ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第32卷 第9期 Vol.32 No.9 2012

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 9 期　　2012 年 5 月　(半月刊)

目　　次

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05

封面图说:在交配的雨蛙——雨蛙为两栖动物,世界上种类达 250 种之多,分布极广。中国的雨蛙仅有 9 种,除西部一些省份外,其他各省(区)均有分布。雨蛙体形较小背面皮肤光滑,往往雄性绿色,雌性褐色,其指、趾末端多膨大成吸盘,便于吸附攀爬。多生活在灌丛、芦苇、高秆作物上,或塘边、稻田及其附近的杂草上。白天匍匐在叶片上,黄昏或黎明频繁活动,捕食能力极强,主要以昆虫为食。特别是在下雨以后,常常 1 只雨蛙先叫几声,然后众蛙齐鸣,声音响亮,每年在四、五份夜间发情交配。

彩图提供:陈建伟教授　北京林业大学　E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201103310418
刘杨, 于东升,史学正,张广星, 秦发侣.不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响.生态学报,2012,32(9):2953-2959.
Liu Y, Yu D S, Shi X Z, Zhang G X, Qin F L. Influence of vegetable cultivation methods on soil organic carbon sequestration rate. Acta Ecologica Sinica, 2012,32(9):2953-2959.

不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响

刘　杨[1,2], 于东升[1,2,*],史学正[1,2],张广星[1,2], 秦发侣[1,2]
(1. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室,中国科学院土壤研究所,南京　210008;
2. 中国科学院研究生院,北京　100049)

摘要: 近年来蔬菜地面积快速增加已成为我国农田土壤碳库变化的重要驱动因素,研究蔬菜种植方式对农田土壤固碳影响,对于揭示我国农田土壤碳库变化具有重要意义。通过实地调查与采样分析,研究了山东省苍山县 3 种蔬菜种植方式(大田种植、季节性大棚和长年性大棚种植)对农田土壤固碳速率影响及其随种植时间的变化规律。结果表明,3 种种植方式下蔬菜地土壤有机碳含量均随种植时间的增加而增加;长年性大棚、季节性大棚和大田种植方式下 0—100 cm 土层土壤平均固碳速率分别达到 1.44、2.73、1.60 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$;表层土壤(0—20 cm)平均固碳速率依次为 0.64 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$、0.36 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$、0.20 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$,3 种蔬菜种植方式的土壤固碳速率存在显著差异。同样为蔬菜地,选择合理种植方式是提高农田土壤固碳速率的重要途径。

关键词:蔬菜种植方式;土壤固碳速率;土壤有机碳

Influence of vegetable cultivation methods on soil organic carbon sequestration rate

LIU Yang[1,2], YU Dongsheng[1,2,*], SHI Xuezheng[1,2], ZHANG Guangxing[1,2], QIN Falü[1,2]
1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing* 210008, *China*
2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*

Abstract: The rapid increase of vegetable land area plays an important dynamic factor on soil organic carbon (SOC) pool change in agricultural soil in China. How vegetable cultivation methods influence the SOC storage is of great concern for revealing the change of SOC pool in agricultural soil. Three vegetable cultivation methods such as field cultivation (FC), seasonal greenhouse (SG) and perennial greenhouse (PG) method and their influences on profiles distribution of SOC content and SOC sequestration rate with cultivation history were investigated and studied by in situ soil sampling in Cangshan County, Shandong Province, where vegetable production is the most popular and typical in China. Totally, 76 soil samples were collected from 16 soil profiles in vegetable land cultivated in the three methods and analyzed for SOC content and bulk density to calculate SOC density and sequestration rate. Results showed that SOC content declined significantly as the increase of soil depth. From soil surface layer (0—20 cm) to subsurface layer (20—30 cm) cultivated in PG method, the mean SOC content declined by 50.2%, which was the largest decrease and significantly different from that in SG (by 38.4%) and FC method (by 26.9%). While from soil subsurface layer to subsoil layer (30—60 cm) cultivated in SG method, the mean SOC content declined by 15.6% as the largest decrease, and that in PG and FC cultivation method declined by 8.9% and 5.1% respectively. Obviously, the change of SOC content with increase of soil depth was mostly conducted in the soil layer of 0—30 cm, these vegetable cultivation methods could hardly influence SOC

