

文章编号: 1000-2022(2005)04-0536-07

土壤铅污染对水稻生长影响的研究

宋玉芝

(南京信息工程大学 环境科学与工程系, 江苏 南京 210044)

摘要: 研究土壤不同浓度铅污染对水稻(两优培九)生长的影响, 以及水稻对土壤铅的吸收状况。结果表明: 土壤铅对受试水稻的生长有影响, 随着土壤铅浓度的增加, 其株高、叶面积、干物重、单茎总粒数、结实率随之下降, 单产降低; 植株体内的铅含量随着土壤铅浓度的升高而增加, 植株体内铅含量的增加幅度随土壤铅浓度的增加而变慢。铅在植株体内的分配规律为: 根 $\gg$ 茎 $>$ 叶 $>$ 糙米。

关键词: 铅污染; 土壤; 水稻; 生长影响

中图分类号: X 503.23 **文献标识码:** A

铅作为 3 种重金属 (Pb、Cd、Hg) 环境激素 (Environmental Hormone) 物质之一, 对人体和生物 (主要为动物) 体内的正常激素功能施加影响, 具有类似雌激素的作用, 能导致包括人类在内的各种生物的生殖功能下降、免疫力降低, 并引起各种生理异常^[1]。铅能置换骨骼中的钙而储存在骨中, 当其进入血液中将会引起许多疾病, 如贫血、肝炎、肾炎、高血压、神经错乱等, 甚至导致死亡^[2]。美国疾病控制中心认为, 当人体血液中铅大于 $15 \mu\text{g}/(100 \text{ ml})$ 时, 就会引起中毒, 即使每天摄入很低的铅量, 也会在人体内储存积累而导致慢性中毒^[23], 甚至致癌。

人体中的铅有多种来源^[2-3], 一是直接吞咽污染土壤或呼吸含铅尘埃; 二是饮水污染; 三是粮食蔬菜对环境土壤中铅的吸收, 通过食物链进入人体, 即通过土壤—农作物—人或土壤—植物—动物—人等食物链形式进入人体, 对人体产生影响, 这是人体中铅的最重要来源。许多研究^[4-5]表明, 重金属元素进入土壤后, 会产生明显的生物效应, 高浓度的铅不仅使植物生长受阻、花期延迟、抽穗期和成熟期推迟、籽实畸形、植物枯萎甚至死亡、产量降低等, 而且还严重地影响作物的质量, 从而影响到人体的健康。匡少平等^[6]研究发现, 即使在高铅含量 ($> 4\,000 \text{ mg/kg}$) 的土壤中, 作物对铅发生强烈吸收后也没有导致植株出现宏观病症, 这说明铅在食物链中的转移具有较强的隐蔽性。

国内外对铅—作物效应的研究较早, 铅对不同的土壤质地、作物的行为特点和植物效应的表现差异较大。本试验所选用的水稻是两优培九, 是江苏省农业科学研究院以培矮 64S/9311 测配的两系法亚种间杂交水稻的高产品种, 1999 年在全国 13 省市 121 个试点试种 $1\,667 \text{ hm}^2$, 平均单产达 $10.50 \sim 11.25 \text{ t/hm}^2$, 品质优, 抗逆性强, 目前有望取代三系法杂交稻汕优 63^[7]。本文利用南京郊区水稻土进行两优培九水稻盆栽实验, 研究了土壤铅污染水平对

两优培九水稻生长的影响, 以及两优培九水稻对土壤铅的吸收状况, 从而为两优培九的安全生产、减少食物中的铅对人体的潜在危害以及土壤中铅治理修复提供理论依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

供试植物: 两优培九; 供试药剂: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 。

1.2 实验方法

(1) 盆栽试验

本试验于 2002 年 6 月 14 日至 2002 年 11 月 8 日在南京信息工程大学 (原南京气象学院) 生态试验室及试验站进行。试验盆栽用塑料桶, 每桶装 12.5 kg 水稻土 (取自原南京气象学院农试站水稻田 2~6 cm 表层土, 风干, 过 60 目筛); 设 6 个不同水平的铅污染处理: CK、I (156.4)、II (312.8)、III (625.6)、IV (1251.2)、V (2502.3) ($\text{Pb mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 每个处理 8 个重复。土壤经一定浓度的 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 水溶液饱和和处理, 培养一周后移栽水稻, 继续培养 10 d 取苗, 以后每隔 10 d 取样, 测定株高、干物重、叶面积 (测定方法是长 $\times$ 宽 $\times 0.87$) 及体内含铅量。

