

利用地衣监测大气污染研究进展

Study Advance in Monitoring of Air Pollution Using Lichens

张 婷, 阿布都拉·阿巴斯, 艾尼瓦尔·吐米尔
(新疆大学生命科学与技术学院 乌鲁木齐 830046)

摘要 介绍了大气清洁度指数法、地衣微核检测法等地衣监测大气污染的几种常用方法, 并针对地衣对各种污染物的监测研究进行讨论。在总结国内外相关研究的基础上, 探讨了目前我国地衣研究中存在的问题和未来研究方向。

关键词 地衣 生物监测 大气污染

Abstract Some methods are introduced in this article, such as the index of atmospheric purity, lichens micronucleus techniques and so on, monitoring of various pollutants by lichens is discussed. Based on the relative researches at home and overseas, the problems in native researches and prospects are discussed briefly.

Key words Lichens Biological Monitoring Air Pollution

大气污染作为环境污染的主要因素已经受到广泛关注, 目前对大气污染的监测除了采用物理、化学检测手段外, 生物监测以其成本低廉、效果直观、灵敏度高而引起了生态学家的重视^[1]。而地衣就是生物监测的典型代表之一。

很多发达国家在地衣监测大气污染方面做了大量研究, 建立了具体的监测方法, 使地衣监测大气污染的技术日趋成熟^[2, 3]。国内的环保工作者及地衣学者亦开展了地衣监测大气污染的研究^[4, 5], 但多为参照先前研究方法, 缺少创新性。

本文通过对地衣的独特生理特征的分析, 以及对近来国内外地衣监测大气污染的研究进展做一综述, 旨在对已有研究方法和最新研究做出系统性总结, 并探讨了目前我国地衣研究中存在的问题和未来研究的方向。

1 生物监测

生物监测(biological monitoring)是利用生物在各种污染环境中所发出的各种信息, 判断环境污

染的状况, 即观察生物个体、种群或群落的分布状况、生长、发育繁殖状况、生理指标及生态系统的变化规律阐明环境污染状况、污染物的毒性, 并与物理、化学监测和医药卫生学的调查结合起来对环境污染做出正确评价^[6, 7], 国外对于植物与大气污染的关系做了很多调查研究工作, 已选出一批敏感的指示植物和抗性强的耐污植物^[8-10]。

生物指示物要求分布范围广, 不会迁移, 具有一定的耐受性, 可以积累污染物, 在某一地区具有代表性等。在污染区, 植物是一种有效的生物监测物, 其监测原理是利用植物叶片的损伤程度、植物体内生长素水平的变化、叶绿素的含量与降解、生物量的变化、酶和新陈代谢的改变以及元素的富集等来显示该地区的污染物的种类、浓度以及接触时间的相关性^[11-13]。

1992年举行的“北大西洋公约组织高科技讨论会”指出仅利用物理和化学手段监测环境污染是没有任何意义的, 其结果只能揭示环境污染的

收稿日期: 2010-12-29

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(30860003); 新疆维吾尔自治区高等学校科学研究计划项目资助(XJEDU2007104)。

作者简介: 张 婷(1987-), 女, 硕士研究生。研究方向: 资源植物学。

通讯作者: 艾尼瓦尔·吐米尔, Email: anwartumursk@xju.edu.cn

主要污染组分及其浓度,并不能说明该污染程度对生物的毒害程度,同时也不能综合反映污染物的综合效应及可能对环境产生的潜在危害,故应将化学方法与生物方法兼而并用^[6]。一般来说,生物指示物根据其监测原理分为3类:敏感型、积累型^[14]及生物损伤型。敏感型是指某些生物体或种群对环境的改变反应灵敏,当环境污染达到一定水平时,该生物体或种群即会消失;当环境污染状况好转时,该生物体或种群又会重新出现的监测类型;积累型是指某些指示生物通过自身新陈代谢,吸收环境的污染物,并将污染物贮存在生物体内,使其体内的污染物含量与周围环境中的污染物含量水平一致,从而可以通过检测生物体内的污染物含量来判断环境污染状况;生物损伤型是指环境污染导致生物体的生理、生化指标发生变化,如污染物改变了植物体内的酶系统,从而影响了植物体内的光合作用及呼吸作用,使其ATP产量、叶绿素含量^[15]、色素比例^[16]等发生物理或化学变化。

大气污染的生物监测手段有:①利用高等植物监测大气污染,根据在污染的环境中,植物叶片及其他组织上出现的伤斑及坏死面积来评定大气污染的程度^[17];②测定植物体内污染物的含量,估测大气污染状况^[4, 5, 18];③观察植物的生理生化反应,如酶系统的变化^[19]、色素含量的变化^[20]等,对大气污染的长期效应作出判断;④观察某一地区各种生物的群落结构^[21],对污染作整体分析;⑤利用某些敏感植物(如地衣、苔藓等)制成大气污染植物监测器^[22-25],进行定点观测。

