

6种人工针叶幼林下地表苔藓植物层片的物种多样性与结构特征

雷波¹ 包维楷^{1*} 贾渝²

(1 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041) (2 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

摘要 为了评估人工林苔藓植物发育状况, 同时为人工林生态功能评价提供依据, 采用样地取样方法, 调查分析了岷江上游大沟流域6种人工幼龄针叶林(川西云杉 *Picea balfouriana* 林、日本落叶松 *Larix kaempferi* 林、油松 *Pinus tabulaeformis* 林、华山松 *Pinus armandii* 林、油松-华山松混交林和川西云杉-华山松混交林)林下地表苔藓植物层片物种组成、多样性以及结构特征及其异同。6种人工林下共发现了19种苔藓, 各林下组成数量在7~13种。除云杉林外, 纯林下苔藓种数均小于或者等于混交林下, 6种人工林下地表苔藓植物平均盖度、平均密度、平均厚度分别在 $0.41\% \pm 1.49\% \sim 17.79\% \pm 1.67\%$ 、 $(27.99 \pm 367.95) \sim (3\ 807.11 \pm 412.90)$ 株·m⁻²和 $(1.80 \pm 1.51) \sim (19.89 \pm 1.69)$ mm之间。无论是多样性指数, 还是结构参数, 均以川西云杉林最高, 而华山松林最低。总体说来, 岷江上游人工针叶幼林下地表苔藓组成物种较少, 物种多样性指数(物种丰富度指数、Shannon-Wiener指数)低、Simpson指数高、结构参数(密度、盖度、厚度)较小, 说明林下地表苔藓植物组成单一、结构相当简单, 发育不良。综合分析表明, 具有相对较低林冠郁闭度与林木密度的云杉林是6类人工林中恢复状况相对最好的类型, 暗示出疏伐、修枝等管理措施可促进人工密林下地表苔藓植物生物多样性以及地表苔藓植物层片结构的改善。

关键词 苔藓物种组成 生物多样性 人工林 层片结构 生态恢复

GROUND BRYOPHYTE COMPOSITION AND SYNUSIA STRUCTURE UNDER SIX TYPES OF YOUNG CONIFEROUS FOREST PLANTATIONS IN THE UPPER MINJIANG RIVER

LEI Bo¹ BAO Wei-Kai^{1*} and JIA Yu²

(1 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

(2 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

Abstract Bryophytes on the ground under six types of artificial forests, *Picea balfouriana* forest (P), *Pinus tabulaeformis* forest (Y), *Pinus armandii* forest (H), *Larix kaempferi* forest (L), *Picea balfouriana*-*Pinus tabulaeformis* forest (P-Y) and *Pinus tabulaeformis*-*Pinus armandii* forest (Y-H), were investigated in the upper Minjiang River in order to understand the bryophyte composition and synusia structure of these different forest types. In the 19 bryophyte species identified, only 13, 10, 7, 11, 9 and 10 species were present in the P, L, H, Y-H, Y and P-H forests, respectively. Four mosses, *Brachythecium glaciale*, *Thuidium cymbifolium*, *Entodon concinnus* and *Eurhynchium savatieri*, were common in all six plantations. Another three mosses, *Entodon macropodus*, *Mnium spinosum* and *Polytrichum formosum*, occurred only in the *Picea balfouriana* forest. The highest frequency of bryophyte occurrence was under the P forest (90%) and the lowest frequency under the H forest (17.65%). *Thuidium cymbifolium* had the highest frequency (60%) of all species under the P forest, and the second was *Brachythecium glaciale* (50%). The predominant species, based on the importance value, was *Thuidium cymbifolium* under the P forest and *Brachythecium glaciale*, occurred under the other five plantations, which indicated that *Brachythecium glaciale* was the most common moss species in the study area.

In all forests, the P forest had the highest bryophyte diversity (Shannon-Wiener index, species richness index) and the H forest had the lowest diversity. The lowest Simpson index was calculated for the H forest and the highest one for the P forest. The highest similarity index (Sorensen similarity) occurred between the H and Y forests (0.89) and the lowest similarity index between the P and H forests (0.40).

The greatest percent coverage ($17.79\% \pm 1.67\%$), shoot density ($(3\ 807.11 \pm 412.90)$ shoots·m⁻²) and thickness ((19.89 ± 1.69) mm) of bryophytes occurred under the P forest, and the lowest values

($0.41\% \pm 1.49\%$, (27.99 ± 367.95) shoots \cdot m⁻², and (1.80 ± 1.51) mm, respectively) under the H forest. For the Y, L, Y-H and P-H forests, ground bryophyte cover was $5.20\% \pm 1.58\%$, $2.44\% \pm 1.58\%$, $2.73\% \pm 1.61\%$, and $2.71\% \pm 1.61\%$, respectively, shoot density was (623.08 ± 391.71), (566.13 ± 391.71), (253.38 ± 398.41), and (188.69 ± 398.41) shoots \cdot m⁻², respectively, and average bryophyte thickness was (9.60 ± 1.61), (14.93 ± 1.61), (9.59 ± 1.63), and (6.69 ± 1.63) mm, respectively. No statistical differences ($p < 0.05$) were found in any of these measures among the Y, L, Y-H and P-H forests.

