

利用 ICP-AES 测定农田生态系统微量元素 Mn 和 Cu 的循环率与收支

周桦, 徐永刚*, 姜春明

中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016

摘要 将长期定位试验和 ICP-AES 测试相结合, 研究了不同施肥制度下农田生态系统微量元素 Mn 和 Cu 的循环和收支状况。结果表明, Mn 和 Cu 因属沉积型循环其循环率高于 80%, 且随投料量增加呈增加趋势。两种微量元素均入不敷出, 收支差额呈现 $M < (或 \leq) NPK + M < CK < NPK$, 说明单施化肥可引起严重的收支赤字, 而循环有机肥施入可缓解收支失衡。

关键词 Mn; Cu; 循环率; 收支
中图分类号: S181 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)10-2848-03

引言

农田生态系统中的作物生产是该系统的第一性生产过程, 是物质循环和能量流动的基础, 因而作物对微量元素的吸收情况直接影响微量元素的循环效率, 同时, 家畜对于作物中微量元素的吸收效率影响到作物从土壤中带走的微量元素返回农田的量。因此在相对封闭的循环系统中, 作物和家畜同时决定着微量元素的循环率和收支平衡。然而, 作物和家畜对微量元素的吸收能力是一定的, 当作物和家畜种类确定时, 土壤中微量元素的循环效率基本稳定。

已有研究表明不同来源的有机肥中微量元素含量有很大的差异^[1-3], 但是有关循环农业生态系统中作物通过牲畜过腹还田后微量元素含量及循环状况鲜有报道^[4], 鉴于上述状况, 本研究依托一组布置在下辽河平原的长期定位试验, 就不同施肥制度下农田生态系统微量元素的循环率和收支进行研究, 以明确循环农业中微量元素行为, 为农田生态系统微量元素

的可持续利用提供理论依据。

1 实验部分

- 1.1 仪器**
- ICP-AES (美国 PE 公司生产的 Optima 3000), 消煮电热板(沈阳精密仪器有限公司), 分析天平(上海精密科学仪器有限公司)。标准溶液: Mn 和 Cu 单元素标准溶液(1000 mg·L⁻¹国家标准物质中心提供)。
- 1.2 方法**
- 1.2.1 研究区域概况**
- 田间试验布置于中科院沈阳生态实验站(41°32' N, 122°23' E), 该站位于下辽河平原, 属暖温带半湿润大陆性季风气候。年均温 7~8℃, 年降雨量 600~700 mm, 无霜期 147~168 d, 试验地土壤为潮棕壤, 试验开始时土壤的主要理化性质见表 1。

Table 1 Main properties of the test soil

有机质	全 N /(g·kg ⁻¹)	全 P /(g·kg ⁻¹)	全 K /(g·kg ⁻¹)	全 Mn /(mg·kg ⁻¹)	全 Cu /(mg·kg ⁻¹)	有效 Mn /(mg·kg ⁻¹)	有效 Cu /(mg·kg ⁻¹)	pH
20.9	1.13	0.44	16.4	569.4	24.8	17.8	2.0	6.5

- 1.2.2 试验设计**
- 试验始于 1990 年, 设 12 个处理, 本研究选取典型循环及相应对照处理共 4 个, 分别为: I 不施肥(CK); II 循环猪圈肥(M), 该处理每年收获籽实 80% 喂猪, 大豆秸秆全部和

收稿日期: 2011-01-11, 修订日期: 2011-04-02
基金项目: 国家自然科学基金项目(31070547, 31000206), 中国科学院创新项目(KZCX2-YW-407)和国家科技支撑计划课题(2007BAD89B02)资助
作者简介: 周桦, 女, 1981 年生, 中国科学院沈阳应用生态研究所助理研究员 e-mail: zhouhua@iae.ac.cn
* 通讯联系人 e-mail: xuyonggang1228@163.com
© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

玉米秸秆 50% 经粉碎后垫圈, 排泄物与垫料混合堆腐后于翌年春返回本处理; III 化肥(NPK), 施纯 N 150 kg · hm⁻², 纯 P 25 kg · hm⁻², 纯 K 60 kg · hm⁻², 肥料品种分别为尿素、重过磷酸钙和硫酸钾; IV 化肥 NPK+ 循环猪圈肥(NPK+ M), N, P, K 用量同 III, 循环操作过程同 II。每处理 3 次重复, 面积均为 162 m², 轮作方式为大豆-玉米-玉米, 其中大豆不施氮肥, 玉米以 40 kg N 作基肥, 110 kg N 拔节期追施。

