

网络出版时间:2020-11-25 16:53 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.05.007
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20201125.1135.005.html

甘南亚高山典型森林生境地地表步甲的群落结构及多样性分析

付作霖^{1,2}, 杨 静^{1,2}, 李丹春^{1,2}, 丁全定^{1,2}, 齐 昊^{1,2}, 张文字^{1,2}

(1 甘肃省白龙江林业管理局 林业科学研究所, 甘肃 兰州 730070;
2 甘肃白龙江森林生态系统国家定位观测研究站, 甘肃 舟曲 746300)

【摘 要】【目的】研究甘南亚高山 5 种不同典型森林生境下地表步甲的群落结构、分布特征及多样性,探究地表步甲对森林生境的选择倾向,为甘南亚高山区生态环境监测及地表步甲生物多样性保护提供科学依据。【方法】2018—2019 年采用巴氏罐法在人工云杉林(RPA)、人工油松林(RPT)、次生阔叶林(CPB)、次生针叶林(CPT)和原始云杉林(YPA)中采集地表步甲,室内对其进行分类鉴定,并对其类群优势度、多样性及相似性进行分析。【结果】在甘南亚高山 5 种不同典型森林生境下共采集地表步甲 2 418 头,经鉴定隶属 16 属 33 个种,其中分属于青步甲属、通缘步甲属、斯步甲属、蜗步甲属和步甲属的步甲数量分别占捕获总数的 23.16%,16.33%,13.19%,12.00%和10.42%,共同构成了该地区的优势类群。地表步甲个体数在 RPA 中最多,在 YPA 中最少,且 RPA 生境中地表步甲个体数显著高于其他类型森林生境;在属级和种级水平上,地表步甲类群数均以 YPA 中最多,RPT 中最少。Shannon-Winner 多样性指数(H')和 Peilou 均匀度指数(J)在各生境类型中的大小顺序为:YPA>CPB>RPA>CPT>RPT;Margalef 丰富度指数(D)在各生境类型中的排序为:YPA>CPB>CPT>RPA>RPT;Simpson 优势度指数(H)以 RPT 最高,CPT 次之,YPA 最低。相似性分析结果表明,CPT 与 RPA 间地表步甲群落结构相似性最高,为极相似;YPA 与 RPT 中地表步甲群落结构相似性最低,为极不相似。【结论】地表步甲群落组成及多样性受生境类型的影响,人工林和次生林地地表步甲群落结构组成及多样性尚未恢复到天然林的水平。因此在提倡森林恢复的同时,保护天然林免受破坏是保护地表步甲群落的重要措施。

【关键词】 地表步甲;森林生境;群落结构;生物多样性;甘南亚高山
【中图分类号】 S763.302 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-9387(2021)05-0047-09

Community structure and diversity of ground-dwelling beetles in typical subalpine forests of Southern Gansu

FU Zuolin^{1,2}, YANG Jing^{1,2}, LI Danchun^{1,2}, DING Quanding^{1,2},
QI hao^{1,2}, ZHANG Wenyu^{1,2}

(1 Institute of Forestry, Bailong River Forestry Management Bureau, Lanzhou, Gansu 730070, China;
2 Gansu Bailong River National Forest Ecosystem Research Station, Zhouqu, Gansu 746300, China)

Abstract: 【Objective】 This study researched the distribution and diversity of ground-dwelling beetles in five subalpine typical forests of Southern Gansu and explored the selection of forests to provide basis for area environmental monitoring and protection of ground-dwelling beetles biodiversity. 【Method】 The pitfall trap method was used to collect ground-dwelling beetles in *Picea asperata* plantation (RPA), *Pinus tabulaeformis* plantation (RPT), broad-leaved plantation after clear-cutting (CPB), coniferous plantation after

clear-cutting (CPT), and natural *Picea asperata* forests (YPA) in 2018–2019. Then, the beetles were classified and identified in laboratory, and their dominance, diversity and similarity were analyzed. 【Result】 In 2018–2019, a total of 2 418 ground-dwelling beetles were collected and identified, belonging to 33 species in 16 genera. Among them, five dominant groups of *Chlaenius*, *Pterostichus*, *Straneostichus*, *Cychrus* and *Carabus* accounted for 23.16%, 16.33%, 13.19%, 12.00% and 10.42%, respectively. RPA had the largest number, which was significantly higher than other forest types, and YPA had the least. In genus and species level, YPA had the largest number and RPT had the least. The Shannon-Winner diversity index (H') and Peilou evenness index (J) were in the order of YPA>CPB>RPA>CPT>RPT. The Margalef richness index (D) was in the order of YPA>CPB>CPT>RPA>RPT. The Simpson dominance index (H) was the highest in RPT, followed by CPT, while the lowest was in YPA. Similarity analysis showed that the similarity in structure of ground-dwelling beetle communities between CPT and RPA was the highest, while that between RPT and YPA was the lowest, which was extremely dissimilar. 【Conclusion】 The composition and diversity of ground-dwelling beetles were affected by habitats, and those of plantations and secondary forests have not recovered to natural level. Therefore, protecting natural forests from damage is an important measure to protect ground-dwelling beetle communities while advocating forest restoration.

