

浙江清凉峰不同植物群落步甲物种多样性及其与环境因子的关系

郭 瑞¹, 王义平², 翁东明¹, 程樟峰¹, 王军旺¹, 王旭池¹

(1. 浙江清凉峰国家级自然保护区 管理局, 浙江 临安 311323; 2. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为阐明浙江清凉峰国家级自然保护区内森林生态环境与昆虫多样性之间的关系, 于2014年7-9月采用巴氏诱罐法系统调查了该保护区内的常绿落叶阔叶混交林(EDB), 针阔混交林(MBC), 针叶林(CON), 落叶阔叶林(BD), 山核桃林(CC), 常绿阔叶林(EBL), 菜园(GAR)等7种植物群落的步甲物种多样性及其变化, 并对森林生态环境质量进行评价。共诱捕步甲昆虫个体658头, 分属于5属5种。其中, 中华心步甲 *Nebria chinensis* 和大星步甲 *Calosoma maximovicz* 为优势种; 常绿落叶阔叶混交林中步甲的 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数均较高。基于 IndVal 方法的不同生境指示生物的指示值, 中华心步甲可作为常绿落叶阔叶混交林的指示生物, 而大星步甲可作为落叶阔叶林的指示生物。步甲群落结构与生境因子之间的冗余分析的结果表明: 坡度、坡向和干扰程度是造成不同生境步甲群落组成差异性的主要原因。图1表5参20

关键词: 昆虫学; 森林生态环境; 步甲; 物种多样性; IndVal 方法

中图分类号: S763.38; Q969.48 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2016)04-0551-07

Carabid beetle (Coleoptera, Carabidae) species diversity and environmental factors in biotopes of Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve, China

GUO Rui¹, WANG Yiping², WENG Dongming¹, CHENG Zhangfeng¹, WANG Junwang¹, WANG Xuchi¹

(1. Management Office, Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve, Lin'an 311323, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To elucidate the relationship between forest ecological environment and insect biodiversity in the Qingliangfeng National Nature Reserve of Zhejiang Province, a systematic investigation on species diversity and diversity variation of carabid beetles was conducted from July to October 2014 using pitfall traps. Carabid beetles were caught from seven types of vegetation habitats, i.e. evergreen and deciduous broadleaf mixed forests (EDB), mixed broadleaf-coniferous forests (MBC), coniferous forests (CON), broadleaf deciduous forests (BD), *Carya cathayensis* forests (CC), evergreen broadleaf forests (EBL), and gardens (GAR). The Shannon-Wiener diversity index, Pielou evenness index, and Simpson dominance index were used for analysis, and the indicator-value (IndVal) method was used to determine indicator species for different habitats. Finally, a redundancy analysis (RDA) was employed between community structures and biotop factors. Results indicated a total of 658 carabid beetles, belonging to 5 species of 5 genera in Coleoptera with *Nebria chinensis* and *Calosoma maximovicz* being the dominant species. The Shannon-Wiener diversity index, Pielou evenness index, and Simpson dominance index revealed more carabid beetles in EBD than in other vegetation habitats. IndVal

收稿日期: 2015-07-31; 修回日期: 2015-11-27

基金项目: 浙江省钱江人才计划项目(2013R10073)

作者简介: 郭瑞, 从事昆虫分类与野生动植物保护研究。E-mail: guruwos@126.com。通信作者: 王义平, 教授, 博士, 从事昆虫分类与有害生物防治研究。E-mail: wyp@zafu.edu.cn

showed *Nebria chinensis* as an indicator of EDB while *Calosoma maximovicz* was an indicator of BD. Redundancy analysis indicated that the slope, aspect, and degree of disturbance were the major reasons for composition differences in the carabid beetle communities of different habitats. The results suggest that different biotope factors influenced the environments where carabid beetles survived, and then influenced the species composition and quantity distribution pattern. [Ch, 1 fig. 5 tab. 20 ref.]

