籍烨,张朝晖. 林歹二矿岩溶型铝土矿区藓类植物多样性及其生态分布特征研究[J]. 中国岩溶,2015,34(6):599－606.
DOI:10.11932/karst20150609

林歹二矿岩溶型铝土矿区藓类植物多样性及其生态分布特征研究

籍 烨,张朝晖
(贵州师范大学,贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室,贵州 贵阳 550001)

摘 要:文章对贵州省清镇市站街镇林歹二矿铝土矿区的四种不同生态环境下的藓类植物生物多样性及其生态分布特征进行研究。结果表明,共有藓类植物 10 科 22 属 37 种,其中丛藓科(Pottiaceae)、青藓科(Brachytheciaceae)和灰藓科(Hypnaceae)为本矿区的优势科,真藓属(*Bryum*)、曲柄藓属(*Campyloopus*)、毛口藓属(*Trichostomum*)和青藓属(*Brachythecium*)为优势属。黄牛毛藓(*Ditrichum pallidum*)、疣肋曲柄藓(*Campylopus schwarzii*)、日本大丛藓(*Molendoa japonica*)等为优势种;铝土矿区苔藓植物生活型以矮丛集型居多;单一物种群落在这一矿区的苔藓植物群落中占有一定优势。苔藓植物的 Shannon-Wiener 指数和丰富度指数均表现为油菜种植区多样性指数最高,其次为矿区树林区,废石堆积区和细小矿石及矿土堆积恢复区这类受人类活动影响较大的地区苔藓植物多样性指数较小;Pielous 均匀度指数表现为矿区树林区(0.8525)＞废石堆积区(0.8327)＞矿区油菜种植区(0.7650)＞细小矿石及矿土堆积恢复区(0.6229);β 多样性指数表现为细小矿石及矿土堆积恢复区—废石堆积区(0.5000)最高,最低为细小矿石及矿土堆积恢复区—矿区树林区(0.1538)。主成分分析(PCA)结果显示出细小矿石及矿土堆积恢复区和废石堆积区中的苔藓植物组成有较大差异性,小曲尾藓(*Dicranella grevilleana*)和长尖扭口藓(*Barbula ditrichoides*)分别是矿土堆积恢复区和废石堆积区的特征种。相关性较高的苔藓植物种类在岩溶型铝土矿区环境中经常伴随生长。

关键词:岩溶型铝土矿;苔藓植物;生物多样性;主成分分析
中图分类号:Q948;X171.4 **文献标识码**:A **文章编号**:1001－4810(2015)06－0599－08

0 引 言

岩溶型铝土矿是覆盖在灰岩、白云岩等碳酸盐岩凹凸不平岩溶面上的铝土矿。其矿体系古红土风化壳被剥蚀、长距离(30～40 km)搬运、沉积于岩溶地形中的产物[1]。贵州是铝资源大省,保有储量位居全国第二位[2],主要分布在修文、清镇(包括遵义县南部)的黔中地区[3]。铝土矿的开采,造成大量的自然表层被剥离,彻底破坏了地表植被和土壤结构,对土壤的理化性质产生不利影响,进而影响植被的发育,若形成恶性循环,最终将导致土壤更加贫瘠,植被更加难以恢复,生态环境将受到严重影响[4]。苔藓植物是植物界中的一大类群,是种数仅次于种子植物的高等植物,有其特殊的生理适应机制,能在高寒、高温、干旱和弱光等其它陆生植物难以生存的环境中生长繁衍,是自然演替过程中常见的先锋植物,能改善环境条件,从而有利于维管植物的发育。在生活环境受破坏地区提高苔藓植物的发育过程能极大加速植被的重建进程[5]。目前,国内外大部分学者主要针对生长在森林植被中[6－10]、瀑布水生环境[11－12]、较为恶劣的石漠覆盖区[13－14]的苔藓植物进行研究,对于生长在汞矿、金矿、铜矿等矿区金属环境[15－17]的苔藓植物也有部分涉及而针对生长在以岩溶型铝土矿为地质背景的苔藓植物研究较少(研究方向主要在具芽

基金项目:国家自然科学基金项目(31360043;31160042)
第一作者简介:籍烨(1987－),女,硕士研究生,研究方向:工业与城市生态学。E-mail:jiye0518@126.com。
通讯作者:张朝晖(1963－),教授,研究方向:岩溶生态学,苔藓植物学和生物岩溶学。E-mail:academiclife@126.com。
收稿日期:2015－05－25

万方数据

胞苔藓种类特征及对环境因子的生物监测上)[18-19]，多样性统计及生态分布的研究更为少见。本文以贵州清镇典型岩溶型铝土矿区为例，初步探讨了岩溶型铝土矿区藓类植物的多样性及生态分布特征，以期为进一步研究岩溶型铝土矿区生物多样性、环境监测及生态修复提供科学数据和参考。