The low bryophyte diversity and limited structure development (density, coverage, thickness) found under all six plantations indicate that, in general, these are poorly developed bryophyte communities. Our results show that the best bryophyte community have developed under the spruce forest with a relatively open canopy and low tree density. Our results suggest that tree thinning or canopy pruning would be an effective measure for improving bryophyte development under dense forests.

Key words Bryophyte composition, Biological diversity, Synusia structure, Plantations, Ecological restoration

近五十年大规模的森林采伐致使川西亚高山针叶林遭到严重破坏,形成大面积的迹地灌丛(四川植被协作组,1980;四川森林编辑委员会,1992;杨玉坡等,1994;刘照光等,1995;王金锡等,1995)。人工林重建是最常见的林业实践,并已成为亚高山针叶林恢复重建最可靠而有效的途径(四川森林编辑委员会,1992;杨玉坡等,1994;刘照光等,1995;王金锡等,1995)。截至2000年,川西地区郁闭成林的人工林面积达到73万公顷,蓄积量达到3051万立方米,成为川西林区主要的后备森林资源(刘兴良等,2003)。随着天然林保护工程和退耕还林工程的深化,人工林面积正不断扩大,正在成为青藏高原东部(川西、滇西北、藏东等)林区森林资源的主体,它们在水源涵养和水土保持中已经发挥了重要作用。虽然对川西人工林林木生长过程、生物量与生产力、元素循环等已有较多的研究,但很少涉及人工林下地被层物种多样性与结构的深入研究(包维楷等,2002;刘兴良等,2003)。人工重建不仅直接改变了林下物种组成和生物多样性,也通过环境变化影响了生物多样性的变化(Thompson,1994;Chapin III *et al.*,1998)。人工林内生物多样性的维持、恢复和增加已成为人工林经营管理广为接受的目标之一(徐化成,1991;刘照光等,1995;杨承栋等,1995;Spellerberg & Sawyer,1996)。揭示人工林下物种组成与结构不仅是评估人工林生态功能的一个重要途径,也是评判人工林生态功能恢复效果一个必要的手段,可为人工林合理管理与林分结构优化调控、完善人工林恢复重建方法、人工林生物多样性保护和恢复提供依据。

苔藓植物是森林生态系统的重要组分,在森林动态变化过程中扮演着不可替代的作用。但是苔藓植物个体相对较小,传统上缺乏广泛的经济价值,很

少成为人们关注的焦点,其相关生态研究相当薄弱。一些研究已经表明,苔藓植物在森林生态系统中特别是北方森林生态系统中扮演了至关重要的角色(Bisbee *et al.*,2001;McCune & Antos,1981;Pharo *et al.*,2000;Longton,1992;Nakamura,1984;Vitt *et al.*,1995)。在我国高山、亚高山针叶林下苔藓植物常成为地表的优势层片(四川植被协作组,1980;四川森林编辑委员会,1992;白学良等,1998;包维楷等,2002)。揭示林下苔藓植物多样性组成与结构对于阐明苔藓植物在生态系统中的作用有重要意义。有很多研究涉及原始林与自然林下的苔藓植物组成、结构及其与林下微生境的关系(Vanderpooren *et al.*,2001;Rees & Juday,2002;白学良等,1998;郭水良等,1999;Humphrey *et al.*,2002;Roberts & Zhu,2002),但很少涉及人工林(Vellack & Paal,1999;Humphrey *et al.*,2002),而国内还缺乏相关研究。本文选择岷江上游相似气候、土壤与造林条件下的6种人工针叶幼林为研究对象,目的是调查林下地表苔藓物种组成和结构,比较不同人工林下的苔藓物种组成和结构特征及其差异,评价人工林下苔藓植物发育状况,为人工林生态功能恢复评价提供依据。

1 研究地点和研究方法

1.1 研究区自然概况

研究地点设在中国科学院成都生物研究所茂县山地生态系统定位站所在的大沟流域,距离四川省会成都约210 km,行政上属四川省阿坝藏族羌族自治州茂县凤仪镇静州村,地理坐标为 $31^{\circ}24' \sim 32^{\circ}17' N$, $102^{\circ}56' \sim 104^{\circ}10' E$ 。该区地处青藏高原高山峡谷区向四川盆周山地过渡区,地带性植被为针阔混交林(四川植被协作组,1980)。由于长期破坏,形成大面积次生灌丛,从20世纪80年代中期开始,大沟流

