

不同利用年限蔬菜大棚土壤中 微量元素含量的演变

李德成¹ 花建明² 李忠佩¹ 周 祥³ 张桃林¹ VELDE B⁴

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 新乡市农业综合开发办公室 河南新乡 453000;

3 江苏省盐城市土肥站 盐城 224002; 4 Laboratoire de Géologie CNRS 4385, ENS, 75231 Paris Cedex 05)

摘 要 本文主要研究蔬菜大棚土壤中微量元素含量随棚龄(利用年限)的变化情况。结果表明:除 Mo 外,在 0~40cm 内不同深度处微量元素的含量差异很小;露天大田改为蔬菜大棚后第 1 年,微量元素含量一般显著降低,然后显著升高,5 年后达到一个相对稳定的阶段;除 Mo 之外,微量元素含量之间均或多或少地呈现出一定的线性相关;大量施用家禽粪便和复合肥可能是蔬菜大棚土壤中微量元素含量增加的主要来源,但尚未引起土壤污染;土壤缺 Mo 严重,在施肥中应予适当的考虑。

关键词 微量元素;蔬菜大棚;棚龄;土壤

中图分类号 X131.3

蔬菜大棚具有较高的蔬菜产量和经济收益,在我国蔬菜生产中占据一定的重要地位。我国目前蔬菜大棚的面积一般可占菜地面积的 10%~30%。国内对蔬菜大棚土壤性质的研究,一般集中在温度、湿度等的环境条件以及土壤盐渍化、养分积累、微生物性质、酶活性等方面^[1~7],很少涉及微量元素方面。微量元素不足或过高,会对作物生长、产量与品质,甚至土壤生态环境都可产生一定的负面影响。本研究选择江苏省北部盐城市郊,分析了不同棚龄的蔬菜大棚土壤 0~40cm 深度中 Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni 和 Zn 7 类微量元素的含量及其变化情况,希望研究结果能够为该地区及类似地区蔬菜大棚的生产管理提供一定的指导。

1 材料与方法

1.1 蔬菜大棚选择与土样采集

选择的蔬菜大棚位于盐城市郊的南洋镇袁庄村,大棚均是由传统种植小麦-棉花的大田改建而成,现有可用的大棚分别建于 1990、1994、1997 和 2001 年,对应棚龄分别为 11 年、8 年、5 年和 1 年。每个大棚的面积约为 0.04 hm²。考虑到不同棚龄大棚数量的限制,实地调查后,在 200 m 之内,从每个棚龄中,各选一个利用程度和管理措施相对稳定

且基本一致的大棚做为研究对象。2002 年 7 月上旬采集土壤样品,每个大棚内按 3~5m 的间距随机 3 点按 0~10cm、10~20cm 和 20~40cm 深度采集土样。并按同样方法采集紧邻的种植小麦-棉花的传统露天大田土样以作为对照(CK-棚龄 0 年)。

1.2 生产条件概况

该村的蔬菜大棚主要种植番茄、黄瓜和西葫芦等,每年每个蔬菜大棚基施腐熟鸡粪或鸭粪 3 t 以上,复合肥(含钙镁磷肥、氯化钾)和磷酸二铵 100 kg,追施尿素 160 kg。每 hm² 蔬菜产量为黄瓜 90 t,番茄 6 t。对照露天大田每年每 hm² 施用尿素 0.2 t,复合肥 0.25 t,作物产量为小麦 6 t,棉籽 4 t。

1.3 土壤微量元素分析与数据分析

所采土样风干后过 100 目筛,经 HNO₃-HClO₄-HF 消煮后,利用 ICP-MS 法(美国 TJA 公司,POEMS-II 型)测试 Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni 和 Zn 的含量,所测结果的统计分析利用 EXCEL2000 和 SPSS10.0 进行。

2 结果分析

2.1 微量元素含量与采样深度的关系

表 1 给出了对照及不同棚龄的蔬菜大棚土样中微量元素 Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni 和 Zn 在 3 个

表 1 不同棚龄的蔬菜大棚不同深度处土壤微量元素含量的分析与统计结果 (mg/kg) *

Table 1 Trace element contents (mg/kg) in greenhouse soils under vegetable cultivation for different years

