

区域绿洲农田土壤有机碳分布及其影响因子研究

王 泽, 颜 安*, 张文太

(新疆农业大学草业与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要:以干旱区典型绿洲农田区——玛纳斯县中部农田为研究区,以土壤有机碳为研究对象,结合野外土壤调查及实验室分析数据研究了土壤有机碳的垂直分布特征,并分析土壤质地、地形、土地利用、作物类型等不同因子对农田土壤有机碳的影响。结果表明:玛纳斯县中部农田土壤有机碳是自然环境综合因素的结果,土壤有机碳含量随着土壤深度的增加不断减小;不同土壤质地土壤有机碳含量的特征为:粘壤土>粉壤土>沙壤土;不同地形因子中坡向与农田0~30、30~60 cm层的土壤有机碳含量呈显著正相关,海拔与农田60~100 cm层的土壤有机碳含量呈显著正相关;不同土地利用方式下土壤有机碳含量有较大差异,果园的土壤有机碳含量最高,荒地的土壤有机碳含量最低;不同作物类型土壤有机碳含量特征为:玉米地>酒葡萄地>棉花地,且差异显著。

关键词:土壤有机碳;影响因子;绿洲农田;玛纳斯县

中图分类号:S153.6

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2014)04-0308-05

doi: 10.13254/j.jare.2014.0091

Distribution of Soil Organic Carbon and the Influencing Factors in An Oasis Farmland Area

WANG Ze, YAN An*, ZHANG Wen-tai

(College of Grassland and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The soil organic carbon (SOC) of a typical oasis farmland in middle part of Manasi county of Xinjiang was used as the research object. Using remote sensing and lab analysis techniques, influences of soil texture, terrain, land uses, and crop types on SOC content of farmland were studied. Results showed that the SOC distribution in farmland of Manasi was mainly determined by comprehensive natural environmental factors. The SOC content decreased along with the increasing soil depth. For soil textures, the SOC content from high to low was clay loam>powder loam>silty loam. Slope direction had significantly positive correlations with SOC contents at 0~30 cm and 30~60 cm, while altitude and SOC content at 60~100 cm were significantly positive correlation. The SOC content of orchard was the highest, and the uncultivated land was the lowest under different land-use patterns. For different crop planting systems, the order of SOC content was corn field>wine grapes field>cotton field, and the difference was significant.

Keywords: soil organic carbon(SOC); influencing factors; oasis farmland; Manasi county

土壤有机碳是土壤肥力的重要组成部分,土壤有机碳含量常被认为是评价农田土壤质量的一个重要指标^[1]。农田生态系统土壤有机碳的积累和分解,制约着农田土壤有机碳的变化,一方面是通过影响农田土壤的质量,土壤有机碳的大量损失可造成土壤退化,降低农田利用的可持续性,进而影响土地生产力和国家粮食安全;另一方面是对大气CO₂浓度变化的影

响,进而对全球气候变化产生重要影响^[2-3]。因此,深入开展区域绿洲农田土壤有机碳库的分布特征及其影响因子的研究,对于政治经济和生态环境建设具有重要意义。

目前,国内众多学者对于农田土壤有机碳进行了广泛研究,赵生才^[4]对中国土壤总有机碳的储量进行了估算,中国土壤的总有机碳储量估计接近80~90 Pg (1 Pg = 10¹⁵ g),其中农田土壤约占5.1 Pg。潘根兴等^[5]对中国土壤有机碳的储存和固定潜力进行了研究,研究表明中国土壤有机碳的密度总体上低于世界平均值,远低于欧洲国家,特别是农田生态系统属于较脆弱的生态系统。但关于农田土壤有机碳的分布特征及其影响因子的研究报道较少,这制约着农田土壤有机

收稿日期:2014-04-09

基金项目:新疆高校科研项目(XJEDU2012S15);国家自然科学基金项目(31300377);自治区土壤学重点学科资助

作者简介:王 泽(1984—),男,新疆奇台人,助理研究员,研究方向为植物与土壤的相互作用。E-mail: wffengzhizi@sina.com

*通信作者:颜 安 E-mail: zryanan@163.com

碳储量的准确评估。为此,本文以玛纳斯县中部绿洲农田为研究对象,利用遥感技术布设采样点和室内分析技术测定土壤有机碳含量,并分析土壤质地、地形、土地利用、种植作物等不同因子对农田土壤有机碳的影响,为进一步掌握绿洲农田土壤有机碳的储量状况及分布特征,制定出具有针对性的土壤保护措施,更合理地利用土地资源,实现农业的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

