北京东灵山地区金龟群落物种组成及多样性变化

于晓东 罗天宏 周红章*

(中国科学院动物研究所, 北京 100080)

摘要: 本文研究了北京西部东灵山地区金龟群落的物种组成和多样性变化。选择 11 种不同的生境类型, 分别代表该地区的植被类型与环境变化, 野外取样重复 3 年(1998 ~ 2000 年), 共获得金龟标本 1721 号, 其中, 腐食性金龟有 6 属 20 种, 占总数的 89.2%, 植食性金龟有 20 属 26 种, 占总数的 10.8%。分别按样地内腐食性和植食性金龟的种类和数量对生境进行主成分分析排序, 以及按样地内物种种类对生境进行系统聚类分析, 两者的计算结果基本一致, 可以将东灵山地区的生境类型划分为 3 组: 即梨园岭退耕区的灌丛植被、小龙门林区的森林植被和东灵山主峰区的亚高山植被, 梨园岭退耕区的辽东栎(*Quercus liaotungensis*)萌生丛被合并到小龙门林区森林植被类型中, 反映了海拔高度和植被类型可能是决定该地区金龟群落组成和分布的主要因素。对这 3 组生境类型内的金龟群落进行物种多样性分析: 腐食性和植食性金龟的个体数量、物种丰富度(S)及多样性指数(H')的变化趋势相似, 均以灌丛植被内较高, 而在亚高山植被内较低。腐食性金龟的均匀度指数(J)在森林植被内较高, 在亚高山植被内较低; 而植食性金龟的均匀度指数在亚高山植被内较高, 灌丛内较低。比较常见种的生境选择, 并进行种间的相关分析, 可以看出: 腐食性金龟 4 个常见种间没有达到显著相关, 但中华喙蛃螂(*Onthophagus sinicus*)与西伯利亚蛃螂(*Cacobioides sibiricus*)、凹背蛃螂(*Liatongus phanaeoides*)、喙蛃螂属一种(*Onthophagus* sp1.)间均呈负相关关系, 后三者间呈正相关关系; 植食性金龟 5 个常见种中, 东方绢金龟(*Serica orientalis*)和福婆锦金龟(*Brahmina faldermanni*)间呈显著的正相关关系, 脊臀毛绢金龟(*Trichoserica heydeni*)与拟凸眼锦金龟(*Trichoserica heydeni*)和白斑附花金龟(*Clinterocera mandarina*)也呈显著的正相关关系, 常见种间相关关系分析与它们在样地内的数量分布趋势相符, 表明它们对不同生境类型有明显的选择倾向。

关键词: 东灵山地区, 金龟, 多样性, 生境

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 1005-0094(2003)03-0179-09

Species composition and diversity of scarab beetle (Coleoptera : Scarabaeoidea) communities at Dongling Mountain ,Beijing

YU Xiao-Dong , LUO Tian-Hong , ZHOU Hong-Zhang*
Institute of Zoology , the Chinese Academy of Sciences , Beijing 100080

Abstract : We investigated the species composition and distribution of the scarab beetle (Coleoptera : Scarabaeoidea) community in Dongling Mountain (39°48' ~ 40°02' N , 115°24' ~ 115°36' E) , 114 km to the west of Beijing. Three sites containing 11 plots were selected to reflect the effect of vegetation , elevation and human disturbance on scarab beetle communities. During the growing seasons of 1998 to 2000 , a total of 1721 scarab beetles were captured. Six genera and 20 species of saprophages and 20 genera and 26 species of phytophages accounted for 89.2% and 10.8% of total beetle specimens , respectively. Principal component analysis (PCA) and cluster analysis were used to analyze the phytophagous and saprophagous scarab species. Similar results were obtained : the 11 plots were grouped into three categories : the shrubs at low elevation (Liyuanling) , forests at low elevation (forests in Xiaolongmen and coppices Liyuanling) , and alpine vegetation (the top of Dongling Mountain). This indicates that vegetation and elevation may be important factors that influence the distribution of scarab beetles in Dongling

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G2000046800), 国家自然科学基金资助项目(39893360), 中国科学院知识创新工程领域前沿项目(KSCX3-IOZ-01)和国家自然科学基金项目(NSFC-J0030092)

收稿日期: 2003-01-03 ; 接受日期: 2003-03-01

作者简介: 于晓东, 男, 1973 年出生, 助理研究员, 主要从事昆虫学、动物生态学和生物多样性研究。

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail : zhouhz@panda. ioz. ac. cn

Mountain. Species diversity (H'), species richness (S) and number of individuals were computed for the three categories: all were highest in shrubs and the lowest in alpine vegetation. Species evenness (J) of the three categories showed a complicated patterns of variation: for the saprophagous assemblage, the highest value was observed in forests and the lowest one in alpine vegetation; for the phytophagous assemblage, the highest value was in alpine vegetation and the lowest was in shrubs. The co-occurrence between common species was analyzed. For saprophagous species, *Caccobius sibiricus* was positively correlated to *Liatongus phanaeoides* and *Onthophagus* sp1., but all of them were negatively correlated to *Onthophagus sinicus*. For phytophagous species, *Serica orientalis* and *Brahmina faldermanni* showed a significantly positive correlation, and *Trichoserica heydeni*, *Trichoserica heydeni* and *Clintero-cera mandarina* were another positively correlated group. Positive or negative correlations between these species were consistent with their abundance in the different habitats and reflect similarities and differences in their habitat preferences.

