

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2022.04.014

# 西昌市大气重金属苔藓监测种类筛选

杨冬萍, 杨星云, 王雪梅, 胡金朝

(西昌学院资源与环境学院, 四川 西昌 615013)

**摘要:**为了探究适合西昌市大气重金属苔藓监测的方法,筛选适宜的苔藓监测物种,采集分析了西昌市主要区域冬季苔藓植物的生理生化等特征。通过对苔藓植物的可溶性蛋白、超氧歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶、叶绿素、花青素、类胡萝卜素和重金属质量分数的比较分析,筛选出富集色素、生长优势突出、重金属富集能力强的物种。结果表明:大灰藓(*Hypnum plumaeforme*)可溶性蛋白含量最高,牛舌藓(*Anomodon minor*)抗氧化酶含量最高,美喙藓(*Eurhynchium pulchellum* (hedw.) jenn.)的重金属富集程度相对较最高,鳞叶藓(*Taxiphyllum taxirameum*)的重金属富集程度次之,牛舌藓、大灰藓重金属富集能力较低。综合比较表明美喙藓和鳞叶2种苔藓植物是适宜西昌市大气重金属监测的物种。

**关键词:**西昌市;苔藓;大气重金属;监测;种类筛选

**中图分类号:**X831 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2022)04-0085-06

## Selection of Moss Species for Atmospheric Monitoring of Heavy Metal in Xichang Area

YANG Dongping, YANG Xingyun, WANG Xuemei, HU Jinzhao

(School of Resources and Environment, Xichang University, Xichang, Sichuan 615013, China)

**Abstract:** In order to find a suitable monitoring method of atmospheric heavy metal bryophytes in Xichang area, and screen suitable bryophyte species, the physiological and biochemical characteristics of bryophytes in winter from Xichang area were collected and analyzed in this work. By comparing and analyzing the contents of soluble protein, superoxide dismutase, peroxidase, catalase, chlorophyll, anthocyanin, carotenoids and heavy metals in bryophytes, the species with rich pigment, outstanding growth advantages and strong heavy metal enrichment ability were selected. The results showed that the soluble protein content of *Hypnum plumaeforme* was the highest, the antioxidant enzyme content of *Anomodon minor* was the highest, the heavy metal enrichment degree of *Eurhynchium pulchellum* (hedw.) jenn. was the highest, the heavy metal enrichment degree of *Taxiphyllum taxirameum* was the second, and the heavy metal enrichment ability of *Anomodon minor* and *Hypnum plumaeforme* was low. The results of the study finally showed that *Eurhynchium pulchellum* (Hedw.) Jenn. and *Taxiphyllum taxirameum*, were suitable for monitoring heavy metals in atmosphere of Xichang area.

**Keywords:** Xichang area; mosses; atmospheric heavy metal; monitoring; species selection

### 0 引言

苔藓植物门包括苔纲(Hepaticae)、藓纲(Musci)和角苔纲(Anthocerotae),在中国约有2 000余种<sup>[1]</sup>。苔纲包含至少330属,约8 000种苔类植物;藓纲包含近700属,约15 000种藓类植物;角苔纲有4属,近100种角苔类植物。我国藓类约1 900余种,分布于南北各省地区,其对生存环境要求较

高,大部分一般生长在森林茂密的高山深谷中<sup>[2]</sup>。苔藓植物没有真正的根和维管组织系统<sup>[3]</sup>,对大气中污染物的吸附能力较强<sup>[4]</sup>,同时由于元素无法在体内长距离运输,其积累的重金属物质主要源于大气沉降。因苔藓植物独特的生理和代谢特征<sup>[5-6]</sup>,常被用作监测环境的植物。

苔藓监测分为被动监测和主动监测。被动监测是利用就地生长的苔藓监测环境<sup>[7]</sup>,如活藓法,适

收稿日期:2022-03-11

基金项目:西昌市科技项目(18JSYJ09)。

作者简介:杨冬萍(2000—),女,四川资阳人,本科生,研究方向:生物监测。

用于苔藓植物易采集且个体较大的地区<sup>[8]</sup>。主动监测是根据某一标准,将特定的苔藓植物移植到被污染环境中进行监测<sup>[9]</sup>,如藓袋法,将采集的苔藓制作成藓袋,暴露在被污染的环境中,适用于苔藓植物少的地区<sup>[10]</sup>。相较于活藓法,藓袋法可以确定苔藓暴露在污染环境中的时间及有效控制变量,并且可灵活地选择监测点的位置和数量,可以避免许多外界因素的干扰<sup>[11]</sup>。