玛纳斯县位于新疆维吾尔自治区中北部,昌吉州最西部,准噶尔盆地南部,地理坐标为 $85^{\circ}34' \sim 86^{\circ}43' E, 43^{\circ}28' \sim 45^{\circ}38' N$ 。全县总面积 $9\ 154.48\ km^2$,其中山区、平原各半,地势南高北低,南部为天山山区,北部平原区绿洲和荒漠交错分布。属温带大陆性干旱半干旱气候区,具有冬季严寒、夏季酷热、日照充足、干旱少雨等特点。年平均气温 $7.2\ ^{\circ}C$,年平均降水量为 $173.3\ mm$ 。县辖 6 镇 6 乡、1 个园艺农场,5 个驻县农垦团场,是天山北坡经济带的核心区域。依据玛纳斯县土地利用现状图,选取该县中部农田相对集中的区域作为研究区,研究区西北部的农田土壤质地大多为粘壤土,东部区域土壤以粉壤土为主,南部以沙壤土为主,南部地形多为山地,北部为平原,土地利用方式有果园、旱地、水田、荒地等,种植的作物主要有棉花、酒葡萄、玉米等。

1.2 试验设计

试验前根据校正后的玛纳斯县遥感影像,区分不同地物,在研究区按照 $2\ km \times 2\ km$ 的尺度,结合 GPS 野外定位技术在研究区内布置了 180 个采样点,其中包括 60 个剖面点。于 2013 年 8 月—10 月作物生长后期,利用土钻按 $0 \sim 30$ 、 $30 \sim 60\ cm$ 和 $60 \sim 100\ cm$ 的深度进行分层取土,混匀并装入铝盒作为供试样品,测定其土壤有机质含量。另外,实地调查测量各采样点的土壤质地、地形因子(坡向、坡度、坡位、海拔)、土地利用方式以及种植作物种类等,并分析各因子对农田土壤有机碳的影响。研究区及土壤调查点如图 1 所示。

1.3 样品分析方法

土壤有机质含量的测定用重铬酸钾外加热法,然后除以“Van Bemmelen”换算系数 1.724,得到土壤有机碳含量。土壤质地的测定是根据不同的土壤颗粒在沉降筒内沉降时间上的差异,利用甲种比重计测定悬

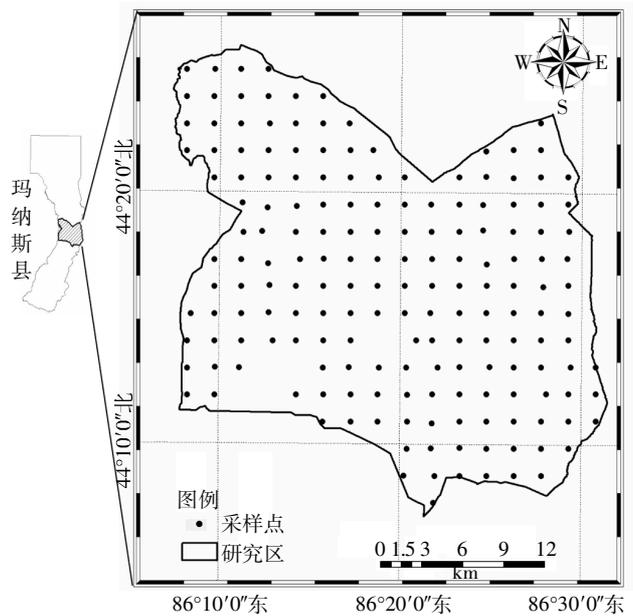


图 1 研究区采样点分布图

Figure 1 Distribution of sampling points in the study area

液的密度,结合密度计读数和沉降的时间、温度及《小于某粒径颗粒沉降时间表》进行测定,经过温度计、密度计、分散剂校正计算后得到土壤粒径的含量,最后确定出该土壤的质地组成^[9]。