2 生物监测的特点

生物监测有物理和化学监测所不能代替的作用和所不具备的一些特点,表现如下。

(1)可以综合的反映环境质量状况。环境问题是相当复杂的,某一生态效应常是几种因素综合作用的结果。在大气污染中常是多种污染气体并存而每种污染气体并非都是各自单独起作用,各类污染物对生物体的影响也不都是简单的

加减关系^[25]。理化监测在一定程度上揭示了环境污染的主要污染组分,但难以科学反映所有污染物组分及各种污染要素作用,但反映不出来这种复杂的关系,而生物监测却具有这样的特征。

(2)具有连续监测的功能。用理化检测方法可以快速而精确的得到许多环境因素的瞬间变化值,但却不能以此来确定这种环境质量对长期生活在这一空间内的生命系统影响的真实情况,生物监测具有这种优点。指示生物监测到的是平均污染水平而不是污染峰。因为它是利用生命系统的变化来“指示”人为造成的环境压力对生物体造成的影响,而且生命系统各层次都具有其特定的生命周期,故用指示生物生长的各个阶段来监测大气污染。

(3)成本低廉、取材方便。它不需要购买复杂昂贵的仪器和附属设备,所需费用低廉,并且监测的方法简单,有直观效果。

3 地衣监测大气污染原理

3.1 地衣的生物学特性

地衣是一类与藻类结合在一起,营共生生活,并在所形成的稳定、独立的共生联合体中占优势的特有的真菌,也被称为地衣型真菌或地衣化真菌。在共生复合体中,地衣化真菌大多数为子囊菌,少数种类是担子菌,也有极少数为藻状菌或半知菌。而共生的藻类有蓝藻和绿藻,其中最常见的是蓝藻门的念珠藻。藻类通过光合作用为地衣复合体提供碳水化合物,而真菌主要从大气和其附着基物上吸收水和无机盐,以供给整个地衣体生活。由异养的真菌和自养的藻类共生形成的地衣除了形态上的特殊性之外,两共生生物间也保持着各种生理活动的高度平衡。因而,当环境对二者产生的生理影响发生变化时,平衡即会别打破,从而使环境对地衣生命活动的影响以形态学和细胞学水平的变化表现出来(如局部或全部坏死,叶绿素a、b比例发生变化等)^[26]。

地衣缺乏像高等植物那样的真皮层和蜡质层,地衣细胞与大气间只隔着一层单薄的细胞

膜, 可通过整个地衣体的表皮直接吸收大气中的物质, 污染物容易进入体内。大量的实验证明, 附生地衣几乎不受基质影响, 对于大气污染极其敏感, 尤其是对于低浓度的污染, 较其他种类的高等植物更为敏感, 被大量应用于污染监测^[14]。

地衣无根茎叶的分化, 不像高等植物在生长过程中有落叶等组织脱落的现象, 其生长所需要的养分主要来源于藻类的光合作用, 由于没有根, 无法从土壤中汲取水分, 其生长所需要的水分全部依赖于雨水或雾, 所以大气中的污染物溶入雨水且被浓缩后, 作用于地衣体, 并在其体内产生积累效应, 从而使地衣体内的污染物含量与周围环境中的污染物含量保持一致, 可通过检测地衣体内的污染物含量来判断大气污染程度^[25]。

地衣是多年生的植物, 由于其结构简单, 没有高等植物的抗性强、代谢快的特点, 且生长缓慢, 一旦受害恢复所需要的时间也长。地衣种类会随着污染程度的加深而减少, 严重污染的地区就会产生“地衣荒漠区”。不同地衣种类对环境污染的灵敏度不同, 不同生活型的地衣, 生态监测的灵敏度不同, 依次为枝状>叶状>壳状。目前国内外应用地衣移植法以及地衣的光合作用、叶绿素含量和降解、ATP的含量、呼吸水平的变化、内源激素(如乙烯)等各种生理生化参数的水平来评价大气污染程度的报道很多^[3, 26], 也有学者应用地衣微核试验技术检测大气污染状况^[27-29]。

3.2 常用监测方法

3.2.1 大气纯净指数(IAP)法 地衣种群结构的改变与大气污染水平的改变直接相关。应用以下公式计算大气纯净度指数:

$$IAP = \sum_{i=1}^n (Q \times F_i) / 100$$

式中, IAP代表大气纯净指数; n 为调查区地衣的种数; Q 为调查区某一种地衣的生态指数或污染敏感指数; F 为调查区中每一种附生地衣的频度。此处, Desloover建议 Q 值采用DMS指数, 即在调查区各点与某种地衣同时出现的地衣种数的平均值。通常情况下, 可将污染区根据 IAP值

