

降尘和酸雨对芹菜中重金属分布特征的影响

李瑞金¹, 解静芳^{1,2}, 范仁俊³, 高 越³

(1. 山西大学 环境科学与工程研究中心, 山西 太原 030006; 2. 山西大学 环境与资源学院, 山西 太原 030006;

3. 山西省农业科学院植物保护研究所, 山西 太原 030031)

摘要: 在温室条件下模拟酸雨、降尘对芹菜进行不同的受试处理, 并对茎、叶中重金属元素的含量进行了测试。结果表明, 对于芹菜茎, 酸雨使 Zn, Cu, Ni, Pb 含量增加, Fe 的含量减少, Mn, Cd 含量几乎不受影响; 降尘使 Zn, Mn, Ni, Fe, Cd 含量增加, 使 Cu, Pb 含量减少; 酸雨和降尘联合作用使 7 种元素含量都增加。对于芹菜叶, 酸雨使 Cu, Zn, Mn 含量增加, Fe 的含量减少, Pb, Ni, Cd 的含量对不同 pH 有增有减; 降尘使 Zn, Mn, Cd, Fe 的含量增加, 使 Cu, Pb, Ni 含量减少; 联合作用使叶的 Zn, Cu, Mn, Cd, Fe 含量增加, Pb, Ni 含量减少。7 种元素在茎、叶中的聚类分析表明, 茎中 Cu-Ni 协同作用显著, Fe-Cu 拮抗作用显著; 叶中 Cu-Pb 协同作用显著, Fe-Mn 拮抗作用显著。

关键词: 酸雨; 降尘; 芹菜; 重金属; 聚类分析

中图分类号: S161.6 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2006)04-0075-04

Effects of Dusting Drop and Acid Rain Pollution to Distribution Characteristics of Heavy Metals in Celery

LI Rui-jin¹, XIE Jing-fang^{1,2}, FAN Ren-jun³, GAO Yue³

(1. Center of Environmental Science and Engineering Research, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;

2. College of Environment and Resource, Shanxi University, Taiyuan 030006, China;

3. Institute of Plant Protection, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In this article, acid rain and dusting were simulated in greenhouse condition and celery was treated in various ways. The contents of heavy metals in stems and leaves were determined. The results showed that as to the celery stems, acid rain raised the contents of Cu, Zn, Ni, Pb, and reduced the content of Fe, but the contents of Mn, Cd were hardly changed. Dusting raised the contents of Zn, Mn, Ni, Fe, Cd and reduced the contents of Pb, Cu. Acid rain combined with dust raise the contents of seven elements. As to the celery leaves, acid rain raised the contents of Zn, Cu, Mn and reduced the contents of Fe and the contents of Pb, Ni, Cd changed with the different pH. Dusting raised the contents of Zn, Mn, Cd, Fe and reduced the contents of Cu, Pb, Ni. The combined effects raised the contents of Zn, Cu, Mn, Cd, Fe and reduced the contents of Pb, Ni. The category analysis to the contents of heavy metals in stems and leaves showed that to the stems syn-action between Cu and Ni, and the anti-action between Fe and Cu were obvious. To the leaves, the syn-action between Cu and Pb, and the anti-action between Fe and Mn were obvious.

Key words: Acid rain; Dusting; Celery; Heavy metals; Category analysis

蔬菜是人们日常生活中必不可少的食物, 含有许多人体需要的营养元素, 而大多数蔬菜可食部分暴露于大气中, 难免受到大气污染的影响。大气颗粒物(TSP) 是大气污染物中数量大、成分复杂、性质

多样、为害较大的一种物质, 其中重金属污染物具有难降解性, 可长期残留在环境中, 并通过食物链系统进入动物和人体内产生毒害作用^[1]。同时, 研究表明, 酸雨对农作物特别是对蔬菜的为害尤为突

收稿日期: 2006-03-21

基金项目: 山西省自然科学基金资助项目(20021014); 山西大学青年科技基金资助项目(2006009)

