

赤红壤施用 Cu Zn对菜心生长 和吸收 Cu Zn的影响

王卫红¹ 吴刚² 游植¹ 廖宗文¹ 李金培¹

(华南农业大学资源环境学院, 广州, 510642; 2 广州市林业学校)

摘要 通过盆栽试验探讨东莞桥头农科园赤红壤中 Cu Zn对菜心 *Brassica parachinensis* Bailey 生长的影响,结果表明:土壤 Cu Zn施用量同时增加,菜心地上部产量随之下降,Cu或 Zn含量变化则表现为促进与抑制共存的混合过程;单施 Cu或 Zn均可抑制菜心生长及提高相应元素含量,并随用量增加先抑制后促进另一元素含量。

关键词 赤红壤; Cu; Zn; 菜心

中图分类号 X 503.231

重金属 Cu Zn既是作物必需的微量营养元素,但土壤中过量又具有毒性效应。长期使用高 Cu Zn含量有机粪肥或 Cu Zn微肥,将使土壤 Cu Zn偏高甚至造成污染。本研究以东莞市桥头镇农科园赤红壤为供试土壤,以 Cu Zn污染敏感作物菜心 *Brassica parachinensis* Bailey 作为盆栽试验的指示作物,观察在不同污染类型时的作物反应,为土壤 Cu或 Zn毒性临界值的确定奠定基础。由于过量 Cu Zn可影响作物根重、株高、叶宽、叶片数等生长发育指标(杨金等,1993;涂从等,1990),观察这些指标有利于进一步阐明危害本质,亦为评价临界值提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试土壤和作物

砂页岩赤红壤,轻壤土,水浸 pH 4.68,有机质 19.87 g/kg,碱解氮 90.0 mg/kg,速效磷 6.2 mg/kg,速效钾 137.1 mg/kg,阳离子代换量 5.42 cmol/kg,全铜 10.62 mg/kg,全锌 19.77 mg/kg,有效铜 0.93 mg/kg,有效锌 2.83 mg/kg(0.1 mol/L HCl提取)。供试作物菜心 *Brassica parachinensis* Bailey 品种为“60天特青”。

1.2 试验方法

试验于 1994年 9~12月在华南农业大学国土资源与环境科学系进行。采用“正交多项式回归设计”,方案见表 1,随机区组排列,重复 4次。按设计将土壤(6 kg)、无机肥料(A、R级尿素 2.25 g、K₂HPO₄ 1.15 g、KNO₃ 1.09 g)、0.5%风干腐熟鸡粪(Cu、Zn含量分别为 79.9和 377.3 mg/kg)、金属化合物(A、R级 CuSO₄·5H₂O和 ZnSO₄·7H₂O)等拌匀,移入盆中,加去离子水到土壤相对含水量 60%,密闭一周。于 1994年 1月 10日每盆定植 3周苗龄菜心 4株。期间定量用去离子水浇灌,并于收获前观察记录菜心生长状况。生长 4周后收获,分根部、地上部称鲜重、干重。样品用 HNO₃-HClO₄ 消化,原子吸收分光光度法测定。

Cu、Zn 含量 (南京农学院, 1980)。

表 1 盆栽试验设计方案

处理号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
土壤施 Cu 量 /mg kg ⁻¹	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30	0	10	20	30
土壤施 Zn 量 /mg kg ⁻¹	0	0	0	0	20	20	20	20	40	40	40	40	60	60	60	60

2 结果与分析

将不同处理菜心产量、性状指标及地上部、根部 Cu、Zn 含量 (见表 2), 分别与土壤 Cu、Zn 施用量进行逐步回归分析, 可得一系列回归方程模型。其中, 所有保留在模型内的自变量显著水平 $P < 0.15$, 而各回归模型显著水平 $P < 0.05$ 。这些模型可视为广义的土壤 Cu、Zn 复合污染效应模型。在此基础上, 通过降维分析法 (徐中儒, 1989), 分别令土壤施 Zn 量或施 Cu 量取 0 值, 可得土壤 Cu、Zn 单元素污染模型。由于蔬菜食品卫生标准中 (汪雅谷等, 1994), Cu、Zn 含量的卫生标准以蔬菜鲜基为准, 所以本文采用鲜基计的 Cu、Zn 含量模型, 讨论菜心地上部 Cu、Zn 含量的吸收累积效应; 但作物干物量较鲜物量更能准确反映作物的产量效应, 故产量效应以菜心地上部干重的回归模型为准。

