

浙江西天目山主要森林类型的苔藓多样性比较

汪岱华¹ 王幼芳^{1*} 左勤¹ 李敏¹ 吴文英¹ 黄建花¹ 赵明水²

¹华东师范大学生命科学学院, 上海 200241; ²浙江西天目山自然保护区管理局, 浙江临安 311311

摘要 苔藓是森林的重要组成部分, 是森林保护区的重要保护对象, 在物种资源和生态系统功能维护中有重要作用。该研究以浙江西天目山自然保护区内7种主要森林类型(落叶矮林、落叶阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、针阔混交林、针叶林和竹林)内的苔藓植物为对象, 调查了32个10 m × 10 m的样地, 记录地面生苔藓植物盖度和树附生苔藓植物多度, 采用重要值、相似性系数、多样性指数分析了森林类型间的苔藓植物多样性差异。共采集969份标本, 隶属41科84属142种, 其中苔类植物13科18属33种, 藓类植物28科66属109种, 优势科为灰藓科、青藓科和羽藓科。2种混交林(常绿-落叶阔叶混交林和针阔混交林)的物种丰富度和多样性指数均高于其余5种森林, 其中物种丰富度以针阔混交林最高, 苔藓植物多样性则以常绿-落叶阔叶混交林最高, 竹林两者均为最低。海拔等环境因子较为接近的植被类型的苔藓植物多样性相似性较高, 常绿阔叶林与针叶林相似性最高, 而落叶矮林和竹林相似性最小。

关键词 苔藓植物, 多样性, 森林植被类型, 物种多样性指数, Sørensen相似性指数

Bryophyte species diversity in seven typical forests of the West Tianmu Mountain in Zhejiang, China

WANG Dai-Hua¹, WANG You-Fang^{1*}, ZUO Qin¹, LI Min¹, WU Wen-Ying¹, HUANG Jian-Hua¹, and ZHAO Ming-Shui²

¹School of Life Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China; and ²Zhejiang West Tianmu Mountain Nature Reserve Management Bureau, Lin'an, Zhejiang 311311, China

Abstract

Aims Bryophytes are an important component of forest vegetation. Their species diversity is vital to protecting plant resources and ecosystem diversity. Our objective was to explore the diversity and distribution of bryophytes and the relationship between bryophyte diversity and environment factors in seven dominant forest vegetation types (deciduous broad-leaved shrubs, DBS; deciduous broad-leaved forest, DBF; evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, EDF; evergreen broad-leaved forest, EBF; coniferous broad-leaved mixed forest, CBF; coniferous forest, CF; bamboo forest, BF) of West Tianmu Mountain, Zhejiang Province, China.

Methods Thirty-two sites (10 m × 10 m) were established in the seven forest vegetation types. Sixteen plots were selected by systematic sampling in each sampling site. Coverage of floor bryophytes and abundance of epiphytic bryophytes of each site were recorded. Species richness, importance value, diversity index and Sørensen's similarity index were examined at the different vegetation types.

Important findings Based on collection and identification of a total of 969 specimens, we recorded 142 bryophytes belonging to 82 genera and 41 families, among which were 33 liverworts belonging to 18 genera of 33 families and 109 mosses belonging to 66 genera of 28 families. Hypnaceae, Brachytheciaceae and Thuidiaceae were three dominant families. The species richness and diversity of bryophytes in two kinds of mixed forest types (EDF and CBF) were higher than the five pure forest types (DBS, DBF, EBF, CF and BF). EDF had the highest species diversity and CBF had the highest species richness. BF was lowest in both diversity and richness. There was high similarity between environment factors such as neighboring altitudinal forest types, with the highest value between EBF and CF, and the lowest value between DBS and BF. The number of microhabitats showed significant positive correlation with floor bryophyte diversity.

Key words bryophyte plant, diversity, forest vegetation type, species diversity index, Sørensen similarity index

苔藓植物广布于全球, 几乎存在于所有类型的生态系统中, 是构成植被群落多样性的重要组成部分(汪庆等, 1999)。随着经济的发展, 人类对自然资源的需求日渐增加, 森林砍伐、过度放牧、旅游开发等环境问题不断出现, 使得苔藓植物的生存受到严重威胁(姜炎彬和邵小明, 2010)。目前, 苔藓植物多样性的研究对象主要可分为地面生苔藓植物和树附生苔藓植物两大类群, 两者均在森林生态系统中起着重要作用, 但目前开展的苔藓植物多样性研究往往只针对某一类群展开。目前, 国内外诸多学者对不同地区主要森林类型中地面生苔藓植物多样性的研究较多(Rambo & Muir, 1998; 白学良等, 1998; 曹同和郭水良, 2000; 张元明等, 2003; 李粉霞等, 2006b; Cole *et al.*, 2008); 树附生苔藓作为特殊的植被类群, 对环境变化更为敏感, 正慢慢成为研究热点, 其研究多关注于海拔、空气湿度、树干高度和附生树种类等(Costa, 1999; 郭水良和曹同, 2000; 刘蔚秋等, 2008), 而对森林类型中树附生苔藓植物多样性的研究较少。因此, 从地面生苔藓和树附生苔藓两方面系统地研究某一地区森林类型对苔藓植物的多样性的影响, 对保护苔藓植物物种资源和生态系统多样性具有重要的科研价值和意义。