1 研究区概况

本次采样点位于贵州省清镇市站街镇林歹村林歹二矿地上矿区，东经 106°22′30.70″～106°22′38.59″，北纬 26°39′29.30″～26°39′41.53″。气候类型为北亚热带季风湿润气候，年均气温为 14.1 ℃，气温年较差 18.6 ℃，无霜期 286 天，年降雨量 1 021.2～1 426.9 mm，日照时数 1 228.2 小时。该矿区属于典型岩溶型铝土矿区，为开采后的废弃矿。开采后遗留的矿山生态环境均受到较大程度的破坏，表现为自然表层剥离，岩石裸露，植被损坏严重等特征；除矿区树林区外，细小矿石及矿土堆积恢复区、废石堆积区这类受人类活动影响较大的区域，废弃现象严重，植被覆盖度低，并且以自然恢复为主，有苔藓植物和干枯草本植物生长，并未发现复垦现象。

2 研究方法

2.1 野外工作及室内工作

2.1.1 野外样品采集

作者于 2013 年 12 月对清镇市站街镇林歹村林歹二矿地上矿区进行野外实地考察及样品采集。矿区内依据取样地点的环境特征、矿区植被类型及各类功能区的不同，共设置 4 个 100 m^2 的大样地，每个大样地内抽取 6 个 1 m×1 m 的小样地，每个样地内按照 5 点布样法，均设置 5 个 10 cm×10 cm 的小样方，每个小样方框内共有 10×10 个边长为 1 cm 的样方格，按照苔藓植物群落在样方格内分布的面积大小，读出苔藓植物群落的盖度。观察、记录各植被类型苔藓植物的生活环境(各采集区环境特征参见表 1)，用 GPS 定位仪测量出取样点的经纬度及海拔高度。最终将苔藓植物采集后装入采集袋中，以便进行室内研究。

表 1 取样地点环境特征

Table 1 The environmental feature of sampling sites

样地名称	环境特征	经纬度	海拔/m
细小矿石及矿土堆积恢复区	采集区内多为一年生干枯草本植物，苔藓植物多生长于废石基部的矿土上，废石上也有部分生长，但盖度较小。恢复区内下部平地由于雨水的积累，苔藓长势较好，盖度相对较大。	N26°39′41.53″ E106°22′33.84″	1 377
油菜种植区	样地内苔藓植物多生长于菜地边坡上，以丛集型苔藓为主，石生苔藓则以交织型为主。	N26°39′39.54″ E106°22′30.70″	1 368
废石堆积区	废石上部几乎无土壤，与周围环境相比植被覆盖度极低，在此区域内仅有丛集型苔藓植物生长，体型较小，多生长于废石基部及堆积空隙处薄土层。	N26°39′36.11″ E106°22′34.76″	1 381
矿区树林区	生长乔木、灌木及草本植物，乔木以松树为主，草本植物多为一年生，苔藓植物多为枯落物下土生，且在背阴处成片生长。	N26°39′29.30″ E106°22′38.59″	1 388

2.1.2 室内研究工作

苔藓植物标本鉴定借助 HWG－1 型双筒解剖镜和 SMARTe－320 一体化数码显微镜及 OPTPro 软件观察并拍照。借助所拍照片，重点参看《中国苔藓志》(第一、二、三、四，七，八卷)[20-25]及《中国生物物种名录》(第一卷)[26]，对所采苔藓植物标本(共计 150 份)进行分类鉴定。

2.2 数据分析和处理

2.2.1 α 多样性测度

α 多样性是反映群落内部物种数和物种相对多度的一个指标，主要表明群落本身的物种组成和个体数量分布的特征[27]。本文运用重要值指数[28]、物种丰富度指数[29]、Shannon－Wiener 指数[30]和 Pielou 指数[31]，对铝土矿区苔藓植物进行比较分析和研究。各计算公式如下：

(1)重要值(IV)＝(相对频度＋相对盖度)/2

(2)物种丰富度指数

$$S_j = \sum_{j=1}^{j} \frac{X_{ij} - \overline{X}_{ij}}{\overline{X}_{ij}}$$

S_j—丰富度指数；

X_{ij}—k 个地区中第 i 个地区 n 个分类单元中的第 j 个分类单元数据；

万方数据

$\overline{X}_{ij}$—k 个地区中 n 个分类单元中第 j 个分类单位的数据平均值;

n—分类阶层数。

(3)Shannon-Wiener 指数

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} Pi \ln Pi$$

(4)Pielou 均匀度指数

$$J_h = H'/\ln s$$

式中 Pi=Ni/N,Ni 为第 i 种的相对盖度,N 为 S 个种的相对盖度之和,S 为每个植被样带样地内的所有苔藓物种数。

2.2.2 β 多样性测度

β 多样性是指物种与种的多度沿群落内部或群落间的环境梯度从一个生境到另一个生境的变化速率与范围。主要用以表明群落内或群落间环境异质性的大小对物种数和相对多度的影响[27]。

Sorenson 多样性指数[32]

$$Cs = 2C/(a+b)$$

式中 C 为两个群落共同种,a 和 b 分别为两个群落的物种数。

2.3 数据处理

所有研究数据使用 Excel 软件进行数据处理,并运用 SPSS19.0 软件和 Canoco for Windows 5.0 进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 研究区内苔藓植物物种多样性统计

