

# Pb、Cd 单一及复合污染对弯叶灰藓 某些生理特性的影响

魏海英, 方炎明, 尹增芳

(南京林业大学, 南京 210037)

**摘要:** 主要研究了 Pb、Cd 单一及复合污染对弯叶灰藓外部形态及总叶绿素含量的影响, 结果表明: 不同浓度的 Pb、Cd 对弯叶灰藓造成不同程度的伤害, 随着 Pb、Cd 胁迫浓度的增加, 弯叶灰藓表现出逐渐严重的伤害症状, 总叶绿素的含量也随之下降, 并且复合污染效应明显大于单一污染效应。

**关键词:** Pb、Cd; 单一及复合污染; 弯叶灰藓; 叶绿素

**中图分类号:** Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2003)01-0069-04

## Effects of Pb, Cd single and joint pollution on some physiological characters of *Hypnum revolutum*

WEI Hai-ying, FANG Yan-ming, YIN Zeng-fang

(College of Forest Resource and Environmental Science, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** This paper mainly dealt with effects of Pb, Cd pollution on morphology and chlorophyll content of this moss, *Hypnum revolutum*. The results showed that various heavy-metal concentrations had different effects on the species. With increasing of stress concentrations of Pb, Cd, the impact to the plant became more and more serious. So was the loss of chlorophyll contents. Moreover, the plant, when exposed to joint pollution, suffers much more harmful hurt than the case of single pollution.

**Key words:** Pb, Cd; single and joint pollution; *Hypnum revolutum*; chlorophyll

目前, 人们对 Pb、Cd 单一及复合污染对一些植物体的影响已经作了初步的研究<sup>[1~5]</sup>, 而现有的研究中受试植物均为种子植物如小白菜<sup>[3,5]</sup>、玉米<sup>[1,2]</sup>、苜蓿<sup>[4]</sup>等, 研究内容主要集中在受试植物的外表伤害症状及一些生理指标(如叶绿素<sup>[4]</sup>、抗坏血酸<sup>[3]</sup>、酶活性<sup>[1,2,4]</sup>等)的变化, 而并未指出重金属污染对植物的伤害浓度。我们在前面的文献<sup>[6]</sup>中对苔藓作为指示植物来监测大气重金属污染的客观性及其优点已经作了详尽的报道。到目前为止, 用苔藓植物来监测大气重金属污染的报道前

面陆续有过几篇<sup>[7~9]</sup>, 但都是通过生态学途径, 生态调查来实现的, 本文以苔藓植物为材料, 将苔藓植物累积的 Pb、Cd 量与其生理指标、外表伤害症状结合起来, 旨在说明苔藓植物监测大气重金属污染的客观合理性及其环境毒理。

### 1 材料和方法

#### 1.1 实验材料

弯叶灰藓(*Hypnum revolutum*)采自浙江北部

收稿日期: 2001-10-19; 修订日期: 2002-01-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070155); 教育部留学回国人员科研基金。

作者简介: 魏海英(1976-), 女, 山西汾阳人, 硕士, 从事树木附生苔藓监测大气重金属污染机理研究。

安吉龙王山自然保护区,该保护区地处天目山中段,植物资源丰富,空气洁净,大气未受到污染。材料采集后用自来水洗净再用去离子水冲洗,然后在去离子水中培养 3 d,待所有培养处理生长正常且生长状况基本相同时,用不同浓度的醋酸铅、氯化镉培养,使培养液中 Pb(以纯 Pb 计)浓度为 10、100、200 mg/L 和 Cd(以纯 Cd 计)浓度为 0.1、1.0、10、100 mg/L。单一和复合处理共 20 个(含 1 个对照)组合(表 1)。处理 15 d 后用吸水纸吸干,测定叶绿素含量,部分烘干测定 Pb、Cd、K、Ca 的含量。

## 1.2 实验方法

1.2.1 叶绿素含量的测定<sup>[10]</sup> 准确称取新鲜苔藓植物样品 0.2 g,加入 1:1 丙酮、乙醇混合液 20 mL 于 17 °C 下过夜提取,用分光光度法测定,单位:mg/g。

