

张琳, 卢瑛. 磷硅肥配施抑制华南地区水稻籽粒砷积累的效果[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(6): 1042–1047.

ZHANG Lin, LU Ying. Effects of phosphorus and silicon applications on arsenic accumulation in rice grains in South China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(6): 1042–1047.

磷硅肥配施抑制华南地区水稻籽粒砷积累的效果

张琳^{1,2}, 卢瑛^{2*}

(1.华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2.华南农业大学资源环境学院, 广州 510642)

摘要:选取华南地区广泛种植的杂交水稻品种“培杂泰丰”, 利用外源添加砷($50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)的土壤盆栽试验, 研究不同施用量的磷硅肥对水稻生长特性和砷积累的影响。结果表明, 施用磷硅肥的处理, 水稻糙米中砷含量为 $0.504 \sim 0.586 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 低于农业部颁布的粮食中砷限量标准(NY 861—2004)中大米砷限值。相关性分析表明, 水稻糙米砷含量与水稻植株的生物量、稻谷千粒重和秸秆中硅/砷摩尔比呈显著负相关, 与秸秆中磷/砷摩尔比呈极显著负相关; 糙米的砷含量随磷、硅肥的施加而降低。综合分析表明, 在华南地区同类中度砷污染土壤中可有效控制砷向水稻籽粒运输累积的磷、硅肥最优施加量及配比为 $40 \text{ mg P} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土、 $50 \text{ mg Si} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土。

关键词: 砷积累; 磷硅肥; 水稻; 盆栽试验; 华南地区

中图分类号: X503.231 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2016)06-1042-06 doi:10.11654/jaes.2016.06.004

Effects of phosphorus and silicon applications on arsenic accumulation in rice grains in South China

ZHANG Lin^{1,2}, LU Ying^{2*}

(1.College of Resource and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2.College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Phosphorus(P) and silicon(Si) have showed the ability to reduce arsenic(As) uptake by plants from soils. Here a pot experiment was conducted in a soil spiked with $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ arsenic to study the effects of different rates of phosphorus and silicon fertilizers on growth and arsenic accumulation of a hybrid rice cultivar, PeizaTaifeng, which is widely planted in South China. Results showed that after applications of phosphorus and silicon fertilizers, arsenic content in rice grains ranged from 0.504 to $0.586 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, lower than the limit of arsenic in rice grains(NY 861—2004) enacted by the China Ministry of Agriculture. Correlation analyses showed that arsenic content in rice grains had significantly negative correlation with rice plant biomass, thousand seed weight, Si/As molar ratio in straw, and extremely significant negative correlation with P/As molar ratio in straw. Arsenic concentrations in grains decreased with increasing rates of phosphorus and silicon fertilizers. The present findings suggest that the optimum application rates of phosphorus and silicon fertilizers for rice grown in arsenic polluted soil would be $40 \text{ mg P} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil and $50 \text{ mg Si} \cdot \text{kg}^{-1}$ soil in the South China area.

Keywords: arsenic accumulation; phosphorus and silicon fertilizer; rice; pot experiment; South China

砷(As)在土壤中积累不仅影响农作物的生长和发育, 导致农作物减产, 而且可以被农作物吸收, 影响农产品质量, 并可能通过食物链进入人体, 对人体健康构成威胁^[1]。水稻是我国第一大粮食作物, 全国 60%

以上的人口以稻米为主食, 而水稻由于在淹水条件下种植, 其对砷累积能力明显高于其他作物, 因此研究抑制水稻砷积累的农业措施, 对确保我国稻米安全具有一定的理论与实际意义。

已有研究^[2-3]表明, 不同品系(种)间的水稻对砷的累积能力存在很大差异, 土壤特性和土壤施肥管理措施也影响水稻对砷的吸收和积累。水稻是典型的硅(Si)积累植物, 当水稻植株内的硅外排转运体发生突变时, 即水稻中硅含量增加时, 亚砷酸盐在水稻秸秆

收稿日期: 2015-08-25

基金项目: 广东省科技计划项目(2013B020310009, 2009B020311011)

