

文章编号: 1674-7054(2023)02-0153-06



不同种植年限粉葛对农田土壤镉的富集特征

林小兵^{1,2}, 武琳², 周利军², 黄欠如², 陈燕²,
刘少华³, 陈绪龙⁴, 张秋梅³

(1. 江西农业大学 国土资源与环境学院, 南昌 330045; 2. 江西省红壤研究所 国家红壤改良
工程技术研究中心, 南昌 331717; 3. 江西省新余市农业科学研究所, 江西 新余 338000;
4. 厦门玛塔生态股份有限公司, 福建 厦门 361000)

摘要: 为揭示不同种植年限粉葛对土壤重金属镉的富集特征, 以江西新余中度镉污染农田种植的一年生、两年生粉葛为研究对象, 分析不同种植年限间粉葛(*Pueraria thomsonii* Benth)块根(葛粉和葛渣)、葛头、主藤、侧枝和叶片中重金属镉的含量及其富集情况。结果表明, 除叶片外, 两年生粉葛各部位镉含量显著高于一年生的; 粉葛不同部位镉含量大小排序为侧枝>主藤>葛头>叶片>葛渣>块根>葛粉; 粉葛对土壤镉富集系数均>1, 说明粉葛对土壤中镉的吸收能力较强。除一年生粉葛葛粉外, 一年生粉葛块根和两年生粉葛块根、葛粉中镉含量均超过国家食品安全限量标准。相关分析表明, 粉葛各部位镉含量与土壤总镉和有效态镉含量呈显著正相关, 粉葛各部分中镉含量随种植年限具有明显的累积效应。因此, 在中度镉污染农田宜选择种植一年生粉葛, 且食用方式以葛粉最佳, 以达到生态和经济效益双赢。

关键词: 粉葛; 种植年限; 镉; 富集特征; 重金属污染; 食品安全

中图分类号: X 53 **文献标志码:** A

引用格式: 林小兵, 武琳, 周利军, 等. 不同种植年限粉葛对农田土壤镉的富集特征 [J]. 热带生物学报, 2023, 14(2): 153-158. DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2023.02.003

随着工业化、城市化和集约化农业的快速发展, 大量工业“三废”、化肥及农药等进入土壤环境, 导致农业土壤重金属镉问题日益突出^[1], 农田镉污染不仅造成农作物产量、品质下降, 并通过食物链严重威胁人体健康, 还影响农业的可持续发展^[2-3]。植物修复主要是利用对重金属具有特殊耐性和较强富集能力的植物来修复重金属污染土壤^[4], 如镉超积累植物忍冬 (*Lonicera japonica*) 和龙葵 (*Solanum nigrum*) 等。Huang 等^[5]研究表明, 伴矿景天 (*Sedum plumbizincicola*) 地上部对重金属镉的积累量可达 541.36 mg·kg⁻¹, Yu 等^[6]发现青葙 (*Celosia argentea*) 是镉锰复合污染土壤的植

物。粉葛 (*Pueraria thomsonii* Benth) 属豆科两年生落叶草质藤本植物^[7], 具粗大肥硕块根, 富含淀粉和人体所必需营养成分及具有生理功能的活性成分^[8], 主要分布于广西、江西、广东、湖南、湖北、安徽、四川等地^[9]。章丽娟^[10] 研究结果表明, 矿区周边粉葛的生长不受重金属镉的影响, 且块根产量能达到正常水平; 陆金等^[11] 发现, 粉葛块根对重金属镉的富集系数为 4.37, 说明粉葛对重金属镉具有很强的富集能力。粉葛对 Cd 移除量每年可达 40 g·hm⁻² ^[12]。目前, 国内外关于粉葛重金属成分的研究较少^[13], 江西省粉葛资源相当丰富, 但缺乏其相应的粉葛重金属镉含量的研究, 粉葛

收稿日期: 2021-11-08

修回日期: 2022-04-02

基金项目: 江西省自然科学基金资助项目 (20212BAB215028); 江西省重大科技研发专项项目 (20194ABC28010); 江西省重点研发计划项目 (20203BBFL63068); 江西省现代农业产业技术体系建设专项 (JXARS-16)

第一作者: 林小兵 (1992-), 男, 助理研究员, 江西农业大学 2022 级博士研究生。研究方向: 土壤资源与环境生态。E-mail: linxiaobing14@mails.ucas.ac.cn

