

小兴安岭主峰平顶山苔藓植物多样性及垂直分布研究*

吴珠媛^{1#}, 辛濛濛^{1#}, 刘宇涵¹, 徐丹丹¹, 王长宝^{1,2**}

(1. 佳木斯大学 生命科学学院, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 玉林师范学院 生物与制药学院, 广西 玉林 537000)

摘要:【目的】了解小兴安岭平顶山苔藓植物多样性和垂直分布特征, 为林区生态恢复提供参考。【方法】选取小兴安岭主峰平顶山 8 个不同海拔和植被型, 系统研究苔藓植物组成及垂直分布对其多样性的影响。

【结果】(1) 该区域发现苔藓植物 107 种(含变种), 其中藓类 90 种 1 变种, 占黑龙江省藓类的 31.60%; 苔类 16 种, 占据黑龙江省苔类的 12.21%。(2) 地面藓类的优势科属分别占所调查地面藓类种数的 39.07% 和 37.21%; 地面苔类优势科属分别占所调查地面苔类种数的 64.29% 和 42.86%; 树生苔藓以距离地面 0 m 处多样性最高, 共 18 种。(3) α 多样性分析显示: 海拔 989 m 处的 Shannon-Wiener 指数最大(2.69), 304 m 处最小(0.75); Pielous 均匀度指数相对稳定, 在 0.27~0.74 之间。(4) β 多样性分析显示: 海拔 810 m 和 1 429 m 两样地间的 $\beta_C=50.00$ 、 $\beta_T=2.00$, 物种差异最大。(5) 典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA) 将 17 个主要地面苔藓物种划为与不同环境因子相关的 3 个组。【结论】小兴安岭主峰平顶山苔藓植物种类丰富, 物种多样性随海拔呈现双峰式变化, 中低海拔山地的苔藓分布与干扰呈正相关。

关键词: 平顶山; 苔藓植物; 物种多样性; 垂直分布

中图分类号: Q 949.35

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X(2020)02-0309-09

Studies on the Diversity and Vertical Distribution of Bryophytes in Pingdingshan of Xiaoxing'an Ling

WU Zhuyuan¹, XIN Mengmeng¹, LIU Yuhan¹, XU Dandan¹, WANG Changbao^{1,2}

(1. College of Life Science, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China;

2. College of Biology and Pharmacy, Yulin Normal University, Yulin 537000, China)

Abstract: [Purpose] Studies on the diversity and vertical distribution of bryophytes in Pingdingshan of Xiaoxing'an Ling were carried out so as to provide a scientific reference for ecological restoration in the area. [Method] Based on the investigations of bryophytes on eight different altitudes and vegetations, the composition of bryophytes and the effects of vertical distribution on their diversity in Pingdingshan of Xiaoxing'an Ling were studied. [Results] (1) We recorded 107 species in total, including 91 mosses (90 species and 1 variety) and 16 liverworts, which accounting for 31.60% and 12.21% that of the Heilongjiang Province respectively. (2) The dominant families and genera of mosses account for 39.07% and 37.21% of the total. The dominant families and genera of liverworts

收稿日期: 2019-06-18

修回日期: 2019-12-15

网络首发时间: 2020-05-26 13:27:06

*基金项目: 科技部“国家标本平台教学标本子平台”(2005DKA21403-JK)资助。

作者简介: #对本文贡献等同, 为并列第一作者。吴珠媛(1998—), 女, 黑龙江双鸭山人, 在读本科生, 主要从事植物资源学研究。E-mail: Ada500@163.com; 辛濛濛(1997—), 女, 黑龙江海伦人, 在读本科生, 主要从事植物资源学研究。E-mail: 1055662035@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 王长宝(1972—), 男, 江苏徐州人, 博士, 副教授, 主要从事植物资源学研究。E-mail: wy985@aliyun.com

网络首发地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1044.s.20200525.1113.002.html>



account for 64.29% and 42.86% of the total. The diversity of tree moss is the highest at 0 m from the ground, with a total of 18 species. (3) α -diversity analysis showed that the maximum at 989 m of Shannon-Wiener index was 2.63, and the minimum at 304 m was 0.75. Pielous uniformity index is relatively stable, from 0.27 to 0.72. (4) The analysis of the β -diversity showed that the largest difference between the two places of 810 m and 1 429 m is $\beta_c=50.00$ and $\beta_T=2.00$. (5) Seventeen major ground bryophyte species were divided into three groups according to CCA analysis (canonical correspondence analysis). [**Conclusion**] The species diversity of bryophytes in Pingdingshan of Xiaoxing'an Ling is rich, and species diversity shows bimodal variation with altitude. The distribution of bryophytes in the middle and low altitude mountains is positively correlated with disturbance.