Key words: ground-dwelling beetles; forest habitat; community structure; biodiversity; subalpine of Southern Gansu, China

甘南亚高山区地处青藏高原东部边缘地带,受人类活动干扰及气候变化的影响较大,以云杉和冷杉为主的暗针叶林森林植被系统遭到严重破坏,逐渐被人工林和天然次生林替代^[1-3]。人工林植被系统面积大,结构单一,处于中幼林时期,其病虫害严重,生境稳定性较低^[4-5]。天然次生林是在原始云杉及冷杉林采伐迹地上,被山杨、白桦、红桦和栎类等阔叶树种天然更新替代的林分^[6-7]。国内学者针对亚高山森林类型在生物多样性保护过程中的作用进行了深入研究^[8-10],如孟兆鑫^[9]对川西亚高山森林群落物种多样性与群落结构的研究表明,川西亚高山区人工林群落在结构复杂性和物种多样性上均远低于天然林群落。森林昆虫是森林生态系统的重要组成部分,在维持系统结构和功能方面发挥着极其重要的作用。同时,其亦可作为生态系统的指示生物,很好地反映该地区环境的状况和变化。

步甲科(Carabidae)昆虫属鞘翅目,是森林生态系统中丰富的类群,对维持生态系统的稳定性具有重要的作用^[11-12]。步甲大多以捕食为生,其中73.5%的步甲是纯捕食性的,其以软体动物、蠕虫、小昆虫和昆虫幼虫为食;19.5%的步甲为杂食性,8.1%的步甲为植食性^[13]。步甲类群具有分布范围广、环境敏感性高和种类繁多等特点,其群落组成能够反映生存环境的状况及变化,因此成为生态系统的指示生物^[14-15]。同时,依据步甲对环境变化的敏感性,可以准确地了解现存环境状况,如土壤性质、湿

度和栖息地类型等^[16-17]。因此,本研究通过分析地表步甲在不同森林生境中的群落结构及多样性等,探究其对森林生境的选择倾向,以期甘南亚高山区生态环境监测及地表步甲生物多样性保护提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于甘肃省甘南藏族自治州迭部县和舟曲县境内(32°56′—34°20′ N, 102°30′—104°45′ E),海拔2 100~2 800 m,属于青藏高原东部边缘与西秦岭地槽褶皱系交错地带,具有典型的亚高山峡谷地貌特征。该地气候属温带、寒温带高寒湿润气候,冬季寒冷干燥,夏季湿润多雨。年降水量1 023.1 mm,年蒸发量918.8 mm,年均气温4.3℃,极端高温29.1℃,极端低温-28.5℃,全年无霜期100 d^[17]。研究区内森林植被种类繁多,区系成分复杂,主要有岷江冷杉(*Abies faxoniana*)、巴山冷杉(*Abies fargesii*)、粗枝云杉(*Picea asperata*)、青杆(*Picea wilsonii*)、紫果云杉(*Picea purpurea*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)等针叶树种,以及山杨(*Populus davidiana*)、红桦(*Betula albosinensis*)和白桦(*Betula platyphylla*)等阔叶树种^[18]。典型的森林生境类型有人工云杉林(RPA)、人工油松林(RPT)、次生阔叶林(CPB)、次生针叶林(CPT)和原始云杉林(YPA),5种典型森林生境的基本信息如表1所示。

表 1 亚高山 5 种类型森林生境的基本信息

Table 1 Basic conditions of different forests in subalpine of Southern Gansu

森林类型 Forest type	平均海拔/m Average elevation	坡向 Slope	坡位 Position	乔木优势种 Dominant species in tree layer	林龄/a Forest age	郁闭度 Canopy density	灌草层盖度/% Coverage of shrub and herb
RPA	2 450	西南 Southwest	中坡 Middle slope	云杉 <i>Picea asperata</i>	40	0.5	46.1
RPT	2 410	西南 Southwest	中坡 Middle slope	油松,山杨,红桦 <i>Pinus tabuli formis</i> , <i>Populus avidiana</i> , <i>Betula albosinensis</i>	40	0.6	35.2
CPB	2 530	南 South	中坡 Middle slope	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	60	0.6	63.7
CPT	2 360	西南 Southwest	中坡 Middle slope	云杉,油松 <i>P. asperata</i> , <i>P. tabuli formis</i>	50	0.5	50.4
YPA	2 750	南 South	中坡 Middle slope	云杉,冷杉 <i>P. asperata</i> , <i>Abies faxoniana</i>	150	0.7	90.5

注:RPA. 人工云杉林;RPT. 人工油松林;CPB. 次生阔叶林;CPT. 次生针叶林;YPA. 原始云杉林。下同。

Note:RPA. *Picea asperata* plantation;RPT. *Pinus tabuli formis* plantation;CPB. Broad-leaved plantation after clear-cutting;CPT. Coniferous plantation after clear-cutting;YPA. Natural *Picea asperata* forests. The same blow.

1.2 样地设置

依据研究区域内主要森林生境类型的分布情况,选择海拔在 2 160~2 720 m,坡度、坡向及土壤等环境条件基本一致的林分,采用典型取样法设置 5 块 300 m×400 m 的样地,对人工云杉林、人工油松林、次生阔叶林、次生针叶林和原始云杉林等 5 种类型生境样地进行地表步甲群落分布状况调查。

1.3 标本采集与鉴定

利用巴氏诱罐法^[19-20]采集地表步甲,在每个样地按对角线平行布设 5 条长 30 m 的样带,样带间距 100 m;在样带内每相距 2 m 布设 1 个诱杯,每样带 15 个诱杯,以样带为统计单位。诱杯为 PP 材质的一次性塑料口杯,高 9 cm,口径 7.3 cm,每个诱杯中倒入 50~60 mL 诱剂(约占诱杯容积的 2/3),诱剂成分为质量比为 2:1:1:20 的醋、糖、体积分数 75%医用酒精和水的混合物。采集时间为 2018 和 2019 年的 6 月上旬至 9 月上旬,采集时间间隔为 15 d,共采集 14 次。每次采集将每条样线上 15 个诱杯的诱捕结果合并处理带回实验室,将采集的甲虫制成针插标本和体积分数 75%酒精浸泡标本,参考已出版的各类甲虫相关分类资料进行标本的分类鉴定和数量统计,部分标本由中国科学院动物研究所梁宏斌老师协助鉴定。