表 2 不同处理菜心产量与性状及地上部、根部 Cu、Zn 含量¹⁾

处理号	地 上 部							mg/kg		
	鲜重 /g 盆 ⁻¹	干重 /g 盆 ⁻¹	株高 /cm	叶宽 /cm	叶数 /片	Cu 含量 鲜基	Zn 含量 鲜基	干重 /g 盆 ⁻¹	Cu 含量 干基	Zn 含量 干基
1	46.77	3.58	20.6	7.1	7.4	0.76	14.2	0.31	30.2	455
2	40.01	3.08	18.5	6.5	7.1	1.48	19.7	0.29	64.5	324
3	40.32	3.16	19.2	6.5	7.1	3.00	17.4	0.29	113.9	109
4	34.76	2.76	17.4	6.3	6.9	4.24	20.3	0.29	128.9	157
5	40.07	3.19	17.3	6.4	7.4	0.78	80.8	0.29	23.9	400
6	35.86	2.85	17.6	6.3	6.9	1.87	79.1	0.26	81.0	407
7	34.69	2.77	17.5	6.0	7.2	3.15	80.7	0.26	83.1	411
8	35.05	2.79	18.1	6.4	6.8	3.90	79.3	0.31	132.5	458
9	22.89	2.08	14.0	5.3	6.4	0.85	150.1	0.19	29.4	892
10	34.16	2.94	16.4	5.8	6.8	2.40	116.4	0.23	74.8	908
11	28.60	2.48	13.9	5.6	6.9	3.54	127.6	0.23	131.7	927
12	25.68	2.35	14.2	5.4	6.8	5.63	133.1	0.20	185.3	845
13	17.61	1.80	12.2	4.8	6.9	1.15	215.0	0.17	31.1	1 188
14	16.51	1.65	12.4	4.8	6.2	3.26	188.8	0.14	82.8	1 398
15	12.27	1.28	11.0	4.1	6.0	4.91	185.3	0.12	155.0	1 466
16	11.07	1.18	10.8	4.1	5.7	6.67	190.9	0.11	192.3	1 492

1) 各处理结果为 4 次重复样的算术平均值

2.1 土壤 Cu、Zn 的作物效应

2.1.1 Cu、Zn 对菜心生长发育的复合效应 土壤施 Cu 量 (X)、施 Zn 量 (Y) 与菜心地上部干、鲜重 (a, b), 株高 (c), 叶宽 (d), 叶片数 (e) 及根部干重 (f) 的回归方程如下所示:

$$a = 3.288 - 0.000449X^2 - 0.000454Y^2, \\ (R^2 = 0.5653, n = 64, P < 0.01); \quad (1, 1)$$

$$b = 42.096 - 0.000583X^2 - 0.00723Y^2, \\ (R^2 = 0.6374, n = 64, P < 0.01); \quad (1.2)$$

$$c = 19.38 - 0.0570Y - 0.00120X^2 - 0.00112Y^2, \\ (R^2 = 0.7070, n = 64, P < 0.01); \quad (1.3)$$

$$d = 6.73 - 0.0141X - 0.000587Y^2, \\ (R^2 = 0.6743, n = 64, P < 0.01); \quad (1.4)$$

$$e = 7.17 - 0.00033Y^2, (R^2 = 0.4834, n = 64, P < 0.01); \quad (1.5)$$

$$f = 0.293 - 0.000045Y^2, (R^2 = 0.5570, n = 64, P < 0.01) \quad (1.6)$$

回归模型显示,菜心地上部干重、鲜重、株高、叶宽等受土壤 Cu、Zn 共同作用,随着施 Cu、Zn 量上升而减少;而叶片数只随 Zn 量上升而显著减少。就植株地上部外观而言,不同土壤施 Zn 水平上增施 Cu,植株外观有不同变化: Zn 低剂量 ($Y = 20$) 时施 Cu,对株高有所促进,但植株却较纤细,生物量下降; Zn 中剂量 ($Y = 40$) 时,施少量 Cu 可部分抑制 Zn 毒危害,株高增加、叶色转绿、叶片变宽、叶数增加,但随着施 Cu 量的提高抑制 Zn 毒作用减弱; Zn 高剂量 ($Y = 60$) 时,随着施 Cu 的增加反而会促进 Zn 毒危害。究其原因,可能是 Cu、Zn 对菜心生长的影响产生了交互作用,并且交互作用可因 Cu、Zn 水平不同而发生拮抗与协同间的转换,但二次方程不能区分这种变化,故上述回归模型显示施 Cu 与施 Zn 水平的交互作用对地上部多个观察指标的影响不显著。这也验证了王家玉 (1992) 所述: 元素间交互作用的存在是以一定元素浓度比为前提的。