通信作者: 张秋梅 (1978-), 女, 农艺师。研究方向: 土壤资源与环境生态。E-mail: 570708177@qq.com

对土壤重金属镉的吸收累积特征研究也较少。不同种植年限会影响作物对土壤养分的吸收、重金属富集等^[14-15]。党华美等^[16]研究发现,不同种植年限钩藤的重金属镉含量均不相同。粉葛有一年生和两年生种植,研究表明其总黄酮及葛根素会随种植年限逐年增加^[17-18]。

本研究以江西省新余市某中度镉污染农田粉葛种植基地的粉葛为对象,研究不同种植年限下粉葛受土壤重金属镉的影响及其富集特征,旨在为减轻和预防农田土壤重金属镉污染、保护土壤环境和保障农产品质量安全提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 试验地位于江西省新余市渝水区珠珊镇埠下村附近(27°46'37" N, 114°58'25"E),属亚热带湿润季风气候,四季分明,光热充足,雨量充沛,气候温和,无霜期长,年均气温 17.7 °C,年均降雨量 1 595 mm。试验土壤为红壤性水稻土,试验前土壤检测结果表明:0~20 cm 土层土壤有机质含量 20.25 g·kg⁻¹, pH 4.67, 阳离子交换量 5.45 cmol·kg⁻¹, 土壤总镉含量 0.97 mg·kg⁻¹, 土壤有效态镉含量 0.64 mg·kg⁻¹, 试验区属中度镉污染地区。

1.2 试验设计 供试粉葛品种为江西省德兴市宋氏葛业有限公司所选育的‘赣葛 1 号’。试验小区面积约 666.67 m², 采用传统的垄作种植方式, 垄宽 90 cm, 垄高 40 cm, 沟宽 60 cm, 株距 40 cm, 种植密度为 18 000 株·hm⁻²。于 2019 年 4 月 1 日移栽, 基肥施有机肥(枯饼)5 400 kg·hm⁻² 和 45% 硫酸钾复合肥 2 400 kg·hm⁻², 2020 年增施 45% 硫酸钾复合肥 600 kg·hm⁻²。选取一年生粉葛和两年生粉葛: 2019 年收获一年生粉葛; 去除粉葛地上部后, 2020 年收获两年生粉葛。试验以一年生(生长期 2019 年 4—12 月)粉葛为对照, 两年生(生长期 2019 年 4 月至 2020 年 12 月)粉葛为处理。

1.3 样品采集与分析 粉葛分两次采集, 于 2019 年 12 月 28 日第一次采集, 2020 年 12 月 22 日第二次采集。采取“S”形布点采样, 采集长势相对一致的 5 株粉葛混合一个样, 重复 10 次, 共采集 50 株粉葛植株。每株粉葛采集块根、葛头(葛根与主藤连接处, 属于葛根扦插苗, 两年生)、主藤(由种茎上直接着生的藤蔓)、侧枝(由主藤上生

长的藤蔓)和叶片等 5 个部位, 采集植株样品的同时采取 0~20 cm 土壤。一部分粉葛块根处理为葛粉和葛渣, 将粉葛块根切碎、打浆、水洗沉淀后, 经晒干或烘干所得的淀粉为葛粉, 而生产葛粉过程中产生的副产物为葛渣。将取回来的粉葛植株进行烘干并通过用 HNO₃-H₂O₂ 消解-电感耦合等离子体光谱仪测定粉葛各部位中重金属镉含量, 土壤总镉和土壤有效态镉含量采用电感耦合等离子体光谱仪测定。土壤常规理化性质参照鲁如坤^[19]的方法测定, 土壤 pH 测定采用电位法; 有机质测定采用重铬酸钾容量法; 阳离子交换量测定采用 1 mol·L⁻¹ 乙酸铵交换法。