浙江西天目山是全国首批20个国家级自然保护区之一, 已成为国际生物圈保护区(MAB)网络成员, 具有“大树王国”之美誉(丁炳扬等, 2009)。由于雨水充足, 空气湿度较大, 植被类型复杂, 孕育了丰富的苔藓植物资源(胡人亮和王幼芳, 1981)。近年来随着西天目山的旅游开发等人为干扰, 西天目山的森林生态系统逐渐变化, 苔藓植物物种和分布也随之改变。李粉霞等(2006a)对西天目山5处不同海拔高度的苔藓植物多样性进行了初步研究, 积累了西天目山苔藓植物多样性的重要资料, 但并未见对西天目山各重要植被资源苔藓植物多样性的研究报道。本文以西天目山国家自然保护区内的落叶矮林(deciduous broad-leaved shrubs, DBS)、落叶阔叶林(deciduous broad-leaved forest, DBF)、常绿-落叶阔叶混交林(evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest, EDF)、常绿阔叶林(evergreen broad-leaved forest, EBF)、针阔混交林(coniferous broad-leaved mixed forest, CBF)、针叶林(coniferous forest, CF)和竹林(bamboo forest, BF)等7类主要森林植被类型内的苔藓植物为研究对象, 揭示不同森林类型

地面生苔藓和树附生苔藓物种组成的特点, 探究苔藓植物在主要森林类型中的分布变化规律, 以期找出苔藓植物多样性最为丰富的森林类型, 解释苔藓植物多样性和森林类型的关系, 为苔藓植物资源保护提出建议。

1 材料和方法

1.1 研究地区概况

西天目山自然保护区(30°18'30"–30°21'37" N, 119°24'11"–119°27'11" E)地处浙江省西北部杭州市临安县境内, 浙、皖两省交界处。属亚热带季风气候区, 具有中亚热带向北亚热带过渡特征, 并受海洋暖湿气候的影响, 森林植被茂盛, 高山深谷地形复杂。保护区年降水量达1 535–1 770 mm, 山麓到山顶, 年平均气温14.8–8.8 °C, 年雨日159.2–183.1天; 主峰仙人顶海拔1 506 m。土壤包括红壤、黄壤、棕黄壤、红黄壤等(丁炳扬等, 2009)。

研究区域内落叶矮林、落叶阔叶林、常绿-落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、针阔混交林、针叶林和竹林7种主要森林植被类型的主要特征(周秀佳等, 1987)可概括为: (1)落叶矮林, 是西天目山高海拔森林植被, 主要分布于海拔1 200–1 507 m, 优势种为天目琼花(*Viburnum sargentii* var. *calvescens*)、四照花(*Dendrobenthamia japonica* var. *chinensis*)、三桠乌药(*Lindera cercidifolia*)等, 多夹杂有箬竹(*Indocalamus tessellatus*); (2)落叶阔叶林, 原先此类植被为高海拔森林植被类型, 但由于檫木(*Sassafras tzumu*)、山核桃(*Carya cathayensis*)等经济树种的广泛种植, 从低海拔到高海拔均有分布, 优势种为枫香(*Liquidambar formosana*)、银杏(*Ginkgo biloba*)、山核桃等; (3)常绿-落叶阔叶混交林, 是西天目山主要植被的精华所在, 集中分布于海拔850–1 100 m, 优势种有交让木(*Daphniphyllum macropodum*)、锐齿槲栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)、灯台树(*Cornus controversa*)、小叶白辛树(*Pterostyrax corymbosus*)等; (4)常绿阔叶林, 主要分布于低山丘陵地带, 海拔在230–850 m, 有青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、紫楠(*Phoebe shearereri*)等, 特别是紫楠林在西天目山南坡有大面积分布; (5)针阔混交林, 最为常见的混交林, 针叶树种多为柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等, 阔叶树种为紫楠、杜仲(*Eucommia ulmoides*)、麻栎

(*Quercus acutissima*)、银杏等; (6) 针叶林, 是西天目山的特色植被类型, 多为金钱松 (*Pseudolarix amabilis*) 和人工栽种的柳杉。 (7) 竹林, 广泛分布于低海拔地带, 主要分布于海拔 400 m, 是西天目山最为常见的植被类型, 优势种为毛竹 (*Phyllostachys pubescens*), 多为纯林, 群落结构极为单一。

1.2 野外调查方法

对落叶矮林、落叶阔叶林、常绿-落叶阔叶混交

林、常绿阔叶林、针阔混交林、针叶林和竹林 7 种森林植被类型设置 10 m × 10 m 的样地进行调查, 各植被类型对应的样地数分别为 4、6、3、3、6、5、5 个, 共 32 个样地, 样地信息如表 1 所示。每个样地内采用系统取样法, 每隔 2.5 m 设置一个 20 cm × 20 cm 的样方, 每个样地共设置 16 个样方, 总计调查样方 512 个。样方内地面生苔藓用细丝划分 100 个 2 cm × 2 cm 小格的铁筛取样, 计算每种苔藓在铁筛交叉

表 1 各样地基本情况

Table 1 Basic situation of every sampling site

编号 No.	植被类型 Forest type	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	海拔 Altitude (m)	坡向 Aspect
1	落叶矮林 DBS	119°25'79"	30°20'32"	1 239	W
2	落叶矮林 DBS	119°25'39"	30°20'40"	1 310	NW
3	落叶矮林 DBS	119°25'30"	30°20'53"	1 462	SE
4	落叶矮林 DBS	119°25'20"	30°20'58"	1 484	E
5	落叶阔叶林 DBF	119°26'57"	30°19'05"	400	S
6	落叶阔叶林 DBF	119°27'00"	30°19'26"	450	SW
7	落叶阔叶林 DBF	119°26'56"	30°19'24"	407	W
8	落叶阔叶林 DBF	119°27'01"	30°19'33"	510	W
9	落叶阔叶林 DBF	119°27'05"	30°19'34"	469	SW
10	落叶阔叶林 DBF	119°26'51"	30°19'21"	361	SW
11	常绿-落叶阔叶混交林 EDF	119°54'31"	30°20'35"	1 154	W
12	常绿-落叶阔叶混交林 EDF	119°25'59"	30°20'32"	1 116	SE
13	常绿-落叶阔叶混交林 EDF	119°26'05"	30°20'32"	1 131	NE
14	常绿阔叶林 EBF	119°26'13"	30°19'54"	600	N
15	常绿阔叶林 EBF	119°26'09"	30°20'06"	709	E
16	常绿阔叶林 EBF	119°26'14"	30°19'55"	543	NE
17	针阔混交林 CBF	119°26'34"	30°19'19"	349	NW
18	针阔混交林 CBF	119°26'15"	30°20'33"	1 099	NE
19	针阔混交林 CBF	119°25'51"	30°20'25"	1 072	NE
20	针阔混交林 CBF	119°26'16"	30°19'51"	549	NW
21	针阔混交林 CBF	119°26'51"	30°19'22"	375	SW
22	针叶林 CF	119°25'47"	30°20'21"	1 053	SE
23	针叶林 CF	119°26'21"	30°19'42"	461	E
24	针叶林 CF	119°26'28"	30°19'30"	391	NE
25	针叶林 CF	119°26'59"	30°19'26"	433	SE
26	针叶林 CF	119°26'56"	30°19'28"	382	SE
27	针叶林 CF	119°26'51"	30°19'24"	361	SW
28	竹林 BF	119°26'24"	30°19'28"	428	S
29	竹林 BF	119°26'51"	30°19'25"	368	N
30	竹林 BF	119°26'23"	30°19'37"	426	E
31	竹林 BF	119°26'26"	30°19'28"	453	SE
32	竹林 BF	119°26'25"	30°19'28"	441	SW