作者简介: 张琳(1987—), 女, 陕西咸阳人, 硕士, 助理工程师, 主要从事土壤质量与农产品安全研究。

E-mail: zhanglin@mail.hzau.edu.cn

* 通信作者: 卢瑛 E-mail: luying@scau.edu.cn

和糙米中的转运和积累都显著降低^[4-5]。磷(P)和As属同族元素,化学性质相似,在土壤溶液中两者均主要以阴离子的形式存在,磷酸根和砷酸根可以相互竞争土壤胶体上的吸附位点,并且砷酸根是通过和磷酸根共用细胞膜上的转运通道被植物吸收的,两者在根系吸收方面存在拮抗效应^[4,6]。在砷污染的土壤中施加磷或硅可显著抑制水稻对砷的吸收^[7-8]。国内外关于单施磷肥或硅肥抑制水稻吸收砷的研究很多^[9-10],然而有关磷、硅肥配施对水稻籽粒砷积累影响的研究鲜见报道。

华南地区是我国重要的水稻产区,由于工、农业活动的影响,部分区域农田土壤呈现一定程度的砷积累,威胁水稻生长和稻米的食用安全。尽管国内外已有很多有关抑制砷在稻米中积累的研究报道^[7-10],但稻米中砷的积累量随稻米的产区环境条件、品种特性和生长管理等因素的不同而差异明显^[11-12],因此有必要开展适合不同区域的抑制水稻砷积累的农业措施研究,如合理施肥措施等。本研究以华南地区中度砷污染土壤为对象,开展施用不同量的磷、硅肥水稻盆栽试验,旨在筛选出抑制稻米砷积累效果最佳的磷、硅肥使用量及配比,为合理利用和管理华南地区砷污染土壤,保障稻米食用安全提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 盆栽试验设计

盆栽试验土壤采自华南农业大学试验农场稻田的表层(0~20 cm),土壤类型为水稻土(普通简育水耕人为土),将取回的土壤样品风干、磨碎,过5 mm筛后分别装入高15.6 cm、底径12.5 cm、口径15 cm的PVC盆中,每盆装土2.25 kg。供试土壤总砷含量27.7 mg·kg⁻¹,pH6.87,有机质27.8 g·kg⁻¹,有效磷70.3 mg·kg⁻¹,速效钾167.0 mg·kg⁻¹,全氮1.26 g·kg⁻¹,碱解氮101.9 mg·kg⁻¹,阳离子交换量(CEC)8.58 cmol·kg⁻¹,电导率279 μS·cm⁻¹,有效硅(Si)91.8 mg·kg⁻¹,黏粒含量(<2 μm)32.4%。土壤中外源添加50 mg As·kg⁻¹土(砷以Na₂HAsO₄·7H₂O形式加入),充分搅拌后淹水,平衡2个月备用。

试验设9个处理,即对照(P 0、Si 0)、处理1(P 0、Si 50 mg·kg⁻¹)、处理2(P 0、Si 100 mg·kg⁻¹)、处理3(P 20 mg·kg⁻¹、Si 0)、处理4(P 20 mg·kg⁻¹、Si 50 mg·kg⁻¹)、处理5(P 20 mg·kg⁻¹、Si 100 mg·kg⁻¹)、处理6(P 40 mg·kg⁻¹、Si 0)、处理7(P 40 mg·kg⁻¹、Si 50 mg·kg⁻¹)、处理8(P 40 mg·kg⁻¹、Si 100 mg·kg⁻¹),每个处理设4次重复。

磷肥施用过磷酸钙(分析纯),硅肥施用硅酸钠(分析纯),均配制成溶液,在移苗前施入。

供试水稻品种为华南农业大学选育的杂交水稻“培杂泰丰”。水稻育苗后移栽至PVC盆中,每盆2株,在淹水条件下培养至成熟(中间有多次晒田)。整个生长过程中每盆分别施入尿素、氯化钾(N、K含量分别为140 mg·kg⁻¹、100 mg·kg⁻¹)。

水稻成熟后,测量水稻地上部生物量、株高、穗长、穗数和谷粒千粒重,并分别采集水稻稻穗和秸秆。稻穗用去离子水清洗后自然风干,经稻谷机去壳后将糙米用玛瑙研钵磨碎;秸秆用去离子水冲洗干净并放入鼓风干燥箱中于105℃下烘30 min杀青,然后降温至70℃烘干、粉碎。

