

小羽藓和柏状灰藓对重金属富集的能力

孙天国,熊毅,郭彦翠,赵艳,杨志宏

(齐齐哈尔大学 生命科学与农林学院,黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要:以小羽藓和柏状灰藓为试材,采用电感耦合等离子体质谱法研究了镉、铅、镍和铜在小羽藓和柏状灰藓体内的含量,设置4种重金属共3个浓度梯度,分别为0.2、0.4、0.8 mmol·L⁻¹,采用正交设计设置9种不同浓度的复合试验,以蒸馏水处理为对照,对苔藓进行7 d的不同浓度的单一金属和复合金属胁迫处理,以期研究小羽藓和柏状灰藓对重金属的富集能力。结果表明:在单一金属胁迫下,苔藓体内相应的重金属含量迅速增加,复合金属胁迫后的苔藓,各重金属含量均明显高于对照。2种苔藓对4种重金属都具有很强的富集能力。小羽藓和柏状灰藓适合作为重金属污染的净化植物。

关键词:小羽藓;柏状灰藓;重金属;富集能力;净化植物

中图分类号:Q 945.78 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)21-0077-03

随着城市化、工业化等人类活动对环境的影响,环境的重金属污染负荷日益增加。每年由于重金属污染导致的经济损失达到几百亿元。因此全面准确监测环境重金属污染,寻找有效重金属污染修复方法势在必行。由于苔藓植物对重金属的敏感性与耐受性^[1],而成为国际环境领域研究的热点^[2-3]。即使是有毒物质在环境中存在浓度很低,苔藓也能积累和集中这些物质^[4]。

有关苔藓植物富集重金属的研究在国内已有报道,安丽等^[5]比较了不同藓类植物对5种重金属的累积能力。李进猛等^[6]研究了重庆市不同功能区苔藓植物重金属含量及吸附特性,MARIET等^[7]研究了法国乡村、铁路和工业区中苔藓对重金属的富集作用。前人的工作都是对自然环境生长苔藓植物富集重金属的能力进行了分析。而在实验室内利用重金属处理苔藓植物,分析苔藓植物内重金属含量的研究尚少,只有孙玉斌等^[8]进行了相关的研究。现选择毒性大、危害范围广的Cd、Ni、Pb、Cu 4种重金属对小羽藓(*Haplocladum capillatum*)和柏状灰藓(*Hypnum cupressi forme*)进行处理,探讨2种苔藓植物对4种重金属的富集能力,以期对苔藓植物治理重金属污染打下基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试小羽藓和柏状灰藓于2014年8月采集自双鸭山地区。标本保存于齐齐哈尔大学生命学院遗传学实验室。

1.2 试验方法

将小羽藓和柏状灰藓除去杂质进行室内培养。试验选取Cd、Ni、Pb、Cu 4种重金属对2种苔藓植物进行单一处理和复合处理。苔藓处理采用浇灌方法,每次浇灌10 mL,每2 d处理1次,共处理10 d。单一处理的重金属浓度为0.2、0.4、0.8 mmol·L⁻¹,复合处理根据L₉(3⁴)正交实验设计,共9个处理,用T1、T2、……、T8、T9表示(表1),以蒸馏水处理作为对照(T0),共处理7 d。

表1 复合重金属处理

Table 1 Experimental design of combined treatment

处理	重金属浓度 Concentration of heavy metal/(mmol·L ⁻¹)			
Treatment	Cd	Ni	Pb	Cu
T1	0.2	0.2	0.2	0.2
T2	0.2	0.4	0.4	0.4
T3	0.2	0.8	0.8	0.8
T4	0.4	0.2	0.4	0.8
T5	0.4	0.4	0.8	0.2
T6	0.4	0.8	0.2	0.4
T7	0.8	0.2	0.8	0.4
T8	0.8	0.4	0.2	0.8
T9	0.8	0.8	0.4	0.2

1.3 项目测定

采用电感耦合等离子体质谱法分析重金属含量。在70℃烘干箱里烘干8 h。烘干后,将其根部及附在上面

第一作者简介:孙天国(1966-),男,黑龙江肇源人,硕士,副教授,研究方向为植物分子生物学和植物生理学。E-mail:stg1966@163.com.