BF, bamboo forest; CBF, coniferous broad-leaved mixed forest; CF, coniferous forest; DBF, deciduous broad-leaved forest; DBS, deciduous broad-leaved shrubs; EBF, evergreen broad-leaved forest; EDF, evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest.

处出现的次数, 记为盖度。同时调查样方中所有树附生苔藓植物种类, 在树干距离地面高度0-0.5、0.5-1、1-1.5、1.5-2 m处分别取样, 计算每种苔藓的群落数, 记为多度, 并记录所附生的树种。采集样地内所有苔藓植物鉴定到种(Noguchi & Iwatsuki, 1987-1989; Noguchi *et al.*, 1991, 1994; 高谦, 1994, 1996; 黎兴江, 2000, 2006; 吴鹏程, 2002; 吴鹏程和贾渝, 2004, 2011; 胡人亮和王幼芳, 2005; 高谦和吴玉环, 2010)。

1.3 数据分析

重要值(IV) = [相对频度+相对盖度(相对多度)]/2。

Sørensen (1948)相似性系数 $C_s = 2C/(A+B) \times 100\%$, 式中, A 为甲植被类型全部物种数, B 为乙植被类型全部物种数, C 为甲、乙两种植被类型共有种数。

苔藓植物多样性采用 Shannon-Wiener 指数 (Whittaker, 1972)、Pielou均匀度指数(Pielou, 1975)和Simpson集中优势度指数(Simpson, 1949):

$$\text{Shannon-Wiener指数 } H' = -\sum P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielou均匀度指数 } J = -\sum P_i \ln P_i / \ln S$$

$$\text{Simpson集中优势度指数 } D_s = \sum P_i(P_i-1) / [P(P-1)]$$

式中, S 为每个植被类型样地内所有苔藓植物的物种数, P_i 为第 i 个种的相对盖度, P 为 S 个种相对盖度之和。

所有数据使用 Microsoft Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 19进行统计学处理和分析。

2 结果和分析

2.1 苔藓植物种类组成

在7种主要森林植被类型32个样地中, 共采集苔藓植物标本969份, 分属于41科84属142种, 其中苔类植物13科18属33种, 藓类植物28科66属109种(详见附录)。优势科的属种统计如表2所示, 种数位于前10位的优势科的属种数占有属种数的54.61%, 代表了苔藓植物的主要群体。藓类中以灰藓科、青藓科和羽藓科种类最为丰富, 分别占总种数的9.93%、9.22%和5.67%, 为西天目山三大优势科。这三个科的藓类在地面和树干上均能成片生长, 适应性广, 在西天目山最为常见。苔类植物优势科仅有细鳞苔科和光萼苔科, 总属种数远小于藓类, 均占总种数的3.55%, 种类较为多见的还有齿萼苔科和耳叶苔科。

2.2 主要森林植被类型中苔藓物种丰富度比较

7种主要森林植被类型的苔藓植物物种丰富度差异较大(图1)。针阔混交林苔藓植物物种最为丰富, 常绿-落叶阔叶混交林次之, 其后为落叶阔叶林、针叶林、常绿阔叶林、落叶矮林和竹林, 物种数分别为68、62、60、44、42、34和18种。藓类物种丰富度差异与总种数差异是一致的, 以针阔混交林中物种数最多, 苔类则以常绿阔叶林较针叶林物种数为最多。天目山分布很广的竹林中苔藓物种丰富度最低, 仅含有17种藓类和1种苔类。总之, 混交林中苔藓物种丰富度均高于纯林, 表明群落结构多样的植被类型更有利于苔藓生长。

2.3 主要森林类型中苔藓植物物种相似性比较

不同森林类型间苔藓物种组成相似性范围为

表2 浙江西天目山苔藓植物优势科的属种统计

Table 2 Numbers of species and genus of dominant families of bryophytes in the West Tianmu Mountain in Zhejiang Province, China

编号 No	科名 Family	属数 Genus number	占总属数的百分数 Percentage of total genera (%)	种数 Species number	占总种数的百分数 Percentage of total species (%)
1	灰藓科 Hypnaceae	8	9.64	14	9.93
2	青藓科 Brachytheciaceae	6	7.23	13	9.22
3	羽藓科 Thuidiaceae	4	4.82	8	5.67
4	曲尾藓科 Dicranaceae	5	6.02	7	4.96
5	凤尾藓科 Fissidentaceae	1	1.20	7	4.96
6	绢藓科 Entodontaceae	1	1.20	7	4.96
7	锦藓科 Sematophyllaceae	4	4.82	6	4.26
8	细鳞苔科 Lejeuneaceae	4	4.82	5	3.55
9	牛舌藓科 Anomodontaceae	3	3.61	5	3.55
10	光萼苔科 Porellaceae	2	2.41	5	3.55
	总计 Total	38	45.78	77	54.61

