

不同施肥方式对灌漠土土壤有机碳、无机碳和微生物量碳的影响

曾骏^{1,2,3}, 董博^{1,2}, 张东伟¹, 包兴国¹, 郭天文^{1,3}

(1. 甘肃省农业科学院 旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 利用武威市白云试验站 18 a 长期定位试验资料, 研究了不同施肥条件下, 土壤有机碳、无机碳和微生物量碳在 0—40 cm 土层的变化状况。结果表明, 氮肥与有机肥长期配合施用和长期施用农肥可以在 0—20 cm 土层增加土壤有机碳含量, 减少土壤中的无机碳含量, 增加土壤微生物量碳含量; 单施秸秆可增加土壤有机碳, 而对无机碳和微生物量碳影响无明显差异; 长期施用氮肥对土壤的有机碳、无机碳和微生物量碳均无明显差异。土壤有机碳与土壤无机碳含量呈显著负相关关系, 而与土壤微生物量碳呈显著正相关关系。

关键词: 长期施肥; 土壤有机碳; 土壤无机碳; 土壤微生物量碳

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0035-04

中图分类号: S153.6

Effect of Long-term Fertilization on Organic, Inorganic and Microbial Biomass Carbon in Irrigated Desert Soils

ZENG Jun^{1,2,3}, DONG Bo^{1,2}, ZHANG Dong-wei¹, BAO Xing-guo¹, GUO Tian-wen^{1,3}

(1. Dryland of Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Research Center for Regional Development and Information Agriculture, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Key Laboratory of High Efficiency Water Utilization in Dry Farming Region, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Based on a 18-year-long experiment conducting at Baiyun experiment station in Wuwei City, the effects of long-term fertilization on soil organic, inorganic and microbial biomass carbon in 0—20 cm layer of irrigated desert soil were analyzed. The results showed that long-term combined application of nitrogen and organic fertilizer, as well as manure application led to increases of soil organic and microbial biomass carbon contents, while reduced soil inorganic carbon contents. Applying straw alone increased soil organic carbon, but had no significant impacts on inorganic and microbial biomass carbon levels. Long-term application of nitrogen fertilizer had no significant influence on soil organic, inorganic and microbial biomass carbon contents. All results revealed that soil organic carbon contents negatively correlated with inorganic carbon contents, and positively with soil microbial biomass carbon contents.

Keywords: long-term fertilization; soil organic carbon; soil inorganic carbon; soil microbial biomass carbon

土壤碳库包括土壤有机碳库和无机碳库两部分。土壤有机碳土壤有机质不仅是土壤中各种营养元素的重要来源, 而且还能刺激植物的生长, 改善土壤理化性质^[1]。而土壤无机碳(尤其是 CaCO_3 含量)不仅影响土壤的 pH 值、土壤的供肥能力及土壤环境质量^[2], 而且对第四纪环境有多方面的指示意义^[3]。土壤微生物量碳虽然只占土壤总碳量的 1%~4%, 但

它是评价微生物量的活性参数指标。中国北方大面积的干旱和半干旱土壤中的碳酸盐是该地区土壤碳库的重要组成部分, 目前对农田土壤碳库影响的研究多集中于土壤有机碳方面^[4-7], 而有机碳、无机碳和微生物量碳 3 者关系的研究相对较少。因此, 以设置在甘肃河西绿洲灌漠土的长期定位试验为基础, 研究了不同肥料配合施用的土壤有机碳、无机碳和微生物量

收稿日期: 2012-05-20

修回日期: 2012-06-13

资助项目: 国际植物营养研究所(IPNI)项目“甘肃主要农业土壤养分管理与平衡施肥”(NMBF-Gansu-2008)

作者简介: 曾骏(1983—), 男(汉族), 甘肃省华池县人, 硕士, 研究实习员, 主要从事植物营养的研究。E-mail: 281256549@qq.com。

通信作者: 郭天文(1967—), 男(汉族), 山西省朔州市人, 硕士, 研究员, 从事土壤及土壤环境、土壤氮磷钾素、有机肥料、配方肥料、农作物丰产栽培等方面的研究工作。E-mail: guotw11@souhu.com。

