

网络出版时间:2018-01-26 10:32

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2018.05.015

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180126.0953.030.html

宁夏罗山步甲昆虫群落多样性研究

秦伟春¹,田会刚¹,王新谱^{2a},杨贵军^{2b}

(1 宁夏罗山国家级自然保护区管理局,宁夏 红寺堡 751900;

2 宁夏大学 a 农学院,b 生命科学学院,宁夏 银川 750021)

【摘 要】【目的】调查宁夏罗山国家级自然保护区垂直植被带不同生境步甲昆虫群落组成和多样性,探讨该地区步甲分布和物种多样性与生境的关系,为该地区生物多样性的长期监测和保护提供依据。【方法】根据宁夏罗山国家级自然保护区的生境类型和海拔高度,设置亚高山草甸 A(SMA)、亚高山草甸 B(SMB)、针叶林 A(CFA)、针叶林 B(CFB)、针阔混交林(MBCF)、阔叶林缘(BLFE)、灌丛(DS)和荒漠半荒漠草地(DSDG)8 个不同样地,于 2015 年 5—8 月利用巴氏罐诱法对 8 个不同样地的步甲科昆虫多样性进行调查。【结果】共采集到步甲昆虫 3 749 只,隶属于 12 属 24 种,种类组成体现了荒漠半荒漠区系特点。个体数量最多的是直角通缘步甲和弗氏步甲,分别占总数量的 39.11% 和 20.42%,为该区域的优势类群。直角通缘步甲在沿海拔梯度的各生境均有分布,弗氏步甲仅在油松林生境无分布。不同植被带步甲种类组成和优势类群差异较大,其中亚高山草甸和灌丛生境步甲物种数最多,各有 17 种,亚高山草甸步甲个体数量也最多;针叶林生境步甲物种数最少,仅有 6 种,个体数量也最少。步甲活动的高峰期为 7—8 月。各物种在各生境内的季节变化趋势与不同生境植被生长季节相关。灌丛生境的步甲 Shannon-Wiener 多样性指数和丰富度均最高,优势度最低;针叶林生境均匀度最高,Shannon-Wiener 多样性指数和丰富度较低。主成分分析显示,生境相近的样地步甲昆虫群落结构也相似,步甲群落分为三大类群,样地 DS、BLFE 和 MBCF 的步甲群落聚为一类,样地 CFA 和 CFB 的步甲昆虫群落聚为一类,样地 SMA、SMB 和 DSDG 的步甲群落聚为一类。【结论】垂直植被带生境差异性与步甲昆虫群落的物种多样性和相似性密切相关,维持生境异质性是保护步甲多样性的关键。

【关键词】步甲;物种多样性;物种相似性;生境;宁夏罗山

【中图分类号】S718.7;Q968.1

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2018)05-0109-09

Community diversity of carabid beetles in the Luo Mountain National Nature Reserve in Ningxia

QIN Weichun¹,TIAN Huigang¹,WANG Xinpu^{2a},YANG Guijun^{2b}

(1 Administrative Bureau of Luo Mountain National Nature Reserve,Hongsipu,Ningxia 751900,China;

2 a School of Agriculture,b School of Life Sciences,Ningxia University,Yinchuan,Ningxia 750021,China)

Abstract:【Objective】This study investigated community composition and diversity of carabid beetles in Luo Mountain National Nature Reserve in Ningxia and analyzed the relationship between the beetles diversity and habitat to provide basis for long-term monitoring and protection of biodiversity.【Method】The community structure and species diversity of carabid beetles were conducted from May to August in 2015 using pitfall traps in the Luo Mountain. Carabid beetles were caught from six types and 8 sample plots of vegetation habitats along the elevation gradient including subalpine meadow (SMA plot and SMB plot),coniferous forests (CFA plot and CFB plot),mixed broadleaf-conifer forest (MBCF plot),broad-leaved forest

【收稿日期】2017-03-10

【基金项目】国家自然科学基金项目(31660630);宁夏罗山国家级自然保护区综合科学考察项目(20120912)

【作者简介】秦伟春(1978—),男,宁夏海原人,高级工程师,硕士,主要从事自然保护区管理、动植物资源保护研究。

E-mail:qwc78@163.com

【通信作者】杨贵军(1975—),男,山西昔阳人,教授,硕士,主要从事昆虫生态和区系研究。E-mail:yang_gj@nxu.edu.cn

edge (BLFE plot), deciduous shrub (DS plot) and desert semi-desert grasslands (DSDG plot). 【Result】 A total of 3 749 carabid beetles belonging to 24 species and 12 genera were collected. *Pterostichus gebleri* and *Carabus vladimirskyi* were the dominant species in the area, accounting for 39.11% and 20.42%, respectively. *Pterostichus gebleri* was caught in all habitat gradients, and *Carabus vladimirskyi* was not captured only in the CFB plot. The community composition and dominant species of carabid beetles were also significantly different among different habitats. The number of species and individuals of beetles in SMA plot and DS plot were more than in other vegetation habitats, while those in the CFB plot was the lowest. Beetles peak activities were in July and August and various species in vertical vegetation zones had different seasonal trends. Among the plots, carabid beetle community in DS plot had the highest Shannon-Wiener diversity and species richness, but the lowest dominance. Evenness in CFB plot was the highest while diversity and species richness in CFB plot were the lowest. Principal component analysis showed that carabid beetle communities were distinctly separated into three groups. 【Conclusion】 The community composition and diversity of carabid beetles were closely related to the spatial heterogeneity. Keeping habitat heterogeneity is helpful to protect species diversity.

