

古尔班通古特沙漠南缘地表甲虫物种多样性及其与环境的关系

娄巧哲^{1,2} 徐养诚^{1,3} 马吉宏^{1,2} 吕昭智^{1*}

1 (中国科学院新疆生态与地理研究所, 中国科学院干旱区生物地理与生物资源重点实验室, 乌鲁木齐 830011)

2 (中国科学院研究生院, 北京 100049)

3 (新疆农业大学, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为了解荒漠地表甲虫的多样性特点及其与环境的关系, 明确其环境指示作用, 评估沙漠工程对荒漠地表甲虫多样性的影响, 作者于2010年5–7月采用陷阱法调查了古尔班通古特沙漠南缘从沙漠腹地到沙漠绿洲交错区不同生境的地表甲虫物种多样性, 其中包括沙漠腹地公路防护体系的干扰生境。结果如下: (1)共捕获地表甲虫54,527头, 隶属于14科81种, 其中拟步甲科和象甲科占绝对优势, 数量分别占到93.65%和5.14%; 拟步甲科在沙漠腹地的活动密度远大于交错区, 而在交错区象甲科种类最多, 活动密度也最大; 漠王属(*Platyope*)的种类均表现出明显的风沙土的倾向性, 而阿苇长足甲(*Adesmia aweiensis*)和光滑胖漠甲(*Trigonoscelis sublaevigata sublaevigata*)则表现出明显的碱化灰漠土的倾向性; (2)不同生境间的丰富度、多样性指数、均匀度指数、优势度指数、活动密度总体上均具有显著性差异($df = 32, P < 0.05$); (3)分别基于地表甲虫群落与优势类群的生境除趋势对应分析(DCA排序)均表明, 沙漠边缘在研究区域中处于中间过渡地位, 坡上生境更接近沙漠腹地, 垄间更接近交错区; (4)荒漠地表甲虫群落的物种丰富度、多样性指数、均匀度指数、优势度指数与植被盖度、土壤含水量、有机质含量及全N、全P含量均存在显著线性相关($P < 0.05$), 其中与土壤含水量的相关性最好, 活动密度与所有环境因子的相关性最差, 且为负相关; (5)沙漠公路防护体系中的地表甲虫活动密度显著降低, 物种丰富度、多样性及均匀性均有所下降, 但没有达到显著性水平; 主要种的相对重要值也有较大变化。结论如下: 荒漠地表甲虫的多样性特点为丰富度低、多样性低、均匀度差, 但优势度高、活动密度高, 并且这一特点随着生境从荒漠绿洲交错区到沙漠腹地越趋明显; 荒漠地表甲虫在科、属与种的水平上均表现了一定的环境指示作用; 土壤类型在群落排序中起着主要作用; 活动密度与土壤含水量的负相关关系可能是局域尺度下荒漠地表甲虫多样性的一般性规律; 工程干扰对沙漠腹地的地表甲虫群落产生了一定的影响, 草方格、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、沙拐枣(*Calligonum* sp.)等人工植被可能是导致这一影响的主要因素。

关键词: 荒漠, 地表甲虫, 物种—多度分析, DCA排序, 干扰

Diversity of ground-dwelling beetles within the southern Gurbantunggut Desert and its relationship with environmental factors

Qiaozhe Lou^{1,2}, Yangcheng Xu^{1,3}, Jihong Ma^{1,2}, Zhaozhi Lü^{1*}

1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Key Laboratory of Biogeography and Bioresource in Arid Land, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052

Abstract: To study the diversity of ground-dwelling beetle communities and their environmental relationships, and to understand their efficacy as habitat indicators and sensitivity to habitat perturbations, we used pitfall traps to investigate patterns of ground-dwelling beetle diversity along ecotones between the desert hinterland and desert-oasis ecotone along a desert edge in the southern Gurbantunggut Desert, including a

收稿日期: 2010-12-02; 接受日期: 2011-04-14

基金项目: 中国科学院“西部之光”东西部“联合学者”项目(LHXZ200603)

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhaozhi@ms.xjb.ac.cn

disturbed habitat by desert highway protecting system. Our main results were as follows: (1) In total, we trapped 54,527 individuals of 81 species, belonging to 14 families, among which Tenebrionidae and Curculionidae were most dominant and accounted for 93.65% and 5.14% of abundance, respectively. Tenebrionidae was most abundant in the desert hinterland, while Curculionidae dominated ecotones both in terms of richness and abundance. All *Platyope* spp. showed a preference for aeolian sandy soil, while *Adesmia aweiensis* and *Trigonoscelis sublaevigata sublaevigata* showed a preference for alkaline desert soil. (2) Species richness, activity density, diversity, dominance, and evenness indices all showed difference among habitats ($df = 32$, $P < 0.05$). (3) DCA (detrended correspondence analysis) ordinations of habitats based on ground-dwelling beetle communities or dominant groups showed that desert edge was the transitional area in our study area, and that communities on slopes were more similar to those in desert hinterland while those on interdunes were more similar to those in ecotones. (4) Factors including species richness and diversity, evenness and dominance indices were linearly correlated ($P < 0.05$) with soil water content, nutrient content, total N, and total P content. Among them, the correlation with soil water content was the highest, and activity density showed the lowest and negative correlations with all environmental factors. (5) A significant decline in beetle activity density was detected within the highway protecting system ($P < 0.05$); species richness, diversity index and evenness index all declined in the same area, although the differences were insignificant. The relative importance of main species also changed. Conclusions we can draw based on these results are: These communities show low richness, diversity, and evenness but high dominance and abundance. This becomes more pronounced as one moves from the desert-oasis ecotone to the desert hinterland. Desert ground-dwelling beetles showed certain habitat-indicative value at the family, genus and species levels. Soil type is likely the primary mechanism leading to the observed community ordination results. The negative relationship between activity density and soil water content might be a general rule of desert ground-dwelling beetle's distribution at local scales. The desert highway protecting system within our study results has affected ground-dwelling beetle communities, and associated artificial plants (straw barrier, *Haloxylon ammodendron* and *Calligonum* sp.) might be the driving factor leading to these changes.

Key words: desert, ground-dwelling beetles, species-abundance analysis, DCA ordination, disturbing

古尔班通古特沙漠位于我国北疆准噶尔盆地腹心, 地理位置 $44^{\circ}11' - 46^{\circ}20' \text{ N}$, $84^{\circ}31' - 90^{\circ}00' \text{ E}$, 是我国最大的固定、半固定沙漠(王雪芹和雷加强, 1998)。阜康绿洲地处天山东段北麓, 因天山山脉截流降水产生的径流穿越而形成。古尔班通古特沙漠南缘与阜康绿洲平原相连, 形成了典型的荒漠绿洲生态过渡区(张林静等, 2003)。

20世纪80年代以来, 不断有重大工程在古尔班通古特沙漠中实施, 包括油气资源勘探及输油工程实施、沙漠公路建设、防护体系建设等, 使其脆弱的生态环境受到人为活动的干扰(钱亦兵等, 2001)。尤其是垦荒和过度放牧的影响, 导致该地区的荒漠化加剧。因此加强对这些地区物种多样性的监测与保护, 对荒漠生态环境的保护和绿洲可持续发展具有重要意义。

