

马鬃岭自然保护区土壤碳蓄积的研究

杨克凤, 张鑫童, 汪大林, 方海义, 陈青, 王俊, 杨书运*

安徽农业大学, 安徽 合肥 230036

摘要:以金寨马鬃岭自然保护区为研究对象, 布置 56 个采样点, 分析该区森林土壤有机碳质量分数时空分布特征和碳储量。结果表明: 研究区有机碳含量丰富, 随着土壤深度、植被类型、海拔高度的变化而变化。0~20cm 土层有机碳质量分数最高为 90.88 g·kg⁻¹, 平均为 32.47 g·kg⁻¹, 土壤有机碳质量分数随着深度的增加而递减, 表层有机碳变化幅度高于深层土壤, 不同测点递减的程度不同; 有机碳质量分数随海拔高度的增加呈递增趋势; 土壤有机碳质量分数存在明显的季节变化, 表层土壤秋季有机碳质量分数最高, 冬春季次之, 夏季最低, 越往表层季节变化越明显。0~20 cm 土层有机碳密度平均为 6.52 kg·m⁻², 0~100 cm 土层有机碳平均密度为 23.26 kg·m⁻², 有机碳密度分布与有机碳质量分数分布基本一致。0~20 cm 土层土壤碳储量为 2.258×10⁵~2.265×10⁵ t, 0~100 cm 土层土壤碳储量为 6.91×10⁵~8.76×10⁵ t, 碳储量丰富。最后提出该自然保护区封山育林, 对温室气体减排意义重大。

关键词: 马鬃岭自然保护区; 森林土壤; 有机碳质量分数; 时空分布; 有机碳储量

中图分类号: S174 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5906 (2010) 10-2372-04

森林土壤碳占全球土壤碳的 73%^[1], 大约是森林植被碳蓄积量的 2~3 倍, 在全球碳循环中起着重要作用^[2]。由于资料来源、土壤分类方式不同, 不同学者对 1 m 深度陆地土壤碳存量的估值有较大差异^[3-9]。刘国华等利用 4 次森林资源清查资料估算中国近 20 a 来森林植被总碳储量分别是 3.75、4.12、4.06 和 4.20 Pg (1 Pg=10⁹ t)^[10]。周玉荣^[11]测算中国森林植被平均碳密度是 57.07 t·hm⁻², 变动范围在 40~60 t·hm⁻²之间。杨书运等估算 2005—2044 年中国森林从大气中净吸收的碳可达到 51.74×10⁸~125.30×10⁸ t^[12]。Fang^[13]通过对中国近 50 a 来的森林碳蓄积的估算, 认为中国森林总生物量为 4.0~7.1 Pg(以碳计), 均值为 4.6 Pg, 总生物生产力(不包括经济林和竹林)为 0.4~0.6 Pg·a⁻¹, 均值为 0.5 Pg·a⁻¹; 并预测 CO₂ 浓度倍增可使中国森林生产力小幅增加, 变化于 12%~35%之间。这些研究主要集中在大尺度上森林生物量的贡献, 而中小尺度上有关森林土壤碳储量的研究较少, 小区域森林土壤有机碳研究对生态系统复杂区域更重要^[14-16]。

通过对金寨马鬃岭自然保护区土壤有机碳采样分析, 研究了森林土壤有机碳质量因素与植被、海拔等因素的关系。这一研究对中国亚热带森林土壤碳蓄积量的研究具有一定的意义, 有助于对中国森林在大气碳平衡中的作用进行准确评估。

1 材料与方法

1.1 研究地区自然地理概况

马鬃岭自然保护区位于安徽省金寨县西南部, 介于 31°10'—31°20' N 和 115°31'—115°50' E 之间, 是长江与淮河分水岭, 向西、南的河流入长江, 向北、东的河流入淮河, 总面积 34.7 km²。气候属亚热带湿润季风气候, 四季分明, 年降水量约 1 600 mm, 无霜期 210 a。该区在 800 m 以下为山地黄棕壤, 800 m 以上为山地棕壤, 1 400 m 以上的局部地区有草甸土和沼泽土存在。

森林类型丰富, 是大别山保存较好的具有北亚热带地带性植被特征的森林。海拔 400~900 m 为落叶、常绿阔叶林带, 主要建群种是栓皮栎、麻栎、石栎等; 林木灌木多为落叶类, 此外, 还有马尾松、杉木、毛竹等。海拔 900~1 300 m 为落叶阔叶林带常以栓皮栎、茅栗等占优势, 组成不同类型落叶阔叶林; 迎风陡坡及山脊常有黄山松林, 山坡谷地间有毛竹林。海拔 1 300 m 以上多为山地矮林、山地灌丛及黄山松林。

