

钾铅组合对延胡索生长及其不同器官干物质积累特点的影响

李云跃¹, 刘正学*, 冯传果¹, 吴馨怡¹, 郑浩然¹, 李红燕¹, 李婷婷²

(1. 三峡库区道地药材绿色种植与深加工重庆市工程实验室, 重庆三峡学院, 重庆 404100;

2. 重庆市万州区生态环境监测站, 重庆 404100)

摘要: 采用盆栽试验, 通过测定延胡索植株内铅含量、地上植株及地下块茎的生物量, 研究了不同钾铅浓度组合对延胡索 (*Corydalis yanhusuo* W. T. Wang) 生长及其不同器官干物质积累过程的影响。结果表明: 总体上低铅和高铅处理土壤延胡索地上部分和地下部分生物量与空白对照相比均有增加, 其中低铅处理的地上部分增加了 16.26%、地下部分增加了 13.44%, 高铅处理的地上部分增加了 10.26%、地下部分增加了 7.40%。钾肥的施加能够缓解铅的生物毒性, 使延胡索生物量增加。延胡索地上和地下部分中钾处理的生物量对比未施加钾肥处理, 在低铅和高铅处理中均有增加, 分别增加了 18.67%、35.97%、29.24%、46.78%。同时, 延胡索不同部位铅的积累量地下部分与地上部分总体差异显著。即地下部分呈现随时间逐渐减小的趋势, 而地上部分随时间先增加后降低的趋势。且中钾处理的地上和地下部分在低铅处理中分别比未施加钾肥处理的铅含量降低了 44.08%、53.37%, 在高铅处理中则分别降低了 28.26%、14.07%。因此在延胡索规范化种植中应在保证其铅积累量不超标的前提下, 尽量选择含低铅的土壤, 试验条件下增施 200 mg kg⁻¹ 钾肥可缓解重金属对药用植物的毒害, 提高产量。

关键词: 延胡索; 铅积累量; 钾; 生物毒性

中图分类号: S567.21+9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2021)01-0117-06

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2020022501

李云跃, 刘正学, 冯传果, 吴馨怡, 郑浩然, 李红燕, 李婷婷. 钾铅组合对延胡索生长及其不同器官干物质积累特点的影响 [J]. 土壤通报, 2021, 52(1): 117-122

LI Yun-yue, LIU Zheng-xue, FENG Chuan-guo, WU Xin-yi, ZHENG Hao-ran, LI Hong-yan, LI Ting-ting. Effect of Potassium-Lead Coupling Treatments on the Growth of *Corydalis yanhusuo* and Dry Matter Accumulation in different organs of the Plant [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(1): 117-122

铅 (Pb) 是植物生长的非必需元素, 当土壤 Pb 含量超标时, Pb 会毒害中药材, 降低产量^[1]。常用的大宗药材之一延胡索, 别名元胡、玄胡索、玄胡, 为罂粟科紫堇属一年生草本植物, 广泛栽培在我国安徽、江苏、浙江等地区, 其地下块茎入药, 有行气、活血、止痛的作用^[2]。延胡索容易受 Pb 毒害, 生长缓慢、植株矮小等是其伤害症状^[3], 影响严重的是产量, 人食用含铅多的延胡索块茎后, 有安全隐患。铅在植物中, 尤其是药用植物中的积累情况已经受到人们的关注。植物受到来自土壤中的铅胁迫后, 施加外源物质是否可以减轻其对重金属的吸收、积累作用, 是目前研究的热点。

研究表明钾 (K) 是植物生长发育所必需的营养元素, 施钾肥可使中药材药用品质和产量提高。目

前, 较多研究主要集中在土壤中重金属含量对中药材富集重金属的影响^[4-7], 但较少研究增施钾肥对重金属污染土壤中减少中药材重金属含量的影响。

本研究以延胡索为试验对象, 研究不同钾铅组合下, 钾铅对延胡索生长及不同器官干物质累积特点的影响, 为延胡索药用质量和规范化种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料: 延胡索 (*Corydalis yanhusuo* W. T. Wang) 块茎, 由 2018 年 8 月浙江省东阳市农业局提供, 从中选取大小基本一致的块茎备用^[1]。盆栽土壤取当地大田耕层, 其养分状况为有机质量: 5.6 g kg⁻¹,