1.2.2 Pb、Cd 含量的测定<sup>[11]</sup> 准确称取烘干粉碎样品 0.5 g 加入硝酸、高氯酸(体积比 5:1)混合酸 10 mL 于 120 °C 低温消煮 12 h,再在 250 °C 高温下消煮,直至白烟冒尽溶液清澈透明,将消煮液定容于 25 mL 容量瓶待用,稀释至一定浓度用原子光谱吸收法测定。

## 1.3 统计分析方法

相关性分析、方差分析等。

表 1 Pb、Cd 处理试验设计

Table 1 Experimental design of Pb, Cd treatments

| 培养浓度 Pb<br>(mg/L) | 培养浓度 Cd (mg/L) |         |         |        |         |
|-------------------|----------------|---------|---------|--------|---------|
|                   | 0              | 0.1     | 1.0     | 10     | 100     |
| 0                 | 0              | 0.1+0   | 1.0+0   | 10+0   | 100+0   |
| 10                | 0+10           | 0.1+10  | 1.0+10  | 10+10  | 100+10  |
| 100               | 0+100          | 0.1+100 | 1.0+100 | 10+100 | 100+100 |
| 200               | 0+200          | 0.1+200 | 1.0+200 | 10+200 | 100+200 |

# 2 结果与讨论

## 2.1 弯叶灰藓中 Pb、Cd 的累积量

由表 2、3 可以看出,弯叶灰藓对 Pb、Cd 具有很强的累积能力,无论是单一处理还是复合处理随着培养浓度的增加,Pb、Cd 的累积量也逐渐增加。在复合处理中我们可以看到,从低浓度到高浓度,Pb 的累积量先是直线上升,然后趋于平缓,呈现出饱和趋势;而 Cd 的累积量则随着胁迫浓度的增加不断增加,由此可以看出弯叶灰藓对 Cd 的累积能力高于 Pb。同时可以看到当 10 mg/L 的 Pb 加入不同

浓度的 Cd 处理中时,Pb、Cd 的累积量(除 \* Cd 10 mg/L)都显著地低于其它复合污染处理(表 2、3),Cd 的累积量甚至低于其单一处理(表 3),表明两者在此浓度下为拮抗作用,而其它混合浓度则都表现为协同作用,特别是在高浓度时,弯叶灰藓中镉的累积量高达 27.48 mg/g。

表 2 弯叶灰藓中 Pb 的累积量

Table 2 The accumulation of Pb in *H. revolutum* (mg/L)

| 培养浓度 Pb<br>(mg/L) | 培养浓度 Cd(mg/L) |      |      |        |      |
|-------------------|---------------|------|------|--------|------|
|                   | 0             | 0.1  | 1.0  | 10     | 100  |
| 0                 | 0.07          | —    | —    | —      | —    |
| 10                | 0.16          | 0.28 | 0.32 | 1.60 * | 0.52 |
| 100               | 1.28          | 1.95 | 2.43 | 3.43   | 3.75 |
| 200               | 3.38          | 2.43 | 3.79 | 3.73   | 3.78 |

## 2.2 Pb、Cd 单一污染和复合污染对弯叶灰藓外表伤害症状的影响

Pb、Cd 对植物体的伤害与培养液中 Pb、Cd 的浓度有关(表 4)。用不同浓度的 Pb、Cd 培养 7 d 后,植物外表伤害症状不明显,随着时间的延长逐渐表现出不同程度的伤害症状,培养 15 d 后观察发现:对照处理与 Cd 0.1 mg/L 处理目测不到伤害症状(正常生长);低浓度处理仅边缘植株体失绿变黄(轻度伤害);随着培养浓度的增加,植物的外表伤害症状逐渐表现出来,从部分失绿变黄(中度伤害)到大多数失绿变黄直到所有植株体全部失绿变黄(重度伤害)。总体来看复合污染处理的伤害效应要大于单一污染处理的伤害效应。

表 3 弯叶灰藓中 Cd 的累积量

Table 3 The accumulation of Cd in *H. revolutum* (mg/L)

| 培养浓度 Pb<br>(mg/L) | 培养浓度 Cd(mg/L) |       |       |       |       |
|-------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|
|                   | 0             | 0.1   | 1.0   | 10    | 100   |
| 0                 | 0.04          | 0.75  | 1.24  | 2.37  | 3.90  |
| 10                | —             | 0.079 | 0.083 | 0.22  | 0.38  |
| 100               | —             | 0.40  | 0.68  | 2.68  | 3.82  |
| 200               | —             | 4.39  | 13.13 | 16.42 | 27.48 |