昆虫作为物种丰富的门类, 其分布与环境有密切关系, 步甲作为监测环境和生物多样性变化的指示类群已经得到广泛的应用(Eyre *et al.*, 1996;

Boscaini *et al.*, 2000; Rainio & Niemelä, 2003), 针对荒漠生态系统的指示类群的研究, 国内可见于晓东等(2001)对鄂尔多斯高原、陈进福等(2006)对沙坡头地区、杨贵军等(2010)对宁夏盐池四墩子的昆虫多样性研究。荒漠昆虫长期对严酷环境的适应使其成为荒漠生态系统的重要组成部分, 并在一定程度上维持着整个生态系统的健康, 保障其生态服务功能的发挥(Whitford, 2002; 黄人鑫, 2005)。了解古尔班通古特沙漠昆虫的群落分布及结构特征, 对于保护这一重要的生物资源及环境具有深远意义。对沙漠公路防护体系, 已有关于土壤水分变化(蒋进等, 2003)、蚀积变化和植被恢复(王雪芹和赵从举, 2002)、土壤养分和植被关系(王晶等, 2010)等方面的研究。鉴于近些年沙漠工程及垦荒放牧对古尔班通古特沙漠的干扰, 本文针对荒漠绿洲过渡带不同生境(包括不同干扰程度生境)的地表甲虫进行了研究, 并分析了物种多样性与环境的关系, 探讨了沙漠公路防护体系建设对荒漠昆虫多样性的影响, 以

期为荒漠昆虫物种多样性保护提供基础数据。

1 研究样地与方法

1.1 研究区域概况

研究区域为古尔班通古特沙漠南缘由沙漠腹地至沙漠边缘, 再至阜康梭梭(*Haloxylon ammodendron*)林的荒漠绿洲生态过渡区。古尔班通古特沙漠的风沙地貌类型以沙垄和树枝状沙垄为主, 并出现明显的东西和南北方向上的分异, 沙垄长度几到几十公里, 高度10–50 m (王雪芹和雷加强, 1998; 钱亦兵等, 2007)。该区属于温带大陆性荒漠气候, 年平均温度5.0–5.7℃, 极端最高气温40℃以上, 极端最低气温低于–40℃, 年降雨量80–160 mm, 年蒸发量2,000–2,800 mm, 冬季一般积雪深度10–30 cm, 大于17.2 m/s的大风天数从沙漠中部到边缘25–77 d不等(钱亦兵等, 2007)。植被相对塔克拉玛干沙漠较为茂密, 拥有种类较多、数量较大的短命植物和类短命植物, 同时, 还存在种类丰富的地衣、苔藓和藻类植物, 形成发育良好的生物结皮(张立运和陈昌笃, 2002; 张元明等, 2004)。阜康平原区的植被群落主要为梭梭–红砂(*Reaumuria songarica*)–草本类, 和怪柳(*Tamarix* spp.)–红砂–草本类,

它们在整个研究区分布很广, 处于演替顶极阶段, 比较稳定(张林静等, 2003)。

1.2 研究地点及样地

在研究区域中分别选择沙漠腹地未干扰生境、沙漠腹地公路防护体系、北沙窝、梭梭林来代表沙漠腹地自然生境、沙漠腹地干扰生境、沙漠边缘自然生境、沙漠绿洲交错区自然生境共4种生境(图1)。所选自然生境均在荒漠景观中占有一定面积, 具有一定代表性, 所选沙漠公路防护体系为典型的扰动沙丘。除交错区外, 其余3种生境的地貌类型均为半固定沙丘, 为避免偶然性, 分别随机选取9、12和9个样地, 包含沙丘的阳面、阴面及垄间的各种小生境(microhabitat); 交错区地势平坦, 均质性较强, 仅选择3个样地。每个样地面积大约为0.5 ha。样地间距不小于50 m。各生境及样地概况见表1。

1.3 取样方法和标本鉴定

采用陷阱法调查地表甲虫物种多样性。陷阱使用圆筒状塑料杯(高13.5 cm, 口径8.00 cm, 底径5.5 cm), 杯子埋于地下, 杯口与地面同水平。由于荒漠地表甲虫中, 占据优势地位的拟步甲科和象甲科的多数种类后翅退化不具有飞行能力, 或飞行能力弱(任国栋和于有志, 1999; 黄人鑫, 2005), 故杯中未

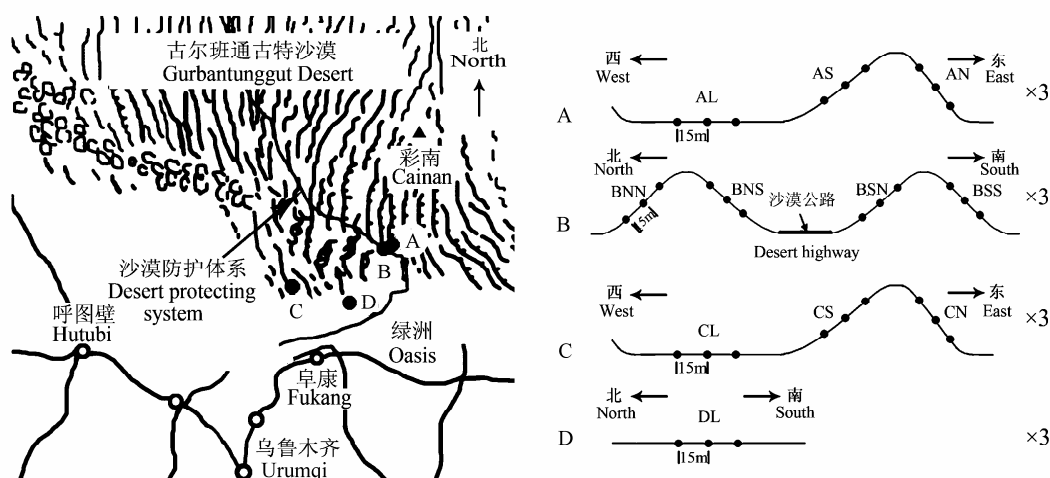


图1 古尔班通古特沙漠南缘研究样地及陷阱布设示意图(地图仿自王雪芹和雷加强, 1998)。A: 沙漠腹地自然生境; B: 沙漠腹地干扰生境; C: 沙漠边缘自然生境; D: 沙漠绿洲交错区自然生境; AS, AN, AL: 沙丘的阳面、阴面和垄间; BNN, BNS, BSN, BSS: 沙丘背路面阴面、沙丘向路面阳面、沙丘向路面阴面和沙丘背路面阳面, 其中背路面仅为草方格机械固沙, 向路面为草方格+植被复合固沙; CS, CN, CL: 沙丘的阳面、阴面和垄间; DL: 平地。

Fig. 1 The sites of insect investigation on southern Gurbantunggut Desert and the distribution of traps within different plots. A, Natural habitat in desert hinterland; B, Disturbed habitat in desert hinterland; C, Natural habitat on desert edge; D, Natural habitat on desert-oasis ecotone; AS, AN, AL, Sunny slope of dune in A, Shady slope of dune in A, Interdune in A; BNN, BNS, BSN, BSS, Shady and outside of dune in B, Sunny and interside of dune in B, Shady and interside of dune in B, Sunny and outside in B; CS, CN, CL, Sunny slope of dune in C, Shady slope of dune in C, Interdune in C; DL, Flat land in D.