1.4 研究方法

1.4.1 类群优势度划分 地表甲虫类群的优势度采用 Berger-Parker 指数(W)划分,其计算公式为: $W=(N_{\max}/N) \times 100\%$,其中 $N_{\max}$ 为优势类群的个体数,N 为个体总数。当 $W \geq 10\%$ 时为优势类群, $1\% \leq W < 10\%$ 为常见类群, $W < 1\%$ 时为稀有类群。

1.4.2 多样性分析 采用 Shannon-Wiener 多样性

指数(H')、Margalef 丰富度指数(D)、Pielou 均匀度指数(J)和 Simpson 优势度指数(H)对不同类型森林生境中地表步甲群落进行多样性分析^[21]。

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i;$$

$$D = (S-1)/\ln N;$$

$$J = H'/\ln S;$$

$$H = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2。$$

式中: $P_i = n_i/N$, n_i 为该生境内第 i 个类群的个体数, N 为该生境内所有类群的个体总数, S 为该生境内类群数。

1.4.3 相似性分析 采用 Jaccard 相似性指数对各森林生境类型中地表步甲群落的相似性进行分析。Jaccard 相似性指数 $I = C/(A+B-C)$,其中 C 为 2 个森林生境共有类群数, A 和 B 分别为 2 个群落或样地生境各自的类群数。相似性指数主要反映不同植被类型之间地表步甲类群的相似程度,根据 Jaccard 相似性系数原理,当 I 为 0.75~1.00,表示群落之间为极相似;当 I 为 0.50~0.75,表示群落之间为中等相似;当 I 为 0.25~0.50,表示群落之间为中等不相似;当 I 为 0~0.25,表示群落之间为极不相似。

1.5 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 21.0 软件进行数据处理和分析,采用 Origin 9.1 绘图。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)对各类型森林生境中地表步甲群落结构和多样性进行差异显著性检验,如果差异显著则用最小显著差法(least significant difference,LSD)进行多重比较,显著性水平设定为 $P < 0.05$;如果仍不服从正态分布,则进行 Kruskal-Wallis H 非参数检验。

2 结果与分析

2.1 不同类型森林生境中地表步甲的群落结构及空间分布特征

2.1.1 地表步甲群落结构 由表 2 可知,调查共捕获地表步甲 2 418 只,隶属于 16 属 33 种。在属水平上,青步甲属(*Chlaenius*)、通缘步甲属(*Pterostichus*)、斯步甲属(*Straneostichus*)、蜗步甲属(*Cychrus*)和步甲属(*Carabus*)为该地区的优势类群,其步甲数量分别占捕获总数的 23.16%,16.33%,13.19%,12.00%和 10.42%,5 个属的步甲数量共占捕获总数的 75.10%;常见类群有山丽步甲属(*Aristochroa*)、艳步甲属(*Trigonognatha*)、安步甲属(*Andrewesius*)、细胫步甲属(*Agonum*)、弧缘步甲属(*Archastes*)、梨须步甲属(*Synuchus*)、婪步甲属(*Harpalus*)等 7 类,共占捕获总数的 22.62%;长步甲属(*Dolichus*)、湿步甲属(*Notiophilus*)、脊角步甲属(*Poecilus*)及锯步甲属(*Prositosisia*)等 4 个属为稀有类群,共占捕获总数的 2.27%。

在种水平上,紫背斯步甲(*Straneostichus vige-*

nai Sciaky)、重通缘步甲(*Pterostichus gravis* Jedlicka)、淡足青步甲(*Chlaenius pallipes*)为优势种,占捕获总数的 37.01%;常见种类有岷山蜗步甲(*Cychrus minshanicola* Deuve)、逗斑青步甲(*Chlaenius virgulifer*)、甘肃大步甲(*Carabus gansuensis* Semenov)、瑞类山丽步甲(*Aristochroa reginae* Marcilhac)、茹安步甲(*Andrewesius rougemonti* Movan)、斯氏大通缘步甲(*Trigonognatha straneoi* Sciaky)、卡氏蜗步甲(*Cychrus kalabi* Deuve)、圆粒步甲指名亚种(*Carabus formosus*)、山通缘步甲(*Pterostichus oreophilus*)、小黄缘青步甲(*Chlaenius circumdatus*)、脊青步甲(*Chlaenius costiger*)、宽胸大步甲(*Carabus latro* Semenov)等 16 种,占捕获总数的 56.08%;大毛婪步甲(*Harpalus ussuniensis*)、微大步甲(*Carabus exiguus* Semenov)、赤胸长步甲(*Dolichus halensis*)、格脊角步甲(*Poecilus gebleri*)、毛青步甲(*Chlaenius allipes*)、中华婪步甲(*Harpalus sinicus*)、婪步甲(*Harpalus coreanus*)、暗通缘步甲(*Pterostichus haptoderoides*)等 14 个种构成稀有种类,占捕获总数的 6.91%。

表 2 甘南亚高山不同类型森林生境中地表步甲的个体数量

Table 2 Number of individuals of ground-dwelling beetles in different subalpine forests of Southern Gansu