碳的变化情况,研究结果可为绿洲灌区合理、高效施肥及提高土壤质量提供科学依据。

1 试验设计

1.1 施肥处理

试验地设在甘肃省武威市白云村(38°37'N, 102°40'E),海拔 1 504 m,无霜期约 150 d,年降雨量 150 mm,年蒸发量 2 021 mm,年平均气温为 7.7℃,日照时数 3 023 h,≥10℃的有效积温为 3 016℃,年太阳辐射总量 140~158 kJ/cm²,麦收后≥10℃的有效积温为 1 350℃。供试土壤为石灰性灌漠土,表土质地为轻壤,1988 年 3 月试验前取土(0—20 cm 耕层土壤)分析,其有机碳为 16.35 g/kg,pH 值为 8.8,耕层土壤全 N 含量为 1.1 g/kg,全 P 含量为 1.5 g/kg,碱解 N 含量为 64.4 mg/kg,速效 P 含量为 13.1 mg/kg,速效 K 含量为 180.0 mg/kg,土壤容重为 1.4 g/cm³,孔隙度为 47.8%。

试验为始于 1988 年 3 月的长期定位试验,采用随机排列,重复 3 次,小区面积 30.01 m²,施磷肥(P₂O₅)150 kg/hm²作基肥。所用农肥和秸秆全部做基肥;氮肥为尿素,1/2 的尿素在小麦播种时全部撒施,其余 1/2 在玉米拔节期及抽雄期追施在玉米带,氮肥追施方式和时间,田间管理等与当地大田相同。农肥为厩肥(主要为大牲畜圈粪和猪圈粪),其平均养分含量为有机质 29.10 g/kg,全氮 1.50 g/kg,全磷 0.88 g/kg,速效磷 60.30 mg/kg,速效钾 1 293 mg/kg(表 1)。

表 1 试验设计与处理

处 理	农肥/ (kg·hm ⁻²)	秸秆还田/ (kg·hm ⁻²)	氮肥/ (kg·hm ⁻²)
M	90 000	0	0
S	0	10 500	0
N	0	0	375
M+N	60 000	0	187.5
S+N	0	5 250	187.5
M+S+N	40 005	3 495	124.5
CK	0	0	0

注:各处理的肥料为每年用量,连续施肥 18 a。M 农肥;S 秸秆;N 氮肥;M+N 农肥+氮肥;S+N 秸秆+氮肥;M+S+N 农肥+秸秆+氮肥;CK 对照。下同。

1.2 样品采集与分析

每个小区均取 0—20 cm 和 20—40 cm 土层土样。采样时间为 2006 年 9 月 20 日,采样后取回实验室进行样品处理后测试土壤有机碳及微生物量碳含量。

土壤有机碳(SOC)测定采用外加热重铬酸钾氧

化法^[8];土壤无机碳(SIC)采用气量法测定碳酸钙^[8],无机碳的含量用碳酸钙乘以摩尔系数 0.12 表示;微生物量碳(SMB-C)采用氯仿熏蒸—0.5M K₂SO₄ 浸提法测定,熏蒸提取采用 Vance^[9]方法。

1.3 统计方法

所有数据采用 Excel 与 SPSS 13.0 统计软件进行单因素方差分析(ANOVA),LSD 多重比较($p=0.05$)分析显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同施肥方式对土壤有机碳的影响

表 2 为不同施肥在 0—40 cm 土壤有机碳含量。由表 2 可以看出,在磷肥作为底肥的情况下,不同种类的肥料对土壤有机碳的变化也不相同。不同施肥条件下土壤有机碳含量均表现为:0—20 cm>20—40 cm,说明土壤有机碳含量随着土层的增加而降低。在 0—20 cm 土层,施肥对土壤有机碳的影响表现为:M>M+S+N>M+N>S>S+N>N。与不施肥相比,土壤有机碳含量除了与 N 处理没有明显变化外,其它各处理均有明显的增加。M,M+S+N,M+N,S,S+N 处理的土壤有机碳含量分别增加了 30.05%,28.96%,23.71%,16.61%,13.77%。说明在等磷条件下,氮肥单施的效果远不及有机肥和氮肥与有机肥配合施用,究其原因主要是由于长期施用化肥,尤其是无机氮肥,虽然增加了植物根茬等的残留,但由于土壤的 C/N 比下降,加速了土壤中原有有机碳分解,导致土壤中积累的有机碳总量较少^[10]。农肥与秸秆还田对土壤有机碳的增加效果不同,造成这种差异的原因是由于有机物分解速率不同,使得各处理土壤中的有机碳不同。氮肥与有机肥、秸秆配合施用有机碳含量明显高于对照和单施氮肥,是因为氮肥与有机肥配合施用,既补充输入了有机碳源又改善土壤物理性状^[11]。在 20—40 cm,土壤有机碳各处理之间均无明显差异,说明施肥对土壤有机碳的影响主要分布在耕作层。