作者简介: 李瑞金(1967-), 女, 广西田东人, 讲师, 在读博士, 主要从事环境科学研究; 解静芳为通讯作者。

出^[2]。目前研究酸雨、降尘独立作用时蔬菜生理特性、生长状况、蔬菜的品质及对土壤-蔬菜系统影响的报道较多^[3-7]，而二者的联合污染对蔬菜中重金属的分布和蓄积的影响，尚未引起人们的重视。由于酸雨和降尘对生物产生的效应不是独立的，往往表现为生物综合效应，因此本研究采用盆栽试验，研究了酸雨和降尘的单一和联合污染对芹菜中 7 种重金属元素含量的影响，而且通过芹菜茎、叶中重金属各元素之间的聚类分析，找到具有协同作用、拮抗作用及相关性的元素，这对研究酸雨和降尘对蔬菜产生的综合效应，保护人体健康具有重要的意义。

1 材料和方法

1.1 供试材料

土样、降尘、模拟酸雨的配制方法、试验设计及处理方法见解静芳等方法^[8]，芹菜由山西省农科院蔬菜研究所提供。

1.2 样品前处理及分析测试方法

表 1 不同处理条件下芹菜茎中重金属的含量

Tab 1 Content of the contents of heavy metals in stems of celery after different conditions										mg/kg
元素 Element	对照 Control	单一酸雨处理 Acid rain treatments				降尘处理 Dust treatments	酸雨降尘联合处理 Combined treatments of acid rain and dust			
	0	A5	A4	A3	A2	0+ D	A5+ D	A4+ D	A3+ D	A2+ D
Cu	1.68	1.84	2.48	2.64	3.62	1.60	2.00	1.84	2.16	2.32
Zn	5.19	6.26	6.55	6.79	6.97	5.70	6.55	6.82	6.91	7.14
Mn	10.48	10.48	10.20	10.48	10.52	14.01	12.00	11.86	11.03	12.96
Fe	76.39	14.46	37.60	48.57	64.31	216.99	199.16	189.17	155.07	214.08
Ni	1.82	3.26	5.16	3.25	2.78	2.78	3.02	3.49	3.73	3.97
Cd	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.58	0.77	0.82	1.02	1.15
Pb	5.39	4.36	6.97	6.14	6.98	4.36	3.49	6.14	5.39	6.96

表 2 不同处理条件下芹菜叶中重金属的含量

Tab 2 Content of the contents of heavy metals in leaves of celery after different conditions										mg/kg
元素 Element	对照 Control	单一酸雨处理 Acid rain treatments				降尘处理 Dust treatments	酸雨降尘联合处理 Combined treatments of acid rain and dust			
	0	A5	A4	A3	A2	0+ D	A5+ D	A4+ D	A3+ D	A2+ D
Cu	3.61	3.13	4.26	4.90	8.61	3.29	2.64	3.29	4.58	5.06
Zn	6.73	8.56	10.34	10.63	11.28	7.97	9.74	10.63	10.80	11.90
Mn	46.06	47.31	47.45	48.55	54.47	57.93	47.83	49.09	49.09	56.40
Fe	115.2	52.31	78.50	102.63	171.35	286.31	376.03	289.38	289.38	307.28
Ni	3.25	4.2	4.69	2.30	2.06	2.30	0.39	1.82	1.82	3.73
Cd	0.27	0.20	0.15	0.27	0.33	1.64	0.27	0.39	0.39	1.40
Pb	3.79	4.82	4.37	3.49	1.74	1.74	0.92	1.21	1.21	3.49

由表 1 可知，与对照组相比，单一酸雨处理使芹菜茎中 Zn, Cu, Ni, Pb 的含量有不同程度的提高，pH 为 2 时增幅最大，Mn 和 Cd 的含量变化不大，而 Fe 的含量下降，pH 为 5 时下降最严重；与对照组相比，单一降尘使芹菜茎 Zn, Mn, Ni, Fe, Cd 的含量有不同程度的提高，增幅分别为 184.1%，3.8%，52.7%，

试验设 10 个处理组，0 表示对照组，AX 表示 pH 为 X 的酸雨处理组，0+ D 表示降尘处理组，AX+ D 表示 pH 为 X 的酸雨和降尘的联合处理组。10 个组分别表示为：0, A5, A4, A3, A2, 0+ D, A5+ D, A4+ D, A3+ D 和 A2+ D。芹菜成熟收获以后，称重后洗净晾干，然后，将茎、秆分开，编号放入烧杯中在 65℃ 下烘干，烘干后用研钵磨碎，称量样品 1 g 左右，放入 250 mL 锥形瓶中，用 2 mL 去离子水润湿，加入适量浓度的 H₂SO₄ 及 H₂O₂，置电热板上消化至试液澄清透亮时为止^[9]。将试液移入 50 mL 容量瓶中定容、过滤，用火焰原子吸收分光光度法测试各个元素的含量。所有样品做平行样，同时做试剂空白。