Key words: Dongling Mountain, Scarabaeoidea, diversity, habitat

金龟总科(Scarabaeoidea)是鞘翅目(Coleoptera)中非常重要的类群。根据其食性,基本上可以分为植食性和腐食性两大类群:前者取食植物的枝叶、花和果实等,后者分解动物的尸体或粪便(Crowson, 1982)。鉴于这种生活特点,金龟种类在生态系统中占有重要地位,其物种组成和数量变化可以作为监测其所在地区环境变化的客观因子,尤其在草原和森林生态的研究中,某些腐食性金龟种类已成为衡量草场退化和森林片段化的重要生态指标(Nealis, 1977; Janzen, 1982; Peck & Forsyth, 1982; Lumaret & Kirk, 1987; Klein, 1989; Galante *et al.*, 1991; Galante & Cartagena, 1999)。

东灵山地区属太行山小五台山余脉,属暖温带大陆性季风气候,是华北山地的典型代表,既有暖温带代表性森林,也有特殊的亚高山植被,还有部分荒山半荒山和农田退耕区。东灵山地区目前正在进行生态恢复工程,研究该地区内的金龟群落不仅能帮助我们掌握该地区的物种基本组成和季节动态,而且还能以金龟的分布为指标,量化生态恢复和森林管理措施的各项影响。

我们于1993年开始在东灵山地区开展工作,采用统一的采集方法进行昆虫调查,已经针对某些类群,如步甲(Carabidae)和阎甲(Histeridae)等,开展了部分物种多样性研究(于晓东等, 2002a, b; 罗天宏等, 2002)。但目前对该地区的金龟类群尚未进行过系统研究,人们对该类群的物种组成和多样性格局还缺乏基本的了解。

基于以上原因,本文主要研究东灵山地区金龟群落的物种组成,以群落排序和聚类的方法分析生

境类型对金龟群落的影响,初步探讨常见金龟物种的分布与生境类型的关系。鉴于植食性和腐食性金龟在生态系统中的地位和作用存在很大差异,如果不加区分,可能会影响到分析结果的准确性,所以本文进行分析时这两类金龟分别加以讨论。

1 研究样地和方法

1.1 研究地点

东灵山地区(39°48'~40°02' N, 115°24'~115°36' E)位于北京西郊门头沟区的西部,主要包括东灵山主峰区、小龙门林区和部分荒山半荒山及农田退耕区,生境类型丰富。本研究选取了3个研究地点,包括东灵山主峰区、小龙门林区和梨园岭(农田)退耕区。其中东灵山主峰区海拔约2000~2300 m,代表了华北地区的典型亚高山植被类型,包括硕桦(*Betula costata*)林、鬼见愁(*Caragana jubata*)灌丛和亚高山草甸3种生境;小龙门林区海拔约1100~1600 m,是典型森林植被类型,包括油松(*Pinus tabulaeformis*)林、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)林、华北落叶松(*Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii*)林、落叶阔叶混交林和辽东栎(*Quercus liaotungensis*)林5种生境;梨园岭(农田)退耕区海拔约1000~1100 m,代表了退耕区的主要植被类型,包括荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)灌丛、山杏(*Prunus armeniaca* var. *ansu*)灌丛和辽东栎萌生丛3种生境。在这11种生境内设定固定样地,每块样地面积约为2 hm²,样地具体位置详见于晓东等(2002a, b)。除了以上的固定样地外,为了更全面地搞清金龟的种类,我们每年6~9月间还在东灵山地区设置

了许多临时样地 ,进行标本采集。

1.2 取样方法

金龟标本采集主要以巴氏罐诱、网筛、肉诱、堆草诱、扫网以及灯诱 6 种方法相结合 ,于 1998 ~ 2000 年间进行。由于条件限制 ,扫网和灯诱法在本次研究中只用在临时样地的调查中 ,固定样地的调查主要以其他 4 种方法为主。巴氏罐诱法是捕获地表活动甲虫的有效方法 ,在长期监测和多地点对比中 ,具有简单可行、易于统一标准等优点 ,适用于研究地表甲虫的丰富度、季节活动规律和种群动态等 ;网筛是对巴氏罐诱法的补充(Martin , 1978 ; Baars , 1979)。肉诱法是通过在样地内放置腐烂的肉来引诱金龟 ,本研究中固定样地内主要采用猪肉作诱饵 ;堆草诱法是通过堆积草或小灌木 ,用腐烂的草或枝叶引诱金龟 ,是对肉诱法的很好补充。本研究具体的调查和采集方法同罗天宏等(2002)和于晓东等(2002a , b)。