类别 Categories		个体数 Number of individuals				
属 Genus	种 Kind	RPA	RPT	CPB	CPT	YPA
步甲属 <i>Carabus</i>	微大步甲 <i>C. exiguus</i> Semenov	0	0	12	4	4
	宽胸大步甲 <i>C. latro</i> Semenov	63	53	2	6	6
	甘肃大步甲 <i>C. gansuensis</i> Semenov	0	0	19	10	0
	圆粒步甲指名亚种 <i>C. formosus</i>	30	32	5	0	6
	小计 Subtotal	93	85	38	20	16
青步甲属 <i>Chlaenius</i>	淡足青步甲 <i>C. pallipes</i>	130	83	38	23	5
	小黄缘青步甲 <i>C. circumdatus</i>	0	0	26	25	3
	脊青步甲 <i>C. costiger</i>	29	0	4	5	0
	逗斑青步甲 <i>C. virgulifer</i>	70	72	3	23	4
	毛青步甲 <i>C. allipes</i>	0	0	0	6	5
	其他 Other	0	0	0	0	6
	小计 Subtotal	229	155	71	82	23
斯步甲属 <i>Straneostichus</i>	紫背斯步甲 <i>S. vignai</i> Sciaky	72	88	84	50	25
山丽步甲属 <i>Aristochroa</i>	瑞类山丽步甲 <i>A. reginae</i> Marcilhac	0	53	29	15	26
	其他 Other	0	26	0	9	5
	小计 Subtotal	0	79	29	24	31
长步甲属 <i>Dolichu</i>	赤胸长步甲 <i>D. halensis</i>	0	0	8	5	6
婪步甲属 <i>Harpalus</i>	大毛婪步甲 <i>H. ussuniensis</i>	0	10	0	2	10
	中华婪步甲 <i>H. sinicus</i>	0	0	0	0	6
	婪步甲 <i>H. coreanus</i>	0	0	0	0	3
	小计 Subtotal	0	10	0	2	19
脊角步甲属 <i>Poecilus</i>	格脊角步甲 <i>P. gebleri</i>	0	0	3	0	9
艳步甲属 <i>Trigonognatha</i>	斯氏大通缘步甲 <i>T. straneoi</i> Sciaky	47	10	19	3	13
	其他 Other	7	0	5	0	2
	小计 Subtotal	54	10	24	3	15
通缘步甲属 <i>Pterostichus</i>	重通缘步甲 <i>P. gravis</i> Jedlicka	141	105	0	37	14
	山通缘步甲 <i>P. oreophilus</i>	0	0	57	10	3

表 2(续) Contiuned Table 2

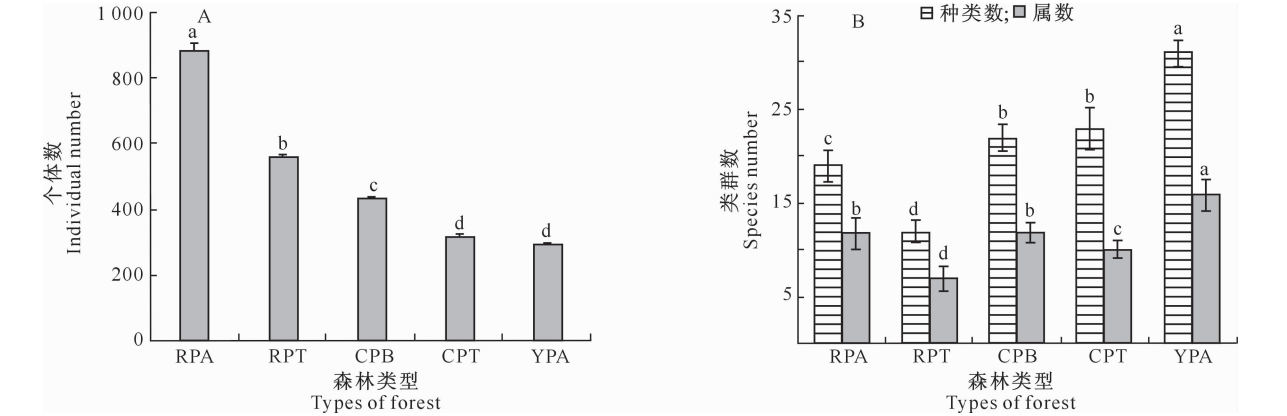
类别 Categories		个体数 Number of individuals				
属 Genus	种 Kind	RPA	RPT	CPB	CPT	YPA
通缘步甲属 <i>Pterostichus</i>	暗通缘步甲 <i>P. haptoderoides</i>	0	0	0	0	7
	其他 Other	0	0	0	12	9
	小计 Subtotal	141	105	57	59	33
细胫步甲属 <i>Agonum</i>	布氏细胫步甲 <i>A. buchamani</i> (Hope)	0	0	0	0	2
	其他 Other	41	0	0	0	21
	小计 Subtotal	41	0	0	0	23
蛎步甲属 <i>Cychrus</i>	岷山蛎步甲 <i>C. minshanicola</i> Deuve	104	0	27	61	23
	卡氏蛎步甲 <i>C. kalabi</i> Deuve	54	0	0	0	21
	小计 Subtotal	158	0	27	61	44
安步甲属 <i>Andrewesius</i>	茹安步甲 <i>A. rougemonti</i> Movan	31	0	47	0	19
* 湿步甲属 <i>Notiophilus</i>		0	0	13	0	4
* 锯步甲属 <i>Prostosia</i>		0	0	5	0	2
* 弧缘步甲属 <i>Archastes</i>		35	0	0	0	12
* 梨须步甲属 <i>Synuchus</i>		29	0	0	8	2
合计 Total		883	532	406	314	283

注:带“*”的属已鉴定到种,但其特征与现有种不完全相符。
Note:The genus classification with “*” was identified to the species level,but the characteristics were not completely consistent with existing ones.

