

Effects of Soil Water Management on the Yield and Pb Concentration of Rice Grain in Pb-Polluted Soils

Yuankang Liu, Kaiqiang Chu, Rongyan Shen, Jianguo Liu*

School of Environmental & Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou Jiangsu
Email: liujianguo@cczu.edu.cn

Received: Jan. 30th, 2019; accepted: Feb. 19th, 2019; published: Feb. 26th, 2019

Abstract

In this study, soil water management regimes of slight dryness at different stages of rice growth were designed, and two rice cultivars with different Lead (Pb) accumulation abilities were used. The aim was to investigate the effects of soil water control on the yield and Pb concentration of rice grain. The results show that the grain Pb concentrations were increased significantly ($P < 0.05$) by slight soil dryness at grain filling stage, compared to the control (well-watered soil), with the increasing rates of 38.41% - 147.66%. But the grain yields were influenced little. Under the slight dryness during whole period of pot planting, the grain yield decreased significantly ($P < 0.05$) with the decreasing rates of 22.47% - 31.40%, but the effects on grain Pb concentrations differed with rice cultivars. For the water treatments at different stages before panicle heading, the slight dryness at panicle formation stage reduced grain yields significantly ($P < 0.05$), but the effects on grain Pb concentrations differed with rice cultivars and soil Pb levels. For the slight dryness at tillering stage, the grain yields of two rice cultivars decreased slightly (about 10%), but the grain Pb concentrations were reduced largely, with the decreasing rates of 28.72% - 43.72%. Therefore, with the combined consideration of grain Pb concentration (the principal control factor) and grain yield, the soil water management of slight dryness at tillering stage is the best choice for soil Pb-polluted areas.

Keywords

Soil Water Management, Lead (Pb), Rice (*Oryza sativa* L.), Grain Yield

铅污染土壤中水分管理对水稻产量及籽粒铅含量的影响

刘远康, 储凯强, 申荣艳, 刘建国*

*通讯作者。

常州大学环境与安全工程学院, 江苏 常州
Email: liujianguo@cczu.edu.cn

收稿日期: 2019年1月30日; 录用日期: 2019年2月19日; 发布日期: 2019年2月26日

摘要

选用2个对土壤中铅吸收分配及籽粒铅积累能力存在显著差异的水稻品种为材料, 设置不同的土壤铅污染水平及不同时期的土壤干旱处理, 研究了土壤水分管理措施对水稻不同品种籽粒产量及籽粒铅含量的影响。结果表明, 抽穗后籽粒灌浆期轻度干旱胁迫对水稻产量没有明显影响, 但却大幅度提高籽粒铅含量, 与淹水灌溉(对照)比较, 籽粒铅含量上升38.41%~147.66%。整个盆栽生长期轻度干旱处理的籽粒产量下降幅度最大, 减产达到22.47%~31.40%, 但对籽粒铅含量的影响因水稻品种不同而有差异; 在抽穗前不同时期的干旱处理中, 分蘖期轻度干旱处理的籽粒产量下降幅度较小(10%左右), 而籽粒铅含量下降幅度最大, 达到28.72%~43.72%; 穗分化期轻度干旱处理的籽粒产量也有显著下降, 但对籽粒铅含量的影响因土壤铅污染水平及水稻品种的不同而不同。综合分析不同时期的土壤轻度干旱对水稻籽粒产量和籽粒铅含量的影响, 在土壤铅污染地区宜选择水稻分蘖期进行土壤轻度干旱处理, 可以有效降低籽粒的铅含量, 而对水稻产量影响小。

关键词

土壤水分管理, 铅, 水稻, 籽粒产量

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近半个世纪来, 我国工农业的快速发展导致环境污染问题不断加剧。由于人口数量的大幅度增加对粮食的需求, 农用化学品大量使用也使农田土壤污染问题日益突出, 特别是农田土壤的重金属污染问题已引起广泛关注[1]。据研究, 我国部分地区的农田土壤重金属污染已经对农产品的安全性构成严重威胁, 包括稻田土壤的重金属污染[2] [3]。

