

洞庭湖区莲藕重金属污染特征

罗 满¹, 张灿明², 李有志^{1*}, 杨 楠², 牛艳东³, 王婧文¹, 葛紫萱¹, 邓嘉俊¹

(1.湖南农业大学生物科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2.湖南省水资源研究和利用合作中心, 湖南 长沙 410013; 3.湖南省林业科学院, 湖南 长沙 410004)

摘 要:洞庭湖区土壤重金属污染引发了关于湿地产品中重金属可能超标的广泛担忧。本研究以洞庭湖区的湿地产品——莲藕为研究对象,通过对主要种植区域莲藕中重金属含量的野外调查,结合国家食品污染物限量标准,采用综合污染指数法,阐明莲藕中重金属镉(Cd)、铅(Pb)、铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)的污染特征。结果表明,洞庭湖区的莲藕重金属污染严重,以Cd、Pb超标明显,单项污染指数分别为5.70和8.35。根据莲藕中重金属综合污染指数的高低,产于岳阳楼区和沅江市的莲藕属于中度污染,而产于君山区、华容县、南县、大通湖区的莲藕属于重度污染。对莲藕重金属含量和各种植区的主成分分析表明,洞庭湖莲藕中度和重度污染区域呈现出明显的集群分布。莲藕种植区域的水土重金属污染和藕池破碎化是导致莲藕中重金属超标的两个主要原因,建议地方政府开展莲藕种植区域生境恢复,降低水土重金属污染,促进莲藕产业的健康发展。

关键词:洞庭湖区; 莲藕; 重金属

中图分类号:X836 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2016)06-0554-06 doi: 10.13254/j.jare.2016.0120

引用格式:

罗 满, 张灿明, 李有志, 等. 洞庭湖区莲藕重金属污染特征[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(6): 554-559.

LUO Man, ZHANG Can-ming, LI You-zhi, et al. Characteristics of Heavy Metals Contamination in Lotus Root in the Dongting Lake Area, China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2016, 33(6): 554-559.

Characteristics of Heavy Metals Contamination in Lotus Root in the Dongting Lake Area, China

LUO Man¹, ZHANG Can-ming², LI You-zhi^{1*}, YANG Nan², NIU Yan-dong³, WANG Jing-wen¹, GE Zi-xuan¹, DENG Jia-jun¹

(1.College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2.Hunan Water Resources Research and Development Center, Changsha 410013, China; 3.Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China)

Abstract: Heavy metal contamination in soils in the Dongting Lake areas has evoked widespread concerns about the excessive heavy metals in aquatic product. Based on the national standards of food contaminant limits and the method of comprehensive pollution index, heavy metals of Cd, Pb, Cu, Zn, Mn in lotus root were clarified through field investigation in the Dongting Lake area. Results showed that lotus root in the Dongting Lake area was contaminated seriously by heavy metals. Cd and Pb were two main pollutants and the single pollution indices were 5.70 and 8.35 respectively. According to the comprehensive pollution index of heavy metals, lotus root in Yueyanglou District and Yuanjiang City were classified into medium pollution and Junshan District, Huarong County, Nan County, and Datong District were classified into heavy pollution. Principal component analysis showed that planting areas of lotus root were clumped and medium and heavy pollution areas were separated significantly. Habitat contamination by heavy metals and decreasing area of lotus ponds were two main factors for excessive heavy metals in lotus root. Thus, some measurements, such as habit restoration, were proposed for local government to decrease heavy metals in planting areas and to promote the healthy development of lotus root industry in the Dongting Lake area.

