

不同蒿类植物对重金属铜的积累特性研究

李庚飞

(渭南师范学院 化学与生命科学学院, 陕西 渭南 714000)

摘 要:以潼关县黄金生产区及附近不同地区生长的 6 种蒿类植物:叉枝蒿(*Artemisia divaricata* (Pamp.) Pamp)、青蒿(*Artemisia annua* L.)、水蒿(*Artemisia selengensis*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)、莪蒿(*Artemisia anethoides* Mattf.)、艾蒿(*Artemisia argyi*)为试材,测定并分析蒿类植物中的铜含量,以便确定建立人工生态系统的植物种类。结果表明:同种植物对铜的吸收能力会随着根际土壤中铜含量的增加而增加;9 个样地中青蒿-XI 对铜的吸收效果最好,富集系数为 0.92,铜主要储存在叶片中;艾蒿①对铜的富集能力也相对较高,富集系数为 0.87;2 个样地中的水蒿叶片中富集铜的能力均较强,水蒿-13 为 78.32 mg/kg 和水蒿①为 69.21 mg/kg。

关键词:蒿类植物;Cu;富集系数

中图分类号:S 158.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)09-0019-04

20 世纪 80 年代中、后期以来,黄河两岸中小型企业相继兴建,仅潼关段大小金矿就有 10 余个,金矿废水的超标排放,不仅污染了河川径流及周围土壤,还污染了地下水。当地居民已经明确地“意识到”自己脚下的原属于自己的地下水不能饮用,只能饮用从外地引来的地下水或买来的纯净水,而用自己的地下水来洗衣服和灌溉。重金属污染不仅是潼关居民面临的问题,而且是一个全球性的棘手问题。因为重金属一旦进入土壤,不易分解、转化、富集,因此,其污染具有隐蔽性、长期性和不可逆性^[1-2]。土壤重金属污染不但会直接影响到生长在其上的植物,导致植物毒害作用,还会通过食物链传递给各级动物及人类,对人体健康产生严重危害。如过量铜会妨碍植物对二价铁的吸收和运转,造成缺铁症^[3];铜过量会使血红蛋白变性,损伤细胞膜抑制一些酶的活性,从而影响机体的正常代谢,还会导致心血管系统疾病^[4];过量铜是造成人类生殖障碍的重要因素之一^[5]。因此,重金属污染的治理已成为全球环境科学研究的热点^[6-8]。现利用湿地生态修复的方法,以治理渭河下游潼关金矿废水沟及周围土壤中重金属为主要研究目标,以蒿类植物中重金属铜为研究对象,比较分析不同蒿类植物中的铜含量,寻找能够建立人工湿地生态系统及修复土壤重金属污染的植物种类。

作者简介:李庚飞(1978-),女,内蒙古通辽人,硕士,讲师,现主要从事园艺植物生物学研究工作。E-mail:ligengfei2005@163.com。
基金项目:陕西省教育厅资助项目(11JK0763)。
收稿日期:2012-02-17

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 植物样品的采集 于 2011 年 10 月,沿着潼关县桐峪镇金矿废水沟选择 9 个采样点,采集生长势良好、生长期接近的 6 种植物样品:叉枝蒿(*Artemisia divaricata* (Pamp.) Pamp)、青蒿(*Artemisia annua* L.)、水蒿(*Artemisia selengensis*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)、莪蒿(*Artemisia anethoides* Mattf.)、艾蒿(*Artemisia argyi*)。每种植物样品在每个界定区域范围内选取 3~5 株,用细线绑成一束,并做标签记录。

1.1.2 土壤的采集 分别以各采样点处所选植物的根系为中心,在其周围分布范围 2 m 为半径,按照“X”法挖取与根系同深度的土壤,混合搅拌均匀,经四分法保留 0.5 kg,装入 PE 塑料袋内作为待测土样。

1.2 研究区概况

研究区域位于距潼关县桐峪镇金矿排水沟沿岸区域。该区域地理坐标 34°23′~34°35′N, 110°15′~110°25′E。海拔高度为 400~500 m,土壤主要为黄土质棕壤,属暖温带大陆性半干旱季风气候。光能资源较充足,热量和降水量偏少,年日照时数平均 2 269 h,年平均气温 12.8℃,年平均降水量为 625 mm,年蒸发量 1 193 mm,四季多风,年平均风速 3.2 m/s。

