

闫磊,肖昕,代喃喃. Pb、Cd 单一及复合胁迫在小麦幼苗中的富集特征[J]. 江苏农业科学,2015,43(2):344-347.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.02.112

Pb、Cd 单一及复合胁迫在小麦幼苗中的富集特征

闫磊,肖昕,代喃喃

(中国矿业大学环境与测绘学院/江苏省资源信息工程重点实验室,江苏徐州 221116)

摘要:为促进粮食安全生产,以小麦为受试植物,采用盆栽试验研究不同浓度下 Pb、Cd 单一以及复合作用下在小麦幼苗中的富集特征。结果表明,Pb 单一胁迫下,叶片中金属的富集浓度与胁迫浓度成中度负相关,Pb、Cd 在根部和叶片中的其他作用情况下,富集浓度与胁迫浓度均成正相关;Pb、Cd 在不同形式下,在小麦幼苗中的富集主要集中在根系,即地下部分>地上部分;根部和叶片对金属 Pb、Cd 主要富集特征均为复合作用>单一作用,金属 Pb、Cd 复合作用于小麦幼苗时表现为相互促进吸收效应。

关键词:Pb;Cd;复合胁迫;小麦幼苗;富集特征

中图分类号: Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:**1002-1302(2015)02-0344-03

随着我国经济的发展、化石燃料及有色金属的开采、工农业产品的大量开发,土壤重金属污染日益严重,进一步加剧了我国土地资源短缺。我国大多数城市郊区土壤也受到了不同程度的重金属污染,许多地方的蔬菜、水果和粮食等食物中 Pb、Cd、Cr 等重金属含量接近或超过临界值^[1]。土壤重金属污染具有长期累积性、隐蔽滞后性及不可逆性等特点,因而备受关注^[2]。重金属在土壤中的累积,不仅直接影响土壤物理化学性状、降低土壤中微生物的活性、阻碍养分的运输,还会通过食物链而逐级富集,通过多种途径直接或间接地威胁人类的生命安全和健康^[3-4]。

目前关于土壤-植物系统中重金属的研究很多^[5-9],肖昕等研究发现,重金属 Cd 在小麦中大部分富集在小麦根部,在不同生长时期小麦不同部位中重金属 Cd 的含量有很大差异^[10];张义贤等采用室内培养法,研究了重金属 Cd、Pb 及复合污染对大麦幼苗叶片部分生理指标的影响,不同浓度的 Cd + Pb 复合处理对叶细胞膜的损伤均大于单一处理,单一处理中 Cd 对大麦幼苗的毒性比 Pb 大,而复合处理(Cd + Pb)对大麦幼苗的损伤和毒害作用比单一处理更为严重^[11]。但关于重金属复合作用下室外盆栽试验研究尚少。目前,复合污染已成为人们研究的热点。因此,研究重金属 Pb 与 Cd 复合作用在小麦幼苗中的富集特征是有实际意义的。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试剂 Pb(NO₃)₂、CdCl₂·2.5H₂O,为分析纯。供试作物为徐州地区广泛种植的烟农 19 小麦种子,购于徐州市种子公司。供试土壤取自中国矿业大学南湖校区。供试土壤理化性

质为总氮 9.26 g/kg、总磷 9.95 g/kg、总钾 17.00 g/kg、总铜 49.75 mg/kg、总镉 4.275 mg/kg、总铅 72.575 mg/kg、总锌 212.675 mg/kg。

1.2 试验方法

配制含 250 g/L Pb²⁺ 和 25 g/L Cd²⁺ 储备液各 2 L,采用逐层喷洒、翻土混合的方式加入铅、镉。为研究中低浓度重金属对小麦幼苗的毒理效应,考虑到徐州市土壤重金属污染现实状况,确定 Pb²⁺ 不高于 500 mg/kg,而 Cd²⁺ 含量则在 0~50 mg/kg 之间,每个试验处理设 3 个平行样,同时设置空白对照组(表 1)。每个花盆中播种 100 粒麦种,自然环境中培育。

表 1 金属浓度处理水平				mg/kg
处理	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Pb ²⁺ + Cd ²⁺	
空白	0	0	0	
I	25	1	25 + 1	
II	50	2	50 + 2	
III	200	10	200 + 10	