Keywords: Dongting Lake area; lotus root; heavy metals

收稿日期:2016-05-08

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2014BAC09B00);中国博士后科学基金面上项目(2015M571161);湖南省科技计划项目(2013WK4015,11JJ5021)

作者简介:罗 满(1995—),男,本科。E-mail: 1437003018@qq.com

* 通信作者:李有志 E-mail: liyouzhi2004@163.com

洞庭湖是我国第二大淡水湖泊,长江中下游重要的通江湖,我国主要的水产品基地。受到湘江干流和长江上游重金属污染的影响,湖区土壤重金属污染严重,生态风险堪忧^[1-4]。研究表明,洞庭湖周边土壤中重金属镉(Cd)、铅(Pb)、铜(Cu)、镍(Ni)、铬(Cr)等出现了不同程度的污染,其中 Cd 含量高达 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,是国家三级土壤标准的 10 倍^[5-6]。大量重金属物质沉积于土壤中,引发了关于湿地产品重金属含量是否超标的广泛担忧。然而,关于有关研究主要集中在土壤和水体中重金属潜在生态风险评价上,对湿地产品重金属污染的研究相对较少,亟待开展有关研究^[1-6]。

莲(*Nelumbo nucifera*),别名荷花、莲花,睡莲科莲属多年生挺水草本植物。莲藕因组织脆嫩,富含淀粉、蛋白质、多酚化合物等营养成分,且具有祛瘀、清热、生津止渴等药用价值,被誉为健康型水生蔬菜^[7-8]。洞庭湖作为我国莲藕主产区,周边大中城市的主要藕源地,近 20 年来随着种植区域生境的退化,特别是土壤重金污染,莲藕品质及食用安全备受关注^[9]。为此,本研究拟通过对洞庭湖莲藕种植区大范围的野外调查,分析莲藕中 Cd、Pb、Cu、Zn、Mn 5 种重金属元素的含量,结合国家食品有关标准,采用综合污染指数评价法对莲藕污染现状进行科学评价,为社会提供数据参考,同时为洞庭湖区莲藕产业的健康发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

洞庭湖为我国第二大淡水湖泊($28^{\circ}38' \sim 29^{\circ}45' \text{N}$, $111^{\circ}40' \sim 113^{\circ}10' \text{E}$),高程 28~35 m,属于典型的亚热带湿润季风气候区。雨量充沛,多年平均气温 $16.2 \sim 17.8^{\circ}\text{C}$,极端高温 39.3°C ,极端低温 -11.8°C 。年平均降水量 $1\,200.7 \sim 1\,414.6 \text{ mm}$,年辐射总量 $418.7 \sim 455.6 \text{ kJ} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,年平均风速 $2.0 \sim 3.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,年平均蒸发量 $1\,270 \text{ mm}$ ^[9]。

1.2 野外植物采样

2015 年 12 月莲藕收获季节,在洞庭湖莲藕主要种植区域,如岳阳市的岳阳楼区、君山区、华容县以及益阳市的沅江和大通湖区,从莲藕种植户实地收购新鲜莲藕,并记录藕池所在地理坐标。将收集的新鲜莲藕带回实验室及时进行重金属元素分析。共采集莲藕样本 33 份,其中岳阳楼区 3 份、君山区钱粮湖 6 份、君山区柳林州镇 5 份、华容县注滋口镇 6 份、南县华阁镇 3 份、大通湖区 3 份、沅江 8 份。洞庭湖莲藕样点

