

文章编号:1001-4810(2010)02-0162-08

贵州木油厂白云岩型汞矿苔藓植物研究

陈肖鹏,王智慧,张朝晖

(贵州师范大学生命科学学院、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:对贵州木油厂白云岩型汞矿6种生境中的苔藓植物进行分析研究。结果显示,(1)该汞矿共有12科37属85种(含变种、亚种)苔藓植物,其中以丛藓科、真藓科和青藓科为优势科,且适生于重金属污染的木油厂白云岩型汞矿区;(2)废石、废渣、矿洞、溪水是丛藓科、真藓科及青藓科共同分布的4种生境,此外,丛藓科和真藓科还见于废炉、真藓科和青藓科还见于树附生生境中;(3)废炉和废渣、废渣和溪水、废炉和溪水、废渣和矿洞、矿洞和溪水以及废炉和矿洞的苔藓植物的种相似性系数分别是0.49、0.46、0.45、0.41、0.35和0.31,表明它们各自均是两者亲近;矿洞和树附生、树附生和溪水的苔藓植物的种相似性系数均为0,说明彼此无关系;(4)区系地理成分含北温带分布(27.06%)、中国特有分布(24.71%)、东亚分布(17.65%)、热带亚洲分布(14.12%)、世界分布(7.06%)、泛热带分布(3.53%)、旧世界温带分布(2.35%)、热带亚洲至热带大洋洲分布(1.18%)、热带亚洲至热带非洲分布(1.18%)和温带亚洲分布(1.18%)10个分布类型;(5)生活型含矮丛集型(71.76%)、交织型(21.18%)、高丛集型(2.35%)、平铺型(2.35%)和一年生型(2.35%)5个类型。

关键词:苔藓植物;区系;相似性系数;白云岩型汞矿;木油厂;贵州

中图分类号:Q948 **文献标识码:**A

采矿活动不仅破坏生态环境,改变局部小气候,而且造成不同程度不同影响范围的各种污染^[1~5]。苔藓植物是陆地先锋植物之一,适生于干旱、恶劣的生存环境。在重金属污染严重的各种矿区,作为拓荒拓殖植物之一,苔藓植物能耐受高浓度重金属离子的毒性^[6~11]。务川汞矿区土法炼汞年释汞量为3.7~9.6 t,是贵州大气汞的一个重要的人为释汞源^[12]。尽管矿区汞污染严重,但苔藓植物仍生长得很好。苔藓植物在碳酸盐岩地区活跃地参与钙华活动,形成丰富的钙沉积^[13~20];前人研究表明作为重金属污染的生物指示物,采自挪威的地衣和藓类植物的汞含量比其他高等植物更高^[21,22]。笔者通过木油厂汞矿苔藓植物的研究,以揭示苔藓植物的区系特征及其与生境的

关系,明确矿区苔藓植物种类,为利用苔藓植物指示重金属污染提供基本分类依据。

1 研究地概况

著名的巨型木油厂汞矿位于贵州省遵义市务川县,属碳酸盐岩型层控层状汞矿床,矿石工业类型以碳酸岩单汞辰砂矿石为主,汞平均品位为0.115~0.15%。该汞矿海拔高度700~1 300 m,平均海拔1 060 m,气温5~20℃,年均降雨量1 284.5 mm^[23]。汞矿主要产于下寒武统清虚洞组上部,其次产于中寒武统高台组、石冷水组及平井组的白云岩中^[24],为白云岩型汞矿。由于土法炼汞行为肆意频繁,废渣随意

基金项目:国家自然科学基金[国基(30860025)号]、贵州省中长期科技规划重大专项和重点领域基础培育项目[黔教科(2008)012号]、贵州省基金(No. 2009-2033)、贵州师范大学博士科研启动费

第一作者简介:陈肖鹏(1980—),男,在读硕士研究生,主要从事植物学研究。E-mail:chenfhy@163.com。

通讯作者:张朝晖(1963—),男,博士、教授,主要从事生态学和植物学研究。E-mail:academiclife@126.com。

收稿日期:2009-12-28

倾倒,该汞矿对土地、大气、水源构成重金属污染,对人民群众生命安全、身体健康造成极大威胁^[25]。近年研究仍然显示该汞矿Cu、Hg和As均超标,特别是平均Hg含量达到150.347 mg/kg^[26]。该汞矿石漠化程度较弱,但可见到处任意堆砌的废炉、废渣,镂空山体的矿洞,及少量白云岩废石,但苔藓植物生长旺盛。矿区有一条溪流经过,溪流周围多废渣,甚至河床也是长期冲刷废渣形成的。矿区高大乔木少见,多灌木、草本,对采集树附生苔藓植物有一定局限。

2 研究方法

2.1 野外工作

分别于2008年8月18—19日和2009年4月26日对木油厂白云岩型汞矿野外调查苔藓植物,采用“S”形采样法,以10 cm×10 cm的样方为准共采集标本309号。选择在废炉、废石、废渣、矿洞、树附生和溪水6种不同小生境(表1)分别采样。苔藓植物在废炉、废石、废渣和矿洞的生长基质均为白云岩,甚至在溪水

