

六种人工针叶幼林下地表苔藓植物生物量与碳贮量*

包维楷** 雷波 冷俐

(中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

【摘要】 调查了岷江上游6种人工针叶幼林(油松林、华山松林、日本落叶松林、云杉林、油松-华山松混交林和云杉-华山松混交林)下地表苔藓植物生物量,测定了C含量并估计了林分地表苔藓植物C贮量,比较分析了它们的差异性.结果表明,6种人工针叶幼林下地表苔藓植物总生物量在 $3.11 \sim 460.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,而平均C含量在 $37.44 \pm 0.21\% \sim 35.95 \pm 0.70\%$ 之间,总C贮量在 $1.12 \pm 0.03 \sim 168.95 \pm 0.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,但在样方水平上只有云杉林地地表苔藓植物生物量与其它林型间差异明显,落叶松林下C含量与其它差异明显($P < 0.05$).6种人工林类型中,云杉林地地表苔藓植物总生物量和C贮量最高,华山松林下最低.综合分析表明,样方调查数量与布局对生物量取样精度有重要影响,岷江上游人工林下地表苔藓植物生物量与C贮量较低,林分类型与林分特征有重要影响,而疏伐、修枝等措施是改善人工密林下地表苔藓植物发育,增加生物量与C贮量的有效管理措施.

关键词 人工林 苔藓植物生物量 碳储量 生态恢复

文章编号 1001-9332(2005)10-1817-05 **中图分类号** Q949.35 **文献标识码** A

Biomass and carbon storage of ground bryophytes under six types of young coniferous forest plantations. BAO Weikai, LEI Bo, LENG Li (*Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, 16(10): 1817~1821.

This paper studied the biomass and carbon storage of the ground bryophytes under young *Picea balfouriana* (P), *Pinus tabulaeformis* (Y), *Pinus armandii* (H), *Larix kaempferi* (L), *Picea balfouriana*-*Pinus tabulaeformis* (P-Y), and *Pinus tabulaeformis*-*Pinus armandii* (Y-H) forest plantations in the upper reach of Minjiang River, Sichuan Province. The results showed that total biomass and carbon storage of ground bryophytes were relatively low, being $3.11 \sim 460.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $1.12 \pm 0.03 \sim 168.95 \pm 0.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. On plot level, only the bryophyte biomass between forest P and others, and the carbon storage between forest L and others were significantly different. The ground bryophyte had the highest biomass and carbon storage under forest P, while the lowest ones under forest H. Comprehensive analysis suggested that forest type and its structural feature might be the important factors determining the biomass and carbon storage of ground bryophytes, and thinning was an important measure to improve ground bryophyte growth and biomass production.

Key words Artificial forest, Bryophyte biomass, Carbon storage, Ecological restoration.

1 引言

苔藓植物生物学、生态学特性独特,一般植株矮小,大多生长于弱光、高湿或干旱、低温、贫养等生境中,植物组织结构简单,不具备发达的输导组织,不具备真正的根系,从土壤等基质中吸收营养受到制约.但苔藓植物是世界生物多样性必不可少的重要组成部分.据不完全统计,全世界苔藓植物目前有23 000多种,而我国有近2 709种^[29].苔藓植物几乎存在于所有陆生生态系统中,成为生态系统的重要生产者,在物质循环和能量流动中发挥着重要的作用,在森林特别是北方针叶林动态变化过程中扮演着不可替代的角色^[3, 4, 15, 16, 19, 20, 22, 28].

生物量生产力是生态系统的重要功能,作为生态系统积累的植物有机总量,是整个生态系统运行的能量基础和营养物质来源.有关森林生物量和生

产力已经有大量的研究^[7, 8, 17, 18],但均没有将苔藓植物生物量的研究包括在内.只是在最近的一些研究中包括了苔藓植物^[2, 6, 25, 30].白学良等^[1]、曹同等^[5]和叶吉等^[32]对天然林中苔藓植物生物量进行了研究,有关苔藓植物碳储量的研究较少.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,正在成为西南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.截至2000年,川西地区郁闭成林的人工林面积达到 $7.3 \times 10^5 \text{ hm}^2$,蓄积量达到 $3.051 \times 10^7 \text{ m}^3$,成为川西林区主要后备森林资源^[14].苔藓植物在人工林中的作用虽然正在被逐渐认识^[12, 22, 25, 26, 30],但它们在

*中国科学院“西部之光”项目、国家“十五”科技攻关项目(2001BA606A-05-03)和茂县生态系统定位站资助项目.

