

华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 林大步甲属 (*Carabus*) 物种多样性及其变化

冀卫荣¹, 胡俊杰^{1,2}, 李友莲^{3,*}

(1. 山西农业大学林学院, 山西 太谷 030801; 2. 山西农业大学研究生院, 山西 太谷 030801;
3. 山西农业大学农学院, 山西 太谷 030801)

摘要:在山西庞泉沟自然保护区华北落叶松不同林龄的人工林和天然林内,利用巴氏罐诱法,对其地表甲虫大步甲属 *Carabus* 物种进行了系统的调查,结果表明:(1)共获得大步甲属标本 1290 号,分属于 10 种,9 种是该保护区的新记录种类,其中 *C. canaliculatus* 沟步甲、*C. crassesculptus* 粗皱步甲、*C. manifestus* 罕丽步甲、*C. vladimirskyi* 长叶步甲为优势种,肩步甲 *C. hummeli*、刻翅步甲 *C. sculptipennis*、粒步甲 *C. granulatus* 为常见种。(2)不同林地物种丰富度 *S*、多样性 *H'*、优势度 *D*、个体数量 *N* 存在显著差异,均匀度 *J* 不存在显著差异;*S*、*H'*、*D*、*J* 在人工林 25 年生林地最高;*N* 在天然林 20~30 年生林地最多; β 多样性人工林 5 年生林地最高。(3)4 种优势种季节性变化总体上是沟步甲的盛发期为 7 月和 8 月份;粗皱步甲的高峰期为 7 月份;罕丽步甲 7 月、5 月、9 月份和 6 月份发生数量多,8 月份稀有;长叶步甲 8 月份和 9 月份为盛发期;不同物种在不同林地出现的高峰期是不一致的。(4)物种相似性分析结果是天然林 35~45a 和 60~80a,人工林 25a 和天然林 5~8a 极相似,其余为中等不相似和中等相似。(5)生境相似性分析的结果是天然林 35~45a 和 60~80a 相似性最高,人工林 5 年生与天然林 20~30a、35~45a 生境相似性差异逐渐增大。(6)生境指示种分析的结果是粗皱步甲、罕丽步甲为广布种,肩步甲仅在天然林 35~45a 和 60~80a 生的林地采集到,其中在天然林 35~45a 林地生境物种指示值高达 96.73。

关键词:华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*); 大步甲属 (*Carabus*); 多样性; 庞泉沟自然保护区

文章编号:1000-0933(2008)08-3721-08 中图分类号:S154.5;S791.22;Q968.2 文献标识码:A

Biodiversity and changes of *Carabus* Beetles in *Larix principis-rupprechtii* forest in Pangquangou National Nature Reserve

Ji Wei-Rong¹, HU Jun-Jie^{1,2}, LI You-Lian^{3,*}

1 College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China

2 College of Graduate, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China

3 College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3721~3728.

Abstract: *Carabus* beetles were studied in the plantation (5, 25 and 40 years old) and natural forest (5—8, 20—30, 35—45 and 60—80 years old) of *Larix principis-rupprechtii* in Pangquangou National Nature Reserve (111°22'—111°33'E, 37°45'—37°55'N), Shanxi, China from May to September in 2006 and 2007. Pitfall trapping was employed in the study.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30470316)

收稿日期:2008-02-27; 修订日期:2008-06-09

作者简介:冀卫荣(1963~),女,山西平遥人,博士生,副教授,从事森林昆虫学教学与研究. E-mail:jiweirong@hotmail.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:liyulian3616@sohu.com

致谢:感谢庞泉沟国家级自然保护区对本项工作的支持,步甲标本鉴定得到中国科学院动物研究所梁宏斌先生的大力帮助,数据分析得到中国科学院动物研究所于晓东先生的指导,一并感谢。

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30470316)

Received date: 2008-02-27; **Accepted date:** 2008-06-09

Biography: Ji Wei-Rong, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in forest entomology. E-mail:jiweirong@hotmail.com

Specimens of 1290 beetles were collected and identified as 10 species of *Carabus*, of which 9 species were new distribution records in the Reserve. Of the collected specimens, *C. canaliculatus*, *C. crassesculptus*, *C. manifestus* and *C. vladimirskyi* accounted for 29.4%, 28.4%, 17.3% and 13.9%, respectively. These four species were the most abundant species in the research area. *C. hummeli*, *C. sculptipennis* and *C. granulatus* each accounted for 5%–1% of the total specimens, and were common species in the study area. *C. tuberculosus* made up 0.9%, *C. sui* and *C. anchocephalus* 0.2% of the total, and they were rare species in the area.