表 2 不同施肥条件下土壤有机碳含量

处 理	0—20 cm 土层	20—40 cm 土层
M	15.58 ^a	11.00 ^a
S	13.97 ^c	10.28 ^a
N	12.42 ^d	9.62 ^a
M+N	14.82 ^b	10.55 ^a
S+N	13.63 ^c	10.87 ^a
M+S+N	15.45 ^a	11.03 ^a
CK	11.98 ^d	9.98 ^a

注:表中不同小写字母表示各样区差异显著,相同小写字母表示各样区间无显著差异。下同。

2.2 不同施肥方式对土壤无机碳的影响

表 3 为不同施肥在 0—40 cm 土壤无机碳含量数据。由表 3 可以看出,在磷肥作为底肥的情况下,不同种类的肥料对土壤无机碳的变化也不相同。不同施肥条件下土壤有机碳含量均表现为:0—20 cm<20—40 cm,说明土壤无机碳含量随着土层的增加而增加。在 0—20 cm 土层,施肥对土壤无机碳的影响表现为:M+S+N<M<M+N<S+N<S<N。与不施肥相比,土壤无机碳含量除了 S 和 N 处理外,其它各处理均明显减少。M+S+N,M,M+N,S+N 处理的土壤有机碳含量分别减少了 9.08%,8.16%,7.64%,3.91%。说明有机肥和氮肥与有机肥配合施用可以减少土壤无机碳的含量,而单施秸秆和氮肥对于土壤无机碳影响不大。这是因为有机肥料的施用增加了土壤有机碳含量,经土壤微生物利用后所释放的 CO₂ 增多造成土壤中 CO₂ 分压增大,土壤 pH 值降低,从而引起土壤 CaCO₃ 含量的减少^[12]。在 20—40 cm 土层,各处理之间土壤无机碳含量均没明显差异,说明施肥对土壤无机碳的影响主要分布在耕作层。

表 3 不同施肥条件下土壤无机碳含量

处 理	0—20 cm 土层	20—40 cm 土层
M	15.99 ^c	18.45 ^a
S	17.21 ^{ab}	19.44 ^a
N	17.28 ^a	19.77 ^a
M+N	16.08 ^c	18.54 ^a
S+N	16.73 ^b	18.55 ^a
M+S+N	15.83 ^c	18.29 ^a
CK	17.41 ^a	19.61 ^a

2.3 不同施肥方式对土壤微生物量碳的影响

表 4 为不同施肥在 0—40 cm 土壤微生物量碳含量数据。由表 4 可以看出,在磷肥作为底肥的情况下,不同种类的肥料对土壤微生物量碳的变化也不相同。不同施肥条件下土壤微生物量碳含量均表现为:0—20 cm>20—40 cm,说明土壤有机碳含量随着土层的增加而降低。在 0—20 cm 土层,施肥对土壤微生物量碳的影响表现为:M>M+S+N>M+N>S+N>S>N。与不施肥相比,M,M+S+N,M+N,S+N 处理的土壤微生物量碳含量分别增加了 39.74%,35.38%,34.33%,32.05%。单施秸秆的效果不明显,原因是秸秆中 C/N 值较高,一般在 60~80,使秸秆在土壤中分解缓慢^[13-17]。因此,秸秆还田要配施一定量的氮、磷化肥,降低 C/N 值。在 20—40 cm 土层,各处理之间土壤微生物量碳含量均没明

显差异,说明施肥对土壤土壤微生物量碳的影响主要分布在耕作层。

表 4 不同施肥条件下土壤微生物量碳含量

处 理	0—20 cm 土层	20—40 cm 土层
M	287.76 ^a	126.72 ^a
S	245.52 ^{ab}	136.22 ^a
N	212.47 ^b	132.56 ^a
M+N	276.61 ^a	136.22 ^a
S+N	271.92 ^a	130.68 ^a
M+S+N	278.78 ^a	122.85 ^a
CK	205.92 ^b	126.72 ^a