表1 古尔班通古特沙漠南缘研究样地的地理位置、土壤特性及植被特征
Table 1 The geographical position, soil characteristics and vegetation type of plots on southern Gurbantunggut Desert

地点 Sites	样地数 No. of plots	小生境 Micro-habitat	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Elevation (m)	生境类型 Habitat type	土壤类型 Soil type	植被类型 Vegetation type
沙漠腹地 自然生境 Natural hinterland	9	AS	88°19'41.2"	44°30'58.4"	515	偏东南走向的纵向半固定自然沙丘。 Natural semi-fixed longitudinal dune with a deviation to southeast.	全部为风沙土，土壤含水量很低。 Aeolian sandy soil with a lower soil water content.	沙丘上主要为白梭梭群系；垄间主要为蛇麻黄群系，且生物结皮发育良好。 <i>Haloxylon persicum</i> community on dune, and <i>Ephedra distachya</i> community with well-developed biological crust on interdune.
		AN	88°19'41.9"	44°31'00.0"	513			
		AL	88°19'40.5"	44°30'57.2"	508			
		AS	88°18'01.1"	44°32'26.2"	526			
		AN	88°18'02.4"	44°32'27.4"	525			
		AL	88°18'03.4"	44°32'28.8"	519			
		AS	88°18'05.0"	44°32'22.8"	524			
		AN	88°18'06.1"	44°32'23.8"	520			
		AL	88°18'08.4"	44°32'25.4"	515			
沙漠腹地 干扰生境 Disturbed hinterland	12	BNN	88°19'46.1"	44°31'07.6"	532	偏东南走向的横向半固定扰动沙丘。 Disturbed semi-fixed horizontal dune with a deviation to southeast.	全部为风沙土，土壤含水量很低。 Aeolian sandy soil with a lower soil water content.	背路面有草方格固沙，有一定草本植物入侵，向路面除草方格固沙，人工种植有梭梭和沙拐枣。 Just straw barrier on outside of dune, with a certain amount of invasive plant, while straw barrier with artificial plant (<i>H. ammodendron</i> and <i>Calligonum</i> sp.) on interside of dune.
		BNS	88°19'44.7"	44°31'06.2"	532			
		BSN	88°19'42.4"	44°31'03.5"	517			
		BSS	88°19'40.1"	44°31'01.5"	520			
		BNN	88°17'55.8"	44°32'18.8"	525			
		BNS	88°17'54.6"	44°32'16.4"	530			
		BSN	88°17'59.1"	44°32'09.9"	518			
		BSS	88°17'57.3"	44°32'05.6"	519			
		BNN	88°17'52.2"	44°32'19.2"	532			
		BNS	88°17'53.2"	44°32'17.8"	525			
沙漠边缘 自然生境 Natural desert edge	9	CS	87°51'50.5"	44°24'16.1"	429	偏东南走向的纵向半固定自然沙丘。 Natural semi-fixed longitudinal dune with a deviation to southeast.	沙丘上为含水量较低的风沙土，垄间为含水量较高的碱化灰漠土。 Aeolian sandy soil on dune, while alkaline desert soil on interdune.	沙丘上主要为白梭梭群系；垄间主要为梭梭群系，且短命植物发育良好。 <i>H. persicum</i> community on dune while <i>H. ammodendron</i> community with well-developed ephemeral on interdune.
		CN	87°51'53.0"	44°24'16.2"	432			
		CL	87°51'45.7"	44°24'16.0"	427			
		CS	87°51'36.1"	44°24'09.3"	433			
		CN	87°51'38.3"	44°24'09.2"	431			
		CL	87°51'33.4"	44°24'10.0"	430			
		CS	87°51'49.4"	44°24'03.2"	437			
		CN	87°51'51.2"	44°24'03.9"	434			
		CL	87°51'47.0"	44°24'02.1"	431			
交错区自然生境 Natural ecotone	3	DL	88°08'18.6"	44°21'19.9"	484	平地 Flat land	全部为碱化灰漠土，含水量最高。 Alkaline desert soil, with a higher soil water content.	主要为梭梭-红砂-草本群系。 <i>H. ammodendron</i> , <i>Reaumuria songarica</i> and herbal community.
		DL	88°08'19.2"	44°21'16.7"	486			
		DL	88°08'09.7"	44°21'09.7"	482			

字母所代表的样地同图1 The labels of plots are given in Fig. 1

加任何引诱剂、酒精等化学物质。每个样地设杯子30个，沿沙垄方向分为3排，每排10个，相邻杯子间距15 m(图1)。据已有的研究和观测，古尔班通古特沙漠的甲虫活动高峰期5–7月，本研究于2010年5月7日放置杯子，以后每隔10 d收取落入杯中的甲虫1次，共收取6次。具体收取时间为5月17日，5月27日，6月6日，6月17日(因15日降雨，16日未能收取)，6月27日，7月7日。收回的甲虫在实验室被尽快计数、

制作成干标本或存放于75%酒精中以备鉴定。对陷阱中由于捕食剩下的昆虫残体(主要是漠王属(*Platyope*)种类的鞘翅残体)，同样收取并计数。而对未留下残体的个体(例如被鸟捕食)，鉴于优势种的数量极大而忽略。原始数据的记录以单杯为单位。
标本初步鉴定参考赵养昌和陈元清(1980)，任国栋和于有志(1999)，黄人鑫(2005)，任国栋和杨秀娟(2006)，任国栋和巴义彬(2010)。进一步鉴定由国

内相关专家完成, 其中拟步甲科送交河北大学任国栋教授的研究组, 象甲科送交中国科学院动物研究所张润志研究员的研究组。

1.4 环境因子的测量

环境因子的选取主要针对植被和土壤。植被选取单一指标即植被盖度, 于2010年5月中旬统一调查, 这一时期植被盖度相对比较大, 短命植物和类短命植物生长旺盛。土壤因子选取土壤含水量、土壤有机质含量及土壤全N、全P含量。由于荒漠地区生态系统具有一定的稳定特性, 本文使用了2007年5月初相同或近似样地的土壤调查数据(王晶等, 2010)。

1.5 数据分析

在科的水平上将地表甲虫群落划分成不同类群, 数量不小于1%的定义为优势类群, 其中数量最多的定义为最优势类群, 次多的定义为次优势类群, 数量小于1%的定义为稀有类群。在种的水平上, 数量不小于5%的种定义为优势种, 其中数量上最多的定义为最优势种, 次多的定义为次优势种, 数量不小于2%的定义为主要种, 小于2%的定义为稀有种。

不同生境地表甲虫群落物种的多度分析采用相对重要性-物种序列曲线(孙儒泳, 2001): 横轴为物种数量等级排序, 即将群落中物种按活动密度从高到低的顺序排列, 并依次标为1、2、3……; 纵轴为物种的相对重要性(值), 本文以第*i*个物种数量(n_i)占总个体数量(N)的百分比表示, 即 $P_i = n_i/N$; 纵轴标尺使用对数坐标。

不同生境地表甲虫的数量比较以活动密度(AD)为指标, 活动密度以调查期间平均每30个杯子每天的地表甲虫捕获量表示。

物种多样性测度采用 α 多样性的测度方法(马克平, 1994; 马克平和刘玉明, 1994): 物种丰富度采用物种数(S); 物种多样性分析采用Shannon-Wiener多样性指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (1)$$