The species richness index (S), species diversity index (H'), species dominance index (D) and numbers of individuals (N) were significantly different, and the species evenness index (J) were not significant different among the different types of forests. S , H' , J and D were all highest in the plantation of 25 years old and were all the lowest in the plantation of 5 years old. The numbers of individuals (N) was highest in the natural forest of 20–30 years old and was the lowest in the plantation of 5 years old. The diversity of βw was highest in the plantation of 5 years old and was the lowest in natural forest of 60–80 years old. Specimens of *C. manifestus* were collected and other dominant species were not collected in May. The occurrence peaks of every dominant species were different from May to September in different forests. The occurrence peak of *C. canaliculatus* was in July and August, *C. crassesculptus* was in July, and *C. vladimirskyi* was in August and September. Specimens of *C. manifestus* were found more in July, May, September and June, but less in August. The species similarity coefficient of *Carabus* was significantly similar between the natural forests of 35–45 years old and 60–80 years old and between the plantations of 25 years and the natural forest of 5–8 years old, but were not among other types of forests. The habitat similarity of *Carabus* species was highest for the natural forests of 35–45 and 60–80 years old, while the habitat difference was larger between the plantations of 5 years old and the natural forest of 30–45 years old than that between the plantations of 5 years and the natural forest of 20–30 years old. The analysis of habitat indicator value of species showed that *C. crassesculptus* and *C. manifestus* distributed in all kinds of forests, while *C. hummeli* distributed only in the natural forest of 35–45 years and 60–80 years old. IndValij of *C. hummeli* was as high as 96.73 in the natural forest of 35–45 years old.

Key Words: *Carabus*; diversity; *Larix principis-rupprechtii*; Pangquangou National Nature Reserve

鞘翅目步甲科 (Coleoptera, Carabidae) 昆虫因其营捕食性生活, 是森林和农田生态系统中的重要天敌, 对维护生态平衡起着重要作用^[1,2]。大步甲属 (*Carabus*) 是步甲科昆虫的大型捕食性类群, 对其生境的依赖性强, 对环境的改变敏感, 是很好的生态指示性昆虫^[3,4]。

目前, 大步甲属物种生态学的研究相对较少, 于晓东等^[5]对北京东灵山地区林区、退耕区、主峰等不同类型生境大步甲属物种的分布和季节变化的多样性格局进行了研究, 对于不同林龄、不同起源 (人工种植的和天然更新的) 的同一种树木, 大步甲属物种的多样性研究未见报道。华北落叶松是山西庞泉沟国家级自然保护区优势树种, 本研究选取了不同林龄的该树种的人工林和天然林, 进行大步甲属物种分布和季节变化的系统调查, 期望能揭示华北落叶松林大步甲属物种多样性及其变化的规律, 为华北山区天然林保护及生态林恢复提供科学依据。

1 研究样地和方法

1.1 研究地点及样地概况

山西庞泉沟国家级自然保护区 (111°22' ~ 111°33'E, 37°45' ~ 37°55'N) 地处吕梁山脉中段, 吕梁山脉主脊线纵穿全境, 地貌属剥蚀强烈的大起伏中山, 是华北山地的典型代表。保护区处于温带大陆性季风气候区, 年平均气温 4.3℃, 年降水量均 822 mm, 与山西省内同纬度地区相比, 气温偏低, 变幅较大, 空气湿度偏高, 属于典型的山地气候。区内植物资源丰富, 华北落叶松天然次生林在境内集中分布, 有“华北落叶松故乡”之称。此外, 境内还有大面积人工种植的针叶林, 因而, 保护区具有研究落叶松不同群落的良好科学研究环境。本

研究选取的样地均在该保护区内,5 年和 25 年生的人工林在八水沟,40 年生的人工林在神尾沟,5~8 年生的天然林在郝家沟,20~30 年生的天然林在神尾沟,35~45 年生的天然林在庞泉沟绿色走廊,60~80 年生的天然林在八道沟。具体样地特征见表 1。

1.2 取样方法及标本处理

本研究以巴氏罐诱法进行标本采集与数据收集。每块样地间的距离在 500m 以上,因庞泉沟自然保护区属山地类型,每个样地沿坡向,按五点式取样法设置 5 个引诱点,每引诱点间的距离大于 25m,每个引诱点埋 4 个诱杯,每块样地内设诱杯 20 个。诱杯用一次性塑料水杯(高 9cm,口径 7.5cm)作为巴氏罐诱法容器,杯壁上方 1/4 处(杯口下方约 2.5cm)打一小孔(直径约 0.5cm),以免由于雨水过多使标本流失。引诱剂为醋、糖、医用酒精和水的混合物,重量比为 2:1:1:20,每个诱杯内放引诱剂 40~60ml。

表 1 庞泉沟自然保护区华北落叶松天然林和人工林样地特征*

Table 1 Characteristics of different plots of *Larix principis-rupprechtii* forest in Pangquangou National Nature Reserve

