

外源镉在刺儿菜中的富集及对其生长的影响

赵爱山¹, 俞春花²

(1. 甘肃省古浪县特色林果产业中心, 甘肃 古浪 733100; 2. 甘肃省古浪县农业技术推广中心, 甘肃古浪 733100)

摘要: 针对古浪县土门镇部分工业区出现的土壤镉污染, 选择对当地适应性强的刺儿菜为试材, 基质中添加外源镉进行盆栽试验, 测定植株的生物量、镉累积量、提取率等, 研究刺儿菜植株对重金属镉的富集特性。结果表明: 刺儿菜对镉具有一定的富集性, 土壤镉浓度为 15 $\mu\text{g/g}$ 时其转移系数和富集系数最大, 分别为 5.14、2.76。刺儿菜可用于镉污染小于 15 $\mu\text{g/g}$ 的地区进行土壤修复。

关键词: 镉; 刺儿菜; 富集性; 古浪县

中图分类号: X53; Q949.783.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2015)09-0042-04

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2015.09.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2015.09.016)

Effects of Exogenous Cadmium on Accumulation and Growth of *Cephalanoplos segetum*

ZHAO Aishan¹, YU Chunhua²

(1. Gulang Characteristics of Fruit Industry Center, Gulang Gansu 733100, China; 2. Gulang Agricultural Technology Extension Center, Gulang Gansu 733100, China)

Abstract: According to the soil Cd contamination in Tumen Town Industrial Zone in Gulang county, *Cephalanoplos segetum* of the local adaptability as test material, through pot experiment with add exogenous cadmium in matrix, plant biomass, cadmium accumulation, extraction rate is determined, this paper studied the accumulation characteristics of *Cephalanoplos segetum* on heavy metal cadmium. The result indicates that the *Cephalanoplos segetum* of cadmium has certain enrichment, when soil Cd concentration is 15 $\mu\text{g/g}$, transfer coefficient and enrichment coefficient is the maximum, 5.14, 2.76, respectively. It can be used for cadmium pollution are less than 15 $\mu\text{g/g}$ in soil remediation.

Key words: Cadmium; *Cephalanoplos segetum*; Accumulation; Gulang county

镉在土壤中有稳定、积累和不易消除的特点, 且可通过食物链富集使人体慢性中毒^[1]。土壤中的镉超标会对植物造成毒害并使经济作物减产, 也会被植物吸收并进入食物链^[2]。人体通过食物链摄入过量的镉易引起前列腺癌、肾癌和“痛痛病”等疾病^[3]。植物修复技术是利用植物吸收、富集、降解或固定土壤中重金属离子或其它污染物, 以消除或降低污染程度、修复环境的综合环境生物技术, 有植物提取、植物挥发、植物稳定和植

物促进等技术^[4]。我们针对古浪县土门镇部分工业区出现的土壤镉污染, 选择了当地适应性强的刺儿菜, 添加外源镉进行盆栽试验, 通过测定植株的生物量、镉累积量、提取率等, 研究刺儿菜植株对重金属镉的富集性, 为利用刺儿菜吸收、富集土壤中的镉, 改善环境提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试的刺儿菜种子和土壤均采自古浪县土门

收稿日期: 2015-05-27

作者简介: 赵爱山(1977—), 男, 甘肃古浪人, 工程师, 主要从事林业技术推广应用及林果栽培管理技术。联系电话: (0)13884565805。

执笔人: 俞春花

[5] 王志华, 孙希生, 白峰. 不同处理浓度、处理时期和果实(红富士)采收期对 1-MCP 作用效果的影响[J]. 园艺学进展, 2003(6): 175-180.

“蜜脆”苹果冷藏效果的影响[J]. 果树学报, 2012, 29(3): 398-403.

[6] 李倩倩, 任小林, 安慧珍, 等. 1-MCP 和延迟预冷对

镇土门村。土壤取自土门镇土门村农田, 采用“S”形布点采样, 取样点为 15 个, 采样深度为 20 cm, 每个采样点的取样深度、采样量及上下层比例均相同。刺儿菜种子采集采用随机取样的方法, 在刺儿菜种子成熟后, 选择有代表性的样点, 随机选择一定数量的样株, 采集成熟的种子。