收稿日期: 2020-02-25; 修订日期: 2020-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41301248) 和重庆市应用开发计划项目 (cstc2018jscx-mszd0294) 资助

作者简介: 李云跃 (1997-), 女, 汉族, 湖南益阳人, 在读硕士研究生, 主要从事植物生态学研究。E-mail: 754086258@qq.com

*通讯作者: E-mail: 1421031367@qq.com

全氮: 2.3 g kg⁻¹, 水解氮: 12.58 mg kg⁻¹, 速效钾: 50.34 mg kg⁻¹, 速效磷: 11.34 mg kg⁻¹, 总铅: 13.4 mg kg⁻¹; 总体上适宜延胡索的生长。

供试药品: K₂SO₄ 和 Pb(NO₃)₂ 均为分析纯, 购于成都化学试剂厂。

1.2 方法

试验设铅、钾用量两个因素; 铅用量依据《土壤环境质量标准-GB 15618—1995》中铅的土壤等级划分标准(土壤一、二级标准, pH < 6.5^[8] 确定, 分别为低铅 50 mg kg⁻¹ (Pb₁) 和高铅 200 mg kg⁻¹ (Pb₂) 2 个水平。

钾用量设低钾 100 mg kg⁻¹ (K₁)、中钾 200 mg kg⁻¹ (K₂)、高钾 400 mg kg⁻¹ (K₃) 3 个水平。以不施钾和铅处理为对照 (Pb₀K₀), 共 9 个处理, 具体处理见表 1; 每个处理每次需要 3 盆(重复 3 次), 且需采样 5 次, 一共 135 盆。

表 1 试验中钾铅组合处理组

Table 1 Concentration of potassium-lead coupling treatments

处理 Treatment	铅 (mg kg ⁻¹) Lead	钾 (mg kg ⁻¹) Potassium
Pb ₀ K ₀	0	0
Pb ₁ K ₀	50	0
Pb ₁ K ₁	50	100
Pb ₁ K ₂	50	200
Pb ₁ K ₃	50	400
Pb ₂ K ₀	200	0
Pb ₂ K ₁	200	100
Pb ₂ K ₂	200	200
Pb ₂ K ₃	200	400

试验在重庆三峡学院百安坝校区的科研基地进行。2018 年 10 月 1 日播种; 延胡索块茎经事先消毒处理, 每盆播种 5 粒。播种之前施基肥, 施用量为尿素 N 300 mg kg⁻¹, 磷酸钙 P₂O₅ 120 mg kg⁻¹。定期检查延胡索生长情况, 定期浇灌蒸馏水和进行常规人工管理, 避免其它干扰^[1]。

从播种后 150 d (2019 年 3 月 6 日) 开始取样, 期间每隔 15 d 取样一次, 直到 2019 年 5 月 5 日采收结束, 共采样 5 次; 采取的样本为延胡索根基土壤及其延胡索植物体。采取的样本用于测定延胡索植株生物量及其不同器官组织的铅含量。

1.3 指标测定

1.3.1 生物量的测定 小心取延胡索植株及地下块茎, 用自来水清洗干净后, 再用去离子水冲洗。将延胡索地上与地下部分区分后, 分别用烘干称重法测定生物量^[9]。

1.3.2 延胡索地上与地下部分铅含量的测定 样品经微波消解后测定其重金属铅含量, 具体方法如下: 先将延胡索地上与地下部分分别烘干称重, 碾磨成粉状后精确称取各样品 0.2000 g, 加入酸液(浓 HNO₃: 浓 H₂SO₄ = 4: 1), 同时做空白组; 用 MARS240 微波消解系统消解以上溶液后, 冷却, 过滤(滤液在 25 ml 容量瓶中定容)^[10-11], 保存在塑料瓶中, 样品中 Pb 含量 (mg kg⁻¹ 干重) 用 AA-6300 原子吸收分光光度计测定^[12]。