域作为水源涵养水土保持林建设示范区,开始了大规模的人工造林,目前大沟流域森林植被覆盖率已经从过去的 12% 达到目前的 48%。主要的人工林类型为针叶林,局部地段有少量阔叶林和针阔混交林,林龄一般在 20~30 年之间。优势树种包括川西云杉(*Picea balfouriana*)、粗枝云杉(*Picea asterata*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、华山松(*Pinus armandii*)、日本落叶松(*Larix kaempferi*)、红桦(*Betula albo-sinensis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、杨树(*Populus* spp.)、多种槭树(*Acer* spp.)等。该区土壤以暗棕壤、褐土、棕壤为主。气候具有干燥多风,冬冷夏凉、昼夜温差大等特点。根据茂县山地生态系统定位站(海拔 1 820 m)1988~1990 年气象观测的 3 年资料统计,该地段

$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的年活动积温为 2 635.1 $^{\circ}\text{C}$,年平均温度 8.9 $^{\circ}\text{C}$,年降水量 945.3 mm,年蒸发量为 842.6 mm,年日照时数 1 139.8 h(包维楷等,1998)。

1.2 样地的选取和数据的收集

为了排除地形条件对研究结果的影响,并充分考虑调查林分环境条件相近的原则,选取地形条件(坡度、坡向、坡位)基本一致或相似的 6 种人工林类型作为调查对象:油松林(Y)、华山松林(H)、日本落叶松林(L)、云杉林(P)、油松-华山松混交林(Y-H)、云杉-华山松混交林(P-H),这 6 种人工林分布在海拔 1 850~2 100 m 左右。林分基本情况如表 1 所示。

表 1 岷江上游 6 种人工林分基本结构特征
Table 1 Fundamental structure parameters of six types of artificial coniferous forests in the upper Minjiang River

	Y	H	L	P	Y-H	P-H
平均树高 Average tree height (m)	7	8	10	10	8	12
平均胸围径 Diameter in breast height (cm)	30	30	35	45	30	50
郁闭度 Canopy closure (%)	69	93	73	59	63	86
林分密度 Stand density (shoot $\cdot\text{hm}^{-2}$)	6 300	7 000	1 500	2 400	2 500	3 000
枯枝层盖度 Litter cover (%)	84.67	96.20	83.83	67.83	73.87	84.17

Y 油松林 *Pinus tabulaeformis* forest H 华山松林 *Pinus armandii* forest L 日本落叶松林 *Larix kaempferi* forest P 云杉林 *Picea balfouriana* forest
Y-H 油松-华山松混交林 *Pinus tabulaeformis*-*Pinus armandii* mixed forest P-H 云杉-华山松混交林 *Picea balfouriana*-*Pinus armandii* mixed forest

在每一人工林地表,用机械布点法进行样方调查。沿等高线每隔 5 m 拉 20 m \times 2 m 的样条,在每一样条上,均匀地每隔 5 m,调查一个大小为 50 cm \times 50 cm 的样方,小样方的四个角用木桩定位,用筛网(每个网格约为 1 cm \times 1 cm,筛网总共约 2 500 个网格)覆盖地表。首先记录小样方中苔藓植物的种数,计测整个苔藓层在网格线交叉处出现的次数,从而计算出样方内苔藓总盖度(%);然后记录相同种类的苔藓物种在网格线交叉处出现的次数,用于计算每个苔藓物种的盖度(%)。取走网筛,测量苔藓层厚度(精度为 mm),5 次重复,计算平均厚度(mm)。最后将所有苔藓装入塑料袋中,带回室内计数每种苔藓植物的个体数(每个克隆株为 1 个体),最后换算为密度(株 $\cdot\text{m}^{-2}$)。每一人工林调查了 30 个样方,6 种人工林共调查了 180 个样方。调查完后采集出现过的苔藓标本,在室内鉴定到种,所有标本存于中国科学院成都生物所标本馆,备查。

1.3 数据处理与分析

根据调查结果,分析不同林下苔藓层片的物种组成和结构特征。统计每一人工林下苔藓植物物种组成及其物种数、出现的频度(%)、盖度(%)、多度、

密度(株 $\cdot\text{m}^{-2}$)、平均厚度(mm),根据公式 $Iv = (Dr + Pr + Fr) / 3$ (其中, Iv :重要值; Dr :相对多度; Pr :相对盖度; Fr :相对频度),计算每一人工林每种苔藓的重要值,采用广泛使用的多样性测度指数 Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和物种丰富度(每个样方的种数),比较和评价 α 多样性差异。Shannon-Wiener 指数计算公式为 $H' = - \sum P_i \log P_i$; Simpson 优势度指数计算公式为 $\lambda = \sum P_i^2$ (其中 P_i 为重要值)(Whittaker, 1975; Magurran, 1988)。每一人工林的丰富度指数和结构参数(密度、盖度、厚度)进行了方差检验(ANOVA)和差异显著性检验($p = 0.05$ 水平)。