1.4 数据处理 数据处理和统计分析通过 R 语言(www.r-project.org, R 4.0.4)完成, 方差分析采用 R 语言程序包 *vegan* 完成, 并通过 Tukey HSD 检验法进行差异显著性检验 ($P < 0.05$), 相关性分析(Pearson 相关系数)采用 R 语言程序包 *psych* 完成, 所有制图通过 R 语言软件完成。计算植株对土壤镉的富集系数和块根的转运系数^[20-21], 其公式分别为: 富集系数=粉葛各部分镉溶度/土壤中镉溶度; 转运系数=粉葛各部分中镉溶度/粉葛块根中镉溶度。分配系数为葛粉或葛渣的镉溶度/块根的镉溶度。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质及重金属镉含量 从图 1 可以看出, 不同种植年限间土壤 pH、总镉、有效态镉含量和阳离子交换量差异均不显著 ($P > 0.05$, 表 1)。其中, 两年生粉葛土壤有机质显著低于一年生 ($F = 5.83$, $P = 0.03$), 土壤有机质降低了 19.11%。

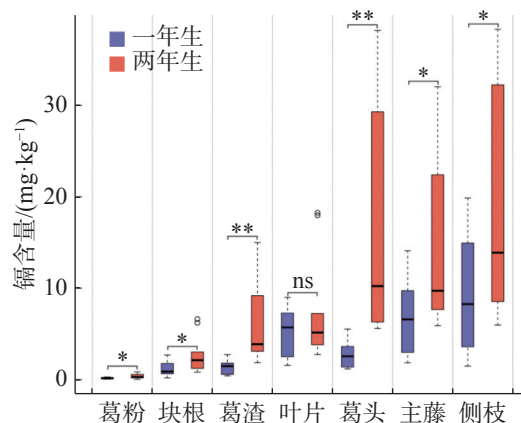


图 1 种植年限对粉葛不同部位中镉含量的影响
*表示 $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, ns 表示 $P > 0.05$ 。

表 1 不同种植年限粉葛土壤理化性质及重金属镉含量

种植年限	pH	有机质/(g·kg ⁻¹)	阳离子交换量/(cmol·kg ⁻¹)	总镉/(mg·kg ⁻¹)	有效态镉/(mg·kg ⁻¹)
一年生	4.63±0.09a	31.29±6.49a	5.87±0.57a	1.18±0.63a	1.00±0.59a
两年生	4.66±0.17a	25.31±4.37b	5.82±0.54a	1.28±0.94a	1.12±0.89a

注: 表中数据n=10, 同列中不同小写字母表示差异在P<0.05水平具有统计学意义, 下同。

2.2 粉葛各部位镉含量 种植年限对粉葛不同部位中镉含量的影响见图 1。除叶片外, 不同种植年限间块根、葛粉、葛渣、葛头、主藤、侧枝中镉含量存在显著差异 ($P<0.05$, 图 1), 两年生粉葛植株镉含量显著高于一年生。与一年生粉葛相比, 两年生粉葛块根、葛粉、葛渣、葛头、主藤、侧枝和叶片中镉含量分别增加了 1.41、1.25、3.25、4.68、1.01、1.07 和 0.42 倍。从均值来看, 一年生粉葛块根、葛粉、葛渣、葛头、主藤、侧枝和叶片中镉含量分别为 1.11、0.16、1.36、2.80、6.85、8.96 和 5.22 mg·kg⁻¹, 两年生粉葛块根、葛粉、葛渣、葛头、主藤、侧枝和叶片中镉含量分别为 2.67、0.36、5.78、15.91、13.75、18.60 和 7.41 mg·kg⁻¹。总体上, 一年生和两年生粉葛不同部位镉含量大小顺序为侧枝>主藤>葛头>叶片>葛渣>块根>葛粉。一年生粉葛块根中镉含量为 1.11 mg·kg⁻¹, 超过《食品安全国家标准: 食物中污染物限量》(GB 2762—2017)^[22] 中蔬菜及其制品中块根和块茎蔬菜限量标准 ($Cd\leq 0.10$ mg·kg⁻¹), 葛粉中镉含量 0.16 mg·kg⁻¹, 未超过《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》(WM/T2—2004)^[23] 中的限量标准 ($Cd\leq 0.30$ mg·kg⁻¹)。两年生粉葛块根中镉含量为 2.67 mg·kg⁻¹, 超过 (GB 2762—2017) 中蔬菜及其制品中块根和块茎蔬菜限量标准, 葛粉中镉含量 0.36 mg·kg⁻¹, 也超过 (WM/T2—2004) 中的限量标准。