1.2 材料与方法

1.2.1 样品采集

布置土壤采样点 56 个(其中包括 4 个长期点), 用 GPS 定位, 于 2008 年 11 月 1—4 日, 以 10 cm 为一个层次单位, 钻取 10 个层次即 0~100 cm 深土壤(如尚未达到 100 cm 但已经到沙质、石砾层, 则仅

基金项目: 安徽省教育厅自然科学基金重点项目 (KJ2009A154)

作者简介: 杨克凤(1978 年生), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为气候变化影响。E-mail: yuyang96121@126.com

*通讯作者: 杨书运(1972 年生), 男, 副教授, 主要从事应用气候学研究。E-mail: yangshuy@ahau.edu.cn

收稿日期: 2010-09-13

采到该层)。图 1 为采样点分布图。

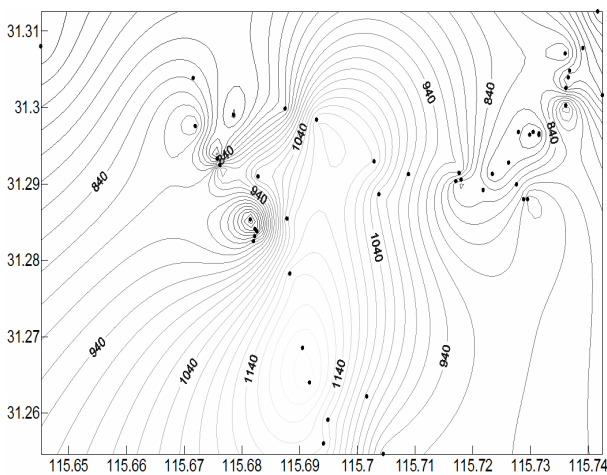


图 1 采样点分布图

Fig.1 Distribution of sampling points

布置长期点 4 个用于分析时间变化, 分别于 2008 年 8 月 1 日和 11 月 1 日, 2009 年 2 月 20 日、4 月 30 日采样。方法同上。

1.2.2 分析方法

土壤有机质测定采用 GB 9834—88 法; 土壤容重用环刀法。数据采用 Surfer8.0 和 Excel 2003 软件作图, 用 SPSS17.0 软件进行相关性和差异显著性分析。

2 结果分析

2.1 有机碳随土层深度的分布

将各采样点土壤有机碳质量分数结果见图 2。该区域有机碳质量分数相对较高, 随着深度增加变化明显。在 0~60 cm 土壤有机碳质量分数随深度的增加而减小, 70~100 cm 有机碳质量分数趋于稳定。不同测点间同一深度土层有机碳质量分数差异巨大, 其差异随土壤深度的增加而减小, 0~20 cm 土层有机碳极差达 $85.43 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 90~100 cm 土层的极差减小到 $19.54 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

由上可见, 该试验区有机碳质量分数随着土壤深度的增加而递减, 表层土壤有机碳质量分数递减明显, 越往深层递减越慢, 不同测点有机碳质量分数随着深度增加递减趋势不同。

2.2 有机碳随时间的分布

长期观测点 8、11 月和次年 2、4 月 0~20 cm、30~40 cm 土层有机碳质量分数见图 3。0~20 cm 土层 8 月有机碳质量分数最低($29.99 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 11 月份达到最高($32.93 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 次年 2、4 月又降低。这与林区林木生长、树叶凋落、温度变化周期相吻合: 8 月份林木生长旺盛, 土壤养分消耗量大, 8—11 月期间, 随着温度下降, 林木生长速率减缓, 凋落