根据以往的气象和采集记录 ,东灵山地区 11 月 ~ 次年 3 月为冬季 ,地表覆盖层呈冰冻状态 ,不利于地表甲虫的活动 ,而东灵山主峰区海拔更高 ,冻土期也更长 ,因此对主峰区样地的调查在每年 6 ~ 8 月间进行 ,其他地区样地的调查主要于每年 4 ~ 10 月间进行。1999 ~ 2000 年间 ,对主峰区的调查分别进行了 3 次和 1 次 ,在小龙门林区和梨园岭退耕区的调查分别进行了 7 次和 3 次 ,每次调查时间为 1 周。

1.3 数据分析处理

为了便于统一标准 ,数据分析主要采用 1999 ~ 2000 年在固定样地内的调查数据。采用主成分分析(principal component analysis , PCA)对生境进行排序(Pielou , 1984)。本文的原始数据以固定样地内物种的种类和数量为行 ,以 11 个生境类型为列 ,构成原始矩阵。在对原始数据进行标准化处理后 ,进一步分析得到主分量并制图。再利用系统聚类分析对主成分分析的结果进一步检验(Pielou , 1984)。系统聚类分析主要根据生境内物种组成的相似和相异程度 ,对生境进行归类 ,建立树状图。本文主要采用组间连接法(between-groups linkage) ,以固定样地内金龟物种有无(0 ~ 1 值)为原始数据 ,基于 Jac-card 指数对生境进行归类。

物种多样性分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数：

$$H' = - \sum_{j=1}^s P_j \ln P_j$$

式中 $P_j = n_j/N$,为第 j 种占总个体数 N 的比例 , s 代表物种数。

均匀度分析采用 Pielou 指数 $E = H'/H_{max}$,物种丰富度采用物种数(S)测度(马克平 ,刘玉明 , 1994)。各植被类型间各项物种多样性指数的比较主要通过单因素方差分析(ANOVA)和最小显著差法(LSD)进行检验。常见种间的相互关系分析采用相关系数(Pearson correlation coefficients)对固定样地内的常见金龟物种的个体数量进行分析。

本研究的数据分析使用数理统计软件 SPSS (1997)完成。

2 结果与分析

2.1 物种组成

本项研究中 ,共获得金龟标本 1721 号 ,分属于 26 属 46 种。其中 ,腐食性金龟有 6 属 20 种 1535 号 ,占总数的 89.2% ;植食性金龟有 20 属 26 种 186 号 ,占总数的 10.8%(表 1 2)。腐食性金龟中 ,西伯利亚蜣螂(*Caccobius sibiricus*)、凹背利蜣螂(*Liatongus phanaeoides*)和喙蜣螂属一种(*Onthophagus* sp1.)的个体数量均占腐食性金龟的 10% 以上。中华喙蜣螂(*Onthophagus sinicus*)的个体数量也达到总数的 6.2%。以上 4 个种构成调查收集个体总数的 80.7% ,是本地区的常见种。此外 ,还有 16 种金龟的数量少于总数的 5% ,是所研究地区的非常见种(表 1)。

植食性金龟中 ,东方绢金龟(*Serica orientalis*)和拟凸眼鳃金龟(*Ophthalmoserica rosinae*)个体数量均占 10% 以上 ;脊臀毛绢金龟(*Trichoserica heydeni*)、福婆鳃金龟(*Brahmina faldermanni*)和白斑跗花金龟(*Clinterocera mandarina*)的个体数量也分别达到总数的 5% 以上。这 5 个种个体数之和构成调查收集个体总数的 67.3% ,是本地区的常见种。此外 ,还有 21 种金龟的数量少于总数的 5% ,是所研究地区的非常见种(表 2)。

2.2 生境相似性分析

2.2.1 以金龟种类和数量分布为属性的生境类型排序

分别以腐食性和植食性金龟的种类和数量分布为属性 ,利用主成分分析对 11 个生境类型排序 ,得到的结果相似。对应于 3 个地区 ,可以分成 3 组：

表 1 东灵山地区腐食性金龟物种数量分布(1998 ~ 2000)
Table 1 Abundance of saprophagous scarab beetles in Dongling Mountain in 1998 ~ 2000