分为5个区域, 分别用字母A到E来表示(见表1)。用IAP法划分污染区的准确度与物化监测法的相似度可达97%^[30]。

表1 大气纯净指数分区标准

污染区	IAP值范围	污染程度
A	$0 \leq IAP \leq 12.5$	重度污染
B	$12.5 < IAP \leq 25$	高度污染
C	$25 < IAP \leq 37.5$	重度污染
D	$37.5 < IAP \leq 50$	轻度污染
E	$IAP > 50$	相对清洁区

3.2.2 极限忍耐指数(IP)法 利用本地附生地衣生长环境的不同, 根据其附着的树木的树龄和树种的不同, 得知某种地衣对大气污染的忍耐度, 以此为基础, 计算相对忍耐指数^[2]:

$$IP = \sum_{i=1}^n (a_i \times c_i) / C_i$$

式中, n 代表调查种类, a_i 为调查区每个种的忍耐程度, c_i 是调查区地衣每一个种的盖度, C_i 是调查区所有种的整体覆盖程度。

根据IP值可将污染区分为10个等级。当IP值在1~2时, 代表相对清洁区。IP值越高, 地衣种类越少, 当IP值为10时, 即表示“地衣荒漠区”, 此时的IP值若用于监测大气中SO₂的含量, 则可表明SO₂含量大于300 μg/m³^[2]。

3.2.3 移植比照法 从未受污染的树干上, 将附生的地衣连同其树皮一并切割下来, 并照相保存, 以作为日后比照的依据。在污染源附近的测试区, 将附生有地衣的树皮, 等高的固定于各小样区。定期拍照观察地衣的形态结构的变化, 了解每一块树皮上地衣的变化情形, 从而判断污染源附近的各个地区遭受污染的程度。另一方面, 也可取受害的地衣进行化学分析及解剖观察。通过对受害地衣体中叶绿素含量^[26]、酶活性^[15]以及污染物含量水平^[31], 观察细胞生长状况及其质壁分离现象等, 从而判断地衣对该调查区空气污染的敏感度, 用以评价该地区整体的污染水平。

3.2.4 微核试验检测法 微核(Micronucleus, 简称MCN)是真核类生物细胞中的一种异常结构。往往是一种理化因子, 如辐射、化学药剂作用于分

裂细胞而产生的,是染色体畸变在间期细胞中的一种表现形式^[29]。实验证明微核率的大小与作用因子的剂量和辐射累计作用呈正相关^[30],因此可通过微核率检测污染物对人体或生物产生的损害程度。

微核试验检测法在检测大气污染,工业废水、生活污水,洗涤剂,重金属,农药等致畸、致癌、致突变物等方面应用广泛,目前全世界用该法已检出的有毒物质近500种^[31]。研究发现地衣体内被测定出的微核数量与移植时间的长短之间存在显著性差异,且在同一环境下不同类型的地衣的微核率不同:枝状>叶状>壳状^[29]。故微核率可以作为空气质量评价的指标。

在显微镜下观察统计不少于1 000个细胞中的微核数,按照以下公式计算微核千分率(‰)和污染指数(pollution index, PI)^[27]:

微核千分率(MCN‰)=微核数/观察统计的总细胞总数×1000‰;

污染指数(PI)=样品的微核千分率平均值/阴性对照的微核千分率平均值

一般PI值在0~1.5属于基本没有污染、1.5~2之间属于轻度污染、2~3.5之间属于中度污染、>3.5属于重度污染^[28]。微核技术的应用越来越广泛,但是在应用过程中也具有一定的局限性。任何一种遗传毒理学筛检测试系统都有一定的假阴性率和假阳性率,不能准确地鉴别出遗传和非遗传毒物。因为一种诱变试验只能反映1~2种遗传毒性作用终点,必须采用组合试验的方法,而不是仅仅用单个试验^[32]。

3.3 对SO₂以及硫化物的监测

SO₂是我国大气的主要污染物之一,其来源主要是火力发电厂、冶金、石油和化工工业等,在生产过程中均能排放出大量含硫的废气,以气态和尘态两种形式存在。研究表明地衣体内硫化物含量增加,会引起其共生藻细胞内的叶绿素含量明显下降,且导致叶绿素a/叶绿素b的比率升高^[34],附生地衣体内硫化物、氮化物含量与污染源

距离、人工移植时间具有很大的相关性^[35]。金卫红等^[15]运用动态熏气和生态毒理学方法,研究了特定条件下,一定浓度范围SO₂动态熏气对地衣组成及代谢的影响。结果表明随着熏蒸气浓度的增加,叶绿素脱镁比率降低,叶绿素分解,蛋白合成受损等一系列生理变化。随着SO₂浓度的增加,地衣体菌丝表面出现褐色斑点,藻细胞发生质壁分离现象^[1];附着基物的酸碱性也会影响对SO₂的敏感性^[36]。Vingiania^[37]利用地衣对城市中干燥环境下含S、C、N的化合物进行监测,指出地衣在干燥环境下对硫化物和氮化物的监测效果优于苔藓。

