。当 $W \geq 10\%$ 时为优势类群, $1\% \leq W < 10\%$ 为常见类群, $W < 1\%$ 时为稀有类群。地表甲虫物种丰富度指数(S)参考丁圣彦(2004)方法分析不同海拔高度地表甲虫多样性的变化。 $S = (R - 1)/\ln N$, R 代表群

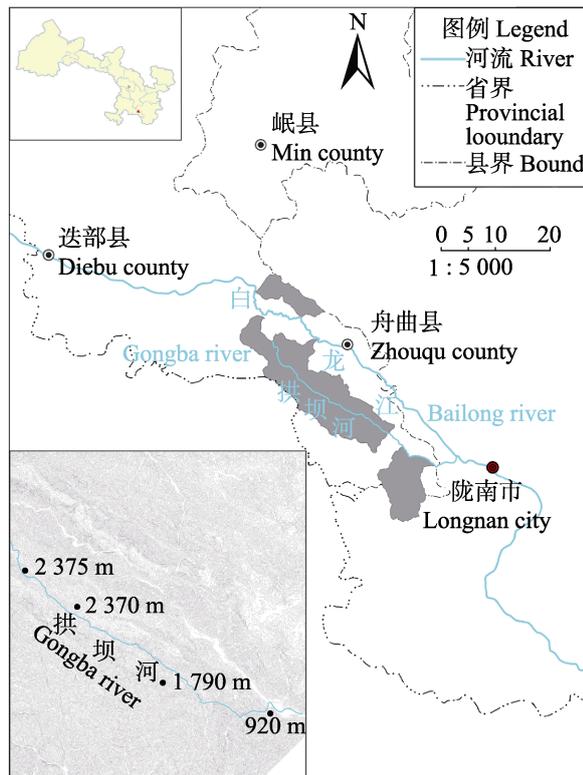


图 1 拱坝河流域在甘肃省南部的位置和不同海拔高度的样地位置

Fig. 1 Location of the Gongba river basin in southern Gansu province and the sample positions at different altitudes

表 1 不同海拔梯度的主要植被类型
Table 1 Main vegetation types with different altitude gradients

序号 Number	海拔范围 (m) Altitude range	主要植被类型 Main vegetation types			研究样地 Study plot		
		乔木 Tree	灌木 Shrub	草本 Herb	地名 Place name	海拔 (m) Altitude	主要林型 Dominant vegetation
I	800-1 300	油橄榄 <i>Olea europaea</i> 胡桃 <i>Juglans regia</i>	—	藜 <i>Chenopodium album</i> 无尾果 <i>Coluria longifolia</i>	段河坝 Duan he ba	927	油橄榄林 Olive grove
II	1 300-2 000	华北落叶松 <i>Larix gmelinii</i> 白皮松 <i>Pinus bungeana</i> 白桦 <i>Betula platyphylla</i> 红桦 <i>Betula albo-sinensis</i>	黄杨 <i>Buxus sinica</i> R. 水青树 <i>Teteacentron sinense</i>	酸模叶蓼 <i>Polygonum lapathifolium</i> 驴蹄草 <i>Caltha palustris</i>	三场 Three chang	1 794	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest
III	2 000-2 500	云杉 <i>Picea asperata</i> 油松 <i>Pinus tabuliformis</i> 华山松 <i>Pinus armandii</i> 华北落叶松 <i>Larix gmelinii</i>	黄芦木 <i>Berberis amurensis</i>	宽叶荨麻 <i>Urtica laetevirens</i> 风毛菊 <i>Saussurea japonia</i>	一场 Yi chang	2 376	人工云杉林; 云杉 苗圃地 Artificial spruce forest; Spruce nursery
IV	2 500-2 900	云杉 <i>Picea asperata</i> 岷江冷杉 <i>Abies fargesii var.faxoniana</i>	华西茶藨子 <i>Ribes maximowiczii</i>	大车前 <i>Plantago major</i> 甘野菊 <i>Dendranthema lavandulifolium</i>	花草坡 Hua cao po	2 735	云杉-冷杉林 Spruce and fir forests

落的科级总数，*N* 为群落所有物种个体总数之和。通过单因素方差分析 (ANOVA) 和最小显著差法 (LSD) 进行检验。对服从正态分布或转换后服从正态分布的数据，采用单因素方差分析方法，对不服从正态分布的数据，采用非参数检验方法。使用 Excel(2007)、统计软件 SPSS 17.0 进行 Pearson 相关分析，以确定不同海拔高度和甲虫多样性变量之间的相互关系。