Key words: carabid beetle; species diversity; species similarity; habitat; Luo Mountain in Ningxia

步甲科 (Carabidae) 昆虫是栖息于地表数量最庞大、种类最丰富的昆虫类群之一, 不同生态区域植被生境类型的步甲昆虫多样性已成为生物多样性的重点研究内容^[1-5], 其物种的组成及数量变化可作为环境变化的重要监测指标^[6-7]。已有研究表明, 植物的种类组成和数量与步甲的种类及其种群结构密切相关^[8-9], 凋落物层的种类和数量变化影响步甲群落结构^[10], 不同土地利用方式对环境产生干扰从而也影响步甲多样性^[11]。

罗山作为宁夏三大天然林区之一, 其地理位置独特, 生态功能极其重要, 该地区的昆虫研究逐步受到重视, 但目前主要侧重于昆虫的分类和区系研究^[12], 而关于昆虫栖息地环境因素对昆虫群落组成和多样性变化方面的影响涉及较少。本研究以罗山中段作为研究区, 以对环境比较敏感的步甲昆虫为研究对象, 调查不同生境步甲的群落组成和多样性, 以期探讨该地区步甲昆虫分布和物种多样性与生境的关系, 掌握该地区物种多样性变化规律, 为该地区生物多样性的长期监测和保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与样地设置

研究区域位于宁夏罗山国家级自然保护区境内, 地理位置在宁夏中部同心县和红寺堡区境内 (37°11'~37°25'N, 106°04'~106°24'E), 地处鄂尔多斯台地西部与黄土高原北部的衔接地带, 区域高度 1 560~2 624.5 m, 山势挺拔, 山体四周地势平缓, 为荒漠植被, 是宁夏中部干旱带重要的天然水源

涵养和生态屏障区, 素有旱海明珠、荒漠翡翠之美誉。该区域属中温带干旱大陆性气候, 年平均气温 8.8℃, 年平均降水量 261.8 mm, 全年冷暖干湿四季分明, 且冬春长、夏秋短, 大风、沙暴、干旱热干风、霜冻、冰雹等灾害性天气较多。土壤类型主要有灰褐土、灰钙土、粗骨土。受地势影响, 植被分布具有较明显的垂直分布特征, 分为亚高山草甸、针叶林、针阔混交林、落叶灌丛、山前荒漠半荒漠草原等^[12]。根据该区域内生境类型和海拔高度设置了 8 个样地。

亚高山草甸样地 A (Subalpine meadow A, SMA): 位于罗山山顶 (红庙沟沟顶山脊) 地势低洼处, 水分条件相对较好, 植被种类繁多, 植被盖度大于 90%, 海拔 2 560 m, 属于典型的亚高山草甸植被类型。典型植被有秦艽 (*Gentiana macrophylla*)、珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)、垂穗披碱草 (*Elymus nutans*)、线叶柴胡 (*Bupleurum angustissimum*)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserine*)、铁杆蒿 (*Tripolium vulgare*)、小花风毛菊 (*Saussurea parviflora*) 等。

亚高山草甸样地 B (Subalpine meadow B, SMB): 位于罗山山脊处阳坡地带, 为缓坡地形, 水分条件、土壤条件较差, 土壤中存在少量石质, 海拔 2 547 m, 属亚高山针茅草甸。典型植被有大针茅 (*Stipa grandis*)、扁穗冰草 (*Agropyron cristatum*)、大黄 (*Rheum palmatum*)、中国马先蒿 (*Pedicularis chinensis*) 等。

针叶林样地 A (Coniferous forests A, CFA): 位

于东风沟沟脑,海拔 2 499 m,为青海云杉(*Picea crassifolia*)纯林。林冠层较大,郁闭度较高(在 0.6 以上),林中常伴有山杨(*Populus davidiana*)、油松(*Pinus tabulaeformis*),大部分林下盖度不足 10%,部分林荫处地表覆有耐荫喜湿的苔藓,盖度可达 90%。

针叶林样地 B(Coniferous forests B,CFB):位于东风沟的油松密林处,海拔 2 299 m,为油松(*Pinus tabulaeformis*)纯林。土壤为灰褐土,较青海云杉林土壤干燥,多砾石,有机质厚 25~40 cm,结构良好。林内郁闭度不大。林下有虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)、栒子(*Cotoneaster horizontalis*)、小叶忍冬(*Lonicera microphylla*)等散生灌木。

阔叶混交林样地(Mixed broadleaf-conifer forest,MBCF):位于东风沟油松林与阔叶林白桦(*Betula platyphylla*)混交林处,海拔 2 270 m。郁闭度较小,林内透光较好。林下有华北紫丁香(*Syzygium aromaticum*)、虎榛子、小叶忍冬、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、栒子等散生。

阔叶林缘样地(Broad-leaved forest edge,BLFE):位于东风沟白桦林林缘地带,为阔叶林类型,海拔 2 190 m,林草植被盖度达 90%以上,林缘有华北紫丁香、栒子、大针茅(*Stipa grandis*)、北柴胡(*Bupleurum chinense*)等。

灌丛样地(Deciduous shrub,DS):位于东风沟灌木林地,海拔 2 138 m,群落盖度在 75%以上,典型植被有灌木华北紫丁香、小叶忍冬,与虎榛子等混生,灌丛高 1 m 以上。草本植物主要有小红菊(*Dendranthema chanelii*)、火绒草(*Leontopodium alpinum*)、苔草(*Carex tristachya*)等中旱生或旱生草原植物。

荒漠半荒漠草地样地(Desert semi-desert grasslands,DSDG):位于东风沟沟口的洪积扇坡地上,为荒漠半荒漠草地,海拔 1 825 m。主要分布有小半灌木猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides*)、长芒草(*Stipa bungeana*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)等旱生和中旱生植物。

1.2 调查方法

采用巴氏罐诱法^[13],以一次性塑料水杯(高 9 cm,口径 7.5 cm)作为陷阱容器,在距水杯口 1.5~2.0 cm 处打几个小孔,避免降雨使杯子水满造成标本流失,埋入地下使杯口基本与地面保持水平。每个样地内设置 10 m×10 m 小样方,重复 3 次,间距

不小于 50 m,共设定 24 个。每个样方内以间距 2 m 棋盘式设置诱杯,共 25 个。引诱剂由醋、糖、工业酒精和水按 2:1:1:20 的质量比混合,每个诱杯内放引诱剂 30~40 mL,陷阱杯放置时间为 3 d。在 2015 年 5—8 月每月中旬收集 1 次,步甲标本保存在体积分数 75%酒精中,带回实验室制成针插标本,进行种类鉴定^[12]和统计分析。