2.3 粉葛富集系数、转运系数及分配系数 由表 2 可见, 除叶片外, 两年生粉葛块根、葛头、主藤和侧枝/土壤均显著高于一年生 ($P<0.05$)。粉葛各部位富集系数均>1(1.00~15.29), 说明粉葛对土壤中镉的吸收能力较强。镉在粉葛不同部位中的富集系数由大到小顺序为侧枝>主藤>葛头>叶片>块根。由表 2 可见, 葛头对块根的转运能力随种植年限增强, 且两年生葛头/块根的转运系数显著高于一年生的; 而叶片对块根的转运能力在第一年最强, 且一年生叶片/块根的转运系数显著高于两

年生的; 不同种植年限间主藤和侧枝对块根的转运能力差异较小。由表 2 可知, 对葛根的分配系数大小为葛渣>葛粉, 不同种植年限间葛粉、葛渣/块根分配系数差异较小。

表 2 不同种植年限粉葛各部位富集系数、转运系数和分配系数

		种植年限	
		一年生	两年生
富集系数	块根/土壤	1.00±0.46b	2.35±1.34a
	葛头/土壤	2.68±0.97b	12.43±2.87a
	主藤/土壤	5.75±1.11b	11.81±3.72a
	侧枝/土壤	7.13±2.74b	15.29±4.03a
	叶片/土壤	4.64±1.43a	6.41±3.07a
转运系数	葛头/块根	3.55±2.64b	6.76±3.61a
	主藤/块根	6.01±2.56a	8.09±6.56a
	侧枝/块根	8.37±7.18a	9.55±4.59a
	叶片/块根	6.35±4.75a	3.08±1.34b
分配系数	葛粉/块根	0.22±0.23a	0.16±0.10a
	葛渣/块根	1.82±1.81a	2.60±1.57a

2.4 相关性分析 对土壤 pH、有机质、有效态镉、总镉及粉葛不同部位中镉含量等 11 个指标进行相关性分析, 结果 (表 3) 表明, 土壤阳离子交换量与一年生粉葛主藤和侧枝中镉含量均呈显著正相关 ($P<0.05$); 土壤总镉和有效态镉含量与一年生粉葛不同部位中镉含量均呈显著正相关 ($P<0.05$)。土壤 pH 与一年生粉葛葛头中镉含量均呈显著负相关 ($P<0.05$); 土壤总镉和有效态镉含量与两年生粉葛不同部位中镉含量均呈显著正相关 ($P<0.05$)。

表3 土壤理化性质及Cd含量与粉葛不同部位中Cd含量的相关性分析

种植年限	变量	块根	葛粉	葛渣	葛头	主藤	侧枝	叶片
一年生	pH	-0.11	-0.10	0.11	0.11	-0.29	-0.39	-0.04
	有机质	0.57	0.59	0.51	0.54	0.61	0.63	0.57
	阳离子交换量	0.57	0.61	0.52	0.52	0.67*	0.71*	0.60
	土壤总镉	0.65*	0.92***	0.92***	0.81**	0.94***	0.84**	0.90***
	土壤有效态镉	0.65*	0.95***	0.94***	0.79**	0.93***	0.81**	0.89***
两年生	pH	-0.11	-0.51	-0.48	-0.71*	-0.51	-0.57	-0.06
	有机质	-0.18	-0.09	-0.01	-0.18	-0.11	-0.08	0.01
	阳离子交换量	-0.13	0.01	0.10	0.20	0.14	0.16	0.02
	土壤总镉	0.72*	0.89***	0.88***	0.98**	0.92***	0.93**	0.66*
	土壤有效态镉	0.67*	0.88***	0.86***	0.97**	0.90***	0.91**	0.61*

注: *表示 $P<0.05$, ** $P<0.01$, *** $P<0.001$ 。

3 讨论

3.1 种植年限对土壤理化性质和镉含量影响

本试验结果表明,随种植年限增加,粉葛种植地土壤总镉、有效态镉含量及pH有所增加,阳离子交换量降低,其中土壤有机质显著减少。这与郭睿等^[15]提出的大叶女贞随种植年限增加其土壤有机碳含量逐年降低的结果相似,两茬蔬菜种植过程中土壤有机质得不到有效补充是造成了菜地土壤有机质含量下降的主要因素^[24-25]。研究表明随着种植年限的增长土壤中重金属镉也会随之呈增长趋势^[16,26],与本研究发现两年生粉葛土壤总镉、有效态镉含量增加结果相一致。郭军康等^[27]研究发现随着年限的增加,设施菜地土壤中重金属镉呈现显著的累积趋势,污染程度由无污染到中度污染。