1.3.3 数据计算 不同部位对重金属的富集系数 (BCF) = 不同部位重金属量/土壤中重金属量^[8]; 耐性指数 (TI) = 重金属处理植物的生物量/对照植物的生物量^[8]; 延胡索铅累积量 = 不同部位含铅量 × 相应部位干质量^[8]。

1.3.4 数据处理 方差分析 (ANOVA) 和 LSD 检验采用 SPSS 16.0 进行。结果用 3 次重复的 $\bar{x} \pm s$ 表示^[8]。

2 结果与分析

2.1 钾铅组合对延胡索生物量的影响

延胡索不同部位(地上部分、地下部分)干物质积累在不同钾铅组合处理下都随时间而出现明显的动态变化, 过程见图 1。由图 1 可知, 胡索地上部分、地下部分的干物质积累规律基本一致, 均为“S”型。未加钾肥时, 2 种铅添加土壤的延胡索地上部分和地下部分生物量与对照相比均有提高。其中低铅处理的地上部分增加了 16.26%、地下部分增加了 13.44%, 高铅处理的地上部分增加了 10.26%、地下部分增加了 7.40%。低铅和高铅处理土壤增施钾肥后延胡索地上部分和地下部分生物量均增加, 而且低铅和高铅处理土壤增施钾肥浓度为 200 mg kg⁻¹ 时生物量最大, 这与王小晶的研究一致^[13]。低铅处理中延胡索地上和地下部分中钾处理的生物量对比未施加钾肥处理分别增加了 18.67% 和 35.97%, 高铅处理中地上和地下部分中钾处理的生物量对比未施加钾肥分别增加了 29.24% 和 46.78%。4 月下旬延胡索地上部分开始枯萎, 生物量降低。5 月初地下部分生物量变化不大。

2.2 钾铅组合铅在延胡索不同部位的积累情况

延胡索不同部位铅的积累量在不同钾铅组合背景值下的地下部分与地上部分总体差异显著。即地下部分呈现随时间逐渐减小的趋势, 而地上部分先升后降, 见图 2。与对照相比, 铅添加土壤延胡索地

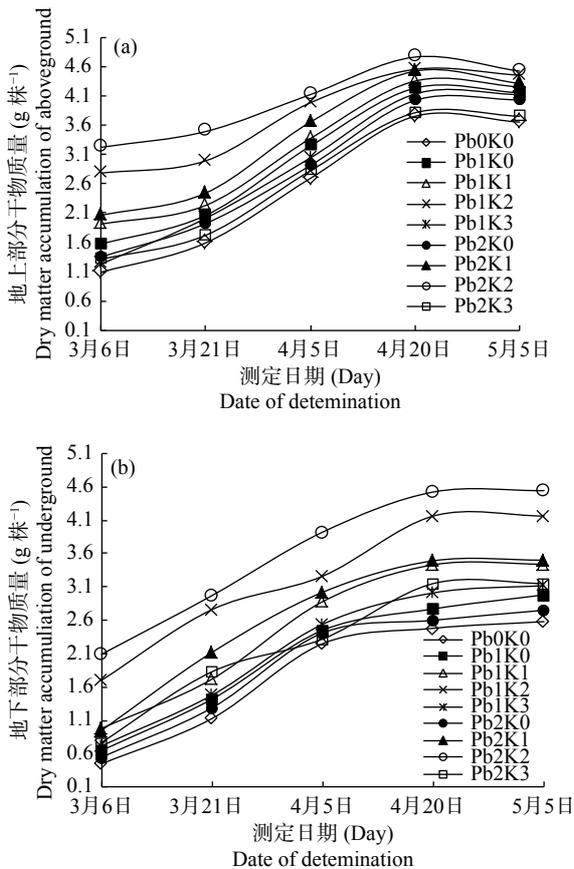


图1 K与Pb组合下对延胡索地上部分(A)、地下部分(B)干物质质量的影响

Fig.1 Effect of potassium-lead coupling treatments on dry matter accumulation of aboveground (A) and underground (B) *C. yanhusuo*