Keywords: Pingdingshan; bryophytes; species diversity; vertical distribution

苔藓植物作为高等植物的第二大类群,是生物多样性的的重要组成部分,其特定的形态和生理功能在生态系统中发挥着重要作用,影响各种植被的水分平衡,也是生态演替过程中的重要先锋植物^[1]。但由于其植物体小、难于鉴定,长期以来是生物多样保护工作的薄弱环节。中国苔藓植物种类丰富,共记录 3 045 种^[2],其中黑龙江省约有 500 种^[3]。小兴安岭是中国东北部的重要山脉和最大林区之一,虽然区内开展过多次植被调查工作,但涉及苔藓植物的勘察较少,其主峰平顶山垂直带谱较为明显,是进行苔藓植物多样性和垂直分布格局研究比较理想的地点。本研究通过对小兴安岭主峰平顶山的实地调查和标本采集:(1)研究不同植被下苔藓植物的多样性变化,为林区生态恢复提供事实依据;(2)探究不同海拔苔藓植物多样性的变化,丰富对北温带林区苔藓植物垂直分布的认识;(3)补充当地物种多样性研究的苔藓植物数据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于小兴安岭南坡黑龙江省桃山林业局南河林场施业区(2017 年被批准为国家级自然保护区),主峰平顶山海拔 1 429 m,相对高差约 1 100 m,地理坐标 E 128°28', N 46°38';冬季寒冷漫长,冰雪覆盖期为每年 10 月至次年 5 月初,年均气温 -1~1 ℃, ≥ 10 ℃ 的积温 1 800~2 300 ℃;年降水量 550~700 mm,属于温带大陆性季风气候^[4]。小兴安岭山区典型植被为红松阔叶混交林,但清朝中期至今经历过多次砍伐^[5],当植被破坏严重时,阔叶树成为主要的植被物

种^[6];上世纪八十年代以来开始封山抚育,目前仅部分区域残留有较原始的植被。在经历了长期砍伐和近 30 年的恢复后,林区内植被类型更加多元化,苔藓植物生境和多样性也发生了相应变化。

1.2 研究内容和方法

1.2.1 野外调查与采集

2018 年 5 月 1 日—9 月 20 日对目标地区进行 3 次踏查和 1 次样地调查。考虑到平顶山垂直分布较为明显,结合植被类型、地型和地貌等因素,分别在海拔 304 m (水曲柳—白桦天然次生林)、478 m (鱼鳞云杉人工林)、604 m (白桦天然次生林)、712 m (臭冷杉—阔叶混交林)、810 m (针阔混交林)、989 m (臭冷杉—岳桦混交林)、1 093 1 093 m (鱼鳞云杉—岳桦混交林)和 1 429 m (草甸—岳桦林)共设置 8 个 10 m×10 m 的样地。每隔 2 m 设立 1 个小样方,每个样地共设 16 个 50 cm×50 cm 的小样方并编号。树生样方在样地内选取胸径 15 cm 上的树作为测量对象,并分别于距离地面 0、0.3、0.8、1.1 和 1.8 m 处设立,每棵树选取 2 个方向作为测量位置,每棵树共设立 10 个 10 cm×10 cm 的小样方。采集前先对生境及苔藓特殊性状进行拍照。对标本逐一编号,记录采集人、时间、海拔和盖度等数据。最后,将采集的标本放入纸袋中。

1.2.2 标本鉴定与整理

将野外采集的标本带回实验室后进行整理和晾干。鉴定时,将标本浸入清水中复原,取其放于解剖镜和显微镜下,分别观察植株形态,中肋的有无、数量以及长短,锯齿的有无等性状。参考《东北苔类植物志》^[7]《东北藓类植物志》^[8]

《黑龙江省及大兴安岭藓类植物》^[9]《黑龙江省植物志: 第一卷》^[3]《中国苔藓志》^[10-18]以及查阅其他苔藓相关资料。

1.3 数据处理分析

1.3.1 多样性及垂直分布分析

利用 Excel 2016 对研究区域内苔藓多样性统计分析。其中第 8 个样地即 1 429 m 处, 采集时天气降雨, 云雾较大, 考虑到安全因素及数据的准确性, 未对其进行盖度和湿度等测量, 暂未加入到 α 多样性和环境因子分析中。

(1) α 多样性指数

Shannon-Wiener 指数 (H') 即不确定性测度, 随机抽取某一个个体, 归属于哪一物种不定, 其不确定性与物种数目成正比^[19]。

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

(1)

Pielous 均匀度指数 (J_H) 即群落物种的多度分布的均匀程度^[19]。

$$J_H = \left(- \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \right) / \ln S$$

(2)

式中, $P_i=N_i/N$, N_i 为第 i 种的相对盖度, N 为 S 个种的相对盖度之和, S 为每个样地内苔藓植物种数。

(2) β 多样性指数

Cody 指数 (β_C) 即利用生境梯度积分来表达物种被替代的速度^[20]。

$$\beta_C = [g(H) + l(H)] / 2$$

(3)

Wilson-Shmida 指数 (β_T):

$$\beta_T = [g(H) + l(H)] / 2\alpha$$

(4)

式中, $g(H)$ 是沿海拔高度 H 增加的物种数目; $l(H)$ 是沿海拔高度 H 失去的物种数目, 即在上一

海拔中存在而在下一海拔中不存在的物种数目; α 为各样地的平均物种数。

1.3.2 环境因子分析

根据《生物多样性观测技术导则 地衣和苔藓》^[21]分别对 7 个样地的环境因素进行整理, 同时结合研究区情况, 将其中地貌类型和干扰度进行分级处理, 地貌类型分级标准设置: 山地为 1, 过水地为 2, 流石为 3; 干扰度分级标准设置: 无为 0, 弱为 0.5, 强为 1; 海拔、坡度和群落高度利用 GPS 定位仪、坡度测量仪和布鲁莱斯测高器测量; 郁闭度通过目测法判断样地被树冠的覆盖率进行测量; 土壤 pH 利用 pH 计电位法测定; 湿度利用便携式精密湿度计测量。郁闭度、土壤 pH 和湿度皆为样地区域内随机设置 5 个样点, 取平均值。利用 SPSS 24.0 对 7 个样地环境因子进行相关度分析^[22], 利用 Canoco 5.0 对 7 个样地内 28 种主要苔藓与环境因子进行 CCA 二维排序分析^[23], 并计算重要值。