腐食性物种 Saprophagous species	梨园岭 Liyuanling	小龙门 Xiaolongmen	东灵山 Mt. Dongling	数量百分比(%) Percentage
西伯利亚蜣螂 <i>Caccobius sibiricus</i>	4	707	0	46.3
喙蜣螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp1.	0	228	0	14.9
凹背利蜣螂 <i>Liatongus phanaeoides</i>	0	204	0	13.3
中华喙蜣螂 <i>Onthophagus sinicus</i>	81	14	0	6.2
喙蜣螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp2.	2	66	0	4.4
塞西蜣螂 <i>Sisyphus schaefferi</i>	27	34	0	4.0
喙蜣螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp3.	8	45	0	3.5
喙蜣螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp4.	0	25	0	1.6
掘喙蜣螂 <i>Onthophagus fodiens</i>	5	17	0	1.4
双顶喙蜣螂 <i>Onthophagus bivertex</i>	2	16	0	1.2
喙蜣螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp5.	0	12	0	<1
喙蜣螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp6.	0	11	0	<1
喙蜣螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp7.	0	11	0	<1
黑喙蜣螂 <i>Onthophagus gagates</i>	0	5	0	<1
粪堆粪金龟 <i>Geotrupes stereoracius</i>	0	1	3	<1
喙蜣螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp8.	0	3	0	<1
镰角喙蜣螂 <i>Onthophagus productus</i>	0	0	1	<1
短凯蜣螂 <i>Caccobius brevis</i>	0	0	1	<1
蜉金龟属一种 <i>Aphodius</i> sp1.	1	0	0	<1
蜉金龟属一种 <i>Aphodius</i> sp2.	1	0	0	<1

表 2 东灵山地区植食性金龟物种数量分布(1998 ~ 2000)
Table 2 Abundance of phytophagous scarab beetles in Dongling Mountain in 1998 ~ 2000

植食性物种 Phytophagous species	梨园岭 Liyuanling	小龙门 Xiaolongmen	东灵山 Mt. Dongling	数量百分比(%) Percentage
东方绢金龟 <i>Serica orientalis</i>	35	17	0	28.0
拟凸眼鳃金龟 <i>Ophthalmoserica rosinae</i>	1	31	0	17.2
脊臀毛绢金龟 <i>Trichoserica heydeni</i>	1	16	0	9.1
福婆鳃金龟 <i>Brahmina faldermanni</i>	10	2	0	6.5
白斑附花金龟 <i>Clinterocera mandarina</i>	4	8	0	6.5
京彩丽金龟 <i>Mimela pekinensis</i>	4	1	3	4.3
矮臀大黑鳃金龟 <i>Holotrichia ernesti</i>	5	2	0	3.8
小青花金龟 <i>Oxycetonia jucunda</i>	6	1	0	3.8
短毛斑金龟 <i>Lasiotrichius succinctus</i>	0	5	0	2.7
小云鳃金龟 <i>Polyphylla gracilicornis</i>	0	5	0	2.7
巨锯锹甲 <i>Serrognathus tittanus</i>	1	4	0	2.7
长毛花金龟 <i>Cetonia magnifica</i>	4	0	0	2.2
分异发丽金龟 <i>Phyllopertha diversa</i>	1	1	1	1.6
大云鳃金龟 <i>Polyphylla laticollis</i>	0	3	0	1.6
庭园发丽金龟 <i>Phyllopertha horticola</i>	0	0	2	1.0
暗褐前锹甲 <i>Prosopocoilus prosopoceloides</i>	1	1	0	1.0
铜绿花金龟 <i>Cetonia viridiopaca</i>	0	1	0	<1
白星花金龟 <i>Protaetia brevitarsis</i>	1	0	0	<1
高氏异叶绢金龟 <i>Anomalophylla kozlovi</i>	0	0	1	<1
红棕婆鳃金龟 <i>Brahmina rubatra</i>	1	0	0	<1
衰婆鳃金龟 <i>Brahmina senescens</i>	0	0	1	<1
红脚单爪鳃金龟 <i>Ectinohoplia rufipes</i>	1	0	0	<1
围绿单爪鳃金龟 <i>Hoplia cincticollis</i>	0	0	1	<1
戴单爪鳃金龟 <i>Hoplia dawidis</i>	0	0	1	<1
大栗鳃金龟 <i>Melolontha hippocastani mongolica</i>	1	0	0	<1
凹背臭斑金龟 <i>Osmodera barnabita</i>	1	0	0	<1