本次对贵州省清镇市林歹村林歹二矿地上矿苔藓植物野外样品采集,经室内鉴定和复查,共发现藓类植物 10 科 22 属 37 种。其中丛藓科(Pottiaceae)为本矿区苔藓植物的优势科,所占总属数比例最高,达到 13.51%,其次为青藓科(Brachytheciaceae)和灰藓科(Hypnaceae),分别占总属数的 10.81% 和 8.10%。真藓属(*Bryum*)为本矿区的优势属,占总种数的百分比为 24.32%,其次为曲柄藓属(*Campyloopus*)、毛口藓属(*Trichostomum*)和青藓属(*Brachythecium*),分别占总种数的 8.11%。研究结果中,丛藓科和真藓属分别为矿区中苔藓植物的最优势科和优势属。

3.2 苔藓植物重要值统计

重要值表示物种对资源占据和利用能力的大小,是物种在群落中优势度的体现,重要值越大,说明物种在群落中的优势度越大[28]。将重要值指数大于 10%的苔藓物种定为优势种,由表 2 可知,林歹二矿铝土矿的优势苔藓物种有 13 种,分别为黄牛毛藓(*Ditrichum pallidum*)、小曲尾藓(*Dicranella grevilleana*)、疣肋曲柄藓(*Campylopus schwarzii*)、日本大丛藓(*Molendoa japonica*)、毛口藓(*Trichostomum brachydontium*)、阔叶毛口藓(*Trichostomum platyphyllum*)、长尖扭口藓(*Barbula ditrichoides*)、芽胞银藓(*Anomobryum gemmigerum*)、银叶真藓(*Bryum argenteum*)、瘤根真藓(*Bryum bornholmense*)、黄色真藓原变种(*Bryum pallescens* var. *pallescens*)、钙生灰藓(*Hypnum calcicola*)和川西小金发藓(*Pogonatum nudiusculum*)。除钙生灰藓之外,其余 12 种均为丛集型苔藓,这也充分说明丛集型苔藓植物较交织型苔藓在矿区对资源占据和利用能力更大,优势度和适应性更强,贡献率更高。

表 2 林歹二矿苔藓植物物种组成及其重要值指数

Table 2 Statistics of bryophyte species and importance value in the second Lindai bauxite mine

种 名 Specific Name	缩写词	V1	V2	V3	V4	重要值之和
丛毛藓 *Pleuridium subulatum*	*Ple. sub*	0	0.043 9	0	0.021 2	0.065 1
黄牛毛藓 *Ditrichum pallidum*	*Dit. pal*	0	0	0.165 8	0.011 7	0.177 5
小曲尾藓 *Dicranella grevilleana*	*Dic. gre*	0.133 8	0	0	0.031 2	0.165 0
疣肋曲柄藓 *Campylopus schwarzii*	*Cam. sch*	0	0	0.167 3	0	0.167 3
疏网曲柄藓 *Campylopus laxitextus*	*Cam. lax*	0	0	0.077 3		0.077 3
曲柄藓 *Campylopus flexuosus*	*Cam. fle*	0	0	0.018 1	0	0.018 1
鳞叶凤尾藓 *Fissidens taxifolius*	*Fis. tax*	0	0	0	0.010 0	0.010 0
日本大丛藓 *Molendoa japonica*	*Mol. jap*	0.483 5	0.263 8	0.024 0	0.012 9	0.784 2
舌叶毛口藓 *Trichostomum sinochenii*	*Tri. sin*	0.014 1	0	0	0	0.014 1
毛口藓 *Trichostomum brachydontium*	*Tri. bra*	0.152 3	0.106 4	0	0.019 5	0.278 2
阔叶毛口藓 *Trichostomum platyphyllum*	*Tri. pla*	0.021 6	0.085 3	0	0	0.106 9

万方数据

续表 2

种 名 Specific Name	缩写词	V1	V2	V3	V4	重要值之和
长尖扭口藓 *Barbula ditrichoides*	*Bar. dit*	0	0.094 1	0	0.015 1	0.109 2
硬叶扭口藓 *Barbula rigidula*	*Bar. rig*	0	0	0	0.011 7	0.011 7
芽胞红叶藓 *Bryoerythrophyllum pergemmascens*	*Bry. per*	0	0	0.027 6	0	0.027 6
云南链齿藓 *Desmatodon yunnanensis*	*Des. yun*	0	0.012 9	0.035 0	0.013 4	0.061 3
葫芦藓 *Funaria hygrometrica*	*Fun. hyg*	0	0.033 5	0.032 2	0	0.065 7
芽胞银藓 *Anomobryum gemmigerum*	*Ano. gem*	0.056 5	0.205 2	0	0.008 9	0.270 6
狭网真藓 *Bryum algovicum*	*Bry. alg*	0	0	0.010 0	0	0.010 0
高山真藓 *Bryum alpinum*	*Bry. alp*	0	0	0.012 9	0.036 4	0.049 3
毛状真藓 *Bryum apiculatum*	*Bry. api*	0	0	0.025 1	0.044 7	0.069 8
银叶真藓 *Bryum argenteum*	*Bry. arg*	0.073 6	0.087 7	0.087 9	0.156 5	0.405 7
瘤根真藓 *Bryum bornholmense*	*Bry. bor*	0	0.020 8	0.079 7	0.025 2	0.125 7
宽叶真藓 *Bryum funkii*	*Bry. fun*	0.009 7	0	0	0.011 2	0.020 9
拟双色真藓 *Bryum pachytheca*	*Bry. pac*	0	0	0.022 9	0	0.022 9
灰黄真藓 *Bryum pallens*	*Bry. pal*	0	0	0	0.016 3	0.016 3
黄色真藓原变种 *Bryum pallescens* var. *pallescens*	*Bry. pal*	0	0.046 5	0.065 7	0.028 2	0.140 4
柳叶藓原变种 *Amblystegium serpens* var. *serpens*	*Amb. ser*	0	0	0	0.016 8	0.016 8
灰白青藓 *Brachythecium albicans*	*Bra. alb*	0	0	0	0.096 3	0.096 3
小青藓 *Brachythecium perminusculum*	*Bra. per*	0	0	0	0.014 0	0.014
羽枝青藓 *Brachythecium plumosum*	*Bra. plu*	0.054 9	0	0	0.042 4	0.097 3
褶叶青藓 *Brachythecium salebrosum*	*Bra. sal*	0	0	0	0.053 7	0.053 7
扭尖美喙藓 *Eurhynchium kirishimense*	*Eur. kir*	0	0	0	0.020 6	0.020 6
斜枝长喙藓 *Rhynchostegium inclinatum*	*Rhy. inc*	0	0	0	0.008 9	0.008 9
美灰藓 *Eurohypnum leptothallum*	*Eur. lep*	0	0	0	0.028 2	0.028 2
钙生灰藓 *Hypnum calcicola*	*Hyp. cal*	0	0	0.053 5	0.157 3	0.210 8
互生鳞叶藓 *Taxiphyllum alternans*	*Tax. alt*	0	0	0	0.037 9	0.037 9
川西小金发藓 *Pogonatum nudiusculum*	*Pog. nud*	0	0	0.094 8	0.049 6	0.144 4