基金项目:黑龙江省教育厅科学技术研究资助项目(12541879)。

收稿日期:2016-07-28

的土壤等杂质清理干净,放入研钵中进行研磨,用 ICP-MS 检测重金属的含量。

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS 18.0 one-way ANOVA 分析,结果用平均值和标准差表示,数据为 3 次平均值。

2 结果与分析

2.1 单一重金属处理小羽藓和柏状灰藓对 4 种重金属的富集能力

从表 2、3 可以看出,当 4 种重金属单一处理时,小羽藓和柏状灰藓体内的重金属含量随着 4 种重金属浓度的升高而增加。

小羽藓在 0.2、0.4、0.8 mmol · L⁻¹ Cd 处理下体内的 Cd 含量分别是对照的 1 354.079、2 050.362、2 734.126 倍。柏状灰藓的 Cd 含量是对照的 453.487、785.528、2 132.300 倍,从以上数据可以看出小羽藓和柏状灰藓对 Cd 有很强的富集能力。

用 3 种不同浓度的 Ni 处理小羽藓和柏状灰藓,2 种苔藓植物体内的 Ni 含量发生明显改变,当 Ni 浓度为 0.2 mmol · L⁻¹ 小羽藓体内的 Ni 含量是对照的 1.798 倍,经方差分析差异极显著($P < 0.01$),浓度为 0.4 mmol · L⁻¹ 和 0.8 mmol · L⁻¹ 是对照的 39.794、182.206 倍,柏状灰藓体内的 Ni 含量分别是对照的 28.951、63.505、71.448 倍。由数据分析来看,2 种苔藓对 Ni 的富集能力随着金属浓度的不同表现有所差别。当 Ni 浓度为 0.2 mmol · L⁻¹ 时小羽藓体内的 Ni 含量变化较小。当 Ni 浓度较低时(0.2、0.4 mmol · L⁻¹),柏状灰藓的富集能力高于小羽藓,而当浓度达 0.8 mmol · L⁻¹ 小羽藓的富集能力高于柏状灰藓。

表 2 单一重金属处理小羽藓重金属含量

Table 2 Content of heavy metal on *Haplodadium capillatum* under single treatment mg · kg⁻¹

处理 Treatment	0	0.2	0.4	0.8
Cd	0.470±0.01	636.417±2.16	963.670±5.31	1 285.039±8.77
Ni	6.513±0.25	11.713±0.97	259.180±6.98	1 186.706±10.67
Pb	34.346±1.32	902.907±10.35	1 522.913±13.30	3 575.697±15.40
Cu	1.307±0.01	203.976±0.32	342.095±6.24	865.741±6.58

表 3 单一重金属处理柏状灰藓重金属含量

Table 3 Content of heavy metal on *Hypnum cupressi forme* under single treatment mg · kg⁻¹

处理 Treatment	0	0.2	0.4	0.8
Cd	1.646±0.02	746.440±5.20	1 292.979±6.87	3 509.766±13.56
Ni	9.283±1.14	268.750±4.52	589.515±6.39	663.249±6.81
Pb	2.613±0.22	898.214±9.23	1 526.692±14.28	4 448.617±16.39
Cu	1.186±0.01	345.379±2.97	745.545±7.24	1 690.855±9.90

当 Pb 浓度为 0.2 mmol · L⁻¹,小羽藓和柏状灰藓的 Pb 含量是对照的 26.289 倍和 343.748 倍,Pb 浓度为

0.4 mmol · L⁻¹,小羽藓和柏状灰藓的 Pb 含量是对照的 44.340 倍和 584.268 倍,Pb 浓度为 0.8 mmol · L⁻¹,小羽藓的 Pb 含量是对照的 104.108 倍,柏状灰藓的 Pb 含量是对照组的 1 702.494 倍。所以 2 种苔藓对 Pb 有着很强的富集能力。

在 3 种不同浓度的 Cu 处理下,小羽藓的 Cu 含量分别是对照的 156.064、261.741、662.388 倍,柏状灰藓的 Cu 含量分别是对照的 291.213、628.621、1 425.679 倍。2 种苔藓对 Cu 表现出了较强的富集能力,而且在相同的 Cu 浓度下,柏状灰藓对 Cu 的富集能力高于小羽藓。