1.3 测试方法

在小麦幼苗期进行采集,采用梅花形布点法,用水将样品根部的土壤洗净,将采集回来的样品进行登记编号,并在通风且干燥处风干。将小麦的根和叶碾碎备用,浓硝酸-高氯酸消解后用原子吸收分光光度计(TAS-990 型)测试各部位中重金属浓度^[12-13]。

2 结果与分析

2.1 Pb、Cd 在小麦幼苗根部的富集

由表 2 可知,金属 Pb 单一作用时在小麦根部的富集量与金属胁迫浓度均呈极高正相关关系($r=0.98$)。金属 Pb-Cd 复合作用时,在 25、200 mg/kg 胁迫浓度下,金属 Pb 复合作用下的累积峰值为单一作用下峰值的 2 倍以上,表现为明显的促进作用,复合作用下金属 Pb 的累积量均大于单一作用,说明金属 Cd 促进了小麦根部对金属 Pb 的吸收,金属 Pb 在小麦根部的富集量与金属胁迫浓度呈极高正相关关系($r=0.94$)。金属 Pb 单一作用及与 Cd 的复合作用下,金属

收稿日期:2014-05-07
基金项目:国家自然科学基金(编号:51374208)。
作者简介:闫磊(1989—),男,江苏徐州人,硕士研究生,现主要从事土壤学和环境毒理学方面的研究工作。
通信作者:肖昕,副教授,主要研究方向为环境化学、环境毒理学。
E-mail:passerxx@163.com。

表 2 铅、镉在小麦幼苗根中的富集情况

处理	金属 Pb 的投加 浓度 (mg/kg)	根部富集浓度 (mg/kg)		金属 Cd 的投加 浓度 (mg/kg)	根部富集浓度 (mg/kg)	
		Pb	Pb - Cd (Pb)		Cd	Pb - Cd (Cd)
空白	0	6.03 ± 0.018	6.03 ± 0.004	0	1.10 ± 0.001	1.10 ± 0.002
I	25	17.70 ± 0.042	146.75 ± 0.001	1	8.60 ± 0.000	4.83 ± 0.001
II	50	12.30 ± 0.017	34.70 ± 0.008	2	13.45 ± 0.001	17.23 ± 0.004
III	200	194.00 ± 0.021	414.88 ± 0.016	10	37.73 ± 0.018	59.05 ± 0.017
相关系数 <i>r</i>		0.98	0.94		0.99	0.95
线性相关程度		极高	极高		极高	极高
相关性		正相关	正相关		正相关	正相关

Pb 在根中的富集浓度均随土壤胁迫浓度升高先降低再升高,因此,金属 Pb 单一作用及与金属 Cd 的复合作用结果既有相似性又有差异性。

Cd 单一作用与 Pb - Cd 复合作用时,小麦根部对金属 Cd 的富集趋势相似,均随金属 Cd 胁迫浓度升高而升高。金属 Cd 单一作用时,金属 Cd 在小麦根部的富集量与金属胁迫浓度呈极高正相关关系($r = 0.99$)。Pb - Cd 复合作用时,除 1 mg/kg 胁迫浓度下金属 Cd 的富集浓度小于单一作用时的富集浓度,其他处理胁迫浓度水平下金属 Pb 均在一定程度上促进了幼苗小麦根部对 Cd 的吸收累积,当土壤胁迫浓度为 200 + 10 mg/kg 时到达累积高峰,说明在较高浓度处理水平下促进吸收作用更加显著,且金属 Cd 在小麦根部的富集量与金属胁迫浓度呈极高正相关关系($r = 0.95$)。