基金项目:国家重点基础研究发展计划"973"项目(2010CB950702);中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-Q1-07, KSCX1-YW-09-01&02)
收稿日期:2011-03-31;　　**修订日期**:2011-10-31
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dshyu@issas.ac.cn

in the deep layer (below 30 cm). Further, the mean change rates of SOC content from soil surface to subsurface layer as well as to other deep layers in the two greenhouse cultivation methods (PG and SG) were significantly higher than in FC cultivation method, as the better condition of irrigation and fertilization in the two greenhouse cultivation methods leads more accumulation of SOC in soil surface layer and subsurface layer than in FC method. As long term vegetable cultivation, a trend of SOC accumulation was shown apparently in these soil profiles cultivated in the three methods. The mean SOC sequestration rate of soil surface layer cultivated in PG、SG and FC method was 0.64, 0.36, 0.20 Mg·hm^{-2}·a^{-1}, and that of whole soil profile (0—100cm) was 1.44、2.73, 1.60 Mg·hm^{-2}·a^{-1}, respectively. The SOC sequestration rate of soil surface layer ranked in the order as: PG>SG>FC, resulting mainly from that economic input for irrigation and fertilization of the two greenhouse cultivation methods (PG and SG) was much more than that of FC method; while the SOC sequestration rate of whole soil profile ranked in a different order as: SG>FC>PG, as a result of influence of their original soil physical and chemical properties. Though the three vegetable cultivation methods all increased the SOC pools, significant differences in SOC sequestration were shown from each other in the present study. Thus, it is an important route to accelerate SOC sequestration rate in agricultural soil by choosing a reasonable cultivation method.

Key Words: vegetable cultivation methods; soil carbon sequestration rate; SOC

土壤是全球碳循环的重要环节,陆地土壤是地球表面最大的碳库,其碳库储量约为1200 —1600 Pg C (以1 m深土层计)[1],同时土壤有机碳在提高作物产量,保持和改善土壤肥力和土壤质量[2-3],减少土壤侵蚀[4-5]等方面起着重要作用。如何增加农田土壤有机碳,以应对农业和全球环境变化的双重压力,已引起了越来越多的关注。

影响农田土壤有机碳的众多人为因素中,土地利用及土壤管理措施是最重要的主导因素[6],两者变化往往同时发生[7-8]。一些研究结果表明,连续耕作将导致土壤有机碳含量的下降[9-11],但也有许多研究指出,通过合理的耕作方式和增加农田土壤碳输入,耕作土壤有机碳含量会有所增加[12-14]。蔬菜地是高投入、高强度的土地利用方式,我国蔬菜种植面积占总种植面积比例从 1978 年的 2.8% 增至 2007 年的 16.4% (中国农业统计年鉴 1979—2008),存在逐年提高趋势。有研究表明蔬菜地土地利用方式能够不同程度提高土壤有机碳库量[15],Zhang 等在香港的研究结果显示,由耕地转为蔬菜地的 50a(1950—2000 年)间,表层土壤(0—20 cm)和全剖面(0—100 cm) 土壤有机碳分别增加 1.45 Mg/hm^2 和 3.74 Mg/hm^2 [16];Kong 等在河北曲周研究工作也表明,耕地转为蔬菜地的 20a(1980—1999 年)间表层土壤(0—20 cm)固碳速率为 469.4 kg·hm^{-2}·a^{-1} [12]。但蔬菜地不同种植方式对于提高土壤有机碳库速率的差异还不十分明确;相同蔬菜种植方式下土壤碳库随时间的变化过程研究也常被忽略。因此,本文通过研究 3 种常用蔬菜种植方式(大田种植、季节性大棚和长年性大棚)下土壤有机碳含量随种植时间的变化规律,揭示不同蔬菜种植方式下土壤有机碳库提高速率的差异性,为农田土壤固碳合理选择蔬菜种植方式提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