布局见图 1。

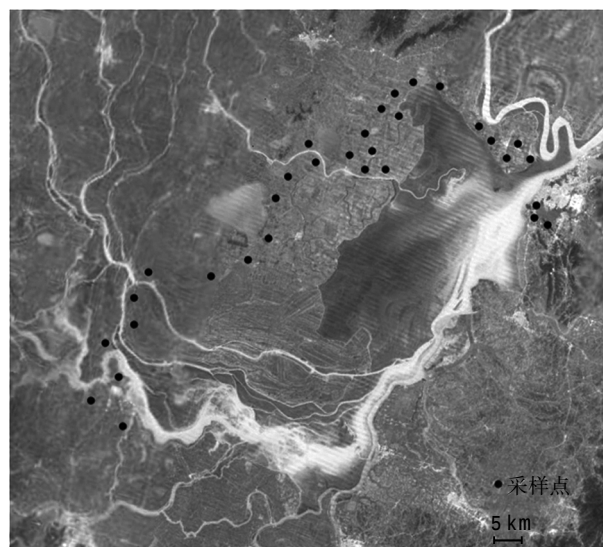


图 1 洞庭湖区莲藕取样点

Figure 1 Sampling plots of lotus root in the Dongting Lake area

1.3 重金属含量测定

将带回的新鲜莲藕及时烘干磨碎,过 100 目尼龙筛(直径 0.149 mm)备用。植物样品的消解采用湿法消化($\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$):准确称取 1.0000 g 植物样品置于 50 mL 三角瓶中,加入 15 mL 浓 HNO_3 静置过夜,在 100°C 电热板上加热 4 h 后添加 5 mL HClO_4 ,再升温至 150°C 蒸发至棕色烟冒尽,形成白色晶体,即为消化完全。冷却后用去离子水溶解,定容至 50 mL ,摇匀后过滤,待测^[10]。植物 Cd、Pb、Cu、Zn、Mn 5 种重金属元素采用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES)测定^[11]。

1.4 数据处理及评价标准

采用数据分析软件 SPSS 17.0 对产于不同种植区的莲藕重金属含量进行 Tukey 式多重比较,显著水平为 0.05。采用综合污染指数法(尼梅罗综合污染指数)对莲藕重金属污染等级进行评价,计算公式为^[12]:

$$Q_i = C_i / S_i \quad (1)$$

$$Q = \sqrt{\frac{Q_{\text{imax}}^2 + Q_{\text{iave}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中, Q_i 为 i 种污染物的污染指数, C_i 为 i 种污染物的实测值, S_i 为 i 种污染物的国家限量标准; Q 为综合污染指数, Q_{imax} 为最大单项污染指数, Q_{iave} 为平均单项污染指数。根据 Q 值大小,将莲藕重金属污染程度划分为 5 个等级: I 优良级, $Q \leq 0.7$; II 安全(警戒)级, $0.7 < Q \leq 1.0$; III 轻度污染级, $1.0 < Q \leq 2.0$; IV 中度污染

级, $2.0 < Q \leq 3.0$; V 重度污染级, $Q > 3.0$ ^[13]。Cd、Pb 两种重金属元素参照最新修订的食品安全国家标准——食品中污染物限量(GB 2762—2012), 而 Cu 和 Zn 两种重金属元素暂无最新标准国家标准, 因此分别参照 GB 15199—1994 与 GB 13106—1991 进行评价。采用 CANOCO 4.5 对 33 份莲藕样本与重金属含量进行主成分分析(PCA), 以探讨莲藕种植区域和莲藕重金属含量的关系。

2 结果与分析

2.1 重金属含量

洞庭湖莲藕中 Cd、Pb、Cu、Mn、Zn 5 种重金属元素平均含量分别为 0.57、1.67、1.76、4.30、3.50 mg·kg⁻¹ (表 1)。洞庭湖各种植区莲藕中重金属 Cd、Pb、Cu 含量差异显著($P < 0.05$), 以产于君山区柳林州镇的含量最高, 分别为 1.16、6.07 mg·kg⁻¹ 和 3.66 mg·kg⁻¹, 而重金属 Mn 和 Zn 含量无显著差异($P > 0.05$)。可见, 洞庭湖区莲藕中重金属含量总体上较高, 以君山区柳林州镇的莲藕重金属污染最为严重。

2.2 污染等级

在洞庭湖区莲藕 Cd、Pb、Cu、Zn 4 种重金属元素中, 以 Cd、Pb 污染最为严重, 单项污染指数分别为 5.70 和 8.35 (表 1)。不同种植区域之间莲藕中重金属 Cd、Pb 污染指数差异明显, 以产于君山区柳林州镇的单项污染指数最高, 分别为 11.60 和 30.50, 而以产于岳阳市岳阳楼区的单项污染指数最低, 分别为 3.60 和 2.45。根据综合污染指数的高低, 产于岳阳市岳阳楼区和益阳沅江市的莲藕属于中度污染, 而产于君山区、华容县、南县、大通湖区的莲藕属于重度污染, 并