而菜心根部干重只随施 Zn 量的上升而显著降低,与地上部干重变化规律有所不同,其差异可能源于根部生物量少、称样系统误差大、取样难以彻底等因素。从外观上看,根系数量与长度随土壤 Cu、Zn 的增加,总体趋于减少,颜色由白趋于黄褐色。

2.1.2 Cu 对菜心生长发育的单独影响 单施 Cu 时,菜心地上部干鲜重、性状指标及根干重与 Cu 施用量的回归模型如下:

$$a = 3.288 - 0.000449X^2; \quad (2.1)$$

$$b = 42.096 - 0.00583X^2; \quad (2.2)$$

$$c = 19.38 - 0.00120X^2; \quad (2.3)$$

$$d = 6.73 - 0.0141X; \quad (2.4)$$

$$e = 7.17; \quad (2.5)$$

$$f = 0.293 \quad (2.6)$$

模型表明,菜心地上部干鲜重、株高、叶宽均随施 Cu 量上升而下降,但降幅不大;叶片数则无显著差异。植株外观同样无明显 Cu 毒症状: 叶色浓绿、植株高大粗壮,这可能与土壤施 Cu 量较低有关。不过,土壤施 Cu 27 mg/kg 时作物已减产 10%,与酸性紫色土上莴苣 20 mg/kg 施 Cu 量的产量临界值相近 (涂从等, 1990)。根系数量及长度亦无显著差异,与地上部情况吻合。

2.1.3 Zn 对菜心生长发育的单独影响 单施 Zn 时,菜心地上部干鲜重、性状指标及根干重与 Zn 施用量的回归模型如下:

$$a = 3.288 - 0.000454Y^2; \quad (3.1)$$

$$b = 42.096 - 0.00723Y^2; \quad (3.2)$$

$$c = 19.38 - 0.0570Y - 0.00112Y^2; \quad (3.3)$$

$$d = 6.73 - 0.000587Y^2; \quad (3.4)$$

$$e = 7.17 - 0.000331Y^2; \quad (3.5)$$

$$f = 0.293 - 0.000045Y^2. \quad (3.6)$$

模型显示菜心地上部干鲜重、株高、叶宽、叶片数等随土壤施 Zn 量上升而下降。植株外观同样有显著变化: 低剂量 ($Y = 20$) 时, 植株与 CK (处理 1) 无显著差异; 但中、高剂量 ($Y = 40, 60$) 时, 则有明显危害症状。植株矮小, 新叶簇生黄化, 老叶失绿, 严重者叶片出现白枯斑, 叶柄微紫, 进而趋于枯萎死亡。对于 Zn 造成植物矮化的原因, 有学者提出是重金属在植物内与其它养分起拮抗作用并抑制根在土壤中的分布; 根的伸长和分布一旦受抑制, 植物对养分如 P、K、Fe 等的吸收就会减少到限制生长的水平 (叶志鸿, 1992); Zn 污染引起植物缺绿的原因, 有人认为高含量的 Zn 干扰了 Fe 代谢, 从而抑制叶绿素的产生 (Gregory et al, 1964)。菜心根部干重随施 Zn 量增加而降低, 与地上部干重一致, 说明土壤 Zn 对菜心的危害是整体性、综合性的。肉眼观察可见, 根系数量与长度随土壤 Zn 的增加而明显减少, 并由白趋于黄褐色。

