

# 长期施肥对设施蔬菜栽培土壤易氧化有机碳含量及其剖面分布的影响

王艳, 杨丽娟, 周崇峻, 储慧霞

(沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110161)

**摘要:** 对农业可持续发展系统来说, 土壤碳库容量是很重要的因子, 其变化主要发生在易氧化碳库(EOC)里。在设施蔬菜施肥长期定位试验基础上, 研究了长期施用有机肥和化肥对设施内土壤易氧化有机碳的影响。结果表明, 除了长期不施肥的土壤外, 其它施肥处理土壤易氧化有机碳含量均随着土层深度的增加而降低。A组(有机肥组)各土层以ANP(有机肥+氮磷化肥)处理易氧化有机碳含量最高, 其次是ANPK(有机肥+氮磷钾化肥)、ANK(有机肥+氮钾化肥),  $AN_0$ (单施有机肥)含量最低; B组(不施有机肥组)中BNP(氮磷化肥)易氧化有机碳含量最高, 其次是BNK(氮钾化肥)、BNPK(氮磷钾化肥)。与不施肥处理相比, 长期施用有机肥能够显著提高0—60 cm各层土壤易氧化有机碳的含量, 且施用有机肥以及有机肥与氮磷钾化肥配施效果要优于不施有机肥处理。

**关键词:** 设施内土壤; 长期定位试验; 有机肥; 化肥; 易氧化有机碳(EOC)

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0032-04

中图分类号: S154.2

## Effects of Long-term Fertilization on the EOC Content in Vegetable Soil in Greenhouse

WANG Yan, YANG Lijuan, ZHOU Chong-jun, CHU Hui-xia

(College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China)

**Abstract:** Soil carbon pool is very important for the sustainable development of agricultural systems and the change of soil carbon pool is mainly related to soil easily oxidized organic carbon(EOC). Results show that long-term application of manure and chemical fertilizers results in the reduction of the EOC content with decreased soil layer except no manure or chemical fertilizers. In group A (organic manure), the EOC content in ANP(organic manure + nitrogen, and phosphorus fertilizers) is the highest, followed by ANPK(organic manure+ nitrogen, phosphorus, and potassium chemical fertilizers) and ANK(organic manure+ nitrogen, and potassium chemical fertilizers). The EOC content in  $AN_0$ (organic manure without nitrogen fertilizer) is the lowest. In B group(chemical fertilizer group), the EOC content in BNP(nitrogen and phosphorus chemical fertilizers) is the highest and then is the BNK(nitrogen and potassium fertilizers) and BNPK(nitrogen, phosphorus, and potassium chemical fertilizers). Compared with the no fertilization treatment, long-term fertilization can increase the EOC content in 0—60 cm soil layer and the application of organic manure, as well as organic manure and NPK chemical fertilizers, is better than the application of non-organic fertilizer.

**Keywords:** soil under protected cultivation; long-term fixed experiment station; organic manure; chemical fertilizer; EOC

土壤有机碳是土壤质量的核心<sup>[1]</sup>, 它不仅为植被生长提供碳源<sup>[2]</sup>, 而且在维持土壤良好的物理结构、控制养分和污染物的生物有效性中起着重要的作用<sup>[3]</sup>。Biederbeck 等人<sup>[4]</sup>通过动力学研究指出, 土壤有机质的短暂波动主要发生在易氧化、分解部分, 并

选择易氧化碳作为土壤活性有机碳的指示因子。易氧化有机碳(EOC)是指能被 333 mmol/L 的高锰酸钾氧化的有机碳, 它在种植作物时变化最大<sup>[5]</sup>。在农业可持续发展的系统研究中, 土壤碳库容量的变化主要是发生于土壤易氧化有机碳库中的, 所以认为这一

收稿日期: 2009-09-26

修回日期: 2010-03-29

资助项目: 辽宁省教育厅基金项目“设施番茄连作障碍机理与调控技术”(413010206-1102-010626609006)