2 结果与分析

2.1 流域内地表甲虫主要科类群及数量

在拱坝河流域通过巴氏诱罐法采集地表甲虫，除了少量标本需进一步鉴定外，共鉴定甲虫标本 2 015 头，隶属于 18 个科 95 种 (表 2)。其中，叩甲科 Elateridae、步甲科 Carabidae、葬

甲科 Silphidae、隐翅甲科 Staphylinidae 及虎甲科 Cicindelidae 5 个科的 Berger-Parker 指数均 >10%，构成该流域内的优势种群。在优势种群中，虎甲科 Cicindelidae 个体数量最多，共 436 头，占总数的 21.6%，步甲科 Carabidae 次之，共 358 头，占总数的 17.8%，两科合计占总体个数的 39.4%，为该流域个体数量最丰富类群。叩甲科 Elateridae(13.3%)、隐翅甲科 Staphylinidae(12.0%) 及葬甲科 Silphidae(10.5%) 3 科所占比例在 10%-15% 区间，为流域内的丰富类群。花萤科、球蕈甲科、金龟科、象甲科、露尾甲科、锹甲科、拟步甲科及瓢虫科 8 科的个体数量占比在 1%-10% 之间，为流域内常见类群；肖叶甲科、朽木甲科、花金龟科、小蠹科及牙甲科 5 科个体数量占百分比少于 1%，为流域内稀有类群。

表 2 不同海拔梯度下地表甲虫群落组成和数量

Table 2 Composition and number of ground-dwelling beetles captured in different altitude gradients

科 Family	海拔高度 (m) Altitude (m)				种数 Species	个体总数 Individuals	相对多度 (%) Percentage
	927	1 794	2 376	2 735			
叩甲科 Elateridae	0	96	85	27	20	268	13.30
步甲科 Carabidae	24	64	184	86	9	358	17.77
葬甲科 Silphidae	0	5	142	64	6	211	10.47
隐翅甲科 Staphylinidae	11	115	62	26	4	241	11.96
虎甲科 Cicindelidae	4	37	228	167	14	436	21.64
花萤科 Cantharidae	0	18	6	0	2	24	1.19
球蕈甲科 Leiodidae	0	16	64	0	1	80	3.97
金龟科 Scarabaeidae	8	34	24	34	6	100	4.96
象甲科 Curculionidae	6	18	34	11	5	69	3.42
肖叶甲科 Eumolpidea	0	0	8	2	4	10	0.50
露尾甲科 Nitidulidae	0	8	64	22	1	94	4.67
锹甲科 Lucanidae	2	2	5	14	5	29	1.44
朽木甲科 Galerucinae	0	1	0	3	1	4	0.20
花金龟科 Dascillidae	0	0	2	7	1	9	0.45
拟步甲科 Tenebrionidae	5	2	8	16	5	31	1.54
瓢虫科 Coccinellidae	9	16	3	14	8	39	1.94
小蠹科 Scolytidae	0	0	7	4	3	11	0.55
牙甲科 Hydrophilidea	0	2	0	0	0	1	0.05
科数 Number of family	8	15	16	15	-	-	-
总计 Total	69	504	966	477	95	2 015	100.00

2.2 拱坝河流域地表甲虫随海拔梯度的变化

沿海拔梯度的升高,流域内地表甲虫的数量呈先上升后下降趋势(图 2),设置的 4 个不同海拔梯度样地中,诱集个数Ⅲ号样地(2 376 m) >Ⅱ号样地(1 794 m) >Ⅳ号样地(2 735 m) >Ⅰ号样地(927 m),中高海拔处(2 000-2 500 m)个体数量及科数最多,种类最为丰富。中海拔(1 300-2 000 m)及高海拔(2 500-2 900 m)的地表甲虫数量及科数基本相似,且都低于中高海拔区域。低海拔(800-1 300 m)诱集到的地表甲虫数量及科数明显低于中海拔及高海拔区域。在低海拔处,未诱集到叩甲科、葬甲科、花萤科、球蕈甲科及肖叶甲科等 10 科的昆虫,在科级层面诱集占比为 44.4%,诱集数量占总数的 3.4%。在海拔 1 794 m 处,未诱集到总科数中的肖叶甲