上部分与地下部分铅含量显著增加; 在低铅处理土壤上增施钾肥, 延胡索地下部分的铅含量均低于对照。高铅处理土壤钾肥添加量为 200 mg kg^{-1} 时, 延胡索地下部分铅量比不施钾肥处理显著降低。这与王东等^[4]的研究一致。对比未施加钾肥时, 低铅处理的地上和地下部分在施加三种水平的钾肥后铅含量均有下降, 但是中钾处理的铅含量下降最多, 且高铅处理的结果一致; 中钾处理的地上和地下部分在低铅中分别比未施加钾肥处理的铅含量降低了 44.08% 和 53.37%, 在高铅中则分别降低了 28.26% 和 14.07%, 证明中钾的缓解效果最好。从图中可以看出延胡索在不同处理情况下其生长过程中铅的积累量有十分显著的差异。植株地下部分(块茎)铅积累量在高铅下总体大于低铅(相同钾素水平)。铅积累量在中钾小于高低钾水平(相同铅素水平)。相同钾素水平下, 植株地上部分铅积累量高铅总体大于低铅。相同铅素水平, 高低钾大于中钾水平下

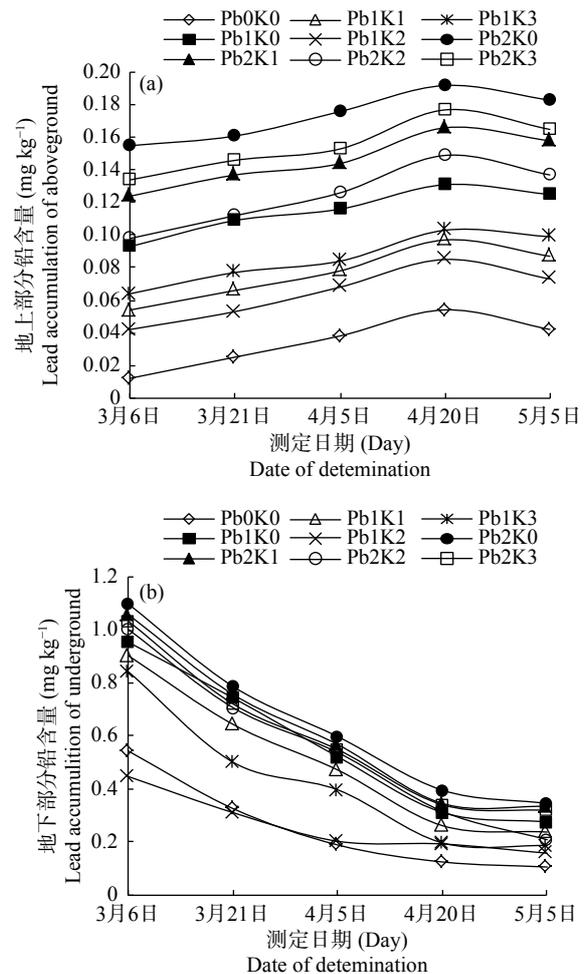


图2 Pb在延胡索地上部分(A)、地下部分(B)中的动态积累情况

Fig.2 Dynamic accumulation of lead in the aboveground (A) and underground (B) *C. yanhusuo*

的铅积累量。对比高低钾处理, 中钾的铅含量最低说明了中钾对铅的解毒作用最大。

就采收时地下部分(块茎)的铅积累量看(表2), 高钾高铅、低钾高铅分别比中钾高铅高出 8.2%、17.74%, 高钾低铅、低钾低铅分别比中钾低铅处理高出 26.03%、44.14%。高钾高铅、中钾高铅、低钾高铅分别比高钾低铅、中钾低铅、低钾低铅处理高出 42.29%、53.52%、31.55%。这与王小晶等^[13]的研究结果一致。

以上结果说明某种程度上钾与铅之间存在拮抗关系, 而且在中钾水平时, 钾对铅的拮抗作用最大。总体来看, 铅元素在延胡索地下部分的积累量与钾的施加量呈负相关; 就采收时地上部分的铅积累量看(表2), 相同钾肥水平条件下, 高铅下植株地上部分铅积累量总体大于低铅下的积累量。相同铅素

