

文章编号: 1000-5013(2009)06-0673-04

闽江口湿地主要土壤-植物系统硒的分配特征

宋萍¹, 封磊², 洪伟¹, 吴承祯¹,
王果², 李健¹, 黄玲²

(1. 福建农林大学 林学院;

2. 福建农林大学 资源与环境学院, 福建 福州 350002)

摘要: 研究闽江河口湿地的5种典型土壤-植物系统中硒的分配特征. 结果表明, 不同类型的土壤-植物系统中, 土壤硒的质量比为 $0.137 \sim 0.437 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 各湿地植物土壤的不同层次, 其硒的质量比的垂直分布无明显规律性; 各湿地植物土壤的硒的质量比与土壤全磷的相关性较强, 而受土壤有机质的影响较弱. 不同的湿地植物及同一植物不同部位的硒的质量比存在较大差异, 在同一植物中, 根、枝或茎的硒质量比大于叶. 植物各部位对土壤中硒的富集能力, 表现根大于枝或茎大于叶, 但富集系数均小于0.5.

关键词: 湿地; 硒; 土壤-植物系统; 分配特征; 闽江河口

中图分类号: S 154.4(257); X 171.1

文献标识码: A

硒(Se)是生态环境中人和动物必需的微量元素. 环境中适量的硒能够促进许多植物的生长, 对作物具有增产和改善品质的作用, 且对As, Cd, Pb, Hg和Ag等重金属的机体毒性会产生拮抗作用^[1-3]. 但是, 高浓度的硒会危害植物生长, 降低作物产量, 也会导致人和动物产生多种疾病, 严重时导致死亡. 鉴于环境硒对有机体的重要影响, 国内外学者广泛开展了土壤硒的质量比与分布, 土壤-植物系统硒的行为特征等相关研究^[1, 4-5]. 湿地作为水陆相互作用形成的独特的生态系统, 具有巨大的环境功能和生态效益, 被誉为“地球之肾”. 湿地生态系统中硒元素的质量比多寡, 不仅直接影响到其上生存的珍稀动植物, 更会使相邻水体与陆地中硒的质量比发生变化, 进而影响到人类. 闽江河口湿地西起福建省闽侯县竹岐, 东至福建省连江县川石岛, 是福建省目前已知的生物多样性最为丰富的湿地区. 然而, 随着闽江两岸工农业的发展, 闽江口湿地遭受到越来越多的人为干扰和破坏. 本文以闽江河口鳊鱼滩和蝙蝠洲湿地主要土壤-植物系统为研究对象, 分析系统中硒元素的分配特征.

1 材料与方法

1.1 样品的采集

在闽江河口鳊鱼滩湿地和蝙蝠洲湿地中, 选择分布广, 具有代表性的土壤-植物系统作为研究对象. 在鳊鱼滩湿地选取芦苇(*Phragmites communis*)、秋茄(*Kandelia candel*)、铺地黍(*Panicum repens*) 3个典型的植物分布区; 在蝙蝠洲湿地选取芦苇、香蒲(*Chenopodium pumilio*) 2个典型植物分布区作为土壤-植物系统, 分别表示为S1, S2, S3, B1, B2系统. 在土壤-植物系统内各设置3~5个采样点, 进行优势植物全株采集和分层采集同一部位的土壤样品. 将多点采集的样品充分混合, 代表一个土壤-植物系统采样区的样品.

1.2 样品处理

土壤样品在室内风干, 磨碎, 过100目尼龙筛, 然后放于密封袋中, 避光保存. 将土壤样品置于锥形瓶中, 加硝酸-高氯酸(体积比为3:2)混合消化液, 在沙浴上加热消解直至溶液呈淡黄色. 若有棕褐

收稿日期: 2009-04-21

通信作者: 宋萍(1977-), 女, 讲师, 主要从事环境生物与生态的研究. E-mail: songpinghlj@163.com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30671664); 福建省自然科学基金资助项目(2007J0242)

色可重复加入浓硝酸,继续加热至试样消化完全.然后,浓缩至体积约为 1~2 mL.冷却后加入 HCl,再加热几分钟,冷却,移入容量瓶,加水定容待测.

