

Pb 对农作物的生理生态效应

刘秀梅¹, 聂俊华¹, 王庆仁²

(1. 山东农业大学资源与环境学院, 山东 泰安 271018; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 采用温室砂培盆栽试验, 对小麦、玉米、水稻、油菜 4 种作物体内的含 Pb 浓度、硝酸还原酶的活性、可溶性糖的含量及叶绿素的含量作了研究。结果表明, 随着 Pb 离子浓度的增高, 小麦、水稻的茎叶和根系含 Pb 量也增高, 在 1 000 mg · L⁻¹ 浓度下含 Pb 量达高峰, 而油菜和玉米体内 Pb 的含量先增加后降低。小麦和水稻根系中的含 Pb 量高于茎叶中的含量, 而油菜和玉米根系中的含 Pb 量低于茎叶中含量。低浓度的 Pb 处理能够促进植物正常的生理代谢活动, 如茎叶内硝酸还原酶活性 (NO²⁻, μg · g⁻¹, FW)、可溶性糖的含量、叶绿素的含量均有不同程度的增加, 但随着 Pb 离子浓度的增加, 其促进作用变为抑制作用, 高浓度严重阻碍作物正常的生理活动, 表现症状为叶片黄化失绿、茎叶萎蔫。

关键词: Pb; 农作物; 生态效应

中图分类号: X503. 231 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2002)03 – 0201 – 203

Eco – physiological Response of Several Crops to Lead

LIU Xiu-mei¹, NIE Jun-hua¹, WANG Qing-ren²

(1. Resource and Environmental College of Shanddong Agricultural University, Taian 271018 P. R. China; 2. Research Center for Eco – Environmental Science, Chinese Academy of sciences, Beijing, 100085, P. R. China)

Abstract: To research eco – physiological response of crops to lead (Pb), the uptake and distribution of lead, the activity of nitric acid reverting enzyme (NR), the contents of soluble sugar and chlorophyll of four crops (wheat, maize, rice and cole) were employed in this study. 7 lead concentrations were used including 0, 50, 100, 200, 400, 800, 1000 mg · L⁻¹, respectively. The results have shown that the lead contents in the above – ground parts and root of wheat and rice were risen up straightly till a climax with the treatment of 1 000 mg · L⁻¹. On the other hand, the lead contents trended in the other two plant species was ascending in the first and then falling at the last. It may be concluded that low concentration of lead could stimulate the activity of physiological metabolism in the crops, but this positive effect may alter to negative damage for the crops under high concentration with lead treatment.

Keywords: lead; crops; eco – physiological response

Pb 对植物生长的影响国内外有许多报道。夏增禄等 (1984) 研究了 Pb、Zn、Cd 及其相互作用对烟草、小麦的生长发育等方面的影响。Salim 等 (1993) 比较了从土壤和叶面给予不同浓度的 Pb、Cd 处理后, 萝卜地上部分和地下部分的生长发育和重金属的积累情况, 发现叶面污染处理对植物的伤害远远大于土壤污染处理。这些研究都基于植物培养于土壤中, 而土壤环境不仅由于土壤成分的复杂而复杂, 还由于土壤微生物的活动以及土壤水分状况的变化而呈现一个复杂的动态环境。本文研究了 Pb 污染对小麦、玉米、水稻、油菜的生理生态效应, 从生理生化角度揭示了重金属 Pb 对农作物的影响, 为进一步探索 Pb 对植物

的毒害机理提供一些科学依据。

1 材料与方法

1. 1 材料的培养与污染处理

供试材料为小麦 (水偃 54)、玉米 (唐抗 – 5 号)、水稻 (02428)、油菜 (H165)。采用温室砂培盆栽试验, 沙子用 2% HNO₃ 溶液浸泡过夜, 然后用蒸馏水洗干净, 每 500 g 装盆。从苗床上挖取长势一致的幼苗, 用蒸馏水洗净根系泥土, 移植于盆沙中, 按 Hoagland 配方浇营养液。

Pb 处理: 苗子培养 20 d 后, 作物正常生长, 然后浇醋酸铅处理液, 处理液浓度 (以纯 Pb 计) 为 0、50、100、200、400、800、1 000 mg · L⁻¹ (分别标记为处理 0、1、2、3、4、5、6), 每处理重复 3 次。培养 30 d 后, 收获植株并进行分析。