1.2 样品分析

植株Si含量采用瓷坩埚灰化-钼蓝比色法测定,植株As含量用HNO₃-H₂O₂消煮-原子荧光光度计(AFS-930,北京吉天仪器有限公司)测定,植株P含量采用H₂SO₄-H₂O₂消煮-钼锑抗比色法测定。土壤pH按水土比2.5:1电位法测定,土壤颗粒组成采用吸管法测定,CEC用1 mol·L⁻¹乙酸铵(pH7.0)交换法测定,土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法测定,土壤有效磷采用0.5 mol·L⁻¹碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定,土壤有效硅采用柠檬酸浸提-硅钼蓝比色法测定。上述分析方法均参照《土壤农业化学分析方法》^[13]。

1.3 数据处理

利用SPSS 16.0软件,采用Duncan多重比较法进行差异显著性分析;采用Excel 2010、SPSS 16.0软件进行相关性分析(Pearson相关分析)。

2 结果与讨论

2.1 磷、硅肥配施对水稻生长的影响

试验结果(表1)表明,在砷污染土壤中施用磷、硅肥后,稻株生物量与水稻千粒重均是处理6与对照差异达到显著水平($P<0.05$),其余各处理均与对照无显著差异;所有处理的株高、穗长及穗数与对照均无显著差异。水稻生物量、千粒重、株高和穗长与对照相比较差别最大的是处理6,分别提高了101.4%、10.4%、16.2%和9.99%,可见施用适量磷肥对水稻生长有一定的促进作用。在未施磷肥时,稻株生物量表现为处理1高于处理2和对照,而水稻千粒重表现为处理2高于处理1和对照;施用磷肥后,同一水平磷肥处理的植株生物量与水稻千粒重表现为相同的变

化规律,即:处理 3>处理 4>处理 5;处理 6>处理 7>处理 8。这表明施用磷肥时,添加硅肥越多生物量与千粒重减少越多,这可能与磷、硅肥之间的相互作用有关,具体原因还有待进一步深入研究。综上所述,处理 6 对水稻生长的影响最为显著。

相关性分析结果(图 1)表明,水稻生物量与秸秆砷含量呈显著负相关($r=-0.380^*$, $n=36$),水稻千粒重与糙米砷含量呈显著负相关($r=-0.358^*$, $n=36$),即水稻生物量随秸秆砷含量增加而降低,水稻千粒重随糙米砷含量增加而减少。这表明水稻植株中砷含量越高,对水稻的生长抑制作用越明显。

有研究^[14]报道,砷对水稻毒害症状比较明显,危害初期,叶片发生卷曲或枯萎,进一步发展则破坏根系和叶组织;轻度时茎叶会发生扭曲,无效分蘖增多;严重时植株高和生长都十分缓慢,地上部发黄,出现类似缺铁症状的褐斑,地下部根系少而且发黑。砷污染土壤中分别施用磷肥和硅肥对水稻吸收砷有抑制作

用,进而会促进水稻生长。本研究表明,在砷污染土壤中施用不同量的磷、硅肥后,水稻长势差异明显,在一定程度上反应了其抵抗砷毒害的程度,表明在华南地区砷污染的土壤中施用磷、硅肥能抑制水稻对砷的吸收。这与前人在其他区域研究结果^[7-8]一致。

2.2 磷、硅肥配施对水稻磷、硅、砷含量的影响

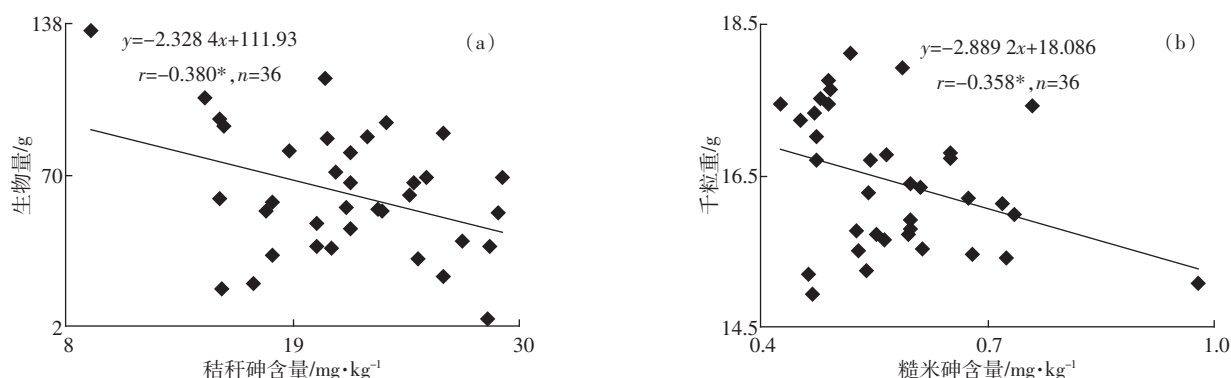
由表 2 可知,施用磷、硅肥后,处理 2、处理 4、处理 5 和处理 8 水稻秸秆硅含量与对照的差异达到显著水平($P<0.05$),水稻秸秆磷含量与糙米磷含量均是处理 6 与对照差异达到显著水平($P<0.05$),处理 5、处理 6、处理 7 水稻糙米砷含量与对照的差异达到显著水平($P<0.05$),所有处理的秸秆砷含量与对照均无显著差异。与对照相比较:水稻秸秆硅含量差别最大的是处理 8,增加了 65.6%;水稻秸秆磷含量差别最大的是处理 6,增加了 56.2%;水稻秸秆砷含量差别最大的是处理 7,减少了 14.6%;水稻糙米磷含量差别最大的是处理 6,增加了 32.9%;水稻糙米砷含量差别最大的