植株分成根、茎、叶 3 部分,分别用自来水、蒸馏水洗涤,滤纸吸干.先置于 105 的烘箱中杀青 2 h,然后于 80 的烘箱内烘干 24 h,研磨粉碎备用.分析前再次烘干.植株样品用硝酸-高氯酸(体积比为 4:1)混合酸消化过夜,然后于电热板上加热.当溶液的剩余体积不足 6 mL 时,补加混合酸.当溶液变为清亮且略带淡黄色或无色并伴有白烟时,停止加热,放置冷却.加入 HCl,继续加热至溶液变为清亮无色或略带淡黄色并伴有白烟出现,使六价硒还原成四价硒;冷却后,加入浓 HCl、铁氰化钾溶液,混匀待测.

1.3 测定方法

所有样品硒的质量比,均采用 AF-610A 型蒸气发生-原子荧光光谱仪测定.土壤与植物的有机质采用重铬酸钾外加热法测定;土壤与植物的全氮采用凯氏定氮法测定;土壤的全磷采用氢氧化钠碱熔,钼锑抗比色法测定;植物的总磷采用高氯酸-硫酸消解,钼锑抗比色法测定^[6].

2 结果与分析

2.1 土壤子系统中硒的分布

在 5 种类型的土壤-湿地植物系统中,硒元素不同土层深度(h)的土壤的分布,如表 1 所示.由表 1 可见,鳝鱼滩秋茄湿地 20~30 cm 层土壤中的硒元素质量比最低($0.137 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),鳝鱼滩芦苇湿地 50~70 cm 层的土壤具有最高的硒质量比($0.437 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),两者相差 3.2 倍.在各湿地植物表层土壤中,除鳝鱼滩秋茄外,其他 4 类植物土壤表层硒的质量比均大于中国土壤背景值($0.215 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),最高的为土壤背景值的 1.8 倍,最低为 1.1 倍.

表 1 湿地土壤系统中硒的质量比分布

Tab. 1 Distribution of selenium mass ratios

in the wetland soil sub system $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

h/cm	S1	S2	S3	B1	B2
0~10	0.259	0.143	0.372	0.264	0.243
10~20	0.347	0.164	0.310	0.372	-
20~30	0.250	0.137	0.239	0.228	-
30~50	0.335	0.257	0.353	0.245	-
50~70	0.437	0.315	0.259	0.256	-

在湿地植物土壤各层次中,鳝鱼滩秋茄湿地 0~30 cm 土壤中的硒质量比处于 $0.125 \sim 0.175 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的水平^[6],表现为潜在不足;而鳝鱼滩芦苇湿地 50~70 cm 土壤中的硒的质量比大于 $0.400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,属偏高水平;其余湿地植物土壤各层次硒的质量比介于 $0.200 \sim 0.400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,处于中等含硒水平^[7].

表层以下出现水淹

通常情况下,硒多富集于表土层中,向深部至母质层有迅速降低的趋势.这是因为成土过程中,硒趋向于在高铁铝、富泥炭和腐殖质的土壤中富集^[8].但是,在各湿地植物土壤不同层次硒的质量比的垂直分布上并没有发现这种规律.尤其是鳝鱼滩秋茄土壤,其浅层硒的质量比较低,而深层硒的质量比却有所增加.这可能与湿地特殊的环境条件有关,其表层土易受水淹,硒淋溶流失较严重.

比较相同层次的不同湿地植物土壤硒的质量比可以发现,在 0~10,10~20,20~30 cm 的 3 个土层中的硒的质量比最低值,均出现在鳝鱼滩秋茄湿地土壤中.在 0~10 cm 土层中,鳝鱼滩铺地黍土壤相对于其他植物土壤具最高的硒的质量比水平;鳝鱼滩芦苇湿地土壤和蝙蝠洲芦苇湿地土壤、香蒲湿地土壤具有相近的硒的质量比.在 10~20,20~30 cm 两个土层中,除鳝鱼滩秋茄湿地土壤硒的质量比明显较低外,其余 3 种湿地植物土壤硒的质量比相近.在 30~50 cm 土层中,各湿地植物土壤均具有中等水平的硒,彼此间差异不明显.在 50~70 cm 土层中,除鳝鱼滩芦苇湿地土壤具有较高水平的硒外,其他 3 个湿地植物土壤硒的质量比差别不大,均处于中等质量比水平.

土壤中某一元素的质量比与土壤性质的关系,是土壤固相物质与多种元素在一定环境条件下相互作用的结果^[9].为了了解硒元素与土壤性质的相互关系,以及确定各性质对硒元素富集的影响程度,就不同土层的全硒的质量比与土壤有机质、全磷之间的关系进行了相关分析,结果如表 2 所示.