1.3 数据处理

优势种类、常见种类和稀有种类的划分标准为:个体数量>10%者为优势种类,个体数量≥1%~≤10%为常见种类,个体数量<1%者为稀有种类^[3]。

分析评价的指标有 4 个:(1)物种丰富度(*S*)。为表征群落中包含物种数量的量度,一般用物种数表示。(2)Shannon-Wiener 多样性指数(*H'*)。 $H' = -\sum P_i \ln P_i$,其中 $P_i = N_i/N$, P_i 为第 *i* 种个体数量占总个体数量的比率, N_i 为第 *i* 种的个体数量, N 为总个体数量;(3)均匀性指数(*J*)。 $J = H'/\ln S$, H' 为 Shannon-Wiener 多样性指数, S 为物种数;(4)优势度指数(*D*)。采用 Berger-Parker 指数表示, $D = N_{\max}/N$,其中 $N_{\max}$ 为优势种的种群数量^[14]。

选用 SPSS 19.0 中的单因素方差分析(One-way ANOVA)对步甲群落多样性特征进行差异显著性检验。采用 CANOCO 5.0 软件对步甲群落结构进行主成分分析(Principal component analysis,PCA)、排序并作图,排序数据进行 $\ln(x+1)$ 转化。

2 结果与分析

2.1 步甲昆虫群落物种组成

2.1.1 步甲群落的组成与个体数量 调查统计结果表明,8 个样地共采集步甲昆虫 3 749 只,隶属于 12 属 24 种。不同生境类型步甲组成、个体数量及所占比例见表 1。从物种组成上看,婪步甲属(*Harpalus*)有 8 种,占总种数的 33.33%;步甲属(*Carabus*)和猛步甲属(*Cymindis*)各 3 种,分别占总种数的 12.50%;伪婪步甲属(*Pseudotaphoxenus*)有 2 种,占总种数的 8.33%;其余 8 种为单属、单种,占总种数的 33.33%。

从个体数量来看,直角通缘步甲和弗氏步甲个体数量较多,分别占总个体数量的 39.11%和 20.42%,为研究区域的优势种类。短翅伪婪步甲、小细胫步甲、考氏肉步甲、锥步甲、刻步甲、皮步甲、肩猛步甲、直角婪步甲、谷婪步甲、大卫婪步甲、喜婪步甲、棒婪步甲、喜湿步甲和蒙古伪婪步甲等个体数

量分别占总个体数量的 1.01%~9.41%,为本地常见种类,占总种数的 58.33%。双斑猛步甲、半猛步甲、赤胸长步甲、径婪步甲、广胸婪步甲、黄鞘婪步甲、锯步甲和单齿婪步甲个体数量占总个体数量的比例均小于 1%,为本地稀有种类,共 8 种,占总种数的 33.33%。

表 1 宁夏罗山不同生境类型样地步甲种类个体数量及所占比例

Table 1 Number of individuals and proportion of Carabidae species in different habitats of Ningxia Luo Mountain										
属 Genus	步甲种类 Carabidae species	SMA	SMB	CFA	CFB	MBCF	BLFE	DS	DSDG	合计 Total
细胫步甲属 <i>Agonum</i>	小细胫步甲 <i>Agonum nitidum</i>	0(0.00)	0(0.00)	44(26.19)	18(27.27)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	62(1.65)
肉步甲属 <i>Broscus</i>	考氏肉步甲 <i>Broscus kozlovi</i>	0(0.00)	0(0.00)	9(5.36)	1(1.52)	26(19.70)	24(11.43)	17(6.07)	3(0.50)	80(2.13)
步甲属 <i>Carabus</i>	弗氏步甲 <i>Carabus vladimirskyi</i>	400(29.67)	176(18.74)	41(24.40)	0(0.00)	36(27.27)	30(14.29)	23(8.21)	60(9.90)	766(20.42)
	锥步甲 <i>Carabus glyptopterus</i>	1(0.07)	1(0.11)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	17(6.07)	38(6.27)	57(1.52)
	刻步甲 <i>Carabuskruberi</i>	30(2.23)	7(0.75)	0(0.00)	0(0.00)	2(1.52)	0(0.00)	0(0.00)	10(1.65)	49(1.31)
皮步甲属 <i>Corsyra</i>	皮步甲 <i>Corsyra fusula</i>	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	5(3.79)	15(7.14)	21(7.50)	37(6.11)	78(2.08)
猛步甲属 <i>Cymindis</i>	双斑猛步甲 <i>Cymindis binotata</i>	2(0.15)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	4(1.90)	3(1.07)	7(1.16)	16(0.43)
	半猛步甲 <i>Cymindis daimio</i>	1(0.07)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	7(3.33)	14(5.00)	0(0.00)	22(0.59)
	肩猛步甲 <i>Cymindis scapularis</i>	52(3.86)	9(0.96)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	36(5.94)	97(2.59)
蠋步甲属 <i>Dolichus</i>	赤胸长步甲 <i>Dolichus halensis</i>	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	7(3.33)	15(5.36)	3(0.50)	25(0.67)
婪步甲属 <i>Harpalus</i>	直角婪步甲 <i>Harpalus corporosus</i>	59(4.38)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	1(0.76)	0(0.00)	0(0.00)	30(4.95)	90(2.40)
	谷婪步甲 <i>Harpalus calceatus</i>	20(1.48)	6(0.64)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	12(1.98)	38(1.01)
	大卫婪步甲 <i>Harpalus davidi</i>	70(5.19)	0(0.00)	1(0.60)	0(0.00)	0(0.00)	10(4.76)	28(10.00)	0(0.00)	109(2.92)
	喜婪步甲 <i>Harpalus optabilis</i>	114(8.46)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	4(1.90)	6(2.14)	0(0.00)	124(3.31)
	径婪步甲 <i>Harpalus salinus</i>	11(0.82)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	7(3.33)	7(2.50)	0(0.00)	25(0.67)
	广胸婪步甲 <i>Harpalus amplipennis</i>	5(0.37)	0(0.00)	3(1.79)	0(0.00)	3(2.27)	6(2.86)	5(1.79)	0(0.00)	22(0.58)
	棒婪步甲 <i>Harpalus bungii</i>	14(1.04)	2(0.21)	1(0.60)	0(0.00)	12(9.09)	7(3.33)	7(2.50)	0(0.00)	43(1.15)
	黄鞘婪步甲 <i>Harpalus pallidipennis</i>	7(0.52)	1(0.11)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	8(0.22)
湿步甲属 <i>Notiophilus</i>	喜湿步甲 <i>Notiophilus aquaticus</i>	0(0.00)	0(0.00)	38(22.62)	24(36.36)	3(2.27)	0(0.00)	5(1.79)	0(0.00)	70(1.86)
锯步甲属 <i>Pristosia</i>	锯步甲 <i>Pristosia proxima</i>	0(0.00)	0(0.00)	25(14.88)	8(12.12)	3(2.27)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	36(0.96)
通缘步甲属 <i>Pterostichus</i>	直角通缘步甲 <i>Pterostichus gebleri</i>	496(36.80)	724(77.10)	6(3.57)	15(22.73)	31(23.48)	76(36.19)	45(16.07)	73(12.05)	1 466(39.11)
伪葬步甲属 <i>Pseudotaphoxenus</i>	蒙古伪葬步甲 <i>Pseudotaphoxenus mongolicus</i>	20(1.48)	4(0.43)	0(0.00)	0(0.00)	10(7.58)	8(3.81)	8(2.86)	48(7.92)	98(2.61)
	短翅伪葬步甲 <i>Pseudotaphoxenus brevipennis</i>	46(3.41)	9(0.96)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	5(2.38)	56(20.00)	237(39.11)	353(9.41)