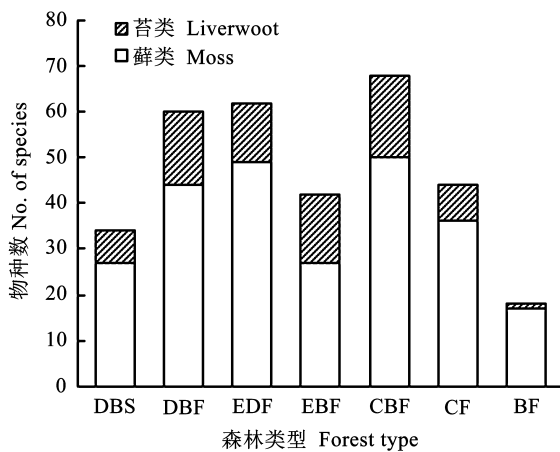


图1 7种主要森林类型苔藓植物物种丰富度比较。BF、CBF、CF、DBF、DBS、EBF、EDF见表1。

Fig. 1 Comparison of bryophyte species richness in seven typical forests. Abbreviation (BF, CBF, CF, DBS, DBF, EBF and EDF) are the same as in Table 1.

3.85%–31.40% (表3)。常绿阔叶林与针叶林相似性最高，而落叶矮林和竹林相似性最小。西天目山以柳杉林为主的针叶林在整个山体均有种植，海拔范围涵盖广，在南坡与常绿阔叶林呈现相间分布状态，且相同种类的苔藓植物多为广布种，如鳞叶藓 (*Taxiphyllum taxirameum*)、东亚小锦藓 (*Brotherella fauriei*)等。落叶矮林为典型的高海拔植被类型，而竹林主要分布在人为活动较多的中低海拔地区，两者海拔相差较大，气温、湿度等环境因子也存在较大差异，共有种数最少，仅存2种。此外，针阔混交林与落叶阔叶林共有种数最多，达35种。西天目山针阔混交林中多以落叶树种为主，植被类型较为相

似，加之此两种植被类型苔藓物种最为丰富，导致共有种数增加。

由此可见，分布范围邻近，且海拔较为接近的森林植被类型，苔藓植物相似性较大；相反，植被类型相距越远，环境因子差别越大者，相似性越小。

2.4 主要森林类型中苔藓多样性比较

图2显示了西天目山不同森林类型地面生和树附生苔藓植物的物种多样性指数。地面生苔藓植物的Shannon-Wiener指数 ($F = 1.378, p = 0.262$)、Pielou均匀度指数 ($F = 0.843, p = 0.555$)和Simpson集中优势度指数 ($F = 1.001, p = 0.446$)在森林类型间均不存在显著性差异。常绿-落叶阔叶混交林的Shannon-Wiener指数值最高，达1.81；Simpson集中优势度指数最低，为0.21，反映出此类植被类型物种多样性较为丰富，且苔藓植物分布较为均匀。竹林则呈现相反的特征，Shannon-Wiener指数值最低，仅为0.83，而Simpson集中优势度指数最高，为0.59，可见其苔藓种类少，且成簇分布。各主要植被类型均匀性指数分布在0.54–0.87之间。

不同森林类型间树附生苔藓植物物种多样性指数除Simpson集中优势度指数 ($F = 0.493, p = 0.807$)外，Shannon-Wiener指数 ($F = 9.607, p < 0.001$)和Pielou均匀度指数 ($F = 9.538, p < 0.001$)均存在极显著的差异。其多样性指数分布情况与地面生苔藓基本相同，以常绿-落叶阔叶混交林Shannon-Wiener指数值为最高，达2.86；竹林最低，仅0.42。同时，竹林Pielou的均匀度指数也最低，为0.32，而Simpson集中优势度指数最高，为0.23。此外，其余6种

表3 西天目山7种主要森林类型间苔藓共有种数(对角线上)及其Sørensen相似性(对角线下)

Table 3 Numbers of co-occurring bryophytes (above the diagonal) and their Sørensen similarity (below the diagonal) among seven typical forests in the West Tianmu Mountain

	森林类型 Forest type						
	落叶矮林 DBS	落叶阔叶林 DBF	常绿-落叶阔叶混交林 EDF	常绿阔叶林 EBF	针阔混交林 CBF	针叶林 CF	竹林 BF
落叶矮林 DBS		19	15	12	18	12	2
落叶阔叶林 DBF	20.21%		25	23	35	26	9
常绿-落叶阔叶混交林 EDF	15.63%	20.49%		24	33	24	7
常绿阔叶林 EBF	15.79%	22.55%	23.08%		32	27	9
针阔混交林 CBF	17.65%	27.34%	25.38%	29.09%		27	12
针叶林 CF	15.38%	25.00%	22.64%	31.40%	24.11%		10
竹林 BF	3.85%	11.54%	8.75%	15.00%	13.95%	16.13%	

Abbreviation (BF, CBF, CF, DBS, DBF, EBF and EDF) of forest types are the same as in Table 1.