样地 Plots	I	II	III	IV	V	VI	VII
海拔 Elevation (m)	1740	1940	1850	1730	1930	1870	1840
坡度 Gradient	9°	8°	15°	21°	15°	7°	11°
树高 Trees height (m)	0.8~1.5	8~10	12~15	0.5~1.5	15~20	18~22	20~25
郁闭度 Canopy density	低 Low	中度 Medium	中度 Medium	低 Low	高 High	高 High	中度 Medium
密度 Density	中度 Medium	浓密 Dense	中度 Medium	稀疏 Sparse	中度 Medium	中度 Medium	中度 Medium
灌木层 Shrub layer	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse	中度 Medium	中度 Medium	浓密 Dense	中度 Medium	稀疏 Sparse
草本层 Herb layer	浓密 Dense	浓密 Dense	中度 Medium	浓密 Dense	稀疏 Sparse	中度 Medium	稀疏 Sparse
枯落物 Leaf litter	薄 Thin	薄 Thin	薄 Thin	厚 Thick	厚 Thick	厚 Thick	厚 Thick
干扰 Disturbance	高 High	中度 Medium	低 Low	中度 Medium	低 Low	中度 Medium	低 Low

* I: 人工林 5 年生 the plantation of 5 years old; II: 人工林 25 年生 the plantation of 25 years old; III: 人工林 40 年生 the plantation of 40 years old; IV: 天然林 5~8 年生 natural forest of 5~8 years old; V: 天然林 20~30 年生 natural forest of 20~30 years old; VI: 天然林 35~45 年生 natural forest of 35~45 years old; VII: 天然林 60~80 年生 natural forest of 60~80 years old

采样时间从 2006 年、2007 年 5~9 月(无雪季节),覆盖了大部分植被生长期,每月上旬采样 1 次,放置诱杯时间为 3d^[6,7]。

野外采集到的标本以样地、诱点、诱杯为不同编号存放在 75% 的酒精指形管中内,携带回实验室,用昆虫针插制成干制标本,每号标本添加详细的采集标签,进行分类鉴定^①和统计分析。标本存放于中国科学院动物研究所标本馆和山西农业大学林学院动植物标本室。

1.3 数据分析处理

以 7 块样地,每块样地 5 个诱点,每个月采集到的大步甲属物种的组成和数量为原始数据,首先,对原始数据进行平方根形式的数据标准化转换,然后,对物种多样性进行 α 和 β 多样性的计算和分析。 α 多样性的计算包括物种丰富度指数(species richness index,简称 S)、物种多样性指数(species diversity index,简称 H')、物种均匀度指数(species evenness index,简称 J)和物种优势度指数(species dominance index,简称 D)。本文物种多样性(H')分析采用 Shannon-Wiener 多样性指数,计算公式为: $H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$, $P_i = n_i/N$, 其中 P_i 是第 i 种个体数占总个体数的比率, n_i 是第 i 种的个体数, N 是总个体数;均匀度(J)分析采用 Pielou 均匀度指数,计算公式为: $J = H'/\ln S$;丰富度(S)采用物种的数目测度^[8,9]。优势度(D)分析采用 Simpson 优势度指数,计算公式为: $D = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2$ 。 β 多样性的计算采用 Whittaker 指数,计算公式为: $\beta_w = S/m\alpha - 1$ 其中 S 为研究中样地所记录的物种总数, $m\alpha$ 为各诱点的平均物种数。

① 中国科学院动物研究所梁宏斌先生帮助鉴定步甲标本。

物种相似性分析采用区系类似度(Jaccard index)公式^[10], $j = H/a + b - H$, 式中 H 为两林地中共有物种数, a 和 b 分别为林地 A 和林地 B 的物种数。根据 Jaccard 共同系数的原理, j 值为 $0 \sim 0.24$ 时为极不相似; $0.25 \sim 0.49$ 为中等不相似, $0.50 \sim 0.74$ 为中等相似, $0.75 \sim 1.00$ 为极相似。

生境相似性分析以欧式距离平方为测度系数对各林地大步甲属物种组成和数量分布的差异采用组间连接法(between groups link-age)进行聚类分析。

生境指示种(indicator species)分析采用特异性(specificity)和忠诚性(fidelity)两种测度来综合计算物种的指示值(indicator value)。特异性的计算公式为: $A_{ij} = N_{ij}/N_i$, N_{ij} 为物种 i 在 j 组各样方的个体数量平均值, N_i 为物种 i 在所有组内的个体数量的平均值。忠诚性的计算公式为: $B_{ij} = N_{ij}/N_j$, N_{ij} 为物种 i 在 j 组出现的样方数目, N_j 为 j 组的样方数。一个物种的指示值的计算公式为: $\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$, 物种的 IndVal 最大值为 100, 即该物种所有个体都分布在单一组内, 且该组内所有样方都有数量分布。以上的数据分析使用 Excel 和统计软件 SPSS 完成。