1.2 试验方法

1.2.1 试验方法

供试土壤镉含量为 0.17 $\mu\text{g/g}$, 小于国家土壤环境质量标准 (GB15618-1995), 将其作为不含镉的土壤, 即作为对照组。试验设 6 个处理, 处理 D1 (CK), 农田土不加外源; 处理 D2, 农田土加入外源镉, 镉浓度为 3 $\mu\text{g/g}$; 处理 D3, 农田土加入外源镉, 镉浓度为 15 $\mu\text{g/g}$; 处理 D4, 农田土加入外源镉, 镉浓度为 45 $\mu\text{g/g}$; 处理 D5, 农田土加入外源镉, 镉浓度为 75 $\mu\text{g/g}$; 处理 D6, 农田土加入外源镉, 镉浓度为 100 $\mu\text{g/g}$ 。每处理 3 次重复。土壤经自然风干, 使用前均过 2 mm 筛, 装入米氏盆, 每盆装土 10 kg。按处理设计浓度加入 CdSO_4 溶液, 充分混匀, 平衡 14 d,

选籽粒饱满的刺儿菜种子, 用 0.5 g/kg 高锰酸钾溶液消毒 10 min, 自来水中浸泡 6~8 h 后, 置于铺有滤纸的培养皿上覆纱布保湿, 25 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱内催芽。种子发芽后播种于米氏盆内, 播种时将盆内的土用去离子水一次性浇透, 播后在室内放置 3 d, 然后转移至室外管理。定期浇水, 并及时将盆底座内的渗漏液浇到盆内, 以减少误差。待根长至 1.0 cm 左右时带土移栽, 每盆定植 3~5 株。移栽时注意保护根系的完整以提高移栽的成活率, 移栽时将花盆里的土用去离子水一次性浇透同时保证盆栽的土壤平整、紧实以避免后期室外管理时造成土壤出现下陷的情况, 移栽完成后将幼苗在室内放置 3 d 后转移至室外管理。前 7 d 避免在阳光下暴晒造成移植的幼苗干枯死亡, 之后进行室外正常管理, 根据盆缺水情况不定期浇水, 使土壤含水量经常保持在田间持水量的 65% 左右。为防止处理液淋溶渗漏损失, 在盆下放置塑料托盘并及时将渗漏液倒回盆中, 90 d 后收获。收获后用原子吸收法测定植株地上及地下部分的镉含量, 为了减少土壤和植株本身镉含量带来的系统误差, 将对照组的处理液作为测定时的空白。

1.2.2 样品的采集及测定

植株生长大约 90 d 时采集, 采集过程中要尽量保证植株完整, 测定植

株长度(主茎+根), 将植株在实验室进行烘干, 地上和地下部分分别称量干重, 用粉碎机粉碎装入自封袋中备用。

植株样品消解: 用千分之一天平称取烘干、粉碎好的植株样 0.250 g 放入聚四氟乙烯管中, 加 5 mL 浓硝酸和 2 mL 双氧水, 加盖, 静置过夜。在微波消解仪中进行消解^[5], 消解程序为: 5 min 温度升至 75 $^{\circ}\text{C}$ 保持 10 min, 再 5 min 温度升至 130 $^{\circ}\text{C}$ 保持 10 min, 再 5 min 温度升至 180 $^{\circ}\text{C}$ 保持 20 min, 冷却至室温转移到 50 mL 容量瓶定容, 过滤转移到 25 mL 塑料瓶中置于冷箱中待测。用去离子水将消解液全部转移至 50 mL 容量瓶中, 定容后进行过滤。用原子吸收分光光度计 (ICE3300 原子吸收) 测定滤液中的镉含量, 计算植株样品中的镉含量。

1.2.3 土壤样品的测定

样品消解: 用千分之一天平称取土壤样品 0.200 0 g, 放入聚四氟乙烯管中, 加 6 mL 浓硝酸 2 mL 盐酸和 2 mL 氟化氢, 加盖, 静置过夜。在微波消解仪中进行消解。消解程序为: 5 min 温度升至 75 $^{\circ}\text{C}$ 保持 10 min, 再 5 min 温度升至 130 $^{\circ}\text{C}$ 保持 10 min, 再 5 min 温度升至 180 $^{\circ}\text{C}$ 保持 25 min, 冷却至室温转移到 50 mL 容量瓶定容。

用去离子水将消解液全部转移至 50 mL 容量瓶中, 定容后进行过滤。用原子吸收分光光度计 (ICE3300 原子吸收) 测定滤液中的镉含量, 计算土壤样品中的镉含量。