1.3 样品采集

2006 年~ 2009 年每年春季采集化肥(磷肥)和循环猪圈肥样品, 每年秋季采集土壤、植物及投料样品, 将植物样品分为籽实和秸秆。

1.4 测定指标和方法

磷肥、投料和循环猪圈肥中的全量和有效 Mn 和 Cu 含量及常用土壤理化指标—土壤有机质、全 N、全 P、全 K。化肥中 Mn 和 Cu 浓度用浓 HCl 消解, 投料与循环猪圈肥中的 Mn 和 Cu 浓度用浓 HNO₃-HClO₄ 消解, 均采用 ICP-AES(Optima 3000, PE, USA) 测定; 其他理化性质采用常规分析方法^[5]。

1.5 数据处理

采用 Excel 2000 和 SPSS10.0 进行数据处理与分析。

2 结 果

2.1 不同施肥制度下农田 Mn 和 Cu 的输入量

2006 年~ 2009 年不同施肥制度下每年通过有机肥与化肥输入农田的 Mn 和 Cu 量见表 2。通过有机肥输入到农田的 Mn 和 Cu 量约为化肥输入量的 3~ 4 倍, 其中 NPK+ M 处理输入农田的微量元素量最高, 由此看出有机肥是微量元素输入的主要途径, 且输入量取决于该处理生物产量。

Table 2 Average annual inputs of Mn and Cu by manure and chemical fertilizer under different fertilization systems from 2006 to 2009 (g · hm⁻²)

元素	来源	处理			
		CK	M	NPK	NPK+ M
Mn	有机肥	0	71.1(3.2)	0	143.7(7.9)
	化肥	0	0	23.3(1.7)	23.3(1.7)
	总输入	0	71.1(3.2)	23.3(1.7)	167.0(6.7)
Cu	有机肥	0	19.3(1.4)	0	30.1(2.0)
	化肥	0	0	4.5(0.6)	4.5(0.6)
	总输入	0	19.3(1.4)	4.5(0.6)	34.6(2.3)

注: 括号内数字为标准差, 下同

2.2 Mn 和 Cu 在喂饲-堆腐循环中的循环率

投料和有机肥中 Mn 和 Cu 的循环率和损失率如表 3 所示。Mn 和 Cu 在喂饲-堆腐过程中的循环率都在 80% 以上, 损失率不足 20%, 而 Cu 的循环率又明显高于 Mn($P < 0.05$), 这是不同元素在地球生物化学循环过程中性质不同造成的。与投料中其他微量元素循环行为相同的是, Mn 和 Cu 也存在循环率随投料量增加而增加的现象。

Table 3 Average recycling rates of Mn and Cu through a feeding-composting cycle from 2006 to 2009

	元素	处理		
		M	NPK+ M	平均
Mn	投料中微量元素/(g · hm ⁻²)	81.1	158.1	119.6
	有机肥中微量元素/(g · hm ⁻²)	71.1	143.7	107.4
	微量元素循环率/%	87.67b	90.89a	89.28
	微量元素损失率/%	12.33a	9.11b	10.72
Cu	投料中微量元素/(g · hm ⁻²)	23.9	36.4	30.2
	有机肥中微量元素/(g · hm ⁻²)	19.3	30.1	24.7
	微量元素循环率/%	80.75b	82.69a	81.72
	微量元素损失率/%	19.25a	17.31b	18.28

注: 同行字母相同表示不同处理间差异不显著($P < 0.05$), 下同

2.3 农田生态系统的 Mn 和 Cu 含量及收支状况

根据我国《土壤环境质量标准[GB15618—1995]》中重金属元素浓度的一级标准($Cu \leq 35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 该地区本底和耕作 19 年土壤中 Cu 浓度均低于自然背景值(表 4), 而 Mn 的浓度接近当地背景值(中国环境监测总站, 1990 年), 说明经过 20 年人为扰动, 该地区 Mn 和 Cu 浓度变化均很小, 接近自然水平。

Table 4 Concentrations of trace elements in soil under different fertilization treatments in 2009

元素	处理				平均值	变异系数/%
	CK	M	NPK	NPK+ M		
Mn	541.3c	585.2b	584.1b	617.6a	582.1	5.4
Cu	21.4b	22.1a	22.3a	22.7a	22.1	2.5

