

卢金海,李博文,杨志新,等.不同施肥处理对设施黄瓜生产系统重金属 Cd 积累的影响[J].江苏农业科学,2018,46(4):97-100.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.024

不同施肥处理对设施黄瓜生产系统 重金属 Cd 积累的影响

卢金海,李博文,杨志新,赵洪

(河北农业大学资源与环境学院/河北省农田生态环境重点实验室,河北保定 071000)

摘要:以河北省永清县具代表性管理模式的黄瓜日光温室为对象,通过连续 2 年试验,研究不同施肥处理对设施黄瓜土壤重金属 Cd 累积的影响。结果表明,推荐氮肥施用量(750 kg/hm^2)、减氮施肥处理(960 kg/hm^2)的重金属 Cd 输入量明显低于常规施肥处理,鸡粪是设施黄瓜生产系统重金属 Cd 输入的主要来源;除不施用肥料外,其他施肥处理均出现不同程度的 Cd 净积累;推荐氮肥用量处理 Cd 的输出量相对最高,净积累量相对最低,产投比相对最高,可减轻土壤重金属的污染风险。

关键词:设施黄瓜;施肥量;Cd 净积累;产投比;输入量;输出量

中图分类号: S642.206 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)04-0097-04

设施栽培作为一项提高蔬菜、花卉等作物产量的有效途径,近年来在我国迅猛发展,以日光温室和塑料大棚为主的设施栽培面积已超过 100 万 hm^2 ^[1-2]。河北省永清县作为全国优质设施栽培蔬菜基地,设施蔬菜种植面积达到 $21\ 133\text{ hm}^2$,其中设施黄瓜面积为 $4\ 800\text{ hm}^2$ 。由于设施环境的特殊性,温室土壤常出现酸化、次生盐渍化、微生物区系失调和残留的硝酸盐、亚硝酸盐、重金属超标等问题,其中重金属含量超标尤为突出^[3]。因此,设施蔬菜生产系统的生态安全问题越来越受到关注。

蔬菜生产系统的重金属平衡决定着土壤中重金属的变化趋势及污染积累,进而对蔬菜生长发育产生不利影响。目前,大多学者集中在对土壤重金属的评价分析上,而对系统中重金属净积累研究尚少。Dach 等对比研究波兰、荷兰农业区的重金属平衡水平发现,高强度的种植模式会加大土壤生态系

统对重金属的积累,从而严重影响土壤环境及农业系统的生产安全性^[4];王丽英等对河北省设施蔬菜土壤微量金属元素调查与评价表明,该地区土壤出现不同程度的重金属污染和微量元素积累^[5]。

施肥是影响土壤重金属含量的重要因素,有研究表明,大量施肥的菜地土壤中某些重金属含量显著高于种植粮食作物的农田土壤^[6-7]。目前,有关设施蔬菜生产系统控制重金属积累的安全施肥研究尚未见报道。本研究以具有代表性管理模式的河北省永清县日光温室黄瓜为对象,通过连续 2 年的定位试验,以建立减少重金属积累的安全施肥方案,为降低土壤环境质量风险提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于河北省廊坊市永清县永清镇北岔口村, $116^{\circ}25'37''\sim 116^{\circ}25'52''\text{E}$ 、 $39^{\circ}13'34''\sim 39^{\circ}19'51''\text{N}$,为国家级无公害蔬菜生产基地,属北温带亚湿润气候区,大陆性季风气候,雨热同季,年平均日照 $2\ 740\text{ h}$,年平均降水 540 mm ,年平均气温 $11.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。试验选用种植 10 年黄瓜的廊坊 40 型日光温室大棚,土壤类型为潮褐土,质地为壤土,土壤有机质含量为 2.70% ,速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 146.5 、 400.2 、 684.0 mg/kg ,pH 值为 7.5 左右。黄瓜管理模式在当地具有

收稿日期:2016-02-28

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAD15B02);河北省教育厅项目(编号:ZH2012034,ZD20131013)。

作者简介:卢金海(1989—),男,河北涿州人,硕士研究生,主要从事设施蔬菜土壤重金属污染研究。E-mail:15933516179@163.com。
通信作者:李博文,教授,博士生导师,主要从事土壤环境科学研究, E-mail:kjli@hebau.edu.cn;杨志新,博士,教授,主要从事生态、环境质量评价与监控研究, E-mail:yangzhixin@126.com。

幼苗生长及根际微生物的影响[J].华北农学报,2010,25(5):155-160.