2 结果与分析

2.1 不同浓度外源镉对刺儿菜生长的影响

2.1.1 不同浓度外源镉对刺儿菜植株长度的影响

从表 1 可知, 土壤镉浓度在 0 $\mu\text{g/g}$ 、3 $\mu\text{g/g}$ 、15 $\mu\text{g/g}$ 和 45 $\mu\text{g/g}$ 时刺儿菜植株长度无显著差异, 说明土壤镉浓度在 0~45 $\mu\text{g/g}$ 时不影响刺儿菜的正常生长。刺儿菜植株长度在土壤镉浓度为 15 $\mu\text{g/g}$ 与 45 $\mu\text{g/g}$, 45 $\mu\text{g/g}$ 与 75 $\mu\text{g/g}$, 75 $\mu\text{g/g}$ 与 100

表 1 不同浓度外源镉下刺儿菜植株长度和干重

土壤镉浓度 ($\mu\text{g/g}$)	植株长度 (cm)	地上部干重 (g)	地下部干重 (g)
0	56.50 \pm 7.96 a	20.50 \pm 0.68 a	5.17 \pm 0.41 a
3	55.96 \pm 7.37 a	21.13 \pm 0.60 a	5.65 \pm 1.15 a
15	51.26 \pm 8.56 a	19.74 \pm 3.12 a	4.93 \pm 0.79 a
45	43.60 \pm 4.93 ab	12.63 \pm 3.82 b	3.03 \pm 0.72 b
75	34.18 \pm 7.52 bc	7.77 \pm 1.21 b	1.40 \pm 0.15 b
100	28.53 \pm 9.25 c	11.57 \pm 2.98 b	1.93 \pm 0.87 b

$\mu\text{g/g}$ 之间也无显著差异；土壤镉浓度为 $100 \mu\text{g/g}$ 时，刺儿菜植株长度与除 $75 \mu\text{g/g}$ 外的其余处理均存在显著差异；浓度为 $75 \mu\text{g/g}$ 的处理也与 $0 \mu\text{g/g}$ 、 $3 \mu\text{g/g}$ 、 $15 \mu\text{g/g}$ 处理的刺儿菜植株长度存在显著差异。说明土壤镉浓度大于 $45 \mu\text{g/g}$ 时，逐渐抑制刺儿菜植株的正常生长，植株长度降低，特别是 $100 \mu\text{g/g}$ 时严重影响刺儿菜植株长度的生长。

2.1.2 不同浓度外源镉对刺儿菜干重的影响 由表 1 可知，土壤镉浓度为 $3 \mu\text{g/g}$ 和 $15 \mu\text{g/g}$ 处理的刺儿菜地上部干重与对照无显著差异， $45 \mu\text{g/g}$ 、 $75 \mu\text{g/g}$ 和 $100 \mu\text{g/g}$ 镉处理之间也不存在显著差异，但 $45 \mu\text{g/g}$ 、 $75 \mu\text{g/g}$ 和 $100 \mu\text{g/g}$ 镉处理的与其他处理均有显著差异。土壤镉浓度在 $0 \sim 15 \mu\text{g/g}$ 时，刺儿菜地上部生物量无明显变化，说明在这个浓度范围内，刺儿菜地上部的生长不受土壤镉浓度大小的影响。当土壤镉浓度大于 $15 \mu\text{g/g}$ 时，刺儿菜地上部生物量有所下降，说明土壤镉浓度的增大对刺儿菜植株地上部的正常生长产生了抑制。刺儿菜地下部生物量呈现和地上部相同的变化趋势，结合地上和地下部生物量的变化可知，土壤镉浓度小于 $15 \mu\text{g/g}$ 时对刺儿菜的生长无影响，而当土壤镉浓度高于 $15 \mu\text{g/g}$ ，刺儿菜由于吸收的镉超过了自身所能容纳的限度，影响到了自身的生理代谢，因此生物量下降。

2.2 不同浓度外源镉对刺儿菜镉富集性的影响

2.2.1 不同浓度外源镉对刺儿菜镉积累量的影响

通过样品分析计算不同处理刺儿菜镉积累量^[6]，计算公式为：镉的积累量(μg)=刺儿菜中的镉含量($\mu\text{g/g}$) \times 刺儿菜的质量(g)

由表 2 可知，土壤镉浓度为 $75 \mu\text{g/g}$ 和 $100 \mu\text{g/g}$ 时植株地上部镉积累量无显著差异，其余处理之间都存在显著差异 ($p < 0.05$)，说明在不同

土壤镉浓度下，刺儿菜植株累积镉量不同。在土壤镉浓度为 $45 \mu\text{g/g}$ 时，刺儿菜地上部累积镉量最多，说明刺儿菜能有效的将重金属从土壤中转移到植株内，对修复镉污染土壤有一定的作用；但土壤镉浓度超过 $45 \mu\text{g/g}$ 时植株累积镉量逐渐下降，说明土壤镉浓度过高也抑制植株对镉的累积。