西昌市对苔藓植物的研究还在初步阶段。为了筛选出适宜西昌地区大气重金属监测的苔藓植物,本研究通过采集西昌市主要地区的苔藓植物,对其进行种类鉴定、生理生化特征分析测定,综合生理生化数据和重金属富集量,筛选出适合西昌地

区大气重金属监测的优势种。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

西昌市位于川西高原的安宁河平原腹地,东经 101°46′~102°25′,北纬 27°32′~28°10′。

### 1.2 采样点布设与样品采集

根据苔藓植物在西昌市的分布情况及空气监测站的布设点位在 5 个区域布点,位置如图 1 所示。于 2019 年 1 月,在每个样区中有苔藓植物的样地内按 5 点取样法设置 5 个 10 cm×10 cm 的小样方,采集小样方内的所有苔藓植物<sup>[12]</sup>。



图 1 采样地区

### 1.3 实验室分析

各区域采集的苔藓植物分成 3 份,分别用于种类鉴定、生理指标检测和重金属检测。

#### 1.3.1 主要仪器与试剂

仪器:微波消解仪(WX-7000HP,上海屹尧仪器科技发展有限公司);台式冷冻离心机(TGL-1650,四川蜀科仪器有限公司);体式解剖显微镜(SMZ-171, Motic); ICP-MS(NexION2000, PE);水浴锅(S-CH-6A,上海舍岩仪器有限公司);天平(FA1204N,

上海舍岩仪器有限公司)。

试剂: Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>、NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、盐酸(均来自成都市科隆化学品有限公司、分析纯);核黄素(成都市科龙化工试剂厂、分析纯);90%乙醇(成都金山化学试剂有限公司,分析纯);甲醇、碳酸钙、氢氧化钾(均来自恒兴试剂、分析纯);石油醚、无水硫酸钠(均来自天津市大茂化学试剂厂、分析纯)。

#### 1.3.2 苔藓种类鉴定

用滤纸擦干植物表面水分,用体式解剖显微镜

对苔藓植物进行观察并拍照。将其在体视解剖显微镜下的照片以及苔藓植物的外部结构、性状与中国数字植物标本馆(Chinese Virtual Herbarium,简称CVH)中苔藓植物标本、中国植物物种信息数据库、植物检索表、《中国生物物种名录——苔藓植物》<sup>[13]</sup>等进行对比,对苔藓植物进行种类鉴定。

### 1.3.3 生理生化指标测定

采用紫外分光光度法测定过氧化氢酶(CAT)活性以及叶绿素、类胡萝卜素、花青素含量<sup>[13]</sup>;采用考马斯亮蓝G-250比色法测定可溶性蛋白含量<sup>[14]</sup>;采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性。

### 1.3.4 重金属含量测定

样品去除杂质后用自来水冲洗干净,再用去离子水冲洗3遍,晾干后于干燥箱内40℃烘48h至恒

重。用陶瓷研钵将样品研碎,过筛,存放于广口瓶内。为避免对试验结果产生影响,操作中不使用金属器具<sup>[16]</sup>。每份样品均匀称取500mg,加入8ml HNO<sub>3</sub>和2ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>进行微波消解,消解后定容至100ml待测。采用ICP-AES法分别测定样品中的Pb、Cr、Fe、Cu和Zn这5种重金属元素。

### 1.3.5 数据处理

用Origin2022软件绘制图表,用SPSS26软件进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 苔藓植物种类鉴定结果