1.3 试验方法

1.3.1 植物样品的处理 将采集回的植物标本按照种类分开,并将每种植物的根、茎、叶用蒸馏水洗干净,置

于 105℃ 恒温箱中 2 h 烘干,用 FW80-微型高速万能试样粉碎机粉碎成粉末状,将其置于干净的袋子里并贴上标签。分别称取粉碎后的每种植物的根、茎、叶 1 g 左右,分别将其转至 50 mL 的锥形瓶中,并分别加入 30 mL 的消解液,过夜。第 2 天将加入消解液的锥形瓶置于可调电炉上恒温加热,至锥形瓶内的液体剩余 3 mL 左右,再加入 5 mL 的浓 HNO₃,继续加热直至锥形瓶内出现白色粘稠状固体时停止加热。待其冷却后,用蒸馏水将其分别定容至 25 mL,定溶后溶液为待测液,并用(1+99) HNO₃作为对照。处理样品采用 WFX-120 型的原子分光光度计进行测定。

1.3.2 土样处理 采回的土壤样品在室内常温风干,去除动植物残体、石块等杂物,用玛瑙研钵将其粉碎,过 100 目的尼龙筛,称取 1 g 左右进行消解,消解处理过程同上。其余土样装入 PE 塑料袋中保留。处理样品采用 WFX-120 型的原子分光光度计进行测定。

表 1

不同植物根际土壤 Cu 含量及污染指数

Table 1

The pollution degree of Cu in rhizospheric soils of different plants

	叉枝蒿-3 <i>Artemisia divaricata</i> Pamp-3	叉枝蒿-X <i>Artemisia divaricata</i> Pamp-X	青蒿② <i>Artemisia annua</i> L. ②	青蒿-XI <i>Artemisia annua</i> L. -XI	水蒿① <i>Artemisia</i> <i>selengensis</i> ①	水蒿-13 <i>Artemisia</i> <i>selengensis</i> -13	茵陈蒿② <i>Artemisia</i> <i>capillaries</i> ②	莳萝蒿② <i>Artemisia anethoides</i> Mattf. ②	艾蒿① <i>Artemisia</i> <i>argyi</i> ①
Cu 含量 Content of Cu /mg • kg ⁻¹	147.0	463.7	126.0	139.0	315.3	145.3	145.3	169.0	169.0
Pi	6.1	19.3	5.3	5.8	13.1	6.1	6.1	7.0	7.0

注:不同蒿类植物后面的数字或符号代表不同的取样样地。

Note: Different numbers or symbols represent different sampling sample area.

2.2 不同植物不同部位对 Cu 的积累

富集系数是指植物中某污染物含量占土壤中该污染物含量的百分比。计算公式为 $K_i = C_{oi} / C_{ei}$, 其中: C_{oi} 为受检植物体内某种重金属元素的残留量, C_{ei} 为受检植物所在土壤环境中重金属的富集能力^[9]。它反映了植物对土壤重金属元素的富集能力。富集系数越大,则植物越易从土壤中吸收该元素,即该元素的迁移性越强。若某金属元素的富集系数和转移系数均大于 1,说明该植物对金属元素具有超富集能力,对重金属超富集植物的筛选更有意义。由表 2 可知,潼关金矿生产区及附近 9 个样地的 6 种植物的各部分含量中青蒿-XI 叶片富集 Cu 的能力最强,为 90.7 mg/kg,2 个样地中的水蒿叶片中富集 Cu 的能力也相对较高,水蒿-13 为 78.32 mg/kg 和水蒿①为 69.21 mg/kg。而除艾蒿①外,各样地的茎中 Cu 含量均较低。另由表 2 可知,不同植物的富集系数均小于 1,但青蒿-XI 的 K_i 值接近 1,为 0.92,转移系数为 4.73。艾蒿①的 K_i 值为 0.87<1,转移系数为 3.15。Cu 主要储存在艾蒿①的叶片。因此,青蒿-XI 和艾蒿①对建立人工生态系统降低金矿污染有重要意义。