2.1.2 地表步甲群落空间分布特征 5 种不同类型森林生境中地表步甲的分布情况见表 2。由表 2 可知,在人工云杉林(RPA)中共捕获地表步甲 883 只,隶属 10 属 15 个种,占总个体数、总属数、总种数的比例分别为 36.52%,62.5%和 45.45%;属水平优势类群为青步甲属、蛎步甲属、通缘步甲属和步甲属,占该生境捕获总数的 70.32%。在人工油松林(RPT)中共捕获地表步甲 532 只,隶属 7 属 10 个种,占总个体数、总属数、总种数的比例分别为 22.00%,43.75%和 30.30%;属水平优势类群为青步甲属、通缘步甲属、斯步甲属、步甲属及山丽步甲属,占该生境捕获总数的 96.25%。在次生阔叶林(CPB)中共捕获地表步甲 406 只,隶属 12 属 19 个种,分别占总个体数的 16.79%、总属数的 75%、总

种数的 57.58%;属水平优势类群为斯步甲属、青步甲属、通缘步甲属及安步甲属,占该生境捕获总数的 63.80%。在次生针叶林(CPT)中共捕获地表步甲 314 只,隶属 10 属 19 个种,占总个体数、总属数、总种数的比例分别为 12.99%,62.5%和 57.58%;属水平优势类群为青步甲属、蛎步甲属、通缘步甲属和斯步甲属,占该生境捕获总数的 80.25%。在原始云杉林(YPA)中共捕获地表步甲 283 只,隶属 16 属 31 个种,占总个体数、总属数、总种数的比例分别为 11.70%,100%和 93.94%;属水平优势类群为蛎步甲属、通缘步甲属及山丽步甲属,占该生境捕获总数的 38.16%。

5 种不同类型森林生境中地表步甲的空间分布特征如图 1 所示。



图柱上不同小写字母者表示不同类型森林生境差异显著($P<0.05$)

Different lowercase letters indicate significant differences among types of forest ($P<0.05$)

图 1 不同类型森林生境中地表步甲个体数和类群数的空间分布特征

Fig. 1 Individual number and species number of ground-dwelling beetle communities in different subalpine forests of Southern Gansu

由图 1 可知,地表步甲个体数在人工云杉林中最高,在原始云杉林中最少,人工云杉林、人工油松林和次生阔叶林 3 种林型中地表步甲个体数存在显著差异($F=21.942, P<0.05$) (图 1-A)。地表步甲类群数(属和种级水平)以原始云杉林中最高,人工油松林中最低;在种水平上,地表步甲类群数在次生阔叶林和次生针叶林间无显著差异($P>0.05$),但

二者均与其他 3 种林型存在显著差异;在属水平上,地表步甲类群数在人工云杉林与次生阔叶林间无显著差异($P>0.05$),但二者均与其他 3 种林型存在显著性差异(图 1-B)。

2.2 不同类型森林生境中地表步甲的多样性
2.2.1 多样性指数 甘南亚高山不同类型森林生境中地表步甲的多样性分析结果如表 3 所示。

表 3 甘南亚高山不同类型森林生境中地表步甲的多样性

森林类型 Forest type	N	S	H'	J	H	D
RPA	176.60±21.38 a	9.20±0.84 c	2.901±0.121 c	0.842±0.014 b	0.158±0.014 b	1.100±0.106 c
RPT	106.40±17.46 b	6.00±1.22 d	2.245±0.246 e	0.761±0.037 b	0.239±0.037 a	0.742±0.175 d
CPB	81.20±5.97 b	11.60±0.55 b	3.094±0.034 b	0.860±0.005 a	0.140±0.005 b	1.671±0.066 b
CPT	62.80±9.39 c	8.20±0.84 c	2.615±0.089 d	0.809±0.007 b	0.191±0.007 a	1.207±0.126 c
YPA	56.60±3.05 c	14.40±1.34 a	3.596±0.114 a	0.906±0.006 a	0.102±0.007 c	2.303±0.243 a

注:N. 个体数;S. 属水平类群数;H'. Shannon Winner 多样性指数;J. Pielou 均匀度指数;H. Simpson 优势度指数;D. Margalef 丰富指数。
同列数据后标不同小写字母者表示不同类型森林生境间差异显著($P<0.05$)。
Note: N. Number of individual; S. Number of species in genus level; H'. Shannon Winne diversity index; J. Pielou eveness index; H. Simpson dominance index; D. Margalef richness index. Different lowercase letters indicate significant differences in habitats of different forest types($P<0.05$).