** 通讯联系人.

2004-11-16收稿,2005-04-18接受.

人工林中的功能和地位目前还缺乏深入研究. 苔藓植物不仅是评估人工林生态功能的一个重要途径^[26], 也是评判人工林生态功能恢复效果的一个必要手段. 本文目的是阐明人工林下地表苔藓植物生物量与碳贮量的状况, 比较地表苔藓植物生物量与碳贮量的差异, 探讨与林分类型及其特征的关系, 为人工林生态恢复与林分优化调控管理提供理论依据.

2 研究地区与研究方法

2.1 研究区概况

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, 在成都西北方向 210 km 处; 地理坐标为 31°24′~32°17′ N, 102°56′~104°10′ E. 该区地处青藏高原高山峡谷区向四川盆地山地过渡区, 地带性植被为针阔混交林^[24]. 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, 开始大规模人工造林, 目前大沟流域森林植被覆盖率已从过去的 12% 达到目前的 48%. 主要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*)、多种杨树 (*Populus* spp.) 和多种槭树 (*Acer* spp.) 等^[12]. 该区土壤以暗棕壤、褐土、棕壤为主. 气候具干燥多风, 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 3 年资料统计, 该地段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温 2 635.1 $^{\circ}\text{C}$, 年均温度 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.

2.2 样地调查

为了比较不同类型人工林下苔藓植物生物量的差异, 排除地形条件对研究结果的影响, 充分考虑了林分条件相近的原则, 选取地形条件 (坡度 5°~15°、坡向 NW5°~45°、坡位中上部) 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 种人工林林分分布海拔在 1 850~2 100 m. 林分基本情况如表 1 所示. 各林分苔藓植物组成与分布状况如表 2 所示, 地表苔藓植物结构与多样性特征参见文献^[13], 冰川青藓 (*Brachythecium glacile*) 为各林分的第一优势种^[23]. 在每一人工林地表, 机械布点开展样方调查. 沿等高线每隔 5 m 拉 20 m 长、2 m 宽的样条, 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, 将采集样方内所有苔藓植物装入塑料袋中, 带回实验室后在 70 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干 24 h 以上, 测定干重 (g). 每一人工林调查了 30 个样方, 6 种人工林调查了 180 个样方. 在每一林下, 随机选择 5 个样地的苔藓

植物混合样品, 采用浓硫酸-重铬酸法测定 C 含量 (%), 每个样品 3 次重复.

表 1 岷江上游 6 种人工林分基本结构特征

Table 1 Fundamental structural parameters of six types of artificial coniferous plantations in the upper reaches of Minjiang River

森林类型 Forest type	平均树高 Average height (m)	平均胸围径 Girth breast height (cm)	郁闭度 Canopy closure (%)	林分密度 Tree density (stems \cdot hm ⁻²)	枯枝层盖度 Litter cover (%)
油松林 <i>Pinus tabulaeformis</i> forest	7	30	69	6 300	84.7
华山松林 <i>Pinus armandii</i> forest	8	30	93	7 000	96.2
落叶松林 <i>Larix kaempferi</i> forest	10	35	73	1 500	83.8
云杉林 <i>Picea balfouriana</i> forest	10	45	59	2 400	67.8
油松-华山松混交林 <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Pinus armandii</i> mixed forest	8	30	63	2 500	73.9
云杉-华山松混交林 <i>Picea balfouriana</i> and <i>Pinus armandii</i> mixed forest	12	50	86	3 000	84.2

表 2 岷江上游 6 种人工林下苔藓植物组成比较

Table 2 Composition of ground bryophytes under six artificial forests of the upper Minjiang River