2.2 复合重金属处理小羽藓和柏状灰藓对 4 种重金属的富集能力

由表 4、5 可知,复合处理下小羽藓和柏状灰藓体内的 4 种重金属由于发生重金属协同反应和拮抗反应使体内的重金属含量差异较大。在 9 个处理中,2 种苔藓体内 4 种重金属的含量均高于对照。且在 T1 处理中小羽藓和柏状灰藓的 4 种重金属含量都高于相同浓度下的单一处理的重金属含量。说明在 T1 处理中 4 种重金属间发生了协同作用。

表 4 复合重金属处理小羽藓 4 种重金属含量

Table 4 Content of heavy metal on *Haplodadium capillatum* under combined treatment mg · kg⁻¹

处理 Treatment	Cd	Ni	Pb	Cu
T0	0.470±0.01	6.513±0.25	34.346±1.32	1.307±0.01
T1	656.320±6.51	40.020±3.45	1 130.413±8.89	297.300±2.43
T2	702.417±6.30	130.472±2.11	1 822.913±12.84	304.091±4.50
T3	720.153±5.66	415.916±3.52	3 987.210±16.63	789.220±5.10
T4	734.510±5.39	38.920±2.16	1 264.110±9.50	813.451±5.79
T5	620.300±4.80	226.801±2.10	3 143.220±9.70	167.346±4.39
T6	782.160±5.64	967.258±10.07	760.341±5.87	289.54±3.03
T7	1 031.450±9.35	49.872±3.56	2 871.340±11.77	304.611±2.11
T8	882.360±5.82	204.672±2.51	831.412±4.94	672.450±4.97
T9	683.438±6.70	913.541±8.10	923.415±6.99	170.421±1.62

表 5 复合金属处理柏状灰藓 4 种重金属含量

Table 5 Content of heavy metal on *Hypnum cupressi forme* under combined treatment mg · kg⁻¹

处理 Treatment	Cd	Ni	Pb	Cu
T0	1.646±0.02	9.283±1.14	2.613±0.22	1.186±0.01
T1	815.631±7.20	341.761±3.46	1 256.174±9.52	448.726±4.99
T2	872.032±8.21	420.516±5.34	1 764.350±11.30	411.162±5.87
T3	993.510±9.91	308.042±3.26	4 861.410±16.74	1 250.023±9.99
T4	1 084.310±8.72	317.201±4.44	1 162.217±7.50	1 307.632±8.44
T5	987.431±6.01	434.761±3.13	3 967.222±11.03	276.340±2.84
T6	1 124.415±7.20	607.919±2.94	813.205±5.00	527.340±4.86
T7	2 965.412±9.31	273.210±2.61	3 743.400±10.20	698.120±6.43
T8	3 012.571±11.03	493.540±4.44	801.572±7.60	180.021±2.06
T9	3 147.262±10.94	576.412±5.68	1 471.604±835	172.630±1.87

在复合处理中,T5 处理小羽藓吸收的 Cd 最少,是对照的 1 319.787 倍,T7 处理小羽藓吸收的 Cd 最多,是

对照的 2 194.574 倍,而且均低于相同浓度下单一金属的 Cd 含量,经方差分析差异极显著($P<0.01$)。柏状灰藓 Cd 最低值和最高值分别在 T1 和 T9 处理中,分别高于对照 495.523、1 912.067 倍。T1 中小羽藓的 Ni 含量最少,是对照的 6.145 倍,T6 中的 Ni 含量最高为对照的 148.512 倍,柏状灰藓的 Ni 含量最少的是 T7 处理,为对照的 29.431 倍,最高的是 T6 处理,为对照的 65.487 倍。小羽藓的 Pb 含量最少在 T6 中,为对照的 22.138 倍,最高的在 T3 中,为对照的 116.090 倍。柏状灰藓的 Pb 含量最少在 T8 中,为对照的 306.763 倍,T3 中最高为对照的 1 860.471 倍。小羽藓和柏状灰藓的 Cu 含量最高值都在 T4 处理中,分别为对照的 622.380、1 102.556 倍。小羽藓的 Cu 含量最低在 T5 中,是对照的 128.038 倍,而柏状灰藓的 Cu 含量最低在 T9,是对照的 145.556 倍。