苍山县位于山东省南部,地处北纬 34°37′—35°06′、东经 117°41′—118°18′之间,总面积 1800 km^2。地貌类型以山丘和平原为主,山丘占全县总面积的 53.94% ,平原占 46.06% ,属暖温带季风区半湿润大陆性气候,历年平均气温为 13.2℃ ,年均降水量为 859.6mm,且雨热同期,适于一年两作。该县土壤共分 4 个土类,10 个亚类;亚类中褐土性土和砂姜黑土的面积最大,分别占苍山县可利用面积的 25.3% 和 23.5% ,其次为潮褐土、湿潮土,共占 25.2% 。

苍山县目前蔬菜种植面积约 6.67 万 hm^2,其中设施蔬菜种植约 1.67 万 hm^2,年总产量约 30 亿 kg,有山东南菜园之称。当地通常有 3 种蔬菜种植方式,分别为大田种植、季节性大棚和长年性大棚种植。大田种植为露天种植,一般为一年两季,当地以大蒜—大豆或大蒜—玉米轮作为主,大蒜种植历史超过 1000a;季节性大

棚以竹条搭建而成,春夏季与大田种植相同,秋冬季附上农业用膜来保温增热,以一年两至三季为主;长年性大棚由土石方搭建,由于投入的水肥较多,可以不间断种植,是土地利用强度最高的种植方式。季节性大棚和长年性大棚于 1985 年始引入苍山县,经过 20 多年来的推广,目前 2 种大棚的种植面积共有 1.67 万 hm^2。

1.2　样品采集与分析

本研究于 2009 年 7 月,苍山县主要农作物收获后,在 3 种蔬菜种植方式集中片区选择土壤剖面调查采样区。其中大田种植采样区选取神山镇西和庄,季节性大棚蔬菜选取兴明镇卜楼村,长年性大棚蔬菜选取向城镇谢村。按照 3 种蔬菜种植方式连续种植的时间节点分别布设剖面调查采样点,3 种蔬菜种植方式的连续种植时间节点分别有 7 个、5 个和 4 个(表 1)。

表 1　土壤剖面样点基本概况

Table 1　Basic descriptions of the soil profiles

采样点 Sampling plot	土壤类型 Soil type	种植方式 Cultivation method	蔬菜轮作类型 Vegetable rotation type	连续种植时间 Cultivation time/a
神山镇西和庄	砂姜黑土	大田种植	大蒜—玉米(大豆)轮作	4,12,26,50,75,100,1000
兴明镇卜楼村	褐土	季节性大棚	辣椒—西瓜(玉米、冬瓜)轮作	1,3,8,11,16
向城镇谢村	褐土	长年性大棚	黄瓜—辣椒轮作	1,6,10,16

采样时用 GPS 记录每个土壤剖面调查样点的经纬度、土地利用方式、蔬菜种植历史、投入产出和轮作等相关信息。土壤剖面(0—100 cm)描述和采样层次有 4 至 6 层,土壤表层约为 0—20 cm 土层,亚表层约为 20—30 cm 土层,其余按土壤自然发生分层。每层采集土壤样品 1 kg,同时用环刀法采集土壤环刀样品测定土壤容重(3 次重复)。土壤样品预处理时剔除>2 mm 的粗颗粒;土壤有机质含量测定采用重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$)氧化-滴定法。

1.3　土壤有机碳密度的计算

土壤有机碳密度采用土壤有机碳含量、土壤容重和土壤深度的乘积来计算,对于共分 n 层的土壤剖面,其土壤有机碳密度(C kg/m^2)计算方法如下:

$$\mathrm{SOCD} = \sum_{i=1}^{n} (1 - \theta_i\%) \times \rho_i \times C_i \times T_i/100 \qquad (1)$$

式中,θ_i 为土壤中>2 mm 的粗颗粒的体积百分含量,ρ_i 为土壤容重(g/cm^3),C_i 为土壤有机碳含量(C g/kg),T_i 为土壤测量层的厚度(cm),i 表示土壤剖面中的第 i 层土壤,n 为土壤剖面中的总土壤层数[17]。统计分析工作利用 Origin 8,Execl 2003 和 SPSS15.0 统计分析软件完成。