重要值 = (相对盖度 + 相对频度) / 2

(5)

2 结果与分析

2.1 优势类群分析

2.1.1 地面苔藓植物组成及优势科属

经鉴定, 研究区共 100 种 (含变种) 地面苔藓植物, 其中藓类 85 种 1 变种分属于 22 科 50 属; 苔类 14 种分属于 8 科 10 属。由表 1 可知: 以属排序 (>3), 灰藓科 (Hypnoideae)、柳叶藓科 (Amblystegiaceae)、提灯藓科 (Mniaceae) 和塔藓科 (Hylocomiaceae) 4 个优势科包含地面藓类 57.14% 的属; 以种排序 (>5), 提灯藓科、金发藓科 (Polytrichaceae)、曲尾藓科 (Dicranaceae)、灰藓科、锦藓科 (Sematophyllaceae)、柳叶藓科和羽

表 1 平顶山地面藓类植物优势科属分析
Tab. 1 Dominant family and genus of ground mosses in Pingdingshan

| 以属排序优势科 domniant family | 属数>3 genus | 以种排序优势科 dominant family | 种数>5 species | 以种排序优势属 dominant genus | 种数>4 species |
|----------------------------|---------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| 灰藓科 Hypnoideae | 5 | 提灯藓科 Mniaceae | 11 | 匐灯藓属 Plagiomnium | 5 |
| 柳叶藓科 Amblystegiaceae | 5 | 金发藓科 Polytrichaceae | 9 | 绢藓属 Entodon | 5 |
| 提灯藓科 Mniaceae | 5 | 曲尾藓科 Dicranaceae | 8 | 小金发藓属 Pogonatum | 5 |
| 塔藓科 Hylocomiaceae | 4 | 灰藓科 Hypnoidae | 7 | 羽藓属 Thuidium | 5 |
| | | 锦藓科 Sematophyllaceae | 7 | 棉藓属 Drepanocladus | 4 |
| | | 柳叶藓科 Amblystegiaceae | 7 | 青藓属 Brachythecium | 4 |
| | | 羽藓科 Thuidiaceae | 7 | 曲尾藓属 Dicranum | 4 |

藓科 (Thuidiaceae) 6 个优势科占地面藓类种数的 65.12%。以上代表平顶山藓类植物的优势主体, 其中灰藓科、柳叶藓科和提灯藓科 3 科占有属的 30.61%, 占藓类种数的 39.07%, 无论是以属排序还是以种排序都是优势科。优势属分别为匍灯藓属 (*Plagiomnium*)、绢藓属 (*Entodon*)、小金发藓属 (*Pogonatum*)、羽藓属 (*Thuidium*)、棉藓属 (*Drepanocladus*)、青藓属 (*Brachythecium*) 和曲尾藓属 (*Dicranum*), 占藓类种数的 37.21%。

本研究区域的苔类物种相对单一, 其中有 5 科仅发现 1 个种。这一方面是由于研究过程中有采集盲区, 另一方面在于苔类一般平铺在基质上, 不易被发现。由表 2 可知: 无论是以属排序还是以种排序, 裂叶苔科 (Lophoziaceae) 和叶苔科 (Jungermanniaceae) 都是优势科, 占有属的 54.55%, 占苔类种数的 64.29%。优势属分析中, 合叶苔属 (*Scapania*)、裂叶苔属 (*Lophozia*) 和小萼苔属 (*Mylia*) 占苔类种数的 42.86%。

2.1.2 树生苔藓植物组成

由图 1 可知: 距离地面 0 m 处 (树干基部) 的 18 种苔藓植物分属于 13 科 17 属, 物种最多; 0.8 m 处 2 种苔藓植物分属于 2 科 2 属, 物种最少。树生物种与地面苔藓物种相近, 其中, 相对于地面种类, 毛边光萼苔 (*Porella vernicosa*

Lindb.)、直毛曲尾藓 (*Dicranum flagellare* Hedw.)、毛叉苔 (*Metzgeria pubescens* Raddi.)、波叶棉藓 [*Plagiothecium undulatum* (Hedw.) B. S. G.] 和垂悬白齿藓 (*Leucodon pendulus* Lindb.) 仅在树干发现。

2.2 不同海拔的苔藓植物多样性分析

由图 2 可知: 平顶山苔藓植物种类在不同海拔高度呈现 2 个峰值, 分别出现在 478 m 的鱼鳞云杉林和 1 093 m 的岳桦—鱼鳞云杉混交林。478 m 样地 (26 属 35 种) 群落郁闭度是 82%, 为所有样地郁闭度最高; 1093 m 处 (30 属 43 种) 样地群落郁闭度为 75%, 为所有样地群落郁闭度值的第 2 位。2 个谷值分别出现在 304 和 712 m 处, 其中 712 m 样地的苔藓最少, 仅 13 属 15 种。推测苔藓分布与样地植被类型和群落郁闭度有关。

由图 3 可知: 对于不同海拔苔藓植物 α 多样性分析, Shannon-Wiener 指数在 0.75~2.69 之间。其中 989 m 的最高为 2.69, 304 m 的最低为 0.75。989 m 处植被类型为岳桦—臭冷杉混交林, 地面类型为流石, 光照 4 552 lx (11: 53 测量), 生境较为复杂; 304 m 处植被类型为天然次生林, 地面类型为山地, 光照 390 lx (13: 44 测量), 人为干扰较强。478、604、712、810 和 1 093 m 指数分别为 1.72、1.41、1.81、2.06 和 2.50。其中, 604 和 712 m 的分析结果大小比较与物种组