由表 3 可知,甘南亚高山不同类型森林生境中地表步甲类群数、Shannon-winner 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数均以原始云杉林表现最高,次生阔叶林次之,人工油松林最低;Simpson 优势度指数以人工油松林最高,次生针叶林次之,原始云杉林最低;地表步甲个体数以人工云杉林最高,人工油松林次之,原始云杉林最低。统计分析结果显示,原始云杉林地地表步甲种群多样性指数($F=66.175, P=0.000$)和丰富度指数($F=74.808, P=0.000$)均显著高于次生阔叶林、次生针叶林、人工油松林和人工云杉林;地表步甲群落 Pielou 均匀度指数表现为原始云杉林显著高于人工云杉林、人工油松林和次生针叶林($F=7.654, P<0.05$)。人工油松林地地表步甲群落 Simpson 优势度指数与人工云杉林、次生阔叶林和原始云杉林间存

在显著差异($F=40.522, P=0.000$)。
2.2.2 相似性指数 生境的相似性在一定程度上决定着地表步甲群落组成的相似性^[22]。相似性分析结果(表 4)表明,生境相近的林分地表步甲群落结构也相似,次生针叶林与人工云杉林二者在海拔、坡向、乔木优势树种和郁闭度等生境条件方面相似,其地表步甲群落结构相似性则最高,为极相似。次生针叶林与原始云杉林地地表步甲群落相似性指数为 0.66,为中等相似;次生针叶林是在原始云杉林采伐迹地上生长出的云杉林,植被及生态条件相似性高,导致林分间地表甲虫群落相似性也高。人工油松林和次生阔叶林与原始云杉林地地表步甲群落的相似性指数分别为 0.32 和 0.44,为中等不相似,表明在属水平上原始云杉林与人工油松林和次生阔叶林中的地表步甲群落类群结构具有明显差异。

表 4 甘南亚高山不同类型森林生境中地表步甲群落的相似性指数

森林类型 Forest type	RPA	RPT	CPB	CPT	YPA
RPA	1.00	0.71	0.68	0.88	0.54
RPT		1.00	0.83	0.77	0.32
CPB			1.00	0.76	0.44
CPT				1.00	0.66
YPA					1.00

3 讨 论

生境差异对地表步甲类群的多样性及分布具有

显著影响。本研究发现原始云杉林中地表步甲个体数最少,但类群数最多;人工林(人工云杉林和人工油松林)中地表步甲个体数最多,而类群数最少;次

生林介于人工林与原始林间。该研究结果与姜双林等^[23]和于晓东等^[24]对步甲分布的研究结果相似,但有悖于Jennings等^[25]的研究,说明地表步甲的分布和群落结构均与生境内的小环境以及植被特点密切相关。原始云杉林树冠层紧密、郁闭度高、灌草层和地表覆盖层较厚,可形成自我调节的稳定微生境。人工林经过40余年人工抚育,树种结构比较单一,郁闭度低,林内温差相对较大,生境稳定性较差,同时病虫害较为严重,为地表步甲提供了丰富的食源,导致地表步甲个体数显著高于原始云杉林,而类群数显著低于原始云杉林。此外,地表步甲个体数及类群数在以云杉和冷杉为主的人工林、次生林和原始林3种针叶林中也具有显著差异,3种林型在优势树种相近的条件下,林冠层高度、林龄和灌草层覆盖率等环境因子存在差异,导致地表步甲群落组成存在差异。在不同演替阶段的落叶松林和中欧云杉林中的步甲群落变化研究也证实,不同演替阶段的林地内步甲群落组成存在很大差异^[26-28]。

多样性分析表明,原始云杉林地地表步甲类群多样性、均匀度及丰富度指数均最高,其次是次生林,人工林最低;优势度指数以人工油松林最高,原始云杉林最低。本研究中人工林树种单一,灌草层覆盖度较小,人为抚育和管护的干扰较大,与天然林有很大差异,因此人工林地地表步甲多样性及丰富度均低于邻近的原始针叶林;次生林处于生态恢复中,人为活动和自然因素影响较大,一直维持小规模的中度干扰,因而其地表步甲的多样性和均匀度与原始云杉林相比相对较低;而原始云杉林地保护区核心,很少有人活动,郁闭度高,土壤湿度大,其地表步甲的多样性和均匀度等都最高^[28-29]。也有研究发现,在次生人工林内,甲虫的物种丰富度显著低于邻近尚未砍伐的原始天然林^[30-32]。但本研究结果与姜双林等^[23]对青步甲属不同生境的研究结果不同,姜双林等的研究基于青步甲属单一物种进行分析,而本研究在属水平上对所有地表步甲进行分析,地表步甲包含类群较多,在功能和扩散能力等方面差异较大,这可能是导致结果差异的一个重要因素。

生境的相似性在一定程度上决定着地表步甲群落组成的相似性^[22]。相似性分析结果显示,生境相近的人工云杉林与次生针叶林地地表步甲群落组成相似性最高,为极相似;人工油松林与原始云杉林地地表步甲群落组成相似性最低,为极不相似。本研究结果显示,人工林与次生林间的生境更加相似,但二者均与原始林间的相似性较低。

4 结 论

人工云杉林和人工油松林因其生境稳定性低,导致地表步甲优势类群个体数量虽多,但类群数较少,群落均匀度低,优势度高,表明地表步甲群落尚未恢复到天然原始针叶林水平。地表步甲群落组成及多样性受生境类型的影响,人工林尚无法取代原始针叶林在维持地表步甲群落组成及生境稳定中的作用。地表步甲是很好的生态指示类群,可为甘南亚高山高原天然次生林植被的恢复与重建提供参考。

[参考文献]