图1 东灵山地区以腐食性金龟种类和数量分布为属性的11种生境类型的主成分分析(PCA),第一和第二主分量分别解释了31%和28%的变异。L1~L3分别代表梨园岭退耕区样地:荆条灌丛(L1)、山杏灌丛(L2)和辽东栎萌生丛(L3);X1~X5分别代表了小龙门林区样地:油松林(X1)、胡桃楸林(X2)、华北落叶松林(X3)、落叶阔叶混交林(X4)和辽东栎林(X5);D1~D3分别代表了东灵山主峰区样地:硕桦林(D1)、鬼见愁灌丛(D2)和亚高山草甸(D3)

Fig.1 Principal component analysis (PCA) ordination of saprophagous scarab beetle captured from 11 habitats in Dongling Mountain. Components 1 and 2 explained 31% and 28% of the variation, respectively. L1~L3 represent the plots of *Vitex negundo* var. *heterophylla* shrubs (L1), *Prunus armeniaca* var. *ansu* shrubs (L2) and *Quercus liaotungensis* coppices (L3) in Liyuanling area; X1~X5 represent the plots of *Pinus tabuliformis* plantation (X1), *Juglans mandshurica* forest (X2), *Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii* plantation (X3), mixed deciduous broad-leaved forest (X4) and *Quercus liaotungensis* forest (X5) in Xiaolongmen area; D1~D3 represent the plots of *Betula costata* forest (D1), *Caragana jubata* shrubs (D2) and subalpine meadows (D3) at the peak of Dongling Mountain.

图2 东灵山地区以植食性金龟种类和数量分布为属性的11种生境类型的主成分分析(PCA),第一和第二主分量分别解释了32%和23%的变异。样地代号同图1。

Fig.2 Principal component analysis (PCA) ordination of phytophagous scarab beetle captured from 11 habitats in Dongling Mountain. Components 1 and 2 explained 32% and 23% of the variation, respectively. The plot codes are the same as those in Fig. 1.

梨园岭退耕区的灌丛类型、小龙门林区的森林类型 and 东灵山主峰区的亚高山植被类型,但梨园岭退耕区内的辽东栎萌生丛生境被归到小龙门的森林类型内(图12)。

但在两种排序间,决定生境排序的因素存在很大差异。在腐食性金龟的生境排序中,从第一主分量看,自横轴的左侧到右侧依次为东灵山主峰、小龙门和梨园岭,反映了海拔逐渐降低的趋势,表明第一主分量主要为海拔因素的作用;从第二主分量看,自纵轴的下方到上方,依次为亚高山植被、灌丛植被和森林植被,反映了植被逐渐替代的趋势,表明第二主分量主要为植被因素的作用(图1)。在植食性金龟的生境排序中可以看出,决定因素与前者相反,即第一主分量主要为植被因素的作用,第二主分量主要为海拔因素的作用(图2)。

2.2.2 以金龟种类分布为属性的生境聚类分析

分别以腐食性和植食性金龟种类分布为属性,利用系统聚类对主成分排序的结果进行检验,发现聚类结果与主成分排序结果基本相似:11种生境首先分为两组,即高海拔的东灵山主峰亚高山植被类型和低海拔的小龙门和梨园岭植被类型;当腐食性和植食性金龟在度量值分别为15和20时,可以将小龙门和梨园岭的8种生境类型再分为两组,即森林植被类型和灌丛植被类型,辽东栎萌生丛在聚类过程中,被归入小龙门林区的森林植被类型中(图34)。

图3 东灵山地区以腐食性金龟物种种类发生为属性的生境相似性的聚类分析,采用组间连接法,基于Jaccard系数进行聚类计算。样地代号同图1。

Fig.3 A dendrogram of 11 habitats based on the occurrence of all saprophagous scarab species in Dongling Mountain. Branching patterns were produced using the method of between-groups linkage, based on Jaccard coefficient. The plot codes are the same as those in Fig. 1.

图4 东灵山地区以植食性金龟物种种类发生为属性的生境相似性的聚类分析,采用组间连接法,基于 Jaccard 系数进行聚类计算,样地代号同图 1。
Fig. 4 A dendrograms of 11 habitats based on the occurrence of all phytophagous scarab species in Dongling Mountain. Branching patterns were produced using the method of between-groups linkage, based on Jaccard coefficient. The plot codes are the same as those in Fig. 1.