表 2 平顶山地面苔类植物优势科属分析
Tab. 2 Dominant families and genus of ground liverworts in Pingdingshan

| 以属排序优势科 dominant family | 属数>1 genus | 以种排序优势科 dominant family | 种数>1 species | 以种排序优势属 dominant genus | 种数>1 species |
|----------------------------|---------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
| 叶苔科 Jungermanniaceae | 3 | 叶苔科 Jungermanniaceae | 4 | 合叶苔属 <i>Scapania</i> | 2 |
| 裂叶苔科 Lophoziaceae | 2 | 裂叶苔科 Lophoziaceae | 3 | 裂叶苔属 <i>Lophozia</i> | 2 |
| | | 合叶苔科 Scapaniaceae | 2 | 小萼苔属 <i>Mylia</i> | 2 |

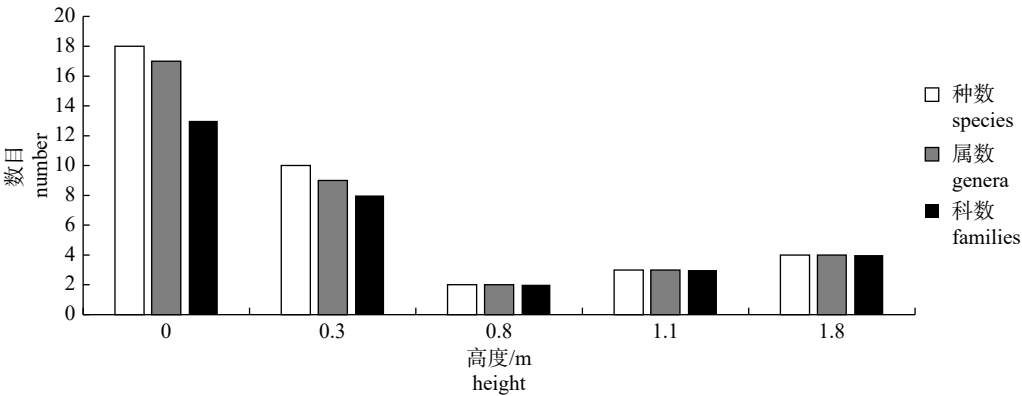


图 1 不同高处树生苔藓的多样性
Fig. 1 The number of species, genera and families at different heights on tree

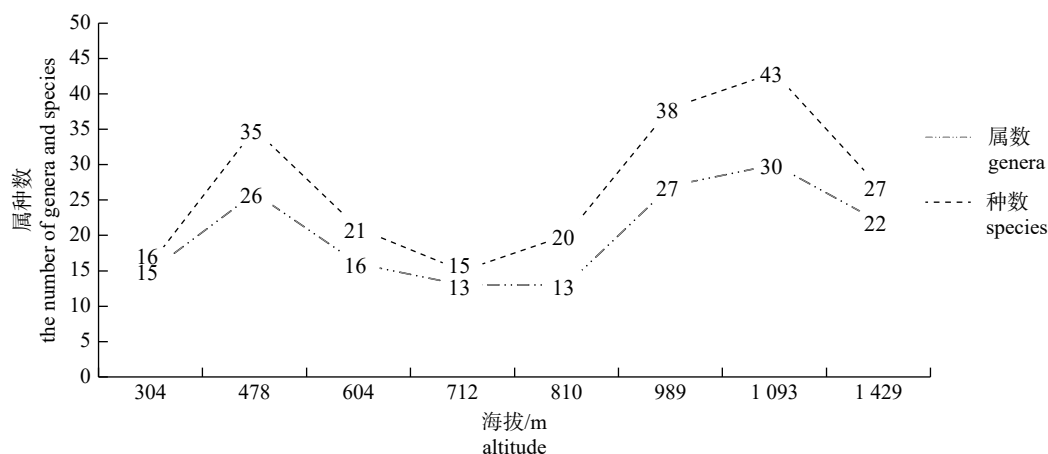
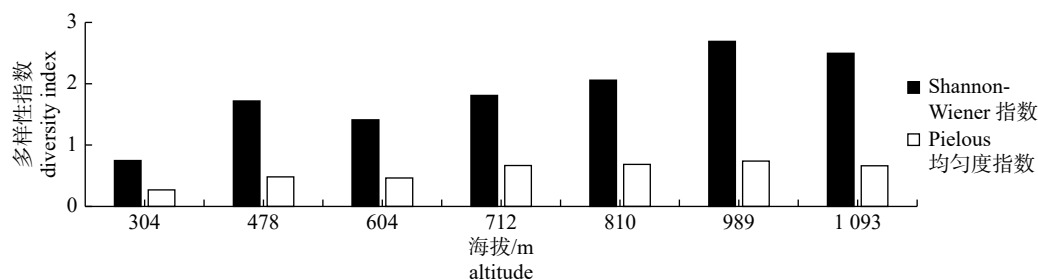


图2 苔藓植物属种随海拔梯度变化

Fig. 2 The number of species and genera at different altitudes

图3 不同海拔地面生苔藓植物的 α 多样性Fig. 3 α -diversity of floor bryophyte communities at different altitudes

成分析相反。604 m 虽然生境为过水地,但群落郁闭度为 40%,种数单一,种的丰富度并不高;712 m 属数相对较少,但物种种数多,因此种的丰富度高。Pielous 均匀度指数在 0.27~0.74 之间,表明均匀度存在一定差异。