均匀度分析采用Pielou指数:

$$J = H' / \ln S \quad (2)$$

优势度分析采用Simpson指数:

$$C = \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (3)$$

其中 P_i 意义同上。

群落的排序采用除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA) (Hill & Gauch, 1980), 以个体数量占总个体数量0.1%以上的物种及其数量为属性, 对4种大生境共33个样地进行排序, 物种数据采用平方根形式转换(Sokal & Rohlf, 1995)。

不同生境间物种多样性指数的比较, 主要通过单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差法(LSD)进行检验(因为各组数据均符合正态分布, 且表现为方差齐性, 因此进行参数检验使用的是原始数据)。物种多样性指数与环境因子的关系采用Pearson线性相关系数(r)进行分析。

数据初步分析、物种多度分析及活动密度计算使用Excel 2003, 多样性指数计算及群落排序使用PAST 2.03 (Hammer *et al.*, 2001), 方差分析及相关性分析使用PASW Statistics 18.0.0。

2 结果

2.1 主要类群及数量

经过初步鉴定和数量统计, 调查共捕获甲虫54,527头, 隶属于14科81种(表2)。其中拟步甲科数量最多(93.65%), 其次为象甲科(5.14%), 物种数也是这两个科最多, 分别为30种(37.0%)和25种(30.9%)。其他类群无论在数量上还是在种类上都很少, 总个体数量累计不到2%。沙漠腹地自然生境(A)与干扰生境(B)以及沙漠边缘(C)3种生境的最优势类群均为拟步甲科(分别占97.38%、96.29%和96.58%), 次优势类群均为象甲科(分别占1.09%、2.95%和2.35%), 其他均为稀有类群; 而交错区(D)的优势类群有3个, 最优势类群为象甲科, 其次为拟步甲科, 再次为芫菁科, 分别占54.09%、43.21%和1.41%, 其他均为稀有类群。

2.2 不同生境主要物种组成及多度分析

不同生境地表甲虫群落的主要种及其相对重要值见表3。其沙漠腹地的自然生境(A)有5个种的数量大于2%; 而干扰生境(B)有6个种的数量大于2%, 除列氏浑圆象(*Epexochus lehmanni*)外, 其余5个与自然生境相同, 但库氏东鳖甲(*Anatolica kulzeri*)的相对重要性明显上升, 宽颈小鳖甲(*Microdera latcollis*)的相对重要性明显下降。这两种生境的最优势种和次优势种均为中华漠王(*Platyope proctoleuca chinensis*)和库氏东鳖甲。沙漠边缘(C)数量大于2%的物种也为6个, 但明显不同于沙漠腹地, 中华漠

表2 古尔班通古特沙漠南缘不同生境地表甲虫群落的科组成和数量分布(2010年5–7月)
Table 2 The family composition and number of individuals of different ground-dwelling beetle communities in southern Gurban-tungut Desert (collected from May to July, 2010)

科 Family	沙漠腹地自然生境 Natural hinterland			沙漠腹地干扰生境 Disturbed hinterland				沙漠边缘自然生境 Natural desert edge			交错区自然生境 Natural ecotone	合计 Total	百分比 (%)
	AS	AN	AL	BNN	BNS	BSN	BSS	CS	CN	CL	DL		
拟步甲科 Tenebrionidae	7,881	5,191	5,440	4,979	4,438	3,730	4,613	4,848	5,233	3,334	1,375	51,062	93.65
象甲科 Curculionidae	59	48	100	106	109	253	77	124	96	107	1,721	2,800	5.14
金龟科 Scarabaeidae	17	19	70	3	2	5	16	14	15	15	8	184	0.34
步甲科 Carabidae	14	35	46	10	11	8	8	4	11	9	14	170	0.31
葬甲科 Silphidae	4	13	10	6	14	12	11	6	2	4	10	92	0.17
芫菁科 Meloidae	0	0	0	0	0	0	0	4	3	13	45	65	0.12
阎甲科 Histeridae	3	4	6	0	0	2	1	34	8	5	2	65	0.12
隐翅虫科 Staphylinidae	16	14	0	0	0	0	3	0	0	0	0	33	0.06
吉丁科 Buprestidae	2	11	0	0	1	1	2	1	0	0	5	23	0.04
丽金龟科 Rutelidae	2	3	0	5	3	3	3	0	0	0	0	19	0.03
花金龟科 Cetoniidae	0	1	0	0	4	0	5	0	0	0	0	10	0.02
叩甲科 Elateridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0.00
犀金龟科 Dynastidae	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0.00
皮蠹科 Dermestidae	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.00
合计 Total	7,998	5,339	5,673	5,109	4,583	4,014	4,739	5,035	5,368	3,487	3,182	54,527	100.00

字母所代表的样地同图1; 数据均为3个相同小生境类型样地的累计值。
The labels of plots are given in Fig. 1. Data of every 3 plots of the same microhabitat type are summed.

表3 不同生境地表甲虫群落主要种的相对重要值(%)
Table 3 Index of relative importance (% of total specimens) of main species in different habitats

物种 Species	沙漠腹地自然生境 Natural hinterland	沙漠腹地干扰生境 Disturbed hinterland	沙漠边缘自然生境 Natural desert edge	交错区自然生境 Natural ecotone
中华漠王 <i>Platyope proctoleuca chinensis</i>	55	55		—
库氏东鳖甲 <i>Anatolica kulzeri</i>	22	32	49	—
宽颈小鳖甲 <i>Microdera laticollis</i>	11	3	9	—
维氏漠王 <i>Platyope victori</i>	4	3	—	—
戈壁琵琶甲 <i>Blaps gobiensis</i>	3	2	4	—
列氏浑圆象 <i>Epexochus lehmanni</i>	—	2	—	—
漠王未定种 <i>Platyope</i> sp.			19	—
阿苇长足甲 <i>Adesmia aweiensis</i>			9	24
三北甜菜象 <i>Bothynoderes securus</i>		—	—	16
光滑胖漠甲 <i>Trigonoscelis sublaevigata sublaevigata</i>	—	—	4	14
黑斑齿足象 <i>Deracanthus grumi</i>	—		—	10
筒喙象未定种 <i>Lixus</i> sp.				8
甜菜象未定种1 <i>Bothynoderes</i> sp.1				8
黄褐纤毛象 <i>Tanymecus urbanus</i>	—	—	—	4
甜菜象未定种2 <i>Bothynoderes</i> sp.2	—	—	—	3

"—"表示相对重要值不为0但小于2%; 空白表示相对重要值为0。
"—"indicates that the value of species relative importance is between 0 and 2%; blank indicates the value is 0

王没有出现, 维氏漠王(*P. victori*)只出现过1次, 而另一种漠王(漠王未定种*Platyope* sp.)、阿苇长足甲(*Adesmia aweiensis*)、光滑胖漠甲(*Trigonoscelis sublaevigata sublaevigata*)则成为主要种。交错区(D)主要种的数目最多, 为8个, 除阿苇长足甲、光滑胖漠甲外, 其余种在其他3种生境中均不存在或为稀有种。