注：V1—细小矿石及矿土堆积恢复区，V2—废石堆积区，V3—矿区树林区，V4—油菜种植区。

3.3 苔藓植物生活型多样性统计

苔藓植物的生活型是指在不同的生态环境下苔藓植物的集群和生长型的综合特征，是苔藓植物对综合环境条件的适应在外貌上的反映，通过物种组成生活型的分析，可以揭示环境的一般特征[33]。按照 Magdefrau 的概念和对苔藓植物生活型的分类[34]将该矿区苔藓植物的生活型进行划分。由图 1 可知，该铝土矿区苔藓植物生活型较为单一，仅有矮丛集型（Short turfs）、高丛集型（Tall turfs）和交织型（Wefts）三种。其中，矮丛集型苔藓植物在各采集区内所占比例最高，其次为高丛集型，最后是交织型苔藓。在废石堆积区中，并未发现交织型苔藓植物。矮

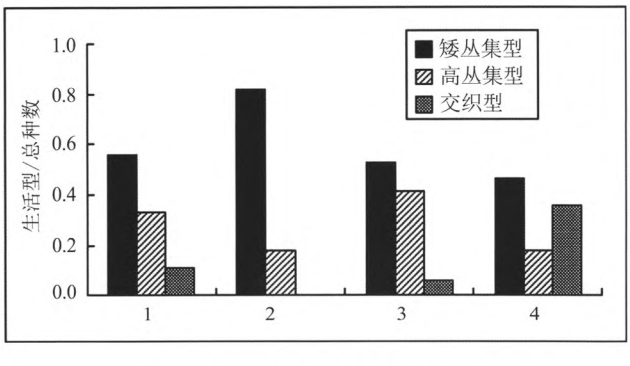

图 1 林歹二矿苔藓植物生活型统计

Fig. 1 The life-forma of bryophytes in the second Lindai bauxite mine

1—细小矿石及矿土堆积恢复区 2—废石堆积区 3—矿区树林区 4—油菜种植区

万方数据

丛集型苔藓植物多生长于废石基部薄土及堆积空隙处,但生物量依然较低,这可能与苔藓植物的生长环境,即生长基质为裸露的岩石有关。相比岩石顶部,基部薄土及空隙处受生物影响较小,相对阴凉,水分更易储存,为苔藓植物的生长提供较好的生活环境。同时这也能反映出生活型为矮丛集型的苔藓植物相比交织型苔藓,更能适应干旱、缺水的生活环境,可以考虑将其中的优势物种进行繁殖,为铝土矿区植被恢复服务。

3.4　苔藓植物群落物种数多样性统计

苔藓植物群落是某些苔藓植物在一定的生活条件下构成的有规律的群体组合,可以反映一定的地质特征和生态特征。苔藓植物对特定生态条件的适应,使之能够成为特定区域内显著的群落类型[35]。图 2 显示出林歹二矿苔藓植物群落物种数占矿区各采集区样方百分比。单一物种群落在矿区内各采集区处于绝对优势,其次为 2 个物种群落、3 个物种群落,之后排序以此类推。