2 研究结果

2.1 物种组成和数量变化

本项研究中, 共获得大步甲属 *Carabus* 标本 1290 号, 分属于 10 个种(表 2)。其中, 沟步甲 *C. canaliculatus* 和粗皱步甲 *C. crassesculptus* 的个体数量分别占总个体数的 29.4% 和 28.4%, 罕丽步甲 *C. manifestus* 和长叶步甲 *C. vladimirskyi* 的个体数量分别占总个体数的 17.3% 和 13.8%, 这 4 种步甲个体数量占总个体数的百分比均超过了 10%, 为研究地的优势类群, 这 4 种步甲个体数量百分比合计为 89.0%。此外, 肩步甲 *C. hummeli*、刻翅步甲 *C. sculptipennis*、粒步甲 *C. granulatus* 3 种步甲个体数占总个体数百分比分别超过了 1%, 为研究地的常见类群。小瘤步甲 *C. tuberculosus*、苏氏步甲 *C. sui*、锚齿步甲 *C. anchocephalus* 个体数量占总个体数的百分比均小于 1%, 为研究地的稀有类群。

1999 年的《庞泉沟国家级自然保护区》一书中记载了步甲科大步甲属种类 1 种, 即粗皱步甲 *C. crassesculptus*, 本研究采集了 10 种大步甲属种类, 9 种是该保护区新记录。

表 2 庞泉沟自然保护区不同林龄落叶松林地大步甲属种类的物种组成*

Table 2 Species and individuals of *Carabus* genus in different *Larix principis-rupprechtii* forest plots in Pangquangou National Nature Reserve

大步甲属种类 <i>Carabus</i> genus	I	II	III	IV	V	VI	VII	合计 Total	百分比% Percentage%
沟步甲 <i>C. canaliculatus</i>	0	13	23	125	140	29	49	379	29.4
粗皱步甲 <i>C. crassesculptus</i>	8	44	10	44	114	86	60	366	28.4
罕丽步甲 <i>C. manifestus</i>	5	13	55	44	49	4	53	223	17.3
长叶步甲 <i>C. vladimirskyi</i>	20	23	39	5	92	0	0	179	13.9
肩步甲 <i>C. hummeli</i>	0	0	0	0	0	38	17	55	4.3
刻翅步甲 <i>C. sculptipennis</i>	8	8	5	16	0	0	0	37	2.9
粒步甲 <i>C. granulatus</i>	5	13	0	13	5	0	0	36	2.8
小瘤步甲 <i>C. tuberculosus</i>	5	3	0	0	3	0	0	11	0.9
苏氏步甲 <i>C. sui</i>	0	1	0	1	0	0	0	2	0.2
锚齿步甲 <i>C. anchocephalus</i>	0	2	0	0	0	0	0	2	0.2
合计 Total	51	120	132	248	403	157	179	1290	

* 表中样地代号同表 1 Plot codes are given in Table 1

2.2 物种多样性分析

以华北落叶松人工林和天然林不同林龄的各样地各诱点诱到的大步甲属物种种类和数量为原始数据, 按 1.3 数据处理中给出的计算公式, 计算大步甲属各样地各诱点的物种丰富度指数(S)、多样性指数(H')、均匀度指数(J)、个体数量(N)、优势度指数(D)及 β 多样性指数, 对各项指数再进行方差分析和多重比较, 结果见表 3 和表 4。

表 3 不同林龄落叶松人工林大步甲属物种丰富度、个体数量、多样性指数、均匀度指数、优势度指数以及 β 多样性(均值 $\pm$ 标准误)Table 3 Species richness, abundance(individuals), diversity, dominance and β -diversity of *Carabus* genus collected by pitfall traps in different ages larch planted forests

项目 Item	I	II	III
丰富度 Richness(<i>S</i>)	2.60 $\pm$ 0.89 ^o	5.40 $\pm$ 1.14 ^a	3.80 $\pm$ 0.84 ^b
多样性 Diversity(<i>H'</i>)	0.87 $\pm$ 0.48 ^o	1.61 $\pm$ 0.19 ^a	1.26 $\pm$ 0.24 ^{cd}
均匀度 Evenness(<i>J</i>)	0.79 $\pm$ 0.44 ^a	0.97 $\pm$ 0.02 ^a	0.95 $\pm$ 0.03 ^a
个体数量 Individuals(<i>N</i>)	10.20 $\pm$ 4.21 ^d	24.00 $\pm$ 6.40 ^o	26.40 $\pm$ 6.19 ^o
优势度 Dominance(<i>D</i>)	0.52 $\pm$ 0.29 ^b	0.79 $\pm$ 0.04 ^a	0.69 $\pm$ 0.08 ^a
β 多样性 β -diversity(β_w)	1.31	0.67	0.32

* 表中样地代号同表 1 Plot codes are given in Table 1; 同行数据间不同上标字母表示差异显著($P < 0.05$) Numbers within a row followed by different superscript are significantly different; ANOVA, LSD

表 4 不同林龄落叶松天然林大步甲属物种丰富度、个体数量、多样性指数、均匀度指数、优势度指数以及 β 多样性(均值 $\pm$ 标准误)Table 4 Species richness, abundance(individuals), diversity, dominance and β -diversity of *Carabus* genus collected by pitfall traps in different ages larch natural forests