中的底泥和水中元素成分也受白云岩和废渣的影响。

表1 木油厂汞矿苔藓植物生境的统计

Tab.1 Statistics of habitat types of the bryophytes in the Muyouchang Mercury Mine			
生境类型	环境特点	基质	海拔/m
废炉	草本、灌木稀少或没有	白云岩、砖或土	984~1 119
废石	草本稀少	白云岩	1 172
废渣	草本、灌木稀少或没有	白云岩	961~1 182
矿洞	潮湿,距洞口3 m以内,或洞口外围,四周有少量大灌木	白云岩	1 011~1 119
树附生	距地面2 m以内的泡桐树表面,距地面3.5 m以内的杨树表面	木本植物表面	990
溪水	草本、灌木茂盛或稀少	流水钙华	953~1 004

2.2 室内工作

2.2.1 标本鉴定

借助现代中国和国际苔藓植物志及相关分类工具书,重点参考《中国藓类植物属志》(上、下册)、《中国苔藓志》(一~四,六~十卷)、《Journal of Bryology》、《The Bryologist》和《The Bryological Times》等国际专业学术刊物,使用HWG21型双筒解剖镜、XSZ2107TS型光学显微镜及实体解剖镜等仪器分析并鉴定苔藓植物标本。

2.2.2 苔藓植物区系地理分析

苔藓植物分布区的划分,主要根据国内外苔藓植物志和现代苔藓植物区系地理分布理论等^[27~29],按苔藓植物分布地点归纳。生活型参考Mägdefrau的概念和分类系统^[30]。

2.2.3 数据处理

相似性系数(Similarity coefficient)^[31]计算公式:

$$S_c = \frac{2c}{A+B}$$

式中,A为甲地区全部种数,B为乙地区全部种数,c为两地区共有种数。

相似性系数是比较不同地区植物区系相似性程度的数值。种相似性系数的等级是:当 $S_c=0$ 时两者无关系,当 $0.01\leq S_c<0.05$ 时两者很疏远,当 $0.05\leq$

$S_c<0.1$ 时两者疏远,当 $0.1\leq S_c<0.2$ 时两者比较疏远, $0.2\leq S_c<0.3$ 时两者比较亲近, $0.3\leq S_c<0.5$ 时两者亲近, $S_c\geq 0.5$ 时两者很亲近^[32]。

3 结果与分析

3.1 苔藓植物种类组成分析

通过室内研究鉴定,木油厂白云岩型汞矿现共有苔藓植物12科37属85种。其中苔类植物2科2属2种,藓类植物10科35属83种。

3.1.1 科的组成分析

研究表明木油厂白云岩型汞矿苔藓植物的科数有明显差异(表2)。按科内所含属的多少统计,该汞矿具有3属以上的科共有4个,占总科33.33%;该4个科中共包含26个属(占总属70.27%)和包含58个种(占总种68.24%)。含有2属的科有3个,所含的科、属、种分别占总科、总属、总种的25%、16.22%和22.35%。具有1属的科有5个,所含的科、属、种占总科、总属、总种的41.67%、13.51%和9.41%。按科内所含种的多少统计,含3种以上的科共有7个,占总科58.33%;该7个科中共包含78个种,占总种91.76%。含2个和1个种的科共有5个,占总科41.67%,该5个科共包含7个种,占总种8.24%。两种结果综合显示:丛藓科占主导地位,包含16个属(占总属42.34%)、

39 个种(占总种45.88%)。真藓科包含4 个属(占总属 10.81%)、12 个种(占总种14.12%)。

表2 木油厂汞矿苔藓植物的统计
Tab.2 Statistics of families of bryophytes in the Muyouchang Mercury Mine

科 名	属数	占总属百分比/%	科 名	种数	占总种百分比/%
丛藓科 Pottiaceae	16	43.24	丛藓科 Pottiaceae	39	45.88
真藓科 Bryaceae	4	10.81	真藓科 Bryaceae	12	14.12
曲尾藓科 Dicranaceae	3	8.11	青藓科 Brachytheciaceae	10	11.76
羽藓科 Thuidiaceae	3	8.11	葫芦藓科 Funariaceae	7	8.24
青藓科 Brachytheciaceae	2	5.41	曲尾藓科 Dicranaceae	4	4.71
葫芦藓科 Funariaceae	2	5.41	凤尾藓科 Fissidentaceae	3	3.53
灰藓科 Hypnaceae	2	5.41	羽藓科 Thuidiaceae	3	3.53
凤尾藓科 Fissidentaceae	1	2.7	薄罗藓科 Leskeaceae	2	2.35
薄罗藓科 Leskeaceae	1	2.7	灰藓科 Hypnaceae	2	2.35
蛇苔科 Conocephalaceae	1	2.7	蛇苔科 Conocephalaceae	1	1.18
地钱科 Marchantiaceae	1	2.7	地钱科 Marchantiaceae	1	1.18
柳叶藓科 Amblystegiaceae	1	2.7	柳叶藓科 Amblystegiaceae	1	1.18