2.3 物种多样性分析

依据生境相似性分析的结果,针对 3 组数据进行物种多样性分析比较(表 3)。结果显示,腐食性金龟的个体数量($F = 4.91, P < 0.05$)、物种丰富度($F = 6.72, P < 0.05$)以及多样性指数($F = 4.65, P < 0.05$)在低海拔灌丛植被、低海拔森林植被和亚高山植被 3 组植被类型中都有显著性差异。其中,个体数量在灌丛植被内较多,显著多于其他两种植被;丰富度和多样性指数在灌丛和森林植被内都较高,显著高于亚高山植被;均匀度指数在森林植被内较高,在亚高山植被内较低,但差异不显著。植食性金龟的物种丰富度($F = 7.62, P < 0.05$)及多样性指数($F = 5.63, P < 0.05$)在 3 组植被类型中都有显著性差异,丰富度和多样性指数在灌丛和森林植被内都较高,显著高于亚高山植被。个体数量灌丛植被内较多,亚高山植被内较少,但差异不显著;均匀度指数在亚高山植被较高,在灌丛植被内较低,但差异不显著。

2.4 常见种生境选择及相关关系

腐食性金龟常见种均分布在低海拔的小龙门林区和梨园岭退耕区,而在高海拔的东灵山主峰区则几乎没有分布。西伯利亚蜣螂、凹背利蜣螂和喙蜣属一种(*Onthophagus* sp1.)主要分布在小龙门林区内,其中西伯利亚蜣螂在胡桃楸林内个体数量最高,后两者的个体数量在样地内相对较少;中华喙蜣

螂在小龙门林区和梨园岭退耕区均有分布,但个体数量在梨园岭灌丛生境内较高,尤其在山杏灌丛内数量最高(图 5)。常见种间的相关分析也证实了这种趋势。虽然没有任何腐食性金龟常见种间达到显著的相关关系,但可以看出,中华喙蜣与其他 3 种呈负相关关系,而其他 3 种之间呈正相关关系,这与它们在样地内的分布相符(表 4)。

植食性金龟常见种也全部分布在低海拔的小龙门林区和梨园岭退耕区,在高海拔的东灵山主峰区则几乎没有分布。东方绢金龟和福婆鳃金龟在小龙门林区和梨园岭退耕区均有相当数量的分布,在梨园岭的荆条灌丛内个体数量较高;拟凸眼鳃金龟、白斑跗花金龟和脊臀毛绢金龟分布趋势相似,集中在小龙门林区内(图 6)。常见种间的相关分析表明:东方绢金龟和福婆鳃金龟之间呈显著的正相关关

图5 东灵山地区腐食性金龟常见种在生境内数量分布,样地代号同图 1
Fig. 5 Abundance of common saprophagous scarab beetles collected from 11 habitats in Dongling Mountain. The plot codes are the same as those in Fig. 1.

图6 东灵山地区植食性金龟常见种在生境内数量分布,样地代号同图 1
Fig. 6 Abundance of common phytophagous scarab beetles collected from 11 habitats in Dongling Mountain. The plot codes are the same as those in Fig. 1.

表 3 不同植被类型的物种多样性比较

Table 3 Number of individuals , species richness , species diversity and evenness of scarab beetles in different habitat groups

		低海拔灌丛植被 Shrubs at low elevation	低海拔森林植被 Forests at low elevation	亚高山植被 Subalpine vegetation
腐食类 Saprophages	个体数量 * No. of individuals (<i>N</i>)	2.02 ± 1.12 ^a	0.54 ± 0.16 ^b	0.28 ± 0.15 ^b
	丰富度 Richness (<i>S</i>)	6.00 ± 1.00 ^a	4.50 ± 0.76 ^a	1.00 ± 0.58 ^b
	多样性指数 Diversity (<i>H'</i>)	1.19 ± 0.14 ^a	1.06 ± 0.19 ^a	0.23 ± 0.23 ^b
	均匀度指数 Evenness (<i>J</i>)	0.68 ± 0.14	0.75 ± 0.09	0.33 ± 0.33
植食类 Phytophages	个体数量 * No. of individuals (<i>N</i>)	1.09 ± 0.71	0.58 ± 0.10	0.56 ± 0.15
	丰富度 Richness (<i>S</i>)	8.50 ± 0.50 ^a	7.00 ± 0.89 ^a	2.67 ± 0.67 ^b
	多样性指数 Diversity (<i>H'</i>)	1.74 ± 0.36 ^a	1.67 ± 0.12 ^a	0.89 ± 0.22 ^b
	均匀度指数 Evenness (<i>J</i>)	0.81 ± 0.15	0.88 ± 0.03	0.96 ± 0.02

注：* 每样地内每天调查的金龟数量 ;各列内数据上有无相同的上标字母代表有无显著性差异($\alpha=0.05$)
Note : * Number of individuals of scarab beetles collected per plot per day ; Means within a column with at least one of the same subscripts are significantly different ($\alpha=0.05$)

表 4 东灵山地区腐食性金龟常见种数量分布的相关系数(上)及 *P* 值

Table 4 Pearson correlation coefficients and *P* values for co-occurrence of four common saprophagous scarab beetle species in Dongling Mountain