在土壤重金属污染元素中, 铅是一种污染范围最广、污染最严重的元素之一[4]。而且, 铅污染来源广泛, 主要包括采矿及冶炼、化石燃料的开采及使用、公路交通、油漆、造纸、固体废弃物等等[5]。生物的生长发育不需要铅, 而且铅具有很强的生物毒性, 如铅污染可能会损害男女的生殖能力, 影响男性的精子数量、质量及增加畸形精子的比率, 还会增加女性流产的风险。女性孕期及新生儿早期的铅暴露会损害婴儿的中枢神经系统, 造成婴幼儿智力发育迟缓, 而且这种危害难以治愈, 可能会造成终身损害[6]。据研究, 在工矿等重金属污染区, 粮食作物及蔬菜产品中重金属含量易出现超标情况, 对当地居民的身体健康会构成严重威胁[7]。因此, 环境中铅污染物向农作物、特别是农产品的迁移积累及其防治技术的研究受到高度重视。

土壤中重金属的移动性及生物可利用性是影响植物对重金属的吸收及重金属在植物体内迁移的重要因素。土壤水分状况对土壤的物理、化学性质有重要影响, 特别是会改变土壤的氧化还原状况, 而土壤

氧化还原状态是影响重金属存在化学形态的重要因素。因此，土壤水分状况是影响植物对土壤中重金属吸收、利用的重要因素之一[8][9]。

水稻是世界上最重要的作物之一，特别在亚洲及中国，是大多数人的主食。因此，控制土壤铅污染地区稻米产品的铅污染对保障人体健康非常重要。然而，对于土壤水分状况与水稻对土壤中铅的吸收、分配的关系，及如何通过土壤水分管理降低铅污染稻田中稻米的铅浓度还缺乏研究。根据本课题组的前期研究成果，本研究选用 2 个对土壤中铅吸收分配及籽粒铅积累能力存在显著差异的水稻品种作为材料[10][11]，研究不同铅污染水平土壤中不同的土壤水分管理措施对水稻不同品种籽粒产量及籽粒铅含量的影响，研究结果可为土壤铅污染地区降低稻米铅含量的稻田水分管理措施的制定提供依据。

2. 材料与方 法

2.1. 土壤及盆栽准备

本研究采用土壤盆栽方法，所需土壤取自江苏省常州市武进区前黄镇非污染稻田表层(0~20 cm)，土壤经风干后过 2 mm 筛孔，去除石块及其它杂质，然后对部分土壤性质进行检测，检测结果见表 1。盆栽采用塑料盆，盆内径 18 cm，盆高 20 cm，每盆装风干过筛土 4 kg。

Table 1. Selected properties and Pb concentration of the soil used

表 1. 试验用土壤性质及铅含量

土壤类型	土壤颗粒结构(g/kg)			pH	有机质含量 (g/kg)	阳离子交换量 (cmol/kg)	铅含量 (mg/kg)
	砂粒	粉粒	粘粒				
水稻土	563.2	238.9	197.9	6.9	27.1	14.3	35.7

2.2. 水稻品种选择及水稻种植

根据本课题组前期研究成果，本研究选用 2 个不同基因型、对土壤中铅的吸收分配及籽粒铅积累能力存在显著差异的水稻品种作为材料[10][11]。这 2 个水稻品种分别为扬稻 6 号(籼型品种，高积累铅品种)、予 44(粳型品种，低积累铅品种)。水稻种子先浸泡 48 h，然后在 30℃~32℃条件下催芽 30 h，将发芽后的种子在无污染土壤中育秧 30 d，选择生长一致的秧苗移栽到处理好的盆栽土壤中，每盆栽 3 株秧苗。

2.3. 土壤铅处理及水分管理设计

本研究设计 2 个水平的土壤铅污染，分别为 500 mg/kg(轻度污染)、1000 mg/kg(重度污染)。将 PbCl₂ 溶于去离子水加入土壤并搅拌均匀，加铅处理的土壤装入盆后，先泡水 30 d(保持 2~3 cm 水层)，以用于土壤稳定和熟化，然后再将选择好的秧苗栽入。