微量元素	对照 (CK)	1 年大棚	5 年大棚	8 年大棚	11 年大棚	
Co	0~10 cm	9.97±0.16	9.15±0.29	11.25±0.16	11.18±0.06	11.26±0.49
	10~20 cm	10.45±0.11	8.75±0.17	11.13±0.16	10.76±0.10	11.03±0.23
	20~40 cm	10.65±0.20	8.63±0.37	11.41±0.32	11.08±0.10	11.18±0.61
	加权平均值	10.43±0.35	8.79±0.27	11.30±0.14	11.03±0.22	11.16±0.12
Cu	0~10 cm	27.72±1.07	23.15±1.95	27.72±2.44	25.95±0.11	28.78±1.24
	10~20 cm	29.34±1.04	23.22±0.70	29.34±0.62	25.91±1.04	28.31±1.09
	20~40 cm	26.83±1.10	21.18±1.25	26.83±2.00	25.83±0.17	27.45±0.22
	加权平均值	27.68±1.27	22.18±11.16	27.68±1.27	25.88±0.06	28.00±0.67
Fe	0~10 cm	27262±64.45	24882±1025.83	31273±102.64	30136±335.88	31691±816.45
	10~20 cm	28182±675.85	24240±743.65	30859±347.91	29920±111.64	30815±641.81
	20~40 cm	28923±748.84	24090±819.92	31918±767.67	30437±349.41	31614±1490.53
	加权平均值	28322±832.12	24326±420.63	31492±534.01	30233±259.64	31433±385.25
Mn	0~10 cm	437.70±4.39	423.83±19.67	493.03±3.54	480.67±9.67	612.47±14.41
	10~20 cm	455.80±16.45	411.23±9.90	480.47±8.43	474.93±9.26	587.77±17.88
	20~40 cm	476.13±35.16	414.57±18.13	496.37±12.89	515.17±39.04	546.47±30.29
	加权平均值	461.44±19.23	416.05±6.53	491.56±8.38	496.48±21.76	573.29±33.35
Mo	0~10 cm	0.07±0.13	0.07±0.13	0.38±0.06	0.44±0.57	0.40±0.18
	10~20 cm	0.06±0.06	0.18±0.12	0.45±0.20	0±0	0.48±0.72
	20~40 cm	0.19±0.17	0.20±0.35	0.10±0.08	0.02±0.04	0.51±0.24
	加权平均值	0.13±0.07	0.17±0.07	0.26±0.19	0.12±0.25	0.48±0.05
Ni	0~10 cm	24.96±0.22	22.70±0.82	29.06±0.29	28.09±0.30	29.73±0.65
	10~20 cm	25.79±0.41	22.24±0.64	29.34±0.45	27.72±0.37	28.95±0.15
	20~40 cm	26.92±0.63	21.85±0.61	29.90±0.56	28.64±0.51	29.42±1.48
	加权平均值	26.15±0.98	22.16±0.43	29.55±0.43	28.27±0.46	29.38±0.39
Zn	0~10 cm	62.10±1.41	62.83±0.80	76.17±9.93	74.13±0.96	86.85±2.59
	10~20 cm	62.51±1.92	55.03±1.98	75.38±2.69	73.43±0.90	80.94±2.98
	20~40 cm	62.60±1.06	53.30±1.62	72.14±4.11	66.91±1.20	71.76±2.43
	加权平均值	62.45±0.26	56.12±5.08	73.96±2.14	70.35±3.98	77.83±7.60

* 平均值±标准差。

随机采样点位的平均含量与标准差。

分析 Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni 和 Zn 的含量在各采样点位 (合计 35 个) 随采样深度的变化趋势可知, 呈增加趋势的: Co 有 5 个, Cu 有 1 个, Fe、Mn、Mo 各有 2 个, Ni 有 4 个, Zn 有 1 个, 合计有 17 个; 呈减少趋势的: Co 有 3 个, Cu 有 5 个, Fe、Mo 各有 4 个, Mn 有 6 个, Ni 有 1 个, Zn 有 3 个, 合计有 26 个; 呈复杂趋势 (增减不定) 的: Co 有 7 个, Cu、Fe、Mo 各有 9 个, Mn 有 7 个, Ni 有 10 个, Zn 有 11 个, 合计有 62 个。这表明每类微量元素含量在 0~40cm 深度内都存在增加、减少和复杂的趋势, 并无明显的规律。计算 Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni 和 Zn 的含量在不同深度之间的

变异系数 (5 个棚龄-3 个点位) 发现, Mo 的变异系数均在 10% 以上, 这与土壤中 Mo 的低含量有关。Fe、Cu、Ni 的变异系数均在 5% 以下, Co、Mn 和 Zn 的变异系数低于 5% 的分别为 14 个、12 个和 7 个, 介于 5%~10% 之间的分别有 1 个、3 个和 7 个。这在一定程度上表明, 除 Mo 以外, Co、Cu、Fe、Mn、Ni 和 Zn 的含量在 0~40cm 深度内分布较为均匀。因此, 为分析简便, 研究中利用 0~10cm、10~20 cm 和 20~40cm 3 个深度的微量元素含量的加权平均值进行相关的比较分析。