物种 Species	相关系数和 <i>P</i> 值 <i>r</i> (<i>P</i>)		
	喙蛻螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp1.	凹背利蛻螂 <i>Liatongus phanaeoides</i>	中华喙蛻螂 <i>Onthophagus sinicus</i>
西伯利亚蛻螂 <i>Caccobius sibiricus</i>	0.211 (0.534)	0.567 (0.069)	-0.200 (0.566)
喙蛻螂属一种 <i>Onthophagus</i> sp1.		0.092 (0.788)	-0.142 (0.677)
凹背利蛻螂 <i>Liatongus phanaeoides</i>			-0.401 (0.904)

表 5 东灵山地区植食性金龟常见种数量分布的相关系数及 *P* 值

Table 5 Pearson correlation coefficients and *P* values for co-occurrence of five common phytophagous scarab beetle species in Dongling Mountain

物种 Species	相关系数和 <i>P</i> 值 <i>r</i> (<i>P</i>)			
	福婆鳃金龟 <i>Brahmina faldermanni</i>	拟凸眼鳃金龟 <i>Opthalmoserica rosinae</i>	白斑跗花金龟 <i>Clinterocera mandarina</i>	脊臀毛绢金龟 <i>Trichoserica heydeni</i>
东方绢金龟 <i>Serica orientalis</i>	0.947 ** (0.000)	-0.152 (0.656)	-0.261 (0.439)	-0.181 (0.594)
福婆鳃金龟 <i>Brahmina faldermanni</i>		-0.247 (0.463)	-0.213 (0.530)	-0.238 (0.480)
拟凸眼鳃金龟 <i>Opthalmoserica rosinae</i>			0.349 (0.293)	0.864 ** (0.001)
白斑跗花金龟 <i>Clinterocera mandarina</i>				0.612 * (0.045)

注 Note : * *P* < 0.05 ; ** *P* < 0.01.

系 ,与其他 3 个物种呈负相关关系 ,但没有达到显著性 ;而其他 3 种间 ,脊臀毛绢金龟与拟凸眼鳃金龟和白斑跗花金龟都呈显著的正相关关系 ,这与它们在样地内的分布相符(表 5)。

3 讨论

生境相似性分析的结果与该地区整个地表甲虫及大步甲属的研究结果相似(于晓东等 2002a ,b) ,

与东灵山地区不同地点植被类型的小环境特点密切相关。小龙门林区生境是典型的森林类型,林木高大、地表覆盖层厚、湿度大、环境调节能力强;梨园岭位于退耕区,植被处在恢复阶段,大多是低矮灌丛和萌生丛,环境变异大,大多为森林被砍伐后形成的植被类型;灌丛的树冠层稀疏、环境干燥、地表覆盖层薄;萌生丛以辽东栎为主,是成林被砍伐后萌生恢复形成的、已经接近成林的小环境,地表覆盖层厚、树冠层紧密、林内的湿度大,与森林环境有很大的相似性;东灵山主峰地区为亚高山植被类型,稳定性较高,但与前两个地点相比,海拔高、终年低温,限制了甲虫的活动。因此,与这些环境特点相适应,将森林类型划分为一组,灌丛类型为一组,亚高山植被类型为一组,基本体现了小地区的环境特点和海拔差异。辽东栎萌生丛生境因为植被类型更接近森林类型而远离了同一地区的灌丛类型。虽然海拔和植被类型对腐食性和植食性金龟分布都有很大的影响,但腐食性金龟与海拔关系更密切,受海拔高度的限制更大,而植食性金龟的分布与植被类型关系更密切,更易受到植被类型的限制。

生境相似性比较的结果反映了物种在生境内组成的分布规律及物种之间的相关关系。对步甲的研究已经发现,农田景观中的步甲常见种之间的相关关系反映了这些物种对栖息地的选择,与栖息地类型密切相关(Clark *et al.* , 1997)。在本研究中,腐食性金龟常见种间虽然没有形成显著的相关关系,但也表现出对不同生境的选择倾向,根据这种生境选择上的差异可以将梨园岭退耕区灌丛与小龙门森林植被区分出来,植食性金龟常见种间的分布趋势更明显,东方绢金龟和福婆鳃金龟呈显著的正相关关系,倾向分布于梨园岭灌丛生境内,脊臀毛绢金龟与拟凸眼鳃金龟和白斑跗花金龟间也呈显著的正相关关系,倾向分布于小龙门森林生境内。同样也可以区分梨园岭退耕区灌丛与小龙门森林植被类型。此外,通过对常见种的数量分析可以看出,无论是腐食性还是植食性金龟,其常见种均分布在小龙门林区和梨园岭退耕区,在东灵山主峰区则几乎没有分布,因此很容易将主峰区从生境中区分出来。因此,根据物种之间相关关系分析和某些物种在生境内的分布就可以将生境简单归类。