收稿日期: 2001 – 07 – 01

基金项目: 中国科学院知识创新工程资助项目 (KZCX – 401 – 1)

作者简介: 刘秀梅 (1974—), 女, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事土壤污染防治与农业生态环境方面的研究。

1.2 分析方法

植物收获后洗净尘沙,105 ℃杀青 30 min,然后烘干、磨碎。

Pb 元素的测定:准确称量 0.1000 g 样品,加入 3 mL 浓 HNO₃ 溶液放置过夜,高压闷罐法提取,然后 Z-6100 型火焰原子吸收测定。单位为 mg · kg⁻¹。

硝酸还原酶(NR)活性的测定:磺胺比色法。活性单位为 μg NO₂⁻ · h⁻¹ · g⁻¹。

可溶性糖含量的测定:蒽酮比色法,单位为%。

叶绿素含量的测定:酒精和丙酮混合液提取,分光光度计测定。

2 结果与分析

2.1 Pb 在不同植物体内的积累与分布

各作物对 Pb 元素的吸收和积累特性是不相同

的。由表 1 可知,随着 Pb 离子浓度的增高,小麦、水稻的茎叶和根中 Pb 的含量也一直在增高,在处理 6 中,小麦茎叶和根系中的含 Pb 量达高峰为 182.839 mg · kg⁻¹ 和 830.012 mg · kg⁻¹,分别是对照的 60 倍、240 倍,水稻茎叶和根系中的含 Pb 量为 143.472 mg · kg⁻¹ 和 520.472 mg · kg⁻¹,分别是对照的 71 倍、130 倍,均达极显著水平。可见 Pb 是一种积累性很强的元素。在处理 5 中,油菜茎叶和根系中的含 Pb 量最高为 196.793 mg · kg⁻¹ 和 144.031 mg · kg⁻¹,约为对照的 40 倍。在处理 3 时,玉米体内含 Pb 量最高为 126.367 mg · kg⁻¹,约为对照的 30 倍。由此可见,在本试验条件下,Pb 在作物体内的含量顺序是小麦> 水稻> 油菜> 玉米,分别是对照的 240 倍、130 倍、40 倍、30 倍(以各种作物含量最高的器官计)。

由表 1 可知,Pb 在同一种作物体内的不同器官

表 1 Pb 在不同植物体内的积累(平均值 ± 标准差)与分布
Table 1 Contents (mean ± SD) and distribution of lead in the different crops

Pb 处理	小麦/mg · kg ⁻¹		玉米/mg · kg ⁻¹		水稻/mg · kg ⁻¹		油菜/mg · kg ⁻¹	
	茎叶	根系	茎叶	根系	茎叶	根系	茎叶	根系
0	3.03 ± 0.37	4.07 ± 0.72	3.79 ± 0.41	2.19 ± 0.14	2.10 ± 0.29	3.41 ± 0.27	4.04 ± 0.32	2.94 ± 0.26
1	26.81 ± 2.30	46.28 ± 3.71	40.50 ± 3.58	29.32 ± 2.26	29.79 ± 3.04	37.11 ± 2.89	57.96 ± 10.61	33.47 ± 3.24
2	95.18 ± 8.32	193.74 ± 11.00	97.91 ± 8.71	80.71 ± 7.63	63.25 ± 5.52	100.67 ± 10.02	91.03 ± 7.21	80.33 ± 6.45
3	123.43 ± 0.00	263.11 ± 14.96	134.36 ± 10.26	86.35 ± 8.72	85.29 ± 7.58	129.14 ± 10.53	112.19 ± 9.76	142.45 ± 9.31
4	141.93 ± 10.21	348.01 ± 17.31	126.36 ± 11.23	84.72 ± 6.58	136.95 ± 9.65	342.32 ± 12.92	141.94 ± 10.2	130.77 ± 9.0
5	166.20 ± 12.63	726.46 ± 17.92	117.93 ± 12.31	76.97 ± 6.18	140.79 ± 10.52	421.31 ± 13.1	196.79 ± 12.3	144.03 ± 10.78
6	182.83 ± 15.01	830.01 ± 20.1	110.55 ± 12.54	70.73 ± 9.20	143.47 ± 14.58	520.47 ± 20.7	179.61 ± 14.78	108.97 ± 12.0