2 结果与分析

2.1 芹菜茎、叶中的 7 种重金属离子的含量分布

不同处理芹菜茎、叶中 7 种重金属离子的含量分布见表 1, 2。

314.3% 和 507.4%，而 Cu, Pb 的含量有所下降。与酸雨处理相比，联合作用使芹菜茎除 Pb 元素 A5+ D 处理组外，7 种元素的含量都比对照组增加，Fe 的含量提高了 160.7%~180.1%，Cd 的含量提高 450.0%~721.4%。

由表 2 可知，与对照组相比，单一酸雨处理使芹

菜叶中 Cu, Zn, Mn 含量增加, Fe 的含量减少, Pb, Ni, Cd 的含量对不同 pH 有增有减; 单一降尘处理使 Zn, Mn, Cd, Fe 的含量增加, 使 Cu, Pb, Ni 含量减少; 联合作用使叶的 Zn, Cu, Mn, Cd, Fe 含量增加, 如 Fe 的含量提高了 151.3% ~ 226.9% , Cd 的含量提高 44.4% ~ 418.5% , 而 Pb 和 Ni 含量减少, pH 为 5 时减幅最大。

从表 1 和表 2 结果看, 与对照组相比, 单一酸雨处理使芹菜茎和叶 Fe 的含量都减少, 且均在 pH= 5 时下降最严重; Cu, Zn, Mn, Cd, Fe 的含量均不同程度增加; 联合作用时, 与对照组相比, 芹菜茎 7 种元素的含量均有所增加, 叶除 Pb 和 Ni 的含量下降外, 其余元素的含量均增加。说明酸雨处理、降尘处理和联合作用对芹菜茎和叶重金属的含量分布影响是不同的, 各种元素在不同条件下的蓄积情况也是不同的。

2.2 聚类分析结果

通过计算距离系数 d_{xy} , 对不同处理条件下芹菜茎和叶中重金属的含量进行分析, 结果列于图 1 和图 2。

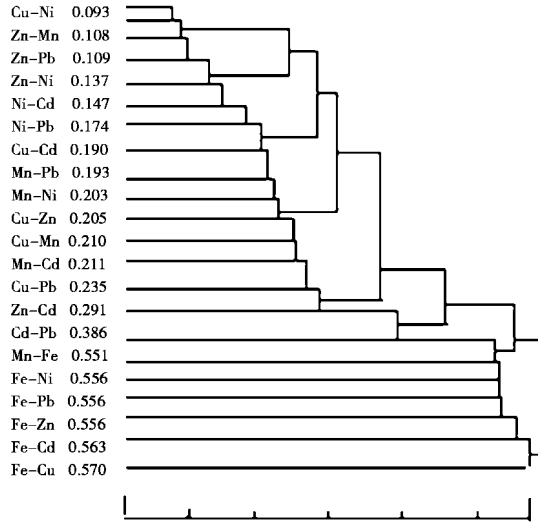


图 1 芹菜茎中重金属含量的聚类分析

Fig 1 Dendrogram of contents of heavy metal in celery stems

距离系数值 d_{xy} 越小, 元素间相似程度就越大; 距离系数值 d_{xy} 越大, 相似程度就越小。从图 1 看出, 7 种元素在芹菜茎中关系密切程度最大为 Cu-Ni, 其次为 Zn-Mn, Zn-Pb, Cd-Ni, 茎中 Zn, Ni 元素亲和性广泛; 关系疏远程度最大为 Fe-Cu, 其次为 Fe-Cd, Fe-Zn, Fe-Pb, Fe-Ni, Fe-Mn, Fe 为茎中亲和性最小的元素。从图 2 看出, 7 种元素在叶中关系密切程度最大为 Ni-Pb, 其次为 Cu-Ni, Cu-Pb, Cu-Cd, Cu-Mn,

