

秦岭火地塘天然次生油松林土壤有机碳的特征

侯琳^{1,2},雷瑞德^{1,2},王得祥^{1,2},赵辉^{1,2}

(1 西北农林科技大学 林学院,陕西 杨凌 712100;2 陕西秦岭森林生态系统国家野外科学研究所,陕西 杨凌 712100)

【摘要】 【目的】精确估计火地塘天然次生油松林土壤有机碳密度和储量。【方法】基于林下灌木、草本群落特征数据,采用分层抽样法确定研究区土壤剖面的调查数量,对调查样地上、中、下 3“层”的土壤有机碳分布规律及其与天然次生油松林下植物物种多样性的相关性进行了研究。【结果】上“层”土壤有机碳密度变化较小,变化幅度为 56.60~71.98 Mg/hm²,变异系数为 8.26%;而“中、下”层土壤有机碳密度波动较大,变化幅度为 22.83~59.45 和 38.33~85.82 Mg/hm²,变异系数分别为 15.91%和 22.94%;随着土层深度的增加,土壤有机碳密度下降。土壤有机碳密度与植物物种多样性无明显相关性。【结论】在 95%的可靠性下,抽样估计的相对误差为±11.13%时,研究区土壤有机碳密度为(60.492±6.73) Mg/hm²;0~40 cm 土层土壤有机碳储量为 72.59 Mg。

【关键词】 秦岭;天然次生油松林;土壤有机碳密度;土壤碳储量;分层抽样法

【中图分类号】 S718.56 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2008)08-0156-05

Traits of soil organic carbon density in *Pinus Tabulaeformis* secondary forest at Huoditang valley forest area in Qinling moutains

HOU Lin^{1,2}, LEI Rui-de^{1,2}, WANG De-xiang^{1,2}, ZHAO Hui^{1,2}

(1 College of Forestry, Northwest A&F University Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 National Forest Ecosystem Research Station in Qinling Moutains, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 Soil quality, environment and climate change could be violently affected by soil organic carbon pools. It is vital to estimate soil organic carbon density(SOCD)and its storage more accurately on natural secondary *Pinus tabulaeformis* forest land at Huoditang valley in Qinling mountains so that carbon balance of whole forest ecosystem could be better understood. 【Method】 Based on data of shrub and herbage community traits under arbor layer, quantities of soil profiles were given out under predefined accuracy by stratified sampling method. Both distributing traits of soil organic carbon and relevance between SOCD and biodiversity indices of plant species were analyzed in plots from layers classified as upper-parts, middle and under-parts. 【Result】 The findings indicated as follows: SOCD in the upper part of slope remained stable; The varying scales (VC) and coefficient of variance (CV) was from 56.60 Mg/hm² to 71.98 Mg/hm² and 8.26% respectively; But SOCD in the middle and under part of slope varied abruptly from 22.83 to 59.45 Mg/hm², and from 38.33 to 85.82 Mg/hm² respectively; The corresponding CV was 15.91% and 22.94% respectively; With the increase of soil depth; and SOCD decreased. SOCD was irrelevant to indices of plant species. 【Conclusion】 The average SCOD was (60.492±6.73) Mg/hm² under the

* [收稿日期] 2007-08-27
[基金项目] 中国森林生态质量状况评估与报告技术项目(2006 BAD03 A0702/wb04);西北农林科技大学研究生创新计划项目(05ych027)
[作者简介] 侯琳(1969—),男,陕西武功人,在读博士,副研究员,主要从事森林碳平衡与退化森林生态系统恢复研究。
E-mail:houlin1969@163.com
[通讯作者] 雷瑞德(1944—),男,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事森林生态系统结构与功能研究。E-mail:rdlei@163.com

accuracy of 95% and relative error scale $\pm 11.13\%$. The soil organic carbon reserve in depth of 40 cm in the study area was 72.59 Mg.

Key words: Qinling mountains; natural secondary *Pinus tabulaeformis* forest; soil organic carbon density; soil organic carbon reserve; method of stratified sampling

土壤有机碳库 (Soil organic carbon pools, SOCP) 是地球陆地生态系统中最为重要的碳库之一, 其既是碳汇又是碳源^[1], 对土壤质量、生态环境和气候变化均有重大的影响^[2-3]。基于世界土壤图、中国土壤分布图及第二次全国土壤普查数据等资料, 国内外学者对土壤有机碳储量及其影响因素进行了大量研究, 取得了显著成果^[4-8], 但由于土壤有机碳库组成的复杂性和影响因素的多样性, 目前国内外对土壤有机碳库的储量、分布等研究仍显不足^[9-11], 而对秦岭山地油松林土壤有机碳方面的研究尚未见报道。为此, 本研究以秦岭火地塘林区天然次生油松林为对象, 测定、分析了林地土壤有机碳含量的分布, 以期对秦岭林区森林生态系统固碳功能的估计提供基本数据。