[19]黄益宗,冯宗炜,张福珠.化感物质对土壤硝化反应影响的研究[J].土壤与环境,1999,8(3):203-207.

[20]林瑞余,于翠萍,戎红,等.苗期不同化感潜力水稻根际土壤酶活性分析[J].中国生态农业学报,2008,16(2):302-306.

[21]王延平,王华田.连作人工林化感效应研究综述[J].世界林业研究,2008,21(4):25-30.

[22]袁光林,马瑞霞,刘秀芬,等.化感物质对土壤脲酶的活性影响[J].环境科学,1998,19(2):55-57.

[23]Hoagland R E, Zablotowicz R M, Oleszek W A. Effects of alfalfa saponins on *in vitro* physiological activity of soil and rhizosphere bacteria[J]. Journal of Crop Protection, 2001, 4(2):349-361.

[24] Diamantidis G, Efosse A, Potier P, et al. Purification and characterization of the first bacterial laccase in the rhizospheric bacterium *Azospirillum lipoferum*[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(7):919-927.

[25]Aon M A, Colaneri A C. Temporal and spatial evolution of enzymatic activities and physico-chemical properties in an agricultural soil [J]. Applied Soil Ecology, 2001, 18(3):255-270.

较强的代表性,生产茬口一般为每年的 10 月底到翌年 6、7 月份。

1.2 试验设计

试验在 1 个温室大棚内完成,共设 5 个不同的施肥处理(表 1、表 2),灌水、喷施农药与菜农常规管理基本一致。每处理重复 3 次,试验小区随机排列。

表 1 第 1 年设施黄瓜不同施肥处理及其用量

处理	面积 (m ²)	基肥		追肥		说明
		肥料种类	施用量(kg)	肥料种类	施用量(kg)	
T1	62.4					不施肥处理,作为对照(CK)
T2	62.4	干鸡粪	67.5	农大液肥	6.24	以 750 kg/hm ² 为推荐氮肥用量,根据设施黄瓜土壤养分状况和目标黄瓜产量而定。
		农大固态肥	5.0			
		硫酸钾	0.5			
		磷酸二铵	1.0			
T3	62.4	干鸡粪	75.6	农大液肥	8.736	减氮处理,比常规氮肥使用量 1 200 kg/hm ² 减少 20%,即 960 kg/hm ² ,而化肥氮和有机肥氮的比例保持不变。
		农大固态肥	5.0			
		硫酸钾	0.5			
		磷酸二铵	1.0			
T4	62.4	干鸡粪	75.6	农大液肥	6.24	减氮处理,比常规施氮量减少 20%,即 960 kg/hm ² ,化肥氮比例减少 20%,而有机氮比例增加 20%。
		农大固态肥	5.0	氨基酸水溶肥料	2.08	
		硫酸钾	0.5			
		磷酸二铵	1.0			
T5	150	干鸡粪	1 620.0	三友冲施肥	80.00	常规施氮量,即 1 200 kg/hm ² ,为农民习惯施肥方式。
		复合肥	56.0	菌力宝	25.00	

注:处理 T2、T3、T4 磷、钾肥施用量不变,P₂O₅、K₂O 用量分别为 360、600 kg/hm²;有机氮由有机配方肥、鸡粪提供。表 2 同。表中农大的全称为河北农业大学,下同。

表 2 第 2 年设施黄瓜不同施肥处理及其用量

处理	面积 (m ²)	基肥		追肥	
		肥料种类	施用量(kg)	肥料种类	施用量(kg)
T1	62.4				
T2	62.4	干鸡粪	83.43	农大液肥	6.24
		农大固态肥	5.0		
		硫酸钾	0.5		
		磷酸二铵	1.0		
T3	62.4	干鸡粪	83.43	农大液肥	8.736
		农大固态肥	5.0		
		硫酸钾	0.5		
		磷酸二铵	1.0		
T4	62.4	干鸡粪	83.43	农大液肥	6.24
		农大固态肥	5.0		
		硫酸钾	0.5	氨基酸水溶肥料	2.08
		磷酸二铵	1.0		
T5	150	干鸡粪	828.9	三友冲施肥	63.00
		复合肥	40.0		