Key words: entomology; forest ecological environment; carabid beetles; species diversity; IndVal

森林是陆地生态系统的重要类型和主要组成部分,其健康问题引起全球的广泛关注并已成为新的研究热点。森林生态系统健康评价的方法和指标多样,不同方法选取的指标体系也不尽相同。因此,选择适宜的评价方法和指标体系是森林健康评价的关键^[1-2]。生物指示物法因其简单、快速、适用范围广等优点已被广泛应用于生态系统恢复评价、水体质量检测、环境质量监测等方面^[3]。昆虫种类繁多、数量大、分布广,是环境变化的直接承受者和反映者,又因体小、移动范围窄、生活周期短、易捕捉和对污染敏感等特性,对环境变化做出快速反映等优点,成为监测环境质量变化的主要指示性生物^[4-5]。在众多昆虫种类中,步甲对环境反应敏感,种群对其栖息环境依赖性强^[6-7],所以常作为环境指示性生物^[8-9]。TYLER^[10]对不同年龄荒地内的步甲种类和丰富度进行的研究表明:植物的种类组成和数量与暗步甲属 *Amara* 和婪步甲属 *Harpalus* 的种类及其种群结构密切相关;KOIVULA 等^[11]的研究表明:步甲群落结构随着凋落物层种类数量的变化而改变。近年来,国内对步甲作为指示生物的研究有一定积累,如高光彩等^[4]就国内外目前步甲作为指示生物的依据进行了详细阐述,为步甲昆虫作为指示生物提供理论基础。王建芳等^[12]调查发现:不同土地利用方式对环境产生干扰从而影响步甲的生境,进而对步甲多样性造成一定影响。然而,对于利用步甲作为指示物种,尤其是在监测森林生态环境的研究较少,仅见顾伟等^[13]对凉水自然保护区内不同林型地表甲虫进行过报道,而对于步甲昆虫对森林生态环境指示作用及其群落结构未见报道。为此,本研究在浙江清凉峰国家级自然保护区选取不同植物群落类型,调查步甲科 Carabidae 昆虫群落结构及其数量,探讨多因素影响下步甲科昆虫的多样性与森林生态系统的关系,评价保护区森林生态系统的健康状况。

1 研究区概况

浙江清凉峰国家级自然保护区位于浙江省西北部临安市境内,保护区内地质地貌结构复杂,主峰海拔 1 787.4 m,具有明显的亚热带中山山地季风特征。全年降水量为 1 500~1 900 mm,并随着海拔高度的变化而变化,在海拔 900~1 100 m 范围达到最大;同时降水量随季节分配不均匀,夏、秋两季雨量较大,冬、春季节则相对较小。相对湿度为 78%~82%,夏季较冬季湿度大,基本保持在 80%左右。气温随海拔高度和季节差异的变化较大,高低海拔间年平均气温为 7.8~15.3 °C,≥10 °C 年积温为 2 200~4 800 °C。海拔 800~1 100 m,夏季年平均气温为 22.5~24.1 °C。≥10 °C 年活动积温为 3 400~3 800 °C^[14]。本研究在 2014 年 7-9 月,分别在千顷塘、龙塘山样地中,根据植物群落类型和人为干扰程度选择 7 块不同生境类型的样地进行步甲科昆虫种群调查。

各样地植物的组成中,常绿落叶阔叶混交林乔木层优势种为褐叶青冈 *Cyclobalanopsis stewardiana*,中华石楠 *Photinia beauverdiana*,木荷 *Schima superba* 等,灌木层主要以映山红 *Rhododendron simsii*,满山红 *Rhododendron mariesii*,吴茱萸五加 *Acanthopanax evodiaefolius* 等为主;针阔混交林主要由黄山松 *Pinus taiwanensis*,映山红,野蔷薇 *Rosa multiflora* 等组成;针叶纯林内主要树种为金钱松 *Pseudolarix amabilis* 及少量草本;落叶阔叶林的乔木层优势树种为灯台树 *Bothrocaryum controversum*,三桠乌药 *Lauraceae obtusiloba*,毛叶山樱桃 *Prunus serrulata* var. *pubescens* 等;灌木层主要为华山矾 *Symplocos chinensis*,水马桑 *Weigela japonica* var. *sinica*,倒卵叶忍冬 *Lonicera hemsleyana* 等;山核桃 *Carya cathayensis* 林内主要树种为山核桃以及部分草本植物;常绿纯林内主要为木荷 *Schima superba* 和少量蔷薇科 Rosaceae 灌木;菜园内主要种植的有黄瓜 *Cucumis sativus*,番茄 *Lycopersicon esculentum* 和辣椒 *Capsicum annuum* 等。各个样地的平均林龄主要通过查询当地历史造林资料及走访获得。干扰强度主要分为无人干扰、轻度干扰和重度干扰^[15]。无人干扰:完全封育,全年几乎无人活动;轻度干扰:收集