所选5个采样点共采集鉴定了5种苔藓植物,其中市政府片区2种,其余4个采样点均只有1种(表1),总体来说,所选取的5个采样点苔藓植物种类偏少。

表1 苔藓植物种类鉴定

对应地区	苔藓名称	描述
市政府 片区	大灰藓( <i>Hypnum plumaeforme</i> )	灰藓科。植物体型较大,黄绿色,茎匍匐生长,急尖,有较不规则的羽状分枝;枝叶较小,呈纺锤形。蒴盖短、钝、圆锥形。孢子小。
	大羽藓( <i>Thuidium cymbifolium</i> (Doz. Et Molk.) Doz. Et Molk)	羽藓科,植物体较粗壮,黄绿色,茎匍匐生长,规则分枝,茎叶三角状卵圆形或阔三角形。蒴柄细长,蒴帽成兜形,平滑。
州政府 片区	美喙藓( <i>Eurhynchium pulchellum</i> (hedw.) jenn.)	青藓科,植物纤细或粗壮,匍匐生长,茎尖叶片急尖,无光泽,不规则分枝,蒴柄平滑,蒴盖有长而细的喙,孢子呈卵圆形。
邛海宾馆	牛舌藓( <i>Anomodon minor</i> )	羽藓科,植物体较大,黄绿色。主茎匍匐,次茎分枝较多。叶细胞呈圆多边形。孢子长卵形,蒴盖圆锥形。
长安片区	美喙藓( <i>Eurhynchium pulchellum</i> (hedw.) jenn.)	青藓科,植物纤细或粗壮,匍匐生长,茎尖叶片急尖,无光泽,不规则分枝,蒴柄平滑,蒴盖有长而细的喙,孢子呈卵圆形。
青龙寺 片区	鳞叶藓( <i>Taxiphyllum taxirameum</i> )	灰藓科,植物体扁平,柔软,黄绿色,略有光泽。茎匍匐,不规则羽状分枝,叶尖细胞菱形,圆锥形蒴盖。

## 2.2 苔藓生理生化指标测定结果

### 2.2.1 色素

叶绿素含量变化表示光合作用的强弱,并可表征在逆境下的植物组织、器官生理以及衰老状况。苔藓植物喜阴,高含量的叶绿素对苔藓植物在弱光中的捕获能力有支持作用,增加光合速率<sup>[17-18]</sup>。类胡萝卜素可以消耗过剩光能,防止过多光照对叶绿体的伤害,促进光合作用<sup>[19]</sup>。花青素是存在于自然

界植物中的一类天然色素,由花色苷水解得到的一类苷元<sup>[20]</sup>,具有清除自由基、抗氧化和抗突变的能力,维持植物健康状况。

大灰藓、大羽藓、美喙藓和牛舌藓中各种色素质量分数大小均依次为花青素>总叶绿素>叶绿素a>类胡萝卜素>叶绿素b,而鳞叶藓中各色素质量分数大小依次为总叶绿素>叶绿素a>花青素>类胡萝卜素>叶绿素b。综合各色素质量分数分

析,美喙藓、大灰藓和牛舌藓富集色素能力相对较强(图2),光合作用强,植物生长优势较为明显。

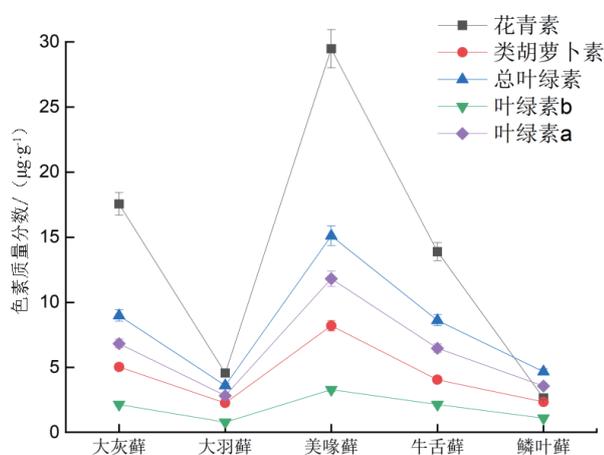


图2 西昌市苔藓植物色素质量分数

### 2.2.2 可溶性蛋白

可溶性蛋白作为植物抗旱以及生长发育的重要物质之一<sup>[21]</sup>,是植物生长的重要调节物质,具有供能和维持渗透压的能力,缓解逆境带来的伤害<sup>[22]</sup>。

从图3可以看出,大灰藓和牛舌藓中可溶性蛋白质质量分数相对较高,其次为美喙藓,再次为鳞叶藓,大羽藓中可溶性蛋白质质量分数非常小。综上推测,大灰藓、牛舌藓和美喙藓抗逆境能力相对较强,鳞叶藓较弱,大羽藓最弱。