表 1(续) Continued table 1

属 Genus	步甲种类 Carabidae species	SMA	SMB	CFA	CFB	MBCF	BLFE	DS	DSDG	合计 Total
蝼步甲属 <i>Scarites</i>	单齿蝼步甲 <i>Scarites terricola</i>	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	3(1.07)	12(1.98)	15(0.40)
个体数量合计 Total number of individuals		1 348	939	168	66	132	210	280	606	3 749

注:表中括号外数据为步甲个体数,括号内为其所占比例。
Note:The data out of parentheses is number of individuals and in parentheses is the percentage of individuals to total.

2.1.2 不同生境步甲的分布特点 从表 1 可以看出,不同生境步甲群落组成不同,样地 SMA 和 SMB 的优势种类为弗氏步甲和直角通缘步甲,样地 CFA 的优势种类为小细胫步甲、弗氏步甲、喜湿步甲和锯步甲,样地 CFB 的优势种类为小细胫步甲、喜湿步甲、锯步甲和直角通缘步甲,样地 MBCF 和 BLFE 的优势种类为直角通缘步甲、弗氏步甲和考氏肉步甲,样地 DS 的优势种类为短翅伪葬步甲、直角通缘步甲和大卫婪步甲,样地 DSDG 的优势种类为短翅伪葬步甲和直角通缘步甲。

从物种的分布来看,弗氏步甲、直角通缘步甲、考氏肉步甲、棒婪步甲和蒙古伪葬步甲等种类分布于 6 种以上的生境中,属于广谱分布种,其中直角通缘步甲在各生境均有分布,且在亚高山草甸生境分

布数量最多。弗氏步甲仅在 CFB 生境无分布,也以亚高山草甸生境分布数量最多。考氏肉步甲仅在亚高山草甸无分布,其分布偏好于有林生境。蒙古伪葬步甲在针叶林以外的生境均有分布。棒婪步甲仅在油松林生境和荒漠半荒漠草地生境中无分布。小细胫步甲、喜湿步甲和锯步甲多在针叶林生境聚集,锥步甲、肩猛步甲和谷婪步甲多在光照充足的亚高山草甸和荒漠半荒漠草地中聚集。黄鞘婪步甲只分布在亚高山草甸生境中,单齿蝼步甲只分布在灌丛及其边缘相邻的荒漠草地生境中。