2　结果与讨论

2.1　不同蔬菜种植方式的土壤有机碳剖面分布

3 种蔬菜种植方式下,各年份土壤有机碳含量均在土壤表层(0—20 cm)最高,且随着采样深度增加而下降,但下降幅度呈减缓趋势(图 1—图 3)。

大田种植的土壤有机碳含量随采样深度增加而下降,但下降规律不统一(图 1)。随着深度增加,土壤有机碳含量的变化增大,一方面可能是土壤背景值不同而造成,另一方面大田蔬菜地的管理、施肥状况差异较大,以调查施肥信息来看,不同大田蔬菜地间化肥施用量差异可达到两倍,而农家肥的施用量差异更大。此外异常值主要集中于耕作时间超过 50a 的剖面,说明土壤有机

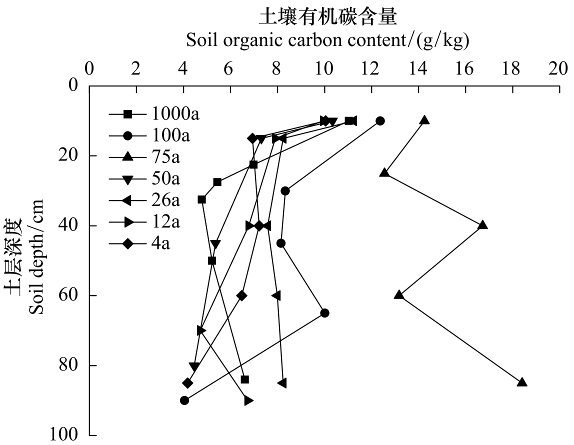

图 1　大田蔬菜地土壤剖面有机碳含量分布图

Fig. 1　The distribution of SOC content across the whole soil profile in field cultivation

碳含量对耕作方式的时间响应在 50a 以内。

季节性大棚蔬菜地土壤有机碳含量随采样深度增加而明显减少,在 60—80 cm 处有机碳含量达到最低值,而在 80—100 cm 处有机碳有所变化(图 2),因为底层土壤有机碳含量背景值较高,且未受到耕作扰动。

长年性大棚土壤有机碳含量均在土壤表层较高,表层至亚表层土壤有机碳含量下降迅速;亚表层及以下土壤有机碳含量较为相近,集中在 3—5 g/kg,没有异常值(图 3)。可归因于长年性大棚的土壤管理措施相对统一,同时与剖面采集地点较为集中,土壤类型变异性较小有关。

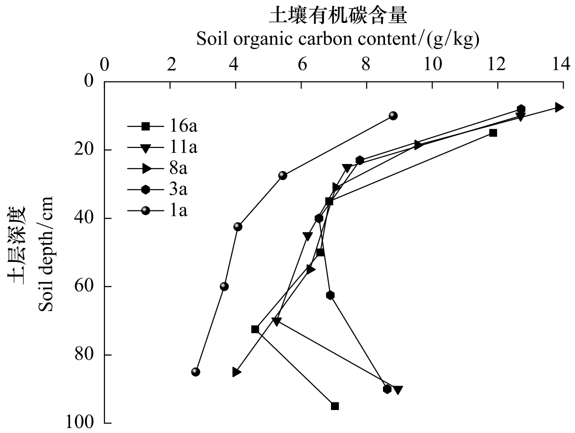

图 2 季节性大棚蔬菜地土壤剖面有机碳含量分布图

Fig. 2 The distribution of SOC content across the whole soil profile in seasonal greenhouse

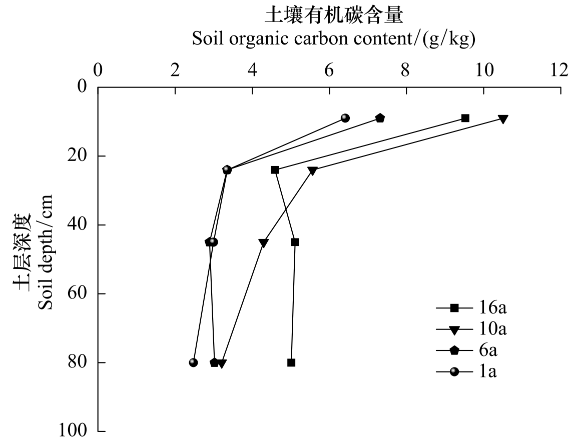

图 3 长年性大棚蔬菜地土壤剖面有机碳含量分布图

Fig. 3 The distribution of SOC content across the whole soil profile in perennial greenhouse