2 结果分析

2.1 物种组成及其差异

6 种人工林下地表苔藓植物组成如表 2 所示。6 种人工林下地表共出现苔藓植物 19 种,各人工林下总的物种组成数量在 7~13 种之间变化,类型间有差异。云杉林、油松与华山松混交林、云杉与华山松混交林、落叶松林、油松林和华山松林下地表苔藓植物各有 13、11、10、10、9 和 7 种。云杉林下的苔藓

物种数最多, 华山松林最少。除云杉林外, 纯林下苔藓植物的物种数都小于或者等于混交林下。

从物种组成来看, 冰川青藓 (*Brachythecium glaciale*)、大羽藓 (*Thuidium cymbifolium*)、厚角绢藓 (*Entodon concinnus*)、密叶美喙藓 (*Eurhynchium savatieri*) 为 6 种人工林下共存种, 说明这 4 种苔藓是大沟流域地区人工林下常见种。长柄绢藓 (*Entodon macropodus*)、刺叶提灯藓 (*Mnium spinosum*)、拟金发藓 (*Polytrichum formosum*) 只在云杉林下出现, 未知藓、未知提灯藓只在油松与华山松混交林下出现 (表 2)。

6 种人工林下苔藓物种的相对重要值如表 2 所示。如果以 15% 作为优势物种判定标准, 我们发现, 油松林下优势苔藓物种为冰川青藓和厚角绢藓; 华山松林下优势苔藓物种为冰川青藓、小酸土藓 (*Oxystegus cuspidatus*) 和大羽藓; 落叶松林下优势苔藓物种为冰川青藓和密叶美喙藓; 云杉林下优势苔藓物种为大羽藓、尖叶匐灯藓 (*Plagiomnium acutum*) 和阔边大叶藓 (*Rhodobryum laxelimbatum*); 油松-华

山松混交林优势苔藓物种为冰川青藓, 云杉-华山松混交林优势苔藓物种为冰川青藓和长肋青藓 (*Brachythecium populeum*)。

云杉林下第一优势种为大羽藓, 其它人工林下都以冰川青藓为第一优势种, 其相对重要值远远高于林下其它苔藓物种。总的来讲, 冰川青藓是大沟流域人工林下目前最优势的藓种。

2.2 Alpha 多样性指数及其差异

6 种人工林下苔藓植物丰富度指数如图 1A 所示。川西云杉林下地表苔藓植物丰富度指数最高, 而华山松林下最小, 其它人工林类型相互之间苔藓物种丰富度指数没有统计学上的差异。从 Shannon-Wiener 指数来看, 除油松林略小于油松与华山松混交林外, 人工纯林下的苔藓植物物种多样性普遍高于混交林。不同人工林下苔藓植物的 Shannon-Wiener 指数排序为, 云杉林 > 落叶松林 > 华山松林 > 油松和华山松混交林 > 油松林 > 云杉和华山松混交林 (表 3)。从 Simpson 优势度指数 (表 3) 可以看出, 与 Shannon-Wiener 指数相反, 云杉林下的最低。

表 2 岷江上游 6 种人工林下苔藓植物组成及其重要值指数 (%)

Table 2 Composition and importance value indexes (%) of bryophytes on ground under six types of artificial forests in the upper Minjiang River

	Y	H	L	P	Y-H	P-H
冰川青藓 <i>Brachythecium glaciale</i>	45.38	40.22	39.36	10.74	51.44	58.06
大羽藓 <i>Thuidium cymbifolium</i>	3.42	15.03	2.12	20.12	1.57	6.04
厚角绢藓 <i>Entodon concinnus</i>	31.68	3.51	6.16	1.92	1.48	0.82
密叶美喙藓 <i>Eurhynchium savatieri</i>	5.58	8.16	15.77	3.68	12.21	2.98
扭尖美喙藓 <i>Eurhynchium laxiote</i>	0.99	13.8	-	1.98	-	-
小酸土藓 <i>Oxystegus cuspidatus</i>	2.47	21.61	2.5	-	-	3.45
长肋青藓 <i>Brachythecium populeum</i>	1.81	-	7.45	-	-	15.33
钝叶光萼苔 <i>Porella obtusata</i>	2.46	-	-	1.98	-	10
尖叶匐灯藓 <i>Plagiomnium acutum</i>	-	-	2.32	19.97	8.56	-
狭边大叶藓 <i>Rhodobryum ontariense</i>	-	-	6.03	3.35	1.59	-
长叶曲尾藓 <i>Dicranum elongatum</i>	-	-	-	-	1.11	-
阔边大叶藓 <i>Rhodobryum laxelimbatum</i>	-	-	-	15	12.9	5.31
拟金发藓 <i>Polytrichum formosum</i>	-	-	-	0.83	-	-
刺叶提灯藓 <i>Mnium spinosum</i>	-	-	-	9.54	-	-
长柄绢藓 <i>Entodon macropodus</i>	-	-	-	9.14	-	-
羽藓属未知种 <i>Thuidium sp.</i>	6.71	9.78	2.27	-	-	0.76
未知苔 Unknown hepaticae	-	-	1.99	1.86	1.71	6.24
未知藓 Unknown moss	-	-	-	-	2.48	-
提灯藓 <i>Mnium sp.</i>	-	-	-	-	4.97	-