2.2 不同生境步甲分布的季节变化

宁夏罗山不同生境样地步甲昆虫的物种数、个体数量及优势种类的季节变化如图 1 所示。

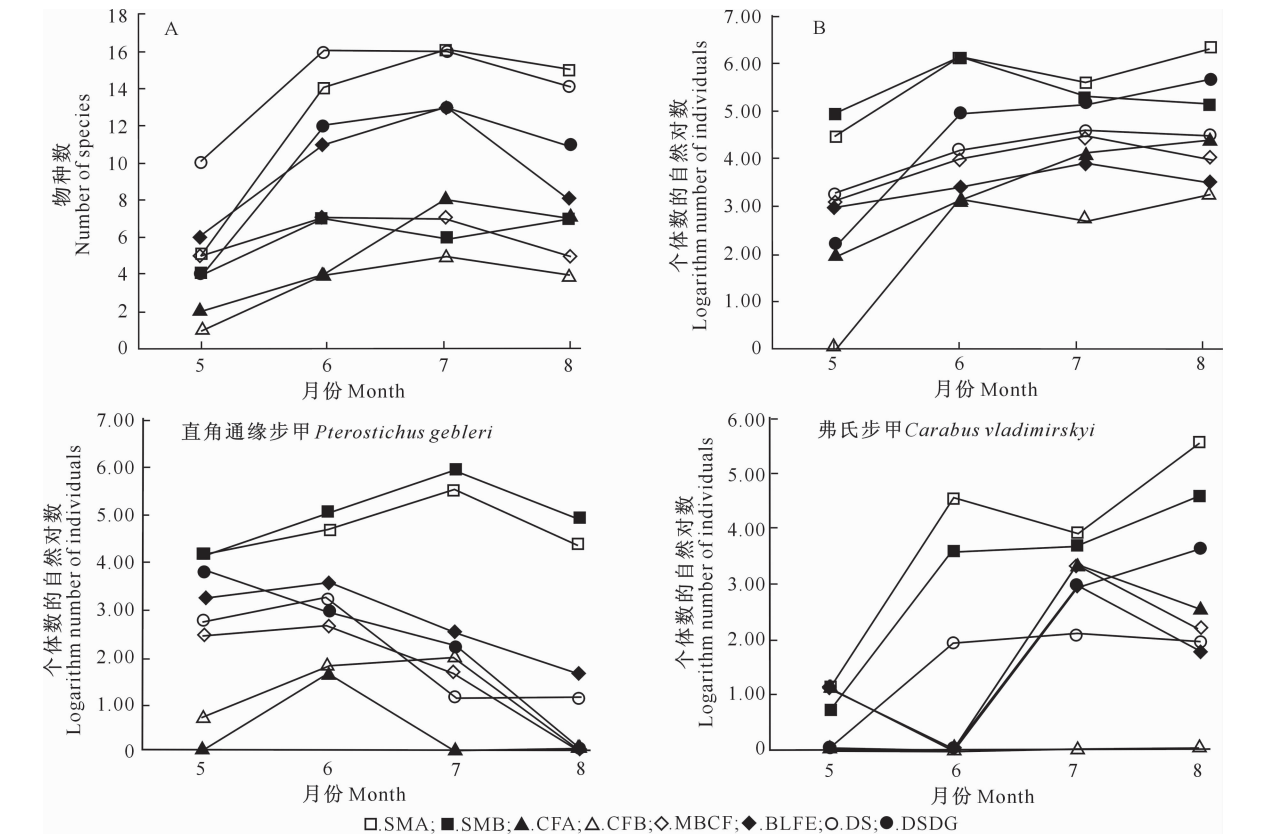


图 1 宁夏罗山不同生境中步甲物种和数量的季节变化
Fig. 1 Seasonal variation of species number and individuals of carabid beetles in different habitat plots of Ningxia Luo Mountain

从图 1-A、B 可以看出,亚高山草甸生境样地 SMA 和 SMB 在 6—8 月步甲物种数量都较高,针叶林生境样地 CFA 和 CFB 7 月步甲物种数量最高,针阔混交林样地 MBCF 和灌丛样地 DS 步甲物种数的高峰期均在 6—7 月,阔叶林缘样地 BLFE 的物种高峰期在 7 月,荒漠半荒漠样地 DSDG 的物种数最大值也出现在 7 月。样地 SMA 步甲个体数量在 6 和 8 月出现 2 次高峰,样地 SMB 则以 6 月份最高,其他生境样地步甲个体数量基本上随时间递增,针叶林样地 CFA、CFB 和荒漠半荒漠样地 DSDG 在 8 月份最高,样地 MBCF、BLFE 和 DS 的最大值出现在 7 月份。

由图 1-C、D 可以看出,优势种类直角通缘步甲在样地 SMA 和 SMB 数量最多,且在 7 月份有最大值,而在样地 CFA 中仅于 6 月份可采集到,在样地 CFB 中以 7 月份数量最多,在样地 MBCF、BLFE 和 DS 的最大值均出现在 6 月份,在样地 DSDG 中以 5 月份数量最多。弗氏步甲在油松林样地 CFB 无分

布,在样地 SMA、SMB 和 DSDG 的个体数量最大值均出现在 8 月,在样地 CFA、MBCF、BLFE 和 DS 数量高峰值均出现在 7 月份。

2.3 步甲昆虫群落的多样性

从图 2 可以看出,不同样地的生境类型影响了步甲的物种数和个体数量,且物种种类和个体数量相关不显著,分布趋势不一致。从物种数方面分析,样地 SMA 和 DS 的步甲物种数最多,其次是样地 BLFE 和 DSDG,再次是样地 MBCF、SMB 和 CFA,最少的是样地 CFB。从个体数量来看,不同样地物种个体数量由多到少依次表现为样地 SMA>SMB>DSDG>DS>BLFE>CFA>MBCF>CFB。由此可见,在光照相对充足、草本覆盖度相对较高的亚高山草甸和荒漠半荒漠草地样地,步甲个体数量较多,但物种种类数量并不随上述两个自然生境条件下的个体数量多少呈线性分布。

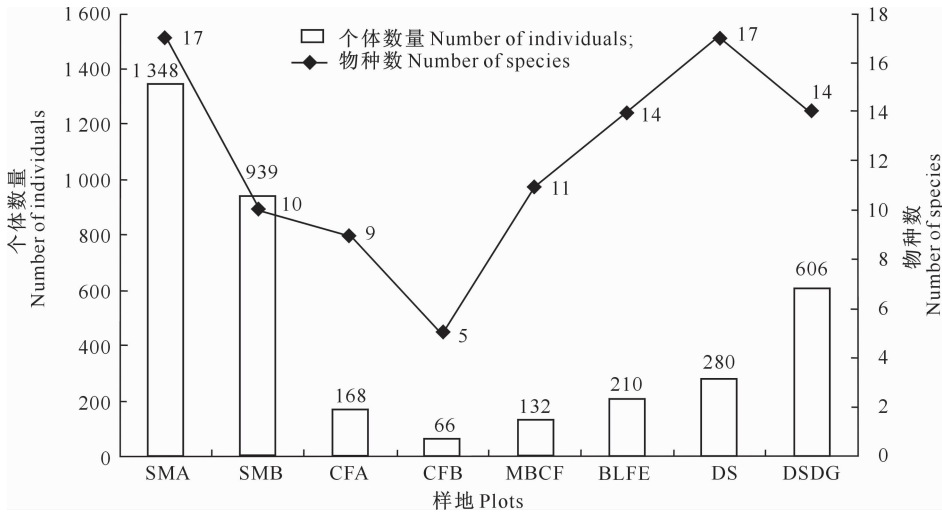


图 2 宁夏罗山不同生境类型样地的步甲物种数和个体数量

Fig. 2 Number of individuals and carabid species in different habitat plots of Ningxia Luo Mountain