科、花金龟科及小蠹科。而在海拔 2 376 m 处,未诱集到朽木甲科及牙甲科,海拔 2 735 m 处,未诱集到花萤科、球蕈甲科及牙甲科。

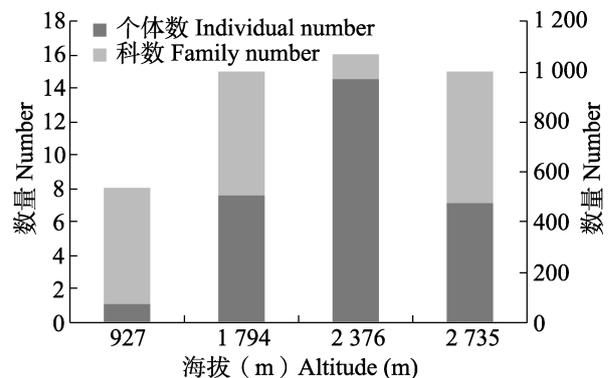


图 2 拱坝河流域总体数量随海拔梯度变化
Fig. 2 The dominant population in Gongba River basin varies with different altitude gradients

2.3 拱坝河流域优势种群随海拔梯度的变化

拱坝河流域的优势种群数量随着海拔高度 (927-2 376 m) 的增加总体呈上升趋势, 在中高海拔 (2 376 m) 处, 种群数量达到峰值, 之后随着海拔高度的增加, 优势种群数量呈下降趋势 (图 3)。这与流域内不同海拔总的物种多度变化曲线相似, 但不同科的优势种群在不同海拔处的种群数量不同。在海拔 1 794 m 处, 隐翅甲科和叩甲科的个体数量大于步甲科、虎甲科及葬甲科, 且随海拔高度的增加, 二者的数量呈下降趋势。在海拔 2 376 m 处, 优势种群中的虎甲科、步甲科及葬甲科的个体数量高于隐翅甲科和叩甲科, 且虎甲科的个体数量最多, 步甲科次之。

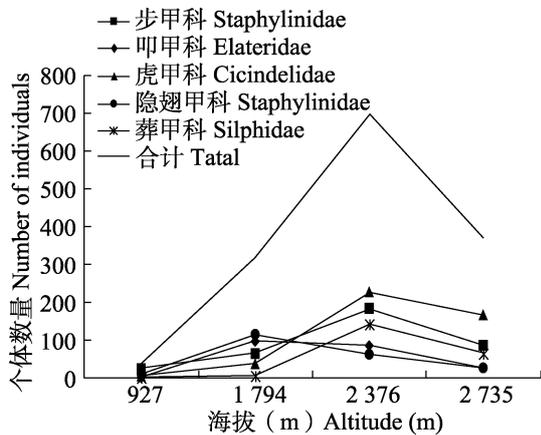


图 3 拱坝河流域优势种群随海拔梯度变化
Fig. 3 The dominant population in Gongba River basin varies with different altitude gradients

2.4 不同海拔梯度下地表甲虫科级丰富度及多度的变化

通过分析不同海拔梯度的地表甲虫多样性指数 (图 4), 结果表明中高海拔地区的 II 号样地 (1 300-2 000 m) 与 III 号样地 (2 000-2 500 m) 物种丰富度无显著差异, 且均与 IV 号样地 (2 500-2 900 m) 的高海拔地区丰富度相似, 无显著差异, 多样性指数均在 2.0-2.5 之间。低海拔地区的 I 号样地 (800-1 300 m) 多样性指数为 1.26, 与中高海拔及高海拔地区丰富度均差异显著 ($P < 0.05$)。海拔 (1 794 m) 和高海拔 (2 735 m)

采集的甲虫多度相似, 无显著差异。但二者与海拔 (2 736 m) 样地采集的甲虫多度差异显著 ($P < 0.05$), 均低于显著高海拔地区的采集个体数量。低海拔地区 (927 m) 的物种多度最小, 显著 ($P < 0.05$) 低于中高海拔及高海拔地区。