- 代表没有出现 Represent no appearance Y, H, L, P, Y-H, P-H: 同表 1 See Table 1

表 3 6 种人工林下苔藓植物 α 多样性指数

Table 3 Alpha diversity indexes of bryophyte under six types of artificial forests

Shannon-Wiener 指数 Shannon's index	0.643 3	0.783 9	0.811 9	0.951 4	0.706 7	0.627 6
Simpson 指数 Simpson index	0.316 7	0.267 6	0.248 6	0.135 6	0.307 7	0.373 5

2.3 结构特征

从各林下地表苔藓植物出现频率来看,云杉林下最高,90%的样方发现了苔藓植物,华山松林下苔藓植物出现频率最低,仅17.65%,远不及其它几种人工林。油松林下、日本落叶松林下、油松-华山松混交林以及川西云杉-华山松混交林地表苔藓植物出现频率分别为86.67%、80%、63.33%和80%。

从苔藓植物种类在各人工林下发生频率来看,云杉林下大羽藓出现频率最大,为60%,略大于冰川青藓(50%);而其它各人工林下冰川青藓的出现频率均最高。除由于华山松林下苔藓出现的频率小,仅11.76%外,在其它人工林下均在50%以上,进一步说明冰川青藓在大沟流域人工林下的常见性。厚角绢藓在油松林下出现频率最高,为33.33%,而阔边大叶藓、密叶美喙藓在川西云杉林下出现的频率仅次于大羽藓、冰川青藓,分别为36.7%和33.33%。

人工林下地表苔藓植物平均盖度(平均值 \pm 标准误差;下同)在0.41% \pm 1.49%~17.79% \pm 1.67%之间。其中云杉林下的平均盖度值最大,17.79% \pm 1.67%;而华山松林下的最小,0.41% \pm 1.49%。油松林、日本落叶松林、油松-华山松混交林以及云杉-华山松混交林下的地表苔藓植物盖度分别5.20% \pm 1.58%、2.44% \pm 1.58%、2.73% \pm 1.61%和2.71% \pm 1.61%。川西云杉人工林下地表苔藓植物盖度比其它大,最小的仍然是华山松人工林下,落叶松人工林与其它两种混交林下的苔藓植物盖度没有表现出统计意义上的差异($p < 0.05$) (图1B)。

人工林下地表苔藓植物平均密度在(27.99 \pm 367.95)~(3807.11 \pm 412.90)株 \cdot m⁻²之间,其中云杉林下平均密度值也是最大(3807.11 \pm 412.90)株 \cdot m⁻²,而华山松林下最小(27.99 \pm 367.95)株 \cdot m⁻²,油松林、日本落叶松林、油松-华山松混交林以及云杉-华山松混交林下的地表苔藓植物密度分别(623.08 \pm 391.71)株 \cdot m⁻²、(566.13 \pm 391.71)株 \cdot m⁻²、(253.38 \pm 398.41)株 \cdot m⁻²和188.69 \pm 398.41株 \cdot m⁻²。除云杉林下外,华山松林下与其它人工林下的地表苔藓植物密度没有统计学差异($p < 0.05$) (图1C)。

6种人工林下地表苔藓植物层片平均厚度在((1.80 \pm 1.51)~(19.89 \pm 1.69)mm)之间,其中云杉林下平均厚度值最大,为(19.89 \pm 1.69)mm,其次是日本落叶松林下的,为(14.93 \pm 1.61)mm,而华山松

林下的最小,为(1.80 \pm 1.51)mm,油松林、油松-华山松混交林以及云杉-华山松混交林下的地表苔藓植物厚度分别为(9.60 \pm 1.61)mm、(9.59 \pm 1.63)mm和(6.69 \pm 1.63)mm,相互间也没有统计意义上的差异($p < 0.05$) (图1D)。

