

东北山地灌木沼泽植物铜、锌分布特征及季节动态*

满秀玲** 蔡体久

(东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

摘要 研究了东北山地灌木沼泽主要植物——细叶沼柳、五蕊柳、丛苔草和修氏苔草中 Cu、Zn 分布、积累及其季节动态。结果表明: Cu 含量变动范围为 6 ~ 12 mg · kg⁻¹, 细叶沼柳和五蕊柳各器官 Cu 含量为根 > 枝 > 叶; 丛苔草和修氏苔草为茎 > 叶 > 根, Cu 主要积累在灌木的根系和苔草的茎叶中, 灌木和苔草中 Cu 含量相差较小。Zn 含量变动在 30 ~ 250 mg · kg⁻¹ 之间, 细叶沼柳和五蕊柳各器官 Zn 含量为叶 > 枝 > 根, 尤其是叶和枝中都在 150 mg · kg⁻¹ 以上; 丛苔草和修氏苔草各器官 Zn 含量为根 > 茎 > 叶。Zn 多积累在灌木的叶和苔草的根中, 且灌木各器官 Zn 含量明显高于苔草。细叶沼柳和五蕊柳各器官对 Zn 的富集系数均大于 1.45, 显示出较强的 Zn 富集能力。4 种供试植物在生长初期地上部分 Cu、Zn 含量较高, 且随着季节变化呈波动式降低趋势, 而根中则表现出生长初期和末期 Cu、Zn 含量较高的特点。

关键词 山地 灌木沼泽 Cu Zn 分布 季节动态

文章编号 1001-9332(2008)01-0032-05 中图分类号 X171.4 文献标识码 A

Distribution characteristics and seasonal dynamics of Cu and Zn in shrub-marsh plants in mountainous areas of Northeast China. MAN Xiu-ling, CAI Ti-jiu (College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2008, 19(1): 32-36.

Abstract: The study on the distribution, accumulation, and seasonal dynamics of Cu and Zn in shrub-marsh plants *Salix rosmarinifolia*, *Salix pentandra*, *Carex caespitosa* and *Carex schmidtii* in mountainous areas of Northeast China showed that the Cu concentration in test plants varied from 6 to 12 mg · kg⁻¹, and its distribution was in the sequence of root > stem > leaf in *S. rosmarinifolia* and *S. pentandra*, and of stem > leaf > root in *C. caespitosa* and *C. schmidtii*, suggesting that Cu was mainly accumulated in the root of shrubs and the stem or leaf of *Carex*. Shrubs and *Carex* had less difference in their Cu concentration. The Zn concentration in test plants was 30-250 mg · kg⁻¹, and its distribution was in the sequence of leaf > stem > root in *S. rosmarinifolia* and *S. pentandra*, and of root > stem > leaf in *C. caespitosa* and *C. schmidtii*, indicating that Zn was mainly accumulated in the leaf of shrubs and the root of *Carex*. Shrubs had a higher Zn concentration than *Carex*. The accumulation coefficient of Zn in the organs of *S. rosmarinifolia* and *S. pentandra* was higher than 1.45, suggesting a good Zn accumulation ability of these plants. The Cu and Zn concentrations in the aboveground parts of the four plants were higher during the initial growth period and then fluctuated to decrease with season, while those in roots were all higher both in the initial and in the late growth periods.

Key words: mountainous area; shrub-marsh; Cu; Zn; distribution; seasonal dynamics.

随着山地沼泽湿地的大面积开发和利用, 湿地环境遭到严重破坏, 湿地的作用和功能不断减退或丧失。水生或湿生植物对污染物质具有独特的净化功能^[1-4], 可以最大程度地控制和治理一些土壤污

染和水体污染, 因此, 湿地的恢复和保护尤为重要。目前, 湿地植物生态过程的研究主要集中在湖泊湿地水生植物^[5]、平原湿地草本植物^[6-8]、沟谷沼泽湿地草本植物^[9]和热带红树林植物^[10-11]等, 而对山地灌木沼泽植物生态过程的研究较少。东北山地沼泽长期处于寒冷、潮湿、有效营养含量低、通气不良的环境条件下, 植物的适应性和耐性与其他生境生长的相同植物有所不同。Cu 和 Zn 是植物生长发育