总体来看,3 种种植方式的蔬菜地土壤有机碳含量呈现出随深度增加而递减的规律,且浅层土壤(0—30 cm)较深层土壤(30—100 cm)有机碳含量变化更为剧烈,说明浅层土壤是土壤有机碳变化的主要发生区。表层(0—20 cm)至亚表层(20—30 cm)土壤有机碳含量变化最大的是长年性大棚,平均下降幅度为 50.2%,明显高于季节性大棚的 38.4% 和大田种植的 26.9%;亚表层(20—30 cm)至心土层(约为 30—60 cm),季节性大棚下降最快,达到 15.6%,高于长年性大棚的 8.9% 和大田种植的 5.1%。大田种植蔬菜地土壤有机碳含量在各层次上较为相似,而投入较高的季节性大棚和长年性大棚两种方式使土壤有机碳在表层土壤积累较多,这与化肥和有机肥的大量使用带来较多碳输入有关[18]。

2.2 不同蔬菜种植方式的土壤有机碳密度

利用公式 1 计算得到 3 种蔬菜种植方式不同种植时间节点的表层(0—20 cm)和剖面(0—100 cm)土壤有机碳密度(图 4—图 6)。

从图 4 可以看出种植 1000a 的大田蔬菜地土壤有机碳密度与种植 20—50a 的大田蔬菜地相比没有显著差异。对比百年之内的大田蔬菜地有机碳密度可以看出,大田蔬菜地土壤有机碳密度随种植时间增加而呈增加的趋势,其中表层土壤碳密度较为一致,而剖面土壤尤其是连续种植时间超过 50a 的剖面碳密度的波动较大,说明种植时间增加到一定程度,土壤有机碳密度达到新平衡或饱和,与潘根兴等认为土壤固碳有效期为 25—40a 基本一致[19]。

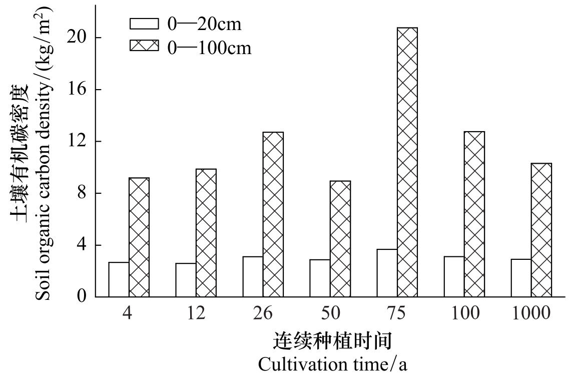

图 4 大田蔬菜地土壤有机碳密度时间序列图

Fig. 4 The temporal change of SOC densities in field cultivation

随着种植时间的增加,季节性大棚土壤有机碳密度虽然有所提高,但增加速度不断减缓(图 5)。其中表

层土壤在种植 8a 左右达到平衡(约为 3.5 kg/m^2),说明深层土壤有机碳密度还有进一步提高的潜力(图 5),使剖面土壤有机碳密度仍不断提高。

长年性大棚的土壤有机碳密度无论是表层还是深层,都随种植时间增加而明显提高,且土壤有机碳密度在表层和整个剖面上增加趋势一致(图 6)。对比图 4 和图 5 可发现长年性大棚的表层固碳效率要高于季节性大棚和大田蔬菜地。