作者简介: 王艳(1983—), 女(汉族), 山东省即墨市人, 硕士研究生, 主要从事设施内蔬菜肥力研究。E-mail: wangyan0902@163.com。

通信作者: 杨丽娟(1968—), 女(汉族), 辽宁省庄河市人, 博士, 教授, 主要从事蔬菜营养及设施内土壤水肥管理方面的科研工作。E-mail: syau\_ylj@163.com。

活性指标可以指示土壤有机质的早期变化<sup>[4]</sup>。

目前,对于土壤易氧化有机碳的研究不够深入,主要集中在农业生态系统及活性有机碳的综述方面。吴建国等<sup>[6]</sup>对六盘山林区几种土地利用方式下易氧化有机碳进行比较发现,不同土地利用下土壤易氧化有机碳的差异主要在0—70 cm土层;含量和其占土壤活性有机碳的比例随土层加深而递减。刘淑霞等<sup>[7]</sup>对黑土在冻融作用下有机碳的数量变化研究表明,易氧化有机碳在短期内并未因冻结强度和冻融频次的变化而发生显著变化。谢勇等<sup>[8]</sup>通过沼渣连续施用对土壤有机碳组成及剖面分布的研究表明,土壤易氧化有机碳的含量随连续施用沼渣年限的延长而增加。张电学等<sup>[9]</sup>研究了长期不同施肥制度下土壤有机质质量动态变化规律,结果表明不同施肥制度主要影响土壤易氧化有机碳含量,进而影响到土壤有机碳的总量和氧化稳定系数(K<sub>os</sub>值)。王玲莉等<sup>[10]</sup>通过长期施肥对棕壤活性有机碳指标的影响研究表明,长期施用化肥、有机肥及有机肥配施化肥均显著改变了土壤总碳、轻组有机碳、易氧化有机碳、水溶性有机碳和颗粒有机碳的含量。现在有关长期施肥对设施内菜田土壤易氧化有机碳影响的研究则少见报道。本文研究了国内首家设施内长期施用有机肥、化肥及有机肥与化肥配施对设施栽培蔬菜土壤易氧化有机碳的影响,分析不同土层易氧化有机碳的变化规律,探索与总结长期而缓慢的变化规律,为合理保护和利用有限的土壤资源及土壤肥力评价与管理提供理论依据和实践指导。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验区概况

本试验是在沈阳农业大学园艺学院蔬菜保护地长期肥料定位试验基地进行的,基地位于辽宁省沈阳市东陵区沈阳农业大学院内(北纬41°31′,东经123°24′),土壤类型为草甸土。该长期定位试验已经连续进行了21 a。

### 1.2 试验设计

蔬菜施肥长期定位试验设18个施肥处理,分为两个部分:第一部分为施有机肥(A组):AN<sub>0</sub>, AN<sub>1</sub>, AN<sub>2</sub>, AP<sub>2</sub>, AK, APK, ANP, ANK, ANPK;第二部分为不施有机肥(B组):BN<sub>0</sub>, BN<sub>1</sub>, BN<sub>2</sub>, BP, BK, BPK, BNP, BNK, BNPK。各字母含义及施肥量为:A施马粪75 000 kg/(hm<sup>2</sup>·a),B不施有机肥, N<sub>0</sub>不施氮肥, N<sub>1</sub>尿素652 kg/(hm<sup>2</sup>·a), N<sub>2</sub>尿素1 305 kg/(hm<sup>2</sup>·a), P 过磷酸钙4 802 kg/(hm<sup>2</sup>·a), K 硫酸钾360 kg/(hm<sup>2</sup>·a)。马粪养分含量分别为全N 6.12 g/kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.80 g/kg 和 K<sub>2</sub>O 2.41 g/kg, 有机质含量204 g/kg。尿素含N量46%, 过磷酸钙有效P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>含量14%, 硫酸钾含K<sub>2</sub>O量50%。每处理重复3次,为防止水分、肥料相互渗透,小区之间用水泥砌成0.8 m深的水泥池,小区面积为1.5 m<sup>2</sup>。