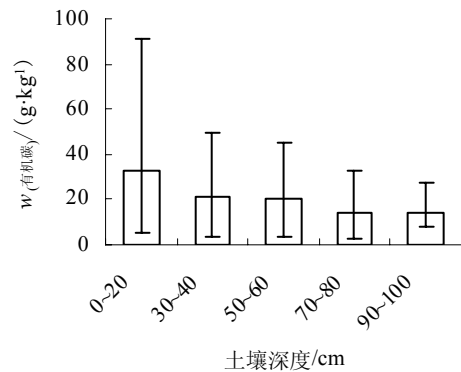


图 2 土壤有机碳质量分数随土壤深度的变化

Fig.2 Change of soil organic carbon content with soil depth

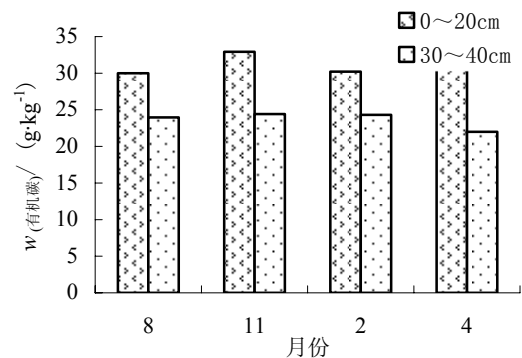


图 3 有机碳质量分数的季节变化

Fig.3 Seasonal change of organic carbon content

物量增加, 土壤有机碳得到补充, 11 月到次年 4 月, 因温度低, 凋落物腐烂减缓, 有机碳补充缓慢, 但林下植被及林木缓慢生长消耗使土壤养分含量下降。30~40 cm 土层次年 4 月有机碳质量分数最低 ($18.99 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 11 月份达到最高 ($23.81 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。可见, 0~40 cm 土层有机碳质量分数秋季最高, 冬春季次之, 夏季最低。

2.3 有机碳随海拔高度的分布

由于海拔高度差异引起水热组合等环境条件的不同, 马鬃岭自然保护区不同海拔高度土壤有机碳分布具有一定的差异。从各测点有机碳质量分数与海拔高度的数据可知, 土壤有机碳质量分数随海拔升高有增大的现象, 但没有明显的线性关系。有机碳质量分数高值区集中在海拔高度 800~1100 m, 有机碳质量分数最高值达到 $156.67 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 该测点海拔为 855 m。

同为杂木林的 3 个测点: 0~20 cm 有机碳质量分数与海拔高度关系显著, 同种植被类型下有机碳质量分数随着海拔高度的增高而递增。土壤有机碳

的形成与森林的枯枝落叶层有关,群落的稳定性越高,就会积累较多的枯枝落叶,土壤中的有机碳质量分数也会较高。在中低海拔,由于有一定的人为影响,有机碳会有流失。中高海拔地带,人为影响小,腐殖质层厚,土壤有机碳质量分数偏高。表明马鬃岭自然保护区海拔高度与土壤有机碳质量分数具有相关性,土壤有机碳质量分数随海拔升高而升高。

2.4 植被的影响

不同植被类型,测得的土壤有机碳质量分数不同。见表1所示,松树林下的土壤有机碳质量分数为 $20.39 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,毛栗林下的土壤有机碳质量分数为 $39.18 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。松树、阔叶混交林下林灌木稀疏,枯枝落叶层薄。同是栗树混合树种不同有机碳质量分数不同,主要毛栗林下土壤有机碳高于花香树与栗树混交林,也与海拔、地形等有关。当然所选测点中位于植被覆盖率高的地方植物多样性丰富,有机碳质量分数高且不易分解。不同森林类型下枯枝落叶层和腐殖质层等不同,有机碳质量分数垂直分布也不同。植被是影响该自然保护区有机碳质量分数的重要因素。

表1 不同植被类型有机碳差异

Table 1 The difference of soil organic carbon content with vegetation

测点	森林类型	海拔/m	w(有机碳)/(g·kg ⁻¹)
1	栗树、花香树	1119	33.05
2	毛栗树	1033	39.18
3	松树、阔叶混交林	928	20.39
4	板栗树、阔叶混交林	770	38.50

2.5 土壤有机碳密度

有机碳储量见 Ellert 和 Bettany^[17]提出的土壤有机碳储量计算公式:

$$M_{\text{element}} = \rho_b \times T \times \text{conc} \quad (1)$$

$$T_{\text{add}} = (M_{\text{soil,equiv}} - M_{\text{soil,surf}}) \times (\rho_{\text{bsurface}})^{-1} \quad (2)$$

式中, M_{soil} 为单位面积土壤质量($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$); conc 为土壤有机碳质量分数($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); ρ_b 为土壤容重($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); T 为土壤深度(cm); T_{add} 为要达到等质量土壤需要另加的亚表层土壤深度(cm); $M_{\text{soil,equiv}}$ 为相等的土壤质量; $M_{\text{soil,surface}}$ 为表层土壤质量之和; ρ_{bsurface} 为亚表层土壤容重($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。土壤有机碳单位面积上等质量土壤有机碳储量等于表层土壤有机碳储量加上要达到该土壤质量需要另加的土壤深度的有机碳储量。