水平下, 中钾小于高低钾水平下的铅积累量。说明中钾 (200 mg kg^{-1}) 解毒作用最大。就采收时地上部分的铅积累量看, 其大小顺序为无钾高铅 > 高钾高铅 > 低钾高铅 > 中钾高铅 > 无钾低铅 > 高钾低铅 > 低钾低铅 > 中钾低铅 > 对照。耐性指数是指植物在重金属处理的不同部位生物量与对照处理的生物量之比, 能反映所选植物对重金属的耐受情况。分析其耐性系数可知, 在低铅的情况下, 地下部分耐受

铅的能力大于地上部分, 表明延胡索利用地下部分器官在低铅背景值下对铅进行积累。从富集系数看, 延胡索对于铅的积累能力为地下部分 > 地上部分。在采收期, 地下部分铅积累未超过 5.0 mg kg^{-1} , 即 $\text{Pb} < 5.0 \text{ mg kg}^{-1}$, 依据:《药用植物制剂进出口绿色通道行业标准》, 2011 年, 延胡索地下部分铅含量未超标, 食用是安全的。

表 2 铅在延胡索地上与地下部位的积累情况(采收期)
Table 2 Accumulation of lead in the aboveground and underground *C. yanhusuo* at harvest period

处理 Treatment	耐性指数 Tolerance index		富集系数 Bioconcentration factor		铅积累量 (mg) Lead accumulation	
	地下部分 Underground	地上部分 Aboveground	地下部分 Underground	地上部分 Aboveground	地下部分 Underground	地上部分 Aboveground
	Pb ₀ K ₀	1.000 ± 0.015 a	1.000 ± 0.004 a	0.008 ± 0.002 a	0.005 ± 0.024 a	0.255 ± 0.040 a
Pb ₁ K ₀	1.041 ± 0.031 a	1.010 ± 0.006 b	0.006 ± 0.011 a	0.003 ± 0.027 b	0.767 ± 0.010 b	0.521 ± 0.030 a
Pb ₁ K ₁	1.209 ± 0.005 c	1.051 ± 0.009 d	0.005 ± 0.024 b	0.003 ± 0.030 a	0.768 ± 0.010 c	0.405 ± 0.010 b
Pb ₁ K ₂	1.500 ± 0.007 a	1.200 ± 0.014 b	0.002 ± 0.027 c	0.001 ± 0.014 c	0.429 ± 0.050 a	0.401 ± 0.010 a
Pb ₁ K ₃	1.164 ± 0.006 b	1.051 ± 0.027 a	0.003 ± 0.022 b	0.002 ± 0.013 a	0.580 ± 0.030 b	0.413 ± 0.050 c
Pb ₂ K ₀	1.041 ± 0.002 a	1.020 ± 0.015 d	0.002 ± 0.021 b	0.001 ± 0.005 b	0.963 ± 0.030 c	0.774 ± 0.080 a
Pb ₂ K ₁	1.254 ± 0.025 c	1.066 ± 0.007 b	0.001 ± 0.023 d	0.000 ± 0.026 d	1.122 ± 0.020 b	0.703 ± 0.020 a
Pb ₂ K ₂	1.657 ± 0.011 c	1.144 ± 0.001 b	0.001 ± 0.020 b	0.000 ± 0.021 a	0.923 ± 0.220 c	0.673 ± 0.010 a
Pb ₂ K ₃	1.175 ± 0.001 b	1.025 ± 0.005 b	0.002 ± 0.022 c	0.000 ± 0.016 d	1.005 ± 0.120 b	0.717 ± 0.020 a

注: a.b.c.d不同字母表示统计学差异 ($P < 0.05$)

2.3 土壤的铅、钾添加含量与延胡索铅积累量和产量的偏相关分析

对取样前土壤铅、钾添加量与采收时延胡索地上部分、地下部分器官含铅量及其产量进行相关性分析, 结果如表 3 所示。经偏相关分析, 土壤铅添加量与延胡索地上和地下部分铅的积累量呈正相关关系, 与块茎的生物产量呈负相关关系; 其中土壤铅添加量和延胡索地上部分的铅含量呈显著正相关, 和延胡索生物产量呈极显著负相关。土壤钾肥添加量与延胡索地上部分铅含量呈显著正相关, 与块茎