2.4 土壤有机碳与无机碳、微生物量碳的关系

土壤有机碳土壤有机质不仅是土壤中各种营养元素的重要来源,而且还能刺激植物的生长,改善土壤的理化性质^[1]。土壤无机碳(尤其是 CaCO₃ 含量)影响着土壤 pH 值、土壤供肥能力及土壤环境质量^[2]。从本质上来看,土壤微生物量碳比土壤有机碳更能反映土壤肥力状况,因为土壤有机碳含量的高低并不直接说明养分的有效程度,而微生物生物量碳则可以反映土壤养分活性库的大小;土壤微生物量碳含量的变化可以敏感地指示土壤有机碳的动态^[18]。

线性相关分析表明(表 5),土壤总有机碳与与土壤无机碳含量成显著负相关,说明施肥对土壤有机碳和无机碳的影响可能是相反结果,而土壤微生物量碳成显著正相关,表明土壤微生物量碳与土壤肥力关系紧密,可作为评价土壤质量的生物学指标。

表 5 土壤各碳组分之间的相关性

项 目	无机碳	微生物碳
总有机碳	-0.861**	0.877**
无机碳		-0.706**

注:数值为相关系数 R 值; ** 表示在 p<0.01 水平显著相关。

3 结 论

- (1) 氮肥与有机肥长期配合施用和长期施用有机肥可增加土壤有机碳含量,减少土壤中的无机碳含量以及增加土壤微生物量碳含量。
- (2) 单施秸秆可增加土壤有机碳,而对无机碳和微生物量碳影响无明显差异。
- (3) 长期施用氮肥对土壤的有机碳、无机碳和微生物量碳均无明显差异。
- (4) 单施秸秆并不利于土壤微生物量碳的增加,要配施一定量的氮。

(5) 土壤总有机碳与土壤无机碳含量呈显著负相关关系,而土壤微生物量碳呈显著正相关关系。

[参 考 文 献]

- [1] Peter G. Influence of organic matter from soils and sediments from various origins on the sorption of some chlorinated aliphatic hydrocarbons; Implications on K_{oc} correlations[J]. Environ. Sci. Technol., 1990, 24(11): 1687-1693.
- [2] 朱礼学,邓泽锦. 土壤 pH 值及 $CaCO_3$ 在多目标地球化学调查中的研究意义[J]. 物探化探计算技术, 2001, 23(2): 140-143.
- [3] 赵景波. 西北黄土区第四纪土壤与环境[M]. 陕西西安: 陕西科学技术出版社, 1994.
- [4] 林葆, 林继雄, 李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[C]// 全国化肥试验网论文汇编. 北京: 中国农业科技出版社, 1996: 1-179.
- [5] 王旭东, 张一平, 吕家珑, 等. 不同施肥条件对土壤有机质及胡敏酸特性的影响[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 75-81.
- [6] 陈庆强, 沈承德, 易惟熙. 土壤碳循环研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(6): 555-562.
- [7] 王绍强, 周成虎, 李克让. 中国有机碳库及空间分布特征分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 533-544.
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 99.
- [9] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial C[J]. Soil Biology Biochemistry, 1987, 19(6): 703-707.
- [10] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报, 2002, 39(1): 89-96.
- [11] Debosz K, Rasmussen P H, Pedersen A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soil: Effect of organic matter input[J]. Applied Soil Ecology, 1999, 13(3): 209-218.
- [12] 潘根兴. 中国干旱性地区土壤发生性碳酸盐及其在陆地系统碳转移上的意义[J]. 南京农业大学学报, 1998, 22(1): 51-57.
- [13] Drury C F, Stone J A, Findlay W I. Microbial biomass and soil structure associated with corn, grass and legumes[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991, 55(3): 805-811.
- [14] Edgerton D L, Harris J A, Brich, et al. Linear relationship between aggregate stability and microbial biomass in three restored soils[J]. Soil Biol. Biochem., 1995, 27(11): 1499-1501.
- [15] Sparling G P, Shepherd T G, Kettles H A. Changes in soil organic C, microbial C, and aggregate stability under continuous maize and cereal cropping, and after restoration top asture in soil from the Manawatu region, New Zealand[J]. Soil and Tillage Research, 1992, 24(3): 225-241.
- [16] 王志明, 朱培立, 黄东迈, 等. 秸秆碳的田间原位分解和微生物量碳的周转特征[J]. 土壤学报, 2003, 40(3)
- [17] 田宜水, 孟海波. 农作物秸秆开发利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [18] Hargreaves P R, Brookes P C, Ross G J S, et al. Evaluating soil microbial biomass carbon as an indicator of long-term environmental change[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(3): 401-407.