Mn 和 Cu 在土壤中的收支情况如表 5 所示, 所有处理均入不敷出, 且收支差额呈现 $M < (或 \leq) NPK+ M < CK < NPK$, 这主要是由于施用化肥虽然能显著提高作物产量, 但同时亦能增加微量元素移出量, 而化肥中微量元素含量较少, 尚不能弥补增产部分的微量元素移出量。于是结果呈现单施化肥引起的产量增加导致赤字严重。有机肥施用能缓解赤字。该结果与朱先进等^[4]于 2007 年的测定结果稍有差异, 极有可能是一年测定结果存在诸如天气等偶然因素, 而多年测定结果平均值可以去掉偶然因素引起的误差, 真实反映系统养分收支状况。

Table 5 Average budgets of Mn and Cu in soil from 2006-2009 (g · hm⁻²)

元素	项目	处理			
		CK	M	NPK	NPK+ M
Mn	收入	0	71.1	23.3	167.0
	支出	106.1(5.7)	127.3(5.2)	197.1(8.4)	229.8(8.9)
	平衡	-106.1c	-56.2a	-173.8d	-62.8b
Cu	收入	0	19.3	4.5	34.6
	支出	24.1(1.41)	35.2(1.49)	44.0(3.7)	52.1(3.5)
	平衡	-24.1b	-15.9a	-39.5b	-17.5a

3 讨 论

本文模拟了循环农业微量元素 Mn 和 Cu 的循环再利用过程, 结果显示有机肥是农田 Mn 和 Cu 输入的主要途径, 这与人研究结果相似^[6-8], 而且微量元素在喂饲—堆腐过程的损失率小于 20%, 绝大部分通过粪便返回农田生态系统, 循环率高于 N 和有机物料的循环率, 与其他重金属行为亦相似。

单施化肥引起的微量元素赤字严重, 其次为对照处理, 单施有机肥和有机无机肥配施引起的赤字最小, 说明实行养分循环利用, 可以弥补部分土壤微量元素的移出。虽然化肥处理赤字严重, 但因为微量元素的输出量较小, 对土壤的影响还是很小的。以 Mn 为例, 2006 年—2009 年 NPK 处理 Mn 元素作物移出量为 $197.1 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$, 以土壤容重 $1.2 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 计, 则每年通过作物移出对土壤中 Mn 含量的影响仅为 $0.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 变化极其微小, 因此可以认为农事活动对土壤微量元素的变化影响极小。

References

- [1] ZHANG Shu-qing, ZHANG Fu-dao, LIU Xiu-mei, et al(张树清, 张夫道, 刘秀梅, 等). *Scientia Agricultura Sinica*(中国农业科学), 2006, 39(2): 337.
- [2] Vander Watt H, Summer M, Cabrera M. *Journal of Environmental Quality*, 1994, 23(1): 43.
- [3] Jackson P, Bertsch P, Cabrera M, et al. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32(2): 535.
- [4] ZHU Xian-jin, MA Qiang, ZHOU Hua, et al(朱先进, 马强, 周桦, 等). *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2010, 29(3): 491.
- [5] LU Ru-kun(鲁如坤). *Analytical Methods of Soil Agrochemistry*(土壤农业化学分析方法). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press(北京: 中国农业科技出版社), 2000.
- [6] Ma L Q, Rao N G. *Journal of Environmental Quality*, 1997, 26(1): 259.
- [7] Han F, Kingery W, Selim H, et al. *Soil Science*, 2000, 165(3): 260.
- [8] LIN Kuang-fei, XIANG Ya-ling, JIANG Da-bing, et al(林匡飞, 项雅玲, 姜达炳, 等). *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志), 2001, 20(5): 1.

The Recycling Rate and Budget of Trace Element Mn and Cu in Agroecosystem Using ICP-AES.

ZHOU Hua, XU Yong-gang*, JIANG Chun-ming

Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

Abstract The recycling rate and budget of Mn and Cu under different fertilization regimes by using long-term field experiment and ICP-AES analysis were investigated in the present paper. The results showed that the recycling rates of Mn and Cu were greater than 80% because of sediment recycling type, and the values increased with the amount of feed stuffs increasing. Both the two elements under different fertilization regimes showed budget deficit, with the deficit order of $M < (\text{or} \leq) \text{NPK} < \text{M} < \text{CK} < \text{NPK}$, showing that chemical fertilizer application might induce severe deficit, while application of recycling organic matter might minimize the unbalance.

Keywords Mn; Cu; Residual rate; Budget

(Received Jan. 11, 2011; accepted Apr. 2, 2011)

* Corresponding author