项目 Item	IV	V	VI	VII
丰富度 Richness(<i>S</i>)	5.40 $\pm$ 0.89 ^a	5.00 $\pm$ 0.71 ^a	3.40 $\pm$ 0.55 ^{bc}	3.80 $\pm$ 0.45 ^b
多样性 Diversity(<i>H'</i>)	1.57 $\pm$ 0.18 ^{ab}	1.52 $\pm$ 0.07 ^{abc}	1.15 $\pm$ 0.11 ^{de}	1.28 $\pm$ 0.12 ^{bcd}
均匀度 Evenness(<i>J</i>)	0.94 $\pm$ 0.02 ^a	0.95 $\pm$ 0.07 ^a	0.95 $\pm$ 0.04 ^a	0.96 $\pm$ 0.02 ^a
个体数量 Individuals(<i>N</i>)	49.60 $\pm$ 7.60 ^b	80.60 $\pm$ 12.99 ^a	31.40 $\pm$ 13.24 ^o	35.80 $\pm$ 13.19 ^o
优势度 Dominance(<i>D</i>)	0.76 $\pm$ 0.04 ^a	0.77 $\pm$ 0.02 ^a	0.66 $\pm$ 0.03 ^{ab}	0.71 $\pm$ 0.03 ^a
β 多样性 β -diversity(β_w)	0.30	0.20	0.18	0.05

* 表中样地代号同表 1 Plot codes are given in Table 1; 同行数据间不同上标字母表示差异显著($P < 0.05$) Numbers within a row followed by different superscript are significantly different; ANOVA, LSD

华北落叶松不同林龄的人工林和天然林大步甲属物种丰富度指数(*S*)存在显著差异, $F = 8.93 > F_{0.01}(6, 28) = 3.53$, *S* 由高到低依次为人工林 25a、天然林 5 ~ 8a、天然林 20 ~ 30a、人工林 40a、天然林 60 ~ 80a、天然林 35 ~ 45a、人工林 5a, 其中, *S* 排名前 3 位与后 4 位的林地之间存在显著差异, *S* 最低的人工林 5 年生林地与人工林 40a 和天然林 60 ~ 80a 也有显著差异。物种多样性指数(*H'*) 在华北落叶松不同林龄的人工林和天然林同样存在显著差异, $F = 6.29 > F_{0.01}(6, 28) = 3.53$, *H'* 与 *S* 在各林地由高到低的排列顺序一致, 人工林 25a 显著高于人工林 5a 林地。均匀度指数(*J*) 各林地之间不存在显著差异, $F = 0.718 < F_{0.05}(6, 28) = 2.45$, *J* 由高到低依次为人工林 25a、天然林 60 ~ 80a、人工林 40a、天然林 20 ~ 30a、天然林 35 ~ 45a、天然林 5 ~ 8a、人工林 5a。个体数量(*N*) 在不同林地之间也有显著差异, $F = 26.79 > F_{0.01}(6, 28) = 3.53$, *N* 由高到低依次为天然林 20 ~ 30a、天然林 5 ~ 8a、天然林 60 ~ 80a、天然林 35 ~ 45a、人工林 40a、人工林 25a、人工林 5a, *N* 天然林均高于人工林, 尤其是天然林 20 ~ 30a 林地与其它林地有显著差异, 人工林 5a 林地个体数量最低, 与其它林地也存在显著差异。物种优势度指数(*D*) 各林地之间也有显著差异, $F = 2.979 > F_{0.05}(6, 28) = 2.45$, *D* 由高到低的排列顺序与 *H'*、*S* 是一致的, 人工林 25 年生林地最高, 人工林 5 年生林地最低, 该林地与其它林地之间有显著差异。 β 多样性指数(β_w) 由高到低依次为人工林 5a、人工林 25a、人工林 40a、天然林 5 ~ 8a、天然林 20 ~ 30a、天然林 35 ~ 45a、天然林 60 ~ 80a, β_w 人工林均高于天然林, 不同龄林的人工林由高到低为幼龄林(5a) > 中龄林(25a) > 近成熟林(40a); 不同龄林的天然林由高到低依次为幼龄林(5 ~ 8a) > 中龄林(20 ~ 30a) > 近成熟林(35 ~ 45a) > 成熟林(60 ~ 80a)。

2.3 优势物种季节性变化

大步甲属优势类群有 4 个物种, 不同物种在不同月份及不同林地出现的高峰期是不一致的, 见图 1。5 月份只采集到罕丽步甲, 其余 3 种步甲个体数量为零。沟步甲的盛发期为 7 月和 8 月份, 天然林 5 ~ 8a 和 20 ~ 30a 林地的 8 月个体数量比其它林地明显的多, 人工林 5 年生的林地为零。粗皱步甲发生的高峰期为 7 月份,