Cu-Zn, 叶中 Cu 为亲和性最广泛的元素; 关系疏远程度最大的为 Fe-Mn, 其次为 Fe-Pb, Fe-Cu, Fe-Ni, Fe-Zn, Fe 为叶中亲和性最小的元素。同时, 7 种元素在茎、叶中的分析表明, 茎中 Cu-Ni 协同作用显著, Fe-Cu 拮抗作用显著; 叶中 Cu-Pb 协同作用显著, Fe-Mn 拮抗作用显著。

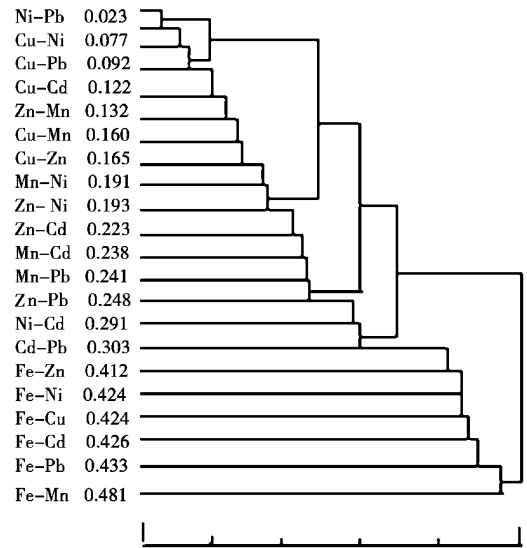


图 2 芹菜叶中重金属含量的聚类分析

Fig 2 Dendrogram of contents of heavy metal in celery leaves

3 讨论

芹菜是我国居民经常食用的蔬菜。董丽花^[10]等采用原子吸收分光光度法, 对所选芹菜样品的根、茎、叶不同部位的 9 中矿物元素进行了分析测定, 结果说明, 芹菜的各部位中都含有人体所需的多种矿物元素。总体而言, 芹菜中 K, Na, Ca, Fe, Mg, Cu 等 6 种矿物元素的含量较高, Zn, Cr, Sr 的含量较低。

本试验结果表明, 在酸雨、降尘以及二者联合作用下, Zn, Mn, Ni, Fe, Cd, Cu, Pb 与对照组相比, 其含量发生了不同程度的改变。Cu, Zn, Mn, Fe 均为叶含量大于茎含量, 且以 Mn 最为显著, 增量达 331.1%; Cd, Ni, Pb 元素联合处理均为茎含量大于叶含量, 尤以 Pb 明显, 增量为 163.3%。而酸雨处理 Ni, Cd 茎、叶含量变化不明显, Pb 为茎含量大于叶含量, 增量为 69.6%。Cu, Zn, Mn, Ni, Pb 单一酸处理与复合处理变化不显著。而芹菜茎和叶中 Fe 元素含量下降, 可能由于酸雨增加了 Fe 离子在土壤中的淋溶作用, 造成它在土壤中的流失, 根对它的吸收下降。与单一酸雨处理相比, 联合作用使芹菜 Fe 的含量升高, 这可能是因为降尘中大量 Fe 在酸雨作用下变为 Fe

离子溶出易为芹菜吸收所致。Fe 的叶含量大于茎含量,可能由于酸雨处理使叶片细胞透性增大所致。另外,在降尘单独作用和联合作用下,对人体有害的元素 Cd 含量均高于酸雨处理,说明降尘中高含量 Cd 易被芹菜吸收。联合作用下,芹菜茎和叶中这 7 种元素的含量都不同程度有所增加,这提示酸雨和降尘污染对芹菜中的重金属分布和蓄积有很大影响,对植物生长和人体健康的影响,应引起人们的高度重视。

芹菜茎元素间相似性最大的为 $d_{Cu-Ni}=0.092$,说明 Cu-Ni 间协同作用显著。随酸度增加,Cu 含量呈上升趋势,Ni 含量变化趋势与 Cu 相似。土壤中能被植物吸收的 Cu 含量随 pH 降低而增加,这可能由于 pH 降低时 Cu 离子活性增加以及有机质对 Cu 的吸附能力降低,在土壤中 Cu 处于异常活泼的离子态,易于被植物吸收^[11]。Ni 含量在 pH 为 4 时最大,可能是由于在 pH>4 时的酸雨对土壤中 Ni 的溶出起主导作用,而在 pH≤4 时以后作物中金属离子的淋溶与土壤金属离子的溶出平衡移动,使得 Ni 含量有所减少。