将相关数据带入公式得0~20 cm 土层有机碳密度最低为 $0.90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,最高为 $21.32 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,平均为 $6.52 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。0~100 cm 土层有机碳密度平均为 $25.26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,不同植被有机碳密度存在显著差异,阔叶

林0~20 cm 土层有机碳密度为 $5.65 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,杂木灌丛林植被为 $3.98 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,而沙质裸露地上的测点有机碳密度仅为 $0.96 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。不同海拔高度有机碳密度存在差异,有机碳密度随海拔高度升高而升高,1000~1100 m 高度有机碳密度相对较高。海拔高处腐殖质层厚的地方,有机碳密度高。有的测点10 cm 厚度达到 $13.20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,海拔较低处受到人类活动影响较多,植被破坏严重的地方,有的10 cm 厚度仅为 $0.28 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,有机碳密度区域差异明显。不同点植被、地形、质地、坡向等不同,有机碳密度差异显著。

该自然保护区0~20 cm 土层土壤碳储量为 $2.26 \times 10^5 \sim 2.65 \times 10^5 \text{ t}$,0~100 cm 土层土壤碳储量为 $6.94 \times 10^5 \sim 8.76 \times 10^5 \text{ t}$,有机碳储量大、碳蓄积量大。按此计算该自然保护区总有机碳储量为 $8.55 \times 10^6 \text{ t}$ 。可见该自然保护区森林土壤碳蓄量丰富,对此进行封闭保护有利于温室气体减排,防止滑坡、泥石流,山体塌陷以及水源保护等。

3 结论

(1) 森林土壤有机碳质量分数受立地条件差异影响,不同测点质量分数差异明显。植被类型、海拔高度、成土母质、地形等都是影响有机碳质量分数的重要因素。研究区域自然状态系统良好,树种丰富、枯枝落叶层厚、腐殖质层相对较厚,人为破坏少,有机碳质量分数相对周围地区偏高。

(2) 0~20 cm 土层有机碳质量分数最高达到 $90.88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平均为 $32.47 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤有机碳质量分数随着土层深度的增加而递减,不同测点递减趋势不同。小部分区域在50~70 cm 土层出现次高值,应该与小灌丛根部分布位置有关系。0~20 cm 土层季节变化较显著,30~40 cm 季节变化不明显,随着深度增加季节变化减缓,土壤有机碳随着季节变化的深度界限位于70~100 cm。

(3) 土壤有机碳密度分布不均,具有明显的地域性。0~20 cm 土层土壤有机碳密度平均为 $6.52 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$,0~100 cm 土层有机碳密度平均为 $25.26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。有机碳密度受植被类型影响,阔叶林植被有机碳密度较杂木灌丛林高,裸地最低。有机碳密度总体上随着海拔高度的升高而增加,高值区出现900~1000 m。0~20 cm 土层土壤碳储量为 $2.26 \times 10^5 \sim 2.65 \times 10^5 \text{ t}$,0~100 cm 土层土壤碳储量为 $6.94 \times 10^5 \sim 8.76 \times 10^5 \text{ t}$ 。可见森林土壤在增加温室气体蓄积方面的作用重大,对该自然保护区进行封山育林,减少人为破坏,有利于水土保持、空气净化和预防山体滑坡、泥石流、塌陷等。

参考文献:

- [1] SEDJO R A. The carbon cycle and global forest ecosystem[J]. *Ater Air Soil Pollut*, 1993, 70: 295-307.
- [2] 周国模, 刘恩斌, 余光辉. 森林土壤碳库研究方法进展[J]. *浙江林业学院学报*, 2006, 23(2): 207-216.
ZHOU Guomo, LIU Enbin, SHE Guanghui. Summary of estimated methods on forest soil's carbon pool[J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2006, 23(2): 207-216.
- [3] HUNTINGTON T G, JOHNSON C E, JOHNSON A H, et al. Carbon organic matter and bulk density relationships in a forested spo-dosol. *Soil Science*, 1989, 148(5): 380-386.
- [4] BOYD D S, GOODY G M, CURRAN P J. The relationship between the biomass of Cameroonian tropical forests and radiation reflected in middle infrared wavelength (3.0-5.0 μm) [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1999, 20(5): 1017-1023.
- [5] KURZ W A. The carbon budget of the Canadian forest sector: phase Forestry Canada northwest region northern forestry centre, 1992.
- [6] APPS M J. Assessing the role of Canadian forests and forest sector activities in the global carbon balance. *World Resource Review*, 1991, 3(4): 333-343.
- [7] DIXON R K, BROWN S. Carbon pools and flux of global forest ecosystem [J]. *Science*, 1994, 263: 185-190.
- [8] POST W M, EMANUEL W R, ZINKE P J, et al. Soil carbon pools and life zones [J]. *Nature*, 1982, 298: 156-159.
- [9] Bohn, H L. Estimate of organic carbon in world soils [J]. *Soil Science Soc Am. J*, 1976, 40: 468-470.
- [10] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. *生态学报* 2000, 20(5): 733-740.
LIU Guohua, FU Bojie, FANG Jingyun. Carbon dynamics of Chinese forests and its contribution to global carbon balance. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 733-740.
- [11] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳储量和碳平衡[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 518-522.
ZHOU Yurong, YU Zhenliang, ZHAO Shidong. Carbon storage and budget of major Chinese forest types[J]. *Acta phytoecologia sinica*, 2000, 24(5): 518-522.
- [12] 杨书运, 蒋跃林, 张庆国, 等. 未来中国森林碳蓄积量预估初步研究[J]. *福建林业科技*, 2006, 33(1): 118-120.
YANG Shuyun, JIANG Yuelin, ZHANG Qingguo. The Research of Carbon's Storage Capacity of China Forest Systems in the Future. *Jour of Fujian Forestry Science and Technology*, 2006, 33(1): 118-120.
- [13] FANG J Y, CHEN A P, PENG C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 to 1998[J]. *Science*, 2001: 292.
- [14] 张城, 王绍强, 于贵瑞等中国东部地区典型森林类型土壤有机碳储量分析[J]. *资源科学*, 2006, 28(2): 97-103.
ZHANG Cheng, WANG Shaoqing, YU Guirui, et al. Soil organic carbon storage in typical forestland in east China[J]. *Resources Science*, 2006, 28(2): 98-103.
- [15] 韦国富, 黄承标, 覃文更, 等. 木论自然保护区森林土壤的理化性质[J]. *亚热带农业研究*, 2009, 05(3): 180-183.
WEI Guofu, HUANG Chengbiao, QIN Wengeng, et al. Physical and chemical properties of forest soils in Mulun nature reserve[J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2009, 05(3): 180-183.
- [16] 马泽清, 刘琪璟, 徐雯霞, 等. 江西千烟洲人工林生态系统的碳蓄积特征[J]. *林业科学*, 2007, 43(11): 1-7.
MA Zeqing, LIU Qijing, XU Wenxia, et al. Carbon storage of artificial forest in Qianyanzhou, Jiangxi province[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(11): 1-7.
- [17] ELLERT B H, BETTANY J R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes[J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 1995: 529-538.

Studies on soil organic carbon storage in Mazongling natural conservation zone

YANG Kefeng, ZHANG Xintong, WANG Dalin, FANG Haiyi, CHEN Qing, WANG Jun, YANG Shuyun*

Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

Abstract: 56 samplical points were selected in Mazongling Natural Conservation Zone in order to analyse the foresty soil organic carbon content and its spatial-temporal distribution of there. The results showed that the distribution of soil organic carbon content in forest varies with soil depth, different vegetation types, and altitude. The highest soil organic carbon content was $90.88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in 0-20 cm soil layers, the average was $32.47 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Organic carbon content was decreased with increasing depth, changes in organic carbon was higher in topsoil than deep, it was different for different points. Organic carbon content increased with altitude. The change of higher altitude organic carbon content was slow, the lower was big for human impact. The seasonal variation was obviously. Forest soil organic content of topsoil was highest in autumn, the spring and winter were next best, in summer was lowest. The organic carbon density of 0-20 cm of forest soil was $6.52 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, and the organic carbon density of 100 cm of forest soil was from $25.26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$. The organic carbon density in the natural conservation zone was higher than the surrounding zone. The carbon storage was from 2.26×10^5 - 2.65×10^5 t in 0-20 cm soil layers, it was 6.94×10^5 - 8.65×10^5 t in 0-100 cm. Carbon storage potential of the natural conservation zone is full, so closed forest is significance.

Key words: Mazongling Natural Conservation Zone; forest soil; organic content; spatial-temporal variation; organic carbon storage