有机肥为腐熟的马粪,与磷、钾肥在定植前一次性均匀撒施地表,然后人工翻地20 cm深,氮肥分别在定植后第30 d和第50 d分两次追施。

供试土壤为草甸土,原始耕层1988年(0—20 cm)性质如下:有机质24 g/kg,土壤全碳含量14.09 g/kg,全氮1.16 g/kg,全磷1.37 g/kg,碱解氮86.41 mg/kg,速效磷70.80 mg/kg,速效钾56.14 mg/kg, pH值(H<sub>2</sub>O)6.75。

本研究选用与碳相关性较大的AN<sub>0</sub>, AN<sub>1</sub>, AN<sub>2</sub>, ANP, ANK, ANPK, BN<sub>0</sub>, BN<sub>1</sub>, BN<sub>2</sub>, BNP, BNK, BNPK这12个处理作为研究对象。

### 1.3 土样采集

供试土壤于2009年5月采自沈阳农业大学蔬菜长期施肥定位试验基地收获后空地,上茬作物为番茄(佳粉10号),于2008年4月28日定植,密度为5 200株/hm<sup>2</sup>,按照当地保护地番茄栽培正常管理。设施栽培为一年一茬长季节栽培,2006—2008年栽培作物为番茄,2003—2006年为黄瓜,1999—2002年为番茄,1997—1998年为茄子,此前的露地试验相继采用8种蔬菜(从1988年秋季开始一年两茬的栽培顺序为:大白菜、菜豆、萝卜、洋葱、黄瓜、马铃薯、叶用芥菜、甜椒)轮作。每个处理按对角线3点采样法取混合样,每个点分别按0—20 cm, 20—40 cm, 40—60 cm土层深度取样,风干,磨碎,过筛备用。

### 1.4 测定方法

土壤易氧化有机碳的测定采用高锰酸钾氧化比色法<sup>[11]</sup>,称取2 g左右待测风干土壤样品(约含有机碳15~30 mg)加入25 ml, 333 mmol/L KMnO<sub>4</sub>溶液,空白试验同时进行,3次重复。振荡1 h后2 000 r/min离心5 min,取上清液用去离子水按1:250稀释。利用分光光度计在565 nm波长处进行比色(此前需做土壤总有机碳含量测定,确定样品测定时的取样质量,保证样品含碳量在系列含碳范围内),土壤碳素氧化量用mg/g碳表示(1 mmol KMnO<sub>4</sub>氧化1 mg碳)并根据所消耗的KMnO<sub>4</sub>量和不含土壤的空白样进行比较,计算土壤易氧化有机碳的含量。数据采用Excel和DPS软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对不同土层土壤易氧化有机碳的影响

2.1.1 不同施肥处理对 0—20 cm 土层土壤易氧化有机碳的影响 由表 1 可见,有机肥组(A)耕层(0—20 cm)各处理易氧化有机碳含量高低顺序为: ANP> ANPK> ANK> AN<sub>2</sub>> AN<sub>1</sub>> AN<sub>0</sub>,且各施氮处理土壤易氧化有机碳含量均显著高于不施氮处理(AN<sub>0</sub>);但 ANK 和 AN<sub>2</sub> 之间不存在显著性差异,AN<sub>2</sub> 和 AN<sub>1</sub> 之间亦无显著性差异,说明有机肥处理中不同氮肥施用量及 N, P, K 的配合施用有利于耕层土壤易氧化有机碳的积累,但有机肥配施氮磷与有机肥配施氮磷钾对 0—20 cm 土壤易氧化有机碳的影响相差不大;氮素两种用量和 ANK 这 3 者之间区别不大。

化肥组(B)中,易氧化有机碳含量高低顺序为:BNP> BN<sub>1</sub>> BNK> BNPK> BN<sub>2</sub>> BN<sub>0</sub>,BN<sub>0</sub> 和其它各处理之间存在显著性差异,说明化肥处理中不同氮肥施用量及 N, P, K 的配合施用有利于耕层土壤易氧化有机碳的积累。