凋落物 1~2 次·a⁻¹，无清理灌木、放牧等人为活动；重度干扰：年年砍伐林下灌木、放牧等人为活动较为频繁。3 个样地土壤类型均为黄壤土。研究区地点的各环境因数和植物群落类型见表 1。

表 1 研究区地点概况

Table 1 Outline of the study sites

群落类型	经纬度	林龄/a	海拔/m	坡度/(°)	坡向/(°)	干扰程度
常绿阔叶阔叶混交林	30°06'30.4"N, 118°53'33.3"E	60	970	37.0	160	无人干扰
针阔混交林	30°18'24.3"N, 119°07'08.8"E	50	1 110	35.2	10	轻度干扰
针叶林	30°06'26.7"N, 118°53'13.7"E	35	990	41.0	210	轻度干扰
落叶阔叶林	30°18'01.5"N, 119°07'20.7"E	60	1 190	15.3	285	无人干扰
山核桃林	30°06'42.3"N, 118°54'17.1"E	25	860	12.1	50	重度干扰
常绿阔叶林	30°06'35.9"N, 118°54'23.2"E	30	840	38.7	125	轻度干扰
菜园	30°06'38.1"N, 118°54'03.7"E	15	920	10.5	15	重度干扰

2 材料和方法

2.1 试验材料及采集方法

以巴氏诱罐法进行抽样调查。具体材料为：用一次性塑料杯(上口口径 7.3 cm，下口径 5.0 cm，高 10.8 cm)作为诱杯，在杯壁高 8 cm 处对称打孔 2 个；诱剂为糖、醋、乙醇和水的混合液， $m(\text{糖}):m(\text{醋}):m(\text{乙醇}):m(\text{水})=1:2:10:20$ ，加入少量表面活性剂。加诱捕剂约 60~70 mL·杯⁻¹，置于样地 7~10 d 收集。将样地内每个样方的 4 个诱杯的捕获结果合并作为 1 个收集单元，回收标本并用体积分数为 75%乙醇保存，制成针插标本，进行分类鉴定和数量统计。

2.2 样地设置与调查

根据植物群落类型的不同，各个植物群落分别设置 1 个面积大小为 20 m × 20 m 的样地。为避免边缘效应，各个样地尽量选择所属植物群落类型中央位置。设置 5 m × 5 m 的小样方 4 个·样地⁻¹，各样方之间间距 10 m，设置诱杯 4 个·样方⁻¹(放置于各样方的顶点处)。

2.3 数据分析

所有数据均利用 Microsoft Office Excel 2007 进行整理统计，其中步甲多样性分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 物种丰富度指数、Simpson 优势度指数、Pielou 均匀度指数等方法，同时应用 SPSS 17.0 软件，利用单因素方差分析方法，对不同样地内步甲多样性之间差异性进行分析。此外，采用群落相似性指数和 Berger-Parker 优势度指数的方法对群落相似程度及物种的优势度进行分析。