* 国家自然科学基金项目(30771713)和黑龙江省科技攻关资助项目(GC04B608)。

** 通讯作者。E-mail: mannefu@163.com

2007-02-25 收稿, 2007-10-29 接受。

的必需元素,其含量多少直接影响植物正常的生理生化反应^[12-14]。本文选择小兴安岭北部山地沼泽主要植物——细叶沼柳(*Salix rosmarinifolia*)、五蕊柳(*S. pentandra*)、修氏苔草(*Carex schmidtii*)和丛苔草(*C. caespitosa*),对其不同构件 Cu、Zn 含量水平和变化特征进行研究,以揭示山地灌木沼泽生境条件下植物对环境 Cu、Zn 的响应。

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

研究区位于黑龙江省黑河市公别拉河流域(49°40′—50°10′N,126°30′—127°30′E)。该流域是黑龙江的一级支流,流域面积 2 750 km²,河流全长 147 km。该区属寒温带季风气候,受太平洋季风及西伯利亚高压影响,夏季多雨而短暂,冬季寒冷而漫长,年均降水量 551.6 mm,年均气温 -1.5℃。本区河流密集,河谷宽阔深长,河漫滩发育完好,滩面宽 300~1 400 m,形成大面积的沼泽湿地。沼泽类型比较丰富,有森林沼泽、灌木沼泽和草本沼泽,其中灌木沼泽和草本沼泽所占比例较大。主要植物种有白桦(*Betula platyphylla*)、柴桦(*B. fruticosa*)、细叶沼柳、五蕊柳、笃斯越桔(*Vaccinium uliginosum*)、修氏苔草和丛苔草等。主要土壤有潜育草甸土、腐殖质沼泽土和泥炭沼泽土等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与样品采集 选择本区面积较大且具代表性的灌木沼泽类型——细叶沼柳-五蕊柳-苔草沼泽(Ass. *Salix rosmarinifolia* - *S. pentandra* - *Carex*)为研究对象。设置 20 m × 20 m 的样地,在样地内设置 15 个 2 m × 2 m 的样方,于 2004 年 5—9 月每月选择 3 个样方,采集样方内的植物和土壤样品,采样间隔期为 30 d 左右。选择的植物主要有细叶沼柳、五蕊柳、丛苔草和修氏苔草。灌木植物每次选取不同年龄的树木,分别采集叶、枝和根样品,将不同植株的相同器官样品进行混合,取混合样;草本植物采集茎、叶和细根,将不同样方同种植物的相同器官进行混合,取混合样。样品经烘干,研磨,过 100 目尼龙筛,置于干燥器中保存待用。

1.2.2 Cu、Zn 含量测定 Cu 和 Zn 的测定采用湿灰化法(LY/T 1270—1999)称取待测样品 1 g 于锥形瓶中,加混和酸(硝酸-高氯酸)30 ml,放置在烟柜内过夜,然后在调温电炉上消煮,至溶液澄清透明时为止,冷却后过滤,并用水定容到标度(250 ml)移入塑料瓶中待测。测定仪器为 TAS-986 型原子吸收分光

光度计。

1.3 计算方法

Cu 或 Zn 含量计算公式: $W=(c \times V \times t_s) / m$
式中: W 为元素含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); c 为从工作曲线上查得的元素浓度($\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$); V 为测读液定容体积,即消煮待测液定容体积(250 ml); t_s 为分取倍数; m 为烘干样质量(g)。

富集系数^[15]: $E_C = M_B / M_S$

式中: E_C 为富集系数; M_B 为生物体内的元素含量; M_S 为土壤中的元素含量。

1.4 数据处理

测试数据采用 Excel 进行统计分析,并选用 F 检验进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同沼泽植物各器官中 Cu、Zn 含量

由图 1 可以看出,细叶沼柳各器官平均 Cu 和 Zn 含量分别为 7.70 和 184.39 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;五蕊柳为 6.37 和 155.80 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,二者各器官 Cu 含量分布为根 > 枝 > 叶,各器官间差异不显著($P > 0.05$);Zn 含量为叶 > 枝 > 根,各器官差异达极显著水平($P < 0.01$)。丛苔草各器官平均 Cu 含量为 10.02 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,Zn 含量为 32.37 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;修氏苔草各器官