Wiseman等^[38]研究了地衣对大气硫的响应,他们将*Alectoria Sarmentosa*地衣从遥远地区移植到城市地区,然后定期观察地衣的硫同位素和浓度变化,评价附生植物地衣在大气硫污染水平变化的条件下的响应。他们发现移植后地衣的δ(³⁴S)逐渐降低,硫浓度则逐渐升高,大约在18个月,移植地衣与城市地区原生地衣的δ(³⁴S)和硫浓度达到相同水平。Wadleigh^[39]用*Alectoria Sarmentosa*地衣作了相同的试验,移植地衣逐渐接近新地区的硫浓度和同位素特征,他认为有许多因素影响地衣的硫吸收和释放,移植地衣的硫浓度和同位素组成在数月内会逐渐在大气环境中趋向平衡,但这种响应不是线性的。

3.4 对重金属的监测

利用地衣研究大气沉降中的重金属污染已经成为一种比较成熟的方法。附生地衣在生长过程中,主要通过其表皮吸收大气中的湿沉降和干沉降的水分和养分,极易吸收大气悬浮物,样本受土壤等其他条件的影响较小,可用于长时间监测污染物的积累效应^[6]。通过对采集的地衣进行多元素分析,可以确定研究区域的大气沉降中重金属元素污染的特点,识别重金属元素的大气污染源及该地区的受污染程度,评价环境质量^[14, 5, 25, 27, 28, 31, 40-51],见表2。

表2 有关重金属富集特性的研究内容、方法

研究内容	方法	作者
测定Pb、Cd含量, 监测大气质量	原子吸收分光光度(AAS)法	2005, 王玉良等
比较六种地衣的微量元素富集能力	电感耦合等离子光谱直读法	2009, 热依木·马木提等
测定药用植物黑穗石蕊中铅、镉、砷、汞、铜的含量	原子吸收分光光度(AAS)法	2010, 陈曦
监测重金属含量与地衣多样性关系	地衣多样性指数(ILD)监测法	2003, Stefano Loppi等
探讨中国树花对乌鲁木齐南郊空气污染生物指示作用	电感耦合等离子光谱直读法	2009, 阿孜古力·玉苏甫
分析污染区采集的艾属植物、地衣以及其生长的土壤样本中的重金属的含量	电感耦合等离子体发射光谱(ICP-AES)法	2006, Esmira G. Alirzayeva等
分析移植至Cu矿周围小镇的地衣 <i>Hypogymnia physodes</i> 中重金属含量	带有X射线能谱仪的扫描电子显微镜EM-EDX	2004, B.J. Williamson等
利用地衣 <i>Hypogymnia physodes</i> 和树皮监测罗马尼亚某废弃铜矿附近等大气监测	电感耦合等离子体发射光谱(ICP-AES)法	2006, A.-M. Rusu
监测土耳其黑海区域附生地衣中重金属含量	EDXRF法和FAAS法	2010, B.Koz
研究南极苔藓地衣中地球化学元素的营养富集特征	等离子发射光谱(ICP)法	2001, 李小梅
比较五种南极地衣中Co、Cr、Pb、和Cu元素的含量富集能力的差异	网袋法、原子吸收光谱法	2010; 刘华杰等
测定云南四种可食用地衣中微量元素的含量	电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)	2003, 刘祥义等
地衣 <i>Cladonia pleurota</i> 吸收重金属的生理特性	分散波长X射线的光谱吸收法	2004, M. Bačkor等
探究污染区地衣重金属耐受机制	薄层层析(TLC)、高效液相色谱(HPLC)	2010, B. Pawlik-Skowrońska等
利用地衣微核评价乌鲁木齐南郊空气质量	地衣移植法、微核检测技术	2010, 阿孜古丽·玉素甫等
利用东方黄梅和犬地卷微核千分率研究环境污染	微核检测技术(MCN)	2000, 木合塔尔·阿不都克力木
利用地衣富集特征监测大气污染, 作出污染分区图	空气洁净指数(IAP)法	2007, Z. Jeran等
比较四种移植地衣的重金属积累能力	仪器中子活化法(INAA)及电子原子分光光度法(ET-AAS)	2007, L. Bergamaschi等

研究表明, 化学元素进入地衣体后, 主要是积累于地衣体表面、细胞间隙、细胞壁和细胞内等4个部位^[25]。重金属对地衣体的影响表现在^[22]:

(1) 严重破坏细胞膜的通透性, 使细胞膜的通透性增加。

(2) 改变叶绿体的结构, 破坏叶绿体的膜系统。

(3) 影响光合过程中的电子传递, 破坏叶绿体的完整性, 从而抑制光合作用。

(4) 复合重金属污染, 影响藻细胞的呼吸作用, 使其迅速下降。

(5) 重金属胁迫可导致碳水化合物代谢、氮素代谢失衡。

(6) 影响核酸代谢, 导致染色体畸变, 出现微核^[29]。

Antonelli等^[53]指出污染区的地衣对各种重金属的吸收并非独立不相关的, 反而是具有复杂的相关性, 地衣 *Evernia prunastri* 对金属的吸收能力顺序为 $Pb > Zn > Cd \approx Cu \approx Cr$, 说明地衣对各种金属的吸收具有很强的协同效应。Cislaghi等^[54]调查意大利北部的地衣分布时指出该地区的地衣分布与当地成年男子的肺癌发病率具有相关性。

3.5 对氯化物的监测

N和P是地衣生长所必需的化学元素, 附生地衣可通过自身生长代谢参与到大气氮循环中。但由于人为活动造成大气中N、P化合物的含量大

量增加,使得地衣的生长、代谢、分布等均受到影响。大气中氯化物的监测是环保部门的常规监测项目之一,来源于工业废水、燃烧、汽车尾气。

研究表明, NH_3 和地衣体内的硝酸盐会影响地衣的碳、氮的同化,从而直接影响地衣的生长^[55]。而 NO_2 则是溶于雨水中形成硝酸盐,并随着雨水的沉降到地衣表面,被地衣吸收。硝酸盐在地衣体内会影响地衣的pH值,使得地衣局部区域个体坏死^[56]。

由于地衣是菌藻共生体,部分共生藻类具有固氮活性。吴清风等采用乙炔还原法(Acetylene reduction assay),研究了火烧对内蒙古草原生态系统中的固氮地衣坚韧胶衣(*Collema tenax*)固氮活性的短期影响。结果表明,火烧对坚韧胶衣的固氮功能在个体尺度上具有双重影响,即损伤地衣体总体的固氮活性,而未烧损个体的固氮活性得以增强。在种群尺度上,可能是由于火烧在个体尺度上对坚韧胶衣的固氮活性的双重影响相互抵消,使得火烧与对照之间固氮活性并无显著差异^[57]。

在干旱和半干旱区,氮是植物生长最主要的限制因子,同时固氮生物比较贫乏。所以,生物土壤结皮中的生物成分是最重要的氮源^[58]。Munzi等^[59]通过检测剧烈氮污染的条件下,地衣体细胞膜的完整性,及其共生真菌中离子的渗透量来评价氮污染程度。

Sally等^[60]在研究 NO_2 和 NH_3 对地衣群落结构影响时指出, NO_2 的浓度与地衣的盖度有很大的相关性,尤其是嗜氮地衣,其盖度可以对大气中的氮氧化物起到很好的指示作用。而 NH_3 对地衣的群落结构特征影响不大,这可能是由于该地区

的 NH_3 含量并不是很大。Gombert等^[61]对法国格勒诺布尔市48个调查点的车流量与两种地衣(嗜氮型地衣 *Physcia adscendens*和嗜酸型地衣 *Hypogymnia physodes*)中氮含量之间的关系进行研究,调查表明嗜氮型地衣*P. adscendens*中的氮含量与当地的交通指数成正比。而嗜酸型地衣*H. physodes*则无此关系。

3.6 对其他污染物的监测

地衣除了对硫化物、氯化物、重金属具有很好的指示监测效应外,对放射性物质及氟污染也有一定的指示作用。如杜春光等^[62]利用壳状地衣监测陆地环境中¹³⁷Cs活度浓度。研究表明,壳状地衣体中¹³⁷Cs活度浓度值比土壤表层中的¹³⁷Cs活度浓度值高出一个数量级,比食品中¹³⁷Cs活度浓度值高出3个以上数量级。从而说明壳状地衣是监测环境中¹³⁷Cs核素远距离传输及其活度水平的敏感指示剂。王勋陵等^[63]以长松萝为材料,制成挂袋,与石灰滤纸法(LTP)同步对白银市某氟化盐厂内外大气氟污染进行监测,结果表明,两种方法在监测效果上显著相关。

4 小结

地衣的适应能力很强,耐寒耐旱,广泛分布于世界各地,能够忍受恶劣的环境,并具有很强的抗辐射能力,在监测大气污染的过程中,成本低,方法易掌握,不需要昂贵设备,在一年中的任何时间均可进行监测。英国地衣学家Hawksworth和Rose根据不同种类的地衣对 SO_2 的敏感性不同制定出一个检索表,见表3,以此监测 SO_2 的污染程度^[64]。Thorer制定了在香港评定污染区的地衣指标^[65]。

