

杨瑞卿,杨学民,申 晨. 21种园林植物对大气重金属污染物的吸收能力比较[J]. 江苏农业科学,2016,44(8):515-518.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.08.148

# 21种园林植物对大气重金属污染物的吸收能力比较

杨瑞卿<sup>1</sup>, 杨学民<sup>2</sup>, 申 晨<sup>3</sup>

(1. 徐州工程学院,江苏徐州 221008; 2. 江苏省徐州市市政园林局,江苏徐州 221008;  
3. 徐州市九州生态园林工程有限公司,江苏徐州 221008)

**摘要:**选择徐州市21种主要园林植物,测定并分析了它们对大气重金属的吸收能力。测定和分析结果表明:在徐州市主要园林植物中,吸收镉(Cd)能力强的树种有杨树、三球悬铃木、银杏;吸收铬(Cr)能力强的树种有枇杷、侧柏、银杏;吸收铜(Cu)能力强的树种有石榴、紫薇、国槐;吸收铅(Pb)能力强的树种有雪松、乌柏、红叶石楠、木槿;吸收锌(Zn)能力强的树种有紫薇、杨树、重阳木;吸收锰(Mn)能力强的树种有乌柏、杨树、女贞;对重金属综合吸收能力强的园林植物种类有杨树、乌柏、枇杷、紫薇、雪松。

**关键词:**园林植物;重金属;大气污染;吸收能力;测定

**中图分类号:**S181;X53 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)08-0515-04

徐州市位于江苏省西北部,地理坐标为116°22′~118°40′E,33°43′~34°58′N,地处暖温带,属华北大陆性季风气候,年平均温度为14℃,历年最高温度为40.6℃,霜期从11月2日至翌年4月3日,无霜期212d;全年日照总时间为2402.9h,光照较充足,风向以偏东风最多,约占16个方位的1/3;自然植被以暖温带落叶阔叶林为主。

《2013年徐州市环境空气质量分析报告》显示,2013年徐州市全社会煤炭消耗量约为5200万t,其中规模以上工业燃煤量约为4800万t,占总消耗量的92%左右,比2012年略有增加。工业废气污染物二氧化硫年排放量达13万~14万t,排放的烟(粉)尘超过4万t<sup>[1]</sup>。

除二氧化硫、烟(粉)尘外,市区,尤其是北部工业区大气总悬浮颗粒(TSP)中重金属污染也较为严重,主要重金属为铅(Pb)、锌(Zn)、镉(Cd)、铬(Cr)、铜(Cu)、锰(Mn)等<sup>[2]</sup>。

本研究选择徐州市21种主要园林植物,测定并分析它们对大气重金属的吸收能力。

## 1 材料与与方法

### 1.1 植物种类的选择

为确定测定的植物种类,对徐州市园林植物进行普查,在此基础上将出现频率排在前21位的植物种类作为研究对象<sup>[3]</sup>。21种植物中,常绿乔木有5种,分别为雪松[Cedrus deodora (Roxburgh) G. Don]、广玉兰(Magnolia grandiflora Linn)、女贞(Ligustrum lucidum Ait.)、枇杷[Eriobotrya japonica (Thunb.) Lindl]、侧柏[Platycladus orientalis (Linn.) Franco];落叶乔木有7种,分别为银杏(Ginkgo biloba L.)、国槐

(Sophora japonica)、乌柏[Sapium sebiferum (L.) Roxb]、栾树(Koelreuteria paniculata Laxm.)、杨树(Populus tomentosa Carr)、重阳木[Bischofia polycarpa (Levl.) Airy Shaw]、三球悬铃木(Platanus orientalis L.);常绿灌木有4种,分别为海桐[Pittosporum tobira (Thunb.) Ait]、红叶石楠(Photinia serrulata)、法国冬青(Viburnum odoratissimum var. awabuki.)、金边黄杨(Euonymus Japonicus cv. Aureo-ma);落叶灌木有5种,分别为紫薇(Lagerstroemia indica Linn.)、樱花(Prunus serrulata)、紫叶李(Prunus cerasifera f. atropurpurea.)、木槿(Hibiscus syriacus Linn.)、石榴(Punica granatum Linn.)。

### 1.2 采样地点的选择

在徐州市绿化现状普查的基础上,选择三环路为测定植物的采样地点。主要原因如下:(1)三环路是环绕徐州市区的1条主干道,沿途经过工业区、商业区、文教卫生和行政区,代表性强;(2)植物种类丰富,拟测定树种在该路均有分布,便于在环境背景值基本相同的地段采集测定样本,并进行分析比较。