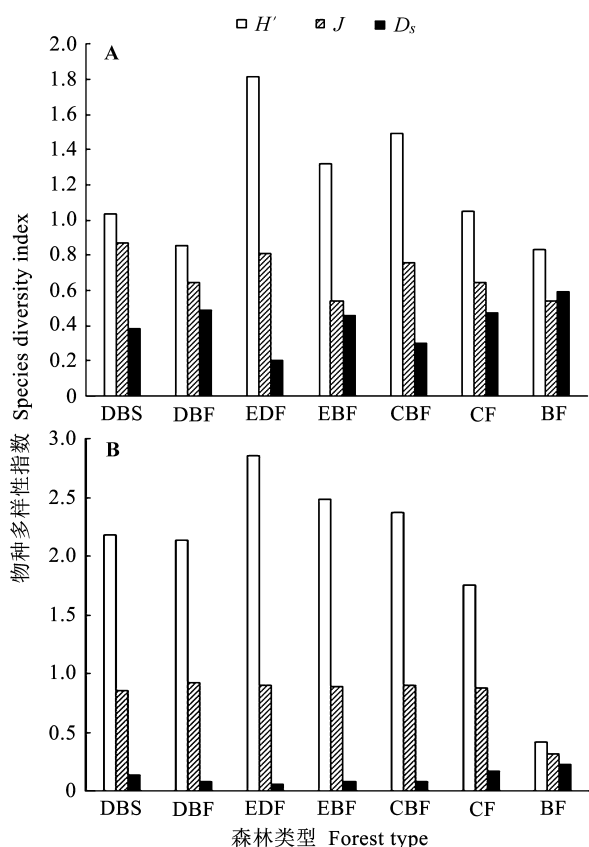


图2 7种主要森林类型苔藓植物物种多样性指数地面生(A)和树附生(B)比较。 H' , Shannon-Wiener指数; J , Pielou均匀度指数; D_s , Simpson集中优势度指数。森林类型缩写(BF, CBF, CF, DBS, DBF, EBF and EDF)含义同表1。

Fig. 2 Comparison of floor bryophyte (A) and epiphytic bryophyte (B) species diversity index in seven typical forests. H' , Shannon-Wiener index; J , Pielou index; D_s , Simpson index. Abbreviation (BF, CBF, CF, DBS, DBF, EBF and EDF) of forest types are the same as in Table 1.

植被类型的Pielou均匀度指数和Simpson集中优势度指数相对接近, 分布范围分别为0.86–0.92和0.06–0.81。

综上所述, 常绿-落叶阔叶混交林是苔藓植物多样性最高的植被类型, 常绿阔叶林和针叶林次之, 而竹林的苔藓植物多样性远低于其他类型。

2.5 主要森林类型中苔藓优势种比较

分别计算地面生和树附生苔藓植物的重要值, 通过排序所得西天目山主要植被类型苔藓植物优势种见表4。

除落叶矮林、常绿阔叶林和常绿-落叶阔叶混交林外, 疏网美喙藓(*Eurhynchium laxirete*)为其他4种植被类型的共有优势种, 在西天目山常成片分布于林下, 此外, 细叶小羽藓(*Haplocladium angusti-*

folium)也是地面生的常见优势种。在地面生苔藓植物的优势种中, 几乎全为藓类植物, 多为青藓科、灰藓科和锦藓科, 仅在常绿阔叶林中出现平叶异萼苔(*Heteroscyphus planus*)一种苔类。

树附生苔藓植物的优势种以短叶毛锦藓(*Pylaisiadelpha yokohamae*)和暗绿多枝藓(*Haplohymenium triste*)最为常见。白发藓科则在针叶林、针阔混交林和竹林中占据优势地位。苔类植物的树附生优势种种数较地面生种数明显增多, 耳叶苔属(*Frullania*)在高海拔的落叶矮林植被带中占有优势种的一半以上, 落叶矮林为苔类植物的主要分布地带。叉苔(*Metzgeria furcata*)则在中低海拔的常绿阔叶林和针阔混交林中较为常见。

以上结果表明, 虽然各森林植被类型的苔藓植物优势种具有一定的相异性, 但相似性更为突出, 从落叶矮林到竹林优势种呈现更迭现象, 相邻植被带往往存在更多的相同种类。

3 讨论

3.1 西天目山苔藓植物物种组成变化

在胡人亮等(1981)首次对西天目山苔藓植物的区系研究中, 共计调查苔类22科33属70种, 藓类39科110属240种。李粉霞等(2006a)对西天目山不同海拔苔藓植物多样性的研究中仅采集得苔类8科9属26种, 藓类31科70属157种。本次研究较2006年研究扩大了取样范围, 调查结果显示苔类植物科属种数有所增加, 为13科18属33种, 而藓类植物仍呈下降态势, 为28科66属109种。

传统区系调查注重对不同生境下不同苔藓植物种类的采集, 取样范围往往为整个山体, 因此苔藓植物科、属、种数一般能够准确地反映该地区的苔藓植物组成。对苔藓植物多样性的研究则更侧重于不同变量对苔藓植物的组成和多样性的影响, 因此两者的调查结果略有不同。胡人亮等(1981)对西天目山苔藓植物进行的调查研究中, 调查范围除西天目山自然保护区外, 还包含东西茅棚等外围区域, 采集范围更大, 包含的生境更多, 调查所得的苔藓物种更多。而本文主要研究对象为7种主要类型植被苔藓植物的多样性, 调查对象为所调查样方内的苔藓种类, 对于居住地等生境下的苔藓植物采集较少, 使得调查结果中, 如丛藓科等多生长于路边及人居住环境下的苔藓植物的种类减少, 这可能

表4 7种主要森林类型苔藓植物优势种的组成
Table 4 Dominant species composition of bryophytes in seven typical forests