物种 Species	Y	H	L	P	Y-H	P-H
冰川青藓 <i>Brachythecium glacile</i>	+	+	+	+	+	+
大羽藓 <i>Thuidium cymbifolium</i>	+	+	+	+	+	+
厚角绢藓 <i>Entodon concinnus</i>	+	+	+	+	+	+
密叶美喙藓 <i>Eurhynchium savatieri</i>	+	+	+	+	+	+
扭尖美喙藓 <i>Eurhynchium laxiote</i>	+	+	-	+	-	-
小酸土藓 <i>Oxystegus cuspidatus</i>	+	+	+	-	-	+
长肋青藓 <i>Brachythecium populeum</i>	+	-	+	-	-	+
钝叶光萼苔 <i>Porella obtusata</i>	+	-	-	+	-	+
尖叶匍灯藓 <i>Plagiomnium acutum</i>	-	-	+	+	+	-
狭边大叶藓 <i>Rhodobryum ontariense</i>	-	-	+	+	+	-
长叶曲尾藓 <i>Dicranum elongatum</i>	-	-	-	-	+	-
阔边大叶藓 <i>Rhodobryum laxelimbatum</i>	-	-	-	+	+	+
<i>Polytrichum formosum</i>	-	-	-	+	-	-
刺叶提灯藓 <i>Mnium spinosum</i>	-	-	-	+	-	-
长柄绢藓 <i>Entodon macropodus</i>	-	-	-	+	-	-
羽藓属未知种 Not	+	+	+	-	-	+
未知苔 Not	-	-	+	+	+	+
未知藓 Not	-	-	-	-	+	-
提灯藓 <i>Mnium</i> sp.	-	-	-	-	+	-

+ : 出现种 Existing species; - 未出现种 Not existing species. Y: 油松林 *Pinus tabulaeformis* forest; H: 华山松林 *Pinus armandii* forest; L: 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. 下同 The same below.

2.3 数据处理

采用两种方法比较不同林下苔藓植物生物量差异. 首先, 每一人工林类型中选 30 个苔藓植物生物量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) 作为重复进行方差检验 (ANOVA) 和差异显著性检验 (0.05 水平) 来比较差异, 然后, 同一类型 30 个样方生物量累计后, 换算为林分地表苔藓植物生物量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$), 直接进行比较.

样地苔藓植物混合样品 C 含量以每个林分的 5 个样品测定值作为平均林下苔藓植物 C 含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 根据生物量来估算每一林分单位面积生物 C 贮量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); 单位面积

林分苔藓生物 C 贮量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 苔藓植物 C 含量(%) × 林分单位面积地表苔藓生物量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。用非参数相关分析探讨相关特征参数林分与地表苔藓生物量、C 贮量的关系。

3 结果与分析

3.1 地表苔藓植物生物量比较

调查发现,各林分地表苔藓植物呈斑块状分布,并未如原始林下那样覆盖全部地表。云杉林下 90% 的调查样方发现苔藓植物,但华山松林下苔藓植物出现频率仅 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-华山松混交林地地表苔藓植物出现频率分别为 86.67%、80%、63.33% 和 80%。从所调查的样方生物量大小来看,差异很大,云杉林下有 51% 的样方内生物量大于 $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,而华山松林下 90% 的样方生物量小于 $1.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$,油松林下、落叶松林下以及油松与华山松混交林下 50%~60% 的样方生物量小于 $1.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。地表苔藓植物生物量分级特征(图 1)表明人工林下地表苔藓植物分布的高度差异性。