### 1.3 采样时间及方法

1.3.1 采样时间 研究表明,在落叶前,树木叶片的重金属积累量达到最高值<sup>[4]</sup>,为研究植物的最大积累量,本采样时间选择在树木落叶前,具体时间为2014年11月18日。

1.3.2 采样方法 有研究表明,重金属在植物叶片中的积累量与其生长的土壤重金属含量无太大相关性<sup>[5]</sup>,而与大气中污染物的浓度成正比,因此通过对叶片某污染元素的化学分析便可了解植物对大气中该元素的累积能力<sup>[6-10]</sup>。本研究的主要目的是研究植物对大气重金属污染物的吸收能力,因此主要采摘植物的叶片,具体方法:选择道路两侧横向距离路面0、5、10m3个距离绿化带的植物;采样位置为树冠东、南、西、北4个方向的枝条,同时兼顾上、中、下各部位;依据植物叶片大小不同,每种植物采集20~40张叶片不等,将所采样本封存于塑料袋中,带回实验室进行处理分析。

### 1.4 测定方法

样品用去离子水清洗并晾干后,放入烘箱中,先于95℃

收稿日期:2015-06-25

基金项目:江苏省科技支撑计划(编号:BE2013625);徐州市科技计划(编号:XM13B128)。

作者简介:杨瑞卿(1966—),女,山西晋中人,博士,副教授,主要从事城市风景园林的研究和教学工作。E-mail: yangrq1966@163.com。

杀青 30 min, 后于 65 °C 烘至恒质量。将已烘干的叶片在粉碎机中粉碎, 用 2 mm 尼龙筛过筛。用万分之一天平称取 0.5 g 左右样品(精确到 0.000 1 g), 放入 50 mL 锥形瓶中, 滴 2~3 滴去离子水润湿样品, 加入 10 mL 15 : 1 的 HNO<sub>3</sub> - HClO<sub>4</sub> ( $\rho_{\text{HNO}_3} \approx 1.42 \text{ g/cm}^3, \rho_{\text{HClO}_4} \approx 1.60 \text{ g/cm}^3$ , 优级纯) 的混合溶液。在锥形瓶口放置弯形漏斗, 并在漏斗口放 1 粒小玻璃珠。然后将锥形瓶置于消煮仪上低温(约 100 °C 左右)消煮 12 h。随后增加消煮温度, 直到瓶内冒白烟, 液体变透明(同时注意防止液体蒸干)。当白烟冒尽并冷却后, 再向瓶中加入 2 mL 1 : 1 的 HNO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O(浓硝酸与去离子水)混合溶液, 加热溶解残留物。最后, 将锥形瓶中液体用去离子水洗入 25 mL 容量瓶中, 冷却后定容, 同时做空白试验。用美国 PE 公司的电感耦合等离子仪(ICP)测定重金属 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn、Mn 含量。

为保证测定结果的相对可靠性, 每种植物进行 3 次重复测定, 取其平均值作为测定结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 徐州市主要园林植物吸收 Cd 能力

由图 1 可以看出, 徐州市园林植物对 Cd 的吸收能力总体偏低。杨树、三球悬铃木、银杏的吸收能力相对较高, 其叶片中 Cd 含量分别为 0.225、0.146、0.125 mg/kg; 而红叶石楠、重阳木、珊瑚树叶片中 Cd 含量均不足 0.05 mg/kg, 在一定程度上说明这 3 种植物吸收 Cd 的能力很低。

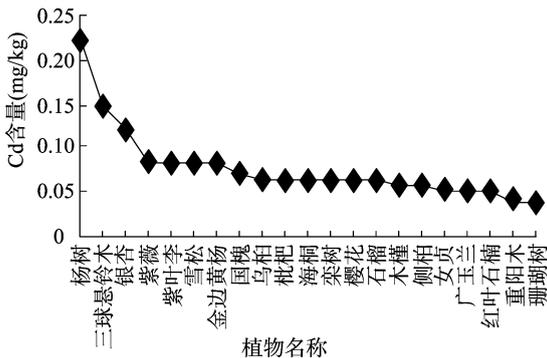


图1 徐州市主要园林植物叶片 Cd 含量分布

### 2.2 徐州市主要园林植物吸收 Cr 能力的分析

由图 2、表 1 可以看出, 不同植物叶片 Cr 含量差异明显, Cr 含量最高的 3 种植物分别是枇杷、侧柏、银杏, Cr 含量分别为 8.769、6.612、2.250 mg/kg; 含量最低的 3 种植物分别为杨树、金边黄杨、石楠, Cr 含量分别为 0.125、0.063、0.042 mg/kg。最大值、最小值相差 207 倍, 这说明不同植物对 Cr 的净化能力差别非常明显。