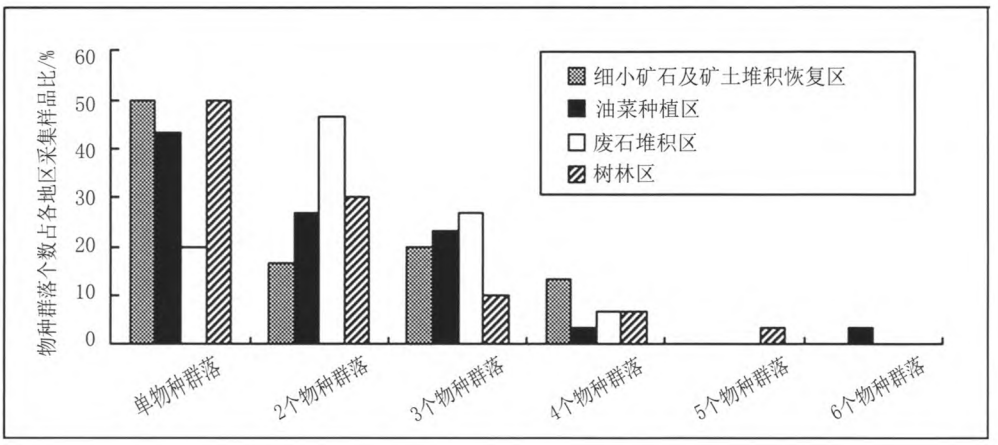

图 2　林歹二矿苔藓植物群落物种数

Fig. 2　The bryophyte species of the communities in the second Lindai bauxite mine

3.5　苔藓植物 α 多样性指数比较

3.5.1　Shannon-Wiener 指数、丰富度指数变化趋势

植被恢复是退化生态系统重建的第一步,植物多样性的恢复是植被恢复的重要内容与标志,群落组织结构的变化用多样性指数变化反应[36]。Shannon-Wiener 指数是用来描述种的个体出现的紊乱和不确定性。不确定性越高,多样性也就越高[37]。丰富度指数 (S_j)表示的是 K 个地区中第 i 个地区植物区系成分的综合系数,是比较分析多个地区植物区系成分丰富程度的方法。S_j 越大,表示这一地区植物区系越丰富;相反,则越贫乏[29]。本次苔藓植物样本采集设置的四个区域分别为油菜种植区、矿区树林区、废石堆积区和细小矿石及矿土堆积恢复区。通过对 Shannon-Wiener 指数、丰富度指数的计算,得出各采集区域苔藓植物多样性指数的变化趋势,并加以分析。由图 3 可知,细小矿石及矿土堆积恢复区和废石堆积区这类受人类活动影响较大的地区苔藓植物多样性指数较小(Shannon-Wiener 指数分别为 1.368 7 和 1.996 8,丰富度指数分别为 −1.208 1 和 −0.894 5),其次为矿区树林区,Shannon-Wiener 指数为(2.415 4),丰富度指数为(0.070 0),油菜种植区多样性指数最高,Shannon-Wiener 指数为(2.549 0),丰富度指数为(2.032 6)。出现这一现象的原因可能是因为废石堆积区和细小矿石及矿土堆积恢复区是受人类活动影响较大的区域,这些地区植被覆盖度极低,除苔藓植物外,仅有稀疏一年生草本植物覆盖,土壤贫瘠,降水很难储存,多样性指数也就相对较低;矿区树林区受外界干扰小,树林的郁闭度较大,地表有机质含

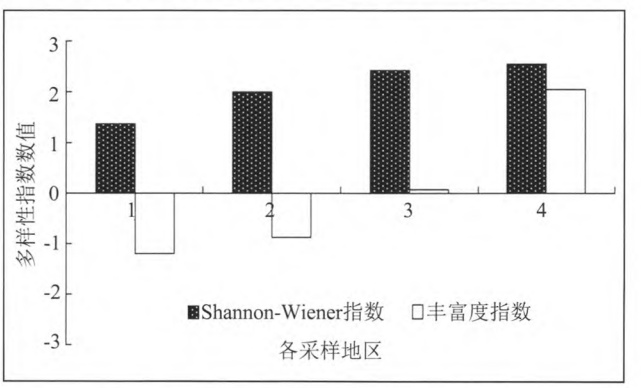

图 3　林歹二矿苔藓植物多样性指数比较

Fig. 3　The comparison of the diversity index of bryphytes in the second Lindai bauxite mine

1—细小矿石及矿土堆积恢复区,2—废石堆积区,3—矿区树林区,4—油菜种植区。

万方数据

量较高，水分容易储存，为苔藓植物的生长提供良好的生存环境。因此，多样性指数位居矿区第二；油菜种植区苔藓植物多分布于菜地边坡，而菜地内部苔藓较少。在这一地区虽受人类活动的干扰最大，但多样性指数在四个采集区内最高，分析原因可能是因为在矿区中人类所首选的种植区域必定是那些水肥条件好，外界干扰低，地势相对平坦，更适合农作物生长的地区，加之，农户会对田间作物进行定期施肥和浇灌，间接地对苔藓植物的繁殖产生有利影响，多样性指数也就最高。

3.5.2 Pielous 均匀度指数变化

Pielou 指数是指一个群落或生境中全部物种个体数目的分配状况，它反映的是各物种个体数目分配的均匀程度[37]。由图 4 可知，林歹二矿各采集区 Pielous 均匀度指数为矿区树林区＞废石堆积区＞矿区油菜种植区＞细小矿石及矿土堆积恢复区。这反映出苔藓植物的均匀度与形成年代有关，受人类活动干扰越小，形成年代也就越早，群落均匀度也就越大，群落中的物种分布也就更加均匀。