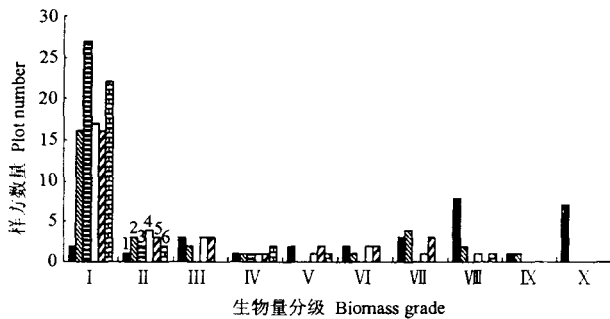


图 1 岷江上游 6 种人工林下地表苔藓植物生物量分级频率
Fig. 1 Plot biomass classification of ground bryophyte under six artificial plantations in the upper reaches of Minjiang River.
I. $0 \sim 1.00 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; II. $1.01 \sim 2.50 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; III. $2.510 \sim 4.00 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; IV. $4.01 \sim 6.00 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; V. $6.01 \sim 8.00 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; VI. $8.01 \sim 10.00 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; VII. $10.01 \sim 20.00 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; VIII. $20.01 \sim 50.00 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; IX. $50.01 \sim 100.00 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$; X. $>100.00 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. 1) 云杉林 *Picea balfouriana* forest; 2) 油松林 *Pinus tabulaeformis* forest; 3) 华山松林 *Pinus armandii* forest; 4) 落叶松林 *Larix kaempferi* forest; 5) 油松-华山松林 *Pinus tabulaeformis*-*P. armandii* mixed forest; 6) 云杉-华山松林 *icea balfouriana*-*P. armandii* mixed forest.

从各林分样方的地表生物量来看,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)的生物量分别为 6.86 ± 2.40 、 0.31 ± 0.17 、 3.08 ± 0.96 、 46.04 ± 11.03 、 3.10 ± 0.81 、 $2.62 \pm 1.49 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 。只有云杉林(P)明显高于其它林型(图 2) ($P < 0.05$)。而除云杉林外其它林型间没有统计意义上的

差异。从林分生物量来看(图 3),云杉林(P)地表生物量最大(为 $460.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),是其它林型的 9~20 倍,混交针叶林间差异较小,而纯针叶林间差异很大,表明林型对地表苔藓植物生物量有明显影响。

3.2 地表苔藓植物 C 含量与 C 贮量比较

测定表明,在华山松林下、落叶松林下、油松与华山松混交林下、油松林下、云杉林下以及云杉与华山松混交林下,地表苔藓植物碳含量(mean ± SE)分别为 $36.09 \pm 0.79\%$ 、 $37.44 \pm 0.21\%$ 、 $35.99 \pm 0.52\%$ 、 $35.95 \pm 0.70\%$ 、 $36.70 \pm 0.20\%$ 、 $35.42 \pm 0.22\%$ 。分析表明,落叶松林下与其它 5 种林下地表苔藓植物碳含量差异明显($P < 0.05$),而其它 5 种林型间并无显著差异(图 2)。

根据各林地苔藓植物碳含量平均值和林地生物量计算表明,6 种人工林类型中,地表苔藓植物 C 贮量最高的是云杉林,达到 $168.95 \pm 0.92 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,而生物量最少的华山松林 C 贮量也最小,只有 $1.12 \pm 0.03 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (图 3)。

4 讨 论

4.1 苔藓植物生物量及其取样方法比较

虽然苔藓植物在森林总生物量中所占比例不

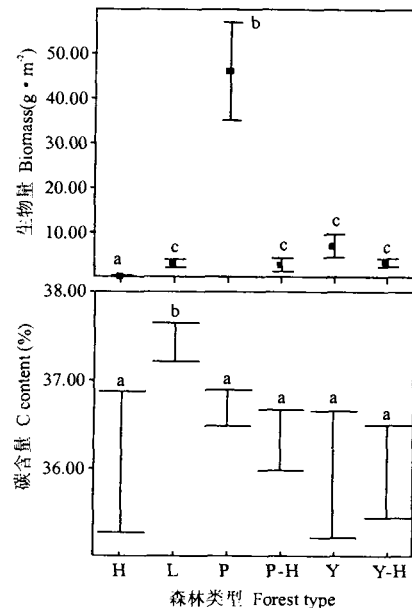


图 2 岷江上游 6 种人工针叶幼林下地表苔藓植物生物量与碳含量比较

Fig. 2 Biomass and carbon content of ground bryophyte in plot level under six artificial plantations of the upper Minjiang River. Different letters indicate significant difference at 0.05 level. Y: 油松林 *Pinus tabulaeformis* forest; H: 华山松林 *Pinus armandii* forest; L: 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. 下同 The same below.