以君山区柳林州镇的莲藕综合污染指数最高, 达 22.74。可见, 洞庭湖区莲藕中重金属综合污染指数高, 食用安全堪忧。

2.3 主成分分析

对莲藕产区和莲藕中重金属含量的主成分分析(PCA)表明, 第一排序轴解释的重金属变异系数为 76.5%, 第二排序轴为 18.7%, 累计解释率为 95.2% (图 2)。对莲藕产区而言, 呈明显的集群分布, 大致可分为两类: 产区 29~33 为第一类, 位于君山区柳林州镇, Cd、Pb、Cu、Zn 重金属含量高, 属于重度污染区; 其余产区为第二类, Cd、Pb、Cu、Zn 重金属含量相对较低, 属于中度-重度污染区。根据数量型环境变量之间夹角的余弦值表示两者之间的相关性, Cd、Pb、Cu、Zn 重金属元素相关性强, 而 Mn 与 Cd、Pb、Cu、Zn 相关性弱。

3 讨论

随着生态环境的退化, 特别是水体重金属污染, 湿地产品中重金属含量是否超标已是公众担忧的焦点。对洞庭湖区莲藕的大范围实地调查表明, 岳阳楼区、君山区等多个种植区域的莲藕中 Cd、Pb 两种重金属含量均超过国家食品限量标准, 属重度污染, 食用安全堪忧。莲藕中重金属含量的超标在其他区域已有相关报道, 如在安徽芜湖市, 莲藕中 Cd、Pb 重金属含量分别高达 1.12、11.21 mg·kg⁻¹, 属于重度污染^[14]。作为典型的湿地植物, 莲藕根系多毛, 分布着许多孔道结构, 有利于对重金属的吸收, 因此膨大茎(藕)中的重金属含量一般高于其他器官^[15]。研究也表明, 眼子菜(Potamogeton distinctus)、苦草(Vallisneria spiralis)、

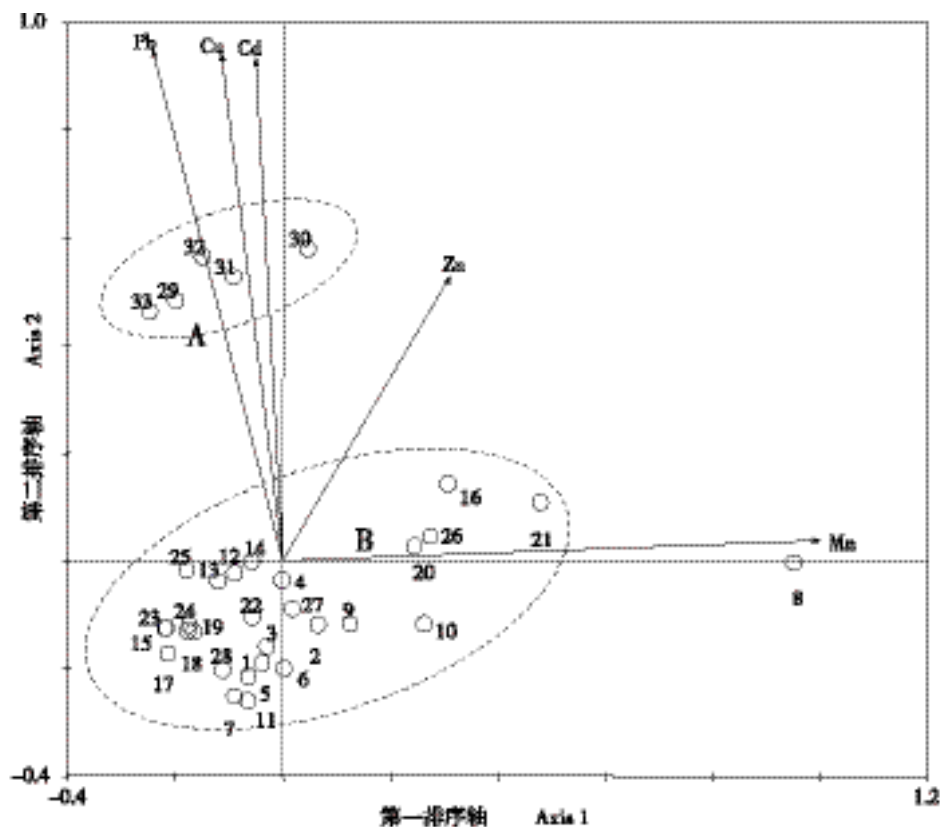
表 1 洞庭湖区莲藕重金属含量(鲜重, 平均值±标准误)