表3 地衣检索说明

污染带	空气中 SO_2 质量浓度 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	地衣特征
0	SO_2 质量浓度超过 0.17	没有地衣存在,只有联球藻属(<i>Pleurococcus</i>)存在
1	SO_2 质量浓度在 0.125~0.15	地衣种类有 <i>Lecunora conizacoides</i> ,混有联球藻属的绿藻生长其间
2	SO_2 质量浓度为 0.07	有叶状地衣 <i>Parmelia</i> 生长于树上, <i>Xanthoria</i> 生长于石灰石上
3	SO_2 质量浓度为 0.06	地衣 <i>Parmelia</i> 和 <i>Xanthoria</i> 在树上均见到
4	SO_2 质量浓度为 0.04~0.05	地衣有 <i>Parmelia</i>
5	SO_2 质量浓度为 0.035	地衣有 <i>Evernia</i> 和 <i>Rarmelia</i>
6	SO_2 质量浓度为 0.03	地衣有 <i>Usnea</i> 和 <i>Lobsria</i> ,这两种都是清洁空气中才能找到的典型种类

5 问题与展望

5.1 我国地衣监测过程中存在的问题

用地衣检测大气污染的方法技术日臻成熟,但同时存在许多问题。

(1) 地衣对人为干扰的敏感性极强,但在环境监测中,对各种污染物的特异性不够,不利于监测某种特异的污染物。

(2) 我国地大物博,但对地衣的种类鉴定并没有全部完成,在大气污染监测方面没有标准的监测方法以及模式种。

(3) 研究方法多模仿国外使用过的技术,缺乏创新性和系统性。

(4) 城市化速度过快,污染加剧,城市中的地衣迅速消失,只能通过移植法进行监测。

(5) 地衣监测过程中,其生态相关性不够深入,如降水、风向、温度、气压、季节、营养状况等因素的变化对监测的影响,使得监测结果不一定就是该地区的大气污染状况的真实反映。

5.2 展望

地衣体的共生复合结构使其具有很强的适应能力,不受土壤因素的影响和干扰,耐寒耐旱,抗辐射,在两极、高山、荒漠等均有分布。但地衣对人为干扰极其敏感,对生长环境的空气质量要求很高。据测定,SO₂年平均浓度达到 $0.05 \times 10^{-6} \sim 0.105 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,即可导致地衣绝迹^[60]。不同的地衣附着基物及地衣生长型以及对大气污染的敏感性也不一样。综上所述,在今后的研究应侧重于以下几个方面。

(1) 监测方法标准化。地衣的生活史长,个体差异大,分布广,生境差异大等因素都会造成观测误差。只有建立标准化的监测方法(取样、测试技术、环境因素),实验结果才具有准确性和可比性。

(2) 由于生物监测的结果是对某一地区的综合污染情况进行评价,而且测得的是一定时间内污染平均水平,并不能准确测得特定污染物瞬时浓度,所以,在监测的过程中应与理化监测结果较好结合起来,在对污染物浓度和性质进行监测的同时,对污染物引起的生态效应作出恰当的评价。

(3) 加强物种鉴定以及采样方法的研究,使样品更加具有代表性,寻找富集能力较强的地衣种类,建立监测大气污染的指示地衣种类数据库。

参考文献

- [1]顾朝光,宋爽,何志桥.大气污染物的植物监测方法研究[J].浙江工业大学学报,2005,33(5):566-570.
- [2]Conti M E, Cecchetti G. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment—a review[J]. Environmental Pollution, 2001, 114: 471-492.
- [3]Rusu A M, Jones G C. Biomonitoring using the lichen *Hypogymnia physodes* and bark samples near Zlatna, Romania immediately following closure of a copper ore-processing plant[J]. Environmental Pollution, 2006, 143: 81-88.
- [4]王玉良,阿地里江·阿不都拉,热依木,等.地衣对重金属的积累效应应用于大气监测的初步研究[J].菌物研究,2005,3(2):39-41.
- [5]热依木·马木提,吾尔妮莎·沙依丁,阿不都拉·阿巴斯.不同地衣种类对微量元素富集能力的比较[J].食品科学,2009,30(15):63-66.
- [6]厉以强.生物监测的意义、现状及展望[J].环境导报,1996(2):26-27.
- [7]计建洪.生物监测与生态监测的比较分析[J].四川化工,2006,5(9):48-51.
- [8]Grant W F. Higher plant assays for the detection of chromosomal aberrations and gene mutations—a brief historical background on their use for screening and monitoring environmental chemicals[J]. Mutation Res, 1999, 426 (1):107-112.
- [9]John M. Native plants as bioindicators of air pollutants: contributed papers to a symposium held in conjunction with the 34th air pollution workshop[J]. Environmental Pollution, 2003, 125 (1): 122.
- [10]Mandiwana K L, Resane T, Panichev N, et al. The application of tree bark as bioindicator for the assessment of Cr(VI) in air pollution[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 137: 1241-1245.
- [11]Jacob G, Yuval K. The impact of air pollution on the integrity of cell membranes and chlorophyll on the lichen *Ramalina duriaei* (De Not) Bag transplanted to industrial sites in Israel, Arch[J]. Environ Contam Toxicol, 1993, 24: 455-460.
- [12]彭长连,温达志,孙梓健,等.城市绿化植物对大气污染的响应[J].热带亚热带植物学报,2002,10(4): 321-327.
- [13]温达志,孔国辉,张德强.30种园林植物对短期大气污染的生理生态反应[J].植物生态学报,2003,27(3):311-317.
- [14]毛军需,王发园.大气污染生物指示物研究进展[J].气候与环境研究,2008,13(5):688-696.
- [15]金卫红,邵秀伟.SO₂动态熏气对地衣的急性毒作用研究[J].浙江海洋学院学报:自然科学版,1999,18(3):195-201.
- [16]Zambrano A, Nash T H. Lichen responses to short-term transplantation in Desierto de los leones, Mexico city[J]. Environmental Pollution, 2000, 107: 407-412.
- [17]多力坤·买买提玉素甫,艾尔肯·买买提,吐尔逊莎吾丽·卡哈夫.大气污染监测与评价常用指示植物及其典型症状[J].生物学通报,2005,40(7):12-13.
- [18]Herzig R. Multi-residue analysis with passive biomonitoring: a new approach for volatile multi-element contents, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons with lichens in Switzerland and the Principality of Liechtenstein[J]. Markert B, (Ed.). Weinheim, 1993: 286-328.
- [19]陈红跃,闫雪燕,陈明洁.不同大气污染区林木根区土壤重金属和酶活性研究[J].生态环境,2006, 15(3):513-518.
- [20]孔国辉,陈宏通,刘世忠.广东园林绿化植物对大气污染的反应及污染物在叶片的积累[J].热带亚热带植物学报,2003,11(4):297-315.
- [21]Jurga Motiej unaite. Epiphytic lichen community dynamics in deciduous forests around a phosphorus fertiliser factory in Central Lithuania[J]. Environmental Pollution, 2007, 146: 341-349.
- [22]尤力群.利用苔藓、地衣对大气污染进行监测[J].生物学教