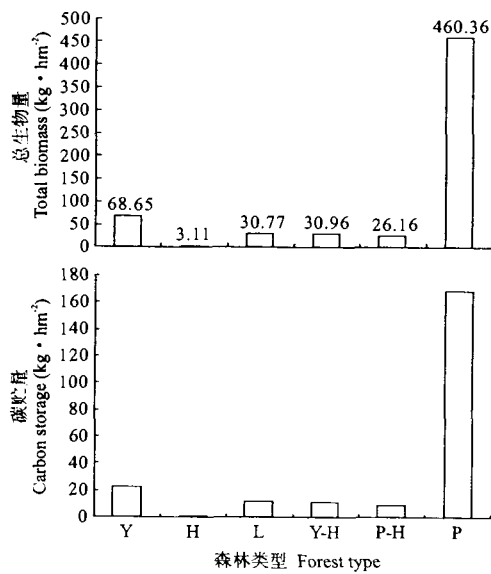


图3 岷江上游6种人工林下地表苔藓植物总生物量和碳贮量比较
Fig.3 Biomass and carbon storage of forest floor bryophytes under six artificial plantations of the upper Minjiang River.

高,但在养分积累与循环、能量固定、水源涵养及水土保持中作用明显^[9, 15, 25, 30, 31],因此苔藓植物生物量与碳含量研究对于认识苔藓植物在森林中的地位以及评价森林生态系统的稳定性有重要意义。岷江上游6种针叶幼林地地表苔藓植物生物量在3.11~460.36 kg·hm⁻²之间(图3),比谢锦升等^[30]报道封禁21年后形成的马尾松半自然林分地表苔藓植物生物量833 kg·hm⁻²低;除云杉林外,其它5类人工林比宿以明等^[25]报道的35~36年生的峨眉冷杉人工林分地表苔藓植物生物量为389 kg·hm⁻²低,也比谢锦升等^[31]报道的马尾松-灌木混交林分地表苔藓植物生物量201.7 g·m⁻²低。当然,远比天然林下的生物量低。

本研究每一林型中各调查了30个50 cm×50 cm样方而获得地表苔藓植物生物量,而谢锦升等^[30, 31]取样数量为5个20 cm×20 cm的样方的结果,宿以明等^[25]没有说明苔藓植物生物量数据的采集方法。虽然不能排除所比较林分本身地表苔藓植物生物量存在差异,但也无法排除由于取样所带来的较大偏差。从样方水平上看,每一林分地表生物量变异性较大(图1),说明林地苔藓植物分布不均一,因此,在进行林下地表生物量取样调查时,取样样方少,误差会较大^[32],由于苔藓植物在地表分布的空间差异性,随机取样布局也可能会带来较大误差。

4.2 地表苔藓植物生物量、C贮量与林分类型及其特征的关系

地表苔藓植物生物量、C贮量因林分类型而表

现出差异(图1、图3),表明林分类型对苔藓植物发育状况、生物生产与C贮量有重要影响。非参数相关分析表明,所调查的地表苔藓植物生物量、C贮量均与林分特征参数(树高、郁闭度、密度、凋落物盖度)呈负相关关系,但它们与林冠郁闭度负相关关系显著($R = -0.943, P = 0.005$),而凋落物盖度与林分郁闭度呈显著正相关关系($R = -0.829, P = 0.042$),表明在目前密林状态下,林分郁闭度越小,凋落物盖度越小,地表苔藓植物生物量、C贮量越大,因此,林分特征也是林下地表苔藓植物生物量与C贮量差异不可忽视的原因。

林分类型及其特征差异是林内生境条件差异(林内湿度、水分等)的重要原因^[4, 11, 27]。人工林林木密度大,生境单一(如缺乏倒木、林窗),生境质量差^[11, 27],导致人工林下苔藓发育常常比自然林和老龄林差^[9, 15]。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,限制了苔藓植物层发育,成为林下苔藓植物组成相对简单、盖度较小、生物量和C贮量低的根本原因^[10]。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,环境的不稳定性也影响了苔藓植物的生长、繁殖和自然更新。与国外相关研究^[9, 15]相比,岷江上游人工林地地表苔藓植物生物量总体说来是较低的。可以预见,随着人工林发育和林下环境的逐步恢复和改善,地表苔藓植物生物量和C贮量会有明显改善。