### 2.3 徐州市主要园林植物吸收 Cu 能力的分析

由图 3 可以看出, 不同植物叶片 Cu 含量差异明显, Cu 含量最高的 3 种植物分别是石榴、紫薇、国槐, Cu 含量分别为 23.438、20.313、10.063 mg/kg; 含量最低的 3 种植物分别为紫叶李、三球悬铃木、红叶石楠, Cu 含量分别为 3.438、2.906、0.125 mg/kg。最大值、最小值相差 186 倍, 这说明不同植物对 Cu 的净化能力差别非常明显。

### 2.4 徐州市主要园林植物吸收 Pb 能力的分析

由图 4 可以看出, 雪松、乌桕、红叶石楠、木槿叶片 Pb 含

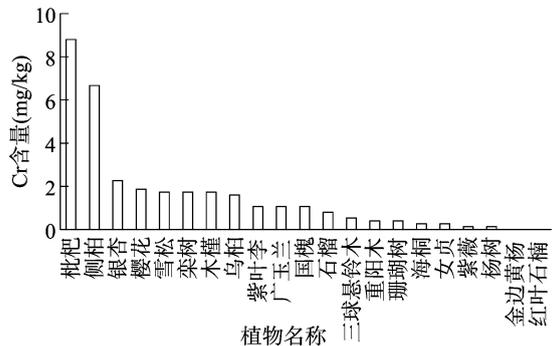


图2 徐州市主要园林植物叶片 Cr 含量的分布情况

表 1 徐州市主要园林植物叶片 Cr 含量比较

序号	植物种类	叶片 Cr 含量 (mg/kg)	序号	植物种类	叶片 Cr 含量 (mg/kg)
1	广玉兰	1.125	12	枇杷	8.769
2	女贞	0.250	13	紫薇	0.188
3	雪松	1.750	14	樱花	1.813
4	侧柏	6.612	15	石榴	0.750
5	银杏	2.25	16	木槿	1.685
6	国槐	1.125	17	紫叶李	1.125
7	乌桕	1.563	18	法国冬青	0.438
8	栎树	1.688	19	红叶石楠	0.042
9	杨树	0.125	20	金边黄杨	0.063
10	重阳木	0.438	21	海桐	0.252
11	三球悬铃木	0.569			

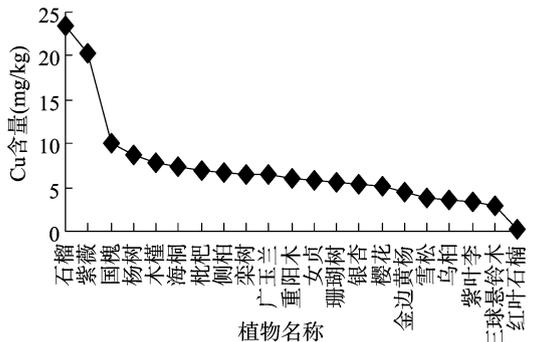


图3 徐州市主要园林植物叶片 Cu 含量分布

量均大于 1.0 mg/kg, 说明这 4 种植物对大气中 Pb 有较强的吸收能力; 紫叶李、广玉兰、杨树、枇杷、国槐、金边黄杨 Pb 含量中等; 其余植物叶片中 Pb 含量偏低, 说明吸收 Pb 的能力较弱。

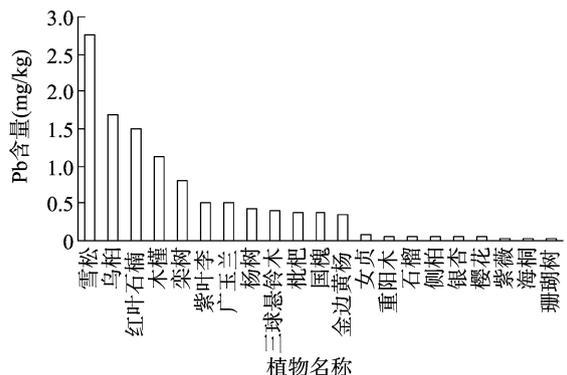


图4 徐州市主要园林植物叶片 Pb 含量分布

2.5 徐州市主要园林植物吸收 Zn 能力的分析

由表 2 可以看出,不同植物叶片 Zn 含量差异显著,Zn 含量大于 30 mg/kg 的分别是紫薇、杨树、重阳木,Zn 含量分别为 38.250、33.179、30.688 mg/kg,而红叶石楠 Zn 含量很低,仅有 0.051 mg/kg。