1.4 数据处理方法

利用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 17.0 统计软件进行相关统计分析与作图。

2 结果与分析

2.1 不同土壤质地对农田土壤有机碳的影响

土壤质地是土壤最固定、最重要的特性,它影响着土壤的水、气、热变化,与有机碳的蓄积有关系^[7-8]。不同土壤质地对玛纳斯县中部农田土壤有机碳含量的影响表现不一。由图 2 可知,不同土壤质地条件下,随着土层深度的增加,土壤有机碳的含量在不断减小,土壤 $0 \sim 30\ cm$ 层有机碳含量最高,分别为 6.17 、 $7.2\ g \cdot kg^{-1}$ 和 $8.32\ g \cdot kg^{-1}$,显著高于 $30 \sim 60\ cm$ 层和 $60 \sim 100\ cm$ 层。不同土壤质地条件下,玛纳斯县中部农田土壤 $0 \sim 30$ 、 $30 \sim 60\ cm$ 和 $60 \sim 100\ cm$ 层有机碳含量的状况均表现为:粘壤土 > 粉壤土 > 沙壤土;其中粘壤土的有机碳含量最高,各层有机碳含量分别为 8.32 、 $6.19\ g \cdot kg^{-1}$ 和 $3.21\ g \cdot kg^{-1}$,是有机碳含量最低沙壤土的 1.35、1.28 倍和 1.32 倍,这可能与不同质地条件下土壤的理化性质有关。

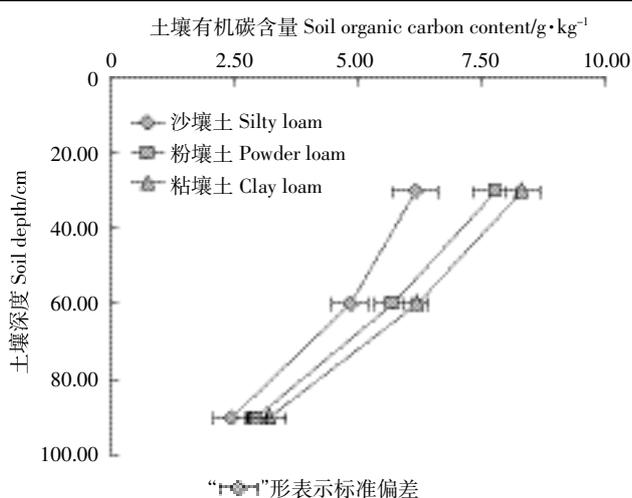


图 2 玛纳斯县中部农田不同土壤质地条件下土壤有机碳状况
Figure 2 The soil organic carbon content under different soil textures in farmland of central Manasi county

2.2 不同地形因子对农田土壤有机碳的影响

地形因子作为自然环境的重要因素,决定着物质迁移的方向和速率,使得土壤有机碳和地形因子之间有着密切的关系^[9]。由表 1 可知,玛纳斯中部农田 0~30 cm 层的土壤有机碳含量和坡向、坡位之间存在着显著正相关关系,农田 30~60 cm 层的土壤有机碳含量和坡向之间存在着显著正相关关系,农田 60~100 cm 层的土壤有机碳含量和海拔之间存在着显著正相关关系。不同地形因子中,坡向对玛纳斯县中部农田 0~30、30~60 cm 层的土壤有机碳含量影响最突出,各层土壤有机碳的含量均与坡向呈显著正相关,而海拔对玛纳斯县中部农田 60~100 cm 层的土壤有机碳含量影响最突出,土壤有机碳的含量与海拔呈显著正相关,原因可能与气温、水分、植被状况等有关。

表 1 地形因子与土壤有机碳的相关性分析

Table 1 The correlation analysis of soil organic carbon content and terrain factors

土层 Soil depth	坡向 Slope aspect	坡度 Slope gradient	坡位 Slope position	海拔 Elevation
0~30 cm (n=180)	0.312*	0.225	0.418*	0.472
30~60 cm (n=180)	0.215*	0.176	0.362	0.395
60~100 cm (n=60)	0.186	0.112	0.236	0.316*

注:“*”表示 $P<0.05$ 显著水平。

2.3 不同土地利用方式对农田土壤有机碳的影响

不同土地利用方式下农田土壤有机碳含量的状况表现不一。由表 2 可知,不同利用方式下,随着土层

深度的增加,土壤有机碳的含量在不断减小;土壤 0~30 cm 层有机碳含量最高,果园、旱地、水田、荒地、其他园地有机碳含量分别为 7.92、6.69、6.20、5.27 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 5.72 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著高于其他层次。不同利用方式下土壤 0~30 cm 层有机碳含量的状况表现为:果园>旱地>水田>其他园地>荒地,其中果园、旱地、荒地之间的差异达显著水平。不同利用方式下土壤 30~60 cm 层有机碳含量的状况表现为:果园>旱地>其他园地>水田>荒地,其中果园、其他园地、荒地之间的差异达显著水平。不同利用方式下土壤 60~100 cm 层有机碳含量的状况表现为:果园>其他园地>旱地>水田>荒地,其中果园、水田、荒地之间的差异达显著水平。玛纳斯县中部农田不同土地利用方式中,果园的土壤有机碳含量最高,各层平均含量分别为 7.92、5.66 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 3.03 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,是土壤有机碳含量最低荒地的 1.50、1.48 倍和 1.46 倍。