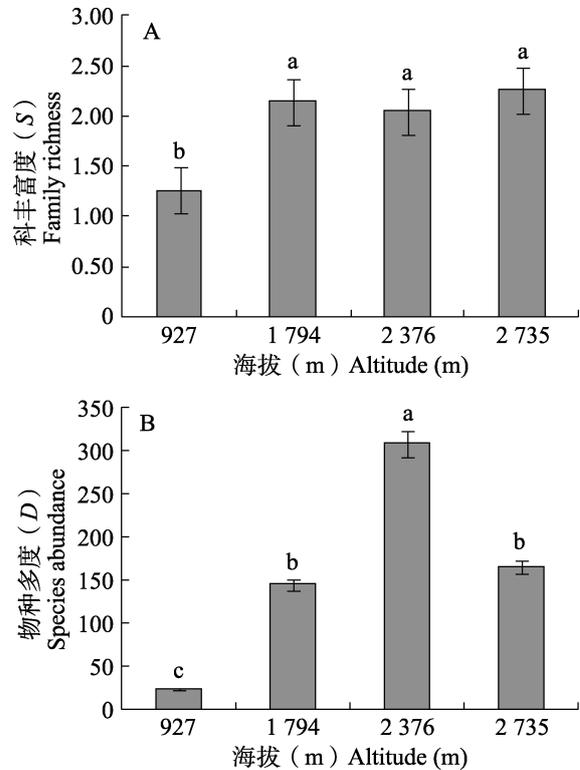


图 4 不同海拔梯度下地表甲虫科丰富度 (A) 和多度 (B)
Fig. 4 Richness (A) and abundance (B) of ground beetles in different altitude gradients

图中数据为平均值±标准差, 柱上标有不同字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Data are mean±SD, and histograms with different lowercase letters indicate significant differences between different treatments ($P < 0.05$).

2.5 相同海拔梯度下优势种群动态变化

优势种群在不同海拔梯度上的动态变化如图 5 所示。在低海拔地区 (927 m), 物种的丰富度及个体数量都较低, 其中步甲科的个体数量在 7 月份最多, 虎甲科及隐翅甲科的个体数量少, 变化趋势不明显, 总体优势种群中的叩甲科及隐翅甲科在低海拔地区没有采集到昆虫 (图 5: A)。