物种的指示值采用 IndVal 法对指示种进行分析。①Shannon-Wiener 多样性指数： $H' = -\sum n_i/N \ln(n_i/N)$ 。

其中： n_i 为第 i 个类群的个体数， N 为群落中所有类群的个体总数。② Margalef 丰富度指数： $D = (S-1) / \ln N$ 。

其中： S 为类群数。③Pielou 均匀度指数： $E = H' / \ln S$ 。④Simpson 优势度指数： $C = \sum P_i^2$ 。

其中： $P_i = n_i/N$ 。⑤物种优势度指数： $D = N_{\max}/N_i$ 。其中： N_{\max} 为优势种的种群数量， N_i 为全部物种的种群数量。⑥指示物种的指示值^[5]： $I_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$ ； $A_{ij} = N_{ij}/N_i$ ； $B_{ij} = N_{ij}/N_j$ 。其中： A_{ij} 表示存在 j 样点的物种 i 的数量占整个物种 i 数量的百分比； B_{ij} 表示在所有样点中物种 i 的样点数占整个样点的百分比； I_{ij} 表示物种 i 在站点 j 中的指示值。将 $I > 70\%$ 的物种作为这一生境特征指示类群； $5\% < I < 70\%$ 的物种作为生境类型变化的监测类群。

为了解环境因子对于步甲昆虫种群数量及群落结构的影响，本研究以物种数据矩阵及环境数据矩阵为基础，采用 Canoco 4.5 软件对 7 种样地的步甲群落和环境因子数据进行冗余分析。

3 结果与分析

3.1 不同生境下步甲群落组成及其分布

2014 年 7 月 1 日至 9 月 20 日，对 7 种样地内的诱捕到的步甲科昆虫进行鉴定统计，共诱捕到步甲

科昆虫 5 种, 658 头(表 2)。其中: 中华心步甲 *Nebria chinensis* 的个体数量占总数的 44.2%, 为本地区步甲科的优势种; 大星步甲 *Calosoma maximovicz* 和广屁步甲 *Pheropsophus occipitalis* 的个体数量也分别达到总数的 28.6% 和 24.6%, 是本地区的亚优势种; 布氏细胫步甲 *Agonum buchanani* 个体数量占总数的 1.7%, 属常见种; 硕步甲 *Carabus (Apotopterus) davidi* 个体数量占总数的比例小于 1%, 属于稀有种。

表 2 可以看出: 不同植物

群落类型生境中步甲科昆虫的组成各不相同。常绿落叶阔叶混交林中步甲的种类数和个体数量最多, 优势种分别为中华心步甲、大星步甲和广屁步甲, 亚优势种为其他样地无分布的布氏细胫步甲; 其余各植物群落类型中的步甲种类均为 3 种, 但优势种和常见种各不相同。针阔混交林、落叶阔叶林和菜园其优势种均为中华心步甲和大星步甲, 硕步甲为只分布于此 3 类样地的常见种; 针叶林、山核桃林和常绿阔叶林的优势种除中华心步甲和大星步甲外, 还有广屁步甲。

3.2 不同生境下步甲群落多样性及相似性

7 类不同生境类型下步甲群落的丰富度指数、多样性指数、均匀度和优势度指数见表 3。表 3 表明: 步甲群落的 Margalef 丰富度指数以菜园最高, 其次为常绿落叶阔叶混交林、针叶林和山核桃林, 落叶阔叶林的丰富度指数最低。不同生境类型下的步甲群落丰富度均表现为显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 水平。Shannon-Wiener 多样性指数从高到底依次为常绿落叶阔叶混交林 > 落叶阔叶林 > 常绿阔叶林 > 针阔混交林 > 山核桃林 > 针叶林 > 菜园, 步甲群落均表现为显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 水平。

常绿落叶混交林的均匀度指数均为生境下的最高, 且与其他 6 类生境表现为显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 水平。均匀度指数和优势度指数的高低与多样性指数顺序相同, 且不同生境下均匀度指数均表现为显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 水平; 7 类生境下优势度指数中除菜园、针叶林和山核桃林 3 类生境下表现为不显著 ($P > 0.05$) 水平外, 其余各生境之间表现为显著 ($P < 0.05$) 或极显著 ($P < 0.01$) 水平。

步甲群落的相似性分析结果表明(表 4): 7 种生境下步甲群落的相似性指数为 0.28~0.50, 各样地表现主要表现为中等相似和不相似。其中, 常绿阔叶林与针叶林和山核桃林、菜园与针阔混交林和落叶阔叶林以及针叶林与山核桃林的群落相似指数最高(0.50), 表现为中等相似水平, 其余各样地之间均表现为中等不相似水平。各样地步甲群落相似性的结果表明: 步甲的分布与植物群落类型及其生境存在密切