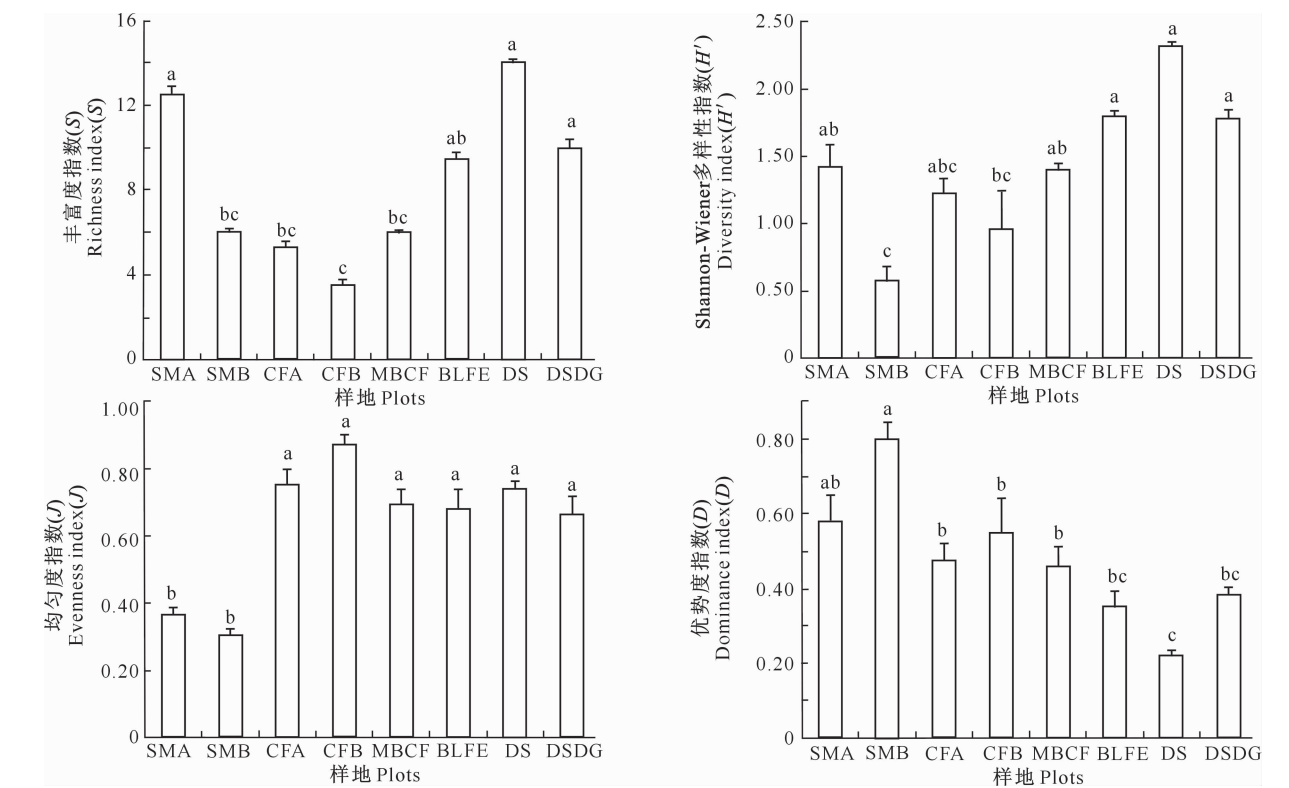
不同生境样地步甲群落多样性的分析结果见图 3。由图 3 可知,不同生境样地的物种丰富度不同 ($F=5.491, P=0.0007$),其中灌丛样地 DS 物种数最多,亚高山草甸样地 SMA 次之,油松林样地 CFB 物种数最少。Shannon-Wiener 多样性指数 (H') 在不同生境间有极显著差异 ($F=3.876, P=0.0059$),8 种样地 H' 依次表现为:DS>BLFE>DSDG>MBCF>SMA>CFA>CFB>SMB。均匀度指数在不同生境间也有极显著差异 ($F=11.189, P<0.001$),其中以针叶林样地 CFB 最高,CFA 次之,亚高山草甸样地 SMA 和 SMB 较低。优势度指数的变化趋势与 Shannon-Wiener 多样性指数的变

化呈极显著性负相关 ($r=0.943, P<0.01$),优势度指数在不同生境间差异极显著 ($F=5.358, P=0.0009$),其中以亚高山草甸样地 SMB 最高,样地 SMA 次之,灌丛样地 DS 最低。

2.4 不同生境样地步甲群落的 PCA 分析

对 8 个样地 24 种步甲的多度进行 PCA 分析,物种和样方的二维排序图(图 4)表明,第 1 和第 2 排序轴对群落变化的解释度达到 78.46%,能很好地反映不同生境样地步甲物种的分布。从图 4 还可以看出,8 个样地的步甲昆虫群落可以聚为三类,其中灌丛样地 DS、阔叶林缘样地 BLFE 和针阔混交林样地 MBCF 的步甲群落聚为一类,针叶林样地 CFA

和样地 CFB 的步甲昆虫群落聚为一类,亚高山草甸步甲昆虫群落可以聚为一类。
样地 SMA、SMB 和荒漠半荒漠草地样地 DSDG 的



图柱上标不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著
Different lowercase letters mean significant difference at $P<0.05$

图 3 宁夏罗山不同生境样地步甲昆虫群落的多样性

Fig. 3 Comparison of carabid community diversity indices among different habitats of Ningxia Luo Mountain