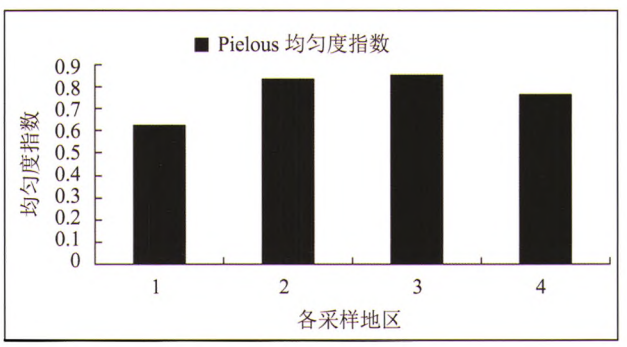

图 4 林歹二矿苔藓植物 Pielous 均匀度指数比较

Fig. 4 The comparison of the Pielous index of bryphytes in the second Lindai bauxite mine

1－细小矿石及矿土堆积恢复区，2－废石堆积区，3－矿区树林区，4－油菜种植区

3.6 苔藓植物 β 多样性测度

由表 3 表明，Sorenson 多样性指数位于前三位的有细小矿石及矿土堆积恢复区与废石堆积区＞矿区油菜种植区和废石堆积区＞矿区油菜种植区和矿区树林区。形成这一现象的原因可能是在矿山未开采之前，细小矿石与废石之间是相互混合的，矿石的形成年代与废石相同或相近，所处环境相同。因此，苔藓间的生长基质也就相近，相似性指数也就最高；废石堆积区位于油菜种植区上部，相似的气候及水土小环境，构成了苔藓植物物种相似的生存条件。因此，相似性指数较高；油菜种植区和矿区树林区的距离较远，苔藓所处的具体生存环境差异性较大，因此，相似性指数也就最低。

表 3 林歹二矿 β 多样性指数统计

Table 3 β diversity index of bryophytes in the second Lindai bauxite mine

样地名称	1	2	3	4
1	1			
2	0.500 0	1		
3	0.153 8	0.357 1	1	
4	0.378 4	0.410 3	0.400 0	1

注：1－细小矿石及矿土堆积恢复区，2－废石堆积区，3－矿区树林区，4－油菜种植区。

3.7 岩溶型铝土矿区苔藓植物生态分布特征

主成分分析是一种掌握主要矛盾的统计分析方法，能够通过简化数据（即用较少的综合指标代替原来具有一定相关性的较多的指标），来反映原来多变量的大部分信息[38]。

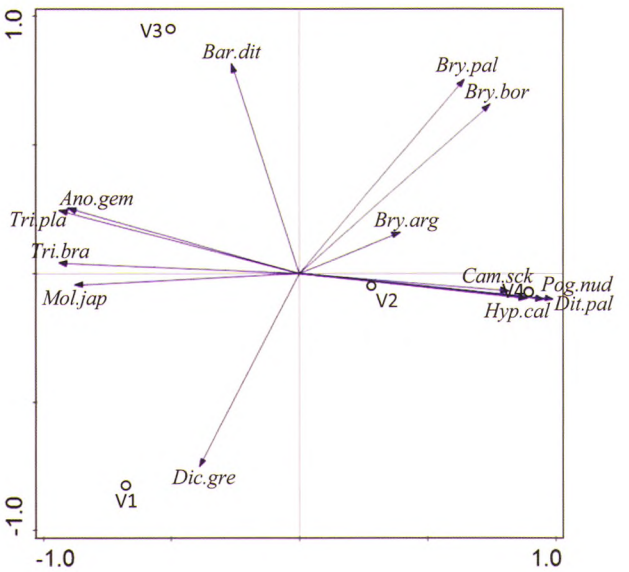

图 5 林歹二矿优势苔藓 PCA 二维排序图

Fig. 5 PCA two-dimensional ordination diagram of bryophytes in the second of Lindai Bauxite

V1－细小矿石及矿土堆积恢复区 V2－废石堆积区 V3－矿区树林区 V4－油菜种植区

此次以铝土矿区苔藓植物重要值大于 10% 的优势苔藓作为研究对象，以样方内苔藓植物重要值为数据做主成分分析（PCA），在 PCA 排序图中，苔藓物种用带箭头的线段表示，圆圈表示样点，线段长短表示苔藓植物多度（重要值）大小，两物种射线之间夹角的余弦值在数值上等于两者的相关系数，夹角越小，相关性越高；样点到物种的投影点表示该样点某物种的

万方数据

多度值(重要值),沿着箭头方向为增大;样点之间连线的长度便是样方之间的欧几里德距离,长度越短代表两者之间的差异越小。

从图 5 可以看出,油菜种植区(V2)和矿区树林区(V4)两矿点的苔藓植物组成相似,由疣肋曲柄藓、川西小金发藓、黄牛毛藓和钙生灰藓等主要苔藓植物组成,其中,矿区树林区的苔藓植物多度明显高于油菜种植区中的苔藓植物。矿土堆积恢复区和废石堆积区中的苔藓植物组成有较大差异性,小曲尾藓和长尖扭口藓分别是矿土堆积恢复区和废石堆积区的主要苔藓植物,为两地的苔藓植物特征种类。毛口藓和芽胞银藓物种相关性较高,这两个物种在环境中经常伴随生长。