2.2 微量元素含量随棚龄的变化分析

Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni 和 Zn 的含量随棚龄的变化采用表 1 中计算出的加权平均值进行分

析。微量元素含量随棚龄的变化存在以下趋势:(1) 0~1年:除Mo的含量升高30.77%外,Co、Cu、Fe、Mn、Ni和Zn的含量则均呈降低趋势,分别降低15.72%(*表示达到显著水平,SPSS10.0-LSD法-0.05水平,下同)19.87%、14.11%*、9.84%、15.26%*和10.14%;(2) 1~5年:Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni和Zn的含量均呈增加趋势,分别增加28.56%*、24.80%*、29.46%*、18.15%*、52.94%、33.35%*和31.79%*;(3) 5~8年:Mn含量基本持平外,Co、Cu、Fe、Mo、Ni和Zn的含量则均呈降低趋势,分别降低2.39%、6.50%、4.00%、18.15%、53.85%和4.88%;(4) 8~11年:Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni和Zn的含量均呈增加趋势,分别增加1.18%、8.19%、3.97%、15.47%、300.00%*、3.93%和10.63%;(5) 与对照的露天大田土壤相比,5年棚龄和11年棚龄的蔬菜大棚土壤Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni和Zn的含量均有所增加,其中,Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni和Zn的5年棚龄分别增加了8.34%*、0.00%、11.19%*、6.53%、100.00%、13.00%*和18.43%*;11年棚龄的分别增加了7.00%*、1.16%*、10.98%*、24.24%*、269.23%、12.35%*和24.63%*;而8年棚龄中,Co、Fe、Mn、Ni和Zn的含量分别增加了5.75%*、6.75%*、7.59%、8.11%*和12.65%*,Cu和Mo的含量则分别降低了6.50%和7.69%。上述数据表明本研究系列的蔬菜大棚土壤中微量元素含量的变化基本可分为3个阶段:第1阶段为利用初期,含量呈降低趋势;第2阶段(1~5年)含量呈增加趋势;第3阶段(5~11年)含量呈相对稳定。

2.3 微量元素含量丰缺程度的评价

2.3.1 污染威胁评价 即使与我国《土壤环境质量标准[GB15618-1995]》中金属元素含量的一级标准(Cu ≤ 35 mg/kg, Ni ≤ 40 mg/kg, Zn ≤ 100 mg/kg)相比^[8],所测土壤中Cu、Ni和Zn的含量分别低于一级标准25.00%~57.80%、26.13%~44.60%和22.17%~43.88%,这说明本地区土壤尚未发生Cu、Ni和Zn污染。而对Co、Fe、Mn、Mo而言,与本地区的元素背景值相比(Co, 12.6 mg/kg; Fe, 30200 mg/kg; Mn, 585 mg/kg; Mo, 0.3 mg/kg)^[9],Co的比值为0.70~0.90,Fe的比值为0.80~1.04,Mn的比值为0.71~0.98,Mo的比值为0.25~1.60,这在一定程度上可以说明本地区土壤Co、Fe、Mn和Zn的含量尚未对土壤构成污染威胁。

2.3.2 微量元素供给评价 由于本次研究未测

定微量元素的有效态含量,这里采用了估算的方法分析土样部分微量元素有效态含量。土壤全Co含量的临界值一般认为在5mg/kg^[10],所测土壤Co含量高于该临界值75.80%~126.60%,这说明本地区蔬菜大棚土壤不缺Co。根据有关文献^[11],我国土壤中有有效Cu、Mn、Mo和Zn含量的临界值(低含量)分别为0.2 mg/kg、2.0 mg/kg、0.15 mg/kg和1.0 mg/kg。即使按有效Cu/全Cu的低比值(1%)、有效Mn/全Mn的低比值(0.1%)、有效Mo/全Mo的高值(5%)以及有效Zn/全Zn的高值(0.01%)计算^[11],所测土壤的有效Cu、Mn、Mo和Zn的含量分别约为0.22~0.28 mg/kg、4.16~5.73 mg/kg、0.01~0.02 mg/kg和0.56~0.78 mg/kg,这说明所测蔬菜大棚土壤不缺Cu、Mn,但严重缺Mo,轻度缺Zn。我国土壤一般Fe含量较高,属不缺Fe类型^[11],本研究Fe含量分析结果也表明了这一点。由于目前尚缺乏Ni的明确临界标准,无法做出判断。