试验中两年生粉葛土壤中的镉含量有所增加,主要原因是种植过程中化肥等肥料的添加,此外,还有可能受到大气沉降、水分灌溉、粉葛秸秆还田等影响^[28]。

3.2 粉葛不同部位镉含量的差异 本试验中,除叶片外,两年生粉葛各部位中镉含量显著高于一年生,其不同部位中重金属镉含量大小顺序表现为侧枝>主藤>葛头>叶片>葛渣>块根>葛粉。植物体内的重金属镉及其对镉的富集系数可作为植物对镉污染土壤修复的重要指标^[29]。党华美等^[16]研究发现,不同种植年限钩藤土壤重金属镉在植株不同部位中的吸收迁移能力差异较大。超积累植物修复重金属污染土壤取决于植物从土壤中吸取金属以及向地上部运输金属的能力^[30],陆金等^[11]研究发现,粉葛块根对重金属镉的富集系数为4.37,

本试验区种植的粉葛对土壤富集系数均大于1,说明粉葛对土壤镉的富集能力较强。本试验中粉葛侧枝和主藤镉含量最高,研究表明强大的木质部装载能力提高了重金属镉从根到地上部的转运效率^[30]。基因型差异也是造成粉葛不同部位重金属镉含量差异显著的因素之一^[31]。相关性表明土壤总镉和有效态镉含量与粉葛不同部位中镉含量均呈显著正相关,土壤pH与第二年葛头呈显著负相关。刘冲等^[21]研究也发现土壤pH与农作物中的镉含量呈显著负相关。土壤pH的降低会使土壤有效态镉含量增加,进而促进苎麻对重金属镉的吸收储存^[32]。龙新究等^[33]和郭媛等^[34]研究表明,土壤中的重金属镉含量越高,该地植物中的镉含量也相对越高,两者呈显著正相关。土壤中镉含量越高,粉葛各部分中镉含量也较高,土壤中重金属镉被粉葛的块根吸收后,首先在块根和葛头中积累,然后被转运到其他部位,其次两年生粉葛块根和葛头生长期较长于一年生的,增加其块根和葛头中重金属镉含量。

3.3 粉葛安全利用 本研究还发现粉葛在2年试验过程中能正常生长,未出现肉眼可见的镉中毒现象,且生物量、产量能达到正常水平,说明粉葛对重金属镉有较强的耐受能力和镉适应能力。本试验中鲜食粉葛块根其重金属镉含量超过食品中镉限量标准,说明鲜食块根有一定重金属富集,长期食用镉污染地区粉葛块根存在潜在安全风险,建议降低该地区鲜食葛根在当地居民食品摄入量中的比例。与两年生粉葛葛粉相比,一年生葛粉符合食品安全标准要求,说明在该污染条件下当年种植及收获的葛粉是符合食品安全,

利用粉葛(用作葛粉)来修复镉污染农田,既可以有效移除土壤中重金属镉,又能带来经济收益。葛渣对葛根的分配系数远大于葛粉,在制造葛粉过程中,块根中更多的重金属镉保留在葛渣中。除种植年限外,粉葛对农田土壤重金属镉的吸收累积效率,还受品种、土壤污染程度、施肥方式等影响,今后可结合室内室外试验进一步探讨影响粉葛对重金属镉的富集,并通过分子及生理方式来揭示粉葛对重金属镉富集的机制研究。综合其经济价值、食品安全、生物移除(生物量)等挖掘粉葛为潜在的镉富集植物,且通过地上藤蔓不能回田、土壤调酸提高土壤 pH、土壤镉多少水平之内适于种植粉葛来发展粉葛种植,为减轻和预防农田土壤重金属镉污染提供参考依据。

