

# 堆肥对土壤主要营养元素可溶性的影响<sup>\*</sup>

## ——以 0.01M CaCl<sub>2</sub> 作浸提剂

张 丹<sup>1</sup> M.Verloo<sup>2</sup> A.Demeyer<sup>2</sup>

(1 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041;

2 Faculty of Agriculture, Gent Universty, Belgium)

**提 要** 以土壤与不同比例堆肥混合培养试验为基础,研究了堆肥对土壤主要营养元素可溶性的影响。对试验结果的统计分析表明,在 0.01 M CaCl<sub>2</sub> 浸提液中的可溶有机全碳(TOC)在堆肥比例 10 % 时急剧上升;NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和 K 随堆肥比例的增加而明显增加。TOC 在混合物培养 75d 前明显下降后又上升;NO<sub>3</sub><sup>-</sup>随培养时间的变化无规律;K 随培养时间而下降;P 不受堆肥比例及培养时间的影响。

**关键词** 可溶性 土壤大量元素 堆肥 CaCl<sub>2</sub>

**分类号** 《中图法》 S132, S158.3 **文献标识码** A

世界农业化学分析研究工作者正致力选择一种能尽可能多地浸提出土壤元素的浸提剂 以准确评价土壤肥力和环境质量 这样的浸提剂不仅要有经济优势而且要能科学地对营养有效性和比率给出合理的结论。近年来,0.01 M CaCl<sub>2</sub>就被当作这样的浸提剂取代了常规浸提剂在几个不同国家用于实验室中<sup>[1]</sup>。

其理论依据是<sup>[2]</sup>: 1 溶液浓度接近土壤原液盐浓度; 2 使同时测定不同含 N 物组分(包括可溶有机氮)成为可能; 3 该浸提剂经证明在研究微量元素和有毒元素特别在测定被污染环境方面有用。

本试验的目的是用 CaCl<sub>2</sub> 作浸提剂评价堆肥施用 在比例和不同培养时间上对土壤主要营养可溶有机全碳(TOC)、硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)、可溶磷(P)和可溶钾(K)的影响。

### 1 材料和方法

**1.1 供试土壤和堆肥** 供试土壤和堆肥的主要特性列于表 1。用 0.01 M CaCl<sub>2</sub> 浸提土壤和堆肥的主要营养测定值列于表 2。

**1.2 试验设计** 将 0, 0.1 %, 0.5 %, 1 %, 5 %, 10 % 的堆肥加入土壤中, 重复 3 次, 混匀后, 保持土壤堆肥混合物含水量 20 % 置温室中培养, 分别于培养 15, 30, 45, 60, 75, 90d 后取样。样品根据 Houbaetal<sup>[3]</sup> 方法用 0.01M CaCl<sub>2</sub> 浸提, 浸提液中的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>用电极法测定, TOC 用 TOC—5 000

表 1 土壤和堆肥的特性分析  
Table 1 Characteristics of soil and compost

土壤/堆肥	pH		CaCO <sub>3</sub> (%)	有机质 (%)	全氮 (%)	全磷 (mg/kg)	全钾 (mg/kg)	CEC (mol/kg)
	H <sub>2</sub> O	KCl						
砂壤土	6.62	6.11	0	3.96	0.190	5237	510	10.85
绿色堆肥	7.18	6.97	/	36.57	0.692	1806	5885	75.6

表 2 以 0.01M CaCl<sub>2</sub> 浸提土壤和堆肥主要营养分析测定值  
Table 2 The analytical data of macronutrients in soil and compost with 0.01M CaCl<sub>2</sub>

土壤/堆肥	pH 值	TOC (mg/kg)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	电导率 (ms/cm)
砂壤土	5.98	329.9	469.8	痕迹	49.5	2.3
绿色堆肥	6.44	1107	3840	痕迹	2908.0	3.13

<sup>\*</sup>本文为第一作者 1997 年在比利时根特大学留学期间硕士学位论文的一部份。  
收稿日期: 1998-12-30 收回日期: 1999-03-04。  
©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

型仪器测定, P 用光电比色法测定, K 用火焰光度计测定。

1.3 试验数据的处理 所有数据均进行双因子统计分析, F 检验后, 进行相同水平下的 LSD 检验, 大写字母 A, B, C, D, E, F 表示  $\alpha=0.01$  的显著差异, 小写字母 a, b, c, d, e, f 表示  $\alpha=0.05$  的显著差异, 每一时间图表示每个时间间隔(15 d)中 24 个数据之平均数间相比较, 每一处理图表示每一堆肥比例处理中 24 个数据平均数间相比较。