(2) 铅含量的测定

植物消煮液的制备: 用剪刀剪碎干燥植物样, 称取 1 g 置 125 ml 锥形瓶中, 加 15 ml 浓硝酸, 加热消煮半小时, 冷却, 加 10 ml 硝酸—过氯酸混合物 (特纯试剂按 3:1 体积混合), 继续加热消煮至过氯酸剩 1 ml 以下。冷却, 用去离子水溶解并定容至 50 ml。消化液用碘化钾—甲基异丁基酮 (KIMBK) 萃取, 使铅进入有机相, 用原子吸收分光光度计 3510-石墨炉法测定有机相中的铅含量。

2 结果与分析

2.1 土壤铅污染对水稻生长的影响

土壤铅浓度升高能抑制水稻植株生长 (图 1)。在不同的土壤铅污染处理水平下, 水稻植株的株高不同, 随土壤铅浓度的升高, 水稻植株的高度依次下降, 移栽 20 d 后的水稻株高差异已有明显表现。当土壤铅污染处理水平超过中度污染 (处理 III) 时, 植株高度下降了 10% ~ 15%。

土壤铅污染不仅对水稻植株地上株高有影响, 而且对水稻植株地下根的生长也有明显影

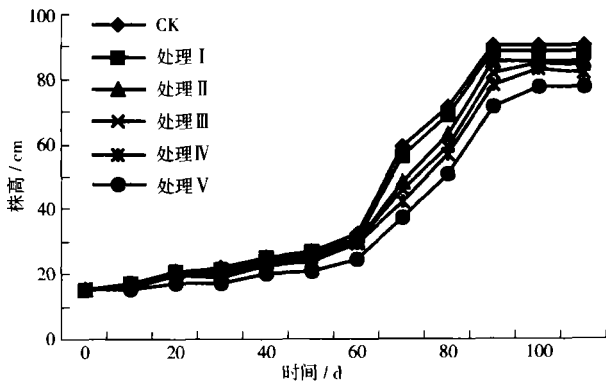


图 1 不同的土壤铅污染水平下植株高度的动态变化

Fig 1 Variations of plant height with the Pb pollution level of soil

响。试验结果发现, 随土壤铅污染水平的增加, 水稻植株的根长变短, 但基部不定根的条数却增多。此外, 在高浓度的污染水平下, 地下有明显的伸长的节间。始穗期, 土壤铅污染处理水平为处理Ⅲ、处理Ⅳ和处理Ⅴ时, 水稻地下节间的长度分别是 1.0 cm、2.7 cm 和 4.0 cm。土壤铅污染处理水平小于处理Ⅲ时, 地下节间伸长不明显。在常规条件下, 水稻植株地下节间的伸长是由于移栽时栽插过深 (≥ 5) 而引起的。本实验是在同等深度、不同的土壤铅污染水平的情况下进行的, 高浓度的土壤铅污染导致水稻植株地下节间伸长, 并且在处理水平高于处理Ⅲ的情况下随处理浓度的升高, 地下节间伸长加大。这可能是由于土壤铅污染达到一定水平时, 对水稻地下部分刺激比较大, 植物的适应本能使地下节间伸长, 把分蘖节推到上部。土壤铅污染抑制地上高度而刺激地下节间伸长, 其机制有待进一步的研究。

表 1 不同土壤铅污染水平对水稻植株形态指标的影响

Table 1 Impact of the different Pb pollution levels of soil on formal indexes of rice plant

处理	株高 /cm	对株高的抑制率 %	叶面积 /(cm^2 /株)	对叶面积的抑制率 %	干物重 /(g/株)	对干物重抑制率 %
CK	90.4	0.0	651.6	0.0	17.9	0.0
I	88.6	2.0	591.0	9.3	17.2	3.8
II	85.5	5.4	575.9	11.6	15.7	12.1
III	84.2	6.8	535.2	17.9	13.8	23.2
IV	82.0	9.3	515.4	20.9	13.6	24.3
V	77.4	14.4	436.6	33.0	11.8	34.1

注: 株高、叶面积为始穗期, 干物重为收获期。

由表 1 可见, 土壤铅污染对水稻叶面积有抑制作用。始穗期, 处理 I 水稻植株的单株叶面积与 CK 相比减少了 9.3%; 处理Ⅲ水稻植株单株叶面积与 CK 相比减少了 17.9%; 处理Ⅴ水稻植株单株的叶面积减少了 33.0%。由此可见, 土壤铅污染对水稻植株单株叶面积有显著的抑制作用。