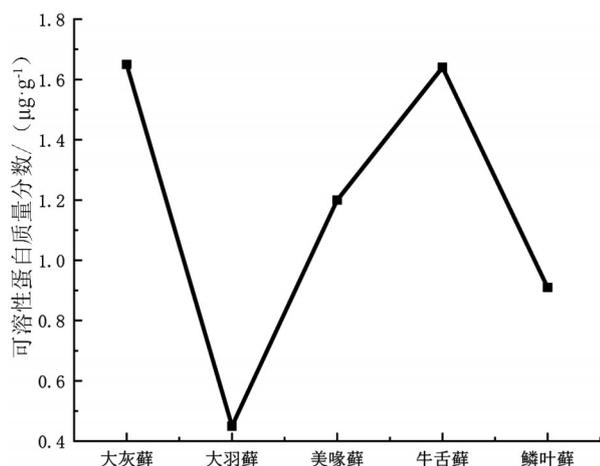


图3 西昌市苔藓植物可溶性蛋白质质量分数

### 2.2.3 抗氧化酶

研究<sup>[23]</sup>显示,植物活性氧自由基的产生和清除是2个相反的过程,只有在这2个过程达到平衡时活性氧自由基才能保持在较低水平,避免细胞受损。SOD、POD、CAT是植物适应多种逆境胁迫重

要的酶类,其中SOD是植物清除O<sup>2</sup>的有效酶,可将O<sup>2</sup>转化为氧化作用相对较强的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,而POD、CAT则进一步转化为H<sub>2</sub>O和O<sub>2</sub>的有效酶。从图4可以看出,5种苔藓植物中均是POD酶活性最大,其次是SOD,再次为CAT;综合来看,牛舌藓和大灰藓抗氧化酶活性最高,其次是美喙藓,其清除与转化自由基的能力相对较强,使活性氧自由基处于较低水平。

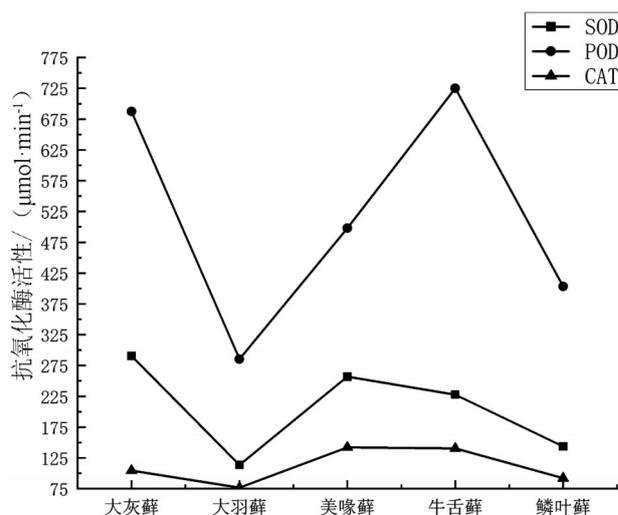


图4 西昌市苔藓植物抗氧化酶活性

### 2.2.4 重金属指标

已有研究表明,不同苔藓植物对同一重金属的富集程度不同,同一苔藓植物对不同重金属的富集程度也不同<sup>[24]</sup>。

通过试验测得西昌市4种苔藓植物重金属质量分数如图5所示(大羽藓由于个体过小未测定)。综合来看,美喙藓富集金属能力最强,鳞叶藓较强,牛舌藓、大灰藓相对较弱。

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

杜庆民等<sup>[25]</sup>研究显示,藓袋内重金属含量与大气降尘量及大气颗粒物含量之间具有良好的相关性,并指出了藓袋法具有背景浓度明确、不易受干扰、测点灵活、推广简便、经济等优点,藓袋法监测总数量和地点灵活,特别是城市中由于建设可能导致本土苔藓植物缺失而无法采用活藓监测,因此藓袋法更加适用于城市或工业区大气质量的监测及主要污染源定位<sup>[26-27]</sup>。西昌市冬季气候干燥少雨,苔藓植物种类和数量少,无法采集到适量的苔藓,因此筛选适宜的苔藓制作藓袋能够满足西昌市全年的监测的要求。根据上述对苔藓植物生理生化