4 结 论

研究表明粉葛对土壤镉具有较强的富集能力,粉葛不同部位镉含量及富集系数以侧枝和主藤较高,其次是葛头和叶片,而块根和葛粉较低。土壤镉及粉葛各部分中镉含量随种植年限具有显著的累积效应,两年生粉葛镉含量显著高于一年生。在中度镉污染条件下,可以将一年生粉葛(用作葛粉)作为经济作物,达到安全利用的效果;对于两年生及多年生粉葛仅作为修复作物,对土壤中重金属镉生物移除,以实现修复的目的。因此,在中度镉污染区种植一年生粉葛制作葛粉可以达到生态和经济双赢,并促进当地政府和种植户对土壤修复的积极性。

参考文献:

- [1] 环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[R]. 北京: 环境保护部, 2014, 1-5.
- [2] LI B, WANG X, QI X, et al. Identification of rice cultivars with low brown rice mixed cadmium and lead contents and their interactions with the micronutrients iron, zinc, nickel and manganese [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, 24: 1790-1798.
- [3] HUANG Y, WANG L Y, WANG W J, et al. Current status of agricultural soil pollution by heavy metals in China: A meta-analysis [J]. *Science of The Total Environment*, 2019, 651: 3034-3042.
- [4] 安婧, 宫晓双, 魏树和. 重金属污染土壤超积累植物修复关键技术的发展[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(11): 3261-3270.
- [5] HUANG R, DONG M L, MAO P, et al. Evaluation of phytoremediation potential of five Cd (hyper) accumulators in two Cd contaminated soils [J]. *Science of The Total Environment*, 2020, 721: 137581.
- [6] YU G, ULLAH H, WANG X S, et al. Integrated transcriptome and metabolome analysis reveals the mechanism of tolerance to manganese and cadmium toxicity in the Mn/Cd hyperaccumulator *Celosia argentea* Linn [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, 443(2): 130206.
- [7] 王艳, 杨远宁, 王学礼, 等. 施用含硒有机肥对粉葛产量及硒吸收转运的影响[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(2): 449-454.
- [8] 田国政. 葛中重金属元素铅和镉的分析与评价[J]. *湖北民族学院学报(自然科学版)*, 2004, 22(4): 42-44.
- [9] 何绍浪, 张昆, 成艳红, 等. 江西省粉葛种植产业发展现状及对策[J]. *江西中医药*, 2020, 51(12): 9-12.
- [10] 章丽娟. 大理葛根及其种植土壤中主要金属元素的调查[D]. 大理: 大理学院, 2012.
- [11] 陆金, 赵兴青, 黄健, 等. 铜陵狮子山矿区尾矿库及周边 17 种乡土植物重金属含量及富集特征[J]. *环境化学*, 2019, 38(1): 78-86.
- [12] 林小兵, 武琳, 周利军, 等. 粉葛对农田土壤镉的富集特征[J]. *环境工程技术学报*, 2022, 12(5): 1626-1632.
- [13] 叶惠焯, 谭舟, 刘向前, 等. 湿法消解-原子荧光光谱法测定湘葛一号中的砷、汞、铅[J]. *食品科学*, 2014, 35(4): 151-154.
- [14] 井永苹, 李彦, 薄录吉, 等. 不同种植年限设施菜地土壤养分、重金属含量变化及主导污染因子解析[J]. *山东农业科学*, 2016, 48(4): 66-71.
- [15] 郭睿, 王士华, 赵应勇. 不同种植年限对大叶女贞土壤生态环境的影响[J]. *西部林业科学*, 2019, 48(6): 90-96.
- [16] 党华美, 赵欢, 何腾兵, 等. 贵州不同种植年限钩藤土壤重金属的安全评价[J]. *中药材*, 2015, 38(11): 2257-2261.
- [17] 张尊听, 杨伯伦, 刘谦光, 等. 太白山野葛根中异黄酮和葛根素含量随季节的变化[J]. *天然产物研究与开发*, 2001, 13(6): 33-35.
- [18] 刘逢芹, 李宏建, 周扬星, 等. 不同采集时间野葛不同部位总黄酮和葛根素含量比较[J]. *植物资源与环境学报*, 2006, 15(2): 79-80.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [20] 龙玉梅, 刘杰, 傅校锋, 等. 4 种 Cd 超富集/富集植物修复性能的比较[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(8): 296-300.
- [21] 刘冲, 赵玲, 李秀华, 等. 苧麻对农田土壤中汞、镉的吸收累积特征研究[J]. *农业环境科学学报*, 2020, 39(5): 1034-1042.
- [22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准, 食物中污染物限量 (GB 2762—2017) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017, 1-19.
- [23] 中华人民共和国商务部. 药用植物及制剂外经贸绿色