不同的土壤铅污染水平下, 株高、叶面积均受到抑制, 致使叶片光合能力下降, 光合产物减少, 生长速度减慢, 单株总干物重也因此受到不同程度的抑制。由图 2 可见, 水稻单株总干物重随土壤铅污染浓度的升高而下降, 并且随着生长发育的进行, 各处理水平下的水稻植株的单株干物重的差异越来越明显。由表 1 可知, 处理Ⅲ的水稻植株单株干物重与 CK 相比减少了

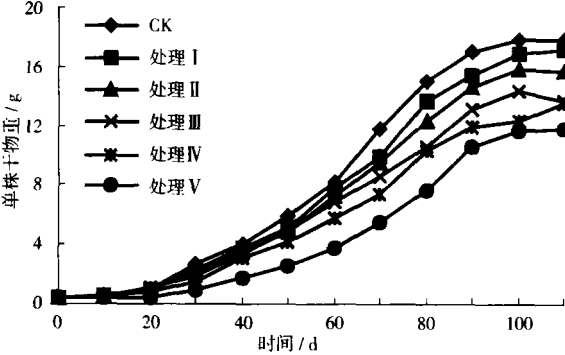


图 2 不同的土壤铅污染水平下单株总干物重的动态变化

Fig 2 Variations of drymatter weight of plant with the Pb pollution level of soil

23.2%; 处理V的水稻植株单株干物重与CK相比减少了34.1%。由此可见,土壤铅污染对水稻单株干物重有显著的影响。

2.2 土壤铅污染对水稻产量的影响

随土壤铅污染水平的提高,水稻植株单茎的总粒数、结实率下降,空壳率、秕谷率上升(图3)。尤其当土壤铅污染水平大于处理IV时,水稻植株的平均结实率下降得更为迅速。与对照处理相比,处理III的水稻植株的结实率、单茎总粒数分别下降了7.6%、17.6%(见表2),处理V的水稻植株的结实率、单茎总粒数分别下降了29.9%、18.6%。进一步分析土壤铅污染水平与水稻籽粒的千粒重的关系,发现各处理的水稻千粒重随土壤铅浓度的增加而有所降低,假设每公顷穗数可通过人为的控制225万穗,与对照处理相比较,各处理将依次减产10.3%、15.9%、26.5%、31.5%和46.2%(表2)。即两优培九对铅高度敏感,在受到轻度铅污染(土壤铅浓度为156.4)时其产量有所下降;当土壤铅浓度为156.4~312.8 mg/kg时,两优培九减产10%~16%,当土壤铅浓度为2 502.3 mg/kg时,水稻将减产近50%。与Kakuzo^[8]土壤中投加250 mg/kg的铅可导致水稻减产20%的研究结果相一致。

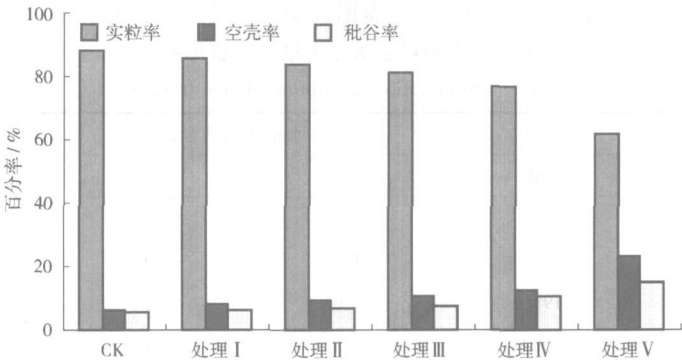


图 3 土壤铅污染水平对结实率的影响

Fig 3 Impact of different Pb pollution levels of soil on fecundity

表 2 不同土壤铅污染对水稻产量及产量性状的影响

Table 2 Impact of different Pb pollution levels of soil on the yields of rice

处理	单茎总粒数	对单茎总粒数抑制率 %	结实率 %	对结实率抑制率 %	千粒重 /g	对千粒重的抑制率 %	产量 / (kg/ha)	对产量抑制率 %
CK	179.1	0	88.2	0	21.6	0	7 668.0	0
I	167.4	4.6	85.5	3.1	21.4	1	6 879.0	10.3
II	161.3	9.9	83.9	4.8	21.2	2	6 445.5	15.9
III	147.5	17.6	81.4	7.6	20.9	3.4	5 634.0	26.5
IV	147.9	17.4	76.9	12.8	20.5	4.9	5 250.0	31.5
V	145.7	18.6	62.1	29.6	20.3	6.1	4 125.0	46.2