野外考察及室内鉴定显示,真藓科(Bryaceae)分布于6 种生境中;丛藓科(Pottiaceae)分布于除树附生外的其余5 种生境中;青藓科(Brachytheciaceae)分布于除废炉外的其余5 种生境中;蛇苔科(Conocephalaceae)、地钱科(Marchantiaceae)、曲尾藓科(Dicranaceae)和葫芦藓科(Funariaceae)均分布于废炉、废渣、矿洞和溪水中;凤尾藓科(Fissidentaceae)分布于矿洞和溪水中;薄罗藓科(Leskeaceae)分布于废渣和矿洞中;羽藓科(Thuidiaceae)分布于废渣和树附生;柳叶藓科(Amblystegiaceae)和灰藓科(Hypnaceae)均分布于溪水中。

3.1.2 属的组成分析

在该汞矿37 属苔藓植物中,按所含种的多少统计:青藓属(*Brachythecium* B. S. G.)含有9 种,占总种10.59%。扭口藓属(*Barbula* Hedw.)和石灰藓属[*Hydrogonium*(C. Muell.) Jaeg.]分别含有7 种,各占总种8.24%。小石藓属(*Weisia* Hedw.)、立碗藓属[*Physcomitrium*(Brid.) Fuernr.]和真藓属(*Bryum* Dill.)分别含有5 种,各占总种5.88%。凤尾藓属(*Fissidens* Hedw.)、净口藓属(*Gymnostomum* Nees et Hornsch.)、毛口藓属(*Trichostomum* Bruch.)、丝瓜藓属(*Pohlia* Hedw.)和短月藓属(*Brachymenium* Schwaegr.)分别含有3 种,各占总种3.53%。小曲尾藓属[*Dicranella*(C. Muell.) Schimp.]、丛本藓属(*Anoetangium* Schwaegr.)、圆口藓属(*Gyroweis*a Schimp.)、湿地藓属(*Hyophila* Brid.)、葫芦藓属

(*Funaria* Hedw.)和细枝藓属(*Lindbergia* Kindb.)分别含有2 种,各占总种2.35%。蛇苔属(*Conocephalum* Hill)、地钱属(*Marchantia* L.)、小毛藓属(*Microdus* Schimp.)、曲尾藓属(*Dicranum* Hedw.)、侧立藓属(*Pleuroweis*a Limpr.)、酸土藓属[*Oxystegus*(Limpr.) Hilp.]、扭毛藓属(*Streblotrichum* P. Beauv.)、美叶藓属(*Bellibarbula* Chen)、小扭口藓属(*Semibarbula* Herz. ex Hilp.)、红叶藓属(*Bryoerythrophyllum* Chen)、链齿藓属(*Desmatodon* Brid.)、墙藓属(*Tortula* Hedw.)、银藓属(*Anomobryum* Schimp.)、麻羽藓属[*Claopodium*(Lesq. et Jam.) Ren et Card.]、小羽藓属[*Haplocladium*(C. Muell.) C. Muell.]、羽藓属(*Thuidium* B. S. G.)、镰刀藓属[*Drepanocladus*(C. Muell.) G. Roth]、长喙藓属(*Rhynchostegium* B. S. G.)、偏蒴藓属(*Ectropothecium* Mitt.)和粗枝藓属(*Gollania* Broth.)都是单种属,其属数和种数分别占总属54.05%和总种23.53%。含有5 个以上种的属都具有优势,它们共占总属的16.22%。在含5 个以上种的属中,共含38 个种,占总种的44.71%。同时,单种属也占有较大比例,说明木油厂白云岩型汞矿苔藓植物的属数较多。

结合生境和室内鉴定显示,真藓属分布于6 种生境中;小石藓属和扭口藓属分布于除树附生外的其余5 种生境中;青藓属分布于除废炉外的其余5 种生境中;蛇苔属、地钱属、曲尾藓属、石灰藓属和立碗藓属均分布于废炉、废渣、矿洞和溪水中;小毛藓属、侧立

藓属和短月藓属均分布于废炉、废渣和溪水中;丛本藓属、净口藓属和湿地藓属均分布于废炉、废渣和矿洞中;小曲尾藓属分布于废炉和溪水中;凤尾藓属和丝瓜藓属均分布于矿洞和溪水中;圆口藓属和毛口藓属均分布于废炉和废渣中;链齿藓属和银藓属均分布于废炉和废石中;细枝藓属分布于废渣和矿洞中;酸土藓属分布于矿洞中;扭毛藓属、小扭口藓属和葫芦藓属均分布于废炉中;美叶藓属、红叶藓属、墙藓属和羽藓属均分布于废渣中;麻羽藓属和小羽藓属均分布于树附生;镰刀藓属、长喙藓属、偏蒴藓属和粗枝藓属均分布于溪水中。

3.1.3 不同生境分布种类分析

木油厂白云岩型汞矿6种生境中苔藓植物种类差异明显。在废炉处所采的苔藓植物共有6科22属44种,其中苔类植物2科2属2种,藓类植物4科20属42种。在废石处所采的是3科6属9种藓类植物。在废渣处所采的苔藓植物共9科22属38种,其中苔类植物2科2属2种,藓类植物7科20属36种。在矿洞处所采的苔藓植物共有9科16属21种,其中苔类植物2科2属2种,藓类植物7科14属19种。在距树基3m以内树干上所采的是3科4属4种树附生藓类植物。在溪水处所采的苔藓植物共有10科19属31种,其中苔类植物2科2属2种,藓类植物8科17属29种。