天然林 20 ~ 30a 的林地最多,在该林地和天然林 35 ~ 45a 及 60 ~ 80a 的林地高峰出现在 7 月,在人工林 25a 和天然林 5 ~ 8a 的林地高峰出现在 8 月份,人工林 40a 林地 7 月份为零,人工林 5a 林地 7 月和 8 月份个体数量均等。罕丽步甲 7 月、5 月、9 月份和 6 月份发生数量均多,8 月份稀有,人工林 5 年生林地仅 5 月份采集到,人工林 25a 和天然林 35 ~ 45a 林地 5 月份个体数量为零,人工林 40a 林地高峰出现在 5 月和 7 月份。长叶步甲 8 月和 9 月份为盛发期,但在天然林 35 ~ 45a 和 60 ~ 80a 个体数量为零。

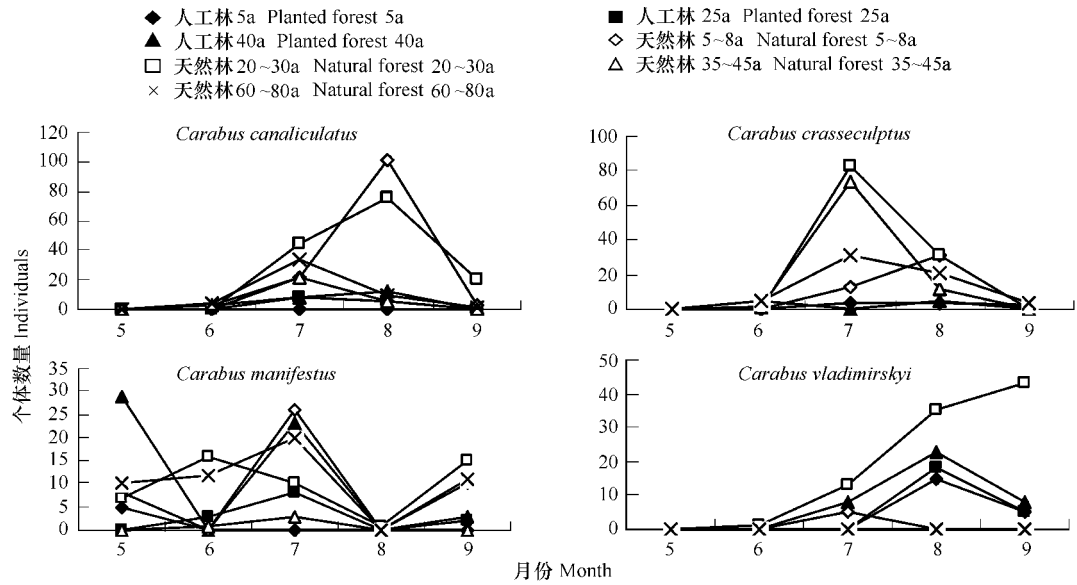


图 1 不同林地大步甲属优势物种个体数量的月份间变化

Fig. 1 Monthly changes of individuals number of *Carabus* dominant species in the different forest lands

2.4 物种相似性分析

依据区系类似度(Jaccard index)公式计算出不同林地大步甲属物种的相似性系数,见表 5。不同林地大步甲属物种相似性有 21 个比较组,其中天然林 35 ~ 45a 和 60 ~ 80a 林地,人工林 25a 和天然林 5 ~ 8a 林地 2 组极相似,人工林 5a 和 25a 林地分别与天然林 35 ~ 45a 和 60 ~ 80a 林地,天然林 5 ~ 8a 和 20 ~ 30a 林地分别与天然林 35 ~ 45a 和 60 ~ 80a 林地 8 组为中等不相似,其余 11 组均为中等相似。

表 5 不同林龄落叶松林地大步甲属种类群落间的相似性系数

Table 5 Similarity coefficient of *Carabus* genus species between different *Larix principis-rupprechtii* forest plots

	II	III	IV	V	VI	VII
I	0.67	0.57	0.63	0.71	0.25	0.25
II		0.56	0.78	0.67	0.30	0.30
III			0.71	0.57	0.50	0.50
IV				0.63	0.38	0.38
V					0.43	0.43
VI						1.00

表中样地代号同表 1 Plot codes are given in Table 1

2.5 生境相似性分析

以 7 个华北落叶松林地内大步甲属种类及其数量进行聚类分析(图 2),结果可知天然林 35 ~ 45a 和 60 ~ 80a 相似性最高,其次是人工林 25 年生和 40 年生分别与天然林 20 ~ 30a,再其次是天然林 5 ~ 8a 与天然林 20 ~ 30a 和 60 ~ 80a,天然林 20 ~ 30 与 60 ~ 80a,天然林 5 ~ 8a 与人工林 25a 和 40a,人工林 5a 生与天然林 20 ~ 30a、5 ~ 8a、60 ~ 80a、35 ~ 45a 生境相似性差异逐渐增大。