2 结果和讨论

从表 1 和表 2 可看出, 堆肥的 pH 值、总有机质含量、全氮、阳离子交换量高于土壤, 土壤中无 CaCO<sub>3</sub>, 堆肥的全磷低于土壤, 土壤中高含量磷可能是由于施肥的原因, 0.01 M CaCl<sub>2</sub> 浸提土壤和堆肥。从表 2 可看出, 分析数据与表 1 所列的全量分析数据有相同的变化趋势。0.01M 的 CaCl<sub>2</sub> 是很弱的浸提剂, 磷的浓度低于光电比色计测定的限度(0.05 mg/l), 表明堆肥和土壤中可溶磷含量极低。

2.1 pH 值 CaCl<sub>2</sub>溶液浸提混合物样品的 pH 值随堆肥比例的增加而上升, 这是由于堆肥 pH 值(pH<sub>CaCl<sub>2</sub></sub> = 6.44)高于土壤 pH 值(pH<sub>CaCl<sub>2</sub></sub> = 5.98)的原故, 这和堆肥 pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 7.18 土壤 pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 6.62 堆肥 pH<sub>KCl</sub> = 6.97, 土壤 pH<sub>KCl</sub> = 6.11 一致。pH 值随培养时间下降。这是由于络合物的形成, 来源于堆肥的配合基如胡敏酸(HA)和富里酸(FA)含大量的酸基, 在络合物形成的过程中, 氢离子被置换出来而导致溶液 pH 值下降, 另一原因还可能是随着培养时间的推移, 有机质分解为小分子的有机酸使 pH 值降低。

2.2 可溶有机全碳(TOC) 土壤堆肥混合物可溶 TOC 由于堆肥中较高含量的 TOC 随堆肥比例的增加而增加, 但当堆肥比例为 0 % ~ 5 % 时, 处理间平均数的差异不明显, 当堆肥比例上升为 10 % 时, 可溶 TOC 急剧上升(图 1), 即只有在堆肥比例增加到一定量时, 可溶 TOC 才会有所增加。

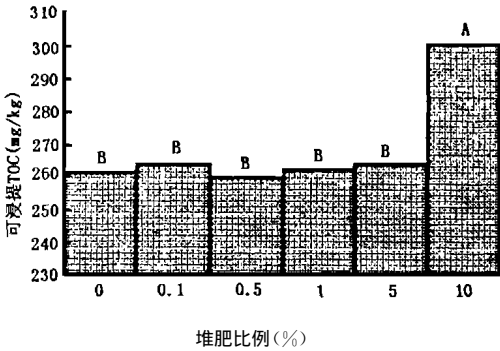


图 1 TOC 随堆肥比例的变化

Fig. 1 Change of TOC with compost rate

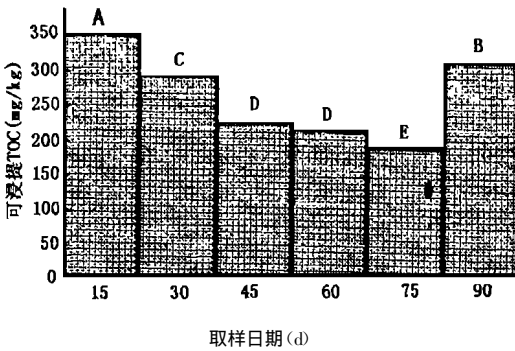


图 2 TOC 随培养时间的变化

Fig. 2 Change of TOC with time

图 2 描绘了 CaCl<sub>2</sub> 可浸提 TOC 随培养时间的变化, 可溶 TOC 在 75 d 前随培养时间迅速下降, 75 d 后却急剧上升直到 90 d 这种现象解释为: 1. 当土壤堆肥混合物置于温室培养时, 二价和三价金属阳离子与 HA 或 FA 形成了不溶络合物或螯合物, 因此从培养开始至 75 d 可溶 TOC 是降低的; 2 随着培养的继续, 由于 pH 值下降, 金属离子与 HA 或 FA 的比值降低, 使金属络合物或螯合物的溶解性变大<sup>[3]</sup>。