在海拔 1 794 m 处, 优势种群的动态变化如图 5 (B) 所示。虎甲科种群数量呈先下降后上

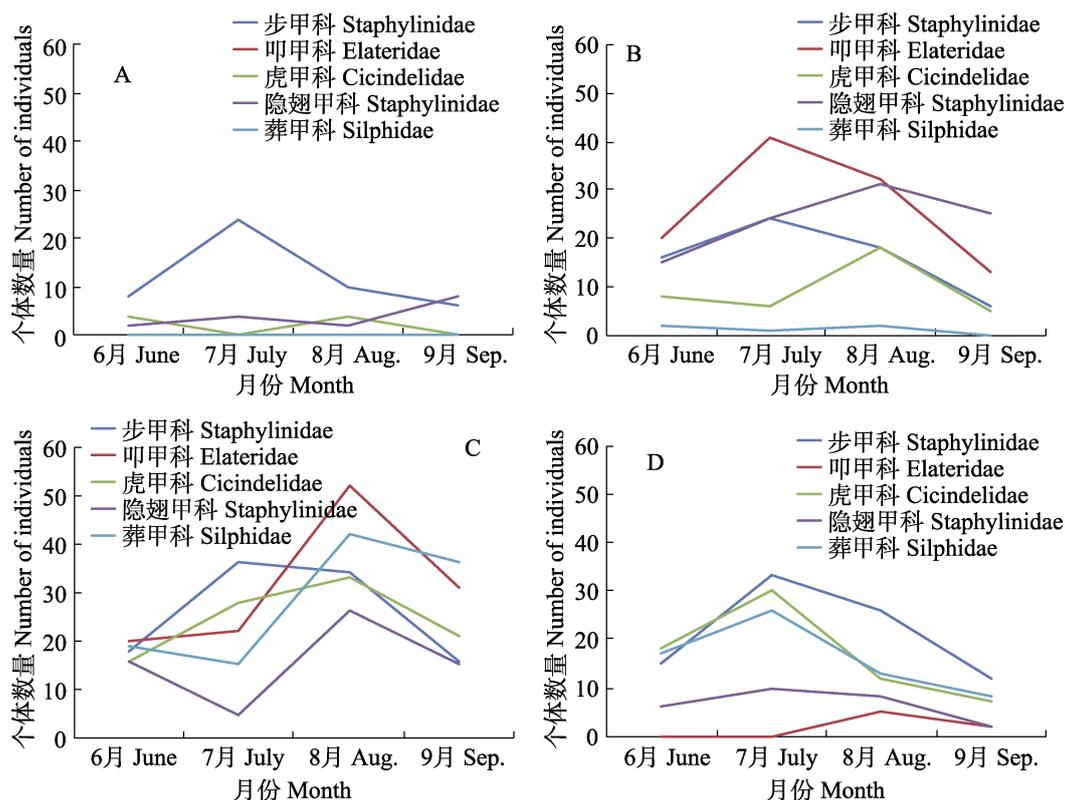


图 5 不同海拔梯度下优势种群动态变化 (2018-2019)

Fig. 5 The seasonal activity of five dominant family at each altitude from 2018 to 2019

A. 海拔高度为 927 m; B. 海拔高度为 1 794 m; C. 海拔高度为 2 376 m; D. 海拔高度为 2 735 m.

A. The altitude is 927 m; B. The altitude is 1 794 m; C. The altitude is 2 376 m; D. The altitude is 2 735 m.

升在下降的变化趋势,且在 8 月其个体数量最多。叩甲科为该地区的优势种群,在 7 月份个体数量最多。此外,隐翅虫科在该海拔范围内数量多,成为个体数量仅次于叩甲科的常见种群。中高海拔地区(2 376 m)的优势种群在 6 月至 9 月间的种群数量变化趋势相似,其中叩甲科在中高海拔地区个体数量最多(图 5: C),在海拔 2 376 m 处,8 月份个体数量最多,且在海拔相对较低的 1 794 m 处,7 月份则数量最多,相反在高海拔地区(2 735 m)处,叩甲科的个体数量急剧减少,动态变化不明显(图 5: D)。

在海拔 2 735 m 的高海拔地区,步甲科、虎甲科及葬甲科的数量在 6 月至 9 月间变化趋势相似,且三科都在 7 月达到数量峰值,之后成递减趋势(图 5: D)。步甲科在高海拔地区数量最多,为该地区的优势种群(图 5: D)。隐翅甲科在中高海拔 1 300-2 500 m 之间的个体数量最大,在 6 月至 9 月间的变化趋势为递增到 8 月

之后下降,在 8 月数量最多,而在低海拔及高海拔地区,其种类及数量少,无明显变化趋势(图 5)。

2.6 不同海拔梯度下生境因子与地表甲虫多样性变化

由表 3 可知,随着海拔高度的增加,气温与海拔高度呈显著负相关,低海拔与高海拔地区平均温差为 8.72 °C。相对湿度在拱坝河流域与海拔高度呈显著正相关,相对湿度差最大为 13.8%。枯落物深度在中高海拔及高海拔地区无显著差异,但与低海拔地区的枯落物深度呈显著差异($P < 0.05$)。而地表甲虫的物种丰富度及物种多样性随海拔高度增加呈递增趋势,为正显著相关。海拔和环境(温度、湿度等)因子之间存在相关性,但是没有发现总的地表甲虫群落类型和环境因子之间存在相关性,但步甲科及隐翅甲科的数量与枯落物度呈显著正相关($P < 0.05$)。

表 3 不同海拔梯度的生境因子变化
Table 3 Measured environmental variables at each altitude

样地 Plot	海拔 (m) Altitude	坡向 Aspect	生境变量 Environmental variables			丰富度指数 (S) Richness	物种多度 (D) Abundance
			温度 (°C) Temperature	相对湿度 (%) Relative humidity	枯落物深度 (cm) Leaf litter depth		
I	927	南坡 South solpe	26.54±0.35a	38.51±1.92b	1.21±0.56b	1.26±0.44b	23.00±0.62c
II	1 794	南坡 South solpe	23.35±0.54ab	48.35±1.65ab	2.84±0.43a	2.14±0.16a	144.67±2.42b
III	2 376	南坡 South solpe	19.64±0.64b	46.91±1.28ab	2.42±1.37a	2.05±0.34a	308.66±0.61a
IV	2 735	东南坡 Southeast slope	17.82±0.29b	52.34±1.82a	2.31±0.15a	2.25±0.25a	165.65±1.36b

表中数据为平均值±标准差, 数据后标有不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Date are mean±SD, and histograms with different lowercase letters indicate significant differences between different treatments ($P<0.05$).