- [1] 邱祖青,杨永红,曹秀文,等.白龙江干旱河谷木本植物多样性及其区系地理特征[J].甘肃农业大学学报,2007,42(5):115-119.
Qiu Z Q, Yang Y H, Cao X W, et al. Species diversity and floristic characteristics of woody plants in the dry valley of the Bailong River, China [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2007, 42(5): 115-119.
- [2] 李丹春,刘长仲,曹秀文,等.白龙江沙滩公益林保护区不同抚育措施对地表甲虫多样性的影响[J].甘肃农业大学学报,2016,51(4):65-69.
Li D C, Liu C Z, Cao X W, et al. Effect of different intermediate-cutting on ground-dwelling beetle diversity in Bailong River Shatan public welfare forest reserve [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2016, 51(4): 65-69.
- [3] 缪宁.川西亚高山红桦-岷江冷杉天然次生林的空间格局分析[D].北京:中国林业科学研究院,2009.
Miao N. Spatial pattern analysis in a natural secondary *Betula-Abies* forest at subalpine area of Western Sichuan, China [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2009.
- [4] 冯宜明,李毅,曹秀文,等.甘肃南部不同密度云杉人工幼林的林分结构特征及土壤理化性质[J].林业科学,2018,54(10):23-33.
Feng Y M, Li Y, Cao X W, et al. Characteristics of stand structure and soil physicochemical properties of artificial young *Pinus asperata* plantation with different densities in Southern Gansu [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2018, 54(10): 23-33.
- [5] 周霆,盛炜彤.关于我国人工林可持续问题[J].世界林业研究,2008,21(3):49-53.
Zhou T, Sheng W T. On the plantation sustainability in China [J]. World Forestry Research, 2008, 21(3): 49-53.
- [6] 李兴民.白龙江林区典型森林植被土壤养分特征[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
Li X M. Characteristics of soil fertility of typical forests in Bailong River forest range [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2014.
- [7] 王争光.白龙江林区森林资源现状及经营对策[J].甘肃农业大学学报,2000,35(2):206-209.

- Wang Z G. The status and management measures of forest resources in Bailong River forest region [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2000, 35(2): 206-209.
- [8] 马姜明, 刘世荣, 史作民, 等. 川西亚高山暗针叶林恢复过程中岷江冷杉天然更新状况及其影响因子 [J]. 植物生态学报, 2009, 33(4): 646-657.
- Ma J M, Liu S R, Shi Z M, et al. Natural regeneration of *Abies faxoniana* along restoration gradients of subalpine dark coniferous forests in Western Sichuan, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(4): 646-657.
- [9] 孟兆鑫. 川西亚高山森林群落物种多样性与群落结构研究 [J]. 四川农业大学学报, 2007, 25(4): 441-446.
- Meng Z X. A study on community structure and species diversity of subalpine forests in Western Sichuan [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2007, 25(4): 441-446.
- [10] 刘 洋. 川西高山林线交错带与林草交错带地上/地下生物多样性格局 [D]. 成都: 四川农业大学, 2010.
- Liu Y. Pattern of above and below ground biodiversity of alpine timber line ecotone and forest meadow ecotone Western Sichuan [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2010.
- [11] 王 辉, 王新谱, 王建芳. 6 种不同土地利用方式下步甲分布与环境的相关分析 [J]. 草业科学, 2018, 35(11): 2728-2737.
- Wang H, Wang X P, Wang J F. A canonical correspondence analysis of the relationship between ground beetle distribution and environmental factors in six land use types [J]. Pratacutural Science, 2018, 35(11): 2728-2737.
- [12] 高光彩, 付必谦. 步甲作为指示生物的研究进展 [J]. 应用昆虫学报, 2009, 46(2): 216-222.
- Gao G C, Fu B Q. Advances of research on carabid beetles as bioindicators [J]. Chinese Bulletin of Entomology, 2009, 46(2): 216-222.
- [13] 顾 伟, 马 玲, 刘哲强, 等. 凉水自然保护区不同林型地表甲虫物种多样性 [J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(1): 131-135.
- Gu W, Ma L, Liu Z Q, et al. Diversity of ground-dwelling beetle with different forest type in Liangshui nature reserve [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2014, 42(1): 131-135.
- [14] 杭 佳, 石 云, 刘文惠, 等. 宁夏黄土丘陵区不同生态恢复生境地表甲虫多样性 [J]. 生物多样性, 2014, 22(4): 516-526.
- Hang J, Shi Y, Liu W H, et al. Diversity of ground-dwelling beetles in restored habitats in the hill and gully area of loess plateau, Ningxia Hui Autonomous Region [J]. Biodiversity Science, 2014, 22(4): 516-526.
- [15] 贺春霞, 杜沛宜, 于晓东, 等. 大巴山北坡地表甲虫的物种多样性 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1459-1464.
- He C X, Du P Y, Yu X D, et al. Species diversity of ground-dwelling beetles on Northern slope of Daba Mountain, China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(6): 1459-1464.
- [16] Niemel J, Koivula M, Kotze D J. The effects of forestry on carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) in boreal forests [J]. Journal of Insect Conservation, 2007, 11(1): 5-18.
- [17] 王毓森, 张德栋, 陈学林, 等. 人类活动和气候变化对白龙江径流的影响研究 [J]. 地下水, 2018, 193(4): 197-199.
- Wang Y S, Zhang D D, Chen X L, et al. Research on the impact of human activities and climate change on Bailong River runoff [J]. Ground Water, 2018, 193(4): 197-199.
- [18] 车宗菊. 白龙江沙滩林场高山林线主要森林群落结构与数量分布 [J]. 防护林科技, 2019(8): 10-12.
- Che Z J. Main forest population structure and quantitative distribution in alpine forest line of Bailong River Shatan forest farm [J]. Protection Forest Science and Technology, 2019(8): 10-12.
- [19] Baars M A. Catches in pitfall traps in relation to mean densities of carabid beetles [J]. Oecologia, 1979, 41(1): 25-46.
- [20] Martin J E H. The insects and arachnids of Canada (Part 1: Collecting, preparing and preserving insects, mites, and spiders) [J]. Revista Do Instituto De Medicina Tropical De So Paulo, 1978, 34(5): 409-419.
- [21] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I. α 多样性的测度方法(下) [J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 231-239.
- Ma K P, Liu Y M. Measuring method of biodiversity of biological community: I. α measuring diversity method [J]. Biodiversity Science, 1994, 2(3): 231-239.
- [22] 于晓东, 罗天宏, 周红章. 横断山区东部四种林型地表甲虫的物种多样性 [J]. 动物学研究, 2004(1): 7-14.
- Yu X D, Luo T H, Zhou H Z. Species diversity of litter-layer beetles in four forest types in Eastern Hengduan mountain region [J]. Zoological Research, 2004(1): 7-14.
- [23] 姜双林, 陈 杰, 王孜孜, 等. 子午岭不同生境类型青步甲属 (*Chlaenius*) 物种的分布格局研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(9): 59-64.
- Jiang S L, Chen J, Wang M M, et al. Studies on species distribution patterns of *Chlaenius* (Coleoptera: Carabidae) in different habitat types of Ziuling natural secondary forest region [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2012, 40(9): 59-64.
- [24] 于晓东, 周红章, 罗天宏. 神农架保护区大步甲和蛎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 [J]. Biodiversity Science, 2001, 9(3): 214-221.
- [25] Jennings D T, Houseweart M W, Dunn G A. Carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) associated with strip clear cut and dense spruce-fir forests of maine [J]. Coleopt Bull, 1986, 40(3): 251-263.
- [26] Magura T, Tóthmérész B, Elek Z. Diversity and composition of carabids during a forestry cycle [J]. Biodiversity and Conservation, 2003, 12(1): 73-85.
- [27] Magura T, Elek Z, Tóthmérész B. Impacts of non-native spruce reforestation on ground beetles [J]. European Journal of Soil Biology, 2015, 38(3/4): 291-295.