- 学,1999(12):34.
- [23]安丽,曹同,俞廣浩.苔藓植物与环境重金属污染监测[J].生态学杂志,2006,25(2):201-206.
- [24]阿不都拉·阿巴斯.关于利用地衣监测大气污染的研究[J].干旱区研究,1994,11(1):67-69.
- [25]汪淑琴.黄金矿山应实现植物监测、保护和美化环境[J].黄金,1997,18(7):51-54.
- [26]Gonzalez C M, Pignata M L. Chemical response of transplanted lichen *Canomaculina pilosa* to different emission sources of air pollutants[J]. *Environmental Pollution*, 2000, 110:235-242.
- [27]木合塔尔·阿不都克里木,古丽斯玛依·艾拜都拉.利用东方黄梅和犬地卷微核分率研究环境污染[J].干旱区研究,2000,17(2):50-52.
- [28]阿孜古力·玉素甫,托合提·克依木,阿不都拉·阿巴斯.利用地衣微核评价乌鲁木齐南郊空气质量[J].新疆农业科学,2010,47(8):1637-1642.
- [29]木合塔尔·阿不都克里木,阿不都拉·阿巴斯.三种地衣在污染环境下的敏感度[J].干旱区研究,2001,18(4):56.
- [30]Gottardini E, Cristofolini F, Marchetti F. Biomonitoraggio della qualità dell'aria della città di Trento tramite licheni epifiti[J]. *Acqua & Aria aprile*, 1999:67-71.
- [31]Stefano L, Adelmo C. Diversity of epiphytic lichens and metal contents of *Parmelia caperata* thalli as monitors of air pollution in the town of Pistola (C Italy)[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, 86: 289-301.
- [32]王玉鹏,朱惠刚.微核试验方法及在环境监测中应用的发展趋势[J].环境与健康杂志,1999,16(6): 378-380.
- [33]李宏.微核试验的研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(7):2864-2866.
- [34]孔繁翔,胡伟,桑伟莲,等.二氧化硫对地衣中共生藻菌营养关系影响研究[J].应用生态学报,2002,13(2):151-155.
- [35]帕孜来提·拜合提,阿孜古力·玉素甫.地衣对乌鲁木齐市空气污染生物指示的研究[J].生物技术,2010,20(4):79-82.
- [36]Markus H, Sascha-Rene J. Usnic acid controls the acidity tolerance of lichens[J]. *Environmental Pollution*, 2008, 156:115-122.
- [37]Vingiani S, Adamo P, Giordano S. Sulphur, nitrogen and carbon content of *Sphagnum capillifolium* and *Pseudevernia furfuracea* exposed in bags in the Naples urban area[J]. *Environmental Pollution*, 2004, 129: 145-158.
- [38]Wiseman R, Wadleigh M. Lichen response to changes in atmospheric sulphur: isotopic evidence[J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116:235-241.
- [39]Wadleigh M A. Lichens and atmospheric sulphur: what stable isotopes reveal[J]. *Environmental Pollution*, 2003, 126:345-351.
- [40]陈曦.地衣类药材黑穗石蕊的重金属含量测定[J].安徽农业科学,2010,38(10):5117-5118.
- [41]Jeran Z, Mrak T, Jacimovic R, Batic F. Epiphytic lichens as biomonitors of atmospheric pollution in Slovenian forests[J]. *Environmental Pollution*, 2007, 146:324-331.
- [42]刘祥义,付惠.云南4种地衣微量元素测定[J].微量元素与健康研究,2003,20(2):30-31.
- [43]Rusu A M, Jones G C, Chimonides P D J, et al. Biomonitoring using the lichen *Hypogymnia physodes* and bark samples near Zlatna, Romania immediately following closure of a copper ore-processing plant[J]. *Environmental Pollution* 2006, 143:81-88.
- [44]刘华杰,陈珍,吴清凤.五种南极地衣的Co、Cr、Pb和Cu元素富集能力的差异[J].菌物学报,2010,29(5): 719-725.
- [45]李小梅,赵俊琳,孙立广.南极地区苔藓地衣植物的地球化学元素营养富集特征[J].应用生态学报,2001,12(4):513-516.
- [46]Esmira G A, Tamilla S S, Mustafa A Y. Heavy metal accumulation in *Artemisia* and foliaceous lichen species from the Azerbaijan flora[J]. *For. Snow Landsc. Res*, 2006, 80(3):1-10.
- [47]Bergamaschi L, Rizzio E. Comparison between the accumulation capacity of four lichen species transplanted to a urban site[J]. *Environmental Pollution*, 2007, 148: 468-476.