2.2 Pb、Cd 在小麦幼苗叶片中的富集

由表 3 可知,金属 Pb 单一作用及与金属 Pb - Cd 复合作

用下,小麦幼苗叶片对金属 Pb 的富集状况差异较大。金属 Pb 单一作用时,在胁迫浓度 25 mg/kg 作用下,小麦幼苗叶片中金属含量略低于空白值,这可能是低浓度下植物对金属抗性作用的结果;50 mg/kg 时,叶片对金属 Pb 的吸收累积缓慢升高并达到吸收峰值;而在 200 mg/kg 时,叶片对金属 Pb 的富集浓度迅速下降,金属 Pb 在小麦叶片的富集量与金属胁迫浓度呈中度负相关($r = -0.5$)。这可能是因为金属 Pb 主要集中在根部,向叶片的迁移速度降低。金属 Pb - Cd 复合作用下,在较低胁迫浓度时,叶片中金属 Pb 富集浓度缓慢升高,而在 200 + 10 mg/kg 时迅速增大并到达累积高峰 68.18 mg/kg,是金属 Pb 单一作用时峰值的 4 倍多,这说明在此浓度下金属 Cd 的影响使叶片对 Pb 的吸收累积显著提高;此时,金属 Pb 在小麦叶片的富集量与金属胁迫浓度呈极高正相关关系($r = 0.99$)。

表 3 铅、镉在小麦幼苗叶片中的富集情况

处理	金属 Pb 的投加 浓度 (mg/kg)	根部富集浓度 (mg/kg)		金属 Cd 的投加 浓度 (mg/kg)	根部富集浓度 (mg/kg)	
		Pb	Pb - Cd (Pb)		Cd	Pb - Cd (Cd)
空白	0	10.150 ± 0.018	10.15 ± 0.004	0	1.75 ± 0.006	1.75 ± 0.009
I	25	7.75 ± 0.001	15.60 ± 0.002	1	4.83 ± 0.005	9.30 ± 0.003
II	50	16.50 ± 0.031	18.28 ± 0.016	2	7.58 ± 0.004	10.18 ± 0.004
III	200	5.28 ± 0.004	68.18 ± 0.006	10	17.65 ± 0.010	16.75 ± 0.015
相关系数 <i>r</i>		-0.50	0.99		0.99	0.88
线性相关程度		中度	极高		极高	高度
相关性		负相关	正相关		正相关	正相关

金属 Cd 单一作用及与金属 Pb - Cd 复合作用时,小麦幼苗叶片对 Cd 的富集量随胁迫浓度升高而升高,但各浓度水平下吸收情况存在差异:金属 Cd 单一作用时,金属 Cd 在小麦叶片的富集量与其胁迫浓度成极高正相关($r = 0.99$)。Pb - Cd 复合作用时,在土壤中低胁迫浓度条件下,金属 Pb 的存在促进了金属 Cd 的活化而增加向叶片中的迁移,而在高浓度条件下与金属 Cd 单一作用时效应相似。因此金属 Pb 在中低浓度条件下对 Cd 的促进活化作用更加明显。Pb - Cd 复合作用时,金属 Cd 在小麦叶片的富集量与金属胁迫浓度呈高度正相关关系($r = 0.88$)。

2.3 Pb、Cd 单一胁迫在小麦幼苗中的富集

由图 1 可以看出,对照组叶片中金属 Pb 的含量大于根中的含量,而在 25 mg/kg 胁迫浓度下,叶片中 Pb 含量下降,根中 Pb 含量增加并略大于叶片中的含量;50 mg/kg 胁迫浓度下,根中金属 Pb 含量下降,叶片中含量升高且略大于根中的含量。在中低胁迫浓度下,根叶中金属 Pb 含量均在 18.00 mg/kg 以下,且根、叶中的含量差异较小。土壤金属 Pb 胁迫浓度升高至 200 mg/kg 时,根中的累积量迅速加大并达

到累积峰值 194.00 mg/kg,而小麦幼苗叶片中的累积量反而下降,此时根和叶片中的 Pb 含量差异显著,根中 Pb 含量是叶片的 47 倍,因此土壤金属 Pb 高胁迫浓度下,Pb 的富集主要集中在根部,只有很少量的金属向地上部分的叶片迁移。

由图 2 可知,金属 Cd 在小麦幼苗根部、叶片中的富集规律相似:金属 Cd 在根部和叶片中的累积量均随土壤胁迫浓度水平的提高而增大,最大值分别为 37.73、17.65 mg/kg,即根部的最大累积量是叶片最大累积量的 2 倍多,说明金属 Cd 在小麦幼苗中的累积主要在根部。在 50 mg/kg Pb 和 2 mg/kg Cd 分别作用时,金属 Cd 在根中的累积量比 Pb 的累积量还要大,说明小麦幼苗根对金属 Cd 的富集能力大于对金属 Pb 的能力。环境中金属 Cd 主要以游离态存在,而金属 Pb 主要以络合态存在,这可能与金属在土壤及植物体内的赋存形态有关。