Table 1 Heavy metal concentration in lotus root in the Dongting Lake areas (fresh weight, means ± SE)

区域	Cd		Pb		Cu		Zn		Mn	Q	污染等级
	含量/mg·kg ⁻¹	Qi	含量/mg·kg ⁻¹	Qi	含量/mg·kg ⁻¹	Qi	含量/mg·kg ⁻¹	Qi	含量/mg·kg ⁻¹		
岳阳市岳阳楼区	0.36±0.05a	3.60	0.49±0.07a	2.45	1.01±0.17a	0.10	2.61±0.64a	0.13	5.92±1.69a	2.78	中度污染
君山柳林州镇	1.16±0.44c	11.60	6.07±0.04d	30.35	3.66±0.14c	0.37	4.23±0.19a	0.21	2.70±0.96a	22.74	重度污染
君山钱粮湖镇	0.62±0.07b	6.20	1.09±0.08bc	5.45	1.64±0.19b	0.16	3.72±0.44a	0.19	5.10±2.33a	4.87	重度污染
华容注滋口镇	0.41±0.06a	4.10	1.08±0.29bc	5.40	1.67±0.25b	0.17	3.10±0.51a	0.16	3.42±1.48a	4.20	重度污染
益阳南县华阁镇	0.54±0.16ab	5.40	1.05±0.27bc	5.25	1.83±0.31b	0.18	3.86±1.21a	0.19	3.17±3.10a	4.29	重度污染
益阳市大通湖区	0.61±0.02b	6.10	1.28±0.02c	6.40	1.78±0.17b	0.18	4.38±0.26a	0.22	2.29±0.32a	5.07	重度污染
益阳沅江市	0.37±0.02a	3.70	0.56±0.04ab	2.80	0.95±0.08a	0.10	3.07±0.50a	0.15	5.74±2.22a	2.88	中度污染
洞庭湖区平均	0.57±0.05	5.70	1.67±0.34	8.35	1.76±0.17	0.18	3.50±0.21	0.18	4.30±0.79	6.43	重度污染
国家限量标准	0.1		0.2		10		20		—		

注: 不同小写字母表示差异达到显著水平($P < 0.05$)。

Note: Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$).



图中数字 1~33 表示莲藕产区:1~8 位于益阳沅江市,9~11 位于岳阳市岳阳楼区,12~14 位于益阳大通湖区,15~17 位于益阳县,18~22 位于君山区钱粮湖镇,23~28 位于华容县注滋口镇,29~33 位于君山区柳林州镇
Number 1~33 indicate planting areas: 1~8 are in Yuanjiang, Yiyang City; 9~11 in Yueyanglou District, Yueyang City; 12~14 in Datonghu District, Yiyang City; 15~17 in Nan County, Yiyang City; 18~22 in Qianliang Town, Junshan District; 23~28 in Zhuzikou Town, Huarong County; 29~33 in Liulinzhou Town, Junshan District

图 2 莲藕产区与重金属含量主成分分析

Figure 2 Principal component analysis (PCA) between planting areas and heavy metal concentration in lotus root

香蒲 (*Typha orientalis*) 等湿地植物对 Pb、Cd、Cu、Zn、Cr 等同样具有较强的吸收性^[14, 16-18]。由于湿地植物长期性或季节性的淹水,除了根部吸收外,茎叶也能吸收水体重金属,通常具有较强的富集性^[16, 19],因此洞庭湖区的茭实 (*Euryale ferox*)、野菱 (*Trapa incisa*)、茭白 (*Zizania latifolia*) 等其他湿地产品也应该引起高度重视。