3 结论与讨论

拱坝河流域作为白龙间林区内一个重要的区内分布河流, 其发源及流经地垂直变化明显, 物种多样性丰富, 是以海拔梯度的不同来研究林区内地表甲虫群落结构及动态变化的理想选择研究区。调查结果表明, 拱坝河流域地表甲虫共有 18 科, 95 种。从科级水平分析诱集到的 2 015 只地表甲虫, 其中虎甲科个体数量最多, 占总数的 21.6%, 步甲科次之, 占总数的 17.8%, 两科合计占总体个数的 39.4%, 构成了该流域的最丰富类群。由于没有查询到有关该流域内地表甲群落结构的相关报道, 无法作出流域内优势种群的比较。

从总的优势种群来看, 虎甲科及步甲科为流域内最丰富的类群, 但在不同海拔梯度, 其种群结构不同。根据流域内地表甲虫在不同海拔梯度上的分布, 可将地表甲虫分为三类。第一类包括步甲科、隐翅甲科及虎甲科, 3 科甲虫在流域内 4 个不同海拔梯度都有分布, 但主要分布在中高海拔 (1 794-2 376 m)。第二类包括叩甲科及葬甲科, 2 科甲虫在在中高海拔及高海拔 (1 794-2 735 m) 处种类丰富, 但在低海拔处没有诱集到 2 科地表甲虫, 说明叩甲科及葬甲科更适应气候适中及相对湿度高的气候条件。第三类包括金龟科、象甲科及瓢虫科等, 虽然在不同海拔高度都有分布, 但数量少, 不构成优势种群。拱坝河

流域地表甲虫的物种丰富度、数量在不同海拔梯度上表现出相应的增长模式。不同科具有不同的分布范围。低海拔地区地表甲虫丰富度低, 诱集数量少, 与中高海拔及高海拔地区形成鲜明对比, 这可能与流域下游低海拔地区温度高, 相对湿度低, 乔木主要以油橄榄 *Olea europaea* 及胡桃 *Juglans regia* 为主, 林分结构单一等因素有关, 需进一步调查研究。

流域内地表甲虫种群动态变化得出中高海拔 (1 794-2 376 m) 地区的优势种群在 6 月至 9 月间的种群数量变化趋势相似, 呈单峰增长模式, 且增长趋势明显, 各科之间在不同海拔高度的诱集峰值不同。如步甲科在不同海拔梯度内都是在 7 月份出现数量最多, 后慢慢减少。叩甲科在中高海拔地区个体数量最多, 在海拔 2 376 m 处, 8 月份个体数量最多, 且在海拔相对较低的 1 794 m 处, 7 月份则数量最多, 在低海拔 927 m 处及高海拔地区 2 735 m 处, 叩甲科的个体数量急剧减少, 动态变化不明显。说明叩甲科昆虫在该流域内更适合中高海拔的森林生境, 这与一些地表甲虫其分布通常选择不同生境或局限于特定栖息地 (Hodkinson and Jackson, 2005) 的研究报道相一致。研究中, 温度、相对湿度等环境因子与乔木、灌木及草本植物都随海拔高度的增加而变化, 不同海拔高度样地内的枯落物厚度、林分结构对地表甲虫分布也有影响, 如步甲科昆虫相对容易在有枯枝叶层的样地诱捕到, 在该流域内落叶层主要在中高海拔 (1 794-2 376 m) 及

高海拔 (2 735 m) 地区, 这与步甲科更喜欢在落叶林下的落叶层栖息研究结果相一致 (Rainio and Niemelä, 2003)。

地表甲虫不同种类的生存环境受到食物、温度及湿度等因素的综合影响, 不同海拔梯度可以作为温度、湿度及植物等环境因素的综合载体 (Hodkinson, 2005)。本研究从不同海拔梯度出发, 研究了该流域地表甲虫的种类、优势种群、不同海拔梯度的群落结构及动态变化, 为拱坝河流域及白龙江林区昆虫多样性提供依据。此外, 研究表明步甲科昆虫对监测生境和生物多样性变化具有指示作用 (顾伟等, 2017), 本研究结果可为白龙江林区森林植被恢复后的生态效果进行监测、林区内生物多样性长期监测及管理措施提供合理化建议。

参考文献 (References)

