

茶叶中重金属的残留与累积的动态特征

茶叶中有毒重金属元素 (如 Cu、Pb、Cr 和 Cd 等) 超标, 不仅影响茶叶口感, 降低其营养价值和品质, 而且威胁人体健康. 本文通过水培试验, 以培养时间和添加重金属浓度水平为尺度, 研究重金属在茶叶中的残留和累积动态特征.

1 茶苗的培养和样品测定

茶树培养标准营养液与重金属浓度的处理水平见表 1 与表 2.

表 1 茶树培养标准营养液配方

元素	来源物分子式	浓度 /mg · l ⁻¹	元素	来源物分子式	浓度 /mg · l ⁻¹
铵态氮	(NH ₄) ₂ SO ₄	30	B	H ₃ BO ₃	0.1
硝氮态	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	10	Mn	MnSO ₄ · H ₂ O	1.0
P	KH ₂ PO ₄	3.1	Zn	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.1
K	KH ₂ PO ₄ , K ₂ SO ₄	40	Cu	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.025
Ca	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O, CaCl ₂	30	Mo	Na ₂ MoO ₄ · 4H ₂ O	0.05
Mg	MgSO ₄ · 7H ₂ O	25	Al	Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18H ₂ O	10.8
Fe	Fe-EDTA	0.35			

表 2 重金属的处理水平及来源 /mg · l⁻¹

处理元素 来源物分子式	Cd/Cd (NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	Cr/K ₂ Cr ₂ O ₇	Cu/CuSO ₄	Pb/PbCl ₂
对照 (CK)	0	0	0	0
1	2.50	12.5	150	12.5
2	5	25	300	25
3	7.5	37.5	450	37.5
4	10	50	600	50
茶叶中重金属限量值 /mg · kg ⁻¹	1	5	60	5

茶苗的预培养 茶苗为“平阳特早”(一年生), 采自重庆茶叶研究所. 将大小、株高相近的茶苗在清水中饥饿处理一周, 在容积为 5 L 的塑料桶里加入 2 L 纯营养液 (pH 值 6.0, 见表 1), 2 L 去离子水, 每桶定植 4 株, 预培养 3 个月. 培养期间每周更换一次营养液, 每天定时通气, 定期观察各处理植株的生长情况.

水培实验 在培养液中加入不同处理浓度的重金属离子混合液 (见表 2), 设置 5 个浓度处理, 每个处理重复 2 次. 每桶加入 3 L 纯营养液, 1 L 重金属处理溶液, 对照 (CK) 则用 1 L 去离子水代替重金属处理液.

采样和重金属测定 在不同处理条件下培养茶苗, 培养时间分别为 10、15、20 和 30 d. 采集茶苗的根、茎和嫩叶三个部位样品, 用去离子水冲洗干净, 在干燥箱中 80 左右烘干杀青 3—4 h, 取出后用玻璃研钵磨碎, 混合酸 (HNO₃-HClO₄) 浸提, 远红外消煮炉上消煮, 定容, 原子吸收分光光度法 (AAS) 测定茶苗样品中的重金属含量.

2 茶苗不同部位吸收累积重金属的差异

表 3 给出了茶苗培养 20 d 后各部位重金属的含量. 由表 3 可以看出, 茶苗各部位中重金属的含量均随水培液中重金属加入量的增加呈升高趋势. 与对照相比, 处理 1 中茶苗根部 Cr 含量增加近 58 倍, 茶叶中 Cr 含量只增加 3 倍, 叶片中 Cr 增加量仅为根部增加量的 5.1%, 而茎部 Cr 含量增加 4 倍左右; 处理 2 中茶苗的根、茎和叶中 Cr 含量分别为对照的 86 倍、6 倍和 5 倍左右, 叶片中 Cr 增加量仅为根部增加量的 5.8%; 处理 3 中茶苗根、茎和叶的 Cr 增加量分别为对照的 119 倍、6 倍和 5 倍, 叶片中 Cr 增加量是根部增加量的 4.2%; 处理 4 中根、茎和叶中 Cr 增加量分别为对照的 122 倍、16 倍和 15 倍, 其中叶片中 Cr 增加量仅为根部增加量的 12%. Cd、Cu 和 Pb 三种重金属在茶苗各部位的吸收累积也有类似的变化趋势, 即累积顺序为: 根 > 茎 > 叶.

结果表明, 四种重金属在茶苗体内的活性均较低, 大部分被根部吸收固定, 向地上部转移的量比较少, 其中以 Cr 元素的活性最低, 重金属从根部向叶片的平均迁移量仅为 6% 左右, 说明茶苗的根最易受到重金属的毒害, 但它可为

2007 年 7 月 7 日收稿.