- 行业标准 (WM/T2—2004)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 1—6.
- [24] 王克安, 杨宁, 李絮花, 等. 不同种植年限日光温室土壤养分变化规律研究[J]. 山东农业科学, 2010, 42(9): 56—59.
- [25] 李玉娣, 谷洁, 付青霞, 等. 陕西云阳蔬菜大棚土壤养分及微生物群落功能多样性研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(4): 765—771.
- [26] 柳小兰, 王科, 王道平, 等. 碳酸盐岩地区不同种植年限的黄壤重金属含量特征及评价[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(16): 308—312.
- [27] 郭军康, 赵瑾, 魏婷, 等. 西安市郊不同年限设施菜地土壤 Cd 和 Pb 形态分析与污染评价[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(11): 2570—2577.
- [28] 刘进, 潘月鹏, 师华定. 华北地区农田土壤镉来源及大气沉降的贡献[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(8): 1698—1708.
- [29] 董萌, 赵运林, 库文珍, 等. 洞庭湖湿地 8 种优势植物对镉的富集特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(12): 2783—2789.
- [30] SUN Y, ZHOU Q, LIN W, et al. Cadmium tolerance and accumulation characteristics of *Bidens pilosa* L. as a potential Cd-hyperaccumulator [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 161(2/3): 808—814.
- [31] LU L, TIAN S, MIN Z, et al. The role of Ca pathway in Cd uptake and translocation by the hyperaccumulator *Sedum alfredii* [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 183(1-3): 22—28.
- [32] 余玮, 揭雨成, 邢虎成, 等. 不同程度污染农田苎麻吸收积累镉特性研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(14): 275—279.
- [33] 龙新宪, 王艳红, 刘洪彦. 不同生态型东南景天对土壤中 Cd 的生长反应及吸收积累的差异性[J]. 植物生态学报, 2008, 32(1): 168—175.
- [34] 郭媛, 邱财生, 龙松华, 等. 不同黄麻品种对重金属污染农田镉的富集和转移效率研究[J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38(8): 1929—1935.

Enrichment of cadmium by *Pueraria thomsonii* Benth planted for different years in farmland

LIN Xiaobing^{1,2}, WU Lin², ZHOU Lijun², HUANG Qianru², CHEN Yan²,
LIU Shaohua³, CHEN Xulong⁴, ZHANG Qiumei³

(1. College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045; 2. National Engineering and Technology Research Center for Red Soil Improvement, Jiangxi Institute of Red Soil, Nanchang, Jiangxi 331717; 3. Xinyu Research Institute of Agricultural Sciences, Xinyu, Jiangxi 338000; 4. Amoy Mata Ecology Holding Corp, Xiamen, Fujian 361000, China)

Abstract: An attempt was made to reveal the cadmium enrichment characteristics of *Pueraria thomsonii* planted for different years. The plants of *P. thomsonii* grown for one year and two years on moderately cadmium-contaminated farmland in Xinyu, Jiangxi province were collected to determine the content and enrichment of the heavy metal cadmium in the tuber (meal and residues), basal stem, main stem, lateral branches, and leaves. Except for the leaves, the cadmium content was significantly higher in each part of the two years old plants than in the one year old plants. The contents of cadmium in different plant parts were in the order of lateral branch > main stem > basal stem > leaves > residues > tuber > meal. *P. thomsonii* has a high capacity to absorb cadmium from soil, as evidenced by the enrichment coefficient of cadmium from soil to *P. thomsonii* being larger than 1. Except for the meal of the tuber from the one year old plants of *P. thomsonii*, the cadmium contents in the tuber of 1-years old plants, and the tuber and meal of 2-years old plants were all higher than the limit of the standard. Correlation analysis showed that the content of cadmium in each part of *P. thomsonii* had a significantly positive correlation with the total and available cadmium in the soil and had an accumulative effect on the age of the plants. Therefore, in a moderately cadmium-contaminated farmland it is recommended to plant *P. thomsonii* for one year and use its tuber to produce meal as food to attain both ecological and economic benefits.

Keywords: *Pueraria thomsonii* Benth; plant age; cadmium; enrichment characteristics; heavy metal pollution; food safety