设计 6 个土壤水分处理，分别为：A. 整个盆栽生长期淹水灌溉(保持水层 2~3 cm，设定为对照)；B. 整个盆栽生长期土壤轻度干旱处理(排出积水，让其自然失水到轻度干旱，即土壤表层开始发白，但未出现明显裂纹，然后灌水至饱和状态，但未出现明显水层。再让其自然失水到轻度干旱，如此重复)；C. 水稻分蘖期(从秧苗移栽到移栽后第 40 天)轻度干旱，其它时期淹水灌溉；D. 稻穗分化期(从秧苗移栽后第 41 天到抽穗)轻度干旱，其它时期淹水灌溉；E. 籽粒灌浆前期(从抽穗到抽穗后第 20 天)轻度干旱，其它时期淹水灌溉；F. 籽粒灌浆后期(从抽穗后第 21 天到籽粒成熟)轻度干旱，其它时期淹水灌溉。

盆栽试验在塑料大棚中进行，遇下雨时棚顶覆盖塑料膜遮挡雨水。盆栽随机区组排列，设 3 次重复。

2.4. 取样及测定

在籽粒成熟后收获籽粒，在烘箱中用 70℃烘干至恒重，然后称重测定籽粒产量。烘干后的籽粒样品

用粉碎机粉碎, 过 100 目筛孔, 用原子吸收分光光度法测定籽粒铅浓度。

2.5. 统计分析

数据分析用 SPSS 19.0 进行, 均值间差异显著水平采用 $P_{0.05}$ 。

3. 结果与讨论

3.1. 土壤水分处理对水稻籽粒产量的影响

研究结果表明, 不同土壤水分处理间, 水稻籽粒产量存在显著差异($P < 0.05$) (表 2)。与对照(整个盆栽生长期淹水灌溉)比较, 不同时期的土壤控水(轻度干旱)对水稻籽粒产量有不同的影响。各水稻品种、各土壤铅污染水平下, 对籽粒产量影响最大的土壤水分处理为整个盆栽生长期土壤轻度干旱处理(处理 B), 与对照相比, 籽粒产量都有显著降低($P < 0.05$), 下降幅度达到 22.47%~31.40%。稻穗分化期轻度干旱处理(处理 D)的籽粒产量也都有显著下降($P < 0.05$), 降低幅度为 12.89%~16.37%。水稻分蘖期轻度干旱处理(处理 C)对籽粒产量也有所影响, 产量降低幅度为 7.26%~13.23%, 但只有在土壤铅处理水平 1000 mg/kg 下扬稻 6 号的产量降低幅度达显著水平($P < 0.05$), 其它均未达到显著水平($P > 0.05$)。水稻抽穗后土壤轻度干旱处理(处理 E 及处理 F)对水稻产量影响很小, 与对照比较, 各水稻品种、各土壤铅污染水平下均没有显著变化。

Table 2. The grain yields under different soil water management regimes (g/pot)

表 2. 不同土壤水分处理的水稻籽粒产量(g/盆)

土壤水分处理	土壤铅含量 500 mg/kg		土壤铅含量 1000 mg/kg	
	扬稻 6 号	予 44	扬稻 6 号	予 44
A (对照)	51.85 a	39.64 ab	46.72 a	37.47 a
B	35.57 c	29.20 d	34.14 c	29.05 c
C	46.95 ab	35.85 bc	40.54 b	34.75 ab
D	43.36 b	34.53 c	39.16 b	32.41 bc
E	51.29 a	40.51 a	45.96 a	37.83 a
F	52.17 a	40.12 a	46.38 a	37.52 a

注: 同一列中不同小写字母表示水分处理间存在显著差异($P < 0.05$)。

据研究报道, 与淹水灌溉比较, 水稻抽穗前 10~15 天土壤干旱胁迫会使水稻产量下降 80%, 其原因是由于土壤干旱严重抑制了水稻幼穗的生长[12]。Monkham 等也报道, 土壤间歇控水条件下, 水稻产量下降 23%~33% [13]。还有研究表明, 水稻生殖生长期土壤控水, 会抑制水稻植株的蒸腾速率, 进而会影响水稻的产量[14]。