野外调查和室内鉴定显示,阔叶小石藓(*Weisia planifolia* Dix.)、尖叶扭口藓(*Barbula constricta* Mitt.)和卵蒴真藓(*Bryum blindii* B. S. G.)均分布于除树附生外的其余5种生境中;蛇苔(*Conocephalum conicum* (L.) Dum.)、地钱(*Marchantia polymorpha* L.)、细叶曲尾藓(*Dicranum muehlenbeckii* B. S. G.)、小石藓(*Weisia controversa* Hedw.)和红蒴立碗藓(*Physcomitrium eurystomum* Sendtn.)均分布于废炉、废渣、矿洞和溪水中;真藓(*Bryum argenteum* Hedw.)分布于废炉、废石、废渣和树附生中;中华小毛藓(*Microdus sinensis* Herz.)、侧立藓(*Pleuroweisia schliephackei* Limpr.)、长尖扭口藓(*Barbula ditrichoides* Broth.)、石灰藓(*Hydrogonium ehrenbergii* (Lor.) Jaeg.)、纤枝短月藓(*Brachymenium exile* (Doz. et Molk.) Bosch et Lac.)和狭网真藓(*Bryum algovicum* Sendt.)均分布于废炉、废渣和溪水中;扭叶丛本藓(*Anoetangium stracheyanum* Mitt.)和皱叶小石藓(*Weisia crispa* (Hedw.) Mitt.)均分布于废炉、废渣和矿洞中;小口小石藓(*W. microstoma* (Hedw.) C. Muell.)分布于废炉、废石和废渣中;羽枝青藓(*Brachythecium plumosum* (Hedw.) B. S. G.)分布于

废石、废渣和矿洞中;华南小曲尾藓(*Dicranella austro-sinensis* Herz. et Dix.)、细叶扭口藓(*Barbula perobtusata* (Broth.) Chen)和南亚石灰藓(*Hydrogonium consanguineum* (Thwait. et Mitt.) Hilp.)均分布于废炉和溪水中;花状湿地藓(*Hyophila rosea* Williams)和土生扭口藓(*Barbula vinealis* Brid.)均分布于废炉和废渣中;细叶链齿藓(*Desmatodon capillaris* (Dix.) Chen)和芽孢银藓(*Anomobryum gemmigerum* Broth.)均分布于废炉和废石中;狭叶湿地藓(*Hyophila stenophylla* Card.)分布于废渣和矿洞中;韩氏真藓(*Bryum blandum* ssp. *Handelii* (Broth.) Ochi)和柔叶青藓(*Brachythecium moriense* Besch.)均分布于废渣和溪水中;羽状青藓(*B. propinnatum* Redf.)分布于废石和废渣中;大坪丝瓜藓(*Pohlia tapintzense* (Besch.) Redf. & Tan)分布于矿洞和溪水中;南亚小曲尾藓(*Dicranella coarctata* (C. Muell.) Boesch et Lac.)、台湾丛本藓(*Anoetangium fauriei* Card.)、净口藓(*Gymnostomum calcareum* Nees. et Hornsch.)、短茎圆口藓(*Gyroweisia brevicaulis* (C. Muell.) Broth. Nat. Pfl.)、短叶小石藓(*Weisia semipallida* C. Muell.)、芒尖毛口藓(*Trichostomum aristatulum* (Broth.) Hilp. ex Chen)、阔叶毛口藓(*T. platyphyllum* (Ihs.) Chen)、硬叶扭口藓(*Barbula rigidula* (Hedw.) Mild.)、灰土扭口藓(*B. tophacea* (Brid.) Mitt.)、扭毛藓(*Streblotrichum convolutum* (Hedw.) P. Beauv.)、小扭口藓(*Semibarbula orientalis* (Web.) Wijk et Marg.)、狄氏石灰藓(*Hydrogonium dixonianum* Chen)、暗色石灰藓(*H. sordidum* (Besch.) Chen)、狭叶立碗藓(*Physcomitrium coorgense* Broth.)、梨蒴立碗藓(*P. pyriforme* (Hedw.) Hamp.)、中华立碗藓(*P. sinensi-sphaericum* C. Muell.)、刺边葫芦藓(*Funaria muhlenbergii* Turn. in Schwaegr.)、中华葫芦藓(*F. sinensis* Dix. in Yang)和双色真藓(*Bryum dichotomum* Hedw.)均分布于废炉中;钩喙净口藓(*Gymnostomum recurvirostre* Hedw.)、云南圆口藓(*Gyroweisia yunnanensis* Broth.)、皱叶毛口藓(*Trichostomum crispulum* Bruch. in F. A. Muell.)、剑叶扭口藓(*Barbula rufidula* C. Muell.)、美叶藓(*Bellibarbula kurziana* Chen)、异叶红叶藓(*Bryoerythrophyllum hostile* (Herz.) Chen)、短尖叶墙藓(*Tortula schmidii* (C. Muell.) Broth.)、尖叶短月藓(*Brachymenium acuminatum* Hurv. in Hook.)、粗肋短月藓(*B. systylium* (C. Muell.) Jaegr.)、细枝