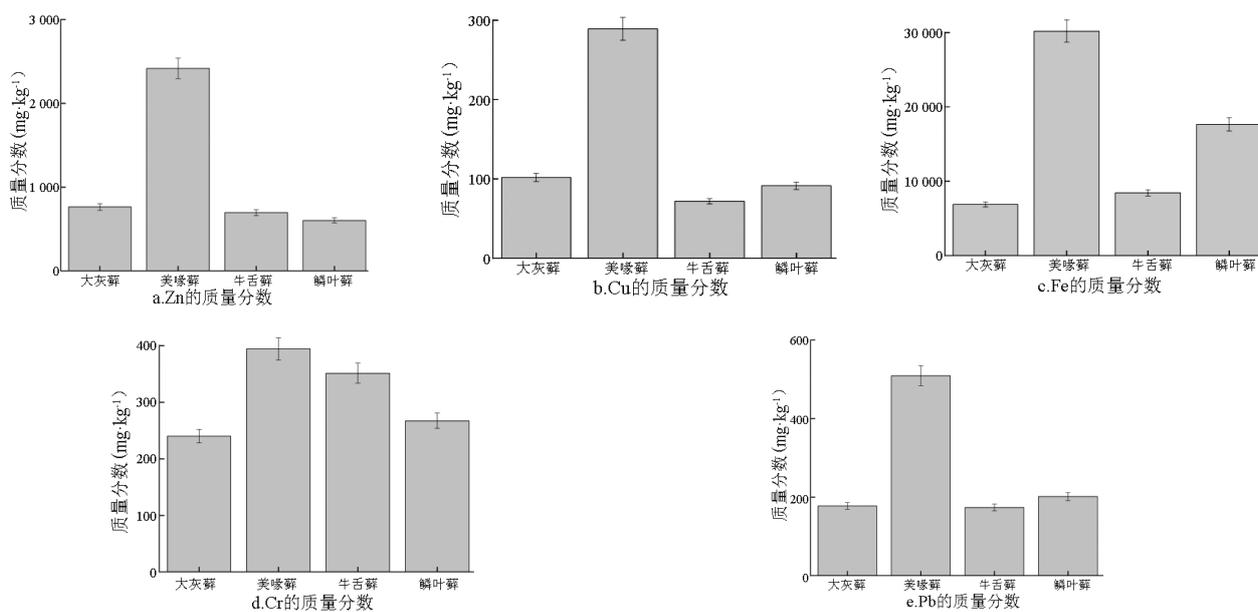


图 5 西昌市苔藓植物 5 种金属质量分数

表 3 最适物种筛选汇总

指标	按质量分数依次排序
叶绿素 a	美喙藓 > 大灰藓 > 牛舌藓
叶绿素 b	美喙藓 > 牛舌藓 > 大灰藓
总叶绿素	美喙藓 > 牛舌藓 > 大灰藓
类胡萝卜素	美喙藓 > 大灰藓 > 牛舌藓
花青素	美喙藓 > 大灰藓 > 牛舌藓
可溶性蛋白	大灰藓 > 牛舌藓 > 美喙藓
SOD	大灰藓 > 美喙藓 > 牛舌藓
POD	牛舌藓 > 大灰藓 > 美喙藓
CAT	美喙藓 > 牛舌藓 > 大灰藓
Pb	美喙藓 > 鳞叶藓 > 大灰藓
Cr	美喙藓 > 鳞叶藓 > 牛舌藓
Fe	美喙藓 > 鳞叶藓 > 牛舌藓
Cu	美喙藓 > 大灰藓 > 鳞叶藓
Zn	美喙藓 > 大灰藓 > 牛舌藓

等指标的分析, 筛选出前 3 位苔藓植物(表 3)。

参考文献:

[1] 游萍, 张以忠, 蒋洁云, 等. 不同石漠化程度苔藓植物的分布[J]. 贵州农业科学, 2010(7): 84-87.  
 [2] 任昭杰. 掌握要领, 轻松识别常见藓类[J]. 生命世界, 2020(10): 26-33.  
 [3] 项俊, 赵芳, 方元平, 等. 水分和钙胁迫对苔藓植物生理生化指标的影响[J]. 环境科学与技术, 2010(S2): 70-74.  
 [4] 张力. 走进苔藓的世界[J]. 生命世界, 2020(10): 1.  
 [5] 刘润, 申家琛, 张朝晖. 4 种苔藓植物在喀斯特石漠化地区的生态修复意义[J]. 水土保持学报. 2018(6): 141-148.  
 [6] 梅娟, 张银龙, 方炎明. 苔袋法监测评价南京市大气重金属和 SO<sub>2</sub> 污染[J]. 苏州科技学院学报, 2003, 19(1): 40-44.  
 [7] STEINNES E, RAMBÆK J P, HANSEN J E. Large scale multi-element survey of atmospheric deposition using naturally growing moss as biomonitor[J]. Chemosphere, 1992, 25(5): 735-752.