2.3 土壤铅污染对水稻生长发育的影响

铅使水稻生长受阻的主要原因是,水稻根系遭受毒害而丧失正常功能,减少细胞的有丝分裂速度,抑制根系的生长,妨碍根系对养料的吸收从而影响植株的地上生长^[9];其次,铅能影响叶绿素的合成^[9],水稻中叶绿素及叶绿素a的含量随着土壤总铅含量的增加而降低。叶绿

素的减少直接使水稻光合作用降低,减少光合产物向种子的输入,延缓生长,推迟成熟而导致水稻的减产。此外,铅对茎中蔗糖酶活性有显著的抑制作用^{[10][11]},蔗糖是植物最容易同化的一种糖,是植物生长发育所需糖类营养的最好来源。蔗糖酶是植物碳水化合物代谢的酶类,可催化蔗糖水解,所以这种酶在植物体能量代谢中十分重要。铅对其的抑制作用,将使植物的营养转化失调,生长发育受阻。从本实验的单茎总粒数及结实率来看,土壤铅污染导致水稻减产的原因之一可能是铅影响了水稻雌雄蕊的发育及灌浆速率,从而导致单茎的总粒数及结实率下降。这一推测与上述机制是一致的。当然,土壤铅污染影响雌雄蕊的发育机制还需进一步研究。

2.4 水稻对土壤铅污染物的吸收作用

外源重金属污染物进入土壤后,作物可通过根系代谢吸收土壤中的重金属。进入根细胞内的重金属,一部分滞留在根中,还有一部分可随原生质的流动运移给临近的细胞,并通过细胞间的运输,横穿过根的中柱鞘输送到导管中,随作物蒸腾作用向地上部移动,并积累在作物茎叶、籽实中^[12]。铅进入水稻体后在不同部位进行再分配,其不同部位铅的含量见表 3。实验表明,水稻植株对土壤铅污染的吸收随土壤铅污染浓度的升高而升高。

表 3 水稻对土壤铅污染的吸收作用

Table 3 Pb pollution absorption of rice from soil				mg /kg
处理	铅在水稻体内的含量			
	根	茎	叶	糙米
CK	3. 6	3 0	3. 0	0. 3
I	35. 5	4 6	3. 9	0. 4
II	198. 3	6 6	5. 2	1. 0
III	396. 4	9 5	8. 4	1. 6
IV	532. 7	13. 2	10. 7	3. 2
V	602. 7	18. 3	13. 4	4. 2

不同的器官对土壤铅吸收存在着差异,根对土壤铅吸收最强,其次为茎、叶、糙米,且水稻植株各器官中的铅含量与处理水平之间存在着极显著的回归关系(表 4)。这说明随土壤铅污染水平的提高,各器官中铅的含量升高。同时植株体内重金属含量增加的幅度随土壤铅污染程度的增加而变慢。

表 4 水稻植株各器官中铅含量与土壤铅污染处理水平之间的相关分析

Table 4 The corelative analysis between Pb content in organs of rice plant and Pb pollution levels of soil

	回归方程	N	R ²	F	Pro>F
根	$Y = -0.000\ 068x^2 + 0.4x - 11.914$	6	0.977 9	66.900	0.003 3 ¹⁾
茎	$Y = -0.000\ 000\ 716x^2 + 0.006\ 617x - 3.183$	6	0.997 3	545.266	0.000 1 ¹⁾
叶	$Y = -0.000\ 000\ 741x^2 + 0.005\ 6x + 2.827$	6	0.989 4	139.681	0.001 1 ¹⁾
糙米	$Y = -0.000\ 000\ 021\ 9x^2 + 0.001\ 91x + 0.097$	6	0.991 5	174.472	0.000 8 ¹⁾

注: 1)表示极显著。

本实验发现,当土壤铅浓度为 156.4 mg/kg 时,糙米中铅含量约 0.4 mg/kg(国家食品卫生标准 GB14935-94 规定的上限指标),产量下降 10% 左右,但植株的外部形态没有明显的受

害症状。即使在处理 V 水平下,植株移栽初期叶片大量死亡,但到了拔节抽穗期,虽然株高叶面积下降,产量降低,但在植株的外形上仍看不到显著的受害症状。这也说明土壤铅污染对人的危害具有一定的隐蔽性。