表 2 不同植物群落类型生境中步甲群落组成与分布

Table 2 Composition and spatial of carabid beetles communities in habitats under different plant community types

样地	种类个体数/头					总计 /头
	中华心步甲	大星步甲	广屁步甲	布氏细胫步甲	硕步甲	
常绿落叶阔叶混交林	115***	26***	42***	11**	0	194
针阔混交林	56***	32***	0	0	1*	89
针叶林	18***	6***	10***	0	0	34
落叶阔叶林	57***	100***	0	0	3*	160
山核桃林	9***	12***	26***	0	0	47
常绿阔叶林	27***	10***	83***	0	0	120
菜园	9***	3***	0	0	2*	14
总计	291	189	161	11	6	658
比例/%	44.2	28.7	24.5	1.7	0.9	100

说明: *** 优势种, 个体数占总数的 10% 以上; ** 亚优势种, 个体数占总数的 1% ~10%; * 常见种, 个体数占总数的 1% 以下。

表 3 不同生境类型步甲群落多样性指数

Table 3 Diversity indices of carabid beetles communities in habitats under different vegetation types

样地	丰富度指数(D)	多样性指数(H')	均匀度指数(E)	优势度指数(C)
常绿落叶阔叶混交林	0.569 1 ± 0.000 5 f	0.703 8 ± 0.000 1 g	0.507 7 ± 0.001 3 g	0.042 0 ± 0.000 9 f
针阔混交林	0.445 5 ± 0.000 6 c	0.383 2 ± 0.001 1 d	0.348 8 ± 0.001 6 d	0.011 1 ± 0.000 5 c
针叶林	0.567 3 ± 0.001 5 e	0.216 0 ± 0.000 1 b	0.196 6 ± 0.001 9 b	0.001 2 ± 0.000 2 ab
落叶阔叶林	0.394 0 ± 0.000 6 a	0.542 7 ± 0.000 2 f	0.494 0 ± 0.001 1 f	0.035 3 ± 0.000 5 e
山核桃林	0.519 4 ± 0.001 2 d	0.273 0 ± 0.000 1 c	0.248 5 ± 0.000 8 c	0.002 4 ± 0.000 2 b
常绿阔叶林	0.417 7 ± 0.005 8 b	0.475 4 ± 0.000 1 e	0.432 7 ± 0.000 8 e	0.020 5 ± 0.000 3 d
菜园	0.757 7 ± 0.006 9 g	0.106 7 ± 0.042 5 a	0.097 1 ± 0.000 9 a	0.000 3 ± 0.000 1 a

说明: 在 $P < 0.05$ 水平上, 采用 Duncan 检验作不同处理之间差异性分析; 同列数据(平均值±标准误)间不同字母表示在 Duncan 多重比较中差异显著。

关系，一定程度上生境类型及干扰程度决定了步甲群落的分布。

表 4 不同生境下步甲群落相似性

Table 4 Similarity coefficient of carabid beetles communities in different vegetation types

样地	针阔混交林	针叶林	落叶阔叶林	山核桃林	常绿阔叶林	菜园
常绿落叶阔叶混交林	0.285 7	0.428 6	0.285 7	0.428 6	0.428 6	0.285 7
针阔混交林		0.333 3	0.333 3	0.333 3	0.333 3	0.500 0
针叶林			0.333 3	0.500 0	0.500 0	0.333 3
落叶阔叶林				0.333 3	0.333 3	0.500 0
山核桃林					0.500 0	0.333 3
常绿阔叶林						0.333 3

3.3 不同生境下的指示物种的指示值

根据指示生物评价法的计算方法，对 7 类不同生境下的步甲物种指示值(表 5)进行计算。结果表明：这 5 种步甲种类在 7 类生境类型下的指示值均小于 70%，这可能与标本采集时间长短以及数据的积累有关。7 类不同植物群落类型中的不同种类的指示值主要为 10%~53%，均小于能够作为指示物种指示值的 70%，但 5 种步甲均可对 7 类生境类型的变化进行监测。