- Bao Q, 2014. Soil carbon and nitrogen reserves of shrubs in the Bailongjiang dry valley, Gansu province. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 32(3): 277–282. [包琼, 2014. 白龙江干旱河谷自然恢复灌丛群落的土壤碳氮储量. 四川农业大学学报, 32(3): 277–282.]
- Cai BH, 2019. *Insect Taxonomy*. Beijing: Chemical Industry Press. 399–540. [蔡邦华, 2019. 昆虫分类学. 北京: 化学工业出版社. 399–540.]
- Cao XW, 2006. A survey of Scarabaeoidea fauna in the Bailong River forest Region, Gansu province. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 34(6): 63–68, 74. [曹秀文, 2006. 甘肃省白龙江林区金龟总科昆虫区系研究. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 34(6): 63–68, 74.]
- Chen M, Luo JC, LI GQ, 2011. Evaluating alfalfa cutting as a potential measure to enhance predator abundance of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae) in cotton-alfalfa intercropping system. *Acta Agrestia Sinica*, 19(6): 922–926. [陈明, 罗进仓, 李国强, 2011. 刈割苜蓿助迁天敌对棉田棉蚜种群动态的影响研究. 草地学报, 19(6): 922–926.]
- Chen W, Huang XK, Liu RT, Zhang AN, Chang HT, 2019. Effect of plant diversity on functional diversity of ground-active arthropods in desertified steppe of Ningxia. *Acta Agrestia Sinica*, 27(6): 1587–1595. [陈蔚, 黄兴科, 刘任涛, 2019. 宁夏荒漠草原植物多样性对地面节肢动物功能群多样性的影响. 草地学报, 27(6): 1587–1595.]
- Ding SY, 2004. *Ecology*. Beijing: Science Press. 52–57. [丁圣彦, 2004. 生态学. 北京: 科学出版社. 52–57.]
- Gu W, Ma L, Sun H, 2017. Variation in structure and dynamics of insect community in larch plantations under different soil conditions. *Scientia Silvae Sinicae*, 53(5): 97–106. [顾伟, 马玲, 孙虎, 2017. 不同土壤环境下落叶松人工林昆虫群落结构及动态的差异. 林业科学, 53(5): 97–106.]
- Hou XY, Song B, Zhao S, 2015. Effect of Agro-landscape heterogeneity as affected by scale on diversity of Coleoptera in Fengqiu county in the lower reaches of the Yellow River. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 31(1): 77–81. [侯笑云, 宋博, 赵爽, 2015. 黄河下游封丘县不同尺度农业景观异质性对鞘翅目昆虫多样性的影响. 生态与农村环境学报, 31(1): 77–81.]
- Hodkinson ID, 2005. Terrestrial insects along elevation gradients: Species and community responses to altitude. *Biological Reviews*, 80(3): 489–513.
- Hodkinson ID, Jackson JK, 2005. Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular references to mountain ecosystems. *Environ. Manag.*, 35(5): 649–666.
- Liu SD, Meng QF, Li Y, 2018. Insect community in different Subzones in western slope tundra of Changbai mountain. *Journal of Northeast Forestry University*, 46(1): 80–84. [刘生冬, 孟庆繁, 李燕, 2018. 长白山西坡苔原带不同亚带的昆虫群落. 东北林业大学学报, 46(1): 80–84.]
- Liu WH, Hong B, Hu YJ, 2014. Space-time dynamic distribution of species diversity and dominant species of ground-dwelling beetle and spider populations on wheat crops in different agricultural landscape structures. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1299–1309. [刘文惠, 洪波, 胡懿君, 2014. 不同景观结构下麦田地面甲虫和蜘蛛物种多样性及优势种分布的时空动态. 应用昆虫学报, 51(5): 1299–1309.]
- Magura T, 2002. Carabids and forest edge: Spatial pattern and edge effect. *Forest Ecology and Management*, 157 (1): 23–27.
- Nie RE, Bai M, Yang XK, 2019. Seventy years of Chinese beetle research. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(5): 884–906. [聂瑞娥, 白明, 杨星科, 2019. 中国甲虫研究七十年. 应用昆虫学报, 56(5): 884–906.]
- Rahbek C, 2005. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. *Ecology Letters*, 8(2): 224–239.
- Rainio J, Niemelä J, 2003. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, 12(3): 487–506.
- Sun LZ, Luo L, Sun J, 2016. Investigations of arthropod community and major pests and natural enemies population dynamics as well as their relationship in alfalfa field. *Acta Agrestia Sinica*, 24(5):