3 讨论与结论

6种人工林下共发现地表苔藓植物19种,但不同人工林下物种数7~13种,相互之间生物多样性指数也表现出一定的差异性,其中华山松林下地表苔藓植物多样性最低,而云杉林下苔藓植物多样性最高。其它4类人工林下苔藓群落多样性具有较高相似性。从地表层片结构参数(密度、盖度、厚度)来看,云杉林最好,但与有限的人工林研究结果(Humphrey *et al.*, 2002)比较来看,岷江上游的人工林下地表苔藓物种数非常低,结构相当简单,苔藓发育不良。

人工林下苔藓物种丰富度常比自然林和老龄林低,因为人工林下生境异质性低,生境单一(如缺乏倒木、林窗),生境质量差(Vellack & Paal, 1999; Humphrey *et al.*, 2002)。6种人工林树种组成单一,具有很高的林木密度和郁闭度,导致生境单一,限制了苔藓植物层的发育,成为林下苔藓植物组成相对简单、多样性低、层片盖度和密度较小的根本原因(Holz *et al.*, 2002)。本研究的人工林林龄小,处于森林的早期阶段,林下微环境尚处于恢复阶段,环境的不稳定性影响了苔藓植物的生长、繁殖和自然更新,也应该是一个重要原因。可以预见,随着人工林的发育和林下环境的逐步恢复和改善,地表苔藓植物组成和结构肯定会有大大改善。

苔藓植物是原始森林生态系统多样性的重要成分,苔藓层片结构和物种多样性直接体现了森林生态系统结构状况以及林下环境的“自然”性(Humphrey *et al.*, 2002)因此,苔藓植物发育程度对森林生态系统健康有指示作用,苔藓植物物种组成与结构可以作为森林环境恢复状况以及森林健康状况评价的重要指标。促进地表苔藓植物的良好发育必然大大提高森林生态系统的物种多样性以及生态服务功能(如水土保持、利用环境资源的能力、C储量)的改善与系统稳定性的增强。虽然我们调查的6种人工林下地表苔藓植物发育并不好,与相对稳定的天然林、老龄人工林和半自然林还有很大的差别(Ohlson *et al.*, 1997; Rees & Juday, 2002; Humphrey *et al.*, 2002; 包维楷等, 2002),但就6种人工林来看,