表 2 徐州市主要园林植物叶片含 Zn 含量比较

序号	植物种类	叶片 Zn 含量 (mg/kg)	序号	植物种类	叶片 Zn 含量 (mg/kg)
1	广玉兰	17.813	12	枇杷	22.079
2	女贞	11.938	13	紫薇	38.250
3	雪松	20.750	14	樱花	13.563
4	侧柏	29.878	15	石榴	20.875
5	银杏	13.813	16	木槿	25.031
6	国槐	19.500	17	紫叶李	14.250
7	乌柏	19.188	18	法国冬青	14.125
8	栾树	29.500	19	红叶石楠	0.051
9	杨树	33.179	20	金边黄杨	12.000
10	重阳木	30.688	21	海桐	23.678
11	三球悬铃木	13.584			

2.6 徐州市主要园林植物吸收 Mn 能力的分析

由图 5 可以看出,徐州市园林植物对 Mn 的吸收能力较强,吸收量最大的乌柏 Mn 含量达到 87.125 mg/kg;其次是杨树、女贞,Mn 含量分别达到 66.046、55.250 mg/kg;吸收能力最低的是红叶石楠,其 Mn 含量也达到 8.236 mg/kg。

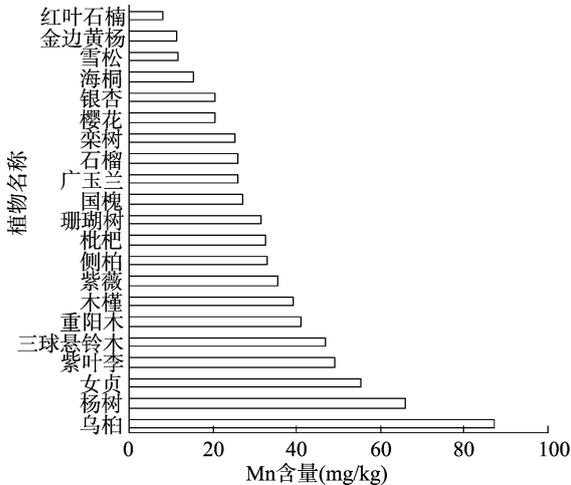


图 5 徐州市主要园林植物叶片 Mn 含量分布

2.7 徐州市主要园林植物吸收重金属的综合能力分析

2.7.1 徐州市主要园林植物叶片中不同重金属含量比较  
根据不同树种叶片中的各种重金属含量,计算得出各种重金属在 21 种园林植物叶片中的平均含量,具体见表 3。

表 3 徐州市主要园林植物叶片重金属平均含量

重金属元素	叶片含量 (mg/kg)
Cd	0.077
Cr	1.553
Cu	7.173
Pb	0.536
Zn	20.178
Mn	33.799

由表 3 可以看出,在徐州市 21 种主要园林植物叶片中,重金属的含量大小为 Mn > Zn > Cu > Cr > Pb > Cd。

2.7.2 徐州市主要园林植物叶片重金属总含量比较  
将每种园林植物叶片中的各种重金属含量累加,计算得出叶片重金属总含量,具体见图 6。

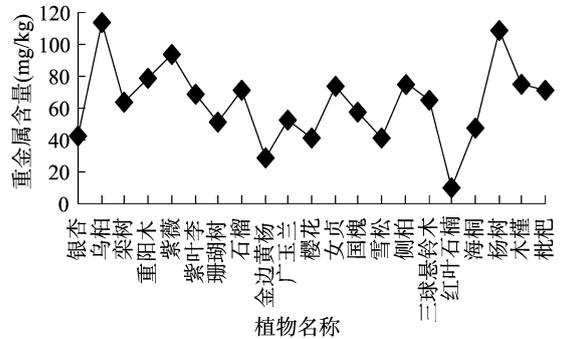


图 6 徐州市主要园林植物叶片重金属总含量分布

由图 6 可以看出,在所测定的植物中,重金属总含量由高到低排序:乌柏、杨树、紫薇、重阳木、侧柏、木槿、女贞、石榴、枇杷、紫叶李、三球悬铃木、栾树、国槐、广玉兰、珊瑚树、海桐、银杏、樱花、雪松、金边黄杨、红叶石楠。