1.3 样品采集与制备

采集温室的灌溉水样及施用的各种肥料;化肥样品磨碎,过 100 目筛,鸡粪带回实验室,称鲜质量和干质量,磨碎,过 100 目筛,备用。以每试验小区为采样单元,分别于黄瓜种植前、每年黄瓜收获后按“Z 形布点法”等量采集深度为 0 ~ 20 cm 的土壤,组成 1 个小区混合样品;去除生物残留及沙石,自然风干,过 2 mm 筛;取土样 300 g,研磨,过 0.150 mm 筛,备用。采集黄瓜果实及瓜秧,称鲜质量;用自来水冲洗 2 次,用去离子水冲洗 1 次,晾干;黄瓜样品打成匀浆,经消煮浸

提制备成浸提液,瓜秧烘干、粉碎,过 100 目筛,备用。黄瓜开始收获至采摘结束,记录每试验小区的收获产量。

1.4 样品测定

采用“四酸(盐酸、硝酸、氢氟酸、高氯酸)分解-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法”测定土壤样品、化肥、鸡粪中的重金属 Cd 含量;采用“二酸(硝酸、高氯酸)分解-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法”测定灌溉水样中的重金属 Cd 含量;采用“高压消解-电感耦合等离子体质谱法”测定植物样品 Cd 含量。设施黄瓜蔬菜系统 Cd 的输入量计算公式为:

$$Q=\sum_{i=1}^nM_iC_i。$$

式中:Q 为输入重金属元素总量;n 为施肥或灌溉的管理次数;C_i 为施肥或灌溉水中 Cd 的含量;M_i 为施肥或灌溉的量。

1.5 数据统计分析

采用 Excel 2003、SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同肥料中 Cd 含量

试验结果表明,有机肥(鸡粪)、菌力宝、磷酸二铵、复合肥、三友菌肥、硫酸钾、农大固态肥、农大液肥、氨基酸水溶肥的 Cd 含量分别为(0.250 0 ± 0.020 0)、(0.050 0 ± 0.003 6)、(0.032 0 ± 0.001 7)、(0.016 0 ± 0.001 0)、(0.014 0 ± 0.002 0)、(0.006 3 ± 0.000 2)、(0.006 3 ± 0.000 1)、(0.004 4 ± 0.000 3)、(0.001 5 ± 0.000 2) mg/kg,鸡粪、菌力宝、磷酸二铵的 Cd 含量显著高于其他肥料,且相互间差异显著(P < 0.05),氨基酸水溶肥的 Cd 含量显著低于鸡粪、菌力宝、

二铵、复合肥($P<0.05$),而复合肥、三友菌肥、硫酸钾、农大固态肥、农大液肥的 Cd 含量相互间差异不显著($P<0.05$)。

2.2 不同施肥处理下土壤 Cd 的输入量

日光温室大棚黄瓜生产系统土壤重金属的输入量主要由化肥与有机肥施入量、农药投入量、灌溉用水量决定,由于灌溉用水、农药的重金属含量极低(小于 0.0001 mg/kg)或无法检出,故二者对 Cd 的输入影响忽略不计。由图 1 可见,设施黄瓜生产系统中,有机肥 Cd 输入量占总施肥量 Cd 的输入比例相对较高,而施用化肥导致 Cd 的输入量相对较低;T2、T3、T4、T5 处理第 1 年的化肥 Cd 输入量分别为 0.0015 、 0.0017 、 0.0016 、 0.0221 mg/m^2 ,有机肥 Cd 输入量分别为 0.292 、