1 研究区自然概况

试验地位于陕西秦岭森林生态系统国家野外科学考察站火地塘天然油松群落综合观测场内, 观测场总面积 1.2 hm², 形状为多边形, 地处北亚热带北缘, 地理位置为 33°18' N, 108°20' E, 海拔高度为 1 860~1 910 m, 坡向为西南向, 坡形多变, 平均坡度约 35°, 年平均气温 8~10 °C, 年降雨量 900~1 200 mm, 年蒸发量 800~950 mm。土壤主要为花岗岩和变质花岗岩母质上发育起来的山地棕壤, 土层厚 30~50 cm。试验地内优势树种为 40 年生的天然次生油松 (*Pinus tabulaeformis*), 主要伴生树种有: 锐齿栎 (*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)、华山松 (*Pinus. armandi*)、红桦 (*Betula albosinensis*)、漆树 (*Toxicodendron vernicifluum*) 和青榨槭 (*Acer davidii*) 等, 林分郁闭度较高。

2 材料与方法

2.1 群落调查及土壤样品的采集

调查样地总数通过分层抽样法^[12]确定, 根据观测场坡度的变化, 将调查样地分为上、中、下 3“层”。其中上“层”平均坡长 17 m, 平均坡度 23°; 中“层”平均坡长 24 m, 平均坡度 38°; 下“层”平均坡长 28 m, 平均坡度 19°。以每“层”的中线为调查样线, 按照机械布样法沿样线每隔 15 m 设置 2 m×2 m 的灌木

样方 1 个, 每个灌木样方内再设置 4 个 1 m×1 m 的草本样方, 按对角线在 2 个草本样方内各设 1 个土壤采样点, 以 20 cm 为一层采集土样至岩石层, 每个土层取平行土样 2 个, 同时用土壤环刀采集土壤剖面各层原状土。2006-08 进行野外预调查和抽样调查, 由式(1)及研究区预调查中 3 个“层”上灌木和草本的丰富度、高度、盖度等数量指标计算调查样地总数, 取其最大值为最终样地调查总数。

$$N^2 - L - \frac{t_{\alpha}^2 \sum_{h=1}^L N_h S_h^2}{\Delta^2(\bar{y}_s)} = 0 \quad (1)$$

式中: N 为根据预调查中获得的不同数量指标计算的调查样地总数; L 为层数; t_{α} 为与概率 α 相对应的学生氏 t 分布双侧分位数; N_h 为 h 层内预调查的样地数; S_h 为 h 层内预调查中某一数量指标的标准差; $\Delta^2(\bar{y}_s)$ 为预调查中某一数量指标总体平均数估计值的误差限。

$$\Delta^2(\bar{y}_s) = (1 - P_c) \bar{y}_s \quad (2)$$

式中: $\bar{y}_s$ 为各数量指标的总体平均数, P_c 为可靠性, 预调查中其给定值为 90%。

$$\bar{y}_s = \frac{1}{N} \sum_{h=1}^L n_h \bar{y}_h \quad (3)$$

式中: n_h 为 h 层实际调查样地数; $\bar{y}_h$ 为 h 层的数量指标平均值; N 、 $\bar{y}_s$ 、 L 意义同前。

$$\text{抽样比}(R) = \text{某层面积} / \text{研究区总面积} \quad (4)$$

$$\text{某调查样地数} = N \times R \quad (5)$$

多样性指数 (Shann-Wiener) 和均匀度指数按文献^[13]的方法计算。

2.2 土壤样品的处理与分析

将所取土样烘干后, 分别称重, 计算直径 > 2 mm 砾石的含量, 测定土壤剖面中不同土层的土壤容重, 然后将同一样地相同土层的土样混匀、磨碎并过筛, 将粒径 < 0.074 mm 的细土装入土样瓶中, 用日本岛津公司生产的 TOC-VTH-2000A 型 TOC 分析仪测定各土样的总碳 (TC) 和无机碳 (IC) 含量, 有机碳含量 (TOC) 用 $TOC = TC - IC$ 计算^[14], 每个样品测定 3 次, 结果取其平均值。

2.3 土壤有机碳含量、密度和储量的计算

2.3.1 特定土层土壤有机碳含量 设某层土壤有机碳含量测定值为 OM' (g/kg), 砾石含量为 G_i

(%),细土含量为 $(1-G_i)$,土壤有机碳实际含量为 $OM(g/kg)$,则 $OM=OM' \times (1-G_i)^{[1]}$ 。

2.3.2 土壤有机碳密度(SOCD) 全剖面土壤有机碳密度为各土层 SOCD 累加之和,研究区土壤有机碳密度根据样点面积和剖面的 SOCD 进行加权平均^[8]。

设*i* 层土壤有机碳密度为 $SOCD_i(Mg/hm^2)$,则: $SOCD_i=OM_i \times BD_i \times H_i$ 。式中: OM_i 为*i* 层土壤有机碳实际含量; BD_i 为*i* 层土壤容重(g/cm^3); H_i 为土层厚度(cm)。