3 结 论

(1)两优培九对土壤铅污染比较敏感,随着土壤铅污染处理水平的提高,单株叶面积、株高等形态指标呈降低的趋势,尤其当土壤铅浓度 $\geq 625.6 \text{ mg/kg}$ 时,下降比较显著,且地下有伸长的节间,并且这种影响在水稻生长发育早期比较显著,生长后期土壤铅污染水平对水稻植株的形态指标的影响作用有所缓解。土壤铅添加浓度为 $2\ 502.3 \text{ mg/kg}$ 时,水稻最大叶面积及收获时的总干物重与对照组相比均减少了近 $1/3$ 。

(2)土壤铅污染水平对两优培九穗部性状有影响,最终影响其产量。随着土壤铅污染浓度的升高,单茎总粒数、结实率下降,当土壤铅添加浓度为 $156.4 \sim 625.6 \text{ mg/kg}$ 时,水稻单产下降 $10\% \sim 26\%$ 。

(3)水稻各器官含铅量随土壤中铅污染的增加而增加,且具有强烈的分异特征,其分配规律为:根 $\gg$ 茎 $>$ 叶 $>$ 糙米,水稻吸收的铅主要集中在根系中,很难向地上部分转移。这一特征显示,水稻根系作为一种屏障或过滤器,阻止了铅进一步向其秸秆和籽实中的迁移,从而减少了铅毒害效应。

(4)当糙米中铅含量接近 0.4 mg/kg 时,土壤铅处理水平为 156.4 mg/kg 两优培九的产量下降 10% ,但植株的外部形态没有明显的受害症状,这说明土壤铅污染对人的危害具有一定的隐蔽性。但土壤铅污染浓度小于此浓度时,种植两优培九对人类健康来说是安全的,同时通过植株的收获也可把铅从土壤中移出,起到对土壤铅污染的修复作用。

参考文献:

- [1] 匡少平,徐 仲.农村土壤环境激素污染与防治[J].环境工程,2002,20(增刊):245-247.
- [2] Lag J G eom edical A spects in Present and Future Research[M]. Oslo Univers itetsforlaget 1990.
- [3] Thomson I Environmental geochem istry and health in 1990s A global perspective[J]. Applied Geochem istry, 1993(Suppl): 203-210.
- [4] 陈怀满.土壤—植物系统中的重金属污染[M].北京:科学出版社,1996:210-250.
- [5] 杨元根, Paterson E, Campbell C. 城市土壤中重金属元素的积累及其微生物效应[J].环境科学,2001,22(3):44-48
- [6] 匡少平,徐 仲,张书圣.水稻对土壤中环境重金属激素铅的吸收效应及污染防治[J].环境科学与技术,2002,25(2):32-34.
- [7] 姚克敏,吴春刚,马文静,等.两优培九关键期的气象指标与气候适应性分析[J].南京气象学院学报,2001,24(1):8-18
- [8] Kakuzo K itag ishi HeavyM etal Pollution in Soils of Japan[M]. Tokyo Japan Scientific Societies Press 1981
- [9] 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,1992:72-75.
- [10] 雷虎兰,高发奎,杨晓辉,等.灰钙土重金属污染对农作物生理生化作用的影响[J].农业环境保护,1994,13(1):12-17
- [11] 彭 鸣,王焕校,吴玉树.镉和铅引起的作物种子超微结构变化[J].中国环境科学,1991,11(6):426-431
- [12] 王 新,梁仁禄,周启星. Cd & Pb 复合污染在土壤—水稻系统中生态效应的研究[J].农村生态环境,2001,17(2):41-

Impacts of Increased Pb Pollutant in Soil on Rice Growth

SONG Yu-zhi

(Department of Environmental Science & Technology, NUST, Nanjing 210044, China)

Abstract This study investigates impacts of the different Pb concentrations in soil on the growth and Pb uptake of two-line system hybrid rice cultivar "Liangyoupeijiu", the results show that with the increase in Pb concentrations in soil, the plant height, leaf area, dry matter, total grains per stem and fecundity decline, yields per mu also fall. The Pb concentrations in plant increase when the Pb in soil increases, and the increment amplitude becomes smaller when the Pb concentration in soil is high. The distribution of Pb concentration in organs is that roots $\gg$ stems $\gg$ rice.

Key words Pb pollutant; soil; rice; impact of growth