2 结果与分析

2.1 不同植物根际土壤 Cu 污染指数

单项元素污染指数: $P_i = C_i / S_i$, 其中 C_i 为土壤中污染元素 i 的实测值; S_i 为土壤中污染元素 i 的评价标准,所有元素均采用《中国土壤元素背景值》(中国环境检测总站,1990)主要土壤各元素的算术平均值统计的中国土壤元素平均含量为评价标准。 $P < 0.7$ 表示清洁, $0.7 < P < 1.0$ 表示尚清洁, $1.0 < P < 2.0$ 表示轻污染, $2.0 < P < 3.0$ 表示中污染, $3.0 < P$ 表示重污染。由表 1 可知,不同植物根际的 Cu 相对于背景值来说都处于污染状态,且都达到了严重污染状态,特别是叉枝蒿-X 和水蒿①根际土壤中的 Cu 污染非常严重,单项污染指数均超过 10 以上。另外,该地区的土壤中除了生长杂草之外,还种植玉米、黄豆小麦等农作物,杂草及各种农作物产品中含有的重金属通过各级食物链在人体内富集,严重威胁着人类的健康,所以该地区土壤已经达到必须治理的程度。

表 2 不同植物不同器官的 Cu 含量

Table 2 The contents of Cu in different organ and different plants

植物 Plant	根 Root /mg • kg ⁻¹	茎 Stem /mg • kg ⁻¹	叶 Leaf /mg • kg ⁻¹	K_i
叉枝蒿-3 <i>Artemisia divaricata</i> Pamp-3	20.44	18.65	49.25	0.60
叉枝蒿-X <i>Artemisia divaricata</i> Pamp-X	50.44	30.41	44.55	0.27
青蒿② <i>Artemisia annua</i> L. ②	20.39	10.41	34.79	0.52
青蒿-XI <i>Artemisia annua</i> L. -XI	22.20	14.41	90.70	0.92
水蒿① <i>Artemisia selengensis</i> ①	30.62	22.54	69.21	0.39
水蒿-13 <i>Artemisia selengensis</i> -13	20.16	8.52	78.32	0.75
茵陈蒿② <i>Artemisia capillaries</i> ②	20.19	10.70	41.34	0.50
莳萝蒿② <i>Artemisia anethoides</i> Mattf. ②	37.55	27.84	65.94	0.78
艾蒿① <i>Artemisia argyi</i> ①	35.64	52.43	59.89	0.87

2.3 不同植物转移系数的比较

转移系数是植物地上部分重金属的量与根中该重金属的量之比。它反映该植物将重金属从根部向茎、叶转移的能力。由图 1 可知,9 个样区的 6 种植物均有地上部分 Cu 含量大于根部。其中青蒿-XI 的转移系数为 6 种植物中最高,为 4.73。水蒿-13 和艾蒿①的转移系数也较高,分别为 4.3 和 3.15,叉枝蒿-X 为 6 种植物中最低,为 1.49。在筛选超富集植物时,其中一个重要条件就是转移系数大于 1^[10],9 个样区的 6 种植物全部满足,所以,在筛选植物进行人工修复治理重金属污染时,这 6 种植物对人工修复都有一定意义。

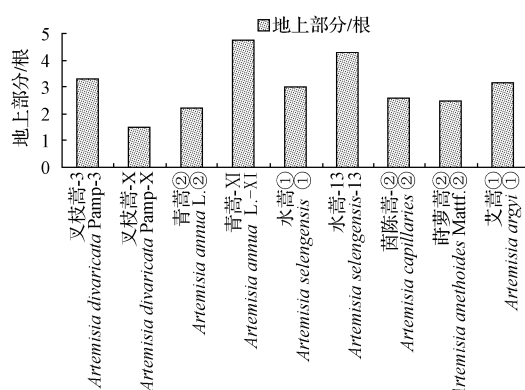


图 1 不同植物重金属 Cu 转移系数的比较

Fig. 1 The comparison of transfer coefficients of Cu in different plants

2.4 不同植物富集系数的比较

叉枝蒿-3 和叉枝蒿-X、青蒿②和青蒿-XI、水蒿①和水蒿-13 是分别从不同的矿区污染样地选取的同种植物,比较不同污染情况与植物吸收 Cu 含量之间存在的关系。由表 1 和图 2 可知,6 个样地的 3 种蒿类植物富集 Cu 的能力都有在一定范围内随着土壤中 Cu 浓度的升高植物体内 Cu 含量有升高的趋势,这与郭水良等^[11]研究结果相一致。由表 1 可知,青蒿的 2 个样地土壤中 Cu 的污染程度在 9 个样地污染程度相对较低,且 2 个样