表 1 不同施肥处理水稻生长的差异

Table 1 Growth and biomass of rice in different fertilizer treatments

处理	生物量/g·盆 ⁻¹	千粒重/g	株高/cm	穗长/cm	穗数/个
对照	46.56±10.13bc	15.94±0.35b	76.41±2.94a	20.98±0.54a	6.25±0.48a
处理 1	69.15±18.56abc	15.89±0.45b	80.09±5.69a	21.78±0.70a	5.50±1.04a
处理 2	54.81±18.78abc	16.73±0.46ab	81.44±5.28a	20.07±1.31a	4.75±0.63a
处理 3	58.69±9.63abc	16.63±0.40ab	87.51±1.58a	21.78±0.23a	6.25±0.25a
处理 4	50.94±7.59bc	16.37±0.24ab	79.51±1.74a	20.79±0.44a	5.25±0.48a
处理 5	39.41±6.89c	15.53±0.13b	81.95±1.78a	21.51±0.95a	4.25±0.63a
处理 6	93.87±7.11a	17.59±0.16a	88.77±2.59a	23.08±0.80a	6.00±0.41a
处理 7	86.92±17.18ab	16.73±0.45ab	85.49±8.48a	22.29±1.66a	6.25±1.03a
处理 8	56.07±12.54abc	16.32±0.64ab	79.52±2.72a	22.09±0.80a	4.75±0.48a

注:表中数值为平均值±标准误,采用 Duncan 多重比较法,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。



*表示显著相关;**表示极显著相关。下同

图 1 水稻砷含量与生物量和千粒重的相关性

Figure 1 Relationship between arsenic content and biomass and grain weight of rice

是处理 6,减少了 29.9%。

在同一水平磷肥中,秸秆硅含量随硅肥施加量的递增而升高;在 0、20 mg·kg⁻¹ P 处理中秸秆磷含量随硅肥施加量的递增而升高,却在 40 mg·kg⁻¹ P 处理中降低;在 0 mg·kg⁻¹ P 处理中糙米磷含量随硅肥施加量的递增而升高,而在 20、40 mg·kg⁻¹ P 处理中降低。在 100 mg·kg⁻¹ Si 处理中秸秆硅含量随磷肥施加量的递增而升高;在 0、50 mg·kg⁻¹ Si 处理中糙米砷含量随磷肥施加量的递增而降低。水稻砷含量不仅受土壤中磷、硅肥不同施用量的影响,土壤的理化特性和水稻品种特征也影响其转化、有效性及水稻吸收量^[3,11]。因此,水稻砷含量并没有随磷、硅肥施用水平的升高而递减,并且砷污染土壤施用磷、硅肥后,水稻糙米砷含量相比于对照均有所降低,结合秸秆砷含量分析可知,处理 7 配施效果最佳。处理 6 对水稻砷毒害缓解效果最好,即水稻生物量最大,积累砷最少,但随着硅处理浓度的增大,水稻生物量降低、砷积累增加。造成这一现象的原因可能是所种植的水稻品种和常年施肥过多导致土壤本身有效磷(70.3 mg·kg⁻¹)和有效硅(91.8 mg·kg⁻¹)较高,使得施肥处理效果不明显,对此需要进一步进行验证分析。