2.4 Pb - Cd 复合作用在小麦幼苗根叶中的富集

如图 3 所示,金属铅 Pb - Cd 复合作用条件下小麦根部对 Pb 的吸收显著比叶片的吸收量大。在复合胁迫浓度 25 + 1 mg/kg 和 200 + 10 mg/kg 作用下,金属 Pb 在根部累积量远

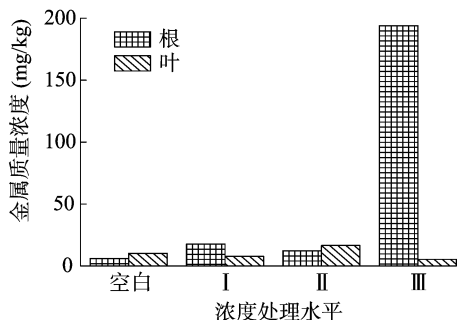


图1 Pb 单一胁迫在小麦幼苗中的富集

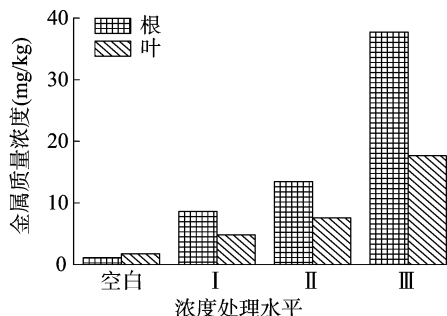


图2 Cd 单一胁迫在小麦幼苗中的富集

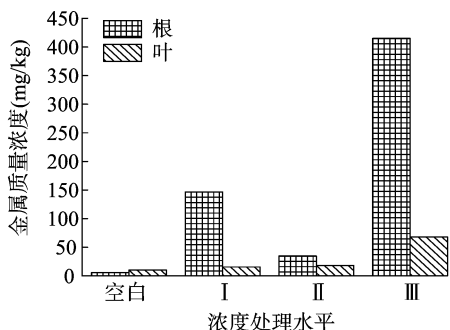


图3 复合作用下的 Pb 在小麦幼苗中的富集

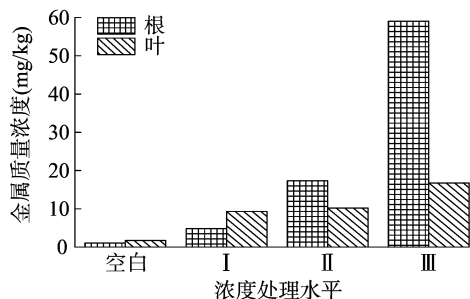


图4 复合作用下的 Cd 在小麦幼苗中的富集

度负相关,Pb、Cd 在根部和叶片中的其他作用情况下,富集浓度与胁迫浓度均成正相关;其中 Pb - Cd 复合作用下,金属 Cd 在叶片中的富集浓度与胁迫浓度成高度正相关,Pb 单一作用下在根中的富集、Cd 单一作用下在根叶中的富集以及复合作用下的 Pb 在根叶中的富集均成极高正相关关系。

同一金属在不同作用形式下的富集特征均为:根部和叶片对金属的富集均是复合作用 > 单一作用。在复合作用下,2 种金属在小麦幼苗根部和叶片中的富集浓度均比单一作用时高,说明金属 Pb、Cd 复合作用于小麦幼苗时表现为相互促进的吸收效应。

同一金属同一作用形式下在小麦幼苗不同部位的富集特征均为根部 > 叶片,即地下部分 > 地上部分。这说明重金属 Pb、Cd 在小麦幼苗中的富集主要集中在根系,只有少量金属可以转移到地上部分叶片。