2.3 可浸提 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 图 3 表示在土壤堆肥混合物中 CaCl<sub>2</sub> 可浸提 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 由于堆肥中较高含量的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 随堆肥比例的增加而增加, 当堆肥比例为 0 % ~ 1 % 时, CaCl<sub>2</sub> 可浸提的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (353.75 mg/kg ~ 415.83 mg/kg) 低于土壤可浸提的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (469.8 mg/kg), 当堆肥比例为 5 % ~ 10 % 时, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (507.29 mg/kg ~ 573.75 mg/kg) 高于土壤。前者可能是由于微生物固定: 本试验所用堆肥的 C/N 是 31, 这就引起土壤中无机态氮 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的固定, 使处理中可浸提 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 低于纯土壤中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>。当处理为 5 % ~ 10 % 时, 堆肥中较高含量的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (3 840 mg/kg) 和从堆肥中有机质矿化而释放出的 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 补偿了生物固定氮失去的

$\text{NO}_3^-$ , 使  $\text{NO}_3^-$  增加并高于纯土壤中可溶  $\text{NO}_3^-$  的含量。

$\text{CaCl}_2$  可浸提  $\text{NO}_3^-$  随时间的变化无规律, 这是由于无机态氮是微生物转变的产物, 该过程快速并受昼夜气候变化的影响, 即使在温室也是如此<sup>[4]</sup>。

2.4 可浸提钾(K) 图 4 为可浸提 K 随堆肥比例的变化。从图中可看出, 当堆肥比例超过 1 % 时, 可浸提 K 随堆肥比例的增加而增加, 根据多伦平衡解释 2 价阳离子比 1 价阳离子能更多地有机胶体所吸附, 使得 K 容易从腐殖物质和土壤粘粒矿物中释放出来。

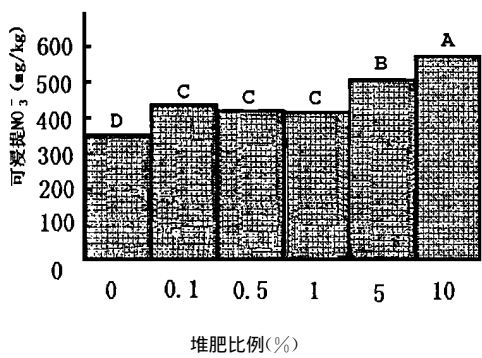


Fig. 3 Change of  $\text{NO}_3^-$  with compost rate

图 3  $\text{NO}_3^-$  随堆肥比例的变化

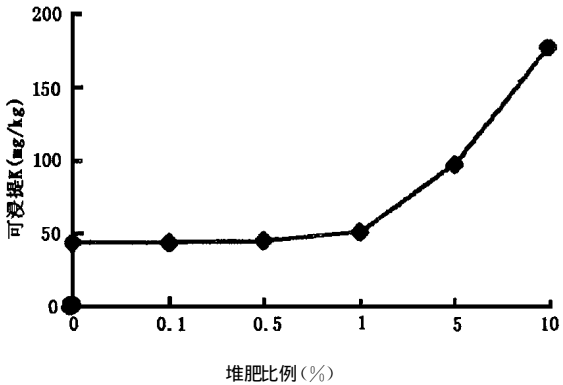


Fig. 4 Change of soluble K with compost rate

图 4 可溶 K 随堆肥比例的变化

在土壤堆肥混合物中, 可溶 K 随培养时间延长而下降是由于 2:1 型粘粒矿物晶格对 K 的固定, 特别是蛭石、半风化伊利石和蒙脱石(图 5)。

添加堆肥提高了混合物中可溶 K, 当处理为 0% ~ 0.5% 堆肥时, 混合物中  $\text{CaCl}_2$  可浸提钾为 43.9 mg/kg ~ 45.5 mg/kg, 低于纯土壤(49.5 mg/kg), 当处理达到 1 % 和更高时, 可溶 K 急剧升高, 前者可能是由于有机-无机复合体对钾的固定和有机胶膜封闭了整个复合体而固定了所吸附的钾素(胶膜分离机制)<sup>[4]</sup>。当有机质达到一定水平时, 这个机制不再占优势地位。土壤堆肥混合物中  $\text{CaCl}_2$  可浸提 P 极低, 表明 P 被土壤中有有机(有机质、微生物)和无机成份( $\text{Ca}-\text{P}$ ,  $\text{Fe}-\text{P}$  等)所固定<sup>[9]</sup>。