本研究结果表明,砷污染土壤施用磷、硅肥后,水稻糙米砷含量均比对照低,未施用磷、硅肥的对照处理水稻糙米砷含量超过了农业部颁布的粮食中砷限量标准(NY 861—2004)^[15]中大米砷限量值(0.7 mg·kg⁻¹);而施用不同量的磷、硅肥后,水稻糙米砷含量均

没有超过该限量,说明砷污染土壤施用磷、硅肥可抑制水稻籽粒砷积累。这与前人研究结果^[7-8]一致,因此可以通过施用磷、硅肥来降低华南地区糙米中砷的积累。砷的化学及生物毒性与其存在形态密切相关,用总量标准评价砷的环境污染情况和人体暴露水平无法反映砷污染的真实状况,应对其进行形态分析,这将成为后续的研究部分。

由表 3 可知,砷由秸秆向籽粒转运的转运系数表现为处理 4 与处理 6 均与对照差异达到显著水平($P<0.05$),其余各处理均与对照无显著差异;由对照、处理 3 和处理 6 可以看出,随着施磷量的增加,砷由秸秆向籽粒的转运系数是逐渐降低的,并且施磷量达到最高时的转运系数显著低于对照,这说明磷对糙米砷积累有一定的抑制作用。

Talukder 等^[16]认为,砷在土壤中形成的化合物与磷的化合物相似,所以影响土壤中磷酸盐化学行为的因素也影响砷酸盐的行为,施加磷肥可以控制和治理砷污染土壤。水稻吸收磷、砷存在拮抗效应,水稻糙米砷含量低是由于其磷含量高抑制水稻籽粒积累砷,这与薛培英等^[7]研究结果中变化规律类似,即中轻度砷污染土壤上种植水稻应添加适量磷肥来降低砷在水稻地上部的积累。

2.3 秸秆中磷、硅元素对糙米砷积累的影响

相关性分析结果(图 2)表明,糙米砷含量与秸秆中硅/砷摩尔比呈显著负相关($r=-0.378^*$, $n=36$),与磷/砷的摩尔比呈极显著负相关($r=-0.489^{**}$, $n=36$),

表 2 不同施肥处理水稻硅、磷及砷含量的差异

Table 2 Silicon, phosphorus and arsenic content in rice in different treatments

处理	秸秆硅/g·kg ⁻¹	秸秆磷/%	秸秆砷/mg·kg ⁻¹	糙米磷/%	糙米砷/mg·kg ⁻¹
对照	6.61±0.46de	0.113±0.014b	21.51±1.79a	0.307±0.028b	0.720±0.094a
处理 1	7.25±0.77cde	0.128±0.004b	19.47±2.52a	0.333±0.045ab	0.586±0.066ab
处理 2	10.03±1.13ab	0.137±0.016ab	23.69±3.17a	0.353±0.023ab	0.652±0.064ab
处理 3	5.72±0.48e	0.106±0.008b	19.28±1.94a	0.305±0.010b	0.553±0.035ab
处理 4	9.11±0.27abc	0.108±0.010b	24.41±1.88a	0.292±0.012b	0.556±0.031ab
处理 5	10.51±0.44ab	0.130±0.002b	20.61±1.35a	0.273±0.018b	0.539±0.029b
处理 6	7.46±0.52cde	0.177±0.021a	23.05±1.24a	0.408±0.035a	0.504±0.029b
处理 7	8.66±0.69bcd	0.151±0.014ab	18.38±3.40a	0.350±0.030ab	0.533±0.054b
处理 8	10.95±0.96a	0.133±0.020b	23.27±2.96a	0.324±0.045ab	0.568±0.023ab

表 3 砷由秸秆向籽粒转运的转移系数

Table 3 Transfer coefficients of arsenic from straw to rice grains

对照	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	处理 6	处理 7	处理 8
0.033 2± 0.002 16a	0.030 3± 0.001 09ab	0.028 3± 0.002 66ab	0.029 1± 0.002 06ab	0.023 0± 0.001 50b	0.026 2± 0.000 34ab	0.022 0± 0.001 43b	0.031 6± 0.005 03a	0.025 6± 0.003 22ab