表 2 不同土地利用方式下农田土壤有机碳含量($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 2 The soil organic carbon content under different land use patterns($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

土层 Soil depth	果园 Orchard	旱地 Dryland	水田 Paddy field	荒地 uncultivated land	其他园地 Other garden
0~30 cm	7.92a	6.69b	6.20bc	5.27c	5.72c
30~60 cm	5.66a	4.76ab	4.14b	3.82c	4.26b
60~100 cm	3.03a	2.76b	2.39b	2.08c	2.98a

注:同行数据后不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Values followed by different letters in a line are significant at the 0.05 level.

2.4 不同种植作物对农田土壤有机碳的影响

土壤有机碳对植物的生长和植物生态系统的生产力具有很强的控制作用,同时植被具有调节改善土壤有机碳状况的功能^[10-11]。玛纳斯县中部农田不同作物种植条件下,土壤有机碳的变化情况见图 3。由图 3 可以看出,3 种作物种植条件下农田 0~30 cm 层土壤有机碳含量最高,明显高于 30~60 cm 层和 60~100 cm 层。棉花地、酒葡萄地、玉米地 0~30 cm 层土壤有机碳含量分别为 5.66、6.29 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 7.09 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中玉米地的土壤有机碳含量最高,且差异达显著水平。棉花地、酒葡萄地、玉米地 30~60 cm 层土壤有机碳含量分别为 4.45、5.44 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 6.24 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中玉米地的土壤有机碳含量最高,差异也达显著水平。棉花地、酒葡萄地、玉米地 60~100 cm 层土壤有机碳含量分别为 2.84、3.68 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 4.13 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中玉米地的土壤

有机碳含量最高,差异也达显著水平。玛纳斯县中部农田不同作物种植条件下各层土壤有机碳状况均表现为:玉米地>酒葡萄地>棉花地。

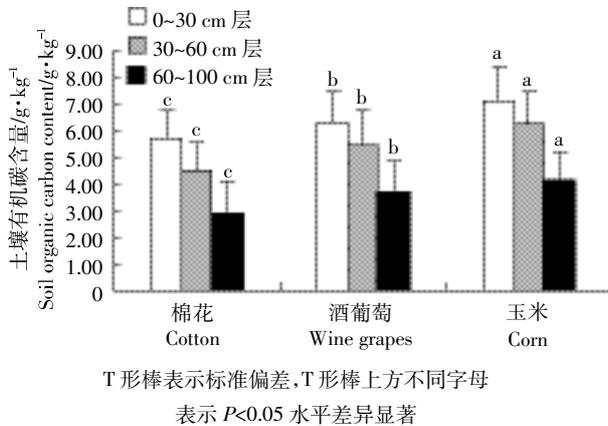


图3 玛纳斯县中部农田不同作物种植条件下土壤有机碳状况
Figure 3 The soil organic carbon content under different crops planting systems in farmland of central Manasi county

3 讨论

土壤有机碳是一种复杂的化合物,它包括土壤动植物残体、分泌物和腐殖质等,受到土壤自身理化特性、环境因子和人类活动等多方面的影响^[12-13]。玛纳斯县中部农田不同土壤质地条件下土壤有机碳含量的状况表现为:粘壤土>粉壤土>沙壤土,其中粘壤土的有机碳含量最高,且显著高于沙壤土和粉壤土,这与姜勇等^[14]的研究结果一致。原因是粘壤土壤含粘粒较多,颗粒细小,质地粘重,通气透水性差,作物根系不易伸展,土温上升缓慢,土壤中有机碳矿化作用缓慢,有利于有机碳的积累。不同地形因子中坡向和海拔对玛纳斯县中部农田土壤有机碳的影响最为突出,农田土壤0~30、30~60 cm层中,土壤有机碳的含量与坡向呈显著正相关,而在农田土壤60~100 cm层中,土壤有机碳的含量与海拔呈显著正相关关系,这与程先富等^[15]在江西省农田、胡宏祥等^[16]在安徽省农田的研究结果一致,但具有地域特色。原因是坡向对日照时数和太阳辐射强度有影响,海拔对温度和水分起着决定性作用;坡向为阴坡或者海拔较高的农田区域,由于气温较低,蒸发量较小,土壤湿度较大,致使土壤有机碳的分解速率缓慢、含量较高。