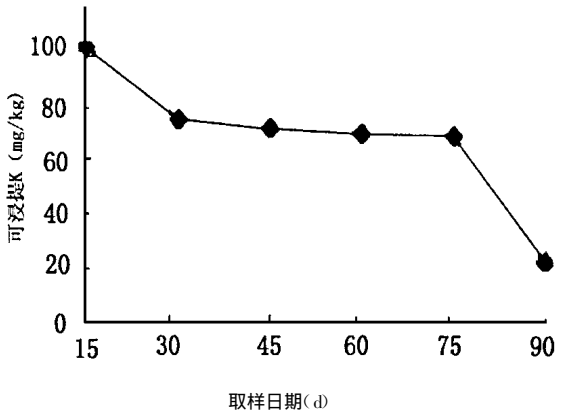


Fig. 5 Change of soluble K with time

图 5 可溶 K 随培养时间的变化

3 结 论

基于上述试验结果和讨论, 0.01 M  $\text{CaCl}_2$  可溶土壤堆肥混合物营养含量能够用于评价堆肥对土壤主要营养元素可溶性的影响。

这一点由以下事实得到证明: 土壤 pH 值随堆肥比例略有上升, 但随培养时间而下降, 可溶有机碳随堆肥比例的增加而增加, 随培养时间而降低。可浸提  $\text{NO}_3^-$  和 K 随堆肥比例的上升而增加,  $\text{NO}_3^-$  随培养时间的变化无规律, 可溶 K 随培养时间而下降。堆肥的加入对可溶 P 无影响。

## 参 考 文 献

- 1 Jaszberenyi and J. Loch. Experiences with 0.01M CaCl<sub>2</sub> As An Extraction Reagent for Use. As A Soil Testing Procedure in Hungary, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1994, 25(9~10): 1771~1777
- 2 Houba V. J. G., I. Jaszberenyi, and J. Loch. Application of 0.01M CaCl<sub>2</sub> as a single extraction solution for evaluation of the nutritional status of
- 3 Hungarian soils. Debreceni Agartudományi Egyetem Judományos Kozlemenyei Tom. XXX. Debrecen. 1991. 85~95
- 4 Schnitzer, M. and Khan, S. U. Humic substances in the environment. Marcel Dekker. New York: 1972. 203~250
- 5 朱祖祥. 土壤学. 北京: 农业出版社, 1983. 36~50
- 6 Verloo, M. Lecture Note on Soil Chemistry and Fertility. University of Gent. Belgium. 1996. 37~40

第一作者简介 见《山地研究》(现刊名《山地学报》)1998, 16(3): 229

## SOLUBILITY OF MACRONUTRIENTS IN A COMPOST AMENDED SOIL WITH 0.01M CALCIUM CHLORIDE EXTRACTION REAGENT

ZHANG Dan<sup>1</sup> M. Verloo<sup>2</sup> A. Demeyer<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> *Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy  
& Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041;*  
<sup>2</sup> *Faculty of Agriculture, Gent University, Belgium*)

**Abstract** Soil analytical results are presented based on soil compost incubation experiment and 0.01 M CaCl<sub>2</sub> as extraction reagent for evaluating solubility of soil macronutrients in a compost amended soil with rate of compost and with incubation time conducted in Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, Gent University, Belgium.

The experiment design in two factors: 0%, 0.1%, 0.5%, 1%, 5%, 10% of compost added to the soil for assessing the influence of amount of compost on the solubility of macronutrients-C, N, P and K; 15, 30, 45, 60, 75, 90 days of incubation after amendment of the compost for evaluating the influence of time on the solubility of the above macronutrients.

Owing to the biological statistical analysis pH slightly increased with rate of compost, but gently decreased with time; there are significant increase of total organic carbon (TOC) when 10 % of compost was added to the soil in 0.01 M calcium chloride (CaCl<sub>2</sub>); NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and K was increased pronouncedly with increment of compost. TOC was decreased significantly before 75 days of incubation and increased after 75 days of incubation. The change of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> was irregular and K decreased with incubation time. The soluble P was not influenced by the rate of compost and incubation time.

**Key words** Solubility, macronutrients, compost, calcium chloride