各生境的稀有种数分别为32、29、43、40, 各占总物种数的86.5%、82.9%、87.8%、83.3%, 其中沙漠腹地干扰生境较沙漠腹地自然生境的稀有种比例有所下降, 而交错区的稀有种比例在自然生境中最低。

从不同生境地表甲虫群落的相对重要性-物种序列曲线均为一条平滑的凹形曲线可以看出(图2a): 从沙漠腹地到交错区(A和B→C→D), 曲线由较陡变为较缓, 优势种所占比例下降, 稀有种所占比例上升, 斜率所表现出的群落均匀度上升, 多样性升高; 而沙漠腹地干扰生境的均匀度及多样性较未干扰生境有所下降。与群落相比, 不同生境最优势类群的相对重要性-物种序列曲线中(图2b), 4条曲线的位置关系不变, 但3种自然生境的多度曲线均近似一条直线, 直线斜率的差异表明, 沙漠腹地的最优势类群拟步甲科的均匀度最低, 而交错区的最优势类群象甲科的均匀度最高, 沙漠边缘的最优势类群拟步甲科则居中; 干扰生境的曲线相对较为曲折, 规律性不明显, 最优势类群拟步甲科的均匀度同样较未干扰生境有所降低。

2.3 不同生境间地表甲虫物种多样性比较

4种生境地表甲虫物种多样性整体上均较低(表4)。物种丰富度及多样性指数在沙漠腹地(A和B)最低, 经沙漠边缘(C)到绿洲交错区(D)逐渐升高, 均匀度也呈类似的变化趋势, 而优势度及甲虫的活动

密度则正好相反。所有特征值在4种生境间总体均有显著性差异($df = 32, P < 0.05$)。沙漠腹地自然生境、沙漠边缘和交错区除活动密度和优势度指数外两两生境间均有显著性差异。沙漠腹地干扰生境较自然生境, 活动密度、物种丰富度、多样性指数和均匀度指数均降低, 优势度升高, 其中活动密度在0.05的水平上差异显著, 其他均不显著。

2.4 不同生境地表甲虫群落及优势类群的排序分析

4种大生境33个小生境的地表甲虫群落及不同优势类群的除趋势对应分析(DCA排序)见图3。从图中基于不同类群物种数据的3种排序可以看出, 4种

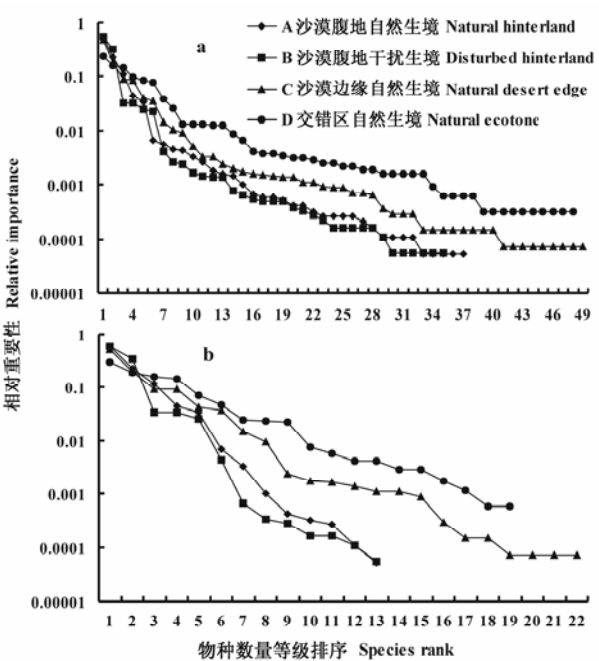


图2 不同生境地表甲虫群落(a)及最优势类群(b)的相对重要性-物种序列曲线
Fig. 2 Relative Importance-Species Rank curves of the different ground-dwelling beetle communities (a) and the most dominant beetle groups (b).

表4 古尔班通古特沙漠南缘不同生境地表甲虫群落的活动密度、物种丰富度及物种多样性比较(平均值±标准误)
Table 4 Activity density, species richness and diversity indices of ground-dwelling beetle communities in different habitats in southern Gurbantunggut Desert (Mean ± SE)

生境类型 Habitat type	活动密度(AD) Activity density	物种丰富度(S) Species richness	多样性指数(H') Diversity index	均匀度指数(J) Evenness index	优势度指数(D) Dominance index
沙漠腹地自然生境 Natural hinterland	34.6 ± 3.9 ^b	19.6 ± 1.1 ^a	1.33 ± 0.04 ^a	0.45 ± 0.01 ^a	0.37 ± 0.02 ^{bc}
沙漠腹地干扰生境 Disturbed hinterland	25.2 ± 2.4 ^a	17.5 ± 0.7 ^a	1.18 ± 0.04 ^a	0.41 ± 0.01 ^a	0.43 ± 0.02 ^c
沙漠边缘自然生境 Natural desert edge	25.3 ± 1.8 ^a	25.1 ± 1.4 ^b	1.62 ± 0.09 ^b	0.50 ± 0.02 ^b	0.31 ± 0.03 ^b
交错区自然生境 Natural ecotone	17.4 ± 1.9 ^a	36.7 ± 2.2 ^c	2.34 ± 0.06 ^c	0.65 ± 0.01 ^c	0.15 ± 0.01 ^a

同列数据间不同上标字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Numbers within the same column followed by different superscript are significantly different ($P < 0.05$).

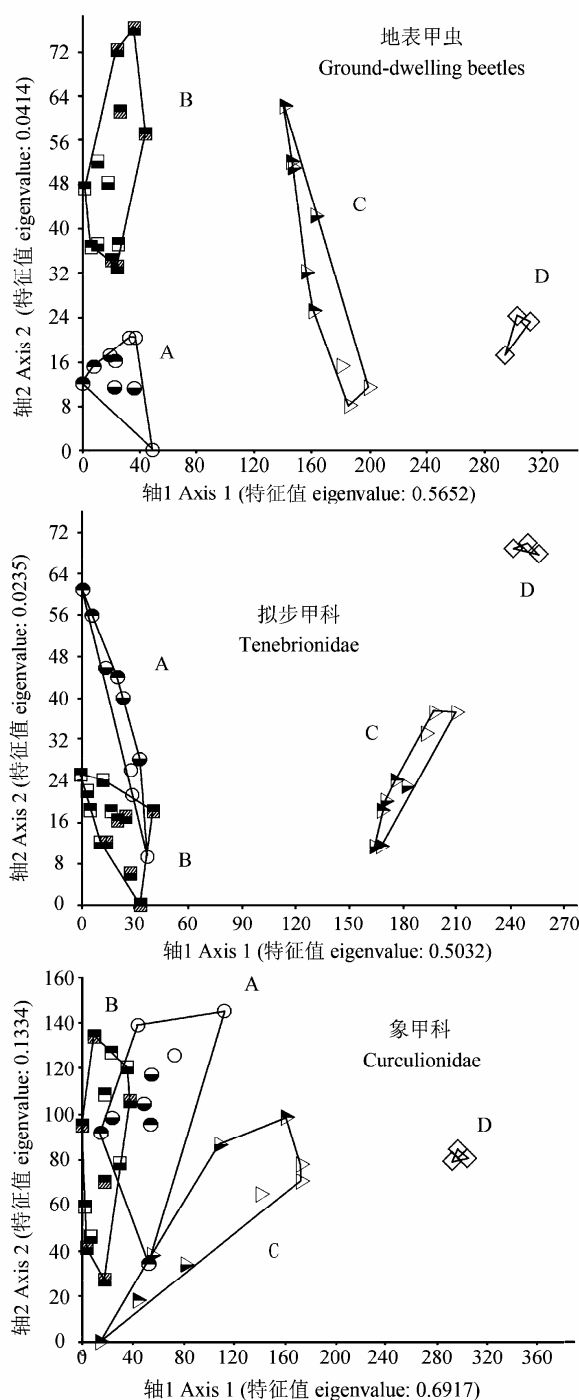


图3 古尔班通古特沙漠南缘不同生境地表甲虫群落及优势类群的除趋势对应分析(DCA)。●○: AS, AN and AL; ■■■: BNN, BNS, BSN and BSS; ►►: CS, CN and CL。字母所代表的样地同图1。