[28] 姜双林,王根旺,周天林. 子午岭林区步甲类群多样性及其与生境的关系 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005,33(10):37-41.
Jiang S L,Wang G W,Zhou T L. The diversity and relationship with habitat of Carabine groups in Ziwuling forest area [J]. Journal of Northwest A&F University (Nat Sci Ed), 2005,33(10):37- 41.

[29] 于晓东, 罗天宏, 杨 建, 等. 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 [J]. 动物学研究, 2006, 27(1):1-11.
Yu X D,Luo T H,Yang J,et al. Diversity of ground-dwelling beetles in larch plantation with different stages of reforestation in Wolong natural reserve [J]. Zoological Research, 2006,27(1):1-11.

[30] Daniel T,Jennings D T,Mark W,et al. Ants (hymenoptera: formicidae) associated with strip-clear cut and dense spruce-fir forests of Maine [J]. The Canadian Entomologist, 1986, 118(1):43-45.

[31] Romero A E,Jávila M. Landscape heterogeneity in relation to variations in epigaecic beetle diversity of a Mediterranean ecosystem;implications for conservation [J]. Biodiversity and Conservation,2000,9(7):985-1005.

[32] Maeto K,Sato S,Miyata H. Species diversity of longicorn beetles in humid warm-temperate forests; the impact of forest management practices on old-growth forest species in South-western Japan [J]. Biodiversity and Conservation, 2002, 11 (11):1919-1937.

[21] Steingraeber D A,Waller D M. Non-stationarity of tree branching patterns and bifurcation ratios [J]. Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences, 1986, 228 (1251): 187-194.

[22] 唐敬超,刘 萍,史作民,等. 南亚热带五种树种幼苗光合特征 [J]. 生态学杂志, 2016,35(9):2341-2347.
Tang J C,Liu P,Shi Z M,et al. Photosynthetic performance of five tree species seedlings in subtropical China [J]. Chinese Journal of Ecology,2016,35(9):2341-2347.

[23] 易伟坚,张海东,叶绍明,等. 光强对格木幼苗生长及光合特性的影响 [J]. 南方林业科学, 2018,46(1):29-32.
Yi W J,Zhang H D,Ye S M,et al. From the effects of light intensity on seedling growth and photosynthetic characteristics of *Erythrophleum fordii* [J]. South of Forestry Science, 2018,46(1):29-32.

[24] 黄玲璞. 光氮互作对格木幼苗生长、生理特性的影响研究 [D]. 南宁:广西大学,2018.
Huang L P. A research on interaction of light and nitrogen on *Erythrophleum fordii* Oliv. seedlings [D]. Nanning:Guangxi University,2018.

[25] 符气浩. 防护林带下插种树种:格木 [J]. 热带农业科学, 1980 (3):47-48.
Fu Q H. Planting tree species under shelterbelt:*Erythrophleum fordii* [J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 1980 (3):47-48.

[26] Madsen P,Larsen J B. Natural regeneration of beech (*Fagus sylvatica* L.) with respect to canopy density, soil moisture and soil carbon content [J]. Forest Ecology and Management, 1997,97(2):103-113.

[27] 庞圣江,张 培,杨保国,等. 林隙大小对土沉香人工更新幼树生长发育的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020,48(4):83-88.
Pang S J,Zhang P,Yang B G,et al. Effects of gap size on the growth of transplanted saplings of *Aquilaria sinensis* [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2020,48(4):83-88.

(上接第 46 页)