由表 3 可知:平顶山苔藓植物 β_C 指数在 7.50~50.00, β_T 指数在 0.30~2.00。其中 810 m 和 1429 m 的 β 多样性指数值最大, β_C 值为 50.00, β_T 值为 2.00,表明两样地的物种差异显著。同一时间段测量发现:两样地生境不同,810 m 的郁闭度为 69%,植被类型为针阔混交林,而 1429 m 的植被类型为草甸—岳桦林,郁闭度低于 810 m 处样地,因此,两样地共有种较少。712 m 和 810 m 的 β 多样性指数值最小, β_C 值为 7.50, β_T 值为 0.30,两样地海拔相近且湿度和光照接近,虽然植被有些差异,但均为针叶与阔叶树的混交林,所以苔藓植物的物种变化较少。

2.3 苔藓环境因子分析

2.3.1 相关分析

由表 4 可知:从地貌类型和坡度看,中低海

拔处主要是典型山地,坡度在 8.6°~17°,只有 604 m 处坡度最小,有不明显积水;高海拔处无人为干扰,基本为原始植被,林下通常为体积较大、表面布满苔藓的流石。样地群落郁闭度在 40%~82%,湿度在 48%~68%。群落高度在 10.5~14.4 m。样地土壤 pH 值均呈明显酸性,在 3.8~6.5。

对 7 个样地环境因子进行相关分析显示(表 5):干扰度与地貌类型和坡度呈现显著负相关,相关系数分别为 -0.786 和 -0.700;湿度与海拔、地貌类型、坡度和群落高度呈负相关,相关系数分别为 -0.524、-0.583、-0.048 和 -0.617;群落高度与海拔和地貌类型分别呈极显著相关和显著相关,相关系数为 0.926 和 0.756。

2.3.2 CCA 分析

对 7 个样地内 17 个主要地面苔藓物种盖度与各样地间环境因子进行 CCA 二维分析,排序结果显示:特征值为 0.462 1、0.386 0、0.180 5 和 0.160 5,表明排序分析可信。由图 4 可知:可将 28 个主要地面苔藓物种分为 3 组,且大多数苔藓物种位于第三、四象限中。

表 3 不同海拔苔藓植物 β 多样性指数测度结果
Tab. 3 Value of β diversity index of bryophytes at different altitudes

| 海拔/m altitude | 304 | 478 | 604 | 712 | 810 | 989 | 1 093 | 1 429 |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 304 | | 18.50 | 11.50 | 10.50 | 12.00 | 23.00 | 24.50 | 0.81 |
| 478 | 0.74 | | 15.00 | 14.00 | 19.50 | 26.50 | 23.00 | 28.00 |
| 604 | 0.46 | 0.60 | | 9.00 | 13.50 | 22.50 | 25.00 | 20.00 |
| 712 | 0.42 | 0.56 | 0.36 | | 7.50 | 22.50 | 25.00 | 22.50 |
| 810 | 0.48 | 0.78 | 0.54 | 0.30 | | 20.00 | 24.50 | 50.00 |
| 989 | 0.92 | 0.92 | 1.00 | 0.98 | 1.00 | | 19.50 | 22.00 |
| 1 093 | 0.92 | 1.06 | 0.90 | 0.90 | 0.80 | 0.78 | | 23.50 |
| 1 429 | 0.66 | 1.12 | 0.80 | 0.90 | 2.00 | 0.88 | 0.94 | |

注：“\”上方的数据为 β_C 值，下方为 β_T 值。
Note: Datas above “\” are β_C , under “\” are β_T .

表 4 平顶山样地环境因子
Tab. 4 Environmental factors of samples plots in Pingdingshan

| 序号 No. | 海拔/m altitude | 地貌类型 geomorphic type | 坡度/(°) slope | 干扰度 disturb | 郁闭度/% shade | 群落高度/m community height | 土壤 pH soil pH | 湿度/% humidity | 植被类型 vegetation form |
|-----------|------------------|----------------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|---|
| D001 | 304 | 1 | 12 | 0.5 | 68 | 10.5 | 6.5 | 68 | 水曲柳—白桦天然次生林 natural secondary forest of <i>Fraxinus mandshurica</i> and <i>Betula platyphylla</i> |
| D002 | 478 | 1 | 17 | 0.5 | 82 | 11.3 | 4.5 | 65 | 鱼鳞云杉人工林 plantation of <i>Picea jezoensis</i> |
| D003 | 604 | 2 | 7 | 0.5 | 40 | 12 | 4.2 | 48 | 白桦天然次生林 natural secondary forest of <i>B. platyphylla</i> |
| D004 | 712 | 1 | 15.8 | 0.5 | 67 | 12 | 3.8 | 67 | 臭冷杉—阔叶混交林 mixed forest of <i>Abies nephrolepis</i> and broadleaf |
| D005 | 810 | 1 | 8.6 | 1 | 69 | 12 | 4.3 | 62 | 针阔混交林 mixed wood |
| D006 | 989 | 3 | 26.4 | 0 | 75 | 13 | 4.2 | 60 | 臭冷杉—岳桦混交林 mixed forest of <i>A. nephrolepis</i> and <i>B. ermanii</i> |
| D007 | 1 093 | 3 | 18.4 | 0 | 55 | 14.4 | 4.6 | 52 | 鱼鳞云杉—岳桦混交林 mixed forest of <i>P. jezoensis</i> and <i>B. ermanii</i> |