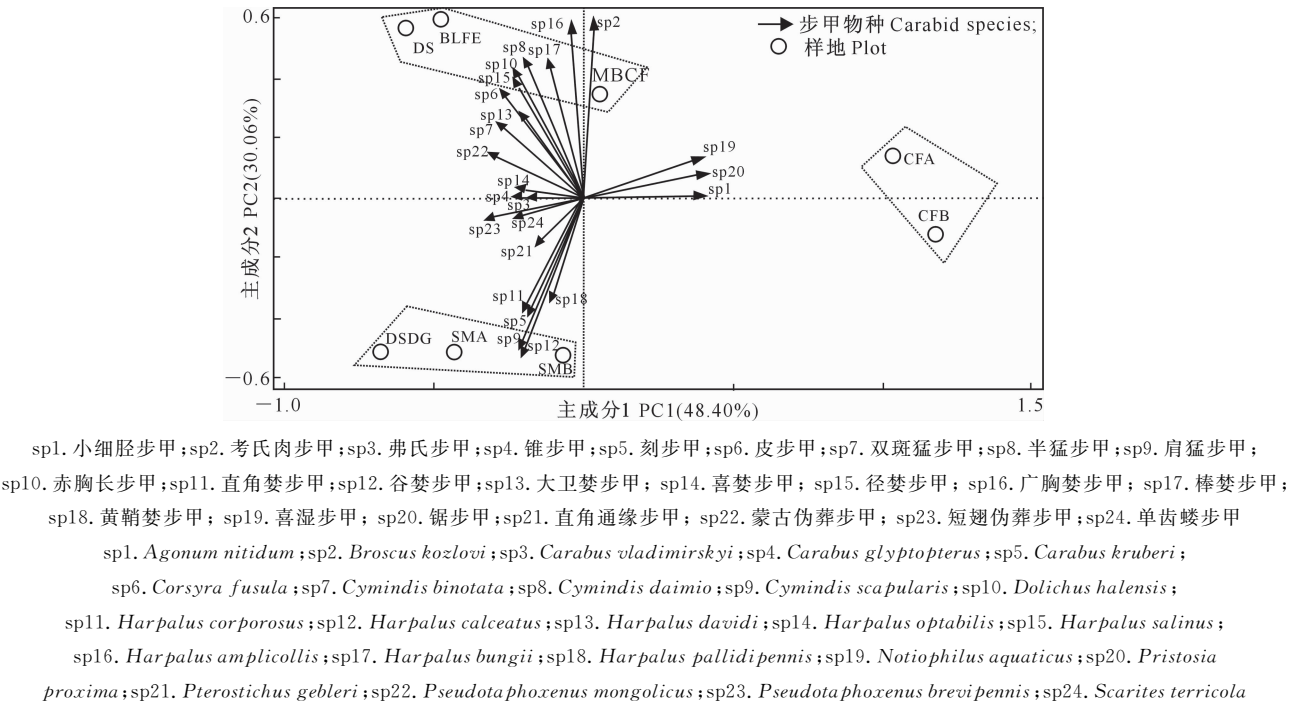


图 4 宁夏罗山不同生境样地步甲昆虫的 PCA 二维排序图

Fig. 4 Ordination diagram of principal component analysis on carabid beetles species in different plots of Ningxia Luo Mountain

3 讨 论

3.1 步甲种类组成与生境的关系

植被类型、土壤环境等诸多因素均会影响昆虫的空间分布。从本研究不同样地步甲物种组成的分析结果看,分布在罗山国家级自然保护区垂直植被带的 8 个样地具有一定的代表性,反映出生境的梯度变化对步甲昆虫群落结构的明显影响。亚高山草甸样地 SMA 和灌丛样地 DS 植被异质性较高,步甲物种数最多,各有 17 种,占研究区域物种总数的 70.83%。样地 SMA 水分条件相对较好,植被丰富,植被盖度大于 90%,较高的生境异质性为步甲昆虫分布提供了空间,而且该样地捕获的步甲个体数量也最多。样地 SMB 的植被多样性要低于样地 SMA,其原因是由于该样地大针茅密度大,尤其到 8 月份降水增多,大针茅生长旺盛且竞争力强,其余草本营养空间有限,因而造成植被多样性减少,不利于更多种类地表昆虫的聚集,导致其步甲物种种类较少。针叶林样地步甲种类最少,其原因是其林下植被单一,透光性差,尤其是油松林样地 CFB 的步甲种类和数量均最少,主要是由于该样地较云杉林样地 CFA 的水分和土壤条件更差,该结果与已有研究结果^[9]不一致,即山地针叶林的物种数和个体数量都较低,说明该研究区域山地针叶林面积较小,步甲区系种类主要体现了旱生和中旱生特点。阔叶林缘样地 BLFE 采集到的步甲昆虫有 14 种,占研究区域物种总数的 58.33%,其原因可能是植被生境的边缘效应有助于提高昆虫的多样性^[4,15]。荒漠半荒漠草地样地 DSDG 聚集了更多适应旱生的步甲种类,体现了该研究区域步甲组成的主要特点。

不同步甲昆虫的生物学特征体现了其对不同生境的适应性。弗氏步甲、直角通缘步甲等种类分布于 6 种以上的生境,属于栖境广布种,但分布并不均匀。优势种类在不同生境内的季节变化趋势也体现了其与不同生境植被生长季节的相关性。小细胫步甲、喜湿步甲和锯步甲趋向分布于阴湿的针叶林环境,而蒙古伪葬步甲在针叶林没有分布。锥步甲、肩猛步甲和谷婪步甲趋向于在光照充足的亚高山草甸和荒漠半荒漠草地中分布。此外,PCA 分析排序中的每个物种在多个环境梯度上的空间位置,进一步反映了其在分类学性状上的差异^[16-17],步甲属(*Carabus*)的弗氏步甲、锥步甲和刻步甲位置靠近,伪葬步甲属(*Pseudotaphoxenus*)的蒙古伪葬步甲和短翅伪葬步甲位置也靠近,其生境选择上不偏好阴