4 结论和讨论

(1)研究区内共发现苔藓植物 10 科 22 属 37 种,其中丛藓科、青藓科和灰藓科为本矿区的优势科,真藓属、曲柄藓属、毛口藓属和青藓属为优势属。同时,黄牛毛藓、小曲尾藓、疣肋曲柄藓、日本大丛藓、毛口藓、阔叶毛口藓、长尖扭口藓、芽胞银藓、银叶真藓、瘤根真藓 、黄色真藓原变种、钙生灰藓和川西小金发藓为优势种。由于长期的采矿作业,矿区内受人类活动影响较大,苔藓植物群落生存环境较为恶劣,多见于岩石缝隙及低洼薄土之上,这说明矿区生态环境对苔藓物种有较强的选择性,同时也说明这类苔藓植物对矿区环境的耐受性更强,对矿区生态环境的恢复贡献率更大。

(2)通过对黔中岩溶型铝土矿区苔藓植物生活型的研究,可以反映出苔藓植物对铝土矿区环境的适应情况,同时也为矿区生态环境恢复提供依据。林歹二矿铝土矿区苔藓植物生活型单一,仅有矮丛集型、高丛集型和交织型三种。矮丛集型的苔藓植物在矿区复杂多变的环境下分布较高丛集型和交织型苔藓植物更为广泛,具有良好的适应性和生存能力,可以为矿山环境的恢复,特别是对裸岩地区的环境改善提供一定的先锋植物生态功能。

(3)单一物种群落较多物种群落在这一矿区的苔藓植物群落中占有一定优势,更能克服矿区土壤贫瘠、水分条件较差的不利环境。这表明群落中的单一物种对矿区金属环境有较好适应性,对矿山环境的治理与修复具有潜在的研究意义和参考价值。

(4)分析该岩溶型铝土矿区苔藓植物 α 多样性,发现苔藓植物的 Shannon-Wiener 指数和丰富度指数均表现为油菜种植区多样性指数最高,其次为矿区树林区,废石堆积区和细小矿石及矿土堆积恢复区这类受人类活动影响较大的地区苔藓植物多样性指数较小;Pielous 均匀度指数表现为矿区树林区(0.852 5)>废石堆积区(0.832 7)>矿区油菜种植区(0.765 0)>细小矿石及矿土堆积恢复区(0.622 9);β 多样性指数表现为细小矿石及矿土堆积恢复区—废石堆积区(0.500 0)最高,最低为细小矿石及矿土堆积恢复区—矿区树林区(0.153 8)。这说明郁闭度、人类活动影响及相似的地理环境等因素是影响苔藓植物多样性分布的重要特征。

(5)以样方内苔藓植物重要值为数据做主成分分析(PCA),结果显示出矿区中不同区域的苔藓植物生态分布特征存在差异性,矿土堆积恢复区和废石堆积区存在特征种,相关性较高的苔藓植物种类在岩溶型铝土矿区环境中经常伴随生长。

参考文献

[1] 刘中凡. 世界铝土矿资源综述[J]. 轻金属,2001,(5):7—12.

[2] 文舰. 贵州铝矿山现状及发展对策[J]. 轻金属,2004,(5):6—9.

[3] 万朝元. 贵州铝业开发形势及加强铝土矿地质勘查的建议[J]. 贵州地质,2010,27,(1):1—12.

[4] 郑宝义,刘尔强. 铝矿山生态环境保护措施[J]. 轻金属,2004,(4):6—9.

[5] 吴玉环,程国栋,高谦. 苔藓植物的生态功能及在植被恢复与重建中的作用[J]. 中国沙漠,2003,23(3):215—220.

[6] Weibull H, Rydin H. Bryophyte species richness on boulders: relationship to area, habitat diversity and canopy tree species [J]. Biological Conservation, 2005,122(1): 71—79.

[7] Nicole A. Mandl, Michael Kessler, S. Robbert Gradstein. Effects of environmental heterogeneity on species diversity and composition of terrestrial bryophyte assemblages in tropical montane forests of southern Ecuador[J]. Plant Ecology and Diversity, 2009,2(3):313—321.

[8] 曹同,郭水良. 长白山主要生态系统苔藓植物的多样性研究[J]. 生物多样性,2000,8(1):50—59.

[9] 汪岱华,王幼芳,左勤,李敏,等. 浙江西天目山主要森林类型的苔藓多样性比较[J]. 植物生态学报,2012,36(6):550—559.

[10] 王登富,张朝晖. 赤水河上游主要森林植被中苔藓物种多样性研究[J]. 植物研究,2013,33(5):558—563.

[11] 张朝晖,陈家宽. 黔中瀑布水生苔藓植物区系及其生物喀斯特沉积生态类型研究[J]. 中国岩溶,2007,26(2):170—177.

[12] 张朝晖,陈家宽. 桂西南喀斯特瀑布水生苔藓植物生物多样性与生态沉积类型研究[J]. 沉积学报,2007,25(4):603—611.

[13] 张天汉,张朝晖. 贵州关岭县喀斯特峰丛石漠区苔藓群落生态特征[J]. 中国岩溶,2014,33(2):192—200.

[14] 籍烨,张朝晖. 喀斯特石漠生态系统不同自然演替阶段中苔藓植物多样性特征分析[J]. 植物科学学报,2014,32(6):577—585.

[15] 刘荣相,张朝晖. 贵州东南部喀斯特汞金矿带苔藓植物及其重金属富集特征[J]. 中国岩溶,2010,29(1):43—47.