植物重金属含量的高低与生境重金属污染有关^[3, 20],在污染严重的区域,植物中重金属含量一般较高^[15, 17]。如随着土壤 Pb、Zn 含量的增大,芦苇中重金属含量在逐渐升高^[18]。洞庭湖重金属主要来源于湘江干流和长江上游,大量污染物质随着水体沉积于洞庭湖,是导致莲藕中重金属含量超标的最主要原因^[1-4, 7-8]。以重金属 Cd 为例,在位于湘江水系的东洞庭湖土壤中含量为 $7.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而在沅江水系的南洞庭湖中含

量仅为 $0.66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[14]。因此洞庭湖土壤中重金属含量的差异,是导致产于君山区、华容县、南县等区域莲藕中的重金属含量明显高于沅江等地区的直接原因。然而,大通湖作为我国重要的水产养殖基地,由于长期以来的饲料和饵料的投入,导致湖体重金属富集,是引起莲藕重金属含量较高的主要原因^[24]。近几十年来,随着洞庭湖生境的破碎化,莲藕的大面积集中种植区域减少,转而出现数量众多、面积小且相对隔离的藕池^[22]。而与大面积的藕池相比,小面积的藕池抗污染能力低,易导致莲藕重金属污染^[23-24]。对洞庭湖莲藕种植区域主成分分析 (PCA) 表明,位于君山区柳林州镇的藕池面积小,且大多数围绕村镇分布,生活污水的直排导致藕池重金属污染,是致使莲藕中重金属综合污染指数最高,属于重度污染区域的主要原因^[25]。

4 结论与建议

在洞庭湖区,产于岳阳楼区、君山区、华容县、大通湖区、沅江市的莲藕中重金属均呈现出不同程度的污染,以Cd、Pb超标严重,综合污染指数高,存在食用风险。因此,建议地方政府加强对莲藕产业的科学指导,开展莲藕种植区域生境的恢复,特别是重金属污染生态修复,以降低土壤以及水体污染物含量。针对湖区藕池面积逐渐缩小的趋势,打通藕池与水系的连接通道,逐渐恢复大面积藕池,以增强藕池抗重金属污染能力。对于莲藕重金属污染严重的区域,如君山区柳林州镇,宜适当减少莲藕种植面积,而在莲藕重金属污染较低的区域,如华容注滋口镇、益阳沅江市可适当增加莲藕种植面积,促进湖区莲藕产业的健康发展。

参考文献:

- [1] Yang Y, Wang X, Shi J. The influence of the discharging sewage on microbial diversity in sludge from Dongting Lake[J]. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2012, 28: 421-430.
- [2] Wang L, Wang Y, Zhang W. Multivariate statistical techniques for evaluating and identifying the environmental significance of heavy metal contamination in sediments of the Yangtze River, China[J]. *Environmental Earth Science*, 2014, 71: 1183-1193.
- [3] Hu C, Deng Z M, Xie Y H, et al. The risk assessment of sediment heavy metal pollution in the east Dongting Lake wetland[J]. *Journal of Chemistry*, 2015, 15: 1-8.
- [4] Yangon Y, Cao X, Zhang M, et al. Occurrence and distribution of endocrine-disrupting compounds in the Honghu Lake and east Dongting Lake along the Central Yangtze River, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22:17644-17652.
- [5] 郭娟. 东洞庭湖沉积物中重金属吸附与释放规律研究[C]. 长沙:长沙理工大学, 2011.
GUO Juan. Experimental study on heavy metals absorption or release from sediments of East Dongting Lake[C]. Changsha: Hunan University of Science and Technology, 2011. (in Chinese)
- [6] 王宏. 东洞庭湖湿地土壤重金属的分布特征及风险评价[D]. 长沙:湖南师范大学, 2011.
WANG Hong. Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in eastern Dongting Lake wetland[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2011. (in Chinese)
- [7] Man J M, Cai J W, Cai C H, et al. Comparison of physicochemical properties of starches from seed and rhizome of lotus[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 88: 676-683.
- [8] 涂静. 莲藕品质评价及其冻结特性研究[D]. 无锡:江南大学, 2014.
TU Jing. Study on the quality evaluation and freezing characteristics of lotus root[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014. (in Chinese)
- [9] Cui M, Zhou J X, Huang B. Benefit evaluation of wetlands resource with different modes of protection and utilization in the Dongting Lake region[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13: 2-17.
- [10] 程杰. 巢湖水体重金属污染评价及水中重金属污染的植物修复研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2008.
CHENG Jie. Pollution evaluation of heavy metals in Chaohu Lake and phytoremediation of heavy metals pollution in water[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- [11] 姚志刚, 鲍征宇, 高璞. 洞庭湖沉积物重金属环境地球化学[J]. *地球化学*, 2006, 35(6): 629-638.
YAO Zhi-gang, BAO Zheng-yu, GAO Pu. Environmental geochemistry of heavy metals in sediments of Dongting Lake[J]. *Geochimica*, 2006, 35(6): 629-638. (in Chinese)
- [12] 童贯和, 陈锦云, 刘天骄, 等. 腐熟油菜秸秆、煤矸石组合的栽培基质重金属污染及蔬菜安全评价[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(3): 661-667.
TONG Guan-he, CHEN Jin-yun, LIU Tian-jiao, et al. Assessment of vegetable safety and heavy metal contamination risk in decomposed rape straw and coal gangue soilless culture substrate[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(3): 661-667. (in Chinese)
- [13] 杨胜香, 易浪波, 刘佳, 等. 湘西花垣矿区蔬菜重金属污染现状及健康风险评价[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(1): 17-23.
YANG Sheng-xiang, YI Lang-bo, LIU Jia, et al. Heavy metals concentrations and health risk in vegetables grown on Mn and Pb/Zn mineland in Huayuan County, west Hunan Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(1): 17-23. (in Chinese)
- [14] 黄永杰, 刘登义, 王友保, 等. 八种水生植物对重金属富集能力的比较研究[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(5): 541-545.
HUANG Yong-jie, LIU Deng-yi, WANG You-bao, et al. Heavy metals accumulation by hydrophytes[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(5): 541-545. (in Chinese)
- [15] 熊春晖, 许晓光, 卢永恩, 等. 铅镉复合胁迫下莲藕对铅镉的富集及其生理变化[J]. *园艺学报*, 2012, 39(12): 2385-2394.
XIONG Chun-hui, XU Xiao-guang, LU Yong-en, et al. Effects of heavy metals Pb and Cd on the physiological response and accumulation in lotus root[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39(12): 2385-2394. (in Chinese)
- [16] 潘义宏, 王宏斌, 谷兆萍, 等. 大型水生植物对重金属的富集与转移[J]. *生态学报*, 2010, 30(23): 6430-6441.
PAN Yi-hong, WANG Hong-bin, GU Zhao-ping, et al. Accumulation and translocation of heavy metals by macrophytes[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6430-6441. (in Chinese)
- [17] 黄亮, 李伟, 吴莹, 等. 长江中游若干湖泊中水生植物体内重金属分布[J]. *环境科学研究*, 2002, 15(6): 1-4.
HUANG Liang, LI Wei, WU Ying, et al. Distribution of heavy metals in aquatic plants of some lakes in the middle reach of the Yangtze River[J]. *Research of the Environmental Science*, 2002, 15(6): 1-4. (in Chinese)
- [18] Phillips D P, Human L R D, Adams J B. Wetland plants as indicators of heavy metal contamination[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 2015, 92: 227-232.
- [19] Peralta-videa J R, Lopenz M L, Narayan M, et al. The biochemistry of