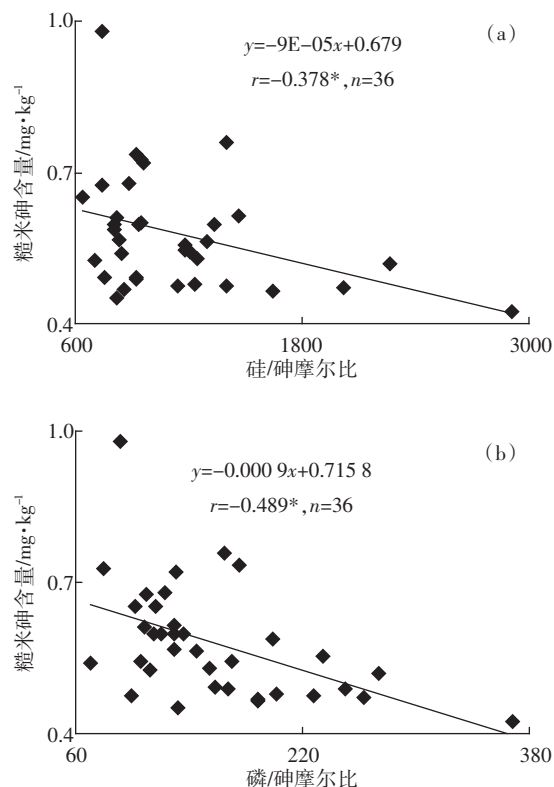


图2 水稻秸秆中硅/砷、磷/砷摩尔比与糙米砷的相关性

Figure 2 Relationship between grain arsenic and straw Si/As and P/As molar ratios

即糙米中砷累积量随秸秆中硅、磷含量的增加而减少。

水稻是典型的喜硅植物,亦称硅酸植物,本研究在磷、硅肥配施对抑制水稻糙米砷积累有一定的作用。水稻在淹水条件下砷的主要形态为无机三价砷,水稻根部 $As(III)$ 的运输与硅共用根细胞膜上的转运通道,当土壤溶液中硅含量高时,水稻中砷含量低,表明土壤中较高含量的有效硅能显著降低水稻对砷的吸收。这与国内外的研究结果^[10,17-18]类似。水稻吸收磷、砷存在拮抗关系,磷含量高会抑制水稻吸收砷^[19],因此磷、硅配施共同抑制作用的效果更明显。

3 结论

(1) 华南地区砷污染土壤配施磷、硅肥后水稻糙米砷含量随秸秆中磷、硅含量的增加而降低,磷、硅肥配施可以有效缓解砷对水稻生长的影响并且抑制水稻籽粒砷的积累。

(2) 华南地区中度砷污染中性土壤中可有效抑制水稻砷积累的磷、硅肥最优配用量为 $40 \text{ mg P} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $50 \text{ mg Si} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

参考文献:

- [1] Rahman M A, Hasegawa H, Rahman M M, et al. Arsenic accumulation in rice (*Oryza sativa* L.): Human exposure through food chain[J]. *Ecotoxicology & Environmental Safety*, 2008, 69(2): 317-324.
- [2] Lu Y, Dong F, Deacon C, et al. Arsenic accumulation and phosphorus status in two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars surveyed from fields in South China[J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158(5): 1536-1541.
- [3] Bogdan K, Schenk M K. Evaluation of soil characteristics potentially affecting arsenic concentration in paddy rice (*Oryza sativa* L.)[J]. *Environmental Pollution*, 2009, 157(10): 2617-2621.
- [4] Zhao F J, McGrath S P, Meharg A A. Arsenic as a food-chain contaminant: Mechanisms of plant uptake and metabolism and mitigation strategies[J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2010, 61: 535-559.
- [5] Ma J F, Yamaji N, Mitani N, et al. Transporters of arsenite in rice and their role in arsenic accumulation in rice grain[J]. *USA: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(29): 9931-9935.
- [6] Tao Y Q, Zhang S Z, Jian W, et al. Effects of oxalate and phosphate on the release of arsenic from contaminated soils and arsenic accumulation in wheat[J]. *Chemosphere*, 2006, 65(8): 1281-1287.
- [7] 薛培英, 刘文菊, 段桂兰, 等. 外源磷对苗期小麦和水稻根际砷形态及其生物有效性的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(4): 2027-2034. XUE Pei-ying, LIU Wen-ju, DUAN Gui-lan, et al. Effects of exogenous phosphorus on arsenic fractions in the rhizosphere and their bioavailability to rice and wheat seedlings[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 2027-2034.
- [8] 郭伟, 朱永官, 梁永超, 等. 土壤施硅对水稻吸收砷的影响[J]. *环境科学*, 2006, 27(7): 1393-1397. GUO Wei, ZHU Yong-guan, LIANG Yong-chao, et al. Effect of application of silicon on arsenic uptake by rice seedlings in soil[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(7): 1393-1397.
- [9] Zeng M, Liao B H, Lei M, et al. Arsenic removal from contaminated soil using phosphoric acid and phosphate[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20(1): 75-79.
- [10] Li R Y, Stroud J L, Ma J F, et al. Mitigation of arsenic accumulation in rice with water management and silicon fertilization[J]. *Environmental Science & Technology*, 2009, 43(10): 3778-3783.
- [11] 王玲梅, 韦朝阳, 杨林生, 等. 两个品种水稻对砷的吸收富集与转化特征及其健康风险[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(4): 832-840. WANG Ling-mei, WEI Chao-yang, YANG Lin-sheng, et al. Arsenic accumulation and speciation in two rice varieties and related health risks[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(4): 832-840.
- [12] 董飞, 卢瑛, 王兴祥, 等. 华南地区不同品系水稻积累砷特征及其影响因素[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(2): 214-219. DONG Fei, LU Ying, WANG Xing-xiang, et al. Characteristics of arsenic accumulation in different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and its influencing factors in South China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(2): 214-219.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.