[16] 黄文珑,张朝晖. 戈塘卡林型金矿区苔藓植物与维管植物元素相关性研究[J]. 黄金, 2009,30(6):14—17.

[17] 陈肖鹏,张朝晖. 贵州某铜矿 4 种苔藓植物及其基质重金属元素分析[J]. 黄金, 2010, 31(3):48—52.

万方数据

[18] 殷声锋,王智慧,张朝晖.贵州喀斯特铝土矿具芽胞苔藓种类特征:以贵州省清镇市林歹铝土矿为例[J].中国岩溶,2014,33(4):449－455.
[19] Shiqiang Wang, Zhaohui Zhang, Zhihui Wang. Bryophyte communities as biomonitors of environmental factors in the Goujiang karst bauxite, southwestern China[J]. Science of The Total Environment, 2015,538:270－278.
[20] 高谦.中国苔藓志:第 1 卷[M].北京:科学出版社,1994: 1－368.
[21] 高谦.中国苔藓志:第 2 卷[M].北京:科学出版社,1996: 1－293.
[22] 黎兴江.中国苔藓志:第 3 卷[M].北京:科学出版社,2000: 1－157.
[23] 黎兴江.中国苔藓志:第 4 卷[M].北京:科学出版社,2006: 1－263.
[24] 胡人亮,王幼芳.中国苔藓志:第 7 卷[M]. 北京:科学出版社,2005: 1－288.
[25] 吴鹏程,贾渝.中国苔藓志:第 8 卷[M].北京:科学出版社,2004: 1－482.
[26] 贾渝,何思.中国生物物种名录:第 1 卷[M].北京:科学出版社,2013: 1－525.
[27] 戈峰.现代生态学[M].北京:科学出版社,2008:318－318.
[28] 田晔林,王文和,颜亭玉,等.北京百花山自然保护区不同植被地面生苔藓植物物种多样性[J].植物研究,2013,33(4):398－403.
[29] 左家哺.植物区系的数值分析[J].云南植物研究,1990,12(2):179－185.
[30] Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity [J]. Taxon,1972,21, 213 －251.
[31] Pielou EC. Ecological Diversity[M]. New York: JohnWiley, 1975:16－51 .
[32] 王春玲,金玲.黄河阶地植物群落演替及物种多样性研究[J].甘肃林业科技,2012,37(3):1－4.
[33] 宋永昌.植被生态学[M].上海:华东师范大学出版社,2001.
[34] Magdefrau K. Life forms of bryophytes[A]. Bryophyte Ecology,1982:45－58.
[35] 潘莎,张朝晖.贵州松桃水银厂苔藓植物群落生态特征[J].贵州师大学报,2010,28(4):92－96.
[36] 于立忠,朱教君,孔祥文,等.人为干扰(间伐)对红松人工林林下植物多样性的影响[J].生态学报,2006,26(11):3757－3764
[37] 牛翠娟,娄安如,孙儒泳,等.基础生态学[M].北京:高等教育出版社, 2007:160－162.
[38] 李玉,俞志明,宋秀贤.运用只成分分析(PCA)评价海洋沉积物中重金属污染来源[J].环境科学,2006,27(1):137－141.

Biodiversity of bryophytes and their characteristics of ecological distribution in the second Lindai karst bauxite area

JI-ye , ZHANG Zhao-hui

(Key Laboratory for Information System of Mountainous Area and Protection of Ecological Environment of Guizhou Province , Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001,*China)*

Abstract This paper studied the bryophytes' biodiversity as well as their metallic elements of the growth substrate. The bryophytes were found in four different ecological environments in the second Lindai bauxite region in Zhanjie town of Qingzhen city, Guizhou province. As discovered in the study area, 37 bryophytic species belong to 22 genera and 10 families, of which Pottiaceae, Brachytheciaceae, Hypnaceae are the dominant families, Bryum, Campyloopus, Trichostomum, Brachythecium are the dominant genera and Ditrichum pallidum, Campylopus schwarzii, Molendoa japonica are the dominant species. The short turfs are the majority; and single-species community is the dominant community in this bauxite area. In this paper, Shannon-wiener and richness indexes were analyzed respectively. The results show that the diversity is highest in rapeseed planting area, followed by forest area in bauxite region. The diversity index is comparatively low in waste rock pile and bauxite soil dump rehabilitation areas, which have been heavily influenced by human activities. Pielous index in forest area is 0.8525, in waste rock pile area is 0.8327, in rapeseed planting area is 0.7650 and0.6229 in bauxite waste dump rehabilitation area. However, the β diversity index indicates that the highest biodiversity index (0.500) occurs in the bauxite soil dump rehabilitation and waste rock pile areas, while the lowest value(0.1538) occurs in the bauxite soil dump rehabilitation area and forest area in bauxite region. Furthermore, PCA results show that the bryophyte composition in bauxite soil dump rehabilitation area is different from that of waste rock pile area, characterised by the representative species Dicranella grevilleana and Barbula ditrichoides occur in the different areas, respectively. The bryophyte species with close species correlation are found to have attendant growth in karst bauxite mines.

Key words karst bauxite, bryophyte, biodiversity, PCA

(编辑 张 玲)

万方数据