苔藓植物是原始森林生态系统多样性的重要成分,苔藓生物量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^[11, 26],因此,苔藓植物发育程度对森林生态系统健康有指示作用,可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生态服务功能(如水土保持、利用环境资源的能力、C储量)与稳定性。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^[11, 13, 21, 23, 26],但就6种人工林来看,云杉林下地表苔藓植物发育最好,生物量与C贮量最高,应该是植被破坏后人工重建的6类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。这似乎表明,疏伐、修枝等措施能促进人工密林地地表苔藓植物发育和生物量生产的改善,从而可促进森林生态系统生态功能的恢复^[12, 13]。

参考文献

- 1 Bai X-L(白学良), Zhao L-M(赵连梅), Sun W(孙 维), *et al.*. 1998. A preliminary study on the species diversity, phytomass and ecological effect of bryophytes in Helan Mountain, China. *Acta Sci Nat Univ Inner Mongolia* (内蒙古大学学报·自然科学版), **29**(1):90~98(in Chinese)
- 2 Bao W-K(包维楷), Zhang Y-L(张懿铨), Wang Q(王 乾), *et al.*. 2002. Plant diversity along a time sequence of artificial forest rehabilitation on subalpine cut land in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Acta Phytocol Sin* (植物生态学报), **26**(3):330~338(in Chinese)
- 3 Bates B. 1990. Bryophytes and nutrient cycling. *Bot J Linnean Soc*, **104**(1):129~148
- 4 Bisbee KB, Gower ST, Norman JM, *et al.*. 2001. Environmental controls on ground cover species composition and productivity in a boreal black spruce forest. *Oecologia*, **129**:261~270
- 5 Cao T(曹 同), Gao Q(高 谦), Fu X(付 星), *et al.*. 1995. Bryomass in forest ecosystems in Changbai Mountains. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **15**(supp. B):68~74(in Chinese)
- 6 Dang C-L(党承林), Wu Z-L(吴兆录), Wang C-Y(王崇云), *et al.*. 1994. Studies on biomass and net primary production of *Abies georgei* community. *J Yunnan Univ* (Nat Sci) (云南大学学报·自然科学版), **16**(3):214~219(in Chinese)
- 7 Fang J-Y(方精云), Liu G-H(刘国华), Xu S-L(徐松龄). 1996. Biomass and net production of forest vegetation in China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **16**(5):497~508(in Chinese)
- 8 Feng Z-W(冯宗炜), Wang X-K(王效科), Wu G(吴 刚). 1999. Biomass and Productivity in Forest Ecosystems in China. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 9 Frahm JP. 1990. Bryophyte phytomass in tropical ecosystems. *Bot J Linnean Soc*, **104**(1):23~33
- 10 Holz I, Gradstein SR, Heinrichs J. 2002. Bryophyte diversity, microhabitats differentiation, and distribution of life forms in Costa Rican Upper montane *Quercus* forest. *The Bryologist*, **105**(3):334~348
- 11 Humphrey JW, Daveyb S, Peacec AJ, *et al.*. 2002. Lichens and bryophyte communities of planted and semi-natural forests in Britain: The influence of site type, stand structure and deadwood. *Biol Cons*, **107**:165~180
- 12 Lei B(雷 波), Bao W-K(包维楷), Jia Y(贾 渝). 2004. Ground bryophyte compositions and synusia structures under six types of young coniferous forest plantations in the upper reaches of Minjiang River. *Acta Phytocol Sin* (植物生态学报), **28**(5):594~600(in Chinese)
- 13 Lei B(雷 波), Bao W-K(包维楷), Jia Y(贾 渝), *et al.*. 2004. Ground bryophyte composition and synusia structures under young *Pinus tabulaeformis* forest in the upper Minjiang River. *Biodiver Sci* (生物多样性), **12**(4):410~418(in Chinese)
- 14 Liu X-L(刘兴良), Wang M(汪 明), Su Y-M(宿以明), *et al.*. 2003. Studies on population ecology of the plantation in alpine forest regions of western Sichuan: Population structures. *J Sichuan For Sci Technol* (四川林业科技), **24**(3):1~9(in Chinese)