土壤镉浓度为 $45 \mu\text{g/g}$ 和 $75 \mu\text{g/g}$ 时，植株地下部镉积累量无显著差异，其余处理之间都存在显著差异 ($p < 0.05$)，在土壤镉浓度为 $100 \mu\text{g/g}$ 时，刺儿菜地下部累积镉量最大。刺儿菜植株镉积累量的总体变化趋势为地上部累积量高于地下部累积量。

2.2.2 不同浓度镉对刺儿菜镉富集系数和转移系数的影响 富集系数和转移系数是衡量超富集植株的重要指标，其计算方法如下：富集系数 BCF (Bioconcentration factor) = 地上部重金属含量 / 土壤重金属含量。转移系数 TF (Translocation factor) = 地上部重金属含量 / 地下部重金属含量。不同浓度镉对刺儿菜镉富集系数和转移系数见表 3。

由表 3 可知，刺儿菜地上部和地下部分重金属镉的含量均存在显著差异。总体变化趋势为刺儿菜植株地上部的镉含量呈现先增加后减少的趋势，在土壤镉浓度为 $75 \mu\text{g/g}$ 时刺儿菜地上部重金属镉的含量最高。而地下部镉含量呈现逐渐增加的趋势，说明植株地下部(根)对重金属镉的吸收比地上部较好。由表 3 可知，在 $3 \sim 75 \mu\text{g/g}$ 范围内，刺儿菜的富集系数和转移系数均大于 1，在 $15 \mu\text{g/g}$ 的处理下刺儿菜的富集系数和转移系数均达到最大，说明刺儿菜在土壤中镉浓度为 $15 \mu\text{g/g}$ 时富集性最好。土壤中镉浓度超过 $15 \mu\text{g/g}$ 后刺儿菜的富集系数和转移系数均出现下降的趋势，说

表 2 在不同浓度外源镉浓度下刺儿菜地上部和地下部镉积累量

处理编号	土壤镉浓度 ($\mu\text{g/g}$)	地上部镉积累量 (μg)	地下部镉积累量 (μg)
D1(CK)	0	0	0
D2	3	206.02 \pm 12.42 d	26.10 \pm 2.66 d
D3	15	1521.95 \pm 63.78 b	137.69 \pm 5.15 c
D4	45	1608.43 \pm 44.56 a	208.77 \pm 12.48 b
D5	75	1113.05 \pm 42.23 c	192.83 \pm 14.36 b
D6	100	1138.84 \pm 25.57 c	311.42 \pm 25.58 a

表 3 不同镉浓度处理的刺儿菜镉富集系数、转移系数和对镉的提取率

土壤镉浓度 ($\mu\text{g/g}$)	地上部镉含量 ($\mu\text{g/g}$)	地下部镉含量 ($\mu\text{g/g}$)	富集系数	转移系数	镉提取率 (%)
0	0	0			0
3	9.75 \pm 0.55 a	4.62 \pm 0.09 a	3.25	2.11	2.3
15	77.10 \pm 1.39 b	27.93 \pm 1.21 b	5.14	2.76	3.3
45	127.35 \pm 5.39 c	68.09 \pm 2.59 c	2.83	1.87	1.2
75	143.25 \pm 6.75 d	137.74 \pm 2.93 d	1.91	1.04	0.52
100	98.43 \pm 4.22 e	161.36 \pm 8.66 e	0.98	0.61	0.44

明土壤镉浓度过高会影响刺儿菜植株正常生长。在所有处理中刺儿菜对镉的富集系数均大于其转移系数,这说明刺儿菜对重金属镉的吸收能力要大于其转移能力。因此,刺儿菜比较适用于在土壤镉浓度为 0~45 $\mu\text{g/g}$ 的镉污染区进行重金属的植物修复。

2.2.3 刺儿菜植株对重金属镉的提取率 利用植物修复重金属污染的土壤不仅要具备转移系数和富集系数高,其生物量是极为重要的因素。只有植物体内积累的重金属浓度大,生物量高,植物收获后从土壤中提取的重金属多,才能有较好的净化作用。植物修复重金属能力的大小与植物体内重金属的含量及生物量有直接关系,通常用重金属提取率来表征。重金属提取率是指植物积累重金属的量与土壤中同种重金属量的比值,即: $MER = (\text{镉在植株的总量} / \text{镉在土壤中的总量}) \times 100\%$ 。