藓[*Lindbergia brachyptera* (Mitt.) Kindb.]、短肋羽藓 (*Thuidium kanedae* Sak.)、皱叶青藓 (*Brachythecium kuroishicum* Besch.) 和卵叶青藓 [*B. rutabulum* (Hedw.) B. S. G.]均分布于废渣中;小凤尾藓 (*Fissidens bryoides* Hedw.)、拟丛净口藓 [*Gymnostomum anoectagioides* (C. Muell) X. J. Li]、小酸土藓 [*Oxystegus cuspidatus* (Doz. et Molk.) Chen]、卷叶石灰藓 [*Hydrogonium amplexifolium* (Mitt.) Chen]、丝瓜藓 (*Pohlia elongata* Hedw.)、阔叶细枝藓 [*Lindbergia brevifolia* (Gao) Gao in Li]、圆枝青藓 (*Brachythecium garovaglioides* C. Muell.) 和扁枝青藓 (*B. planiusculum* C. Muell.) 均分布于矿洞中;多疣麻羽藓 [*Cladopodium pellucinerve* (Mitt.) Best]、细叶小羽藓 [*Haplocladium microphyllum* (Hedw.) Broth.]和青藓 (*Brachythecium pulchellum* Broth. et Par.) 均分布于树附生;台湾凤尾藓 (*Fissidens formosanus* Nog.)、大叶凤尾藓 (*F. grandifrons* Brid.)、疣叶石灰藓 [*Hydrogonium gangeticum* (C. Muell.) Chen]、大叶石灰藓 [*H. majusculum* (C. Muell.) Chen]、黄边立碗藓 (*Physcomitrium limbatum* Brott.)、纤毛丝瓜藓 (*Pohlia hisae* T. Kop. et J. S. Lou)、粗肋镰刀藓 [*Drepanocladus sendtneri* (Schimp.) Warnst.]、宽叶青藓 [*Brachythecium curtum* (Lindb.) Limpr.]、卵叶长喙藓 (*Rhynchostegium ovalifolium* Okam.)、钝叶偏蒴藓 [*Ectropothecium obtusulum* (Card.) Iwats.] 和圆枝粗枝藓 (*Gollania tereticaulis* Broth.) 均分布于溪水中。

木油厂白云岩型汞矿的 6 种生境中苔藓植物种的相似性系数计算结果(表 3)有明显差异。废炉的苔藓植物和废渣的种相似性系数是 0. 49,废渣的苔藓植物和溪水的种相似性系数是 0. 46,废炉的苔藓植物和溪水的种相似性系数是 0. 45,废渣的苔藓植物和矿洞的种相似性系数是 0. 41,矿洞的苔藓植物和溪水的种相似性系数是 0. 35,废炉的苔藓植物和矿洞的种相似性系数是 0. 31,均是两者亲近。矿洞的苔藓植物和溪水的种相似性系数是 0. 35,废炉的苔藓植物和矿洞的种相似性系数是 0. 31,废石的苔藓植物和废渣的种相似性系数是 0. 30,废石的苔藓植物和矿洞的种相似性系数是 0. 27,废炉的苔藓植物和废石的种相似性系数是 0. 26,均比较亲近。废石的苔藓植物和树附生的种相似性系数是 0. 15,废石的苔藓植物和溪水的种相似性系数是 0. 15,差异均很大,比较疏远。废渣的苔藓植

物和树附生的种相似性系数是 0. 05,废炉的苔藓植物和树附生的种相似性系数是 0. 04,说明存在较大差异,均很疏远。矿洞的苔藓植物和树附生的种相似性系数是 0,树附生的苔藓植物和溪水的种相似性系数是 0,说明两者无关系。废炉、废石、废渣和矿洞的苔藓植物生长基质均是白云岩,这种自然条件使生长种类的差异较小,特别是废炉和废渣之间存在较密切关系。由于废渣多在尾矿坝处和溪水附近,或是由于雨水冲蚀废渣汇入溪水中,使这两种生境中苔藓植物的种相似性系数仅次于废炉和废渣之间的。另由于矿洞环境潮湿,与溪水一样提供足够的湿度,使这两种生境中苔藓植物的种相似性系数仅次于废炉和溪水之间的。

表 3 木油汞矿 6 种生境中苔藓植物种相似性系数

Tab. 3 Similarity coefficients of species of bryophytes at the 6 habitat types in the Muyouchang Mercury Mine

生境	废炉	废石	废渣	矿洞	树附生	溪水
废炉	1	0. 26	0. 49	0. 31	0. 04	0. 45
废石		1	0. 30	0. 27	0. 15	0. 15
废渣			1	0. 41	0. 05	0. 46
矿洞				1	0	0. 35
树附生					1	0
溪水						1