A 和 B 组 12 个处理中,BN<sub>0</sub> 易氧化有机碳含量最低,且和 AN<sub>0</sub> 呈显著性差异,BN<sub>0</sub>,AN<sub>0</sub> 和其它 10 个处理均呈显著性差异,说明有机肥处理与化肥处理中,施用氮肥和 N, P, K 配施均有利于耕层土壤易氧化有机碳的积累,特别是有机肥与 N, P 配施;有机肥与 N, P, K 配施更利于易氧化有机碳的积累。

高,但和 ANPK 相差不大;AN<sub>1</sub>,AN<sub>2</sub>,ANK 之间均无显著性差异。可见 A 组 20—40 cm 土层各处理中易氧化有机碳的含量差异不如 0—20 cm 大。

B 组各处理的易氧化有机碳含量相差较小,其高低顺序为:BNP> BNK> BN<sub>1</sub>> BNPK> BN<sub>0</sub>> BN<sub>2</sub>,可见 B 组各处理中易氧化有机碳含量差异不大。

A 和 B 组 12 个处理中 EOC 高低顺序为: ANP> ANPK> BNP> AN<sub>2</sub>> BNK> AN<sub>1</sub>> BN<sub>1</sub>> ANK> BNPK> BN<sub>0</sub>> BN<sub>2</sub>> AN<sub>0</sub>,AN<sub>0</sub> 和 BN<sub>2</sub>,BN<sub>0</sub> 之间无显著性差异;ANP 含量虽最高,但是和 ANPK、BNP 差别不大。可见,20—40 cm 由于土层的加深,其易氧化有机碳的含量降低,各处理间差异变小。

2.1.3 不同施肥处理对 40—60 cm 土层土壤易氧化有机碳的影响 A 组中 ANK 显著低于其它 5 个处理,AN<sub>2</sub>,AN<sub>1</sub>,AN<sub>0</sub> 这 3 者之间无显著性差异;ANP 中易氧化有机碳含量最高,但和 ANPK 相差很小;二者与 AN<sub>2</sub>,AN<sub>1</sub>,AN<sub>0</sub>,ANK 有显著性差异。可见 40—60 cm 土层不同氮肥用量其易氧化有机碳含量无显著性差异。

B 组中 BN<sub>0</sub> 含量最低,仅为 0.995 6 mg/kg,其次是 BNP,BNK,BN<sub>2</sub>,BN<sub>1</sub>。BNPK 含量最高,BNPK 和 BN<sub>1</sub> 间差异不显著;BN<sub>1</sub>,BN<sub>2</sub> 和 BNK 之间,BN<sub>2</sub>,BNK 和 BNP 之间及 BNP 和 BN<sub>0</sub> 之间均无显著性差异。说明 40—60 cm 土层化肥各处理间易氧化有机碳含量相差不大。

2.2 不同施肥处理对 0—60 cm 土层土壤易氧化有机碳剖面分布的影响

由图 1—2 可以看出,在 0—60 cm 土壤剖面上,除了 AN<sub>0</sub> 和 BN<sub>0</sub> 外,各处理总变化呈随土层的加深易氧化有机碳的含量呈逐渐减少的趋势,AN<sub>0</sub> 随土层的加深易氧化有机碳含量 0—40 cm 先减少,而后从 40—60 cm 其含量又开始增加;而 BN<sub>0</sub> 随土层的加深 0—40 cm 先增加,从 40—60 cm 其含量又开始减少。除了 BN<sub>1</sub> 在 0—20 cm 其易氧化有机碳的含量比 AN<sub>0</sub> 高外,其它各处理 A 组的易氧化有机碳的含量均比 B 组高,这可能是由于多年来 AN<sub>0</sub> 仅施用有机肥而 BN<sub>0</sub> 不施用任何肥料,加上人为活动、土壤的翻耕,导致了这种特殊变化。