表 5 平顶山 7 个样地环境因子相关系数
Tab. 5 Correlation coefficients between the environmental factors

| 环境因子 factors | 海拔 altitude | 地貌类型 geomorphic type | 坡度 slope | 干扰度 disturbance | 郁闭度 shade | 群落高度 height | 土壤 pH soil pH | 湿度 humidity |
|----------------------|----------------|-------------------------|-------------|--------------------|--------------|----------------|------------------|----------------|
| 海拔 altitude | 1.000 | | | | | | | |
| 地貌类型 geomorphic type | 0.583 | 1.000 | | | | | | |
| 坡度 slope | 0.333 | 0.350 | 1.000 | | | | | |
| 干扰度 disturbance | −0.350 | −0.786* | −0.700* | 1.000 | | | | |
| 郁闭度 shade | −0.048 | 0.233 | 0.0238 | 0.117 | 1.000 | | | |
| 群落高度 height | 0.926** | 0.756* | 0.309 | −0.504 | −0.206 | 1.000 | | |
| 土壤 pH soil pH | −0.195 | −0.060 | 0.098 | −0.060 | 0.098 | −0.264 | 1.000 | |
| 湿度 humidity | −0.524 | −0.583 | −0.048 | 0.233 | 0.333 | −0.617 | 0.195 | 1.000 |

注：“***”表示极显著 ($P<0.01$)，“**”表示显著 ($P<0.05$)。
Notes: “***” means extremely significant ($P<0.01$), “**” means significant ($P<0.05$).

I 组：Y003. 万年藓 [*Climacium dendroides* (Hedw.) Web. et Mohr]、Y006. 大灰藓 (*Hypnum plumaeforme* Wils.)、Y009. 垂枝藓 [*Phytidium rugosum* (Hedw.) Kindb.]。此组苔藓分布与土壤 pH 数据呈现正相关，与群落高度呈现负相关。

II 组：Y002. 尖叶匍灯藓 [*Plagiomnium acutum* (Lindb.) T. Kop.]、Y007. 绿羽藓 [*Thuidium assimile* (Mitt.) Jaeg.]、Y005. 扁平棉藓 (*Plagiothecium neckeroideum* B.S.G.)、Y015. 卵叶青藓 [*Brachythecium rutabulum* (Hedw.) B.S.G.]、Y004. 长

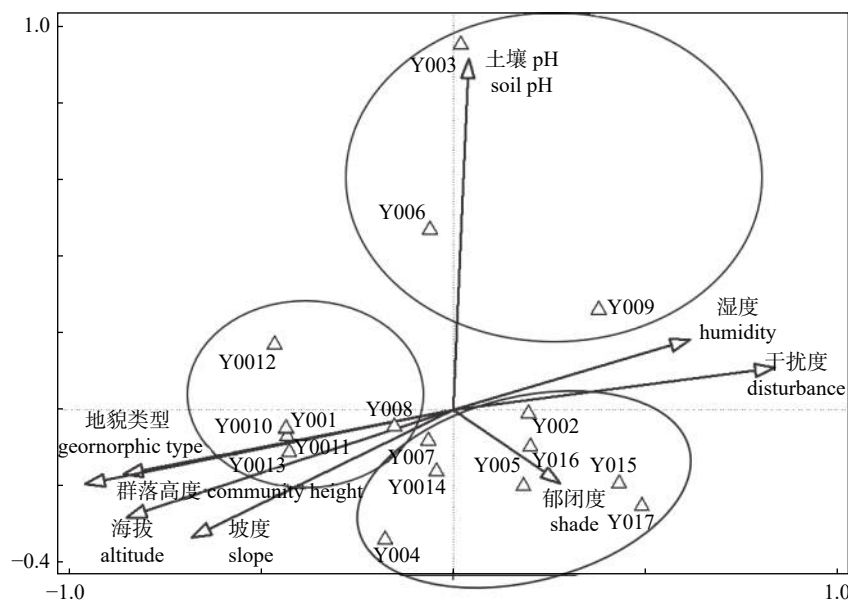


图4 平顶山样地环境因子与28种主要苔藓物种CCA二维排序

Fig. 4 CCA ordination for 28 major bryophytes and environmental factors in Pingdingshan

喙棉藓 [*Plagiothecium succulentum* (Wils.) Lindb.]、Y014. 疣拟垂枝藓 [*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst.]、Y016. 拟附干藓 [*Schwetschkeopsis fabronia* (Schwaegr.) Broth.]、Y017. 鼠尾藓 [*Myuroclada maximowiczii* (Borszcz.) Steere et Schof.]. 此组苔藓分布与郁闭度呈现正相关, 与土壤 pH 呈现负相关。

Ⅲ组: Y008. 灰羽藓 [*Thuidium glaucinum* (Mitt.) Bosch et Lac.]、Y001. 塔藓 [*Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G.]、Y011. 金发藓 [*Polytrichum commune* Hedw.]、Y013. 细叶拟金发藓 [*Polytrichastrum longisetum* (Sw. ex Brid.) G. Sm.]、Y012. 稀孔泥炭藓 (*Sphagnum oligoporum* Warnst. et Card.)、Y010. 棕色曲尾藓 (*Dicranum fuscescens* Tuurn.). 此组苔藓分布与群落高度、地貌类型、海拔坡度呈现正相关, 与土壤 pH、湿度、干扰度呈现负相关。