* 通讯联系人, Tel: 023-68250484, E-mail: jzhzhang@swu.edu.cn

重金属向地上部分转移提供良好的缓冲屏障。

表 3 茶苗不同部位对重金属的吸收累积量

元素	添加量 / $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	茶苗各部位重金属含量 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$			元素	添加量 / $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	茶苗各部位重金属含量 / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$		
		根	茎	叶			根	茎	叶
Cd	0 (CK)	2.05	1.45	0.35	Pb	0 (CK)	2.63	1.34	0.14
	2.50	56.6	1.92	1.72		12.5	14.2	8.60	4.49
	5.00	64.1	4.42	1.92		25.0	20.8	14.1	12.6
	7.50	77.8	6.86	2.40		37.5	22.7	17.5	16.6
	10.0	99.0	6.97	3.51		50.0	27.4	27.8	22.4
Cr	0 (CK)	3.45	1.00	0.45	Cu	0 (CK)	3.83	1.76	0.50
	12.5	198.4	4.15	1.84		150	478.2	98.79	74.1
	25.0	297.4	6.43	2.39		300	527.3	100.9	79.1
	37.5	410.6	6.32	2.98		450	532.6	158.0	99.8
	50.0	422.5	15.76	7.01		600	633.3	230.4	101.9

3 重金属在水培液 茶叶体系中的迁移特征

茶苗培养 30d后茶叶中重金属含量以 Cu为例, 从处理 1到处理 4, 随着外加 Cu浓度的逐渐增加, 茶苗叶片 Cu累积量从 $74.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到 $101.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

采用一元线性回归拟合数据表明, 茶叶中重金属累积量 (y)与水培液中重金属加入量 (x)之间呈明显的线性关系。Cu: $y = 17.01x + 51.7$ ($n = 4, R^2 = 0.9361$); Pb: $y = 5.78x - 0.41$ ($n = 4, R^2 = 0.9818$); Cr: $y = 1.61x - 0.47$ ($n = 4, R^2 = 0.7824$); Cd: $y = 0.50x + 0.48$ ($n = 4, R^2 = 0.994$)。浓缩系数分别为: Cu, 17.01; Pb, 5.78; Cr, 1.61; Cd, 0.50, 表明茶叶对四种重金属的吸收累积能力大小顺序为: $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd}$ 。

在重金属的作用下, 一方面植物应激产生保护作用, 通过加速生理生化活动, 产生大量的代谢产物与重金属结合以解毒, 这是植物的适应性反应; 另一方面, 激活的代谢系统加速了重金属的进入, 反过来抑制植物的代谢活动, 对植物产生毒害作用。重金属浓度过大, 会影响茶苗的正常生长。在本研究的重金属处理水平范围内, 茶叶对四种重金属的吸收量都随水培液中加入重金属浓度的增加而增加。

4 重金属在茶叶中累积的动态特征

同一浓度的外源重金属处理下, 不同培养期茶叶中重金属累积呈现出一定的动态变化特征。以培养时间为横坐标, 茶叶中重金属累积量为纵坐标作回归分析可知: 茶叶中四种重金属含量随培养时间的增加均有不断增加的趋势, 二者之间呈现一定的正相关关系。以茶叶中 Cu的含量为例, 从培养 10 d的 $12.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 增加到培养 30 d的 $74.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 呈现出明显的增长趋势。茶叶中其它三种重金属也有类似的变化趋势。但是, 随着培养时间的增加, Cu和 Pb在茶叶中的增加幅度较大, 而 Cd和 Cr的增加幅度较小。说明 Cu和 Pb两种元素在茶苗体内的吸收累积能力较强, 并且茶苗对 Cu元素的耐受能力最强。其原因是茶叶对四种重金属的吸收累积能力不同, 并且重金属在茶苗体内的运输能力也有差异。

随着培养时间的增加, 茶叶对水培液中四种重金属的吸收量都有不同程度的增加, 茶苗根、茎对重金属的吸收也呈现相似的变化趋势。结果表明在培养期内茶苗的各种生理机能基本上没有受到影响, 仍对重金属有吸收和累积能力。

综上所述, 茶苗各部位对四种重金属的吸收累积呈自下而上递减的趋势: 即根 > 茎 > 叶。当茶苗受到重金属污染时, 大部分重金属被根部吸收固定, 向上迁移的量较少。随着水培液中加入重金属浓度的增加, 根、茎和叶三个部位的重金属吸收累积量显著增加, 呈一定的正相关关系。四种重金属在茶叶中的迁移累积顺序为: $\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd}$, 其中茶叶对 Cu的耐受能力最强。随着培养时间的增加, 茶叶中重金属累积量与培养时间之间呈一定的正相关关系。

李云¹ 杨兵² 张进忠^{1,3*} 童华荣⁴

(1 西南大学资源环境学院, 重庆, 400716; 2 重庆化工职工大学, 重庆, 400020;

3 重庆市农业资源与环境重点实验室, 重庆, 400716; 4 西南大学食品科学学院, 重庆, 400716)