土地是地球陆地表面人类生产活动的主要空间场所,土地利用方式的变化可通过改变土壤有机碳的分解速率来影响有机碳的含量^[17-18]。玛纳斯县中部农田不同土地利用方式下土壤有机碳含量有较大差异,

果园的土壤有机碳含量最高,荒地的土壤有机碳含量最低。这可能是因为果园中的树体凋落物归还量较大,进入土壤的腐殖质较多,有机碳含量随之升高,而荒地土壤没有植被保护,进入土壤的腐殖质较少,有机碳含量随之降低。对于农田生态系统,作物的种植种类和种植密度,影响着其残体的输入量和土壤有机碳的分解率,进而影响农田土壤有机碳的含量^[19-20]。不同作物种植条件下土壤有机碳状况表现为:玉米地>酒葡萄地>棉花地,且差异显著。这是因为不同的作物有不同的蛋白质、纤维素和半纤维素、木质素构成比例,造成其归还到土壤中的植物残体的分解速率、分解产物及其转化途径都会有差异,此外,玉米产出的植株残体归还量较大,而棉花产出的植株残体归还量较小,进而导致不同植被条件下土体具有不同的有机碳状况。

因此,玛纳斯县中部农田土壤有机碳是自然环境综合因素的结果,尤其是在局部区域内土壤质地、地形、土地利用、作物类型等因子之间的交互作用越突出,都影响着土壤有机碳的分解速率,进而影响土壤有机碳的含量状况。

4 结论

玛纳斯县中部农田土壤有机碳的储蓄状况是自然环境因素综合作用的结果,农田土壤有机碳的垂直分布特征为,随着土壤深度的增加,土壤有机碳的含量在不断减小。不同土壤质地条件下土壤有机碳含量的状况表现为:粘壤土>粉壤土>沙壤土,不同地形因子中坡向对农田0~30、30~60 cm层的土壤有机碳含量影响最突出,呈显著正相关,海拔对农田60~100 cm层的土壤有机碳含量影响最突出,呈显著正相关。不同土地利用方式下土壤有机碳含量有较大差异,果园的土壤有机碳含量最高,荒地的土壤有机碳含量最低。不同作物种植条件下农田土壤有机碳状况表现为:玉米地>酒葡萄地>棉花地,且差异显著。

参考文献:

- [1] 王清奎,汪思龙,冯宗炜,等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 513-519.
WANG Qing-kui, WANG Si-long, FENG Zong-wei, et al. Active soil organic matter and its relationship with soil quality[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 513-519. (in Chinese)
- [2] Dalal R C, Chan K Y. Soil organic matter in rain fed cropping systems of the Australian cereal belt[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2001, 39: 435-464.