- 1087–1093. [孙骊珠, 罗兰, 孙娟, 2016. 苜蓿田节肢动物种类调查和主要害虫与天敌种群动态及其关系分析. 草地学报, 24(5): 1087–1093.]
- Schmidt MH, Thewes U, Thies C, Tschamtk T, 2004. Aphid suppression by natural enemies in mulched cereals. *Entomol. Exp. Appl.*, 113(2): 87–93.
- Wu LF, Jiang WH, Liu Y, 2017. Effects of different forest stand types on diversity of insect community. *Acta Ecologica Sinica*, 37(7): 2217–2224. [吴龙飞, 姜文虎, 刘洋, 李忠玲, 刘军侠, 2017. 不同林分类型对昆虫群落多样性的影响. 生态学报, 37(7): 2217–2224.]
- Xiao GR, 1992. *Forest Insects in China*. Beijing: China Forestry Press. 492–578. [萧刚柔, 1992. 中国森林昆虫. 北京: 中国林业出版社. 492–578.]
- Xu SC, Wang LJ, 2017. Edge effects of Coleoptera insect communities in Ziwuling National Nature Reserve, Shanxi. *Ecological Science*, 36(5): 204–210. [徐世才, 王丽娟, 2017. 陕西子午岭国家级自然保护区鞘翅目昆虫群落的边缘效应. 生态科学, 36(5): 204–210.]
- Yang XK, 2014. *Fauna Sinica (Vol. 61), Coleoptera, Chrysomelidae, Chrysomelinae*. Beijing: Science Press. 1–641. [杨星科, 2014. 中国动物志·昆虫纲(第 61 卷): 鞘翅目·叶甲科·叶甲亚科. 北京: 科学出版社. 1–641.]
- Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, 2006. Effects of carabid beetles among regenerating and natural forest types in Southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 231(1): 169–177.
- Yu XD, Luo TH, Zhou HZ, Yang J, 2007. Distribution of catabid beetles (Coleoptera: carabidae) across a forestgrassland ecotone in Southwestern China. *Environmental Entomology*, 36(2): 348–355.
- Zhang MN, Zou LX, Yang XK, 2015. The current situation and trends in research on beetle morphology. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(4): 787–797. [张萌娜, 邹丽雪, 杨星科, 2015. 甲虫形态学研究现状及态势分析. 应用昆虫学报, 52(4): 787–797.]
- Zhang XR, Liu CZ, Yan L, 2007. Study on the population dynamics of main arthropod groups in alfalfa fields. *Acta Agrestia Sinica*, 15(6): 556–560. [张新瑞, 刘长仲, 严林, 2007. 苜蓿田主要节肢动物种群数量研究. 草地学报, 15(6): 556–560.]
- Zhao D, Quan L, Tu CY, 2018. Distribution characteristics of soil organic carbon in typical forestlands in drainage basin of Gongba river. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 38(6): 54–60. [赵栋, 权丽, 屠彩芸, 2018. 拱坝河流域 5 种森林类型土壤有机碳的分布特征. 水土保持通报, 38(6): 54–60.]
- Zhao HL, Liu RT, Zhao XY, Zhang TH, 2013. Effects of desertification on temporal and spatial change of soil Macro-arthropod community in Horqin sandy grassland. *Acta Agrestia Sinica*, 21(2): 394–400, 405. [赵哈林, 刘任涛, 赵学勇, 2013. 沙漠化对科尔沁沙质草地大型土壤节肢动物群落时空变化的影响. 草地学报, 21(2): 394–400, 405.]
- Zhou HZ, Yu XD, Luo TH, 2014. Collecting methods and sampling techniques of ground dwelling and predating Carabids and Staphylinids beetles. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(5): 1367–1375. [周红章, 于晓东, 罗天宏, 2014. 土壤步甲和隐翅虫的采集与田间调查取样技术. 应用昆虫学报, 51(5): 1367–1375.]
- Zhu JY, Li JK, Cheng SS, 2016. Community structure of adult Coleoptera on local scale in a mixed broadleaved Korean Pine forest in the Xiaoxing'an mountains. *Journal of Northeast Forestry University*, 44(12): 57–63. [朱纪元, 李景科, 程赛赛, 2016. 小兴安岭阔叶红松林局地尺度地表鞘翅目成虫群落结构. 东北林业大学学报, 44(12): 57–63.]