- [48]Backor M, Fahsel D. Physiological attributes of the lichen *Cladonia pleurota* in heavy metal-rich and control sites near Sudbury (Ont., Canada)[J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2004, 52:149-159.
- [49]Koz B, Celik N, Cevik U. Biomonitoring of heavy metals by epiphytic lichen species in Black Sea region of Turkey[J]. *Ecological Indicators*, 2010, 10:762-765.
- [50]Williamson B J, Mikhailova I, Purvis OW. SEM-EDX analysis in the source apportionment of particulate matter on *Hypogymnia physodes* lichen transplants around the Cu smelter and former mining town of Karabash, South Urals, Russia[J]. *Science of the Total Environment*, 2004, 322: 139154.
- [51]Pawlik S B, Backor M. Zn/Pb-tolerant lichens with higher content of secondary metabolites produce less phytochelatin than specimens living in unpolluted habitats [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2010, 7:2016-2023.
- [52]杨世勇,王方,谢建春.重金属对植物的毒害及植物的耐性机制[J].安徽师范大学学报:自然科学版,2004,27(1):71-74.
- [53]Antonelli M L, Ercole P, Campanella. Studies about the adsorption on lichen *Evermia prunastri* by enthalpic measurements[J]. *Talanta*, 1998, 45:1039-1047.
- [54]Cislaghi C, Nimis P L. Lichens, air pollution and lung cancer[J]. *Nature*, 1997, 387:463-464.
- [55]Rachel S B, Arthur L F. Net ecosystem CO₂ exchange for moss and lichen dominated forest floors of old-growth sub-boreal spruce forests in central British Columbia, Canada[J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 235:240-251.
- [56]Spier L, Dobben H, Dort K. Is bark pH more important than tree species in determining the composition of nitrophytic or acidophytic lichen floras[J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158:3607-3611.
- [57]吴清凤,刘华杰.火烧对内蒙古草原中坚韧地衣固氮活性的影响[J].植物生态学报,2008,32(4): 908-913.
- [58]吴楠,张元明,张静.生物结皮恢复过程中土壤生态因子分异特征[J].中国沙漠,2007,27(3):397-404.
- [59]Munzi S, Pisani T, Loppi S. The integrity of lichen cell membrane as a suitable parameter for monitoring biological effects of acute nitrogen pollution[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2009, 72: 2009-2012.
- [60]Sally R G, Jeremy R Dagley, Patricia A. Wolesey P. Relationships between lichen community composition and concentrations of NO₂ and NH₃[J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158:2553-2560.
- [61]Gombert S, Asta J, Seaward M R D. Correlation between the nitrogen concentration of two epiphytic lichens and the traffic density in an urban area[J]. *Environmental Pollution*, 2003, 123:281-290.
- [62]杜春光,张京,李文红,等.利用壳状地衣监测陆地环境中¹³⁷Cs活度浓度的研究[J].中国辐射卫生,2005, 14(3):172-173.
- [63]王助陵,马骥.松萝挂袋法监测氯化盐厂大气气污染[J].西北植物学报,1998,18(1):78-82.
- [64]Hawthorn D L, Rose F. Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England Wales using epiphytic lichens[J]. *Nature*, 1970, 227:125-148.
- [65]Throrer S L. Air pollution and lichens in Hong Kong[J]. *Lichenologist*, 1980, 191:385-411.