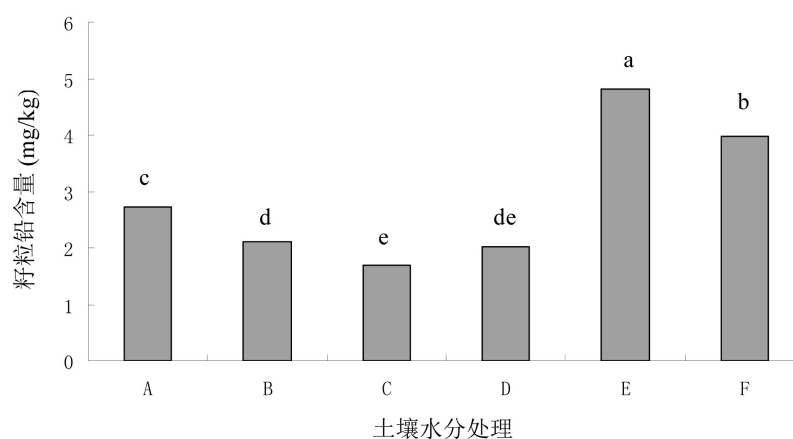
本研究表明, 在土壤铅污染条件下, 不同时期的土壤干旱胁迫, 对水稻产量有不同的影响, 全生育期及穗分化期干旱胁迫对水稻产量有显著影响, 与淹水灌溉比较, 产量下降幅度大。分蘖期干旱胁迫对水稻产量也有一定影响, 但影响程度因水稻品种及土壤铅污染水平不同而不同。而水稻籽粒灌浆期土壤轻度干旱胁迫对水稻产量没有明显影响。

3.2. 土壤水分处理对水稻籽粒铅含量的影响

土壤轻度干旱对水稻籽粒铅含量的影响因水分处理时期、水稻品种及土壤铅污染水平的不同而不同。

在土壤铅含量为 500 mg/kg 的条件下, 与对照比较, 扬稻 6 号在整个盆栽生长期(处理 B)、分蘖期(处理 C)、穗分化期(处理 D)土壤干旱处理都使籽粒铅含量显著下降($P < 0.05$) (图 1), 降低幅度分别为 22.34%、

38.10%、25.64%。而抽穗后各个时期的土壤干旱处理(处理 E 和处理 F)都使籽粒铅含量显著提高($P < 0.05$), 提高幅度分别高达 76.19%、45.79%。对于予 44 而言, 整个盆栽生长期土壤干旱处理(处理 B)的籽粒铅含量与对照差异很小。抽穗前各时期的土壤干旱处理中, 仅分蘖期干旱处理(处理 C)使籽粒铅含量显著下降($P < 0.05$), 降低幅度达到 31.25% (图 2); 穗分化期干旱处理(处理 D)的籽粒铅含量虽也下降 20.31%, 但未达到显著水平($P > 0.05$); 抽穗后各个时期的土壤干旱处理(处理 E 和处理 F)也使予 44 的籽粒铅含量大幅度、显著提高($P < 0.05$), 提高幅度分别高达 147.66%、123.44%。



注: 柱形图上方不同小写字母表示水分处理间存在显著差异($P < 0.05$), 下同。

Figure 1. Effects of soil water treatments on grain Pb concentrations of Yangdao 6 under soil Pb level of 500 mg/kg

图 1. 土壤铅含量 500 mg/kg 条件下水分处理对扬稻 6 号籽粒铅含量的影响

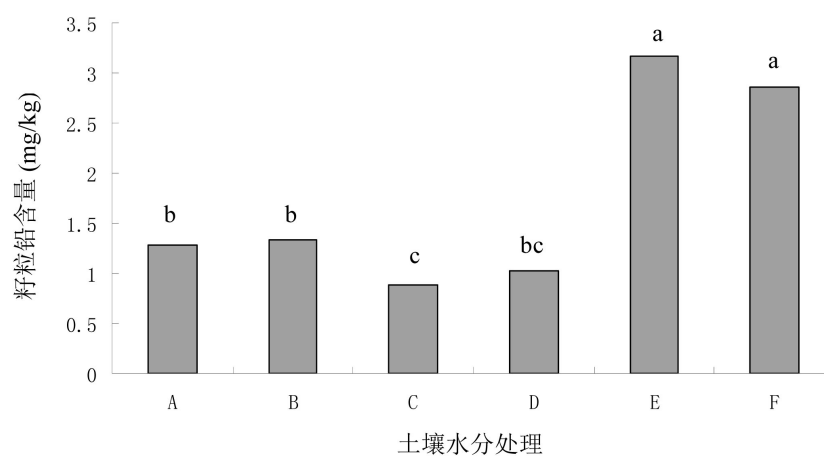


Figure 2. Effects of soil water treatments on grain Pb concentrations of Yu 44 under soil Pb level of 500 mg/kg