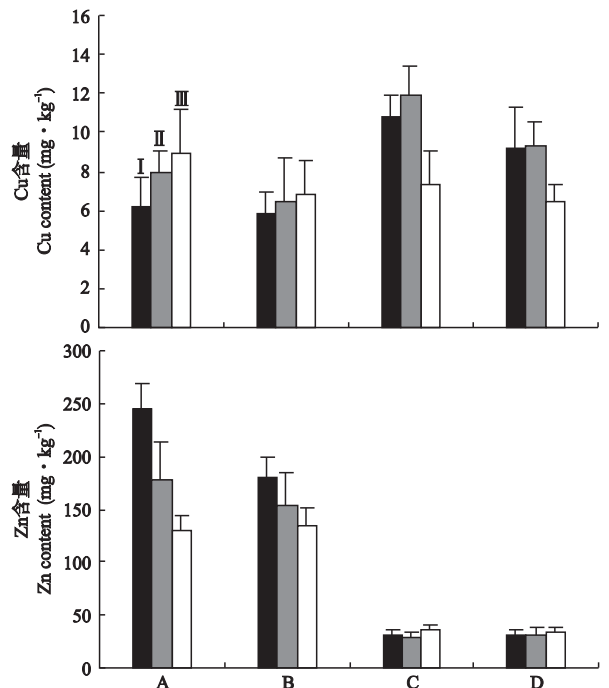


图 1 山地灌木沼泽主要植物 Cu、Zn 含量

Fig. 1 Content of Cu and Zn in main plants in Northeast mountainous shrub-marsh.

A 细叶沼柳 *S. rosmarinifolia*; B 五蕊柳 *S. pentandra*; C 丛苔草 *C. caespitosa*; D 修氏苔草 *C. schmidtii*. I 叶 Leaf; II 枝(茎) Branch (stem); III 根 Root.

表 1 不同植物器官对 Cu、Zn 的富集系数及植物地上、地下含量比值

Tab.1 Enrichment coefficient and ratio of Cu or Zn content in overground and underground

物种 Species	器官 Organ	富集系数 Enrichment coefficient		地上/地下 Ratio of overground to underground	
		Cu	Zn	Cu	Zn
A	叶 Leaf	0.19	3.00	0.79	1.71
	枝 Branch	0.25	2.00		
	根 Root	0.28	1.46		
B	叶 Leaf	0.19	2.03	0.96	1.25
	枝 Branch	0.20	1.72		
	根 Root	0.21	1.50		
C	叶 Leaf	0.34	0.36	1.56	0.85
	茎 Stem	0.37	0.33		
	根 Root	0.23	0.40		
D	叶 Leaf	0.28	0.36	1.42	0.95
	茎 Stem	0.29	0.35		
	根 Root	0.20	0.38		

A 细叶沼柳 *S. rosmarinifolia* B 五蕊柳 *S. pentandra* C 修氏苔草 *C. schmidtii* D 丛苔草 *C. caespitosa*. 下同 The same below.

平均 Cu 和 Zn 含量分别为 8.32 和 32.43 mg · kg⁻¹. 二者 Cu 分布均表现为茎 > 叶 > 根, 差异显著 ($P < 0.05$) Zn 的分布表现为根 > 茎 > 叶, 差异不显著 ($P > 0.05$). 由此可见, 本区灌木沼泽湿地苔草和灌木体内 Cu、Zn 的分布规律存在较大差异, Cu 主要积累在灌木的根系和苔草的茎叶中, 而 Zn 则多积累在

灌木的叶和苔草的根中. 灌木各器官 Zn 含量显著高于苔草, 而地上部分 Cu 含量则低于苔草.

2.2 不同沼泽植物各器官中 Cu、Zn 的积累

由表 1 可以看出, 4 种植物各器官对 Cu 的富集系数在 0.19 ~ 0.37, 同一植物各器官的平均富集系数在 0.20 ~ 0.31; 而对 Zn 的富集灌木与苔草差异较大, 灌木各器官对 Zn 的富集系数在 1.46 ~ 3.00, 富集能力较强^[16], 而苔草则均 < 0.5. 说明细叶沼柳和五蕊柳有很强的 Zn 富集能力.