3 讨论

小兴安岭主峰平顶山苔藓植物物种多样性较高, 本次调查中共发现苔藓植物 107 种, 其中藓类 90 种 1 变种, 占黑龙江省藓类的 31.60%, 分属于 23 科 49 属; 苔类 16 种, 占据黑龙江省的 12.21%, 分属于 9 科 13 属。地面苔藓共 100 种 (包括土生、石生等), 藓类 85 种 1 变种分属于

22 科 50 属, 苔类 14 种分属于 8 科 10 属。由于小兴安岭降水较为充沛, 林中空气湿度较大, 存在一定种类的树生苔藓, 但以树干基部种类最多, 且与地面种类相近。虽然在样地中有 7 种苔藓仅在树干发现, 但还不能完全确定是否为专性生于树木的种类。本次调查中发现的苔类相对较少, 一方面在于苔类植物大都细小柔弱, 更不易发现; 另一方面在于受地形、坡度等因素影响存在采集盲区。此外, 从苔藓植物对环境的适应性看, 藓类比苔类耐低温, 能分布于温带和寒带, 北方地区的藓类物种数量相对更多些。

人类活动对苔藓植物分布的影响引起不少学者的关注, 普遍认为适度干扰会增加物种多样性, 但强度或持续干扰通常会降低多样性^[24-27]。从属种的数量变化上看, 平顶山苔藓植物种类在不同海拔高度呈现 2 个峰值和谷值, 这种变化与干扰程度存在明显关系。中低海拔由于长期砍伐, 存在不同层度的人为干扰, 最低海拔处 (304 m) 人类活动最为频繁, 属种的数量较低, 伴随海拔的增加干扰强度有所减弱, 在 478 m 处出现第 1 个峰值, 但伴随温度的下降导致部分种类的减少, 因此, 在 712 m 处的中山区苔藓植物的数量最少。在中高山区, 人为的干扰逐渐减弱, 且随着海拔的升高, 不同样地的环境异质性增加, 逐渐出现一些不同的种类, 到 1 093 m 处的样地出现

第 2 个峰值。从 α 多样性的变化上看, Shannon-Wiener 指数出现了类似属种数量变化的波动, 且峰值变化与属种数量变化基本一致, 只是第 2 个峰值出现在 989 m 处。从 β 多样性的测度结果看, 810 m 处与 1 429 m 处的物种差异最大, 主要因为前者是针阔混交林, 后者为高山区的草甸—岳桦林植被, 两者之间存在明显的环境异质性。李粉霞等^[28]对西天目山苔藓植物多样性的研究表明不同海拔之间物种更替明显。HERNÁNDEZ 等^[29]对加那利群岛上苔藓植物垂直分布的研究结果显示: 所有苔藓植物的 α 多样性随海拔升高呈现峰形模式 (hump-shaped pattern), 物种替代是形成垂直分布 β 多样性的主要因素。陈云等^[30]研究发现: 小秦岭苔藓物种多样性随海拔的上升呈显著的上升格局, 与本研究的双峰模式有所区别。这种差异可能是两地在纬度上相距较远, 且小兴安岭经历长期砍伐以及近些年的育林, 呈现特殊的垂直分布特征。

环境因子对物种分布及其多样性的形成具有重要影响, 但两者之间的关系十分复杂, 通常不是某一环境因子造成的, 而是多个因子之间的相互作用, 在区域尺度上主要因素有地形地貌、土壤、湿度、干扰程度及海拔等^[31-34]。通过典型相关分析 (CCA) 对不同环境因子与平顶山 17 个主要苔藓植物物种分布进行研究, 发现不同种类苔藓分布与环境因子存在特定关系。如: 塔藓科垂枝藓的分布与土壤 pH 和湿度干扰度呈正相关, 而疣拟垂枝藓与群落高度、海拔和坡度呈现正相关, 说明同科的不同物种在生态位上有所分化^[35]。对于土壤 pH, 多数种类呈现负相关, 主要是由于本次调查的范围为小尺度, 样地设立地理坐标相近, 土壤 pH 接近, 且整体偏酸性无显著差异。除高海拔山地外, 平顶山的中低海拔区都遭受了不同程度的砍伐, 虽然近些年经过人工造林和封山修复后植被的覆盖率较高, 但人为干扰的影响较强。所以, 在 17 个主要苔藓中有 8 个种的分布与干扰呈现正相关。

目前, 国内所有林区都已进入全面禁伐的阶段, 在植被修复和演替过程中苔藓植物的分布及多样性也将伴随着发生变化。因此, 在将来的研究中应该关注不同演替阶段人工林下苔藓植物的多样性, 以便为生态修复提供有价值的参考。

[参考文献]