图 2. 土壤铅含量 500 mg/kg 条件下水分处理对予 44 籽粒铅含量的影响

在土壤铅含量为 1000 mg/kg 的条件下, 与对照比较, 扬稻 6 号在整个盆栽生长期(处理 B)、分蘖期(处理 C)、穗分化期(处理 D)土壤干旱处理也都使籽粒铅含量显著下降($P < 0.05$) (图 3), 降低幅度分别 21.98%、43.72%、23.91%。而抽穗后各个时期的土壤干旱处理(处理 E 和处理 F)都使籽粒铅含量显著提高($P < 0.05$), 提高幅度分别高达 63.29%、38.41%。对于予 44 而言, 抽穗前的分蘖期(处理 C)和穗分化期(处理 D)的干旱处理都使籽粒铅含量显著下降($P < 0.05$), 降低幅度分别达到 28.72%和 21.54% (图 4); 而

整个盆栽生长期干旱处理(处理 B)的籽粒铅含量与对照差异很小。抽穗后各个时期的土壤干旱处理(处理 E 和处理 F)也使予 44 的籽粒铅含量大幅度、显著提高($P < 0.05$), 提高幅度分别达到 146.15%、95.90%。

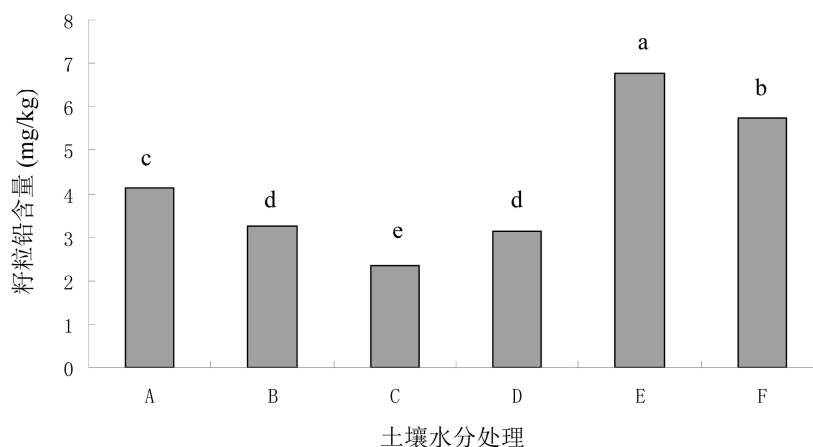


Figure 3. Effects of soil water treatments on grain Pb concentrations of Yangdao 6 under soil Pb level of 1000 mg/kg

图 3. 土壤铅含量 1000 mg/kg 条件下水分处理对扬稻 6 号籽粒铅含量的影响

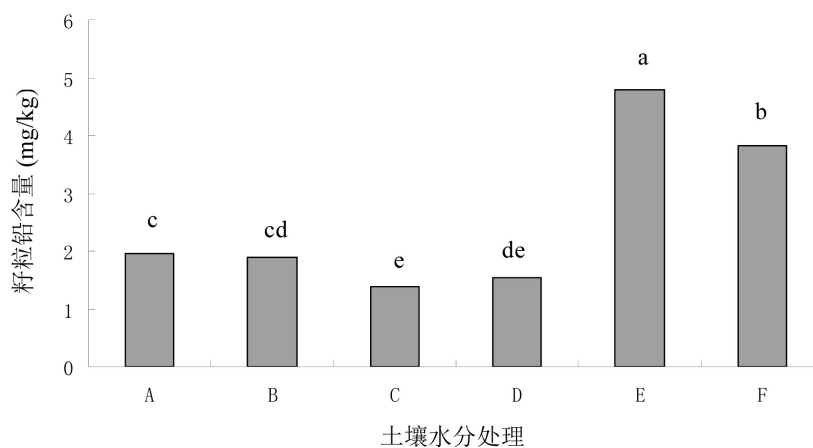


Figure 4. Effects of soil water treatments on grain Pb concentrations of Yu 44 under soil Pb level of 1000 mg/kg