- [3] 方华军, 杨学明, 张晓平. 农田土壤有机碳动态研究进展[J]. 土壤通报, 2003, 34(6): 562-568.
FANG Hua-jun, YANG Xue-ming, ZHANG Xiao-ping. The progress of study on soil organic carbon dynamics in cropland[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(6): 562-568. (in Chinese)
- [4] 赵生才. 我国农田土壤碳库演变机制及发展趋势[J]. 地球科学进展, 2005, 20(5): 587-590.
ZHAO Sheng-cai. Soil carbon library evolution mechanism and development trend of China's farmland[J]. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(5): 587-590. (in Chinese)
- [5] 潘根兴, 曹建华, 周运超. 土壤碳及其在地球表层系统碳循环中的意义[J]. 第四纪研究, 2000, 20(4): 325-334.
PAN Gen-xing, CAO Jian-hua, ZHOU Yun-chao. Soil carbon and its significance in carbon cycling of earth surface system[J]. *Quaternary Science*, 2000, 20(4): 325-334. (in Chinese)
- [6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 172-189.
BAO Shi-dan. Soil chemical analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 172-189. (in Chinese)
- [7] Yan X Y, Cai Z C, Wang S W, et al. Direct measurement of soil organic carbon content change in the croplands in China[J]. *Global Change Biology*, 2011, 17(3): 1487-1496.
- [8] Su Y Z, Zhao H L. Advances in researches on soil organic carbon storage, affecting factors and its environment effects[J]. *Journal of Desert Research*, 2002, 22(3): 220-228.
- [9] 高俊琴, 欧阳华, 张 锋, 等. 若尔盖高寒湿地表层土壤有机碳空间分布特征[J]. 生态环境, 2007, 16(6): 723-727.
GAO Jun-qin, OUYANG hua, ZHANG Feng, et al. Characteristics of spatial distribution of soil organic carbon in Zoige wetland[J]. *Ecology and Environment*, 2007, 16(6): 723-727. (in Chinese)
- [10] 李志建, 倪 恒. 黑河下游地区土壤水盐及有机质空间分布、植被分布及长势分析[J]. 资源调查与环境, 2003, 24(2): 144-150.
LI Zhi-jian, NI Heng. Analysis on the correlation between distribution of water-salinity-organic material-bearing in soil and growth of vegetation along the lower reaches area of Heihe River[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 2003, 24(2): 144-150. (in Chinese)
- [11] Freibauer A, Rounsevell M D A, Smith P, et al. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe[J]. *Geoderma*, 2004, 122(1): 1-23.
- [12] 贾宏涛, 蒋平安, 程路明, 等. 巴音布鲁克亚高山草原生态系统有机碳贮量的估算[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(6): 480-483.
JIA Hong-tao, JIANG Ping-an, CHENG Lu-ming, et al. Estimation of organic carbon storage of Bayinbuluke alpine grassland ecosystem[J]. *Xinjiang Agricultural Science*, 2006, 43(6): 480-483. (in Chinese)
- [13] 吴乐知, 蔡祖聪. 农业开垦对中国土壤有机碳的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 119-121.
WU Le-zhi, CAI Zu-cong. Effect of agricultural cultivation on soil organic carbon in China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(6): 119-121. (in Chinese)
- [14] 姜 勇, 庄秋丽, 梁文举. 农田生态系统土壤有机碳库及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2007, 26(2): 278-285.
JIANG Yong, ZHUANG Qiu-li, LIANG Wen-ju. Soil organic carbon pool and its affecting factors in farm land ecosystem[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(2): 278-285. (in Chinese)
- [15] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 兴国县森林土壤有机碳库及与环境因子的关系[J]. 地理研究, 2004, 23(2): 11-17.
CHENG Xian-fu, SHI Xue-zheng, YU Dong-sheng, et al. Organic carbon pool of forest soil and its relationship to environment factors in Xingguo county of Jiangxi Province[J]. *Geographical Research*, 2004, 23(2): 11-17. (in Chinese)
- [16] 胡宏祥, 洪天求, 樊丽莉. 巢湖马鞍山土壤有机质和 N、P 变化研究[J]. 中国水土保持, 2006, 11: 24-26.
HU Hong-xiang, HONG Tian-qiu, FAN Li-li. Study on soil organic matter and N and P variations of Maanshan in Chaohu[J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2006, 11: 24-26. (in Chinese)
- [17] 高志强, 刘纪远, 曹明奎. 土地利用和气候变化对农牧过渡区生态系统生产力和碳循环的影响[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, 34(10): 946-957.
GAO Zhi-qiang, LIU Ji-yuan, CAO Ming-kui. Impacts of land-use and climate changes on ecosystem productivity and carbon cycle in the cropping-grazing transitional zone in China[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2004, 34(10): 946-957. (in Chinese)
- [18] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对生态系统碳汇功能影响的综合评价[J]. 中国工程科学, 2003, 5(9): 65-71.
WU Jian-guo, ZHANG Xiao-quan, XU De-ying. The assessment of the impacts of land use change on the ecosystem carbon sink[J]. *Engineering Science*, 2003, 5(9): 65-71. (in Chinese)
- [19] 田洪艳, 周道玮, 郭 平. 不同撂荒年限的草原农田土壤及植被的变化规律研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2001, 33(4): 72-77.
TIAN Hong-yan, ZHOU Dao-wei, GUO Ping. The change of soil and vegetation with different years of leaving uncultivated[J]. *Journal of Northeast Normal University: Natural Science Edition*, 2001, 33(4): 72-77. (in Chinese)
- [20] Giardina C P, Ryan M G. Evidence that decomposition rates of organic carbon in mineral soil do not vary with temperature[J]. *Nature*, 2000, 404(20): 858-861.