0—60 cm 土层 BN<sub>1</sub>,BN<sub>2</sub>,BNPK 的降幅由大到小;AN<sub>1</sub>,AN<sub>2</sub>,BNP,BNK 下降速率则是由慢到快;ANPK 和 ANP 的变化较平缓;ANK 易氧化有机碳含量降幅一直很大,说明有机肥处理相对于化肥处理来说有利于土壤中易氧化有机碳的积累,尤其是有机肥与 N, P 配施和有机肥与 N, P, K 配施更有利于土壤深层易氧化有机碳的积累。

表 1 不同处理对各土层 EOC 含量的影响 mg/kg

处 理	土层深度/cm		
	0—20	20—40	40—60
AN <sub>0</sub>	3.235 9 <sup>h</sup>	2.468 6 <sup>f</sup>	3.399 1 <sup>1c</sup>
AN <sub>1</sub>	5.032 7 <sup>efg</sup>	4.763 4 <sup>cd</sup>	3.272 6 <sup>1c</sup>
AN <sub>2</sub>	5.247 0 <sup>def</sup>	4.974 8 <sup>bcd</sup>	2.793 5 <sup>cd</sup>
ANP	7.715 0 <sup>a</sup>	6.437 3 <sup>a</sup>	5.670 4 <sup>a</sup>
ANK	5.867 4 <sup>cd</sup>	4.164 8 <sup>d</sup>	1.377 0 <sup>fg</sup>
ANPK	7.002 1 <sup>b</sup>	6.255 0 <sup>ab</sup>	5.632 1 <sup>a</sup>
BN <sub>0</sub>	2.051 1 <sup>i</sup>	3.656 2 <sup>def</sup>	0.995 6 <sup>g</sup>
BN <sub>1</sub>	5.664 9 <sup>cd</sup>	4.444 6 <sup>cd</sup>	2.938 0 <sup>bcd</sup>
BN <sub>2</sub>	4.584 7 <sup>g</sup>	2.700 6 <sup>ef</sup>	2.347 4 <sup>de</sup>
BNP	5.952 4 <sup>c</sup>	5.595 4 <sup>abc</sup>	1.638 9 <sup>efg</sup>
BNK	5.432 9 <sup>cde</sup>	4.817 6 <sup>cd</sup>	2.272 2 <sup>def</sup>
BNPK	4.733 2 <sup>fg</sup>	3.952 7 <sup>de</sup>	3.802 5 <sup>b</sup>

注:同一列数据带有不同字母的为 5% 差异显著水平,带有相同字母的为 5% 差异不显著 (n= 35)。

2.1.2 不同施肥处理对 20—40 cm 土层土壤易氧化有机碳的影响 A 组处理中易氧化有机碳含量高低顺序为: ANP> ANPK> AN<sub>2</sub>> AN<sub>1</sub>> ANK> AN<sub>0</sub>,AN<sub>0</sub> 和其它处理均呈显著性差异;ANP 含量虽最