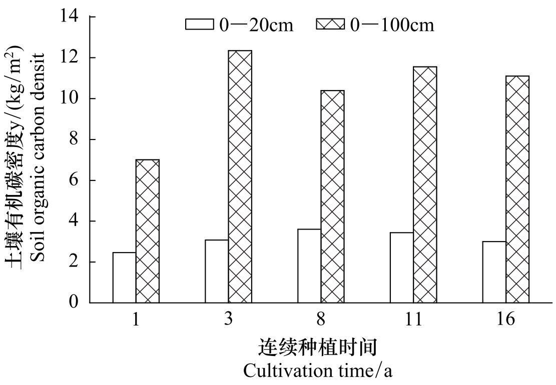

图 5　季节性大棚蔬菜地土壤有机碳密度时间序列图

Fig. 5　The temporal change of SOC densities in seasonal greenhouse

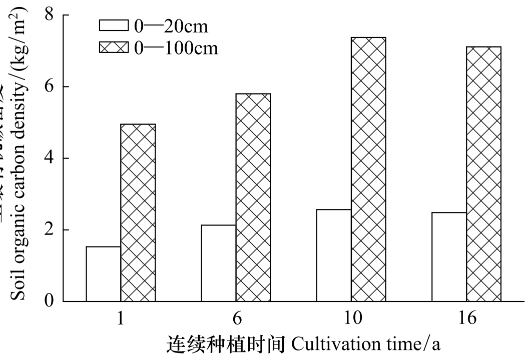

图 6　长年性大棚蔬菜地土壤有机碳密度时间序列图

Fig. 6　The temporal change of SOC densities in perennial greenhouse

总体来看,3 种蔬菜种植方式下土壤有机碳密度都随种植时间增加而提高,其中长年性大棚的异常值要少于季节性大棚和大田种植蔬菜地。这主要是因为长年性大棚种植方式在农田管理措施、施肥种类和施肥量上较为统一;季节性大棚和大田蔬菜地在管理措施和蔬菜轮作类型上差异较大,且大田蔬菜地种植年代久远,干扰因素较多,一般认为土壤固碳有效期在 40a 之内[19]。持续种植时间小于 40a 的数据分析结果显示,3 种蔬菜种植方式的土壤均表现为碳累积,表明蔬菜地种植能有效地增加农田土壤有机碳密度。

2.3　不同蔬菜种植方式的土壤固碳状况

由于苍山县缺少蔬菜地的长期监测点位数据,为探索不同蔬菜种植方式对土壤有机碳的影响,因此采取“空间代替时间”的方法。“空间代替时间”被广泛用于土壤成土现象,目前也被广泛用于研究人类活动对土壤的影响[20]。本研究由于采样点较为集中,土壤有机碳密度的主要影响来自于种植时间和施肥量的综合作用,且有研究表明种植时间对蔬菜大棚土壤有机碳的影响大于施肥量[21],可认为“空间代替时间”可行。

选取种植时间在 40a 内的剖面,利用蔬菜地种植时间和对应的蔬菜地土壤有机碳密度建立拟合方程(表 2)。除大田蔬菜地样点较少,采用一元线性方程拟合外,季节性大棚和长年性大棚都更适用于对数方程拟合,说明季节性大棚和长年性大棚两种蔬菜种植方式下,随着种植时间的增加,土壤固碳速率存在逐渐下降的趋势。

3 种蔬菜种植方式下,以种植时间最长与最短的剖面碳密度之差与种植时间之差的比值作为平均固碳速率。本研究中蔬菜地表层土壤固碳速率为 0.20—0.64 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$(表 2),与常规耕作转为免耕表层土壤固碳速率((0.57±0.14) $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)[22]相比略低,但多数研究表明免耕固碳主要体现在表层土壤,难以影响深层土壤[23-25]。因此,蔬菜地种植的农田土壤固碳效果整体上优于免耕少耕方式。

就不同蔬菜种植方式而言,大田种植的表层土壤固碳速率为 0.20 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$,剖面土壤的固碳速率达到 1.60 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$,说明大田蔬菜地土壤表层固碳较少,仅为总固碳速率的 12.5%。Kong 等在北京大兴的研究表明,望天田和水浇田转为蔬菜地之后的 20a 间(1980—1999 年),表层土壤固碳速率分别为 0.52 与 0.47 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$[12],高于本研究结果。这是由于大兴土壤 1980 年的初始有机碳含量较低,仅为 4.91 g/kg,苍山县大田蔬菜地表层土壤初始有机碳含量在 10 g/kg 左右,土壤有机碳含量的升高幅度会随原有土壤有机

碳含量的增加而降低[26]。

表 2 3 种种植方式下蔬菜地土壤固碳速率

Table 2 Carbon sequestration rate of the soils under three vegetable cultivation methods