重要值 IV	森林植被类型 Forest type						
	落叶矮林 DBS	落叶阔叶林 DBF	常绿-落叶阔叶混交林 EDF	常绿阔叶林 EBF	针阔混交林 CBF	针叶林 CF	竹林 BF
1	短叶毛锦藓 <i>Pylaisiadelph</i> <i>yokohamae</i>	疏网美喙藓 <i>Eurhynchium</i> <i>laxirete</i>	短肋羽藓 <i>Thuidium</i> <i>kanedae</i>	淡叶长喙藓 <i>Rhynchostegium</i> <i>pallidifolium</i>	疏网美喙藓 <i>Eurhynchium</i> <i>laxirete</i>	鳞叶藓 <i>Taxiphyllum</i> <i>taxirameum</i>	东亚拟鳞叶藓 <i>Pseudotaxiphyllum</i> <i>pohliaecarpum</i>
2	淡叶长喙藓 <i>Rhynchostegium</i> - <i>pallidifolium</i>	细叶小羽藓 <i>Haplocladium</i> <i>angustifolium</i>	垂蒴棉藓 <i>Plagiothecium</i> <i>memorale</i>	长柄绢藓 <i>Entodon</i> <i>macropodus</i>	光柄细喙藓 <i>Rhynchostegiella</i> <i>laeviseta</i>	疏网美喙藓 <i>Eurhynchium</i> <i>laxirete</i>	细叶小羽藓 <i>Haplocladium</i> <i>angustifolium</i>
3	毛灰藓 <i>Homomallium</i> <i>incurvatum</i>	淡叶长喙藓 <i>Rhynchostegium</i> <i>pallidifolium</i>	弯叶刺枝藓 <i>Wijkia</i> <i>deflexifolia</i>	平叶异萼苔 <i>Heteroscyphus</i> <i>planus</i>	鳞叶藓 <i>Taxiphyllum</i> <i>taxirameum</i>	短叶毛锦藓 <i>Pylaisiadelph</i> <i>yokohamae</i>	东亚小锦藓 <i>Brotherella</i> <i>fauriei</i>
4	密枝细羽藓 <i>Cyrtlo-hypnum</i> <i>tamariscellum</i>	小石藓 <i>Weissia</i> <i>controversa</i>	毛尖青藓 <i>Brachyhectium</i> <i>piligerum</i>	东亚小锦藓 <i>Brotherella</i> <i>fauriei</i>	卵叶长喙藓 <i>Rhynchostegium</i> <i>ovalifolium</i>	细叶小羽藓 <i>Haplocladium</i> <i>angustifolium</i>	疏网美喙藓 <i>Eurhynchium</i> <i>laxirete</i>
5	短肋羽藓 <i>Thuidium</i> <i>kanedae</i>	鳞叶藓 <i>Taxiphyllum</i> <i>taxirameum</i>	侧枝匍灯藓 <i>Plagiomnium</i> <i>maximoviczii</i>	东亚拟鳞叶藓 <i>Pseudotaxiphyllum</i> <i>pohliaecarpum</i>	细叶小羽藓 <i>Haplocladium</i> <i>angustifolium</i>	南方小锦藓 <i>Brotherella</i> <i>henonii</i>	江岸立碗藓 <i>Physcomitrium</i> <i>courtoisii</i>
1	短叶毛锦藓 <i>Pylaisiadelph</i> <i>yokohamae</i>	暗绿多枝藓 <i>Haplohymenium</i> <i>triste</i>	小粗疣藓 <i>Fauriella</i> <i>tenerrima</i>	拟扁枝藓 <i>Homaliadelphus</i> <i>targionianus</i>	短叶毛锦藓 <i>Pylaisiadelph</i> <i>yokohamae</i>	松叶白发藓 <i>Leucobryum</i> <i>juniperoidesum</i>	东亚拟鳞叶藓 <i>Pseudotaxiphyllum</i> <i>pohliaecarpum</i>
2	盗瓣耳叶苔 <i>Frullania</i> <i>muscicola</i>	淡叶长喙藓 <i>Rhynchostegium</i> <i>pallidifolium</i>	短肋羽藓 <i>Thuidium</i> <i>kanedae</i>	叉苔 <i>Metzgeria</i> <i>furcata</i>	绿色白发藓 <i>Leucobryum</i> <i>chlorophyllosum</i>	短叶毛锦藓 <i>Pylaisiadelph</i> <i>yokohamae</i>	绿色白发藓 <i>Leucobryum</i> <i>chlorophyllosum</i>
3	暗绿耳叶苔 <i>Frullania</i> <i>fuscovirens</i>	盗瓣耳叶苔 <i>Frullania</i> <i>muscicola</i>	短肋羽藓 <i>Thuidium</i> <i>kanedae</i>	扁萼苔 <i>Radula</i> <i>complanata</i>	叉苔 <i>Metzgeria</i> <i>furcata</i>	东亚小锦藓 <i>Brotherella</i> <i>fauriei</i>	淡色同叶藓 <i>Isopterygium</i> <i>albescens</i>
4	暗绿多枝藓 <i>Haplohymenium</i> <i>triste</i>	短叶毛锦藓 <i>Pylaisiadelph</i> <i>yokohamae</i>	盗瓣耳叶苔 <i>Frullania</i> <i>muscicola</i>	暗绿多枝藓 <i>Haplohymenium</i> <i>triste</i>	暗绿多枝藓 <i>Haplohymenium</i> <i>triste</i>	长柄绢藓 <i>Entodon</i> <i>macropodus</i>	小仙鹤藓 <i>Atrichum</i> <i>crispulum</i>
5	列胞耳叶苔 <i>Frullania</i> <i>moniliata</i>	鳞叶藓 <i>Taxiphyllum</i> <i>taxirameum</i>	异猫尾藓 <i>Isothecium</i> <i>subdiversiforme</i>	松叶白发藓 <i>Leucobryum</i> <i>juniperoidesum</i>	小粗疣藓 <i>Fauriella</i> <i>tenerrima</i>	皱叶牛舌藓 <i>Anomodo</i> <i>nrugeii</i>	矮锦藓 <i>Sematophyllum</i> <i>subhumile</i>

重要值从1至5逐渐减小。森林类型缩写(BF, CBF, CF, DBS, DBF, EBF, EDF, EBF, CBF, CF and BF) of forest types are the same as in Table 1. Important value (IV) decreases from 1 to 5. Abbreviation (DBS, DBF, EBF, EDF, EBF, CBF, CF and BF) of forest types are the same as in Table 1.