Pb、Cd 复合作用下在不同处理水平其相互促进吸收强度不同:在小麦幼苗根部,金属 Cd 在 1、10 mg/kg 浓度作用下促进了小麦根部对金属 Pb 的吸收,并且在 10 mg/kg 时达到富集峰值;金属 Pb 在 200 mg/kg 对金属 Cd 的促进吸收作用最为显著。小麦幼苗叶片中,金属镉(Cd)在 10 mg/kg 时对金属铅(Pb)的活化吸收促进作用最显著;而金属铅(Pb)在 25 mg/kg 时对金属镉(Cd)的促进吸收作用最为显著。在中浓度处理水平即 Pb 浓度 50 mg/kg、Cd 浓度 2 mg/kg 时,两金属均无明显的促进或抑制作用。小麦作为籽实性农作物,其秸秆和果实都将进入食物链循环,重金属在期内的富集势必存在影响人类健康与安全的风险,所以我们一定要给与足够的重视和关注。

参考文献:

- [1] 马旭红,吴云海,杨 风. 土壤重金属污染的探讨[J]. 环境科学与管理,2006,31(5):52-54.
- [2] 李永丽. 矿山尾矿铅污染植物修复及 EDTA 强化技术研究[D]. 长沙:湖南大学,2006.
- [3] Alam M G, Snow E T. Heavy metal contamination of vegetables grown in Samta Village, Bangladesh[J]. The Science of the Total Environment, 2003, 308(1/2/3):83-96.
- [4] Turkdogan M K, Kilicel F, Kara K, et al. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2003, 13(3):175-179.
- [5] Zarcinas B A, Pongsakul P, McLaughlin M J, et al. Heavy metals in soils and crops in Southeast Asia, Thailand[J]. Environmental Geochemistry and Health, 2004, 26(4):359-371.

大于叶片中的累积量;50 + 2 mg/kg 复合胁迫浓度下,根部与叶片的累积量均最低,根部落量仍然是叶片近 2 倍。说明大部分金属 Pb 富集在小麦根系,只有少量向地面部分迁移的 Pb 量较少的规律。

金属铅 Pb - Cd 复合作用条件下小麦根部和叶片对 Cd 的富集趋势与对金属 Pb 的富集趋势相似(图 4)。各浓度处理水平下,小麦根部对 Cd 的吸收累积量均比叶片的吸收累积量大。小麦幼苗根和叶片中金属 Cd 累积量与土壤中金属 Cd 的胁迫浓度呈极高正相关,同时也存在大部分金属 Cd 富集在小麦根系中,较少的 Cd 含量累积在小麦幼苗叶片中,但其转移能力较金属 Pb 强,这与金属 Cd 的存在形式有关。

总体而言,重金属 Pb、Cd 在小麦幼苗中的富集主要集中在根系,少量重金属可以转移到地上部分叶片,因此小麦幼苗的根部可以从污染的土壤上有效渗透与提取重金属,从而增加对重金属离子的吸收与累积,前人也有类似的研究结果^[14]。

3 结论

Pb 单一胁迫下,叶片中金属的富集浓度与胁迫浓度成中

李彪,王耀强. 寒旱灌区含盐土壤水分雷达反演技术研究[J]. 江苏农业科学,2015,43(2):347-350.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.02.113

寒旱灌区含盐土壤水分雷达反演技术研究

李彪,王耀强

(内蒙古农业大学水利测绘信息与技术研究所,内蒙古呼和浩特 010018)

摘要:快速获取大范围地表土壤水分空间分布是一个迫切需要解决的科学问题,而主动微波遥感能够弥补传统光学遥感与被动微波遥感监测土壤水分的不足。以河套灌区沙壕渠试验站土壤水分雷达监测为案例,利用 BP 神经网络技术,建立雷达后向散射系数反演土壤水分的人工智能模型,经实测数据检验能够满足工程需要,可促进微波遥感在土壤水分监测中的应用与开拓。

关键词:寒旱灌区;土壤水分;雷达反演

中图分类号: S127;S152.7;P628⁺.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)02-0347-04

内蒙古河套灌区是黄河流域寒旱地区特大型节水灌区之一,为及时掌握灌区环境影响因素的分布和变化趋势,防治土壤盐渍化等环境问题,对灌区节水工程实施后的土壤环境要素的时空分布规律研究十分重要。受气象因素、地下水埋深、土壤质地、灌溉排水制度、农业种植方式和人类活动变化等因素的影响,灌区土壤水分分布既具有随机性,又具有一定的空间结构性,使得土壤水环境成为一个复杂系统。