从表 2 可以看出,与土壤有机质相比,土壤磷与硒的关联更强.在 P 小于 0.05 的显著水平上,鳝鱼滩秋茄土壤的硒的质量比与土壤全磷达到显著相关;在 P 小于 0.10 的显著水平上,鳝鱼滩秋茄土壤、鳝鱼滩芦苇土壤和蝙蝠洲芦苇土壤的硒的质量比与其土壤全磷均达到显著相关,说明湿地土壤硒与土

壤磷的关系较密切. 方金梅等^[4]的研究显示,福州市土壤硒的富集受有机质的影响较大,而本研究中闽江河口各湿地植物土壤硒与土壤有机质的相关性均较弱,硒的富集受有机质的活动影响较小,这可能是由于湿地这一特殊的土壤环境形成的.

2.2 植物子系统中硒的质量比分析

2.2.1 硒在植株中的分布 植物中硒的质量比反映了硒的环境暴露和植物的生境. 闽江河口湿地 5

种不同类型湿地植物,其各部位硒的质量比存在一定的差异,如表 3 所示. 由表 3 可知,各植株中均是根部硒的质量比最大,分布表现为根大于枝或茎杆大于叶. 从不同植物各部位硒的质量比看,最高值是蝙蝠洲香蒲的根,最低值是蝙蝠洲香蒲的和叶,分别为 85.3,17.3 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,前者是后者的 4.9 倍.

植物对土壤某物质元素的吸收取决于该元素质量比、土壤及植物特性;而该元素在植物不同组织中的分布主要由植物自身的特点决定. 由于大量微生物集聚在植物根部,增强了根部对各物质的吸收能力(植物的“根际效应”),所以,通常根部各物质的质量比很高.

植物根部对硒的吸收累积量最高和最低分别是蝙蝠洲香蒲根和鳝鱼滩铺地黍根,分别为 85.3,48.5 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,两者相差 1.8 倍. 同时,蝙蝠洲芦苇根中硒的质量比(80.7 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)大于鳝鱼滩芦苇中硒的质量比(60.6 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),反映出同一种植物由于生长环境的不同,其根部对硒的吸收累积量会存在一定的差异. 植物枝或茎杆中,以蝙蝠洲芦苇茎硒的质量比最高(79.6 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),其次是鳝鱼滩秋茄枝,鳝鱼滩芦苇茎中硒的质量比最低;植株叶中,硒的质量比最大的是鳝鱼滩秋茄树的叶(39.6 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),最小的蝙蝠洲香蒲的叶. 植物不同器官硒的质量比的差异,可能来自于它们自身的功能和生理特点^[10],而不同次生结构形成不同类型植物间硒的质量比的差异.

2.2.2 硒在植株中的富集系数和滞留率 硒在植物和土壤之间的分配,可以用植物各器官中硒和土壤硒的浓度之比来表示. 由于富集系数的大小是植株与土壤中硒的质量比共同决定的^[11]. 滞留率能直观反映植物体对各物质在植物体内的转移. 滞留率高说明该物质在植物体内由根向茎叶转移少,滞留在根系中的量多^[12]. 硒在植株各器官中的富集系数和滞留率,如表 4 所示.

表 4 硒在植株各器官中的富集系数和滞留率

Tab.4 Accumulation coefficients and retention rates of selenium by the different plant organs										
植株器官	富集系数					滞留率				
	S1	S2	S3	B1	B2	S1	S2	S3	B1	B2
枝/茎杆	0.197	0.178	-	0.292	-	0.163	0.404	-	0.014	-
叶	0.122	0.135	0.114	0.080	0.071	0.482	0.548	0.282	0.729	0.797
根	0.235	0.298	0.158	0.296	0.351	-	-	-	-	-

由表 4 可知,植物不同部位对土壤硒的富集能力存在较大的差异,总体趋势表现为根 > 枝 > 叶,根系对硒的富集系数是叶片的 1.4~4.9 倍. 不同植物的同一部位对硒的富集能力表现出较大差异. 植株根系中富集系数最高的是蝙蝠洲湿地的香蒲,最低的是鳝鱼滩湿地的铺地黍,最高者的富集系数是最低者的 2.2 倍;植物叶中富集系数最高的是鳝鱼滩湿地的秋茄,最低的是蝙蝠洲湿地的芦苇;植物枝中最高的是蝙蝠洲湿地芦苇,最低的为鳝鱼滩湿地秋茄. 不同湿地植物各器官对硒的富集系数均小于 0.5. 可见,湿地植物对硒吸收浓集作用较弱,为非富硒植物.