2.4 相关性分析

EXCEL2000线性相关分析结果表明,除Mo与其它微量元素类型在含量之间基本没有表现出线性相关关系外,Co、Cu、Fe、Mn、Ni、Zn 6类元素之间均或多或少地呈现出一定的线性正相关。Co与Cu、Fe、Mn、Ni、Zn之间的线性相关系数分别为0.862、0.990、0.792、0.991、0.912;Cu与Fe、Ni、Zn之间的线性相关系数分别为0.868、0.883、0.802;Fe与Mn、Ni、Zn之间的线性相关系数分别为0.844、0.999、0.959;Ni与Zn之间的线性相关系数为0.954。这在一定程度上表明了所测土壤中不同微量元素类型可能具有相似的来源。

3 讨论

张民和龚子同对我国不同地带上37类主要母质类型上起源的菜园土壤剖面(0~120cm)金属元素含量分布的研究表明,在0~40cm的表层土壤中含量最高,40~50cm的过渡层次之,然后向下锐减^[12]。一般而言,0~40cm也是我国蔬菜大棚土壤的主要耕作层次^[2,3],环境条件、利用程度与方式也较为一致,这可能是导致蔬菜大棚土壤微量元素含量在0~10cm、10~20cm和20~40cm 3个层次之间差异很小的主要原因。

一般而言,肥料、农药、污泥、污水的大量施用以及农用薄膜残留等是土壤中金属元素的主要来源^[13]。从实地调查来看,研究地区的大棚很少利用

污水灌溉和农药,但大量施肥和地膜残留问题较为严重,蔬菜大棚的主要肥料是家禽粪便和复合肥(主要成分包括过磷酸钙、磷酸二铵、氯化钾),而这类肥料均含有一定的金属元素^[11, 14~18]。这可能是造成大棚土壤中微量元素含量比露天大田明显增加的主要原因。根据研究,我国蔬菜大棚的施肥量一般可达露天大田的 4~10 倍,但肥料利用率却很低,造成大部分肥料成分遗留在土壤中或流失^[4]。

研究地区的农户在改露天大田为蔬菜大棚之前,一般要对土壤进行深翻处理(深度可达 1m 左右),由于底层土壤中微量元素含量很低^[12],底土被翻耕成表土后,这是导致第 1 年微量元素含量明显降低的主要原因。施肥、农药、灌溉等使表层土壤中微量元素含量存在增加的趋势,而作物吸收和向下淋失则导致表层土壤中微量元素含量趋于减小^[11, 19]。利用初期的蔬菜大棚土壤中的微量元素含量很低,大量施肥等因素会导致土壤中的微量元素含量升高,但在一定年限后,蔬菜吸收和向下淋失可能导致土壤中微量元素含量会达到一个相对平衡的状态^[19]。本研究中,平衡状态时的蔬菜大棚土壤中微量元素含量水平可以通过 5、8 和 11 年棚龄的近似平均值得出,其中 Co 为 11 mg/kg, Cu 为 27 mg/kg, Fe 为 31050 mg/kg, Mn 为 520 mg/kg, Mo 为 0.30 mg/kg, Ni 为 29 mg/kg, Zn 为 74 mg/kg。

4 结 论

本研究初步揭示了蔬菜大棚土壤中微量元素 Co、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni 和 Zn 的含量随利用年限的变化趋势。在大棚利用初期,微量元素含量会出现明显的降低,随后则会明显升高,但到一定年限后会达到相对平衡状态。大量施用复合肥和地膜残留可能是大棚土壤中微量元素含量增加的主要来源,但目前尚未对大棚土壤构成污染威胁,而大棚土壤严重缺 Mo 的问题值得关注。但需要指出的是,本研究仅分析了蔬菜大棚土壤中的微量元素的全量,估算了有效态含量,并没有获取土壤中微量元素的各类来源(如大棚内的空气、施用的肥料与水源、地膜残留等)和去向(蔬菜吸收与土壤淋失等)方面的信息,而这些信息是定量研究蔬菜大棚土壤中微量元素动态变化的基础,因此在这些方面尚需要进行一系列系统深入的研究。