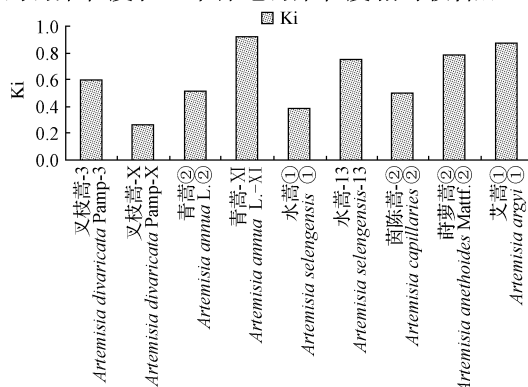


图 2 不同植物重金属 Cu 富集系数的比较

Fig. 2 The comparison of concentration coefficients of Cu in different plants

地污染程度相差不大(青蒿②的 Cu 含量为 126 mg/kg, 青蒿-XI 的 Cu 含量为 139 mg/kg)的情况下,青蒿的富集系数也有随着土壤污染程度的升高而增加的趋势。而叉枝蒿和水蒿则与青蒿的情况不同,每种植物的 2 个样地污染程度相差很大,虽然叉枝蒿-X 和水蒿①体内 Cu 的绝对含量较高,但因其所在土壤根际的污染程度是叉枝蒿-3 和水蒿①的 2~3 倍,所以富集系数相对较低。

3 讨论

Mattina M I 等^[9]研究表明,验证某种植物是否为超富集植物应具备以下 3 个条件,植物地上部分富集的某种元素含量达到生长在同一介质非超富集植物的 100 以上;地上部分重金属含量大于根部含量;植物的生长没有表现明显的毒害现象。但在利用植物修复重金属污染时,若植物对某金属元素的转移系数和地上部分富集系数均大于 1,说明该植物对金属元素具有超富集的潜力,是超富集植物区别于普通植物对重金属积累的一个重要特征,对重金属超富集植物的筛选更有意义^[12]。该试验在矿区选取的植物均表现生长良好健壮的植株。青蒿-XI 的地上部分 Cu 含量大于根部转移系数(4.73)和富集系数(0.92)均为 6 种植物中最高,但另一样区的青蒿②富集系数(0.52)较低;艾蒿①的转移系数(3.15)和富集系数(0.87)的综合指标在 9 个样区的 6 种植物中仅次于青蒿-XI,且富集系数接近但没有达到 1,所以,青蒿-X 和艾蒿①是否为超富集植物,还需要在实验室条件下对照进一步试验验证其富集能力。

由叉枝蒿、青蒿和水蒿可知,不同植物生长在不同的污染环境中对重金属的吸收能力不同,在植物能够忍受重金属的限值范围内,植物体内重金属含量有随着根际污染程度的升高而升高的趋势,但富集系数不一定增加。

参考文献

- [1] 周启星,宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2004:316-320.
- [2] 陈怀满. 土壤—植物系统中的重金属污染[M]. 北京:科学出版社,1996:1-35.
- [3] 武维华. 植物生理学[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [4] 常学秀,文传浩. 重金属污染与人类健康[J]. 云南环境科学,2000,9(1):59-61.
- [5] 张天宝. 钒及其化合物致突变性、致癌及生殖毒性的研究现状[J]. 环境与健康杂志,1989,6(2):43-46.
- [6] Mars R, Kuruvilla M, Ho G. The role of the submergent macrophyte *Triglochin huegelii* in domestic greywater treatment [J]. Ecological Engineering, 1999, 12:57-66.
- [7] Overall R A, Parry D L. The uptake of uranium by *Eleocharis dulcis* (Chinese water chestnut) in the ranger uranium mine constructed wetland filter [J]. Environmental Pollution, 2004, 132:307-320.
- [8] Samecka-Cymerman A, Kempers A J. Toxic metals in aquatic plants surviving in surface water polluted by copper mining industry [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2004, 59:64-69.