2.6 生境指示种分析

依据物种特异性和忠诚度两种测度综合计算物种指示值的公式,本研究仅考虑至少在一个生境内数量达到 10 个以上的物种,将 7 种生境的大步甲属物种的指示值进行了分析,结果见表 6,对每一物种各生境各诱点采集到个体数量进行了方差分析和多重比较,表 6 中数据标有 * 的,表示差异显著。粗皱步甲 *C. crassesculptus*、罕丽步甲 *C. manifestus* 为华北落叶松各种林地中的广布种。肩步甲 *C. hummeli* 只在华北落叶松天然林 35 ~ 45a 和 60 ~ 80a 的林地中捕获,在其它林地中没有捕获,并且在华北落叶松天然林 35 ~ 45 年林地生境物种指示值高达 96.73,与其它林地之间存在显著差异。长叶步甲 *C. vladimirskyi* 与肩步甲 *C. hummeli* 恰好相反,该种步甲在华北落叶松天然林 35 ~ 45a 和 60 ~ 80a 的林地中没捕获,在其它林地中均有捕获。

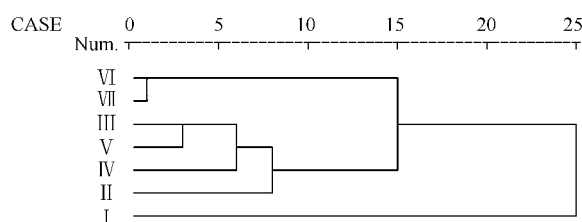


图 2 以大步甲属种类及数量对 7 种华北落叶松林生境的聚类分析

Fig. 2 Dendrogram of 7 habitats based on the species occurrence and their abundance

* 图中样地代号同表 1 Plot codes are given in Table 1

表 6 大步甲属物种生境指示值

Table 6 The species indicator value for the habitat types

物种 Species	I	II	III	IV	V	VI	VII
沟步甲 <i>C. canaliculatus</i>	0	3.84 **	8.49	46.17 **	51.72 **	10.71	18.10
粗皱步甲 <i>C. crassesculptus</i>	1.22	16.83	1.53	16.83	43.61 **	32.89	22.95
罕丽步甲 <i>C. manifestus</i>	0.63	8.16	34.53 **	27.62 **	30.76 *	1.00	33.27 *
长叶步甲 <i>C. vladimirskyi</i>	12.51	17.99	30.50	1.56	71.96 **	0	0
肩步甲 <i>C. hummeli</i>	0	0	0	0	0	96.73 **	34.62 **
刻翅步甲 <i>C. sculptipennis</i>	12.11	12.11	7.57 *	48.43 **	0	0	0
粒步甲 <i>C. granulatus</i>	7.78	20.22	0	50.56	11.67	0	0
小瘤步甲 <i>C. tuberculosus</i>	25.45 **	7.63	0	0	22.90	0	0

* 表中样地代号同表 1 Plot codes are given in Table 1; ** 表示差异显著 Represents statistically significant ($P < 0.01$)

3 讨论

本研究结果表明,庞泉沟国家级自然保护区华北落叶松林不同林龄的人工林与天然林地表甲虫大步甲属物种多样性的各项指标在各林地是不一样的。其中,有两项指标,即物种个体数量(N)和 β 多样性指数(β_w)人工林与天然林有明显不同; N 天然林均高于人工林,尤其是天然林 20 ~ 30a N 显著高于其它林地,人工林 5 年 N 最低,与其它林地存在显著差异;优势种 *C. canaliculatus* 和 *C. crassesculptus* 个体数量天然林均显著高于人工林。 β_w 天然林均低于人工林,人工林 β_w 由高到低依次为幼龄林(5a)、中龄林(25a)、近成熟林(40a);天然林 β_w 由高到低依次为幼龄林(5 ~ 8a)、中龄林(20 ~ 30a)、近成熟林(35 ~ 45a)、成熟林(60 ~ 80a)。

物种多样性的其他指标,如丰富度指数(S)、多样性指数(H')、优势度指数(D)人工林和天然林有高、有低,不能一概而论,但是,这三项指标在各林地的排列顺序是一致,即由高到低依次为人工林 25a、天然林 5 ~ 8a、天然林 20 ~ 30a、人工林 40a、天然林 60 ~ 80a、天然林 35 ~ 45a、人工林 5a。 S 、 H' 、 D 三项指标:人工林由高到低依次为中龄林、近成熟林、幼龄林;天然林由高到低依次为幼龄林、中龄林、成熟林、近成熟林。 S 、 H' 、 D 三项指标在同一龄级不同起源的林地比较为:幼龄林是天然林 > 人工林;中龄林为人工林 > 天然林;近成熟林是人工林 > 天然林。

人工林与天然林比较,人工林早期阶段,多样性各项指数,包括 S 、 H' 、 D 和 N ,幼龄林比天然林低,而且是各种林地最低者;中龄林、近成熟林,人工林均高于天然林。