2.2 菜心对 Cu、Zn 的吸收累积

2.2.1 Cu、Zn 复合污染下菜心对 Cu、Zn 的吸收 以下列出土壤 Cu、Zn 施用量与菜心地上部 Cu、Zn 含量 (鲜基, X_{sf}, Y_{sf}), 及根部 Cu、Zn 含量 (干基, X_{rd}, Y_{rd}) 的回归模型:

$$X_{sf} = 0.768 + 0.105X - 0.021Y + 0.000525Y^2 + 0.001179XY, \\ (R^2 = 0.9407, n = 64, P < 0.01); \quad (4.1)$$

$$Y_{sf} = 19.84 - 1.08X + 3.15Y + 0.0429X^2 - 0.0156XY, \\ (R^2 = 0.9647, n = 64, P < 0.01); \quad (4.2)$$

$$X_{rd} = 30.48 + 3.18X + 0.0401XY, \\ (R^2 = 0.8667, n = 64, P < 0.01); \quad (4.3)$$

$$Y_{rd} = 408.2 - 9.70X + 0.239Y^2 + 0.317XY, \\ (R^2 = 0.9438, n = 64, P < 0.01) \quad (4.4)$$

从方程看, 菜心地上部 Cu、Zn 含量受进入土壤的 Cu、Zn 共同作用。地上部方面, 提高施 Cu 量显然能促进地上部吸 Cu, 并在大部分情况下促进作用会因施 Zn 量增加而增强 (只在施 Cu 量很低时例外)。对 Zn 的吸收, 提高施 Zn 量能促进菜心吸 Zn, 但促进作用会随施 Cu 量的增加而减缓。可推算, 当施 Zn 超过 13.3 mg/kg 时, 施 Cu 只会抑制地上部吸收 Zn。

根部 Cu、Zn 含量同样受土壤 Cu、Zn 复合效应影响: 提高施 Cu 量显然能促进根部吸 Cu, 并且促进作用将由于施 Zn 量的提高而增强, 与地上部吸 Cu 规律基本一致。所以, 根部在增加 Cu 累积量的同时, 也加强了向地上部的运输, 二者相辅相成。提高施 Zn 量能促进根部吸 Zn; 而低 Zn 水平下增施 Cu 会降低 Zn 含量, 高 Zn 水平下增施 Cu 却提高 Zn 含量, 规律与地上部吸 Zn 规律相反。至于菜心吸收 Zn 时的 Cu-Zn 交互作用为何会随植株部位不同而发生拮抗与协同间的转换, 其机理有待深入研究。

2.2.2 Cu 污染下菜心对 Cu、Zn 的吸收 菜心地上部 Cu、Zn 含量与土壤施 Cu 量有以下的回归模型:

$$X_{sf} = 0.768 + 0.105X; \quad (5.1)$$

$$Y_{sf} = 19.84 - 1.08X + 0.0429X^2; \quad (5.2)$$

$$X_{rd} = 30.48 + 3.18X; \quad (5.3)$$

$$Y_{rd} = 408.2 - 9.70X \quad (5.4)$$

方程表明, Cu进入土壤时,菜心地上部含 Cu量随施 Cu量的增加而直线上升,说明菜心能吸收外加 Cu并由根向地上部运输。菜心含 Zn量随着施 Cu量的提高,含 Zn量有一个先降低后上升的过程。菜根 Cu含量变化规律与地上部类似,但以干基计,土壤施 Cu量与根含 Cu量的直线回归方程斜率高于地上部,显示菜根对 Cu的累积能力强于地上部,与一般文献记载的植物根部吸收 Cu规律相同(Lepp, 1981)。另外,菜根含 Zn量与施 Cu量呈负相关,吸 Zn规律与地上部有所不同,表明施 Cu将抑制根吸收 Zn,或在较高用量时促进 Zn由根部向地上部运输。

2.2.3 Zn污染下菜心对 Cu、Zn的吸收 菜心地上部 Cu、Zn含量与土壤施 Zn量有以下的回归模型:

$$X_{sf} = 0.768 - 0.021Y + 0.000525Y^2; \quad (6.1)$$

$$Y_{sf} = 19.84 - 3.15Y; \quad (6.2)$$

$$X_{rd} = 30.48; \quad (6.3)$$

$$Y_{rd} = 408.2 - 0.239Y^2. \quad (6.4)$$

由模型知,随着进入土壤 Zn数量的增加,菜心地上部含 Cu量有一个小幅度下调过程,然后呈上升趋势。而土壤施 Zn能大幅度提高地上部含 Zn量。就鲜重而言,土壤施 Zn量每增加 1 mg/kg,地上部含 Zn量将增加 3.15 mg/kg,这是相当可观的吸收效率。据报道,不少蔬菜如青菜、乌塌菜、菠菜对 Zn都有很高富集率(吴金桂, 1991); 芹菜叶片干重含 Zn可高至 2940 mg/kg (Takaya, 1971)。因此有必要加强对高 Zn土壤上的这类蔬菜含 Zn量进行监测。另外,施 Zn不能显著影响根含 Cu量,却能显著提高菜根含 Zn量,含 Zn量与施 Zn量的关系呈开口向上的抛物线,说明继续提高施 Zn量,根含 Zn量有进一步增加的趋势。