Fig. 3 Detrended correspondence analysis (DCA) ordination performed on ground-dwelling beetle communities or Tenebrionidae or Curculionidae in 33 sampling sites in southern Gurbantunggut Desert. ●○ AS, AN and AL; ■■■ BNN, BNS, BSN and BSS; ►► CS, CN and CL. The labels are given in Fig. 1.

生境均表现出一定的差异性;而沙漠边缘(C)处于相对中间位置,且其垄间生境与坡上生境也显示出明显的差异性,垄间更接近交错区(D),坡上更接近沙漠腹地(A、B);但阴坡和阳坡均明显重叠。其中基于地表甲虫群落的排序显示4种生境间完全没有重叠,相似性都较小;从其小生境的排序位置看,沙漠腹地自然生境(A)的阴坡、阳坡出现重叠,有一定的相似性;沙漠腹地干扰生境(B)的所有背路面距离较近,相似性较强,而阴坡阳坡明显重叠;交错区自然生境的三个样地相似性较强。基于拟步甲科的排序与基于地表甲虫群落的排序相比,最大的不同是沙漠腹地干扰生境与自然沙丘的垄间生境重叠在一起,其次是沙漠边缘生境在第1排序轴上更接近于交错区;基于象甲科的排序则相反,干扰生境没有与自然生境的垄间生境重叠,反而与其坡上生境重叠,且沙漠边缘生境在第1排序轴上更接近于沙漠腹地,甚至出现了小部分重叠。

地表甲虫、拟步甲科、象甲科的DCA排序图的两个排序轴中,第1排序轴分别解释了90.3%、92.9%和73.4%的差异,第2排序轴分别解释了6.2%、4.3%和14.1%的差异,由此可以推断第1排序轴在3种排序中占有主导地位。而群落的排序从A和B→C→D,基本与第一排序轴平行,表明从沙漠腹地到交错区的某些渐变的环境因子可以解释这一排序结果。

2.5 荒漠地表甲虫群落特征值与环境因子的关系

不同生境地表甲虫群落特征值与环境因子的相关性分析见表5。群落特征值与环境特征值呈线性相关关系, Pearson相关系数 r 的绝对值在0.54–0.97之间。其中群落特征值与土壤含水量之间的相关系数绝对值较其他因子大,除活动密度外其他相关性系数绝对值均高于90%,相关性较高。活动密度与土壤有机质含量、土壤全氮含量间相关不显著,其他均为显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)。群落特征中活动密度及优势度指数与所有环境因子的相关为负相关,其他均为正相关。

3 讨论

3.1 不同生境地表甲虫物种组成及其环境指示意义

本研究捕获的地表甲虫中,拟步甲科和象甲科的种类和数量均占据了绝对优势,除芜菁科在交错区的数量也较大之外,其他均属于稀有类群,这与华北地区(于晓东等, 2002; 王玉等, 2009)及南方地

表5 古尔班通古特沙漠南缘不同生境地表甲虫群落特征值与环境因子的相关性分析(Pearson线性相关性系数 r)
Table 5 Correlation analysis of community characters and environmental factors in different habitats in southern Gurbantunggut Desert (Pearson's r)

	土壤含水量 Soil water content	土壤有机质含量 Soil nutrient content	土壤全氮含量 Soil total N content	土壤全磷含量 Soil total P content	植被盖度 Vegetation coverage
物种丰富度 Species richness	0.93**	0.64*	0.71*	0.81**	0.84**
活动密度 Activity density	-0.63*	-0.54	-0.56	-0.66*	-0.75**
优势度指数 Dominance index	-0.93**	-0.76**	-0.80**	-0.90**	-0.89**
物种多样性指数 Diversity index	0.97**	0.71*	0.78**	0.92**	0.89**
均匀度指数 Evenness index	0.96**	0.72*	0.78**	0.92**	0.88**

* $P<0.05$, ** $P<0.01$

区(于晓东等, 2003, 2004)的研究结果有极大不同, 与于晓东等(2001)对鄂尔多斯高原的调查结果也有所不同, 与华北及南方研究结果的不同主要在于地区及生境类型的差异, 与鄂尔多斯高原研究结果的不同主要在于本研究的范围只涉及干旱的荒漠, 并没有深入绿洲内部, 因此优势类群仅为荒漠的代表性类群。黄人鑫(2005)将新疆荒漠甲虫物种组成特点概括为“拟步甲、象甲、金龟甲、芫菁、叶甲最为重要, 不仅种类多, 而且数量大”, 但由于本研究使用空杯作为陷阱, 因此对具有飞行能力的金龟、芫菁、叶甲、步甲等的多样性评估存在一定缺陷, 这也是造成与其他研究结果不同的一个重要因素。

空间分布上, 拟步甲科和象甲科的分布在科、属与种的水平上均表现出了比较明显的生境倾向性。在科的水平上, 沙漠腹地与沙漠边缘中拟步甲科的数量占绝对优势, 而交错区中象甲科则在数量与种类上都超过了拟步甲科, 成为最优势类群, 同时芫菁科也成为优势类群, 这些表明了拟步甲科对沙漠有倾向性, 而象甲科、芫菁科对交错区有倾向性。稀有类群尽管在所有生境的种类都很多, 但因其数量极少而指示性不强。

在物种水平上, 各生境的最优势种均属拟步甲科, 主要种的种数与稀有种的比例差异不大, 但物种组成有很大差别。沙漠腹地的主要种中华漠王与维氏漠王在沙漠边缘和交错区不见或偶见(只出现1次), 而漠王未定种在沙漠边缘出现并成为优势种, 在交错区偶见。依据漠王未定种在沙漠边缘沙丘坡上的活动密度远大于垄间, 可知漠王属更倾向于分布在植被较差、土壤含水量较低的风沙土中, 可以作为风沙土指示种, 但3种的空间分布差异有待进一步研究。沙漠边缘与交错区共同的主要种阿苇长足甲和光滑胖漠甲则表现出对碱化灰漠土明显的

倾向性, 因为即使在沙漠边缘的沙丘, 垄间密度也均远大于坡上, 所以可以作为植被较好、土壤含水量较高的碱化灰漠土指示种。象甲科虽然在整体上倾向于交错区, 但列氏浑圆象在沙漠腹地的数量却远大于沙漠边缘, 在交错区则并未出现。这一结果表明荒漠昆虫多样性的组成在一定程度上能够反映其生境的特征, 对荒漠化发展和逆转具有指示作用(陈进福等, 2006)。