的生物量呈极显著正相关, 与地下部分铅含量呈负相关。从地下部分的铅含量与土壤铅添加量和土壤中钾添加量的相关系数中可以得出, 地下部分铅的积累量与土壤中铅添加量具有显著的正相关性, 在中钾 (K_2) 背景下会导致地下部分 (根) 减少对铅的吸收, 并且使根中的一部分重金属元素转移至其它部位。从块茎干质量与土壤中铅和钾肥的相关系数上看, 钾肥的施加的确能够使块茎干质量增加, 在一定程度上缓解了铅对块茎生长的抑制。

表 3 土壤铅、钾添加量与延胡索积累量和产量的偏相关系数

Table 3 Partial correlation coefficients between soil lead content, soil potassium content and the accumulation of lead in *C. yanhusuo* and its yield

	地上部分铅含量 Content of lead in aboveground plant	地下部分铅含量 Content of lead in underground plant	块茎干质量 Dry weight of tuber
土壤铅添加量	0.642*	0.321	-0.824**
土壤钾添加量	0.625*	-0.453	0.825**

注: *表示显著性差异为 $P < 0.05$, **表示显著性差异为 $P < 0.01$

3 讨论

在相同钾素水平下, 植株地上与地下部分干物质积累受高铅抑制。铅对植物生长的毒害作用已有

报道, 本实验也表明: 当铅素为 50 mg kg^{-1} , 钾素为 200 mg kg^{-1} 、 400 mg kg^{-1} 时, 地下干物质积累量均显著大于对照。说明低铅条件下, 地下部分干物质

的积累的增加与钾素水平有关, 而缓解铅素对延胡索的抑制作用也与钾素有关。

植株在高铅下促进铅在植株不同部分的积累, 植物地下部分在中钾抑制铅的吸收和积累, 而在地上部分促进铅的积累。当铅为 50 mg kg^{-1} , 钾为 200 mg kg^{-1} 时, 地下部分(块茎)中铅的积累量略低于对照。表明铅在地下部分(块茎)的积累在低铅中钾下较少。铅在植物生长前期主要集中在地下部分, 铅在后期主要集中在地上部分。可能是植株与土壤接触, 后期植株将毒害元素向上转移, 不断由地下部分转运到地上部分, 以保证自身正常生长或存活。可能后期, 植物为了阻止对铅的吸收, 降低地下部分铅含量, 一方面通过自身生理代谢抑制铅的毒害作用, 另一方面是植株适应外界环境胁迫, 而添加钾尤其是 200 mg kg^{-1} , 铅的抑制作用被缓解。

本实验结果表明, 浓度相关性是在不同生长期铅对延胡索的影响特征。其生长过程中钾铅组合对其有较大影响的是生长前期, 但对生长后期铅的积累量差异变小, 与延胡索内稳态的形成有关, 钾素的添加对植株有缓解毒性的作用, 其中中钾的缓解作用最大。本实验只考虑了钾素的使用量与铅组合的作用, 未考虑其他无机元素, 例如铁、铜、磷、硫等与植物对重金属的富集能力也有关^[15]。在富含铅的土壤中, 如何尽量减少块茎中的铅积累量, 又能保证其正常生长还需要结合以上所述无机元素。尽量选择含铅量低的土壤种植延胡索, 而在钾素的施用中需要注意其用量。

4 结论

(1) 总体上低铅和高铅添加土壤的延胡索地上与地下部分生物量与空白对照相比均有增加。

(2) 钾肥的施加能够缓解铅对延胡索的生物毒性, 使延胡索地上与地下部分生物量增加。

(3) 延胡索不同部位铅的累积量地下部分与地上部分总体差异显著。即地下部分铅累积量呈现随时间逐渐减小的趋势, 而地上部分随时间先增加后减少的趋势。

参考文献:

- [1] 潘杰, 周经国, 刘雷, 等. 钾肥对铅胁迫延胡索幼苗生长及药用品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(4): 149 - 152.
- [2] 黄道恒. 本草传奇[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2015.
- [3] 余顺慧, 蒙明珠, 潘杰. 氮肥和钾肥对铬污染土壤延胡索幼苗生长及品质的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(10): 61 - 68.
- [4] 周守标, 李思量. 重金属污染下植物生理生态反应及富集机制的研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2007, 30(3): 331 - 337.
- [5] 姚慧, 蔡庆生. 缓解植物重金属胁迫伤害的途径及其机理[J]. 浙江农业科学, 2011, (1): 144 - 147.
- [6] 陈雪梅, 姚婧, 王友保, 等. 外源钾对铜胁迫三叶草种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2008, 31(5): 464 - 468.
- [7] 李国军, 李华, 狄贞珍, 等. 不同钾水平对幼苗期玉米铬的吸收和生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(11): 2246 - 2250.
- [8] 刘月秋, 陈兴福, 杨文钰, 等. 氮铬耦合下铬在泽泻中的动态积累规律及其对泽泻生长的影响[J]. 中草药, 2012, 43(5): 978 - 983.
- [9] 毛雪飞, 何金娇, 韩忠康, 等. 铅胁迫对金银花生长、生理及积累特性的影响[J]. 东北农业科学, 2019, 44(05): 69 - 75+87.
- [10] 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. 食品中铅的测定 GB 5009. 12-2017 [S]. 2017.
- [11] 李新, 刘正学, 余顺慧, 等. 铬胁迫对黄豆生理特性的FTIR研究和铬积累特征[J]. 中国农学通报, 2018, 34(4): 27 - 31.
- [12] 范彩玲. 分析化学(第二版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
- [13] 王小晶, 陈怡, 唐静, 等. 钾肥对铅污染土壤白菜生长及品质的效应[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(2): 315 - 319.
- [14] 王东, 周冀衡, 柳均, 等. 施用钾肥对烟草铅量吸收的影响[J]. 作物研究, 2009, 23(3): 177 - 180.
- [15] 张静, 余顺慧, 祁俊生, 等. 钙和钾对延胡索幼苗镉毒害的缓解作用[J]. 草业学报, 2017, 26(8): 123 - 130.

Effect of Potassium-Lead Coupling Treatments on the Growth of *Corydalis yanhusuo* and Dry Matter Accumulation in different organs of the Plant

LI Yun-yue¹, LIU Zheng-xue^{*}, FENG Chuan-guo¹, WU Xin-yi¹,
ZHENG Hao-ran¹, LI Hong-yan¹, LI Ting-ting²

(1. Chongqing Engineering Laboratory for Green Planting and Deep Processing of Genuine Medicinal Materials in Three Gorges Reservoir Region, Three Gorges University, Chongqing 404100, China; 2. Ecological Environment Monitoring Station of Wanzhou District, Chongqing 404100, China)

Abstract: The effects of combination application of potassium (K) and lead (Pb) at different concentrations on Pb accumulation in different organs of *Corydalis yanhusuo* and its growth were investigated by using a pot experiment. The accumulation of Pb in *C. yanhusuo* plant and its above- and under-ground biomass were measured. Compared with the soil without the application of Pb and K, the biomass of above- and under-ground plant was increased by 16.26% and 13.44% in the soil with low Pb background, and by 10.26% and 7.40% in the soil with high Pb background, respectively. While the K application alleviated the Pb biological toxicity and led to the growth of *C. yanhusuo* normally. Compared with the treatment without K application, the biomass of above- and under-ground plants in the medium K treatment was increased by 18.67% and 35.97% under the low Pb background of soil, respectively, and was increased by 29.24% and 46.78% under the high Pb background of soil, respectively. At the same time, the accumulation of Pb in different parts of *C. yanhusuo* showed a significant difference between the above- and under-ground plants. The Pb accumulation in under-ground plant was decreased with time, while that in above-ground plant was increased first and then decreased with time. Compared with the treatment without K application, the medium K treatment decreased the Pb contents of above- and under-ground plants by 44.08% and 53.37% under the low Pb background of soil, respectively, and by 28.26% and 14.07% under the high Pb background of soil, respectively. Therefore, in the standardized planting *C. yanhusuo*, it is better to choose soil with low Pb content as the planting areas, while increasing 200 mg kg⁻¹ K-fertilizer could alleviate oxidative damage of heavy metal to medicinal plants and improve the yield.

Key words: *Corydalis yanhusuo*; Lead accumulation; Potassium; Biological toxicity

[责任编辑: 张玉玲]