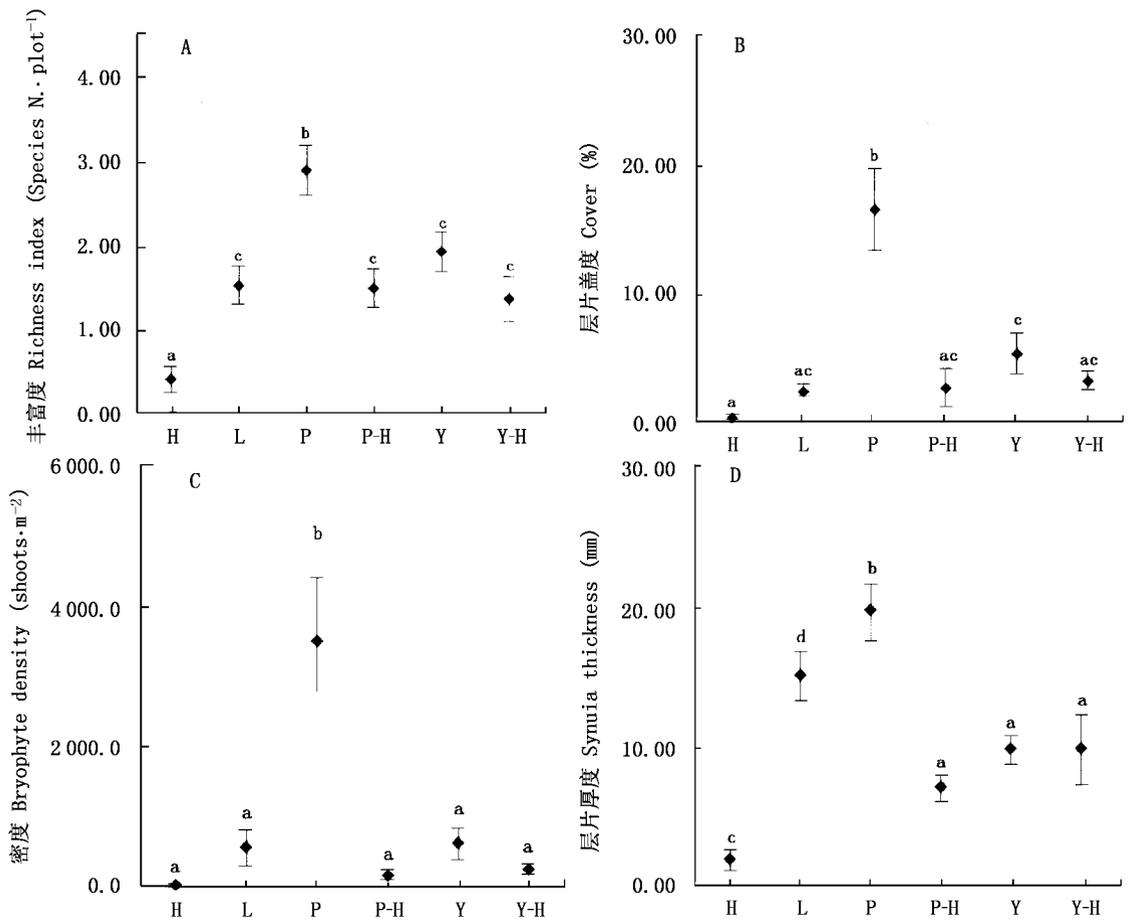


图 1 6 种人工林下地表苔藓物种丰富度指数与层片结构

Fig. 1 Differentiation of structure parameters and species richness index of bryophyte population under six typical artificial forests
小写字母不同指示差异性明显 ($p < 0.05$) Different letters indicate significant difference in 0.05 level H, L, P, P-H, Y, Y-H: 同表 1 See Table 1

云杉林下地表苔藓植物组成、多样性以及结构指数(图 1)相对最高,苔藓植物发育最好,林内环境更稳定,应该是 6 种人工林中恢复状况相对最好的类型,这与该林分相对较低的郁闭度、相对较小的立木密度、相对较低的凋落物盖度(表 1)直接相关。这表明,疏伐、修枝等措施能促进人工密林地表苔藓植物多样性恢复和层片结构的改善,从而可促进森林生态系统功能的恢复。

参 考 文 献

- Bai, X. L. (白学良), L. M. Zhao (赵连梅), W. Sun (孙维) & W. G. Sun (孙卫国). 1998. A preliminary study on the species diversity, phytomass and ecological effect of bryophytes in Helan Mountain, China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol* (内蒙古大学学报(自然科学版)), **29**: 90 ~ 98. (in Chinese with English abstract)
- Bao, W. K. (包维楷), Y. K. Qiao (乔永康) & N. B. Qian (钱能斌). 1998. Evaluation of afforestation technology with strip clearing shrubs in slope land. *Eco-Agriculture Research* (生态农业研究), **6**(2): 44 ~ 47. (in Chinese with English abstract)
- Bao, W. K. (包维楷), Y. L. Zhang (张镜铨), Q. Wang (王乾), W. Q. Bai (摆万奇) & D. Zheng (郑度). 2002. Plant diversity along a time sequence of artificial forest rehabilitation on subalpine cut land in the eastern Qinghai-Tibetan plateau. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **26**: 330 ~ 338. (in Chinese with English abstract)
- Bisbee, K. B., S. T. Gower, J. M. Norman & E. N. Norman. 2001. Environmental controls on ground cover species composition and productivity in a boreal black spruce forest. *Oecologia*, **129**: 261 ~ 270.
- Chapin III, F. S., O. E. Sala, I. C. Burke, J. P. Grime, D. U. Hooper, W. K. Lauenroth, A. Lombard, H. A. Mooney, S. Naeem, S. W. Pacala, J. Roy, W. L. Steffen & D. Tilman. 1998. Ecosystem consequences of changing biodiversity. *BioScience*, **48**: 45 ~ 52.
- Guo, S. L. (郭水良), S. J. Han (韩士杰) & T. Cao (曹同). 1999. Indicative value of bryophytes on forest eco-boundary. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **10**: 1 ~ 6. (in Chinese with English abstract)
- Holz, I., S. R. Gradstein & J. Heinrichs. 2002. Bryophyte diversity, microhabitats differentiation, and distribution of life forms in Costa Rican Upper montane *Quercus* forest. *The Bryologist*, **105**: 334 ~ 348.
- Humphrey, J. W., S. Daveyb, A. J. Peacec, R. Ferrisc & K. Harding. 2002. Lichens and bryophyte communities of planted