水杨酸对汞胁迫下不同大白菜品种幼苗生长的影响

宋 唯 一

(商丘师范学院 生命科学系,河南 商丘 476000)

摘 要:以“豫园 1 号”、“豫新 55”、“津绿 80”、“潍白 8 号”和“金秋 90”大白菜品种为试材,测定了 5 种大白菜品种在不同浓度的汞和 SA 缓解汞胁迫下的水培幼苗的叶绿素 a+b、MDA、脯氨酸含量等生理指标。结果表明:在叶绿素 a+b 含量变化方面,以“豫新 55”的综合表现最好;在 MDA 含量变化方面,以“豫园 1 号”的综合表现最好;而在脯氨酸含量变化方面,以“金秋 90”的表现最好;同时 500 mg/L SA 对汞胁迫的缓解效应好于 100 mg/L SA。

关键词:水杨酸;汞胁迫;叶绿素 a+b 含量;MDA 含量;脯氨酸含量;缓解效应

中图分类号:S 634.104⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2012)09-0022-04

随着当代全球工业的发展,重金属污染问题已经受到国内外广泛的关注。镉和汞是环境中存在的微量重金属元素,这 2 种元素虽然不参与植物体的结构组成,

作者简介:宋唯一(1980-),男,甘肃敦煌人,博士,副教授,研究方向为植物逆境生理及逆境胁迫机制。E-mail: songweiyi2008@126.com。

基金项目:河南省科技厅科技发展计划资助项目(102102110172);河南省科技厅基础研究资助项目(112300410256);河南省科技厅科技攻关资助项目(112102110161)。

收稿日期:2011-09-26

也不参与植物细胞的新陈代谢,但是如果在植物体内过量积累,将对植物产生严重的毒害效应^[1]。研究表明,由于汞在环境中相当稳定、持留时间长、易被蔬菜类作物吸收等特性,已成为目前我国土壤—作物生态系统中主要的重金属污染物,进入蔬菜作物体内后,不仅严重影响到这些作物的生长发育、品质及产量,还可通过食物链富集放大,危及到人类健康。大白菜是一种在我国广泛食用的蔬菜作物,由于产量高、易管理、便于贮藏、经济效益好和极高的食疗价值和药用价值,在我国大江南北都颇受欢迎^[2]。水杨酸对植物有积极的生理效应,

[9] Mattina M I, Lannucci-Berger W, Mussante C, et al. Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil [J]. Environmental Pollution, 2003, 124: 375-378.

[10] Channy R L, Malik M, Li Y M, et al. Phytoremediation of soil metals [J]. Current Opinions in Biotechnology, 1997, 8: 279-284.

[11] 郭水良,黄朝表,边媛,等.金华市郊杂草对土壤重金属元素的吸收与富集作用(10-6 种重金属元素在杂草和土壤中的含量分析)[J].上海交通大学学报(农业科学版),2002,20(1):22-20.

[12] Channy R L, Malik M, Li Y M, et al. Phytoremediation of soil metals [J]. Current Opinions in Biotechnology, 1997, 8: 279-284.

Study on the Accumulation Property of Cu in the Different *Artemisia* Plants

LI Geng-fei

(College of Chemistry and Life Sciences, Weinan Normal University, Weinan, Shaanxi 714000)

Abstract: The author choosed six kinds of *Artemisia* plants as subject investigated around the golden mineral at tongguan county, including *Artemisia divaricata* (Pamp.) Pamp, *Artemisia annua* L., *Artemisia selengensis*, *Artemisia capillaries*, *Artemisia anethoides* Mattf. and *Artemisia argyi*. Through determining the content of heavy metal Cu in different plants, the author establishes the plant species of artificial ecosystem. The results showed that the absorbing capacity for the same plant increases with the Cu content increasing. Among six kinds of plants in nine different places, the *Artemisia annua* L. -XI had the best absorbing capacity to Cu, the concentration coefficients was 0.92, and Cu was mostly stored in plant leaves. Respectively Speaking, *Artemisia argyi* ① also had higher concentration coefficients and it's 0.87. The concentration capacity of *Artemisia selengensis* leaves in two places were higher, and it was 78.32 mg/kg for *Artemisia selengensis*-13 and 69.21 mg/kg for *Artemisia selengensis*①.

Key words: *Artemisia*; copper; concentration coefficients