分布特征也是不同的。小麦和水稻根系中的含 Pb 量高于茎叶中的含量,而油菜和玉米茎叶中的含 Pb 量高于其根系中含量。说明二者对 Pb 有一定的运输能力。根据超富集植物的定义“在地上部能够较普通作物积累 10—500 倍以上重金属”^[1、2],小麦和水稻虽然能够高富集重金属 Pb,但主要累积在根系中,谢正苗(1994)和一些学者的结论与此相同^[3、4];油菜和玉米能够把重金属运往地上部,其体内对重金属的运输机制有待进一步研究。

2.2 Pb 对植物茎叶内硝酸还原酶活性的影响

硝酸还原酶在作物氮代谢过程中是第一个关键性酶,也是硝酸盐同化过程中的限速酶,茎叶中硝酸还原酶的活性与作物体内正常的生理生化反应密切相关^[5、6]。因此研究 Pb 污染对硝酸还原酶的影响对于探索制定污染生理生化指标有重要的意义。由表 2 可知,低浓度的 Pb 处理能够激发各种作物茎叶中硝酸还原酶的活性,但随着 Pb 离子浓度的增加,其活性均表现为下降的趋势。小麦、水稻和油菜在处理 2 中硝

表 2 不同 Pb 处理对植物茎叶内硝酸还原酶 (NR) 活性 (NO₂⁻, μg · h⁻¹ · g⁻¹,FW) 的影响(平均值 ± 标准差)

Table 2 Effects of various treatments with lead on the activity of NR in the crops (mean ± SD)

Pb 处理	小麦	玉米	水稻	油菜
0	1.36 ± 0.02	1.45 ± 0.05	1.38 ± 0.07	1.23 ± 0.15
1	1.41 ± 0.04	1.46 ± 0.04	1.40 ± 0.06	1.32 ± 0.08
2	1.44 ± 0.04	0.97 ± 0.04	1.41 ± 0.00	1.37 ± 0.05
3	1.29 ± 0.00	0.62 ± 0.10	1.25 ± 0.14	1.21 ± 0.07
4	1.27 ± 0.09	0.41 ± 0.17	1.17 ± 0.11	0.89 ± 0.10
5	0.91 ± 0.14	0.33 ± 0.14	0.62 ± 0.20	0.68 ± 0.14
6	0.60 ± 0.18	0.21 ± 0.08	0.50 ± 0.14	0.54 ± 0.12

酸还原酶的活性达最高,然后平稳下降;玉米在处理 1 中,小幅度增加,而后急剧下降。从作物生长状态看,在处理 2 中,作物并无明显受害症状,但以硝酸还原酶为代表的作物生理指标则显著地发生变化,直接影响作物的生理代谢活动。由此可见,高浓度的 Pb 处理已严重抑制酶的活性,这必然导致作物体内一系列的生理生化活动受阻,影响作物的正常生长。

表 3 不同 Pb 处理对作物茎叶内可溶性糖含量(%,FW)的影响(平均值±标准差)

Table 3 Effects of various treatments with lead on the contents of soluble sugar in the crops (mean±SD)

Pb 处理	小麦	玉米	水稻	油菜
0	3.58±0.0	3.69±0.05	3.02±0.07	1.50±0.15
1	3.65±0.06	3.72±0.04	3.11±0.08	1.78±0.04
2	3.78±0.05	3.76±0.10	3.19±0.07	1.80±0.06
3	3.81±0.04	3.72±0.08	3.20±0.04	1.53±0.11
4	3.42±0.10	3.14±0.09	2.89±0.05	1.41±0.08
5	3.39±0.07	3.09±0.03	2.76±0.05	1.27±0.14
6	3.31±0.09	2.86±0.11	2.65±0.09	1.16±0.13

2.3 Pb 污染对作物茎叶内可溶性糖含量的影响

作物茎叶内可溶性糖含量代表碳水化合物运转情况,亦可以作为生理指标之一来反映 Pb 污染对作物的毒害作用^[5]。由表 3 可知,在处理 3 中,小麦、水稻茎叶中可溶性糖含量达高峰,分别是 3.81%、3.20%,与对照相比,达显著水平。油菜和玉米在处理 2 中含量达最高,与对照相比不显著。然后,随着 Pb 离子浓度的增加,各种供试作物茎叶中的可溶性糖含量均平稳下降。