2.7.3 徐州市主要园林植物吸收重金属的综合能力分析  
园林植物富集重金属能力受到大气中的重金属含量、植物自身的生理特征、生长状况等多种因素影响<sup>[11-13]</sup>,这些因素的综合作用促成了富集能力的形成。因此,对于植物富集重金属的能力应进行综合评价<sup>[14-15]</sup>。

目前,重金属富集能力的综合评价方法主要有总富集性评价法、富集性分级评价法和富集性隶属函数评价法 3 种<sup>[16-18]</sup>,其中富集性隶属函数评价法是目前应用最普遍的富集性综合评价方法<sup>[19-20]</sup>,它采用 Fuzzy 数学中隶属函数的方法对各个富集能力指标的隶属函数值进行累加,求取平均数,以评价富集性。其计算方法如下。

(1) 求出各指标的隶属函数值。如某一指标与富集性呈正相关,可用以下公式:

$$X(\mu) = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

式中: X 为某一指标的测定值; X<sub>max</sub> 为某一指标的测定值中的最大值; X<sub>min</sub> 为某一指标的测定值中的最小值。

如某一指标与富集性呈负相关,可用以下公式:

$$X(\mu) = 1 - \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

(2) 求取各富集指标隶属函数值的平均值(Δ)。富集性隶属函数法是一种较好的富集性综合评价方法,其 Δ 值越大,富集性越强。如果配合恰当的指标,就能较为准确地评定树种间富集性的强弱。采用该方法计算徐州市主要园林植物各富集指标隶属函数值的平均值,具体结果见表 4。

从表 4 可以看出,21 种园林植物中,重金属综合富集能力排名前 5 位的分别是杨树、乌柏、枇杷、紫薇、雪松。

3 结论与讨论

园林植物对城市大气中的重金属污染物不仅有一定的抵抗能力,而且也有相当程度的吸收净化能力,不同植物种类,

表4 徐州市主要园林植物重金属富集能力综合比较结果

植物名称	富集能力指标的隶属函数值							富集能力顺序
	Cd	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn	$\Delta$	
银杏	0.476 4	0.253 0	0.222 5	0.153 9	0.006 6	0.360 3	0.245 5	13
乌桕	0.199 0	0.174 2	0.150 1	1.000 0	0.609 1	0.501 0	0.438 9	2
栎树	0.178 0	0.188 6	0.273 5	0.215 7	0.287 2	0.770 9	0.319 0	9
重阳木	0.036 6	0.045 3	0.257 4	0.416 1	0.011 2	0.802 0	0.261 5	12
紫薇	0.246 1	0.016 7	0.866 0	0.345 6	0.003 3	1.000 0	0.412 9	4
紫叶李	0.115 2	0.124 1	0.142 1	0.516 7	0.172 2	0.371 7	0.240 3	14
珊瑚树	0.000 0	0.045 3	0.233 3	0.295 7	0.000 0	0.368 4	0.157 1	19
石榴	0.172 8	0.081 1	1.000 0	0.223 6	0.007 7	0.545 1	0.338 4	8
金边黄杨	0.230 4	0.002 3	0.190 4	0.040 6	0.117 7	0.312 8	0.149 0	20
广玉兰	0.083 8	0.124 1	0.270 8	0.227 6	0.172 2	0.465 0	0.223 9	15
樱花	0.178 0	0.202 9	0.214 5	0.157 8	0.007 0	0.353 7	0.185 7	18
女贞	0.099 5	0.023 8	0.241 3	0.596 0	0.009 6	0.311 2	0.213 5	16
国槐	0.230 4	0.124 1	0.426 3	0.237 1	0.126 2	0.509 1	0.275 5	10
雪松	0.329 8	0.195 7	0.155 5	0.046 1	1.000 0	0.541 9	0.378 2	5
侧柏	0.115 2	0.752 8	0.280 9	0.313 9	0.007 4	0.780 8	0.375 2	6
三球悬铃木	0.586 4	0.060 3	0.119 3	0.490 6	0.008 1	0.354 3	0.269 8	11
红叶石楠	0.078 5	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.539 0	0.000 0	0.102 9	21
海桐	0.183 2	0.024 1	0.310 7	0.092 8	0.000 0	0.618 5	0.204 9	17
杨树	1.000 0	0.009 5	0.369 9	0.732 8	0.149 2	0.867 3	0.521 4	1
木槿	0.172 8	0.188 3	0.329 3	0.394 1	0.401 6	0.653 9	0.356 7	7
枇杷	0.225 1	1.000 0	0.295 0	0.308 2	0.127 5	0.576 7	0.422 1	3