致 谢

感谢中国科学院南京土壤研究所的汪金舫和董元华先生在文稿形成方面的帮助以及邓西海女士的分析工作。

参考文献

- 1 葛箐萍. 大棚土壤的理化性状. 土壤通报, 1998, 29(2): 88~90
- 2 李文庆, 李光德, 骆洪义. 大棚栽培对土壤盐分状况影响的研究. 山东农业大学学报, 1995, 26(2): 165~169
- 3 谢学东, 李加友. 蔬菜大棚土壤肥力状况调查. 南京农专学报, 1999, 15(1): 26~29
- 4 马文奇等. 山东省蔬菜大棚养分积累状况. 磷肥与复肥, 2000, 15(3): 65~67
- 5 贾继文, 聂俊华, 李絮花等. 蔬菜大棚土壤理化性状与土壤酶活性关系的研究. 山东农业大学学报(自然科学版), 2001, 32(4): 427~432
- 6 姚圣梅, 杨晓红, 郑雪虹等. 蔬菜大棚土壤微生物种类及数量的初步研究. 华中农业大学学报, 1997, 16(4): 347~350
- 7 曹慧, 杨浩, 孙波, 赵其国. 不同种植时间菜园土壤微生物生物量和酶活性变化特征. 土壤, 2002, 34(4): 197~200
- 8 中华人民共和国国家标准. 土壤环境质量标准 [GB15618-1995]. 北京: 中国标准出版社, 1995
- 9 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- 10 Kabata-Pendias A, et al. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1984
- 11 刘铮. 中国土壤微量元素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996
- 12 张民, 龚子同. 我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布. 土壤学报, 1996, 33 (1): 85~93
- 13 郑喜坤, 鲁安怀, 高翔等. 土壤中重金属污染现状与防治方法. 土壤与环境, 2002, 11(1): 79~84
- 14 Ozores HM, Obreza TA, Hochmuth G. Using composted wastes on Florida vegetable crops. HortTechnology, 1998, 8(2): 130~137
- 15 Han FX, Kingery WL, et al. Accumulation of heavy metals in a long-term poultry waste-amended soil. Soil Science, 2000, 165(3): 260~268
- 16 Genevini PL, Adani F, Borio D, et al. Heavy metal content

- in selected European commercial composts. *Compost Science and Utilization*, 1997, 5 (4): 31~39
- 17 Lidia. Giuffré De López Came. Heavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina. *Science of Total Environment*. 1997, 204 (3): 245~250
- 18 Chen HM, Zheng CR, Tu C, et al. Heavy metal pollution in soils in China. *Ambio*, 1999, 28: 130~134
- 19 Moolenaar SW and Beltrami P. Heavy metal balances of an Italian soil as affected by sewage sludge and Bordeaux mixture applications. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27 (4): 828~835

CHANGES IN TRACE ELEMENT CONTENTS IN GREENHOUSE SOILS AND YEARS OF VEGETABLE CULTIVATION

Li Decheng¹ Hua Jianming² Li Zhongpei¹ Zhou Xiang³ Zhang Taolin¹ VELDE B⁴

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*; 2 *Xinxiang City Agricultural Comprehensive Development Office, Xinxiang, Henan 453000*; 3 *Soil and Fertilization Station of Yancheng, Yancheng 224002*; 4 *Laboratoire de Géologie, CNRS 4385, ENS 75231 Paris Cedex*)

Abstract This paper was focused on changes in contents of trace elements in greenhouse soils under vegetable cultivation for 0 (CK), 1, 5, 8 and 11 years. The results showed that: Except Mo, there were little differences observed in Co, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn contents from depth to depth within 0-40 cm; trace element contents decreased significantly in the first year after the field was turned into greenhouse for vegetable cultivation, but they increased significantly afterwards and reached a relative balance after five years; certain positive linear correlations were somewhat found among Co, Cu, Fe, Mn, Ni and Zn contents; large amounts of poultry dung and compound fertilizer were possibly the main sources for the increase in trace element contents in these soil, no soil pollution happened but attention should be paid to the severe deficiency of Mo in the soil

Key words Trace element, Vegetable greenhouse, Cultivated year, Soil

(上接第 484 页)

MECHANISM OF NITROGEN LOSS AND TECHNIQUE FOR NITROGEN CONSERVATION IN COMPOSTING OF SLUDGE

Zhou Shaoqi Li Duan

(*Department of Environmental Science & Engineering, SCUT, Guangzhou 510640*)

Abstract Composting is an effective alternative for treating sludge to recycle it as resource, but the loss of nitrogen in composting may greatly affect agricultural value of the compost, thus limiting the use of sludge as manure. In this paper, the mechanism of nitrogen loss in composting is analyzed by using electronic stoichiometry of biochemical reactions, and techniques for nitrogen conservation are explored as well.

Key words Composting, Nitrogen, Struvite crystals