表 5 不同生境步甲昆虫的指示值

Table 5 IndVals of carabid beetles communities in different vegetation types

物种	各样地指示值/%						
	常绿落叶阔叶混交林	针阔混交林	针叶林	落叶阔叶林	山核桃林	常绿阔叶林	菜园
中华心步甲	39.52	19.24	6.19	19.59	3.09	9.28	3.09
大星步甲	13.76	16.93	3.17	52.91	6.35	5.29	1.59
广屁步甲	6.52	0	1.55	0	4.04	12.89	0
布氏细胫步甲	14.29	0	0	0	0	0	0
硕步甲	0	7.14	0	21.43	0	0	14.29

3.4 步甲群落组成与环境因子的冗余分析

对步甲群落组成的种类数量及个体数量与 4 个环境因子的冗余分析约束性排序分析结果见图 1。第 1 排序轴的特征值为 0.965，物种和环境因子排序轴间的相关系数分别为 0.982 和 0.504，2 个种类排序轴接近平行(相关系数为 0.965)，环境排序轴相关系数为 0，排序结果基本能够反映步甲群落变化与 4 个环境因子的关系。图 1 结果表明：在影响步甲群落的组成和分布的环境因子中，坡度的影响最大，其次是坡向、海拔、干扰程度。从排序图中可以看出，在一定程度上，步甲群落的种类数量随着坡向和坡度的增加有所增加，但干扰程度与种类数量表现为负相关。步甲群落的个体数量与坡向、坡度和海拔均表现为正相关，且随着干扰程度的增加而减小。植物群落类型与步甲群落结构和组成的相关性由大到小的顺序依次为，常绿落叶阔叶混交林>落叶阔叶林>常绿阔叶林>针阔混交林>山核桃林>针叶林>菜园。以上结果表明：步甲科昆虫群落的分布在植物种类丰富、人为干扰程度小、坡度较大和坡向偏南的生境下较多，反之，则其分布较少。

4 结论与讨论

4.1 步甲物种指示值与不同植物群落类型的关系

由于指示物种栖息地的特异性和相似度的不同，指示值较高的指示物种能够反映该类生态环境的变化方向，能够对森林健康的监测做出有效的指示^[5]。本研究的结果显示：5 种步甲的指示值均低于能够作为指示某一生境的特征指示种的指示值。这可能与标本采集的时间及数据的积累有关。5 种步甲在 7 类不同植物群落生境中虽无明显的指示作用，但不同种的指示值的贡献度在各个生境下有所不同，如数量最多的中华心步甲在各个生境下的指示值与多样性指数顺序一致，随着植物群落类型的单一化和干扰程度的增加，其指示值降低。而大星步甲在落叶阔叶林具有最高的指示值(52.91%)，说明它可作为此生

境类型下的生境变化的监测物种。此外，只在部分生境分布的广屁步甲、布氏细胫步甲和硕步甲，其生境异质性较强，不适宜作为多种生境的指示物种，仅在特定生境下有指示作用。

4.2 步甲多样性与植物群落类型及其环境因子的关系

生境异质性是维持生物多样性的主要因素，一定程度上生态系统的结构及组成决定森林生态系统的健康程度。本研究发现：不同植物群落类型下步甲类昆虫的群落结构及其分布各不相同，植物种类丰富的常绿落叶阔叶混交林中步甲科昆虫的种类和数量最多，其多样性指数和森林生态系统健康程度也最高；随着植物种类的减少，植物群落类型的单一化，步甲科昆虫的种类和数量以及群落的优势度指数有减小的趋势，这与 BUTTERFIELD^[16]、TYLER^[10]和王建芳等^[12]的研究结果相符合。诸多研究表明，步甲科昆虫的群落组成不仅与植被有关还与林龄有关，林龄也是影响步甲科昆虫群落分布的一个因素^[17-18]。本研究结果表明：步甲科群落的多样性及物种数量和种类与林龄成正相关。反之，林龄越小，栖息于此的步甲科昆虫有减少的趋势。这可能与步甲科昆虫的生物学习性有关，较大林龄的森林植被处于或者已经完成了植被的演替阶段，处于该阶段的植物种类丰富，凋落物层质量好，数量较多，栖息于凋落物层的步甲可获得大量食物，其种类数量以及群落多样性指数越高，该处森林的生态系统健康程度也较高。