- [1] CHEEMA Z A, FAROOQ M, WAHID A. Allelopathy: current trends and future applications[M]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [2] 王利松, 贾渝, 张宪春, 等. 中国高等植物多样性[J]. 生物多样性, 2015, 23(2): 217. DOI: [10.17520/biods.2015049](https://doi.org/10.17520/biods.2015049).
- [3] 敖志文, 张光初. 黑龙江植物志: 第一卷[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1985.
- [4] 胡海清, 罗碧珍, 魏书精, 等. 小兴安岭 7 种典型林型林分生物量碳密度与固碳能力[J]. 植物生态学报, 2015, 39(2): 140. DOI: [10.17521/cjpe.2015.0014](https://doi.org/10.17521/cjpe.2015.0014).
- [5] 周以良. 中国小兴安岭植被[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [6] XIAO L Y, WEI K B, XUE Y P, et al. Regeneration strategies influence ground bryophyte composition and diversity after forest clear cutting[J]. Annals of Forest Science, 2013, 70(8): 845. DOI: [10.1007/s13595-013-0323-7](https://doi.org/10.1007/s13595-013-0323-7).
- [7] 高谦, 张光初. 东北苔类植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1981.
- [8] 高谦. 东北藓类植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1977.
- [9] 敖志文, 高谦. 黑龙江省及大兴安岭藓类植物[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1992.
- [10] 高谦. 中国苔藓志: 第一卷[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [11] 高谦. 中国苔藓志: 第二卷[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [12] 黎兴江. 中国苔藓志: 第四卷[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [13] 吴鹏程, 贾渝. 中国苔藓志: 第五卷[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [14] 吴鹏程. 中国苔藓志: 第六卷[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [15] 胡人亮, 王幼芳. 中国苔藓志: 第七卷[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [16] 吴鹏程, 贾渝. 中国苔藓志: 第八卷[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [17] 高谦. 中国苔藓志: 第九卷[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [18] 高谦, 吴玉环. 中国苔藓志: 第十卷[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [19] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测定方法 I. α 多样性的测度方法 (下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231. DOI: [10.3321/j.issn:1005-0094.1994.04.009](https://doi.org/10.3321/j.issn:1005-0094.1994.04.009).
- [20] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II. β 多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1995, 3(1): 38. DOI: [10.3321/j.issn:1005-0094.1995.01.007](https://doi.org/10.3321/j.issn:1005-0094.1995.01.007).
- [21] HJ 710.2—2014. 生物多样性观测技术导则 地衣和苔藓[S].
- [22] 孙逸敏. 利用 SPSS 软件分析变量间的相关性[J]. 新疆教育学院学报, 2007, 23(2): 120. DOI: [10.3969/j.issn.1008-3588.2007.02.037](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-3588.2007.02.037).
- [23] 赖江山. 生态学多元数据排序分析软件 Canoco 5 介绍[J]. 生物多样性, 2013, 21(6): 765. DOI: [10.3724/SP.J.1003.2013.04133](https://doi.org/10.3724/SP.J.1003.2013.04133).

- [24] DANIELS A E D, KARIYAPPA K C. Bryophyte diversity along a gradient of human disturbance in the southern Western Ghats[J]. *Current Science*, 2007, 93(7): 976. DOI: [10.1038/449754a](https://doi.org/10.1038/449754a).
- [25] BAKER T P, JORDAN G J, FOUNTAIN J N M, et al. Distance, environmental and substrate factors impacting recovery of bryophyte communities after harvesting[J]. *Applied Vegetation Science*, 2018, 21(1): 64. DOI: [10.1111/avsc.12343](https://doi.org/10.1111/avsc.12343).
- [26] 范苗, 伍玉鹏, 胡荣桂, 等. 武汉市城区苔藓植物多样性和分布及与环境因子的关系[J]. *植物科学学报*, 2017, 35(6): 825. DOI: [10.11913/PSJ.2095-0837.2017.60825](https://doi.org/10.11913/PSJ.2095-0837.2017.60825).
- [27] 余夏君, 刘雪飞, 洪柳, 等. 不同干扰程度下苔藓植物物种组成差异性研究——以恩施市区为例[J]. *湖北林业科技*, 2018, 47(4): 67.
- [28] 李粉霞, 王幼芳, 刘丽, 等. 浙江西天目山苔藓植物物种多样性的研究[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(2): 192. DOI: [10.13287/j.1001-9332.2006.0039](https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.2006.0039).
- [29] HERNÁNDEZ R, BORGES P A V, GABRIEL R. Scaling α - and β -diversity: bryophytes along an elevational gradient on a subtropical oceanic island (La Palma, Canary islands)[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2017, 28(6): 1209. DOI: [10.1111/jvs.12573](https://doi.org/10.1111/jvs.12573).
- [30] 陈云, 冯佳伟, 牛帅, 等. 小秦岭自然保护区苔藓植物群落数量分类、排序及多样性垂直格局[J]. *生态学报*, 2017, 37(8): 2653. DOI: [10.5846/stxb201512242568](https://doi.org/10.5846/stxb201512242568).
- [31] PAUSAS J G, AUSTIN M P. Patterns of plant species richness in relation to different environments: an appraisal[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2001, 12(2): 153. DOI: [10.2307/3236601](https://doi.org/10.2307/3236601).
- [32] 常凤, 刘彬, 刘若坤, 等. 库车山区新疆假龙胆适生地植物群落多样性及其环境解释[J]. *草地学报*, 2018, 26(5): 1084. DOI: [10.11733/j.issn.1007-0435.2018.05.007](https://doi.org/10.11733/j.issn.1007-0435.2018.05.007).
- [33] 罗先真, 熊源新, 夏欣, 等. 环境因子对湖泊岛屿苔藓植物分布和物种组成的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(7): 2352. DOI: [10.5846/stxb201511192337](https://doi.org/10.5846/stxb201511192337).
- [34] 高媛, 王继飞, 杨君琰, 等. 贺兰山东坡青海云杉林苔藓群落及环境之间的关系[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(1): 221. DOI: [10.13869/j.cnki.rswc.2019.01.032](https://doi.org/10.13869/j.cnki.rswc.2019.01.032).
- [35] 郭水良, 曹同. 应用典范对应分析探讨长白山金发藓科植物的生态位分化[J]. *木本植物研究*, 2000, 20(3): 286. DOI: [10.3969/j.issn.1673-5102.2000.03.017](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-5102.2000.03.017).

责任编辑: 何馨成