地上与地下含量比能反映出某营养元素在各植物体内的运输和分配情况^[17-18]. 细叶沼柳地上部与地下部 Cu 含量比值 < 1, 而 Zn 含量比值 > 1. 说明 Cu 通过根系吸收后, 一部分向地上运输, 而更多的累积在根中, Zn 则绝大部分输送到地上累积在叶和枝中. 五蕊柳体内的 Cu 在地上和地下部分的分布较均衡, 对 Zn 积累则地上高于地下, 因此细叶沼柳和五蕊柳对 Zn 的运输和积累能力强于 Cu. Cu 在两种苔草中的运输和积累特征较接近, 地上/地下均 > 1.4, 而 Zn 在苔草体内的地上/地下均 ≤ 1. 这说明两种苔草对 Cu 的迁移程度高于 Zn.

2.3 不同沼泽植物 Cu、Zn 含量的季节动态

由表 2 可以看出, 两种灌木叶和枝中 Cu、Zn 含量季节波动规律相似, 均表现为 5、8 月含量较高, 生

表 2 不同植物器官 Cu 和 Zn 含量的季节动态

Tab.2 Seasonal dynamics of Cu and Zn contents in different organs (mg · kg⁻¹, mean ± SD)

元素 Element	物种 Species	器官 Organ	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September
Cu	A	叶 Leaf	8.71 ± 1.22	6.13 ± 1.61	2.74 ± 0.57	7.23 ± 1.97	5.68 ± 0.84
		枝 Branch	15.63 ± 3.38	7.24 ± 0.65	5.06 ± 1.32	6.80 ± 1.54	5.05 ± 0.63
		根 Root	12.03 ± 2.27	10.61 ± 2.97	8.92 ± 1.54	8.42 ± 0.75	6.84 ± 1.18
	B	叶 Leaf	7.41 ± 2.61	5.83 ± 1.03	4.15 ± 0.63	8.41 ± 2.43	3.27 ± 0.44
		枝 Branch	7.52 ± 1.82	5.64 ± 0.76	7.41 ± 1.78	7.12 ± 1.57	4.49 ± 0.93
		根 Root	9.60 ± 2.56	6.50 ± 1.44	6.00 ± 1.30	5.52 ± 0.29	6.73 ± 2.22
	C	叶 Leaf	26.09 ± 2.15	6.30 ± 1.32	7.02 ± 1.72	3.78 ± 0.33	-
		茎 Stem	30.61 ± 3.90	9.69 ± 2.67	6.85 ± 0.57	7.00 ± 0.54	5.64 ± 0.30
		根 Root	14.55 ± 1.08	3.65 ± 0.22	3.63 ± 0.40	6.16 ± 1.28	8.56 ± 1.41
	D	叶 Leaf	21.71 ± 2.53	8.23 ± 0.82	3.60 ± 0.33	3.03 ± 0.87	-
		茎 Stem	20.61 ± 3.18	12.41 ± 1.27	5.91 ± 0.74	4.69 ± 1.03	3.02 ± 0.71
		根 Root	16.57 ± 1.21	4.16 ± 0.40	2.59 ± 0.35	3.38 ± 0.29	5.77 ± 0.63
Zn	A	叶 Leaf	289.08 ± 32.15	224.00 ± 15.67	215.00 ± 17.20	298.66 ± 41.93	287.12 ± 32.08
		枝 Branch	184.29 ± 12.30	140.09 ± 11.39	185.57 ± 24.94	198.27 ± 17.83	183.58 ± 28.93
		根 Root	149.19 ± 21.02	128.74 ± 18.01	117.36 ± 8.33	116.94 ± 5.39	138.41 ± 21.71
	B	叶 Leaf	198.00 ± 24.53	182.58 ± 18.31	141.19 ± 12.19	211.29 ± 22.37	169.66 ± 9.03
		枝 Branch	150.61 ± 7.32	134.89 ± 8.20	180.84 ± 10.01	178.34 ± 21.70	122.37 ± 16.22
		根 Root	148.52 ± 7.04	108.77 ± 9.39	129.00 ± 17.28	133.11 ± 8.66	147.82 ± 10.04
	C	叶 Leaf	58.95 ± 4.23	34.11 ± 6.15	17.69 ± 3.65	16.60 ± 2.88	-
		茎 Stem	68.14 ± 7.45	34.43 ± 3.28	21.19 ± 3.76	13.19 ± 2.77	9.27 ± 0.48
		根 Root	48.31 ± 3.72	39.88 ± 6.56	28.33 ± 3.87	30.40 ± 4.01	33.26 ± 3.25
	D	叶 Leaf	64.94 ± 5.11	30.83 ± 1.07	19.32 ± 0.28	14.50 ± 0.42	-
		茎 Stem	67.95 ± 3.68	33.24 ± 3.56	17.63 ± 1.78	22.20 ± 2.66	15.67 ± 1.28
		根 Root	49.10 ± 3.25	30.70 ± 4.75	28.79 ± 2.11	23.39 ± 1.89	35.78 ± 2.77