3.2 不同生境地表甲虫群落多样性特点及其规律探讨

群落的物种多样性直接或间接体现群落结构的类型、组织水平、发展阶段、稳定程度、生境差异等(张林静等, 2003)。调查结果显示古尔班通古特沙漠地表甲虫群落的总体特点为: 丰富度低, 多样性低, 均匀度差, 优势度高, 并且这一特点随着生境从荒漠绿洲交错区到沙漠边缘再到沙漠腹地更趋明显。例如Shannon-Wiener多样性指数在沙漠绿洲交错区为2.34, 到沙漠腹地自然生境仅为1.33(表4), 而Magurran(1988)认为此值的一般范围为1.5–3.5。荒漠群落的另一个特点是优势度大, 图2的多度曲线就能很好地反映这一特点, 而且多度曲线的连续变化也展示了优势度从环境较好的交错区到环境恶劣的沙漠腹地逐渐增加的趋势。对这一渐变的趋势可以解释为: 环境越为恶劣, 能很好适应的昆虫物种数目会越少, 这些能很好适应的物种缺少种间竞争而在种群数量上达到极大, 从而大大增加了群落和优势类群的优势度, 降低了均匀度。

另外值得一提的是, 在沙漠腹地自然生境和沙漠边缘自然生境, 最优势种在所属科级类群中的相对重要值分别达到了56.80%和51.09%(大于50%), 根据所属最优势类群的近似直线的多度曲线(图2b)可以推测, 这种分布较好地符合了生态位优先占领

假说,它多出现在生境严酷,种数相对较少的群落(孙儒泳, 2001; 张金屯, 2004)。而交错区象甲类群中最优势种的相对重要值只有29.98%,直线坡度过于平缓,并不符合这一假说,但直线趋势十分明显,是否代表了另一种多度模式,有待探究。

3.3 荒漠地表甲虫群落多样性与环境因子的关系

分别基于地表甲虫群落、拟步甲群落和象甲群落的DCA排序,均得出一个类似的结论,即在所研究的各种生境中,沙漠边缘的过渡性质明显,其坡上与垄间生境均较好地分开,并且在第一排序轴上的排列方向一致。这表明了沙漠边缘沙丘坡上与垄间的某些环境特征差异使二者的地表甲虫群落产生明显的分化,前者近似于沙漠腹地,后者近似于交错区平地。而在一系列梯度变化的环境因子中,土壤类型可能是一个首要的综合因素,因为沙漠边缘坡上为风沙土,垄间为碱化灰漠土,而沙漠腹地全为风沙土,交错区全为碱化灰漠土。另外,坡上与垄间的差异在沙漠腹地的自然生境也均有所反映,这说明除土壤类型的差别外,植被的差别可能也对其有直接影响。例如通常垄间的短命植物及类短命植物较多,苔藓结皮发育较好。坡向的影响均不大。植被类型对地表甲虫的影响还表现在干扰沙丘背路面与向路面明显的植被差异使地表甲虫产生分化。基于不同类群的排序图差异反映出这些类群所依赖的生境的差异。拟步甲科在幼虫期多取食植物根部,成虫期多取食植物活体及动植物碎屑,并多活动于地表,为多食性昆虫,对地表的生境依赖性更直接;象甲科则为幼虫期、成虫期均取食植物活体并在成虫期同时活动于地表的植食性昆虫,对植物本身的依赖性更直接。从基于拟步甲科的排序图可以得出,沙漠边缘地表特征更接近于交错区,沙漠腹地干扰生境地表特征更接近于腹地自然生境的垄间,而从基于象甲科的排序图则得出,沙漠边缘植被特征更接近于腹地,沙漠腹地干扰生境植被特征更接近于腹地自然生境的坡上(这两点与地表特征正好相反)。

群落的多样性特征值与所测环境因子的关系显示,二者存在很好的线性相关关系,其中与土壤含水量的相关性最好(表5)。王玉等(2009)对北京野鸭湖湿地地表甲虫群落的研究中使用Spearman秩相关系数进行相关分析,但相关性并不是都很好,其中活动密度与土壤含水量的回归关系最为明显,

且为正相关,杨贵军等(2010)对盐池四墩子拟步甲群落的研究结果与之相似。但在本研究中,活动密度与所测环境特征值的相关系数绝对值尽管均达到50%以上,却是最低的,且与土壤含水量间为负相关(表5)。Boscaini等(2000)对步甲群落的研究得出其Shannon-Wiener多样性指数随水分增加而增加,与本研究的结论类似。于晓东等(2001)对鄂尔多斯高原荒漠地区甲虫群落的Shannon-Wiener多样性指数、均匀度指数、个体数量与降水量的相关性分析结果均与本研究类似,只是该研究选用的是降水量,本研究是土壤含水量。这些说明昆虫物种多样性随环境的变化在不同地区、不同生态系统类型、不同空间尺度以及不同类群中可能是不同的,其内在的规律及机制有待进一步研究。

3.4 人为干扰对荒漠地表甲虫群落的影响

沙漠腹地公路防护体系的建立对腹地原生境地地表甲虫群落产生了一定的影响。除了多度曲线(图2a和图2b)和DCA排序(图3)结果中表现的差异,表4的方差分析结果表明,干扰生境地地表甲虫群落的活动密度、物种丰富度、多样性指数、均匀度指数均较自然生境有所下降,其中活动密度差异显著。除此之外,表3显示了干扰对地表甲虫群落主要物种组成的影响。但这两种生境也有最多的共有种及最大的相似性,在分别基于拟步甲科和象甲科的DCA排序中干扰生境均与自然生境有所重叠,这说明沙漠腹地自然生境中的一些甲虫能够较好地扩散到扰动沙丘上并形成独立群落。干扰造成的这些影响,主要与防护体系中所采取的固沙方法,以及荒漠甲虫对这种干扰的适应能力两方面有关。由于在扰动沙丘上进行了草方格固沙或草方格+梭梭+沙拐枣固沙,从而会引起地表的微生境发生改变,例如温湿度、盐分、有机物质、风沙土蚀积速度等的改变,对具有不同行为习性、不同食物偏好、不同微生境需求的地表甲虫的种群建立、发展产生影响。总之,防护体系的建立对地表甲虫群落的干扰效应不能被忽视,对其造成的群落结构改变的机制及长期效应也有待进一步研究。

致谢: 本研究在标本鉴定中得到河北大学任国栋教授的研究组,以及中国科学院动物研究所张润志研究员的研究组的帮助,在数据处理与分析中得到中国科学院动物研究所于晓东副研究员和梁红斌副

研究员的指导, 在野外工作中得到中国科学院新疆生态与地理研究所李和平副研究员的指导, 得到新疆农业大学李夏等同学的帮助及阜康市梧桐沟沙漠旅游风景区管理局的协助, 英文摘要由巴基斯坦国家自然历史博物馆Muhammad Abbas帮助修改, 在此一并深表感谢。