是导致苔藓种类较区系调查结果(胡人亮和王幼芳, 1981)减少的原因之一。但近两次对西天目山苔藓物种多样性的调查结果仍具有一定的可比性, 取样范围和样地数目与李粉霞等(2006a)相比大大增加, 但结果仍显示苔藓物种数逐步减少, 可见西天目山的苔藓植物物种组成已受到一定程度的破坏, 苔藓植物多样性有衰退趋势。

三次研究优势科的统计结果, 侧蒴藓类为西天目山的主要组成群体, 青藓科和羽藓科的属、种数比例始终最高, 可见这两个科一直为西天目山的优势科, 在西天目山极为常见。灰藓科的属、种比例也正逐步上升。顶蒴藓类中以曲尾藓科和凤尾藓科的属、种数最多, 但其数目远小于侧蒴藓类, 苔类亦然, 蔓藓科等以树附生为主的苔藓植物类群属种数明显下降。这与地面生苔藓植物优势种的组成趋势相同, 在7种森林的地面生苔藓中极少出现顶蒴藓类和苔类, 这与多数针对森林植被地面生苔藓植物的调查结果一致(雷波等, 2004; 李粉霞等, 2006b; 孙宇等, 2007), 张元明等(2003)对新疆的研究结果则以顶蒴藓类居多, 可见不同地区地面生苔藓优势种组成存在差异。树附生苔藓中苔类的优势种有所增加, 但仍少于藓类植物优势种, Peak等(1995)对树附生苔藓植物的研究也显示藓类植物种类远多于苔类。树附生苔类中以叉苔和耳叶苔属最为常见, 白发藓科等顶蒴藓类在针叶林和竹林中为主要优势种, 有别于地面生苔藓的优势种构成, 可见不同类型的苔藓植物对树附生与地面生环境适应性存在较大差异。

3.2 不同森林类型苔藓物种丰富度及多样性

本研究结果发现针阔混交林中苔藓物种丰富度最高, 常绿-落叶阔叶混交林的苔藓植物多样性指数最高, 显示出混交林中苔藓植物多样性高于纯林的分布特征。这与生态交错带的高物种丰富度和高生物多样性相符(朱芬萌等, 2007), 森林生态交错带比邻近生态系统具有更高的物种多样性(Williams *et al.*, 2002)。针阔混交林乔木优势种同时涵盖了西天目山特色针叶植被和阔叶植被, 外加环境条件变化范围较大, 能够适应不同种类的苔藓生长。常绿-阔叶混交林更是西天目山植被的精华所在, 所处海拔较高, 云雾丰富、湿度高, 地处西天目山核心保护区内, 拥有许多百年树龄的老树, 为苔藓植物生长提供了良好的生存条件。Rambo和Muir

(1998)研究发现, 林下苔藓能够从阔叶树种的冠层淋溶得到更多营养, 阔叶树还能提供较多散射光, 使林下小生境类型变得丰富, 苔藓植物的多样性较高。

与地面生苔藓植物相比, 树附生苔藓植物在不同森林植被中差异更为显著。Kelly等(2004)的研究结果也显示森林结构的差异与附生植物分布密切相关。处于保护区核心区的常绿阔叶林和常绿-落叶阔叶混交林多样性较高, 其植被构成主要为原始林, 成林时间长, 且群落结构稳定。Perhans等(2007)通过对森林管理划分的不同区域间苔藓植物多样性进行比较指出, 核心区苔藓植物多样性最高, 而且苔藓植物组成会随时间而变化。Costa (1999)也报道了巴西南部热带雨林中成熟林和非成熟林附生苔藓的多样性特点, 发现前者的物种丰富度明显高于后者, 森林破坏后阴生苔藓种类容易受影响。本研究中针叶林和竹林多处于森林边缘, 光照较强, 受人为干扰较大, 树附生苔藓植物物种丰富度和多样性明显较低。

由上可知, 在西天目山主要森林植被类型中, 处于核心保护区的森林植被苔藓植物多样性较高, 种类丰富, 形成了独特的森林景观。分布中心位于缓冲区的针叶林和竹林由于群落结构单一, 苔藓植物种类少, 多样性较低, 可适当栽种阔叶树种以提高植被多样性, 使生态系统更为健康稳定。

致谢 国家自然科学基金(30810103901)资助。

参考文献

- Bai XL (白学良), Zhao LM (赵连梅), Sun W (孙维), Sun WG (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, 118–124. (in Chinese with English abstract)
- Cao T (曹同), Guo SL (郭水良) (2000). A study on bryophytes diversity in the main ecosystems in Changbai Mountain. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 8, 50–59. (in Chinese with English abstract)
- Cole HA, Newmaster SG, Bell FW, Pitt D, Stinson A (2008). Influence of microhabitat on bryophyte diversity in Ontario mixedwood boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 38, 1867–1876.
- Costa DP (1999). Epiphytic bryophyte diversity in primary and secondary lowland rainforests in Southeastern Brazil. *The*