长的旺季和生长季末 Cu、Zn 含量明显降低。苔草叶和茎中 Cu、Zn 含量在整个生长季逐渐减少,生长季末含量最低。灌木和苔草根中 Cu、Zn 含量在生长初期和末期(5、9月)均较高,生长旺季含量较低。这是由于生长初期大多数幼嫩细胞具分裂功能,需要大量的营养元素,植物选择吸收能力较强。Cu 和 Zn 作为植物体内多种酶的组成成分,参与植物的呼吸、氧化还原过程及碳水化合物的转化,因此含量较高。而生长后期,植物生长减缓或停止,Cu 和 Zn 逐渐向根中转移积累,地上部分 Cu、Zn 含量减少,而根中含量有所增加。植物各器官中 Cu、Zn 含量季节变化与土壤中 Cu、Zn 含量季节变化有很大的差异,这就说明植物对土壤中营养元素的吸收虽然受土壤中该元素含量的影响^[19],但与植物对元素的需求量密切相关。

3 讨 论

Cu 和 Zn 都是植物生长所必需的微量元素。在植物体内,Cu 和 Zn 正常的浓度水平分别在 $5 \sim 30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $27 \sim 150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[20]。供试的 4 种植物 Cu 和 Zn 含量分别在 $6 \sim 12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $30 \sim 250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。两种苔草各器官 Cu、Zn 含量及平均含量均在正常范围之内,细叶沼柳和五蕊柳枝、叶及各器官平均 Zn 含量均超过 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。由于研究区土壤中有效 Cu 为 $0.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,低于土壤有效 Cu 临界值($2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[21],土壤处于缺 Cu 状态,有效 Zn 为 $1.73 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,略高于土壤有效 Zn 临界值($1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),处于中等水平。因此,本区沼泽湿地主要植物对 Cu 和 Zn 有较强的吸收能力,在缺 Cu 的条件下能够正常生长。同时也说明细叶沼柳和五蕊柳对 Zn 的主动吸收能力和耐性较强,细叶沼柳和五蕊柳是富 Zn 植物。

生长在同一群落的不同植物种对 Cu、Zn 的富集程度有很大差异。细叶沼柳和五蕊柳各器官对 Cu 的富集能力均表现为根 > 枝 > 叶,两种苔草则表现为茎 > 叶 > 根。从富集系数来看,两种苔草对 Cu 的富集能力是灌木树种的 1.3 倍。两种灌木各器官对 Zn 的富集能力表现为叶 > 枝 > 根,两种苔草表现为根 > 叶 > 茎。灌木各器官对 Zn 的平均富集系数是苔草的 5.4 倍。说明苔草对 Cu 的富集能力略高于灌木,而灌木对 Zn 的富集能力显著强于苔草。由此可知,细叶沼柳和五蕊柳枝叶器官对 Zn 富集程度较高($> 150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),且具有较高的地上与地下浓度比,便于将污染物收获和移出生态系统^[3, 22-23],因