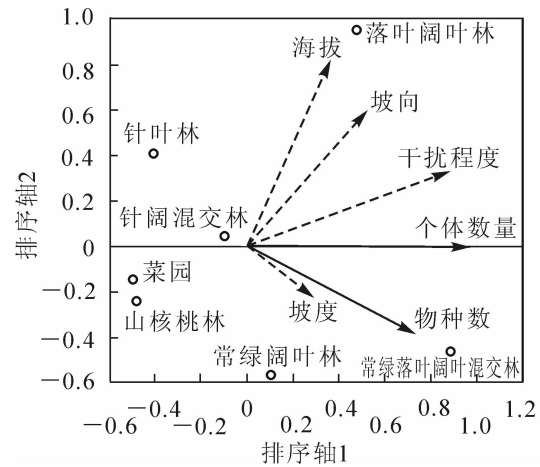
步甲常栖息于凋落物和土壤表层，栖息地的环境变化直接影响其分布。因此，步甲群落的组成及其分布除与植物群落类型相关外，还与其栖息环境密切相关。本研究的结果表明，步甲受坡向和坡度的影响最为强烈，其次为干扰程度和海拔高度。适宜的坡向和坡度植物群落丰富，可为步甲提供和截获更多的食物，同时利于水分的保持，更有利于其栖息生长。干扰程度也是影响步甲多样性的主要因素，过度的人为干扰会直接造成其栖息生境的破坏，同时间接地影响植物种类和数量，从而通过改变凋落物的组成影响其分布。已有研究表明，海拔高度与步甲昆虫的种类和数量直接相关^[19-20]，但本次研究样地的海拔高度相差较小，所获得的数据无法支持该论述。此外，由于本次试验野外采集的时间较短，不能对步甲季节性变化进行统计分析，因此，在以后的研究中，需要全面考虑这类因素争取发现更多的科学问题。

5 致谢

浙江清凉峰国家级自然保护区管理局千顷塘保护站的章叔岩先生和王向军先生在野外调查工作时给予了热情帮助。在此表示衷心感谢！

6 参考文献

- [1] 王义平, 吴鸿, 徐华潮. 以昆虫作为指示生物评估森林健康的生物与生态学基础[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1625 - 1630.
WANG Yiping, WU Hong, XU Huachao. Biological and ecological bases of using insect as a bio-indicator to assess forest health [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2008, 19(7): 1625 - 1630.
- [2] 邢韶华, 姬文元, 郭宁, 等. 森林生态系统健康研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, 28(10): 2102 - 2106.
XING Shaohua, JI Wenyuan, GUO Ning, et al. Forest ecosystem health: its research progress [J]. *Chin J Ecol*, 2009, 28(10): 2102 - 2106.
- [3] 王义平, 吴鸿, 徐华潮. 浙江重点生态地区蝶类生物多样性及其森林生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5259 - 5269.
WANG Yiping, WU Hong, XU Huachao. Butterfly diversity and evaluation of forest eco-system health in important e-



实线特征向量表示物种种类及数量，虚线特征向量表示环境因子：海拔、坡度、坡向、干扰程度。

图1 物种种类和数量与环境因子的冗余分析约束性排序分析的双标图

Figure 1 Biplots of RDA analysis between environmental factor and species, and individual amount