种植方式 Cultivation method	样点数 Sample number n	连续种植时间 Cultivation time /a	层次 Layers/cm	拟合方程 Fitting equation	R^2	平均固碳速率 Average carbon sequestration rate /($Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)
大田种植	3	4—26	0—20	SOCd = 0.22yr + 24.84	0.76	0.20
			0—100	SOCd = 1.65yr + 82.71	0.97	1.60
季节性大棚	5	1—16	0—20	SOCd= 2.84ln(yr) + 26.44	0.51	0.36
			0—100	SOCd = 12.27ln(yr) + 84.34	0.44	2.73
长年性大棚	4	1—16	0—20	SOCd = 3.76ln(yr) + 15.31	0.94	0.64
			0—100	SOCd = 8.53ln(yr) + 48.43	0.83	1.44

n 为样点数量,SOCd 为土壤有机碳密度(Mg/hm^2),yr 为种植时间(a)

季节性大棚表层土壤的固碳速率为剖面土壤固碳速率的 13.2%,与大田蔬菜类似,说明季节性大棚种植方式下,土壤表层固碳同样较少。长年性大棚表层土壤的固碳速率达到 0.64 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$,为剖面土壤固碳速率的 44.4%,表层土壤的固碳速率最高。这可能是因为大田和季节大棚可用机器翻耕,而长年性大棚翻耕较少,存在一定的土壤板结状况,使土壤有机质难以向深层土壤迁移。

3 结论

3 种蔬菜种植方式均提高了土壤有机碳库,且随着种植时间增加,土壤有机碳密度也得到不同程度的提高。其中,长年性大棚和季节性大棚的土壤固碳速率分别达到 1.44 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 和 2.73 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$,但前者土壤固碳主要集中于表层土壤,对深层土壤有机碳的影响较小;大田种植的蔬菜地土壤固碳速率在表层最慢,为 0.20 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$,但剖面土壤固碳速率达到 1.60 $Mg \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$,与长年性大棚相近,低于季节性大棚。从调查中发现长年性大棚和季节性大棚的经济效益明显高于大田种植方式,综合农田土壤固碳速率和经济效益上判断,长年性大棚和季节性大棚 2 种设施农业种植方式在蔬菜生产中很值得推广。

References:

[1] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European Journal of Soil Science, 1996, 47(2): 151-163.

[2] Reeves D W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. Soil and Tillage Research, 1997, 43(1/2): 131-167.

[3] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, 2004, 304(5677): 1623-1627.

[4] Zebarth B J, Neilsen G H, Hogue E, Neilsen D. Influence of organic waste amendments on selected soil physical and chemical properties. Canadian Journal of Soil Science, 1999, 79(3): 501-504.

[5] Celik I, Ortas I, Kilic S. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. Soil and Tillage Research, 2004, 78(1): 59-67.

[6] Schulp C J E, Nabuurs G J, Verburg P H. Future carbon sequestration in Europe-effects of land use change. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008, 127(3/4): 251-264.

[7] Halvorson A D, Reule C A, Anderson R L. Evaluation of management practices for converting grassland back to cropland. Journal of Soil Water Conservation, 2000, 55(1): 57-62.

[8] Kong X B, Dao T H, Qin J, Qin H Y, Li C Z, Zhang F R. Effects of soil texture and land use interactions on organic carbon in soils in North China cities' urban fringe. Geoderma, 2009, 154(1/2): 86-92.

[9] Morari F, Lugato E, Berti A, Giardini L. Long-term effects of recommended management practices on soil carbon changes and sequestration in north-eastern Italy. Soil Use and Management, 2006, 22(1): 71-81.

[10] Goidts E, van Wesemael B. Regional assessment of soil organic carbon changes under agriculture in Southern Belgium (1955—2005). Geoderma, 2007, 141(3/4): 341-354.

[11] Hati K M, Swarup A, Mishra B, Manna M C, Wanjari R H, Mandal K G, Misra A K. Impact of long-term application of fertilizer, manure and

lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. Geoderma, 2008, 148(2): 173-179.

[12] Kong X B, Zhang F R, Wei Q, Xu Y, Hui J G. Influence of land use change on soil nutrients in an intensive agricultural region of North China. Soil and Tillage Research, 2006, 88(1/2): 85-94.

[13] Benbi D K, Brar J S. A 25-year record of carbon sequestration and soil properties in intensive agriculture. Agronomy for Sustainable Development, 2009, 29(2): 257-265.