参考文献

- Boscaini A, Franceschini A, Maiolini B (2000) River ecotones: carabid beetles as a tool for quality assessment. *Hydrobiologia*, **422/423**, 173–181.
- Chen JF (陈进福), Li XR (李新荣), Chen YW (陈应武), Su YG (苏延桂) (2006) Effect of soil microbiotic crust on desert insect diversity. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **26**, 986–996. (in Chinese with English abstract)
- Eyre MD, Lott DA, Garside A (1996) Assessing the potential for environmental monitoring using ground beetles (Coleoptera: Carabidae) with riverside and Scottish data. *Annales Zoologici Fennici*, **33**, 157–163.
- Hammer Ø, Harper DAT, Ryan PD (2001) PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, **4**, 1–9.
- Hill MO, Gauch HG (1980) Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio*, **42**, 47–58.
- Huang RX (黄人鑫) (2005) *The Fauna of the Desert Insects of Xinjiang and Its Formation and Evolution* (新疆荒漠昆虫区系及其形成与演变). Xinjiang Science and Technology Publishing House, Urumqi. (in Chinese with English abstract)
- Jiang J (蒋进), Wang XQ (王雪芹), Lei JQ (雷加强) (2003) Soil moisture distribution in straw barrier system in Gurbantunggut Desert of Xinjiang, China. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), **17**(3), 74–77. (in Chinese with English abstract)
- Ma KP (马克平) (1994) Measurement of biotic community diversity. I. α diversity (Part 1). *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **2**, 162–168. (in Chinese)
- Ma KP (马克平), Liu YM (刘玉明) (1994) Measurement of biotic community diversity. I. α diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity* (生物多样性), **2**, 231–239. (in Chinese)
- Magurran AE (1988) *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, New Jersey.
- Qian YB (钱亦兵), Wu ZN (吴兆宁), Zhang LY (张立运), Zhao RF (赵锐锋), Wang XY (王小燕), Li YM (李有民) (2007) Vegetation–environment relationships in Gurbantunggut Desert. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **27**, 2802–2811. (in Chinese with English abstract)
- Qian YB (钱亦兵), Zhang LY (张立运), Wu ZN (吴兆宁) (2001) Destruction and regeneration of the desert vegetation in the engineering activities in the Gurbantunggut Desert. *Arid Zone Research* (干旱区研究), **18**(4), 47–51. (in Chinese with English abstract)
- Rainio J, Niemelä J (2003) Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, **12**, 487–506.
- Ren GD (任国栋), Ba YB (巴义彬) (2010) *Fauna of Soil Darkling Beetles in China (Vol. 2): Tentyriforms (Coleoptera: Tenebrionidae)* (中国土壤拟步甲志(第二卷): 鳖甲类). Science Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Ren GD (任国栋), Yang XJ (杨秀娟) (2006) *Fauna of Soil Darkling Beetles in China (Vol. 1): Opatriiformes (Coleoptera: Tenebrionidae)* (中国土壤拟步甲志(第一卷): 土甲类). Higher Education Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Ren GD (任国栋), Yu YZ (于有志) (1999) *The Darkling Beetles from Deserts and Semideserts of China (Coleoptera: Tenebrionidae)* (中国荒漠半荒漠的拟步甲科昆虫). Hebei University Publishing House, Baoding. (in Chinese with English abstract)
- Sokal RP, Rohlf FJ (1995) *Biometry*, 3rd edn. Freeman, New York.
- Sun RY (孙儒泳) (2001) *Principle of Animal Ecology* (动物生态学原理), 3rd edn. Beijing Normal University Press, Beijing. (in Chinese)
- Wang J (王晶), Lü ZZ (吕昭智), Qian Y (钱翌), Song J (宋菁), Zhong XY (钟晓英) (2010) Soil nutrients under vegetation cover of different desert landscapes in Junggar Basin, Xinjiang. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **30**, 1367–1373. (in Chinese with English abstract)
- Wang XQ (王雪芹), Lei JQ (雷加强) (1998) Sand deposit and erosion characteristics of semi-fixed linear dunes in Gurbantunggut Desert. *Arid Zone Research* (干旱区研究), **15** (1), 35–39. (in Chinese with English abstract)
- Wang XQ (王雪芹), Zhao CJ (赵从举) (2002) Sand surface change and natural species entrance in straw barrier system in Gurbantunggut Desert, Xinjiang, China. *Arid Land Geography* (干旱区地理), **25**, 201–207. (in Chinese with English abstract)
- Wang Y (王玉), Gao GC (高光彩), Fu BQ (付必谦), Wu Z (吴专) (2009) Composition and spatial distribution pattern of ground-dwelling beetle communities in Yeyahu Wetland, Beijing. *Biodiversity Science* (生物多样性), **17**, 30–42. (in Chinese with English abstract)
- Whitford W (2002) *Ecology of Desert Systems*. Academic Press, San Diego.
- Yang GJ (杨贵军), He Q (贺奇), Wang XP (王新谱) (2010) Darkling beetle community structure and its relations with environmental factors in Sidunzi of Yanchi, Ningxia, China. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **21**, 2375–2382. (in Chinese with English abstract)
- Yu XD (于晓东), Luo TH (罗天宏), Zhou HZ (周红章) (2002) Composition and seasonal dynamics of litter-layer beetle community in the Dongling region, North China. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **45**, 785–793. (in Chinese with English abstract)

- Yu XD (于晓东), Luo TH (罗天宏), Zhou HZ (周红章) (2003) Species diversity of litter-layer beetles in the Fengtongzhai National Nature Reserve, Sichuan Province. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), **46**, 609–616. (in Chinese with English abstract)
- Yu XD (于晓东), Luo TH (罗天宏), Zhou HZ (周红章) (2004) Species diversity of litter-layer beetles in four forest types in eastern Hengduan Mountain region. *Zoological Research* (动物学研究), **25**, 7–14. (in Chinese with English abstract)
- Yu XD (于晓东), Zhou HZ (周红章), Luo TH (罗天宏) (2001) Species diversity of insects on the Ordos Plateau, Northwest China. *Biodiversity Science* (生物多样性), **9**, 329–335. (in Chinese with English abstract)
- Zhang LJ (张林静), Yue M (岳明), Zhang YD (张远东), Gu FX (顾峰雪), Pan XL (潘晓玲), Zhao GF (赵桂仿) (2003) Characteristics of plant community species diversity of oasis desert ecotone in Fukang, Xinjiang. *Scientia Geographica Sinica* (地理科学), **23**, 329–334. (in Chinese with English abstract)
- Zhang LY (张立运), Chen CD (陈昌笃) (2002) On the general characteristics of plant diversity of Gurbantunggut Sandy Desert. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **22**, 1923–1932. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JT (张金屯) (2004) *Quantitative Ecology* (数量生态学). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang YM (张元明), Pan HX (潘惠霞), Pan BR (潘伯荣) (2004) Distribution characteristics of biological crust on sand dune surface in Gurbantunggut Desert, Xinjiang. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), **18**(4), 61–64. (in Chinese with English abstract)
- Zhao YC (赵养昌), Chen YQ (陈元清) (1980) *Economic Insect Fauna of China, Fasc. 20, Coleoptera: Curculionidae (I)* (中国经济昆虫志 第二十册 鞘翅目: 象虫科(一)). Science Press, Beijing. (in Chinese)

(责任编辑: 卜文俊 责任编辑: 闫文杰)