- 15 Longton RE. 1984. The role of bryophytes in terrestrial ecosystems. *J Hattori Bot Lab*, **55**:147~163
- 16 Longton RE. 1992. The role of bryophytes and lichens in terrestrial ecosystems. In: Bates JW, Farmer AW, eds. *Bryophytes and Lichens in a Changing Environment*. Oxford: Clarendon Press. 77~102
- 17 Luo T-X(罗天祥), Li W-H(李文华), Luo J(罗 辑), *et al.*. 1999. A comparative study on biological production of major vegetation types on the Tibetan Plateau. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **19**(6):823~831(in Chinese)
- 18 Ma Q-Y(马钦彦). 1989. Study on biomass of *Pinus tabulaeformis* forests in China. *J Beijing For Univ* (北京林业大学学报), **11**(4):1~10(in Chinese)
- 19 McCune B, Antos JA. 1981. Correlations between forest layers in the Swan Valley, Montana. *Ecology*, **62**:1196~1204
- 20 Nakamura T. 1984. Development of terricolous moss communities in subalpine coniferous forests of Mt. Fuji. *J Hattori Bot Lab*, **56**:65~77
- 21 Ohlson M, Söderström L, Hörnberg G, *et al.*. 1997. Habitat qualities versus long-term continuity as determinants of biodiversity boreal old-growth swamp forests. *Biol Cons*, **81**:221~231
- 22 Pharo E J, Beattie AJ, Pressey RL. 2000. Effectiveness of using vascular plants to select reserves for bryophytes and lichens. *Biol Cons*, **96**:371~378
- 23 Rees DC, Juday PG. 2002. Plant species diversity on logged versus burned sites, central Alaska. *For Ecol Man*, **155**:291~302
- 24 Sichuan Collaboration Group of Vegetation Research(四川植被协作组). 1980. *Sichuan Vegetation*. Chengdu: Sichuan People's Publication House. (in Chinese)
- 25 Su Y-M(宿以明), Liu X-L(刘兴良), Xiang C-H(向成华). 2000. Study on biomass and productivity of fir artificial forests in Mt. Emei. *J Sichuan For Sci Technol* (四川林业科技), **21**(2):31~35(in Chinese)
- 26 Vanderpooren A, Sotiaux A, Sotiaux O. 2001. Intergrating bryophytes into a forest management plan: Lessons from grid-mapping in the forest of Soignes (Belgium). *Crypto Bryo*, **22**(3):217~230
- 27 Vellak K, Paal J. 1999. Diversity of bryophyte vegetation in some forest types in Estonia: A comparison of old unmanaged and managed forests. *Biodiver Cons*, **8**(12):1595~1620
- 28 Vitt DH, Li Y, Belland RJ. 1995. Patterns of bryophyte diversity in peatlands of continental western Canada. *The Bryologist*, **98**:218~227
- 29 Wu P-C(吴鹏程), Jia Y(贾 渝), Wang M-Z(汪耀芝). 2001. Phytogeographical relationships of the bryophytes between China and North America. *Acta Phytotax Sin* (植物分类学报), **39**(6):526~539(in Chinese)
- 30 Xie J-S(谢锦升), Huang R-Z(黄荣珍), Chen Y-X(陈银秀), *et al.*. 2001. Change of biomass and productivity of *Pinus massoniana* community after closing of hillsides and management in serious eroded red soil. *J Zhejiang For Coll* (浙江林学院学报), **18**(4):354~358(in Chinese)
- 31 Xie J-S(谢锦升), Lin R-Y(林瑞余), Huang R-Z(黄荣珍), *et al.*. 2001. Study on energy pattern of recovering the *P. massoniana* and shrubs mixed forest on the serious degradation red soil. *Sci Silvae Sin* (林业科学), **37**(1):131~136(in Chinese)
- 32 Ye J(叶 吉), Hao Z-Q(郝占庆), Dai G-H(戴冠华). 2004. Bryophyte biomass in dark coniferous forests of Changbai Mountain. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **15**(5):737~740(in Chinese)

作者简介 包维楷,男,1968年1月生,研究员。主要从事生态恢复和多样性保护研究,发表论文110余篇(部)。E-mail: baowk@cib.ac.cn; Tel:028-85231656。