本研究中金龟的物种多样性分析的结果与以往的研究有很大差异。对该地区大步甲和阎甲的多样

性研究发现,梨园岭退耕区的物种个体数量和种类低于小龙门林区,但多样性指数和均匀度指数高于小龙门林区(于晓东等, 2002a ;罗天宏等, 2002)。而在本研究中,无论是腐食性还是植食性金龟不但其物种多样性指数和均匀度指数在梨园岭退耕区较高,而且物种种类和个体数量也较高。我们认为,这可能与不同类群的生活习性以及对生境选择的偏好密切相关,更多的金龟类群倾向分布在低海拔且相对干燥的灌丛植被内,而东灵山地区的大步甲和阎甲等类群更倾向分布在低海拔且较湿润的森林植被内。

金龟的生境相似性、物种多样性以及种间关系分析的结果反映了东灵山地区不同环境对金龟群落物种分布的影响,而且从以上的分析结果看,测度金龟群落的物种组成和数量分布的变化将对如何进行生态恢复工程具有重要的指导意义。

致 谢 中国科学院北京森林生态系统定位站和动物研究所梨园岭工作站有关人员,在野外采集中给予了大量帮助;动物研究所的章有为和马文珍两位先生帮助鉴定了金龟标本,特此表示感谢。

参考文献

Baars M. A. 1979. Catches in pitfall traps in relation to mean densities of carabid beetles. *Oecologia*, **41**: 25 ~ 46.

Clark M. S., Gage S. H. and Spence J. R. 1997. Habitats and management associated with common ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in a Michigan agricultural landscape. *Environmental Entomology*, **26**: 519 ~ 527.

Crowson R. A. 1982. *The Biology of the Coleoptera*. Academic Press, New York.

Galante E. and Cartagena M. C. 1999. Comparison of Mediterranean dung beetles (Coleoptera: Scarabaeoidea) in cattle and rabbit dung. *Environmental Entomology*, **28**: 420 ~ 424.

Galante E., Garcia-Roman M., Barrera I. and Galindo P. 1991. Comparison of spatial distribution patterns of dung-feeding scarabs (Coleoptera: Scarabaeidae, Geotrupidae) in wooded and open pastureland in the Mediterranean " Dehesa " area of the Iberian peninsula. *Environmental Entomology*, **20**: 90 ~ 97.

Janzen D. H. 1982. Seasonal change in abundance of large nocturnal dung beetles (Scarabaeidae) in Costa Rican deciduous forest and adjacent horse pasture. *Oikos*, **41**: 274 ~ 283.

Klein B. C. 1989. Effects of forest fragmentation on dung and carrion beetle communities in central Amazonia. *Ecology*, **70**: 1715 ~ 1725.

Lumaret J. P. and Kirk A. 1987. Ecology of dung beetles in the French Mediterranean region (Coleoptera: Scarabaeinae). *Canadian Journal of Zoology*, **65**: 138 ~ 147.

Luo T-H(罗天宏), Yu X-D(于晓东) and Zhou H-Z(周红章). 2002. Studies on species diversity of histerid beetles (Coleoptera: Histeridae) in Dongling Mountain. *Biodiversity Science*(生物多样性), **10** (2): 143 ~ 148. (in Chinese)

Ma K-P(马克平) and Liu Y-M(刘玉明). 1994. Measurement of biotic community diversity. I: α diversity (Part 2). *Chinese Biodiversity*(生物多样性), **2** (4): 231 ~ 239. (in Chinese)

Martin J. E. H. 1978. *The Insects and Arachnids of Canada*. Part 1: *Collecting, Preparing and Preserving Insects, Mites, and Spiders*. Supply and Services Canada, Hull, Quebec.

Nealis V. G. 1977. Habitat associations and community analysis of South Texas dung beetles (Coleoptera: Scarabaeinae). *Canadian Journal of Zoology*, **55**: 138 ~ 147.

Peck S. B. and Forsyth A. 1982. Composition structure, and competitive behavior in a guild of Ecuadorian rain forest dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae). *Canadian Journal of Zoology*, **60**: 1624 ~ 1634.

Pielou E. C. 1984. *The Interpretation of Ecological Data*. Wiley, New York.

SPSS Inc, 1997. *SPSS Base 7. 5 for Windows User's Guide*. SPSS Inc, Chicago.

Yu X-D(于晓东), Zhou H-Z(周红章) and Luo T-H(罗天宏). 2002a. Distribution patterns and their seasonal changes of Carabus beetles in Dongling Mountain region near Beijing. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报), **22** (10): 1724 ~ 1733. (in Chinese)

Yu X-D(于晓东), Luo T-H(罗天宏) and Zhou H-Z(周红章). 2002b. Composition and seasonal dynamics of the litter-layer beetle community of the Dongling Mountain region. *Acta Entomologica Sinica*(昆虫学报), **45** (6): 785 ~ 793. (in Chinese)

(责任编辑：时意专)