- LU Ru-kun. Analytical methods of soil and agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [14] 陈同斌, 刘更另. 砷对水稻生长发育的影响及其原因[J]. 中国农业科学, 1993, 26(6): 50-58.
- CHEN Tong-bin, LIU Geng-ling. Effect of arsenic on rice (*Oryza sativa* L.) growth and development and its mechanism[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1993, 26(6): 50-58.
- [15] 中华人民共和国农业部. NY 861—2004 粮食(含谷物、豆类、薯类)及制品中铅、铬、镉、汞、硒、砷、铜、锌等八种元素限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY 861—2004 Limits of eight elements in cereals, legume, tubers and its products[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.
- [16] Talukder A S M H M, Meisner C A, Sarkar M A R, et al. Effect of water management, tillage options and phosphorus status on arsenic uptake in rice[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2011, 74(4): 834-839.
- [17] 黄益宗, 石孟春, 招礼军. 水稻根系吸收砷的动力学特征及硅的缓解机制[J]. 生态毒理学报, 2010, 5(3): 433-438.
- HUANG Yi-zong, SHI Meng-chun, ZHAO Li-jun. Uptake kinetics of arsenic species in two genotypes of rice plants and mitigatory mechanism of silicon[J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2010, 5(3): 433-438.
- [18] Bogdan K, Schenk M K. Arsenic in rice (*Oryza sativa* L.) related to dynamics of arsenic and silicic acid in paddy soils[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(21): 7885-7890.
- [19] 张广莉, 宋光煜, 赵红霞. 磷影响下根际无机砷的形态分布及其对水稻生长的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 23-28.
- ZHANG Guang-li, SONG Guang-yu, ZHAO Hong-xia. Effect of phosphorus on distribution of inorganic arsenic fractions in rhizosphere and growth of rice[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 23-28.



农业环境科学与技术实验教程

种云霄 主编 龙新宪、余光伟 副主编

本书分三篇十一章,主要介绍了土壤污染防治、农作物安全等方面的基本技能实验,以及融合多个基本技能的综合实验,如土壤样品采集、性质及污染物测定等;并结合一些最新农业环境科学研究进展所开设的设计性实验项目,如利用硝化抑制剂防治农业面源、重金属污染土壤的治理等。

※书号: 9787122261298

※定 价: 48.0 元

※开本: B5

※出版日期: 2016 年 5 月



村镇污水低碳控制原理与技术

刘俊良、马放、张铁坚 编著

本书以农村污水节能治理为重点,主要内容包括农村污水问题与特点、处理现状与前景,农村污水处理相关文件,农村污水处理理论基础,农村水污染控制与处置,农村污水处理技术,农村污泥处理与处置,循环经济与农村污水处理,农村污水处理节能分析等。

※书号: 9787122254801

※定 价: 68.0 元

※开本: B5

※出版日期: 2016 年 4 月

如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn

服务电话: 010-64518888, 64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店: <http://hxgyebs.tmall.com>

邮购地址: (100011)北京市东城区青年湖南街 13 号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系,联系电话: 010-64519525。