3. 2 区系地理分析

根据苔藓植物的现代区系地理分布,可把木油厂白云岩型汞矿苔藓植物区系地理成分划分为世界分布(Cosmopolitan)、泛热带分布(Panreopical)、热带亚洲至热带大洋洲分布(Tropical Asia and Tropical Australia)、热带亚洲至热带非洲分布(Tropical Asia and Tropical Africa)、热带亚洲分布(Tropical Asia)、北温带分布(North Temperate)、旧世界温带分布(Old World Temperature)、温带亚洲分布(Temperate Asia)、东亚分布(Eastern Asia)和中国特有分布(Endemic to China)10 个类型(表 4)。具有热带性质的包括泛热带、热带亚洲至热带大洋洲、热带亚洲至热带非洲、热带亚洲 4 个类型,有 17 种藓类植物,占总种 20%。具有温带性质的包括北温带、旧世界温带、温带亚洲 3 个类型,有 26 种苔藓植物,占总种 30. 59%。

表4 木油厂汞矿苔藓植物区系地理成分
Tab. 4 Phytogeographical elements of bryoflora
in the Muyouchang Mercury Mine

顺序	区系地理分布类型	种数	占总种百分比/%
1	世界分布	6(1)	7.06(1.18)
2	泛热带分布	3	3.53
3	热带亚洲至热带大洋洲分布	1	1.18
4	热带亚洲至热带非洲分布	1	1.18
5	热带亚洲分布	12	14.12
6	北温带分布	23(1)	27.06(1.18)
7	旧世界温带分布	2	2.35
8	温带亚洲分布	1	1.18
9	东亚分布	15	17.65
10	中国特有分布	21	24.71

注：括号内为苔类植物

其中北温带分布有 23 种苔藓植物，占总种 27.06%，如蛇苔、钩喙净口藓和灰土扭口藓等。中国特有分布，有 21 种藓类植物，占总种 24.71%，如狄氏石灰藓和大叶石灰藓等。东亚分布有 15 种藓类植物，占总种 17.65%，如尖叶扭口藓等。热带亚洲分布有 12 种藓类植物，占总种 14.12%，如芽孢银藓等。世界分布有 6 种苔藓植物，占总种 7.06%，如小凤尾藓等。泛热带分布有 3 种藓类植物，占总种 3.53%，如纤枝短月藓等。旧世界温带分布有 2 种藓类植物，占总种 2.35%。热带亚洲至热带大洋洲分布、热带亚洲至热带非洲分布和温带亚洲分布各有 1 种藓类植物，分别占总种的 1.18%。所述木油厂白云岩型汞矿苔藓植物区系地理成分 10 个类型中，北温带分布和中国特有分布占优势，东亚分布和热带亚洲分布次之。

3.3 生活型分析

生活型是苔藓植物生长型、群集方式及其对外界环境的长期综合反映。通过苔藓植物生活型的分析，可以揭示环境的一般特征^[30]。该汞矿的苔藓植物的生活型可划分为 5 个。矮丛集型有 61 种，占总种 71.76%，如纤毛丝瓜藓等。高丛集型有 2 种，占总种 2.35%，如大叶凤尾藓等。交织型有 18 种，占总种 21.18%，如阔叶细枝藓等。平铺型有 2 种，占总种 2.35%，如地钱等。一年生型有 2 种，占总种 2.35%，如刺边葫芦藓等。本研究显示木油厂白云岩型汞矿重金属污染严重、干旱，土法炼汞、偷采汞矿人为活动频繁，所以矮丛集型占优势。同时该汞矿中的溪水和两个尾矿坝处的积水造成局部潮湿的小生境，使得交织型赖以生存与繁殖。

4 讨论

(1)木油厂白云岩型汞矿苔藓植物共有 12 科 37 属 85 种苔藓植物，其中有 2 科 2 属 2 种苔类植物，10 科 35 属 83 种藓类植物，集中于优势科、优势属和单种属中。与英国、法国和中国喀斯特地区的苔藓植物比较，显示丛藓科均是第一大科，说明丛藓科在碳酸盐岩生境中广泛存在，也适生于该汞矿小气候遭到破坏的恶劣生境。按种数统计，青藓科也有相当比例，与溪水造成的局部潮湿生境有关，同样在比较的喀斯特地区也占有一定比例，甚至是优势科^[13~20]。与贵州豹子洞红土型金矿比较表明，丛藓科和真藓科在两种矿区均具有优势，青藓科在对比金矿中却仅有 1 属 1 种^[33]，说明丛藓科和真藓科不仅适应于重金属污染的石灰岩金矿，也适应于重金属污染的木油厂白云岩型汞矿。

(2)丛藓科、真藓科和青藓科在木油厂白云岩型汞矿均具有优势。在该汞矿，真藓科分布于 6 种生境中，丛藓科分布于除树附生外的其余 5 种生境中，青藓科分布于除废炉外的其余 5 种生境中。从属的分布环境看，真藓属分布于 6 种生境中，小石藓属和扭口藓属分布于除树附生外的其余 5 种生境中，青藓属分布于除废炉外的其余 5 种生境中；阔叶小石藓、尖叶扭口藓和卵蒴真藓均分布于除树附生外的其余 5 种生境中。分析显示，废炉和废渣、废渣和溪水、废炉和溪水、废渣和矿洞、矿洞和溪水、废炉和矿洞的苔藓植物的种相似性系数均较高，表明均是两者间亲近。树附生的苔藓植物和其余生境中的种相似性系数均较小，特别是矿洞和树附生、树附生和溪水的苔藓植物的种相似性系数均是 0，说明彼此无关系。这种结果可能是由于该汞矿乔木较少，重金属污染严重，树附生苔藓植物的种类及数量均较小。前人研究表明，苔藓植物对重金属特别是汞具有很好的容耐能力^[6~11,34,35]，木油厂白云岩型汞矿长期受土法炼汞导致重金属污染严重，但调查表明苔藓植物在各种生境中均生长较好，特别是在废炉、废渣、矿洞和溪水环境中的生长状况，与前人研究结果一致，说明苔藓植物对白云岩型汞矿的重金属污染有很好耐受性。