0.327 、 0.327 、 2.916 mg/m^2 ,有机肥 Cd 输入量分别占总肥料量 Cd 输入量的 99.49% 、 99.48% 、 99.51% 、 99.25% ;T2、T3、T4、T5 处理第 2 年的化肥 Cd 输入量分别为 0.0013 、 0.0014 、 0.0013 、 0.0101 mg/m^2 ,有机肥 Cd 输入量分别为 0.361 、 0.361 、 0.361 、 1.492 mg/m^2 ,有机肥 Cd 输入量分别占总肥料量 Cd 输入量的 99.64% 、 99.61% 、 99.64% 、 99.33% ;5 个不同施肥处理中,T1、T2、T3、T4 处理 Cd 输入量明显低于农民常规施肥处理(T5 处理),第 1 年 Cd 输入量分别比 T5 处理减少 100.00% 、 90.01% 、 88.81% 、 88.82% ,第 2 年分别比 T5 处理减少 100% 、 75.88% 、 75.87% 、 75.88% ;2 年黄瓜种植期内,减氮施肥处理(T3、T4 处理)之间 Cd 的输入量差异不明显。

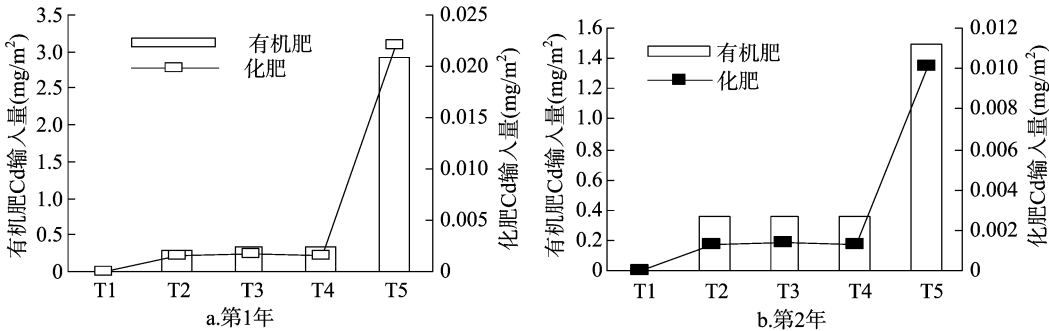


图1 不同施肥处理下土壤 Cd 的输入量变化规律

2.3 不同施肥处理下土壤 Cd 的输出量

日光温室大棚黄瓜生产系统土壤重金属的输出量主要由黄瓜秸秆、产出黄瓜果实的量所决定。由表 3、表 4 可见,不同施肥处理间黄瓜果实、秸秆 Cd 含量差异不显著,秸秆 Cd 含量明显高于黄瓜果实。由图 2 可见,2 年内,不同施肥处理黄瓜秸秆的 Cd 输出量明显高于黄瓜果实;T1、T2、T3、T4、T5 处理第 1 年的 Cd 输出量分别为 0.098 、 0.194 、 0.133 、 0.161 、 0.085 mg/m^2 ,其中黄瓜秸秆 Cd 输出量分别占输出总量的 83.11% 、 80.47% 、 82.41% 、 83.80% 、 86.28% ;T1、T2、T3、T4、T5 处理第 2 年的 Cd 输出量分别为 0.086 、 0.100 、 0.089 、 0.083 、 0.085 mg/m^2 ,其中黄瓜秸秆 Cd 输出量均占输出总量的 86.70% 、 97.54% 、 97.04% 、 97.24% 、 86.28% ;T2 处理的 Cd 输出量相对最高,2 年内分别为 T1、T3、T4、T5 处理的 1.60 、 1.32 、 1.20 、 1.73 倍。

表 3 不同施肥处理第 1 年的黄瓜产量、秸秆干质量及其 Cd 含量

处理	黄瓜		秸秆	
	产量(kg)	Cd 含量(mg/kg)	干质量(kg)	Cd 含量(mg/kg)
T1	1 137	0.000 5~0.015 0a	28.53	0.07~0.38a
T2	1 282	0.000 2~0.003 0a	28.34	0.38~0.50a
T3	1 226	0.000 2a	28.58	0.10~0.52a
T4	1 257	0.000 2~0.003 0a	28.70	0.25~0.40a
T5	4 378	0.000 4a	68.80	0.16a

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

2.4 不同施肥处理下土壤 Cd 的净积累量

重金属总平衡量是由总输入量、总输出量相减而确定的。由图 3 可见,除空白对照 T1 处理外,其他处理均有不同程度的 Cd 净积累,其中 T5 处理的 Cd 净积累量明显高于其他处理;与 T5 处理相比,T2、T3、T4 处理第 1 年 Cd 净积累分别比