- and semi-natural forests in Britain: the influence of site type, stand structure and deadwood. *Biological Conservation*, **107**:165 ~ 180.
- Liu, X. L. (刘兴良), M. Wang (汪明), Y. M. Su (宿以明), F. He (何飞), Q. Y. Ma (马钦彦), H. C. Liang (梁罕超), Y. P. Yang (杨玉坡) & W. X. Yan (鄢武先). 2003. Studies on population ecology of the plantation in alpine forest regions of western Sichuan: population structure. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology (四川林业科技)*, **24** (3):1 ~ 9. (in Chinese with English abstract)
- Liu, Z. G. (刘照光) & Q. H. Chen (陈庆恒). 1995. Degradation of forest ecosystems and combating measures in the sub-alpine region of southwestern China. In: Chen, L. Z. (陈灵芝) & W. L. Chen (陈伟烈) eds. *Degradation ecosystem research in China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 165 ~ 185. (in Chinese)
- Longton, R. E. 1992. The role of bryophytes and lichens in terrestrial ecosystems. In: Bates, J. W. & A. W. Farmer eds. *Bryophytes and lichens in a changing environment*. Oxford: Clarendon Press. 77 ~ 102.
- Magurran, A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton: Princeton University Press.
- McCune, B. & J. A. Antos. 1981. Correlations between forest layers in the Swan Valley, Montana. *Ecology*, **62**:1196 ~ 1204.
- Nakamura, T. 1984. Development of terricolous moss communities in subalpine coniferous forests of Mt. Fuji. *Journal of Hattori Botanical Laboratory*, **56**:65 ~ 77.
- Ohlson, M., L. Söderström, G. Hörnberg, O. Zackrisson & J. Hermansson. 1997. Habitat qualities versus long-term continuity as determinants of biodiversity boreal old-growth swamp forests. *Biological Conservation*, **81**:21 ~ 231.
- Pharo, E. J., A. J. Beattie & R. L. Pressey. 2000. Effectiveness of using vascular plants to select reserves for bryophytes and lichens. *Biological Conservation*, **96**:371 ~ 378.
- Rees, D. C. & P. G. Juday. 2002. Plant species diversity on logged versus burned sites central Alaska. *Forest Ecology and Management*, **155**:291 ~ 302.
- Roberts, R. M. & L. X. Zhu. 2002. Early response of the herbaceous layer to harvesting in a mixed coniferous-deciduous forest in New Brunswick, Canada. *Forest Ecology and Management*, **155**:17 ~ 31.
- Sichuan Collaboration Group of Vegetation Research (四川植被协作组). 1980. *Sichuan vegetation*. Chengdu: Sichuan People's Publishing House. (in Chinese)
- Spellerberg, I. F. & J. W. D. Sawyer. 1996. Standards for biodiversity: a proposal based on biodiversity standards for forest plantations. *Biodiversity and Conservation*, **5**: 447 ~ 459.
- The Editorial Board of Forests in Sichuan (四川森林编辑委员会). 1992. *Forests in Sichuan*. Beijing: China Forestry Publishing House. (in Chinese)
- Thompson, K. 1994. Predicating the fate of temperate species in response to human disturbance and global change. In: Boyle, T. J. B. & C. E. B. Boyle eds. *Biodiversity, temperate ecosystems, and global change*. Heidelberg: Springer-Verlag. 61 ~ 76.
- Vanderpooren, A., A. Sotiaux & O. Sotiaux. 2001. Integrating bryophytes into a forest management plan: lessons from grid-mapping in the forest of Soignes (Belgium). *Cryptogamie Bryophyte*, **22**:217 ~ 230.
- Vellak, K. & J. Paal. 1999. Diversity of bryophyte vegetation in some forest types in Estonia: a comparison of old unmanaged and managed forests. *Biodiversity and Conservation*, **8**: 1595 ~ 1620.
- Vitt, D. H., Y. Li & R. J. Belland. 1995. Patterns of bryophyte diversity in peatlands of continental western Canada. *The Bryologist*, **98**:218 ~ 227.
- Wang, J. X. (王金锡), J. D. Xu (许金铎), G. W. Hou (侯广维), J. B. Liu (刘建邦), J. T. Pan (潘家泰), L. X. Shi (史立新) & G. Y. Liao (廖光瑶). 1995. Ecology and regeneration of cutted blank in alpine and plateau region of the upper reach of Yangtze River. Beijing: China Forestry Publishing House. (in Chinese with English abstract)
- Whittaker, R. H. 1975. *Communities and ecotystem*. 2nd ed. New York: Macmillan.
- Xu, H. C. (徐化成). 1991. Comparison and evaluation of natural and artificial forests. *World Forestry Research (世界林业研究)*, **4** (3):50 ~ 55. (in Chinese)
- Yang, C. D. (杨承栋), R. Z. Jiao (焦如珍), X. N. Tu (屠星南), Z. L. Chen (陈仲庐) & Y. Q. Xiong (熊有强). 1995. Developing undergrowth vegetation is an important way to recover soil fertility of Chinese fir plantation. *Scientia Silvae Sinicae (林业科学)*, **32**:275 ~ 283. (in Chinese with English Abstract)
- Yang, Y. P. (杨玉坡) & D. Z. Zhou (周得彰). 1994. Changes in ecological factors and management technologies on alpine forest cutting blanks in western Sichuan. In: Zhou, X. F. (周晓峰) ed. *Fixed research on forest ecosystems in China*. Harbin: Northeast Forestry University Press. 772 ~ 780. (in Chinese with English abstract)