3 小结

对东莞桥头农科园赤红壤进行菜心盆栽试验,结果表明土壤 Cu、Zn施用量同时增加,菜心地上部产量随之下降,Cu或 Zn含量变化则表现为促进与抑制共存的混合过程;单施 Cu或 Zn均可抑制菜心生长及提高相应元素含量,并随用量增加先抑制后促进另一元素含量。

参 考 文 献

- 王家玉. 1992. 植物营养元素交互作用研究. 土壤学进展, 20(2): 1~ 10
- 叶志鸿. 1992. 锌污染对植物的毒害及植物的忍耐性. 生态学杂志, 11(5): 42~ 45
- 杨金, 李楠, 杨传军. 1993. 锌对莴苣和玉米毒害的临界水平研究. 见: 胡思农主编. 硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际研讨会论文集. 成都: 成都科技大学出版社, 373~ 376
- 吴金桂. 1991. 施锌量与作物奢侈吸收的应用研究. 土壤肥料, (1): 25~ 29
- 汪雅谷, 王玮. 1994. 上海地区主要蔬菜中重金属元素含量背景水平. 农业环境保护, 13(1): 34~ 39
- 南京农学院. 1980. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 239~ 240
- 徐中儒. 1989. 农业试验最优回归设计. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 369~ 372
- 涂从, 青长乐. 1990. 紫色土中铜对莴苣生长的影响及其临界值指标的研究. 农业环境保护, 9(4): 13~ 17

- and other grasses. *New Physiol*, 64: 131- 134
- Lepp N W 1981. Effect of Heavy metal pollution on plants. London: Applied Sci Pub Ltd, 114- 118
- Takaya Osawa 1971. Heavy metal toxicities in vegetable crops? (I) Effect of zinc concentration in nutrient solution on growth of vegetable crops. *J Japan Soc Hort Sci*, 40(4): 389- 394

EFFECTS OF APPLYING Cu , Zn TO LATORED SOIL ON THE GROWTH OF *Brassica parachinensis*

Wang Weihong¹ Wu Gang² You Zhilin¹ Liao Zhongwen¹ Li Jinpei¹

(1 College of Resources and Environment, South China Agr. Univ.,
Guangzhou, 510642; 2 Guangzhou Forestry School)

Abstract

Pot experiments were carried out to determine the effects of applying Cu , Zn to the latored soil on the growth of Chinese flowering cabbage (*Brassica parachinensis* Bailey) in Qiaotou Aficultural Garden, Dongguan city. The results showed that the plant weight decreased with applying Cu and Zn to the soil simultaneously, and that the change of plant Cu or Zn content was a process combining rise with fall. Enhancing the dose of Cu or Zn separately dropped the plant weight but increased the element content in plant. Another metal content could be reduced initially and then raised.

Key words latored soil; Cu ; Zn ; *Brassica parachinensis* Bailey

欢迎订阅一九九七年《华南农业大学学报》

《华南农业大学学报》是华南农业大学主办的综合性农业科学学术刊物。本刊主要报道我校各学科的科研学术论文、研究简报、文献综述等。本刊附英文目录和英文摘要。读者对象是农业院校师生、农业科研人员和有关部门的专业干部。

国内外公开发行。季刊。每期定价 2.50 元, 全年 10.00 元。自办发行, 参加高等学校学报联合征订发行。

订阅办法: 1. 将订阅款邮汇至 100054 北京右安门外首都医科大学期刊社; 2. 银行汇款至: 户名: 首都医科大学期刊社; 开户银行: 工商银行北京宣武支行樱桃园分理处, 帐号: 144659-71; 3. 订阅款邮汇至 510642 广州五山 华南农业大学学报编辑部

《华南农业大学学报》编委会