遥感(RS)技术具有宏观、动态、快速、大面积观测的特点,已被用于土壤水分监测。土壤水分遥感反演的主要手段有可见光-近红外、热红外和微波遥感,学者们研究开发了不同模型与方法,如热惯量法、热红外法、植被供水指数法、作物缺水指数法、绿度指数法等,选择不同传感器、不同波段、不同模型,各自具有使用范围和局限性^[1-6]。如何获取大范围地表土壤水分时空分布信息是一个迫切需要解决的问题,传统的测量方法、光学遥感和被动微波遥感获取土壤水分都存在

一定的限制。

微波遥感具有全天时、全天候和较好穿透性,适用范围广,成为遥感监测土壤水分最有前途的方法。由于微波波段的土壤介电常数与土壤含水量有密切关系,土壤含水量不同,介电常数和雷达回波信号也不同。主动微波遥感利用雷达后向散射系数反演土壤水分,其中合成孔径雷达 SAR 已成为国际对地观测领域最重要的前沿之一。许多国内外学者对雷达信号后向散射系数与土壤含水量的关系进行了研究,从土壤的混合介电模型到裸露地表的散射模正演理论模型,其中包括 Kirchhoff 模型(几何光学模型 GOM、物理光学模型 POM)、小扰动模型 SPM 和积分方程模型 IEM;再到针对裸露、稀疏植被地表土壤水分反演的经验、半经验模型,其中包括 Oh 模型、Dobson 模型和 Shi 模型;一直到植被覆盖地表土壤的水分反演模型,目前普遍接受的是美国密西根大学微波实验室发展的基于辐射传输方程的 MIMICS 模型^[7-9]。

国内使用微波探测土壤水分仍处于探索阶段,李杏朝同步测量土壤水分、土壤后向散射系数,监测土壤水分相对误差为 12%^[10]。杨虎通过建立模型,消除了植被覆盖、地表粗糙度及雷达信号入射角对后向散射系数的影响,利用多时相 50 m 分辨率的 Radarsat ScanSAR 雷达后向散射图像反演了地表土壤水分,与实测土壤含水量的对比均方根 RMSE 为 0.44。任鑫对多极化、多角度 SAR 土壤水分反演算法进行了研究,利用 AIEM 模型模拟裸露地表 C 波段 SAR 信号的后向

收稿日期:2014-03-14

基金项目:国家自然科学基金(编号:51169016)。

作者简介:李彪(1988—),男,河北保定人,硕士研究生,主要从事寒旱灌区土壤盐耦合遥感监测敏感性研究。E-mail:lb8239@163.com。

通信作者:王耀强,教授,主要从事“3S”技术在农业水土中的应用研究。E-mail:wyqshun@aliyun.com。

[6] Giachetti G, Sebastiani L. Metal accumulation in poplar plant grown with industrial wastes[J]. Chemosphere, 2006, 64(3): 446-454.
[7] Gupta A K, Sinha S. Chemical fractionation and heavy metal accumulation in the plant of *Sesarnurn indicum* (L.) var. T55 grown on soil amended with tannery sludge: selection of single extractants[J]. Chemosphere, 2006, 64(1): 161-173.
[8] Kumar Sharma R, Agrawal M, Marshall F. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2007, 66(2): 258-266.
[9] 窦磊,马瑾,周永章,等. 广东东莞地区土壤-蔬菜系统重金属分布与富集特性分析[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2008, 47(1): 98-102.

[10] 肖昕,朱子清,王晨,等. 重金属 Cd 在小麦中的富集特征[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(20): 9584-9585, 9605.
[11] 张义贤,李晓科. 镉、铅及其复合污染对大麦幼苗部分生理指标的影响[J]. 植物研究, 2008, 28(1): 43-46, 53.
[12] 刘红侠,韩宝平,郝达平. 徐州市北郊农业土壤重金属污染评价[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 159-161.
[13] 李硕. 水葱对镉污染土壤修复潜力的研究[D]. 长沙:湖南大学, 2006.
[14] McOrath S P. Phytoextraction for soil remediation[M]//Brooks R R. Plants that hyperaccumulate heavy metals. Wallingford, UK: CAB International, 2008: 267-287.