[14] Maia S M F, Ogle S M, Cerri C C, Cerri C E P. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. Soil and Tillage Research, 2010, 106(2): 177-184.

[15] Zhang X Y, Chen L D, Fu B J, Li Q, Qi X, Ma Y. Soil organic carbon changes as influenced by agricultural land use and management: a case study in Yanhuai Basin, Beijing, China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3198-3204.

[16] Zhang H B, Luo Y M, Wong M H, Zhao Q G, Zhang G L. Soil organic carbon storage and changes with reduction in agricultural activities in Hong Kong. Geoderma, 2007, 139(3/4): 412-419.

[17] Yu D S, Shi X Z, Wang H J, Sun W X, Chen J M, Liu Q H, Zhao Y C. Regional patterns of soil organic carbon stocks in China. Journal of Environmental Management, 2007, 85(3): 680-689.

[18] Han B, Wang X K, Lu F, Duan X N, Ouyang Z Y. Soil carbon sequestration and its potential by cropland ecosystems in China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 612-619.

[19] Pan G X, Li L Q, Zheng J F, Zhang X H, Zhou P. Perspectives on cycling and sequestration of organic carbon in paddy soils of China. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 901-914.

[20] Moebius-Clune B N, van Es H M, Idowu O J, Schindelbeck R R, Kimetu J M, Ngoze S, Lehmann J, Kinyangi J M. Long-term soil quality degradation along a cultivation chronosequence in western Kenya. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2011, 141(1/2): 86-99.

[21] Wang Y, Xu H, Wu X, Zhu Y M, Gu B J, Niu X Y, Liu A Q, Peng C H, Ge Y, Chang J. Quantification of net carbon flux from plastic greenhouse vegetable cultivation: a full carbon cycle analysis. Environmental Pollution, 2011, 159(5): 1427-1434.

[22] West T O, Post W M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(6): 1930-1946.

[23] Puget P, Lal R. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. Soil and Tillage Research, 2005, 80(1/2): 201-213.

[24] Blanco-Canqui H, Lal R. No-tillage and soil-profile carbon sequestration: an on-farm assessment. Soil Science Society of America Journal, 2008, 72(3): 693-701.

[25] Ussiri D A N, Lal R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. Soil and Tillage Research, 2009, 104(1): 39-47.

[26] Pan G X, Li L Q, Zhang X H, Dai J Y, Zhou Y C, Zhang P J. Soil organic carbon storage of China and the sequestration dynamics in agricultural lands. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(4): 609-618.

参考文献:

[18] 韩冰, 王效科, 逯非, 段晓男, 欧阳志云. 中国农田土壤生态系统固碳现状和潜力. 生态学报, 2008, 28(2): 612-619.

[19] 潘根兴, 李恋卿, 郑聚锋, 张旭辉, 周萍. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题. 土壤学报, 2008, 45(5): 901-914.

[26] 潘根兴, 李恋卿, 张旭辉, 代静玉, 周运超, 张平究. 中国土壤有机碳库量与农业土壤碳固定动态的若干问题. 地球科学进展, 2003, 18(4): 609-618.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 9 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

Discussion

Scientific Note

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7　国外邮发代号:M670　标准刊号:ISSN 1000-0933　CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号　**电　话**: (010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@ rcees. ac. cn　**网　址**: www. ecologica. cn

编辑部主任　孔红梅　　**执行编辑**　刘天星　段　靖

生　态　学　报
(SHENGTAI　XUEBAO)
(半月刊　1981 年 3 月创刊)
第 32 卷　第 9 期　(2012 年 5 月)

编　辑　《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www. ecologica. cn
shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
主　编　冯宗炜
主　管　中国科学技术协会
主　办　中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
出　版　科学出版社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:1R00717
印　刷　北京北林印刷厂
发　行　科学出版社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@ cspg. net
订　购　全国各地邮局
国外发行　中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044
广告经营许可证　京海工商广字第 8013 号

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32　No. 9 (May, 2012)

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010)62941099
www. ecologica. cn
Shengtaixuebao@ rcees. ac. cn
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing　100717, China
Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@ cspg. net
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q　**国内外公开发行**　**国内邮发代号** 82-7　**国外发行代号** M670　**定价** 70.00 元