- environmental heavy metal uptake by plants: Implications for the food chain[J]. The International Journal of Biochemistry and Cell Biology, 2009, 41: 1665-1677.
- [20] Abdul-wahabs S A, Jupp B P. Levels of heavy metals in subtidal sediments in the vicinity of thermal power/desalination plants: A case study [J]. Desalination, 2009, 244: 261-282.
- [21] 蔡继哈, 李 凯, 郑向勇, 等. 水产养殖重金属污染现状及治理技术研究进展[J]. 水产科学, 2010, 29(12): 749-752.
- CAI Ji-han, LI Kai, ZHENG Xiang-yong, et al. Advance in researches and treatment technology of heavy metals in aquaculture[J]. Fisheries Science, 2010, 29(12): 749-752. (in Chinese)
- [22] 黄 群, 姜加虎, 赖锡军, 等. 洞庭湖湿地景观格局变化以及三峡工程蓄水对其影响[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(7): 922-927.
- HUANG Qun, JIANG Jia-hu, LAI Xi-jun, et al. Changes of landscape structure in Dongting Lake wetlands and the evaluation on impacts from operation of the Three Gorges projects[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(7): 922-927. (in Chinese)
- [23] 李 钺, 李芳柏, 吴志峰, 等. 景观格局对农业表层土壤重金属污染的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(4): 1137-1144.
- LI Cheng, LI Fang-bai, WU Zhi-feng, et al. Impacts of landscape patterns on heavy metal contamination of agricultural top soils in the Pearl River Delta' South China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(4): 1137-1144. (in Chinese)
- [24] Lara M, Peralta G, Alonso J J, et al. Effects of intertidal seagrass habitat fragmentation on turbulent diffusion and retention time of solutes[J]. Marine Pollution Bulletin, 2012, 64: 2471-2479.
- [25] 秦隆兵, 李祖祥, 杨玉荣, 等. 三峡库区根茎类蔬菜中重金属含量分析及评价[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 70-73.
- QIN Long-bing, LI Zu-xiang, YANG Yu-rong, et al. Analysis and evaluation on heavy metal content of root vegetables in three gorges reservoir[J]. Food and Machinery, 2015, 31(3): 70-73. (in Chinese)

《草业科学》2017 年征订启事

·欢迎投稿 ☆ 欢迎订阅 ☆ 欢迎刊登广告·

《草业科学》1984 年创刊,由中国科学技术协会主管、中国草学会和兰州大学草地农业科技学院主办,是面向国内外公开发行的综合性科技期刊。本刊为“中文核心期刊”、“中国科技核心期刊”和 CSCD 核心库来源期刊,并被《中国核心期刊(遴选)数据库》、中国科学期刊文献数据库、英国 CABI、《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、中国科技期刊数据库、《中国生物学文摘》和“中国生物学文献数据库”收录为固定源期刊。2015 年《草业科学》入选第四期(2015—2017)中国科协精品科技期刊工程学术质量提升项目。近几年,《草业科学》相继获得“全国畜牧兽医优秀期刊一等奖”、“全国优秀农业期刊贰等奖”和“中国精品科技期刊”等荣誉。据 2015 年版科技部中国科技信息所《中国科技期刊引证报告》,总被引频次和影响因子分别为 2 407 和 0.619,在草原类期刊中综合排名第 2。

《草业科学》主要刊载国内外草业科学及其相关领域,如畜牧学、作物学、园艺学、生物学、林学、环境工程与科学、经济学和管理学等领域的创新性理论研究、技术开发、成果示范推广等方面的论文、综述、专论和学科前沿动态等。本刊结合草业科学学科发展和科技期刊的定位,目前主要设有专论、前植物生产层、植物生产层、动物生产层、后生物生产层、基层园地、业界信息等栏目,不仅为高校、科研单位的师生提供交流平台,同时为基层科技人员的成果交流创造机会。另外,本刊广告服务项目范围为畜牧机械、草种、化学药剂、仪器设备以及科研机构、重点实验室、高科技农业企业的形象广告等。

《草业科学》为月刊,大 16 开本,亚芬纸印刷,彩色封面覆膜,国内外公开发行,邮发代号 54-51,每期定价 20 元,全年 240 元。全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系订阅。

标准刊号:ISSN 1001-0629 CN 62-1069/S

地址:兰州市城关区嘉峪关西路 768 号《草业科学》编辑部

电话:0931-8912486

E-mail:cykx@lzu.edu.cn

邮发代号:54-51

邮编:730020

传真:0931-8912486

网址: <http://cykx.lzu.edu.cn>