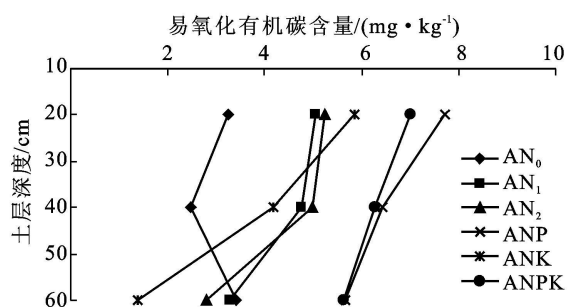


图1 A组施肥处理土壤易氧化有机碳剖面分布

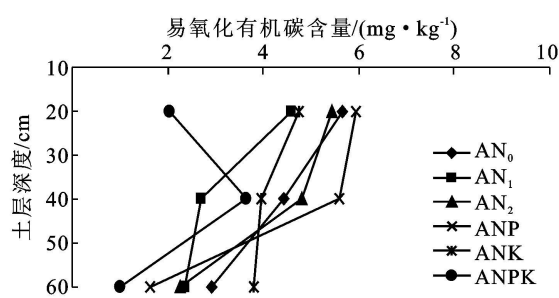


图2 B组施肥处理土壤易氧化有机碳剖面分布

### 3 结论

设施栽培条件下,施有机肥和施化肥各处理土壤易氧化有机碳的剖面分布有随着土层的加深其含量呈现逐渐降低的趋势,这与崔志强、邵月红<sup>[12-13]</sup>的研究相似,且有机肥处理中易氧化有机碳的含量较化肥高。在设施栽培条件下,长期施用有机肥和N、P、K配施都能够提高土壤中易氧化有机碳的含量,这与韩晓日、沈宏<sup>[14-15]</sup>的研究结果相同。

0—60 cm 土壤剖面上,0—20 cm 土层土壤易氧化有机碳的含量高于其它层次,可能是由于大量作物根系残留在土壤中的结果;土壤垂直方向上不同层次氧气含量和受人为活动的影响程度不同,这些因素也直接或间接影响着土壤易氧化有机碳的分解和合成。而且,随着土层深度加深,土壤微生物活性减弱,对有机化合物分解速率降低,亦可能导致土壤易氧化有机碳数量随土层深度加深而下降,而且土层越深,土壤有机碳驻留时间越长,有效性越低。因此,相对于深层土壤来说,土壤易氧化有机碳更易在浅层土壤积累。长期施肥对土壤微生物和活性有机碳的影响问题,正在深入研究之中。

### [参考文献]

- [1] Baties N H. The total C and N in soils of the world[J]. European Journal of Soil Science 1996, 47: 151-163.
- [2] 潘根兴,李恋卿,张旭辉.土壤有机碳库与全球变化研究的若干前沿问题:兼开展中国水稻土有机碳固定研究的建议[J].南京农业大学学报,2002,25:100-109.
- [3] 张金波,宋长春.土地利用方式对土壤碳库影响的敏感性评价指标[J].生态环境,2003,12:500-504.
- [4] Biederbeck V O, Janzen H H, Zentner P P. Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in all arid environment [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1994, 26: 1647-1656.
- [5] Lefroy R D B, Blair G J, Strong W M. Changes in soil organic matter with cropping as measured by organic carbon fractions and <sup>13</sup>C natural isotope abundance[J]. Plant and Soil, 1993, 155/156: 399-402.
- [6] 吴建国.六盘山林区几种土地利用方式下土壤活性有机碳的比较[J].植物生态学报,2004,28(5):657-664.
- [7] 刘淑霞,王宇,赵兰坡,等.冻融作用下黑土有机碳数量变化的研究[J].农业环境科学学报,2008,27(3):984-990.
- [8] 谢勇,王昌全,李冰,等.沼渣连续施用对土壤有机碳组群及剖面分布的影响[J].四川农业大学学报,2009,27(2):208-213.
- [9] 王玲莉,娄冀来,韩晓日,等.长期施肥对土壤活性有机碳指标的影响[J].土壤通报,2008,39(4):752-755.
- [10] 张电学,韩志卿,王秋兵,等.长期不同施肥制度下土壤有机质质量动态变化规律[J].土壤通报,2007,38(2):251-255.
- [11] 徐明岗.土壤活性有机质的研究进展[J].土壤肥料,2000(6):3-7.
- [12] 崔志强,汪景宽,李双异,等.长期地膜覆盖与不同施肥处理对棕壤活性有机碳的影响[J].安徽农业科学,2008,36(19):8171-8173.
- [13] 邵月红,潘剑君,孙波.长期施肥对红壤不同形态碳的影响[J].中国生态农业学报,2006,14(11):125-127.
- [14] 韩晓日,苏俊峰,谢芳,等.长期施肥对棕壤有机碳及各组分的影响[J].土壤通报,2008,39(4):730-733.
- [15] 沈宏,曹志洪,胡正义.土壤活性有机碳的表征及其生态效应[J].生态学杂志,1999,18(3):32-38.