图 4. 土壤铅含量 1000 mg/kg 条件下水分处理对予 44 籽粒铅含量的影响

土壤氧化还原状况是影响土壤中重金属存在化学形态的主要因素,在强还原条件下(如 $Eh - 150$ mV),重金属以硫化物结合态为主,而在氧化条件下(如 $Eh + 100$ mV),重金属以交换态和氧化物结合态为主[15]。而植物对重金属的吸收及重金属在植物体内的迁移分配与重金属的化学形态及相应的溶解性、移动性及植物可利用性密切相关[16] [17]。有研究表明,通过土壤水分管理,可以有效控制水稻对土壤中砷的吸收及向地上部的迁移积累[18]。因此,通过科学的土壤水分管理,可以减少铅污染土壤中水稻对铅的吸收及其向地上部器官的迁移,特别是向籽粒的迁移积累。

本研究表明,在各土壤铅污染水平下及对各水稻品种而言,与淹水灌溉(对照)比较,抽穗后籽粒灌浆期土壤轻度干旱使水稻籽粒铅含量显著提高,而分蘖期土壤轻度干旱使水稻籽粒铅含量显著降低。而整个盆栽生长期及穗分化期土壤轻度干旱对籽粒铅含量的影响因土壤铅污染水平及水稻品种的不同而有差异。

4. 结论

在水稻生长发育过程中, 不同时期的土壤轻度干旱对水稻籽粒产量和籽粒铅含量有不同的影响, 其中对籽粒铅含量的影响程度比对产量的影响程度大得多, 而且, 其影响因土壤铅污染水平和水稻品种的不同存在差异。在各土壤铅污染水平下及对各水稻品种而言, 抽穗后籽粒灌浆期轻度干旱胁迫对水稻产量没有明显影响, 但却大幅度提高籽粒铅含量, 与淹水灌溉(对照)比较, 籽粒铅含量上升 38.41%~147.66%, 且籽粒灌浆前期(从抽穗到抽穗后第 20 天)轻度干旱对籽粒铅含量的提升幅度大于籽粒灌浆后期(从抽穗后第 21 天到籽粒成熟)的轻度干旱。整个盆栽生长期轻度干旱处理的籽粒产量下降幅度最大, 减产达到 22.47%~31.40%, 但对籽粒铅含量的影响因水稻品种不同而有差异; 在抽穗前不同时期的干旱处理中, 分蘖期轻度干旱处理的籽粒产量下降幅度较小(10%左右), 而且籽粒铅含量下降幅度最大, 达到 28.72%~43.72%; 穗分化期轻度干旱处理的籽粒产量也有显著下降, 而对籽粒铅含量的影响因土壤铅污染水平及水稻品种不同而不同。综合分析铅污染土壤中不同时期的土壤轻度干旱对水稻籽粒产量和籽粒铅含量的影响, 只有水稻分蘖期土壤干旱处理的籽粒产量下降幅度最小, 而籽粒铅含量下降幅度最大。所以, 在土壤铅污染地区的水稻种植中, 宜在水稻分蘖期进行土壤轻度干旱处理, 可以有效降低稻米的铅含量, 而对水稻产量影响不大。