表 4 不同施肥处理第 2 年的黄瓜产量、秸秆干质量及其 Cd 含量

处理	黄瓜		秸秆	
	产量(kg)	Cd 含量(mg/kg)	干质量(kg)	Cd 含量(mg/kg)
T1	1 564	0.000 4~0.000 6a	28.09	0.15~0.18a
T2	1 875	0.000 6~0.000 7a	28.39	0.16~0.19a
T3	1 861	0.000 5~0.000 6a	29.06	0.12~0.18a
T4	1 874	0.000 2~0.000 6a	28.38	0.14~0.16a
T5	5 291	0.000 4a	69.2	0.092a

T5 处理减少 96.51% 、 93.12% 、 93.96% ,第 2 年分别比 T5 处理减少 81.48% 、 80.67% 、 80.30% 。试验表明,T2 处理(推荐氮肥用量)的 Cd 净积累量 2 年内均相对最低,第 1 年为 0.100 mg/m^2 ,第 2 年为 0.262 mg/m^2 。

2.5 设施黄瓜系统不同施肥处理下的产投比

由表 5 可见,第 1 年 T5 处理的黄瓜产量显著高于其他施肥处理,而第 2 年 T5 处理的黄瓜产量与其他施肥处理 T2、T3、T4 差异不显著;处理 T2、T3、T4 的产投比明显高于 T5 处理,其中 T2 处理的产投比相对最高,第 1、第 2 年产投比分别为 53.5 、 73.7 。

3 结论与讨论

对温室大棚黄瓜采取不同施肥处理,分析 Cd 的输出、输入量、净积累及黄瓜产投比等,结果表明,鸡粪的 Cd 含量相对最高,为 $(0.2500\pm0.0200)\text{ mg/kg}$,这可能是导致土壤重金属 Cd 输入高的重要因素,这与前人研究结论^[8-9]较为一致;黄瓜 2 年种植期内,推荐氮肥用量、减氮施肥处理比常规施肥处理能够有效减少重金属 Cd 的输入,降低 Cd 的积累,相互间对 Cd 的净积累差异不明显;不同施肥处理的黄瓜秸秆 Cd 输出量明显高于黄瓜果实;推荐氮肥用量处理 Cd 的输