## 2.3 Pb、Cd 单一污染及复合污染对弯叶灰藓叶绿素含量的影响

叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,其含量的高低直接影响植物正常的光合作用甚至影响植物正常的新陈代谢。弯叶灰藓经 Pb、Cd 单一和复合污染处理 15 d 后,叶绿素含量变化如表 5 所示。20 个组合中除单一 Cd 0.1 mg/L 这一处理外,其它

组合叶绿素的含量均有不同程度的降低,而且随着处理浓度的增加,叶绿素含量减少。通过胁迫浓度与叶绿素含量相关性分析表明:单一 Pb 比单一 Cd 对叶绿素的破坏更严重,相关系数  $r$  分别为-0.973 8 和-0.611 8,为极显著负相关。复合污染处理对叶绿素含量的影响大于单一污染处理,如将 Pb 200 mg/L 加入不同浓度的 Cd 处理中时,将叶绿素含

量与单一 Cd 处理时叶绿素含量作方差分析  $F$  达 26.800 61( $F_{0.01} = 13.745\ 19$ ),为差异极显著。且随着 Cd 处理中加入的 Pb 浓度的增加,叶绿素含量变化差异极显著,对分别加入 10、100、200 mg/L Pb 叶绿素含量方差分析得出  $F$  为 11.580 3( $F_{0.01} = 10.924\ 85$ )。

Holle<sup>[3]</sup>等人认为 Cd 对叶绿素直接起破坏作

表 4 Pb、Cd 单一和复合污染对弯叶灰藓外表伤害症状的影响

Table 4 Effect of Pb, Cd single and joint pollution on the morphology of *H. revolutum*

| Pb<br>(mg/L) | Cd (mg/L)                |                       |                          |                        |                          |
|--------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
|              | 0                        | 0.1                   | 1.0                      | 10                     | 100                      |
| 0            | 正常生长<br>Normal growth    | 正常生长<br>Normal growth | 轻度伤害<br>Light injury     | 轻度伤害<br>Light injury   | 中度伤害<br>Secondary injury |
| 10           | 轻度伤害<br>Light injury     | 轻度伤害<br>Light injury  | 轻度伤害<br>Light injury     | 轻度伤害<br>Light injury   | 轻度伤害<br>Light injury     |
| 100          | 轻度伤害<br>Light injury     | 轻度伤害<br>Light injury  | 中度伤害<br>Secondary injury | 重度伤害<br>Serious injury | 重度伤害<br>Serious injury   |
| 200          | 中度伤害<br>Secondary injury | 轻度伤害<br>Light injury  | 中度伤害<br>Secondary injury | 重度伤害<br>Serious injury | 重度伤害<br>Serious injury   |

表 5 Pb、Cd 单一及复合污染对弯叶灰藓叶绿素含量的影响

Table 5 Effect of Pb, Cd single and joint pollution on the chlorophyll contents (mg/L · FW)

| Pb<br>(mg/L) | Cd (mg/L)   |             |             |             |             |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|              | 0           | 0.1         | 1.0         | 10          | 100         |
| 0            | 1.02        | 1.18(+0.16) | 0.99(-0.03) | 0.67(-0.35) | 0.65(-0.37) |
| 10           | 0.85(-0.17) | 0.97(-0.05) | 0.46(-0.56) | 0.33(-0.69) | 0.33(-0.69) |
| 100          | 0.56(-0.46) | 0.57(-0.45) | 0.36(-0.66) | 0.11(-0.91) | 0.09(-0.93) |
| 200          | 0.42(-0.60) | 0.27(-0.75) | 0.21(-0.81) | 0.06(-0.96) | 0.04(-0.98) |

用,从而引起叶绿素含量降低。Stobart A K<sup>[12]</sup>等人认为叶绿素含量降低的原因是重金属抑制原叶绿素酸酯还原酶(protochlorophyllide reductase)和影响了氨基- $\gamma$ -酮戊酸(aminolaevulinic acid)的合成,而这两个酶对于叶绿素的合成是必需的,所以导致叶绿素含量的降低。我们认为重金属进入植物体后,破坏了细胞的膜结构,固然叶绿体的结构也被破坏,从而导致叶绿素含量的降低。