根据表 3 可知,刺儿菜对重金属镉的提取率呈现先增大后减小的变化趋势,在土壤镉浓度为 15 $\mu\text{g/g}$ 时,提取率最高;土壤镉浓度大于 15 $\mu\text{g/g}$ 时,刺儿菜对重金属镉的提取率逐渐下降;土壤镉浓度为 100 $\mu\text{g/g}$ 时提取率最小。土壤镉浓度 15 $\mu\text{g/g}$ 处理比 3 $\mu\text{g/g}$ 处理提高了 43%,比 45 $\mu\text{g/g}$ 处理提高了 175%,说明土壤镉浓度在 15 $\mu\text{g/g}$ 时植株对镉的提取率最高,在 0~15 $\mu\text{g/g}$ 内不影响刺儿菜植株正常生长,刺儿菜植株能很好的吸收重金属镉。而土壤镉浓度超过 15 $\mu\text{g/g}$ 时,刺儿菜植株对重金属镉的提取率下降,说明土壤镉浓度增大会抑制植株正常生长,从而影响了植株对重金属镉的提取能力,最终导致刺儿菜植株对重金属镉的提取率下降。

3 小结与讨论

1) 通过测定分析可知,土壤镉浓度在 0~15 $\mu\text{g/g}$ 时,刺儿菜生物量无明显变化;土壤镉浓度在 0~45 $\mu\text{g/g}$ 时不影响刺儿菜的正常生长,植株长度之间无显著变化;土壤镉浓度大于 45 $\mu\text{g/g}$ 时,逐渐抑制刺儿菜植株的正常生长,特别是 100 $\mu\text{g/g}$ 时严重影响刺儿菜植株长度的生长,其原因可能是土壤镉浓度的增大致使植株根部吸收养分的能力下降,叶绿素含量减少,光合作用和呼吸作用都受到一定的影响。

2) 在土壤镉浓度为 45 $\mu\text{g/g}$ 时,刺儿菜植株地上部累积镉量最多;当土壤镉浓度超过 45 $\mu\text{g/g}$ 时植

株累积镉量逐渐下降,说明土壤镉浓度过高抑制植株地上部对重金属镉的累积。土壤镉浓度为 100 $\mu\text{g/g}$ 时,刺儿菜地下部累积镉量最大,主要是根部镉含量高,因此累积的镉量多。

3) 刺儿菜的富集系数和转移系数在一定范围内都随着土壤中镉浓度的增加而呈现先增加后减少的趋势,富集系数均大于转移系数,这说明刺儿菜的富集能力要大于其转移能力。对于污染重金属元素镉而言,刺儿菜在 0~45 $\mu\text{g/g}$ 的浓度范围内具有较好的富集能力和修复能力,其富集系数和转移系数都大于 1;当土壤中镉浓度大于 15 $\mu\text{g/g}$ 时,刺儿菜的干重和修复能力就会出现下降趋势。因此刺儿菜适合在镉浓度小于 45 $\mu\text{g/g}$ 的土壤中栽培,其对重金属镉的吸收能力也达到最佳。

4) 刺儿菜对重金属镉的提取率呈现先增大后减小的变化趋势。土壤镉浓度为 15 $\mu\text{g/g}$ 时,提取率最高;土壤镉浓度大于 15 $\mu\text{g/g}$ 时,刺儿菜对重金属镉的提取率逐渐下降。说明土壤镉浓度过高显著影响刺儿菜植株对重金属镉的提取能力,同时也说明刺儿菜对一定程度镉污染土壤浓有修复作用。而土壤镉浓度过高,就会抑制刺儿菜的正常生长,其修复能力也显著降低。

综上所述,土门镇当地植物刺儿菜对重金属污染的土壤具有一定的修复能力,在重金属镉污染小于 15 $\mu\text{g/g}$ 的地区,大量种植刺儿菜植物对改良环境具有重要意义。

参考文献:

- [1] 陈凌. 镉污染土壤的植物修复[J]. 环境污染与防治, 2009, 1(1): 161-168.
- [2] 徐良将, 张明礼, 杨浩. 土壤重金属镉污染的生物修复技术研究进展[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2011, 34(1): 102-106.
- [3] 范迪富, 吴新民, 陈宝, 等. 土壤有毒元素镉污染修复方法探讨[J]. 江苏地质, 2005, 29(1): 32-36.
- [4] 骆永明. 金属污染土壤的植物修复[J]. 土壤, 1999, 31(5): 261-265.
- [5] 田阳, 魏帅, 魏益民, 等. 稻谷加工产物的镉含量及累积量分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(5): 186-191.
- [6] 梁丁月, 郭晓红, 张伯尧. 微波消解法与国标法测定蔬菜中铅和镉含量的比较[J]. 甘肃农业科技, 2008(7): 19-21.