物种均匀度指数(J)由高到低依次为人工林 25a、天然林 60 ~ 80a、人工林 40a、天然林 20 ~ 30a、天然林 35 ~ 45a、天然林 5 ~ 8a、人工林 5a。 J 人工林由高到低依次为中龄林、近成熟林、幼龄林; J 天然林由高到低依次

为成熟林、中龄林、近成熟林、幼龄林。物种多样性四项指标(S 、 H' 、 D 和 J)均是人工林中龄林最高,人工林幼龄林最低。

大步甲属物种相似性和聚类分析结果都证明天然林近成熟林与成熟林极相似,天然林幼龄林与中龄林是中等相似;天然林中龄林与天然林近成熟林及成熟林是中等不相似;天然林中龄林、近成熟林与人工林中龄林、近成熟林为中等相似。

生境指示种分析结果表明,粗皱步甲 *C. crassesculptus*、罕丽步甲 *C. manifestus* 为华北落叶松各种林地中的广布种。肩步甲 *C. hummeli* 只在近成熟和成熟的天然林中捕获,其天然林近成熟林中生境物种指示值高达 96.73。

综上所述,庞泉沟国家级自然保护区华北落叶松林大步甲属物种多样性最高的生境不是成熟的天然林,而是人工种植的中龄林,人工种植的中龄林、近熟林与天然更新的中龄林、近熟林物种相似性为中等相似,同龄级的中龄林、近熟林,人工林的物种多样性指数高于天然林,但天然林尤其是近熟和成熟的天然林有特有的大步甲属物种,优势种的个体数量也是明显高于人工林,因此,林业生产实践中,在鼓励提倡人工种植落叶松林的同时,保留天然落叶松林免受破坏和干扰是保护物种多样性的必要和关键措施。

References:

- [1] Liang H B, Yu P Y. Species of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) predating oriental armyworm (Lepidoptera: Notuidae) in China. *Natural Enemies of Insects*, 2000, 22(4):160—167.
- [2] Tian M Y. Biodiversity and conservation of the genus *Carabus* L. (Coleoptera: Carabidae). *Natural Enemies of Insects*, 2000, 22(4):152—154.
- [3] Jia F L. Species diversity of beetles of Wutongshan. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(2):167—171.
- [4] Baars M A. Catches in pitfall traps in relation to mean densities of carabid beetles. *Oecologia (Berl.)*, 1979, 41: 25—46.
- [5] Yu X D, Zhou H Z, Luo T H. Distribution patterns and their seasonal changes of carabus beetles in Dongling mountain region near Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (10): 1724—1733.
- [6] Yu X D, Luo T H, Zhou H Z. Species diversity of litter-layer beetles in the Fengtongzhai National Nature Reserve, Sichuan Province. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46 (5): 609—616.
- [7] Yu X D, Luo T H, Zhou H Z. *Carabus* (Coleoptera: Carabidae) assemblages of native forests and non-native plantations in Northern China. *Entomologica Fennica*, 2004, 17 September 129—137.
- [8] Yu X D, Luo T H, Zhou H Z. Habit associations and seasonal activity of carabid beetle (Coleoptera: Carabidae) in Dongling Mountain, North China. *Entomologica Fennica*, 2006, 16 June 174—183.
- [9] Yu X D, Luo T H, Zhou H Z. Distribution of carabid beetles among regenerating and natural forest types in Southwestern China. *Forest Ecology and Management*, 2006, 231:169—177.
- [10] Wu H. *Insects of LongWangShan*. Beijing: China Forestry Press, 1998. 1—15.
- [11] Yu X D, Luo T H, Yang J, Zhou H Z. Diversity of ground-dwelling beetles (Coleoptera) in larch plantation with different stages of reforestation in Wolong Natural Reserve, Southwestern China. *Zoological Research*, 2006, 27(1): 1—11.

参考文献:

- [1] 梁宏斌,虞佩玉. 中国捕食黏虫的步甲种类检索. *昆虫天敌*, 2000, 12(22):160~166.
- [2] 田明义. 中国步甲属(鞘翅目:步甲科)物种多样性及其保护问题. *昆虫天敌*, 2000, 22(4):152~154.
- [3] 贾凤龙. 梧桐山甲虫物种多样性. *生物多样性*, 2000, 8(2):169~171.
- [5] 于晓东,周红章,罗天宏. 东灵山区大步甲属物种分布和季节变化的多样性格局. *生态学报*, 2002, 22 (10):1724~1733.
- [6] 于晓东,罗天宏,周红章. 四川蜂桶寨自然保护区地表甲虫物种多样性. *昆虫学报*, 2003, 46 (5):609~616.
- [10] 吴鸿. *龙王山昆虫*. 北京:中国林业出版社, 1998. 1~15.
- [11] 于晓东,罗天宏,杨建,周红章. 卧龙自然保护区落叶松林不同恢复阶段地表甲虫的多样性. *动物学研究*, 2006, 27(1):1~11.