### 3 结 论

(1)从表 2、3 中我们可以看出弯叶灰藓对 Pb、Cd 具有很强的累积能力和忍耐能力,可以大量地吸收大气中的 Pb、Cd,而且当其吸收的 Pb、Cd 达到一定的浓度时弯叶灰藓便表现出一些伤害症状,起到一定的指示作用,所以弯叶灰藓可以作为一种环境大气重金属污染的指示植物。

(2)大气中的重金属污染物往往是多种重金属

元素的混合物而不可能是单一的某种重金属元素,从上述的分析中可以看出在大多数污染浓度下 Pb、Cd 都表现为协同作用,这就有利于苔藓植物对重金属污染物的吸收累积,有效地起到了净化空气的作用。

(3)Pb、Cd 单一及复合污染不同程度地减少了弯叶灰藓的叶绿素含量,而复合污染的破坏作用明显大于相应的单一污染,显示出协同效应的趋势。

### 参考文献:

- [1] 杨居荣, 鲍子平, 张素芹. 镉、铜在植物细胞内的分布及其可溶性结合形态[J]. 中国环境科学, 1993, 13(4): 253—258.
- [2] 杨居荣, 贺建群, 张建国, 等. 不同性作物中几种酶活性对 Cd 胁迫反应[J]. 中国环境科学, 1996, 16(2): 113—117.
- [3] 秦天才, 吴玉树, 黄巧云, 等. Pb、Cd 单一和复合污染对小白菜抗坏血酸含量的影响[J]. 生态学杂志, 1997, 16(3): 31—34.

- [4] 徐勤松, 施国新, 郝怀庆. Cd、Cr(VI)单一及复合污染对菹草叶绿素含量和抗氧化酶系统的影响[J]. 广西植物, 2001, 21(1): 87—90.
- [5] 秦天才. Cd、Pb 及其相互作用对小白菜生理生化特性的研究[J]. 生态学报, 1994, 14(1): 46—50.
- [6] 方炎明, 魏 勇, 张晓平, 等. 苔藓植物监测大气重金属污染研究进展[J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(5): 64—68.
- [7] 高 谦, 曹 同. 苔藓植物对西南部分地区大气(污染包括酸雨)的指示意义的初步研究[J]. 应用生态学报, 1992, 3(1): 81—90.
- [8] 闵运江. 六安市区常见树木附生苔藓植物及其对大气污染的指示作用研究[J]. 城市环境与城市生态, 1997, 10(4): 31—33.
- [9] 曹 同, 路 勇, 吴玉环, 等. 苔藓植物对鞍山市环境污染生物指示的研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(6): 635—639.
- [10] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986, (3): 26—28.
- [11] 中华人民共和国国家标准. 森林植物与森林枯枝落叶层大量微量元素的测定[S]. GB/7152, 64—94.
- [12] Stobart A K, Griffiths W T, Ameen-Bukhari I, *et al.* The effect of Cd on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley[J]. *Plant Physiol*, 1985, 63: 293—298.

~~~~~

( 上接第 68 页 Continue from page 68 )

- [4] Nagel C W, Patterson M E. Pectic enzymes and development of the pears(*Pyrus communis*)[J]. *Journal of Food Science*, 1967, 32: 292—297.
- [5] Luchsinger W W, Cornesky R A. Reducing power by the dinitrosalicylic acid method[J]. *Anal Biochem*, 1962, 4: 346—347.
- [6] 莫开菊. 钙与采后生理[J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(1): 44—47.
- [7] 彭永宏, 林国辉. 荔枝超微结构的比较观察[J]. 果树科学, 1999, 16(1): 8—23.
- [8] 潘润操, 谢宝贵. 荔枝果皮的扫描电镜观察[J]. 园艺学报, 1996, 23(3): 2 227—2 301.
- [9] 刘鸿洲, 尤瑞琛, 黄维南. 荔枝果实采后钙处理对三种酶活性的影响[J]. 亚热带植物科学, 1996, 25(2): 1—5.