由表 4 还可知,由根向枝硒转移相对较多的是蝙蝠洲湿地的芦苇,滞留系数为 0.014,转移相对较低的是鳝鱼滩湿地的秋茄,滞留系数为 0.404;根向叶硒转移相对较多的是鳝鱼滩湿地铺地黍,滞留系数为 0.282,转移较少的是蝙蝠洲湿地的香蒲,滞留系数为 0.797. 由此可见,不同植物的同一部位对硒的转移存在差异,而同一类型植株,对枝或叶的转移亦没有明显的趋向性.

表 2 土壤中硒的相关性分析结果

Tab.2 Results of the relevance analysis on selenium in the soil				
系统	有机质		全磷	
	相关系数	显著性	相关系数	显著性
S2	0.066	0.458	-0.925	0.012
S1	-0.514	0.188	-0.731	0.080
S3	-0.408	0.248	0.341	0.287
B1	0.526	0.181	-0.711	0.089

表 3 植物各部位硒的质量比

植株器官	ratio in the plant $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$				
	S1	S2	S3	B1	B2
根	60.6	76.5	48.5	80.7	85.3
枝/茎杆	36.1	64.0	79.6	-	-
叶	27.4	39.6	34.8	21.9	17.3

3 结束语

研究分析了闽江河口鳝鱼滩湿地和蝙蝠洲湿地主要土壤-植物系统中硒元素的分配. 旨在进一步认识硒在河口湿地生态系统中生物地球化学行为, 为制定合理有效的湿地保护策略, 维持湿地生态系统健康稳定奠定基础.

参考文献:

- [1] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 香港土壤研究(): 土壤硒的含量、分布及其影响因素[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 404-410.
- [2] 赵中秋, 郑海雷, 张春光, 等. 土壤硒及其与植物硒营养的关系[J]. 生态学杂志, 2003, 22(1): 22-25.
- [3] ZHANG Lian-he, SHI Wei-ming, WANG Xiao-chang. Difference in selenium accumulation in shoots of two rice cultivars[J]. Pedosphere, 2006, 16(5): 646-653.
- [4] 孙维侠, 赵永存, 黄 标, 等. 长三角典型地区土壤环境中 Se 的空间变异特征及其与人类健康的关系[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1): 113-118.
- [5] 郦逸根, 董岩翔, 郑 洁, 等. 地质因素影响下的硒在土壤-水稻系统中的迁移转化[J]. 物探与化探, 2007, 31(1): 80-83.
- [6] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [7] 田应兵, 陈 芬, 熊明彪, 等. 若尔盖高原湿地土壤硒的数量、形态与分布[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 66-70.
- [8] 李家熙, 张光第, 葛晓云, 等. 人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [9] 王 云, 魏复盛. 土壤环境元素化学[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [10] ZAYED A, LYTLE C M, TERRY N. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants[J]. Planta, 1998, 206(2): 284-292.
- [11] 韦朝阳, 陈同斌. 重金属超富集植物及植物修复技术研究进展[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1196-1203.
- [12] 胡恭任, 于瑞莲. 泉州湾互花米草中重金属富集程度分析[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2008, 29(2): 250-255.

Study on Content and Distribution of Selenium in the Soil-Plant Systems of Minjiang Estuary Wetland

SONG Ping¹, FENG Lei², HONG Wei¹, WU Cheng-zhen¹,
WANG Guo², LI Jian¹, HUANG Ling²

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University;

2. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Distribution characteristics of selenium in five typical soil-plant systems of Minjiang estuary wetland was studied. The results indicated that mass ratios of selenium in the soils of different types of soil-plant systems were 0.137~0.437 mg·kg⁻¹. Vertical distribution of selenium in the soil layers under the wetland plants had no significant regulation. The correlations were strong between the selenium content and the total phosphorus. However, the soil organic matter had weak impacts on the wetland selenium. Large differences of mass ratios of the selenium were found in the different wetland plants and the different organs of the same plant. Roots and shoots/stalks had higher selenium contents than leaves for the same plants. The selenium accumulation abilities of all the surveyed wetland plants showed roots>shoots/stalks>leaves. However, all of the accumulation coefficients were less than 0.5.

Keywords: wetland; selenium; soil-plant system; distribution characteristics; Minjiang estuary

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 陈国华)