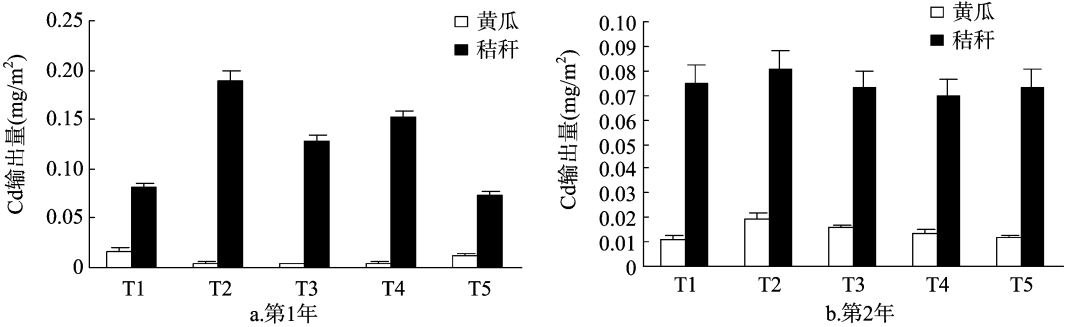


图2 不同施肥处理下的 Cd 输出量

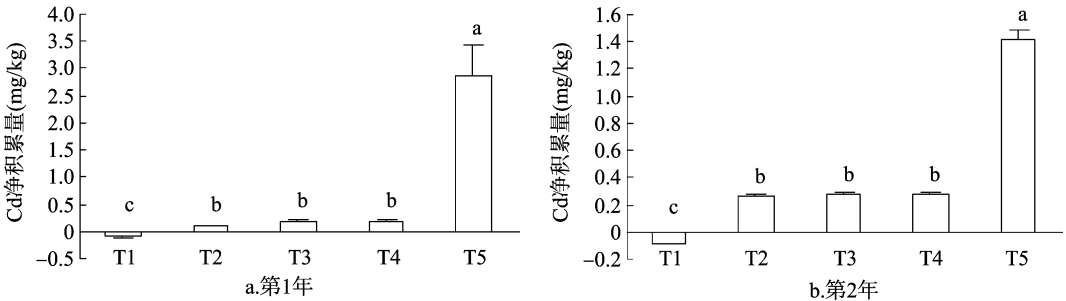


图3 不同施肥处理下的 Cd 净积累量

表 5 设施黄瓜系统不同施肥处理下的黄瓜产量与产投比

处理	第 1 年		第 2 年	
	产量 (kg)	产投比 (元/元)	产量 (kg)	产投比 (元/元)
T1	379.00 ± 11.00c	—	521.33 ± 108.34b	—
T2	427.33 ± 18.93b	53.5	625.00 ± 22.61ab	73.7
T3	408.67 ± 16.01bc	44.3	620.33 ± 59.74ab	67.6
T4	419.00 ± 30.00b	46.2	624.67 ± 41.26ab	69.1
T5	607.56 ± 10.00a	8.8	733.65 ± 7.12a	19.3

出量相对最高,净积累量相对最低,产投比相对最高。

有研究表明,有机肥施用量的增加,将会导致土壤有机质的逐渐增加,腐殖酸活化性能也增强,而有机物的分解使有机结合态重金属逐渐释放,重金属的生物有效性明显增强^[10],如长期施用畜禽粪便等有机肥,将极易造成土壤重金属的积累^[11-13]。温室黄瓜虽然施用的肥料其重金属 Cd 含量均低于国家肥料限量标准,但长期施用大量农家肥确实会引起土壤 Cd 的积累,增加土壤重金属污染风险,而调整施肥方案,可有效控制或减轻土壤重金属 Cd 的污染。

参考文献:

[1] 李东坡,武志杰,梁成华,等. 设施土壤生态环境特点与调控[J]. 生态学杂志,2004,23(5):192-197.

[2] 何文寿. 设施农业中存在的土壤障碍及其对策研究进展[J]. 土壤,2004,36(3):235-242.

[3] 董 艳,董 坤,鲁 耀,等. 设施栽培对土壤化学性质及微生物区系的影响[J]. 云南农业大学学报,2009,24(3):418-424.

[4] Dach J, Starmans D. Heavy metals balance in polish and dutch

agronomy;actual state and previsions for the future[J]. Agriculture Ecosystems and Environment,2005,107(4):309-316.

[5] 王丽英,陈丽莉,张彦才,等. 河北省设施蔬菜土壤微量金属元素状况评价及来源分析[J]. 华北农学报,2009,24(增刊2):268-272.

[6] Sheppard S C, Grant C A, Sheppard M I, et al. Risk indicator for agricultural inputs of trace elements to Canadian soils[J]. Journal of Environmental Quality,2009,38(3):919-932.

[7] Huang S W, Jin Ji Y. Status of heavy metals in agricultural soils as affected by different patterns of land use [J]. Environmental Monitoring and Assessment,2008,139(1/2/3):317-327.

[8] Stanners D, Bourdeau P. Europe's environment;the dobris assessment [M]. Denmark:European environment agency. Copenhagen,1995.

[9] Moolenaar S W, Lexmond T M. Heavy - metal balances of agro - ecosystems in the Netherlands[J]. Journal of Agricultural Science, 1998,46(2):171-192.

[10] Uchimiya M, Bannon D I. Solubility of lead and copper in biochar - amended small arms range soils;influence of soil organic carbon and pH[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2013,61(32):7679-7688.

[11] 王开峰,彭 娜,王凯荣,等. 长期施用有机肥对稻田土壤重金属含量及其有效性的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(1):105-108.

[12] 王 颖,韩晓日,孙杉杉,等. 长期定位施肥对棕壤重金属的影响及其环境质量评价[J]. 沈阳农业大学学报,2008,39(4):442-446.

[13] 潘伟彬,李 延,庄卫民,等. 施肥对红壤性水稻土锌、铜形态及有效性的影响[J]. 福建农业学报,2000,15(2):45-49.