基金项目

国家自然科学基金项目(31071350)。

参考文献

- [1] Cheng, S. (2003) Heavy Metal Pollution in China: Origin, Pattern and Control. *Environmental Science and Pollution Research*, **10**, 192-198. <https://doi.org/10.1065/espr2002.11.141.1>
- [2] Teng, Y.G., Ni, S.J., Wang, J.S., Zuo, R. and Yang, J. (2010) A Geochemical Survey of Trace Elements in Agricultural and Non-Agricultural Topsoil in Dexing Area, China. *Journal of Geochemical Exploration*, **104**, 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2010.01.006>
- [3] Chen, H.Y., Teng, Y.G., Lu S.J., Wang, Y.Y and Wang, J.S. (2015) Contamination Features and Health Risk of Soil Heavy Metals in China. *Science of the Total Environment*, **512-513**, 143-153. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025>
- [4] Yadav, S.K. (2010) Heavy Metals Toxicity in Plants: An Overview on the Role of Glutathione and Phytochelatins in Heavy Metal Stress Tolerance of Plants. *South African Journal of Botany*, **76**, 167-179. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007>
- [5] Duong, T.T.T. and Lee, B.K. (2011) Determining Contamination Level of Heavy Metals in Road Dust from Busy Traffic areas with Different Characteristics. *Journal of Environmental Management*, **92**, 554-562. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.010>
- [6] Silbergeld, E.K., Waalkes, M. and Rice, J. M. (2000) Lead as a Carcinogen: Experimental Evidence and Mechanisms of Action. *American Journal of Industrial Medicine*, **38**, 316-323. [https://doi.org/10.1002/1097-0274\(200009\)38:3<316::AID-AJIM11>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1097-0274(200009)38:3<316::AID-AJIM11>3.0.CO;2-P)
- [7] Zhuang, P., McBride, M.B., Xia, H.P., Li, N.Y. and Li, Z. (2009) Health Risk from Heavy Metals via Consumption of Food Crops in the Vicinity of Dabaoshan Mine, South China. *Science of the Total Environment*, **407**, 1551-1561. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.061>
- [8] De Nicola, F., Baldantoni, D., Sessa, L., Monaci, F., Bargagli, R. and Alfani, A. (2015) Distribution of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Holm Oak Plant-Soil System Evaluated along Urbanization Gradients. *Chemosphere*, **134**, 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.03.069>
- [9] Newbigging, A.M., Paliwoda, R.E. and Le, X.C. (2015) Rice: Reducing Arsenic Content by Controlling Water Irrigation. *Journal of Environmental Sciences*, **30**, 129-131. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.03.001>
- [10] Liu, J.G., Li, K.Q., Xu, J.K., Zhang, Z.J., Ma, T.B., Lu, X.L., Yang, J.C. and Zhu, Q.S. (2003) Lead Toxicity, Uptake and Translocation in Different Rice Cultivars. *Plant Science*, **165**, 793-802. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00273-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00273-5)

- [11] Liu, J.G., Ma, X.M., Wang, M.X. and Sun, X.W. (2013) Genotypic Differences among Rice Cultivars in Lead Accumulation and Translocation and the Relation with Grain Pb Levels. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **90**, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.12.007>
- [12] He, H. and Serraj, R. (2012) Involvement of Peduncle Elongation, Anther Dehiscence and Spikelet Sterility in Upland Rice Response to Reproductive-Stage Drought Stress. *Environmental and Experimental Botany*, **75**, 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.09.004>
- [13] Monkham, T., Jongdee, B., Pantuwan, G., Sanitchon, J., Mitchell, J.H. and Fukai, S. (2015) Genotypic Variation in Grain Yield and Flowering Pattern in Terminal and Intermittent Drought Screening Methods in Rainfed Lowland Rice. *Field Crops Research*, **17**, 526-536. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.02.003>
- [14] Guimarães, C.M., Stone, L.F. and Silva, A.C.D.L. (2016) Evapotranspiration and Grain Yield of Upland Rice as Affected by Water Deficit. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **20**, 441-446. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p441-446>
- [15] Clark, M.W., McConchie, D., Lewis, D.W. and Saenger, P. (1998) Redox Stratification and Heavy Metal Partitioning in *Avicennia*-Dominated Mangrove Sediments: A Geochemical Model. *Chemical Geology*, **149**, 147-171. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(98)00034-5)
- [16] Punamiya, P., Datta, R., Sarkar, D., Barber, S., Patel, M. and Das, P. (2010) Symbiotic Role of *Glomus mosseae* in Phytoextraction of Lead in Vetiver Grass [*Chrysopogon zizanioides* (L.)]. *Journal of Hazardous Materials*, **177**, 465-474. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.056>
- [17] Ashraf, U., Kanu, A.S., Mo, Z.W., Hussain, S., Anjum, S.A., Khan, I., Abbas, R.N. and Tang, X. (2015) Lead Toxicity in Rice: Effects, Mechanisms and Mitigation Strategies—A Mini Review. *Environmental Science and Pollution Research*, **22**, 18318-18332. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5463-x>
- [18] Rahaman, S., Sinha, A.C. and Mukhopadhyay, D. (2011) Effect of Water Regimes and Organic Matters on Transport of Arsenic in Summer rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Environmental Sciences*, **23**, 633-639. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60457-3](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60457-3)

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-7967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: ije@hanspub.org