- Bryologist*, 102, 320–326.
- Ding BY (丁炳扬), Fu CX (傅承新), Yang SZ (杨淑贞) (2009). *Practice Handbook of Botany in Tianmushan* (天目山植物学实习手册) 2nd edn. Zhejiang University Press, Hangzhou. 1–8. (in Chinese)
- Gao Q (高谦) (1994). *Flora Bryophytarum Sinicorum* (中国苔藓志), Vol. 1. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Gao Q (高谦) (1996). *Flora Bryophytarum Sinicorum* (中国苔藓志), Vol. 2. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Gao Q (高谦), Wu YH (吴玉环) (2010). *Genera Hepaticopsida et Anthocerotopsida Sinicorum* (中国苔纲和角苔纲植物属志). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Guo SL (郭水良), Cao T (曹同) (2000). Studies on relationships of epiphytic bryophytes and environmental factors in forest ecosystems in Changbai Mountain forests. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 20, 922–931. (in Chinese with English abstract)
- Hu RL (胡人亮), Wang YF (王幼芳) (1981). A survey on the bryophytes from the Tain Mu Mountain in Zhejiang Province. *Journal of East China Normal University (Natural Science)* (华东师范大学 (自然科学版)), (1), 86–104. (in Chinese with English abstract)
- Hu RL (胡人亮), Wang YF (王幼芳) (2005). *Flora Bryophytarum Sinicorum* (中国苔藓志), Vol. 7. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Jiang YB (姜炎彬), Shao XM (邵小明) (2010). Research review on the distribution and diversity of bryophytes. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物研究), 28, 385–390. (in Chinese with English abstract)
- Kelly DL, O'Donovan G, Feehan J, Murphy S, Drangeid SO, Marcano-Berti L (2004). The epiphyte communities of a montane rain forest in the Andes of Venezuela: patterns in the distribution of the flora. *Journal of Tropical Forest*, 20, 643–666.
- Lei B (雷波), Bao WK (包维楷), Jia Y (贾渝) (2004). Ground bryophyte composition and synusia structure under six types of young coniferous forest plantations in the upper Minjiang river. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 28, 594–600. (in Chinese with English abstract)
- Li FX (李粉霞), Wang YF (王幼芳), Liu L (刘丽), Yang SZ (杨淑贞) (2006a). Species diversity of bryophytes in West Tianmu Mountain of Zhejiang Province. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 17, 192–196. (in Chinese with English abstract)
- Li FX (李粉霞), Wang YF (王幼芳), Zhan QF (詹琪芳), Xu B (徐波), Zhai DC (翟德逞), Dang GD (党高弟) (2006b). Species diversity of floor bryophyte communities in Foping Nature Reserve. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)* (植物生态学报), 30, 919–923. (in Chinese with English abstract)
- Li XJ (黎兴江) (2000). *Flora Bryophytarum Sinicorum* (中国苔藓志), Vol. 3. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Li XJ (黎兴江) (2006). *Flora Bryophytarum Sinicorum* (中国苔藓志), Vol. 4. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Liu WQ (刘蔚秋), Dai XH (戴小华), Wang YF (王永繁), Lei CY (雷纯义) (2008). Analysis of environmental factors affecting the distribution of epiphytic bryophyte at Heishiding Nature Reserve, Guangdong Province. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 28, 1080–1088. (in Chinese with English abstract)
- Noguchi A, Iwatsuki Z (1987–1989). *Illustrated Moss Flora of Japan (Part 1–3)*. The Hattori Botanical Laboratory, Nichinan, Japan.
- Noguchi A, Iwatsuki Z, Yamaguchi T (1991, 1994). *Illustrated Moss Flora of Japan (Part 4–5)*. The Hattori Botanical Laboratory, Nichinan, Japan.
- Peak JE, Hong WS, McCune B (1995). Diversity of epiphytic bryophytes on three host tree species, thermal Meadow, Hotsprings Island, Queen Charlotte Islands, Canada. *The Bryologist*, 98, 123–128.
- Perhans K, Gustafsson L, Jonsson F, Nordin U, Weibull H (2007). Bryophytes and lichens in different types of forest set-asides in boreal Sweden. *Forest Ecology and Management*, 242, 374–290.
- Pielou EC (1975). *Ecological Diversity*. Wiley InterScience, New York.
- Rambo TR, Muir PS (1998). Forest floor bryophytes of *Pseudotsuga menziesii*-*Tsuga heterophylla* stands in Oregon: influences of substrate and overstory. *The Bryologist*, 101, 116–130.
- Simpson EH (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.
- Sørensen T (1948). A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Biologiske Skrifter*, 5, 1–34.
- Sun Y (孙宇), Shao XM (邵小明), Liu XC (刘欣超), Jiang YB (姜炎彬) (2007). Bryophyte species diversity in main forest vegetations in Dongling Mountain of Beijing. *Journal of Ecology* (生态学杂志), 26, 1725–1731. (in Chinese with English abstract)

- Wang Q (汪庆), He SA (贺善安), Wu PC (吴鹏程) (1999). The role of bryophytes in biodiversity. *Chinese Biodiversity* (生物多样性), 7, 332–339. (in Chinese with English abstract)
- Whittaker RH (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21, 213–251.
- Williams SE, Marsh H, Winter J (2002). Spatial scale, species diversity, and habitat structure: small mammals in Australian tropical rain forest. *Ecology*, 83, 1317–1329.
- Wu PC (吴鹏程) (2002). *Flora Bryophytarum Sinicorum* (中国苔藓志), Vol. 6. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu PC (吴鹏程), Jia Y (贾渝) (2004). *Flora Bryophytarum Sinicorum* (中国苔藓志), Vol. 8. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Wu PC (吴鹏程), Jia Y (贾渝) (2011). *Flora Bryophytarum Sinicorum* (中国苔藓志), Vol. 5. Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang YM (张元明), Cao T (曹同), Pan BR (潘伯荣) (2003). Species diversity of floor bryophyte communities in Bogda Mountains, Xinjiang. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 14, 887–891. (in Chinese with English abstract)
- Zhou XJ (周秀佳), Ma WL (马炜梁), Liu YQ (刘永强) (1987). Forest vegetation type of West Tianmu Mountains and their characteristics of distribution. *Journal of Ecology* (生态学杂志), 6, 17–20. (in Chinese with English abstract)
- Zhu FM (朱芬萌), An SQ (安树青), Guan BH (关保华), Liu YH (刘玉虹), Zhou CF (周长芳), Wang ZS (王中生) (2007). A review of ecotone: concepts, attributes, theories and research advances. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 27, 3032–3042. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 孙建新 责任编辑: 王 葳

附录I 西天目山7种主要森林类型的苔藓植物多样性调查名录

Appendix I Checklist of bryophyte species diversity in seven typical forests of the West Tianmu Mountain in Zhejiang, China

<http://www.plant-ecology.com/appendix/s2012-0071-A1.pdf>