表 4 Pb 污染对作物茎叶内叶绿素含量(mg·g⁻¹,FW)的影响(平均值±标准差)

Table 4 Effects of various treatments with lead on the contents of chlorophyll in the crops (mean±SD)

Pb 处理	小麦	玉米	水稻	油菜
0	3.20±0.04	3.50±0.05	3.41±0.00	3.27±0.03
1	3.27±0.02	3.51±0.04	3.47±0.05	3.40±0.07
2	3.38±0.03	3.51±0.07	3.51±0.09	3.41±0.08
3	3.40±0.10	2.10±0.09	3.59±0.07	3.52±0.12
4	2.93±0.11	1.91±0.08	2.89±0.08	3.00±0.11
5	2.87±0.09	1.87±0.12	2.68±0.14	2.76±0.11
6	2.78±0.10	1.64±0.14	2.63±0.09	2.71±0.07

2.4 Pb 污染对作物茎叶内叶绿素含量的影响

光合作用是植物生产的原动力,任何影响作物生理活动因素必然影响光合过程,叶绿素的含量则是影响光合作用的物质基础^[7]。从表 4 可以看出,随着 Pb 离子浓度的增加,小麦、水稻、油菜和玉米茎叶中叶绿素含量先增加后降低,但各种作物的变化状况是不相同的。小麦、水稻和油菜在处理 3 中叶绿素含量达高

峰,分别是 3.407 mg·g⁻¹、3.597 mg·g⁻¹、3.521 mg·g⁻¹,比对照约增加 7%、6%、6%,而后下降显著。玉米在处理 1、2 中,叶绿素含量小幅度增加,而后急剧下降。从作物生长状态看,在处理 5、6 中,各种作物叶片黄化,已明显表现出失绿症状。说明重金属已干扰了作物体内的光合作用,刘登义等^[8]的结果与此相同。

3 结论

(1)小麦、玉米、水稻和油菜 4 种作物随 Pb 处理浓度的增高表现各不相同。小麦、水稻体内含 Pb 量一直在增高,玉米和油菜含 Pb 量在某一处理浓度下达到高峰,然后又下降。4 种作物体内的含 Pb 量顺序是小麦、水稻、油菜、玉米。另外各作物体内的 Pb 的分布特征也是不同的,小麦和水稻的根系含 Pb 量高于其茎叶中的含量,而玉米和油菜茎叶中的含量高于根系中含量。4 种作物体内可能存在不同的运输机制。

(2)低浓度的 Pb 处理能够促进植物正常的生理代谢活动,如茎叶内硝酸还原酶活性、可溶性糖的含量、叶绿素的含量均有不同程度的增加,但随着 Pb 离子浓度的增加,其促进作用变为抑制作用,高浓度的 Pb 严重阻碍作物的生理活动,表现症状为叶片黄化失绿、茎叶萎蔫。

参考文献:

[1] Chaney R L, Malik M, Li Y M, et al. Phytoremediation of Soil Metals, Current Opinions in Biotechnology, 1997, 8: 279 – 284.

[2] Dahmani – Muller H, Van Oort F, et al. Strategies of heavy metal uptake by three plant species growing near a metal smelter[J]. *Enviro Pollu*, 2000, 109: 231 – 238.

[3] Monni S, Uhlig C, et al. Ecophysiological response of *Empetrum nigrum* to heavy metal pollution[J]. *Enviro Pollu*, 2001, 112: 121 – 129.

[4] Wollenweber E Dorr M Stelzer. Lipophilic phenolics from the leaves of *Empetrum nigrum* – chemical structures and exudate localization[J]. *Botanica Acta*, 1992, 105: 200 – 205.

[5] 张福锁. 植物营养生态生理学和遗传学[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993. 43.

[6] 沈振国,刘友良. 重金属超量积累植物研究进展[J]. 植物生理学通讯,1998,34(2): 133 – 139.

[7] 刘登义. 铜尾矿对小麦生长发育和生理功能的影响[J]. 应用生态学报,2001,12(1): 121 – 126.