湿环境。

3.2 步甲群落多样性与生境的关系

宁夏罗山垂直植被带 8 个不同生境步甲昆虫群落的多样性,反映出环境因素对维持群落多样性的重要作用,生境的相似性在一定程度上决定着地表甲虫群落组成的相似性,聚类分析结果显示,生境相近的样地步甲昆虫群落结构也相似。生境异质性是维持生物多样性的主要因素,生境差异程度增加,相似性系数相应降低。灌丛样地 DS 的 Shannon-Wiener 多样性指数最高,一方面由于灌丛植被异质性较高,另一方面是灌丛“顶蓬”效应为昆虫提供了丰富的食物资源和相对温和安全的产卵场所^[18]。针叶林生境样地的 Shannon-Wiener 多样性指数较低,尤其是针叶林样地 CFB 多样性指数最低。海拔对昆虫的分布格局呈现主导控制作用,本研究结果表明,步甲昆虫群落 Shannon-Wiener 多样性指数基本表现出随垂直带即海拔升高而降低的现象,这与很多研究结果^[9,19]相一致。步甲物种丰富度的变化以中段海拔较低,该结果与普遍的单峰分布格局不一致^[20],可能与中段海拔尤其是针叶林林下植被相对较为单一及步甲的生物学特性有关。而均匀性指数的变化趋势呈现为 CFB>CFA>DS>MBCF>BLFE>DSDG>SMA>SMB,与 Shannon-Wiener 多样性变化趋势不一致,可能是因为常绿针叶林下地表环境相对稳定,地表步甲昆虫群落结构也较为稳定,亚高山草甸和荒漠半荒漠草地生境年四季气候变化、植被季节更替对地表影响较大,步甲群落结构在研究时间段均匀性指数较低,但并不能说明这 2 种生境的步甲群落结构稳定性低,群落的稳定性还体现在自身的恢复能力上,因此尚需进行多年季节演替规律的调查研究。

[参考文献]

- [1] 贺 奇,王新谱,杨贵军. 宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性[J]. 生态学报,2011,31(4):923-932.
He Q, Wang X P, Yang G J. Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(4): 923-932.
- [2] Jia Y Z, Zhao X H, Meng Q F. Composition and diversity of ground-dwelling beetle (Coleoptera) along a succession gradient in broad-leaved and Korean pine mixed forest in the Changbai Mountains, China [J]. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 2011, 17(6): 797-802.
- [3] 杨贵军, 贾彦霞, 王新谱, 等. 苜蓿-荒漠草地交错带步甲昆虫多样性 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37(3): 483-491.
Yang G J, Jia Y X, Wang X P, et al. Diversity of carabid beetles

- community across alfalfa-desert grassland ecotone in Yanchi of Ningxia [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (3): 483-491.
- [4] 郭 瑞,王义平,翁东明,等. 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 [J]. *浙江农林大学学报*, 2016, 33(4): 551-557.
- Guo R, Wang Y P, Weng D M, et al. Carabid beetle (Coleoptera: Carabidae) species diversity and environmental factors in biotopes of Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve, China [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2016, 33(4): 551-557.
- [5] 王 晶,吕昭智,殷 飞. 干旱区景观异质性地表甲虫多样性的影响 [J]. *环境昆虫学报*, 2016, 38(1): 67-76.
- Wang J, Lü Z Z, Yin F. The influence of landscape heterogeneity on diversity of ground beetles in arid regions [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2016, 38(1): 67-76.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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 X D, Zhou H Z, Luo T H. Habitat distribution and species diversity of *Carabus* and *Cychrus* in Shennongjia Nature Reserve, Hubei province [J]. *Biodiversity Science*, 2001, 9(3): 214-221.
- [9] Tyler G. The ground beetle fauna (Coleoptera: Carabidae) of abandoned fields, as related to plant cover, previous management and succession stage [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2008, 17(1): 155-172.
- [10] Haila Y, Niemelä J. Leaf litter and the small-scale distribution of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) in the boreal forest [J]. *Ecography*, 1999, 22(4): 424-435.
- [11] 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 J F, Wang X P, Li X M, 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.
- [12] 杨贵军,王新谱,仇智虎. 宁夏罗山昆虫 [M]. 银川: 阳光出版社, 2011: 165-168.
- Yang G J, Wang X P, Qiu Z H. Insect fauna of Luo Mountains in Ningxia [M]. Yinchuan: Sunshine Publishing House, 2011: 165-168.
- [13] Ulyshen M D, Hanula J L, Horn S. Using malaise traps to sample ground beetles (Coleoptera: Carabidae) [J]. *The Canadian Entomologist*, 2005, 137(2): 251-256.
- [14] 马克平,刘玉明. 生物多样性测度方法: I. α -多样性(下) [J]. *生物多样性*, 1994, 2(4): 231-239.
- Ma K P, Liu Y M. Measurement of biotic community diversity: I. α diversity (Part 2) [J]. *Biodiversity Science*, 1994, 2(4): 231-239.
- [15] 于晓东,罗天宏,周红章,等. 边缘效应对卧龙自然保护区森林-草地群落交错带地表甲虫多样性的影响 [J]. *昆虫学报*, 2006, 49(2): 277-286.
- Yu X D, Luo T H, Zhou H Z, et al. Influence of edge effect on diversity of ground-dwelling beetles across forest-grassland ecotone in Wolong Natural Reserve, Southwest China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2006, 49(2): 277-286.
- [16] Irmiler U, Hoernes U. Assignment and evaluation of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages to sites on different scales in a grassland landscape [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2003, 12(7): 1405-1419.
- [17] 杨贵军,贺 奇,王新谱. 盐池四墩子拟步甲昆虫群落组成与环境因子的相关性 [J]. *应用生态学报*, 2010, 21(9): 2375-2382.
- Yang G J, He Q, Wang X P. Darkling beetle community structure and its relations with environmental factors in Sidunzi of Yanchi, Ningxia, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(9): 2375-2382.
- [18] Liu J L, Li F R, Liu C A, et al. Influences of shrub vegetation on distribution and diversity of a ground beetle community in a Gobi desert ecosystem [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2012, 21(10): 2601-2619.
- [19] Ikeda 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.
- [20] Sanders N J, Rahbek C. The patterns and causes of elevational diversity gradients [J]. *Ecography*, 2012, 35(1): 1-3.