- ecological areas of Zhejiang Province [J]. *Acta Ecol Sin*, 2008, **28**(11): 5259 – 5269.
- [4] 高光彩, 付必谦. 步甲作为指示生物的研究进展[J]. 昆虫知识, 2009, **46**(2): 216 – 222.
GAO Guangcai, FU Biqian. Advances of researches on carabid beetles as bioindicators [J]. *Chin Bull Entomol*, 2009, **46**(2): 216 – 222.
- [5] 郭瑞, 王义平, 吴鸿. 森林凋落物层的节肢动物与森林健康的关系[J]. 林业科学, 2012, **48**(3): 122 – 127.
GUO Rui, WANG Yiping, WU Hong. Relationship between arthropods in forest litter and forest health [J]. *Sci Silv Sin*, 2012, **48**(3): 122 – 127.
- [6] WEAVER J C. Indicator species and scale of observation [J]. *Conserv Biol*, 1995, **9**(4): 939 – 942.
- [7] JUDAS M, DORNIEDEN K, STROTHMANN U. Distribution patterns of carabid beetle species at the landscape level [J]. *J Biogeogr*, 2002, **29**(4): 491 – 508.
- [8] ANTVOGEL H, BONN A. Environmental parameters and microspatial distribution of insects: a case study of carabids in an alluvial forest [J]. *Ecography*, 2001, **24**(4): 470 – 482.
- [9] MOLNAR T, MAGURA T, TÓTHMÉRÉSZ B, *et al.* Ground beetles (Carabidae) and edge effect in oak-hornbeam forest and grassland transects [J]. *Eur J Soil Biol*, 2001, **37**(4): 297 – 300.
- [10] TYLER G. The ground beetle fauna (Coleoptera: Carabidae) of abandoned fields, as related to plant cover, previous management and succession stage [J]. *Biodiversity Conserv*, 2008, **17**(1): 155 – 172.
- [11] KOIVULA M, PUNTTILA P, HAILA Y, *et al.* Leaf litter and the small-scale distribution of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in the boreal forest [J]. *Ecography*, 1999, **22**(4): 424 – 435.
- [12] 王建芳, 王新谱, 李秀敏, 等. 不同土地利用方式对河北坝上步甲物种多样性的影响[J]. 昆虫学报, 2010, **53**(10): 1127 – 1134.
WANG Jianfang, WANG Xinpu, LI Xiumin, *et al.* Influence of land uses on species diversity of carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in Bashang region, Hebei, Northern China [J]. *Acta Entomol Sin*, 2010, **53**(10): 1127 – 1134.
- [13] 顾伟, 马玲, 刘哲强, 等. 凉水自然保护区不同林型地表甲虫物种多样性[J]. 东北林业大学学报, 2014, **42**(1): 131 – 135.
GU Wei, MA Ling, LIU Zheqiang, *et al.* Diversity of ground-dwelling beetle with different forest type in Liangshui Nature Reserve [J]. *J Northeast For Univ*, 2014, **42**(1): 131 – 135.
- [14] 李明华. 清凉峰自然保护区志[M]. 长春: 吉林人民出版社. 2006.
- [15] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响[J]. 生态学报, 2006, **26**(11): 3685 – 3695.
ZHANG Xibiao, SHANGGUAN Zhouping. Effect of human-induced disturbance on physical properties of soil in artificial *Pinus tabulaeformis* Carr. forests of the Loess Plateau [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**(11): 3685 – 3695.
- [16] BUTTERFIELD J. Carabid community succession during the forestry cycle in conifer plantations [J]. *Ecography*, 1997, **20**(6): 614 – 625.
- [17] RAINIO J, NIEMEL J. Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators [J]. *Biodiversity Conserv*, 2003, **12**(3): 487 – 506.
- [18] SROKA K, FINCH O D. Ground beetle diversity in ancient woodland remnants in north-western Germany (Coleoptera, Carabidae) [J]. *J Insect Conserv*, 2006, **10**(4): 335 – 350.
- [19] 于晓东, 周红章, 罗天宏. 神农架保护区大步甲和蜗步甲属生境选择与物种多样性研究[J]. 生物多样性, 2001, **9**(3): 214 – 221.
YU Xiaodong, ZHOU Hongzhang, LUO Tianhong. Habitat distribution and species diversity of *Carabus* and *Cychrus* in Shennongjia Nature Reserve, Hubei Province [J]. *Biodiversity Sci*, 2001, **9**(3): 214 – 221.
- [20] LKEDA H, TSUCHIYA Y, NAGATA N, *et al.* Altitudinal life-cycle and body-size variation in ground beetles of the genus *Carabus* (subgenus *Ohomopterus*) in relation to the temperature conditions and prey earthworms [J]. *Pedobiologia*, 2012, **55**(2): 67 – 73.