此,可作为相同或相似生境条件下 Zn 污染区的生物净化物种或耐性树种,进行 Zn 污染去除或污染区植被恢复。

参考文献

- [1] Ellis JB, Revitt DM, Shutes RBE, et al. The performance of vegetated biofilters for highway runoff control. *Science of the Total Environment*, 1994, **146/147**: 543-550
- [2] Fu C-P (付春平), Tang Y-P (唐运平), Li J-H (李江华). Water quality purification with *Scirpus tabernaemontanii* Gmel's wetland in TEDA Landscape River. *Environmental Science and Technology* (环境科学与技术), 2006, **9**(7): 6-8 (in Chinese)
- [3] McGrath SP, Sidoli CMD, Baker AJM, et al. The potential for the use of metal-accumulating plants for the in situ decontamination of metal-polluted soil// Eijackers HJ, Hamerseds T, eds. *Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for Proper Protection*. Kluwer Dordrecht: Academic Publishers, 1993
- [4] Zhang Y-K (张雨葵), Yang Y (杨扬), Liu T (刘涛). Macrophyte selection in constructed wetlands and their treatment efficiencies on polluted river water. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), 2006, **25**(5): 1318-1323 (in Chinese)
- [5] Yu G-Y (余国营), Zhang X-H (张晓华), Liang X-M (梁小民), et al. Biogeochemical characteristics of metal elements in water-plant system of Lake Dianchi. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), 2000, **24**(2): 172-177 (in Chinese)
- [6] He C-Q (何池全), Zhao K-Y (赵魁义). The accumulation, allocation and biological cycle of the nutrient elements in *Carex lasiocarpa* wetland. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2001, **21**(12): 2074-2080 (in Chinese)
- [7] Luan J-H (栾金花), Lü X-G (吕宪国), Zou Y-C (邹元春), et al. Ecological response of plant height and stem diameter of *Carex pseudocuraica* ramets to water content gradient in Sanjiang Plain. *Journal of Jilin Agricultural University* (吉林农业大学学报), 2006, **28**(13): 256-260 (in Chinese)
- [8] Yang Y-X (杨永兴), Wang S-Y (王世岩), He T-R (何太蓉). Distribution characteristics and seasonal dynamics of phosphorus and potassium in wetland ecosystem in the Sanjiang Plain. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2001, **12**(4): 522-526 (in Chinese)
- [9] Xu H-F (徐惠凤), Liu X-T (刘兴土), Chen J-W (陈景文). Analysis of correlation between biomass of *Carex meyeriana* and soil organic matter and soil nitrogen in the Changbai Mountain valley. *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), 2007, **26**(1): 356-359 (in Chinese)
- [10] Lin P (林鹏). *Mangrove Ecosystem of China*. Beijing: Science Press, 1997 (in Chinese)
- [11] Wang Z-Z (王振中), Zhang Y-M (张友梅), Deng J-F

- (邓继福), *et al.* Enrichment and toxicity effect of heavy in soil ecosystem. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(10):1948-1952 (in Chinese)
- [12] Liu Z (刘铮). Regularities of content and distribution of zinc in soils of China. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 1994, **27**(1):30-37 (in Chinese)
- [13] Rousos PA, Horison HC, Steffen KL. Physiological responses of cabbage to incipient copper toxicity. *Journal of America Society of Horticultural Science*, 1989, **114**:149-152
- [14] Vinit-Dunand F, Epron D, Alaoui-Sosse B, *et al.* Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. *Plant Science*, 2002, **163**:53-58
- [15] Chen G-K (陈桂葵), Chen G-Z (陈桂珠). Distribution and migration of zinc in *Avicennia marina* plant-soil system. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(7):1505-1509 (in Chinese)
- [16] Wang Y-B (王友保), Zhang L (张莉), Shen Z-J (沈章军), *et al.* Chemical forms of heavy metals in the soils and plants of copper tailings yard. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(12):2418-2422 (in Chinese)
- [17] Monni S, Salemaa M, White C, *et al.* Copper resistance of *Calluna vulgaris* originating from the pollution gradient of a Cu-Ni smelter, in southwest Finland. *Environmental Pollution*, 2000, **109**:211-219
- [18] Reeves RD. The hyperaccumulation of nickel by serpentine plants// Gunn JM, Liange OL, Osmond B, eds. Baker Vegetation of Ultramatic (Serpentine) Soil. Andover, Hampshire, UK: Intercept Ltd, 1992
- [19] Chapin FS. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1980, **11**:233-260
- [20] Kabata-Pendias A, Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton: CRC Press, 1984
- [21] Liu Z (刘铮). Agricultural Chemistry of Microelements. Beijing: China Agricultural Press, 1991 (in Chinese)
- [22] Brown SL, Chaney RL, Angle JS, *et al.* Phytoremediation potential of *Thlaspi caerulescens* and bladder campion for zinc- and cadmium-contaminated soil. *Journal of Environmental Quality*, 1994, **23**:1151-1157
- [23] Long X-X (龙新宪), Yang X-E (杨肖娥), Ni W-Z (倪吾钟). Current situation and prospect on the remediation of soils contaminated by heavy metals. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(6):757-762 (in Chinese)

作者简介 满秀玲,女,1964年生,博士,教授.主要从事湿地和水土保持等研究,发表论文20余篇. E-mail: mannefu@163.com

责任编辑 李凤琴