我国常见的藓袋法采用的苔藓植物有泥炭藓 (*Sphagnum spp.*)<sup>[28]</sup>、绢藓 (*Entodom*)<sup>[29]</sup>、大灰藓 (*Hypnum plumaeforme*)<sup>[30]</sup> 等, 同时灰藓科与青藓科使用也较多。通过调查比较, 美喙藓与鳞叶藓适宜于西昌地区的监测。

3.2 结论

1) 不同苔藓植物对重金属的富集能力不同, 西昌市苔藓植物中美喙藓和鳞叶藓富集重金属能力相对较强, 适合作为西昌大气重金属污染的监测植物。

2) 鳞叶藓受重金属胁迫作用响应明显, 其各项生理特征(光合作用、新陈代谢等)均较美喙藓受影响变化较大。

3) 由于西昌市冬季苔藓植物种类数量较少, 采样不易, 部分苔藓较小无法检测, 所以藓袋法更适宜西昌市的苔藓监测。

- [8] 方炎明,魏勇,张晓平,等.苔藓生物监测大气重金属污染研究进展[J].南京林业大学学报,2000(5):64-68.
- [9] WEGENER J, VAN SCHAİK M, AIKING H. Active biomonitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons by means of mosses[J].Environmental Pollution, 1992, 76(1):15-18.
- [10] 曹同,王敏,娄玉霞,等.监测环境污染的藓袋法技术及其应用[J].上海师范大学学报(自然科学版),2011(2):213-220.
- [11] 王亚南,胡荣,周晓丽,等.多藓种监测大气重金属污染方法改进[J].环境科学学报,2019,39(5):1464-1473.
- [12] ANIČIĆ M, TASIĆ M, FRONTASYEVA M V, et al. Active biomonitoring with wet and dry moss: a case study in an urban area[J]. Environmental Chemistry Letters, 2009, 7(1):55-60.
- [13] 贾渝,何思.中国生物物种名录——苔藓植物[M].北京:科学出版社,2021.
- [14] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Anal Biochem, 1976, 72:248-254.
- [15] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [16] 刘伟才,罗晶,姬瑞华.苔藓植物大灰藓对大气中重金属元素的生态监测[J].环境监测管理与技术,2020(3):44-47+67.
- [17] Mc-KINNEY G. Absorption of light by chlorophyll solutions[J]. Biol. Chem., 1941(140):315-322.
- [18] 秦天才,吴玉树,王焕校.镉、铅及其相互作用对小白菜生理生化特性的影响[J].生态学报,1994(1):46-50.
- [19] 包维楷,冷俐.相同环境下3种藓类植物光合色素含量的比较[J].植物资源与环境学报,2005(3):53-54.
- [20] 韩海华,梁名志,王丽,等.花青素的研究进展及其应用[J].茶叶,2011,37(4):217-220.
- [21] 李彧.早柳对于旱胁迫生理生态响应的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2009.
- [22] 贾宇婷,张梅娟,刘丽丽,等.高温胁迫对2种苔藓植物生理生化指标的影响[J].齐齐哈尔大学学报(自然科学版).2016, (4):41-44.
- [23] 娄玉霞.苔藓植物对重金属污染的响应机理和生物指示的研究[D].上海:上海师范大学,2013.
- [24] 刘伟才,罗晶,姬瑞华.苔藓植物大灰藓对大气中重金属元素的生态监测[J].环境监测管理与技术,2020,32(3):44-47+67.
- [25] 杜庆民,郑学海,蔡海超,等.用苔袋监测大气颗粒物及其它污染物的方法研究[J].生态学杂志,1989(1):56-60.
- [26] CESA M, BIZZOTTO A, FERRARO C, et al. Assessment of intermittent trace element pollution by moss bags[J]. Environmental Pollution, 2006, 144(3):886-892.
- [27] VUKOVIĆ G, ANIČIĆ U M, ŠKRIVANJ S, et al. Moss bag biomonitoring of airborne toxic element decrease on a small scale: a street study in Belgrade, Serbia[J]. Science of the Total Environment, 2016, 542:394-403.
- [28] XIAO Z F, SOMMAR J, LINDQVIST O. Atmospheric mercury deposition on Fanjing Mountain Nature Reserve, Guizhou, China[J]. Chemosphere, 1998, 36(10):2191-2200.
- [29] 杜庆民,郑学海,蔡海洋,等.用苔袋监测大气污染颗粒及其它污染物的方法研究[J].生态学杂志,1989,8(1):56-60.
- [30] 谭红,何锦林,何听涛.用Moss Bag富集研究汞矿附近元素汞的沉降[J].环境科学,1997,18(6):71-72+95-9.