(3)该汞矿苔藓植物有 10 个区系地理分布类型，北温带分布具有优势，且温带性质成分和热带性质成分相互渗透。与贵州豹子洞红土型金矿比较表明，共有的是世界分布、泛热带分布、热带亚洲分布、北温带分布、温带亚洲分布、东亚分布和中国特有分布 7 个类型，北温带分布和中国特有分布在两个矿区均占优

势,东亚分布和热带亚洲分布在该汞矿占一定比例。中国特有分布和东亚分布在该汞矿均具有高比例,符合西南地区是这两种特产属种分布区之一的研究结论^[36]。当地气候与年均降雨量使北温带分布、热带亚洲分布和这两种特产属种的苔藓植物能够适生于西南地区重金属污染的白云岩型汞矿。

(4)木油厂白云岩型汞矿苔藓植物只有5种生活型,矮丛集型占优势。可能是因为在汞矿频繁土法炼汞、随意弃置废渣等人为活动造成矿山石漠化,使得生境干旱并破坏植被,这种生境适合矮丛集型的种类生长,于是矮丛集型在该汞矿占大多数。但因为溪水造成生境潮湿,交织型的种类能够生长繁殖,从而有一定比例的交织型存在。

致谢:非常感谢杨再起同学在野外采集标本时给予的帮助。

参考文献

- [1] Lindqvist O. Special issue of first international on mercury as a global pollutant[J]. Water Air and Soil Pollution, 1991, 56: 1.
- [2] Schroeder W H, Munthe J. Atmospheric mercury—an overview [J]. Atmospheric Environment, 1998, 32: 809—822.
- [3] Samecka-Cymerman A, Kolon K, Kempers A J. Heavy metals in aquatic bryophytes from the ore mountains (Germany)[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2002, 52: 203—210.
- [4] Appleton J D, Williams T M, Breward N, et al. Mercury contamination associated with artisanal gold mining on the island of Mindanao, the Philippines[J]. The Science of the Total Environment, 1999, 228: 95—109.
- [5] 李平, 冯新斌, 仇广乐. 贵州省务川汞矿区汞污染的初步研究[J]. 环境化学, 2008, 27(1): 96—99.
- [6] Shaw A J. Metal tolerance in bryophytes[M]//Shaw A J. Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects. Boca Raton, FL: CRC Press, 1990, 133—152.
- [7] Shaw A J, Jules E S, Beer S C. Effects of metals on growth morphology and reproduction of *Ceratodon purpureus*[J]. The Bryologist, 1991, 94: 270—277.
- [8] Shaw A J, Albright D. Potential for the evolution of heavy metal tolerance in *Bryum argenteum*, a moss. II. Generalized tolerances among diverse populations [J]. The Bryologist, 1990, 93: 187—192.
- [9] Shaw A J. Population biology of the rare copper moss, *Scopelophila cataractae* [J]. American Journal of Botany, 1993, 80: 1034—1041.
- [10] Shaw A J. Adaptation to metals in widespread and endemic plants [J]. Environmental Health Perspectives, 1994, 102: 105—108.
- [11] Sun S Q, Wang D Y, He W M, et al. Retention capacities of several bryophytes for Hg(II) with special reference to the elevation and morphology of moss growth[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, 133: 399—406.
- [12] 李平, 冯新斌, 仇广乐, 等. 贵州省务川汞矿区土法炼汞过程中汞释放量的估算[J]. 环境科学, 2006, 27(5): 837—840.
- [13] 张朝晖, Pentecost A. 法国阿尔卑斯—罗纳(Rhone—Alps)岩溶洞穴弱光带苔藓植物群落研究[J]. 中国岩溶, 2001, 20(3): 236—240.
- [14] 张朝晖, Pentecost A. 英国钙华苔藓植物区系特征及其主要钙华沉积类型[J]. 中国岩溶, 2002, 21(1): 36—43.
- [15] 张朝晖, Pentecost A. 英国英格兰西北部和威尔士北部岩溶地区钙华苔藓植物群落研究[J]. 广西植物, 2002, 22(1): 45—49.
- [16] 张朝晖, Pentecost A. 英格兰洞穴苔藓植物区系特征及其岩溶沉积研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 359—367.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 张朝晖, 陈家宽, Pentecost A. 法国阿尔卑斯山(Mt. Alps, France)溪流型喀斯特瀑布水生苔藓植物群落生态研究[J]. 中国岩溶, 2007, 26(1): 24—30.
- [20] 张朝晖, 陈家宽, Pentecost A. 英格兰喀斯特瀑布苔藓植物水生群落生态研究[J]. 水生生物学报, 2008, 32(1): 134—140.
- [21] Siebert A, Bruns I, Krauss G J, et al. The use of the aquatic moss *Fontinalis antipyretica* L. ex Hedw. as a bioindicator for heavy metals [J]. The Science of the Total Environment, 1996, 177: 137—144.
- [22] Solberg Y, Selmer-Olsen A R. Studies on the chemistry of lichens and mosses. X VI. Mercury content of several lichen and moss species collected in Norway[J]. The Bryologist, 1978, 81(1): 144—149.
- [23] 贵州省地方志编纂委员会. 贵州省志·有色金属工业志[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 2002: 149.
- [24] 刘平. 贵州主要汞矿床的微量元素特征[J]. 矿床地质, 1994, 13(3): 250—259.
- [25] 李平, 冯新斌, 仇广乐, 等. 贵州省务川地区土法炼汞工人汞蒸汽暴露调查及健康影响评价[J]. 生态毒理学报, 2006, 1(1): 30—34.
- [26] 陈肖鹏, 张朝晖. 贵州木油厂汞矿区4种藓类植物及其基质中重金属元素分析[J]. 西北植物学报, 2009, 29(12): 2535—2541.
- [27] Zhang L, Corlett R T. Phytogeography of Hong Kong bryophytes[J]. Journal of Biogeography, 2003, 30: 1329—1337.
- [28] Zhang Z H. Bryoflora and some speleothems of karst caves in Guizhou, S. W. China[M]//Switzerland, Proceedings of the 12th International Congress of Speleology (Vol. 3: Biospeology). 1997: 297—300.
- [29] 张朝晖, 王智慧, 祝安. 黄果树喀斯特洞穴群苔藓植物岩溶的初步研究[J]. 中国岩溶, 1996, 15(3): 224—231.
- [30] Mägdefrau K. Life-forms of bryophytes [C]//Smith A J. Bryophytes ecology[M]. New York: Chapman & Hall, 1982: 45—59.
- [31] 王智慧, 张朝晖, 钟本固. 贵州龙宫石灰岩和砂页岩苔藓植物