芹菜茎元素间相似性最小的为 $d_{Cu-Fe}=0.570$,表明 Cu-Fe 元素间拮抗作用显著。由表 1 可知,酸雨单独作用 Cu 含量随 pH 降低基本上呈上升趋势,而 Fe 含量有不同程度的降低。对含量较低的 Cu 来说,随 pH 下降,土壤 Cu 溶出与作物吸收作用始终大于酸雨对作物中 Cu 的淋溶作用,因而基本呈上升趋势。而对含量高的 Fe 来说,随 pH 下降,则作物中 Fe 淋溶作用较显著,只有在土壤溶出大量 Fe 离子时,吸收才占主导地位,这使 Fe 含量有所降低。Cu-Fe 变化趋势完全相反说明二者之间拮抗作用显著。此外,除 $d_{Fe-Cu}=0.570$ 外,Fe 与其他元素之间的 d_{xy} 值都较大,均在 0.5 水平以上,说明在芹菜茎中常量元素 Fe 与其他微量元素之间具有抑制或拮抗作用。其他微量元素之间除 $d_{Pb-Cd}=0.386$ 外,其他均在 0.1~0.2 水平之间,说明这些元素间无明显的拮抗作用。

同样,芹菜叶元素间相似性最大的为 $d_{Ni-Pb}=0.023$,说明 Ni-Pb 这一对元素的协同作用最显著。由表 2 可知,与对照相比,Pb 和 Ni 两元素在叶中含量随 pH 值降低呈现先增加后减少的变化趋势,不同之处在于含量最高点不同,说明它们在酸雨和降

尘不同处理下的含量分布特征相似。芹菜叶元素间相似性最小的为 $d_{Mn-Fe}=0.481$,说明这一对元素在芹菜叶中拮抗作用显著。与对照相比,酸雨单独作用下,Mn 含量随 pH 降低含量略呈上升趋势,且在茎、叶中的变化趋势相同,叶含量大于茎含量,而 Fe 的含量随除 pH 为 2 时增加外,其余均不同程度地降低了,且茎、叶中的分布和含量变化趋势与 Mn 相同。联合作用下,Mn 的含量随 pH 值升高而降低,而 Fe 的含量却随 pH 的升高而增加,表现出明显的拮抗性。由于 $d_{Mn-Fe}=0.481$,因此不如芹菜茎中 Cu-Fe 的拮抗作用显著。

本试验虽然对酸雨和降尘联合作用对蔬菜中重金属的含量分布进行了初步研究,但对于这些重金属特别是有害重金属在蔬菜中的分布和蓄积的机制以及它们对植物生长和人体健康造成的深层次影响,还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 谢华林,张 萍,贺 惠,等. 大气颗粒物中重金属元素在不同粒径上的形态分析[J]. 环境工程,2002,20(6):55-57.
- [2] 牟树森,杨学春. 酸雨危害与土壤酸化问题的调查研究[J]. 西南农业大学学报,1998,10(1):12-16.
- [3] 杨志敏,华 筠. 模拟酸雨对若干种蔬菜生长和生理特性影响的研究[J]. 农业环境保护,1994,13(5):213-216.
- [4] Markus J A, M chrathey A B. A n urban soil study: heavy metals in Gleke[J]. Austrilia Australian Journal of Soil Research, 1996, 34: 453-465.
- [5] 周泽义. 中国蔬菜重金属污染及控制[J]. 资源生态环境网络研究动态,1999,10(3):21-27.
- [6] 吴德意,青长乐. 钢厂粉尘对土壤蔬菜系统的影响研究[J]. 农业环境保护,1990,9(1):13-16.
- [7] 杨学春,牟树森. 降尘和酸雨对土壤蔬菜系统影响的研究[J]. 重庆环境科学,1995,17(5):6-9.
- [8] 解静芳,吴 ,陈卫平,等. 降尘及酸雨对菠菜的复合污染研究[J]. 山西农业科学,1999,27(3):58-61.
- [9] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983:257-342.
- [10] 董丽花,范增民. 不同品种芹菜不同部位微量元素含量研究[J]. 微量元素与健康研究,2004,6:70-71.
- [11] 廖自基. 微量元素的环境化学及生物效应[M]. 北京:中国环境科学出版社,1999:112-241.