由于其生理等特征的差异,吸收能力也有明显不同。在徐州市 21 种主要园林植物中,吸收 Cd 能力强的树种有杨树、三球悬铃木、银杏;吸收 Cr 能力强的树种有枇杷、侧柏、银杏;吸收 Cu 能力强的树种有石榴、紫薇、国槐;吸收 Pb 能力强的树种有雪松、乌桕、红叶石楠、木槿;吸收 Zn 能力强的树种有紫薇、杨树、重阳木;吸收 Mn 能力强的树种有乌桕、杨树、女贞;对重金属综合吸收能力强的园林植物种类有杨树、乌桕、枇杷、紫薇、雪松。在城市园林建设中,应针对城市不同功能区的重金属污染情况,有针对性地选择不同的植物种类,并进行合理配置,以最大限度地吸收环境中的重金属污染物,有效改善生态环境。

#### 参考文献:

- [1] 徐州市环境保护局. 2013 年徐州环境空气质量分析报告[R]. 2014.
- [2] 张春艳,韩宝平,王 晓,等. 典型城市工业区 TSP 中重金属污染研究[J]. 中国环境监测,2007,23(2): 71-74
- [3] 梁珍海,秦 飞,季永华. 徐州市植物多样性调查与多样性保护规划[M]. 南京:江苏科学技术出版社,2012:43-46.
- [4] 鲁 敏,李英杰. 绿化树种对大气金属污染物吸滞能力[J]. 城市环境与城市生态,2003,16(1): 51-52.
- [5] 庄树宏,王克明. 城市大气重金属(Pb,Cd,Cu,Zn)污染及其在植物中的富集[J]. 烟台大学学报:自然科学与工程版,2000,13(1): 31-37.
- [6] 马跃良,贾桂梅,王云鹏,等. 广州市区植物叶片重金属元素含量及其大气污染评价[J]. 城市环境与城市生态,2001,14(6): 28-30.
- [7] 任乃林,陈炜彬,黄俊生,等. 用植物叶片中重金属元素含量指示大气污染的研究[J]. 广东微量元素科学,2004,11(10): 41-45.
- [8] 蒋高明. 承德市油松针叶硫及重金属含量动态及其与大气 SO<sub>2</sub> 之间的关系[J]. 生态学报,1995,15(4): 407-412.
- [9] 王建龙,文湘华. 现代环境生物技术[M]. 北京:清华大学出版社,2001:315-317.
- [10] 陈学泽,谢耀坚,彭重华. 城市植物叶片金属元素含量与大气污染的关系[J]. 城市环境与城市生态,1997,10(1): 45-47.
- [11] 王爱霞,张 敏,黄利斌,等. 南京市 14 种绿化树种对空气中重金属的累积能力[J]. 植物研究,2009,29(3): 368-374.
- [12] 张孝飞,林玉锁,俞 飞,等. 城市典型工业区土壤重金属污染状况研究[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(4): 512-515.
- [13] 郭亚平,胡曰利. 土壤-植物系统中重金属污染及植物修复技术[J]. 中南林学院学报,2005,25(2): 59-62.
- [14] 蔡顺香,颜明娟,黄东风,等. 水葫芦富集砷、汞、铅、镉、铬含量分析[J]. 福建农业科技,2005(3): 49-50.
- [15] 张银龙,陈 平,王月茜,等. 城市森林群落枯落物层中重金属的含量与储量[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2005,29(6): 19-22.
- [16] 张 菊,陈振楼,许世远,等. 上海城市街道灰尘重金属铅污染现状及评价[J]. 环境科学,2006,27(3): 519-523.
- [17] 王广林,张金池,庄家尧,等. 31 种园林植物对重金属的富集研究[J]. 皖西学院学报,2011,27(5): 83-87.
- [18] 蔡志全,阮宏华,叶镜中. 栓皮栎林对城郊重金属元素的吸收和积累[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2001,25(1): 18-22.
- [19] 魏树和,周启星,王 新,等. 农田杂草的重金属超积累特性研究[J]. 中国环境科学,2004,24(1): 105-109.
- [20] 袁 敏,铁柏清,唐美珍. 土壤重金属污染的植物修复及其组合技术的应用[J]. 中南林学院学报,2005,25(1): 81-85.