- 的比较研究[J]. 贵州林业科技, 1995, 23(3): 30—33.
- [32] 王荷生. 中国种子植物特有属的数量分析[J]. 植物分类学报, 1985, 23(4): 241—258.
- [33] 江洪, 张朝晖. 贵州豹子洞石灰岩与红土型金矿苔类植物比较研究[J]. 中国岩溶, 2007, 26(1): 31—36.
- [34] 陈肖鹏, 张朝晖. 黔西北两铜矿4种苔类植物重金属元素分析[J]. 武汉植物学研究, 2010, 28(2): 186—190.
- [35] 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.
- [36] 曹同, 高谦, 付星, 等. 苔藓植物的生物多样性及其保护[J]. 生态学杂志, 1997, 16(2): 47—52, 72.

Study on bryophytes in dolomite-type mercury mine of Muyouchang in Guizhou, China

CHEN Xiao-peng, WANG Zhi-hui, ZHANG Zhao-hui

(School of Life Sciences, Guizhou Key Laboratory for Mountainous Environmental Information and Ecological Protection, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: Bryoflores, collected from 6 habitats in dolomite-type of Muyouchang Mercury Mine in Guizhou, China is analyzed in the paper. The results prove that (1) the bryophytes in dolomite-type of Muyouchang Mercury Mine consists of 85 species, 37 genera, 12 families and the dominate families include Pottiaceae, Bryaceae and Brachytheciaceae. The bryophytes which belong to the three families are fit to grow in dolomite-type of Muyouchang Mercury Mine; (2) Pottiaceae, Bryaceae and Brachytheciaceae distribute 4 common habitates which are mullock, waste-residue, mine-hole and stream. Furthermore, Pottiaceae and Bryaceae grow on waste-furnace while Bryaceae and Brachytheciaceae belong to epiphyte; (3) the species similarity coefficients of waste-furnace and waste-residue, waste-residue and stream, waste-furnace and stream, waste-residue and mine-hole, mine-hole and stream, waste-furnace and mine-hole on which bryophytes grow are 0.49, 0.46, 0.45, 0.41, 0.35 and 0.31 respectively which shows that the relationships are proximity. The species similarity coefficients between the bryophytes in mine-hole and epiphytic bryophytes and between epiphytic bryophytes and the bryophytes in stream are 0, which shows that the relationships are not exist; (4) the phytogeographical elements of the bryoflora include North Temperate (27.06%), Endemic to China (24.71%), Eastern Asia (17.65%), Tropical Asia (14.12%), Cosmopolitan (7.06%), Pantropical (3.53%), Old World Temperature (2.35%), Tropical Asia and Tropical Australia (1.18%), Tropical Asia and Tropical Africa (1.18%) and Temperate Asia (1.18%); (5) the life-forms are short turfs (71.76%), wefts (21.18%), tall turfs (2.35%) and mats (2.35%) as well as annuals (2.35%).

Key words: bryophytes; flora; similarity coefficients; dolomite-type Hg deposit; Muyouchang; Guizhou