从以上分析可以发现,无论是小羽藓还是柏状灰藓在复合处理中对 Cd、Ni、Pb、和 Cu 4 种重金属显示出超强的富集能力。

3 讨论与结论

该研究中小羽藓和柏状灰藓在 4 种重金属单一和复合处理下,都显示出很强的富集能力,其原因是由于苔藓植物因其特殊的结构,具有很强的阳离子交换能力^[9]。黄朝表等^[10]在研究浙江金华市郊苔藓植物体内重金属时发现,所研究的苔藓植物富集重金属的能力明显高于当地种子植物。2 种苔藓对 Cd、Ni、Pb 和 Cu 对的富集能力不尽相同,朱秀敏等^[11]在研究 5 种苔藓植物对重金属富集能力时也发现这种现象。试验中发现在单一重金属处理中小羽藓和柏状灰藓对 Cd 和 Cu 都有着超超强的富集能力,小羽藓对高浓度的 Ni 富集能力较强,而对低浓度的 Ni 富集能力较弱。柏状灰藓无论

高浓度还是低浓度都表现较强的富集能力。柏状灰藓对 Pb 的富集能力高于小羽藓。在复合处理中由于各种重金属在不同浓度下发生的反应不同,所以 2 种苔藓植物在各个处理中对 4 种重金属的富集能力不尽相同。但与对照相比,体内的重金属含量极显著高于对照。说明小羽藓和柏状灰藓适合作为重金属污染的净化植物。

参考文献

- [1] 魏海英,方炎明.苔藓植物与环境重金属污染监测研究进展[J].南京林业大学学报(自然科学版),2004,28(5):77-81.
- [2] SALEMAA M,DEROME J,HELMISAARI H,et al. Element accumulation in boreal bryophytes, lichens and vascular plants exposed to heavy metal and sulfur deposition in Finland[J]. Science of the Environment, 2004, 324(1-3):141-160.
- [3] SZCZEPANIAK K, BIZIUK M. Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution[J]. Environmental Research, 2003, 93(3):221-230.
- [4] WOLTERBEEK B. Biomonitoring of trace element air pollution: Principles, possibilities and perspectives[J]. Environmental Pollution, 2002, 120:11-21.
- [5] 安丽,曹同,俞膺浩.不同苔藓植物对重金属富集能力的比较[J].上海师范大学学报(自然科学版),2006,35(6):64-69.
- [6] 李进猛,王定勇,陈益,等.重庆市不同功能区苔藓植物重金属含量及吸附特性研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2012,37(9):68-73.
- [7] MARIET C, GAUDRY A, AYRAULT S, et al. Heavy metal bioaccumulation by the bryophyte *Scleropodium purum* at three French sites under various influences: rural conditions, traffic, and industry [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 174:107-118.
- [8] 孙玉斌,于欣宇,宋士伟,等.鼠尾藓和砂藓对重金属富集能力的研究[J].黑龙江畜牧兽医,2015,485(9):10-12.
- [9] 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.
- [10] 黄朝表,郭水良,李海斌.浙江金华市郊苔藓植物体内重金属离子含量测定与分析[J].上海交通大学学报,2004,22(3):231-236.
- [11] 朱秀敏,王僧虎,李丽.几种苔藓植物对五种重金属富集能力的比较[J].北方园艺,2012(23):88-90.

Enrichment Ability of Heavy Metals for *Haplocladium capillatum* and *Hypnum cupressi forme*

SUN Tianguo, XIONG Yi, GUO Yancui, ZHAO Yan, YANG Zhihong

(College of Life Science and Agriculture-Forestry, Qiqihaer University, Qiqihaer, Heilongjiang 161006)

Abstract: In order to study enrichment ability for heavy metals, *Haplocladium capillatum* and *Hypnum cupressi forme* were used as test materials. The contents of four chemical elements, namely, cadmium (Cd), nickel (Ni), lead (Pb) and copper (Cu) were analyzed by means of CP-MS analysis method. 0.2 mmol · L⁻¹, 0.4 mmol · L⁻¹, 0.8 mmol · L⁻¹ of three concentration gradient were set up respectively, according to the orthogonal experimental design of nine different concentrations of mixed group, with distilled water treatment for comparison, the mosses were treated with stresses for seven days using different concentrations of single metals and complex metals. The results showed that heavy metal contents were significantly greater than the control group, *Haplocladium capillatum* and *Hypnum cupressi forme* had the very strong enrichment ability to heavy metal. It was suggested that the moss *Haplocladium capillatum* and *Hypnum cupressi forme* could be used as purification plants for the heavy metals pollution.

Keywords: *Haplocladium capillatum*; *Hypnum cupressi forme*; heavy metal; enrichment ability; purification plants