2.3.3 土壤有机碳储量(SOCR) 研究区 SOCR 按各样层面积和 SOCD 均值计算,即:

$$SOCR=\sum_{i=1}^k SOCD_i \times S_i。(6)$$

式中:*k* 为抽样“层”数; S_i 为*i* 层土壤的面积(m^2)。

2.4 数据处理

用 SAS12.0 软件对观测数据进行处理。

3 结果与分析

3.1 试验地调查样本容量的确定

由式(1)~(4)求得试验地内土壤样品剖面挖掘总数为 18,其中上、中、下“层”分别为 4,6 和 8。

3.2 天然次生油松林的土壤有机碳密度及其分布

经测算,火地塘天然次生油松林试验地内全剖面土壤有机碳密度总体表现出下“层”最高(68.013 Mg/hm^2)、上“层”次之(61.784 Mg/hm^2)、中“层”(49.604 Mg/hm^2)最低的变化趋势,由式(1)和(2)求得在 $\alpha=0.05$ 的情况下,误差限为 $\pm 6.73 Mg/hm^2$,相对误差为 $\pm 11.13\%$,试验地土壤有机碳密度为 $(60.492 \pm 6.73) Mg/hm^2$ 。

由图 1 可见,3 个“层”中各样地土壤全剖面有机碳密度呈现出不同的变化趋势。上“层”4 个样地土壤有机碳密度变化较小,变化幅度为 56.60~71.98 Mg/hm^2 ,变异系数为 8.26%;而中、下“层”土壤有机碳密度波动较大,变化幅度分别为 22.83~59.45 和 38.33~85.82 Mg/hm^2 ,变异系数分别为 15.91%和 22.94%。土壤有机碳密度的变化与植被的群落学特征、土层厚度和土壤理化性质的差异密切相关^[6]。本研究中,上“层”样地地形变化不大,林下草本分布均匀,各样地全剖面土壤有机碳密度基本接近;而中、下“层”样地,不仅林下植物的分布与种类差异较大,而且地形起伏剧烈,土壤中砾石含量高,地表枯落物厚度不均一,故土壤有机碳密度相差较大。

由图 2 可以看出,在调查样地的 3 个“层”中,0~20 cm 土层的土壤有机碳密度均高于 20~40 cm,说明研究区土壤有机碳主要分布于 0~20 cm 土层。Jobbagy 等^[15]和 Berger 等^[16]研究指出,根系的垂直分布格局和光合产物的分配共同决定着土壤有机碳的垂直分布特征,其中根系的垂直分布直接影响着输入到土壤剖面各个土层的有机碳量。本研究试验地内土壤异质性较强,20 cm 以下土层砾石含量较高,根系分布较少,而 0~20 cm 土层植物根系丰富,地表凋落物较多,因此 0~20 cm 土层土壤有机碳密度较高。

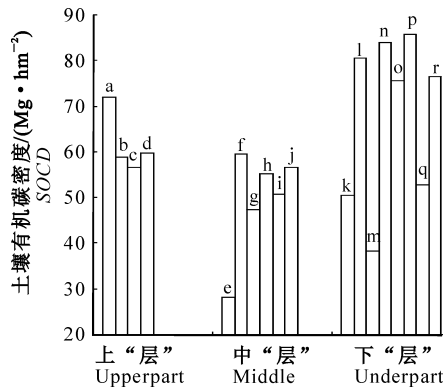


图 1 火地塘天然次生油松林地各“层”全剖面土壤有机碳密度的变化
(图中字母代表不同的土壤剖面)

Fig. 1 SCOD of whole profiles in various layers on natural secondary *Pinus tabulaeformis* forest land in plots at Huodi valley
(Letters in bars are numbers of soil profiles)

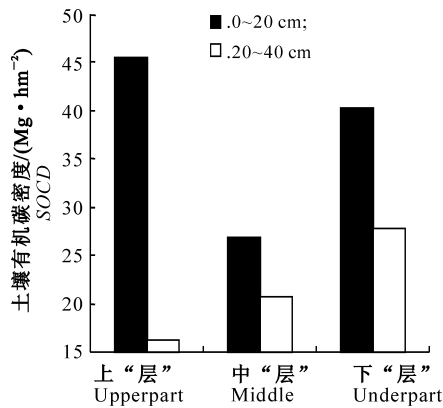


图 2 火地塘天然次生油松林地各“层”不同深度土层的土壤有机碳密度的变化

Fig. 2 Distribution of SOCD in different depths in profiles

3.3 天然次生油松林下物种多样性对土壤有机碳密度的影响

经计算,调查样地内上、中、下 3“层”灌木的物

种多样性指数 (Shann-Wiener) 和均匀度指数 (Pielou) 均值分别为 1.929, 1.966, 2.828 和 0.214, 0.393, 0.707; 3 个“层”上草本的物种多样性指数 (Shann-Wiener) 和均匀度 (Pielou) 指数均值则分别为 5.785, 4.683, 8.511 和 1.268, 1.041, 1.533。调查样地“下”层灌木和草本种类最为丰富, 但分布极不均匀; “中”层灌木种类较多且分布较均匀, 草本种类最少, 分布的均匀性最差; “上”层灌木最少而草本较多且分布均匀。究其原因主要在于“下”层坡度平缓, 土层较厚, 有利于水肥蓄积, 灌、草种类比较丰富, 但由于地形变化剧烈, 灌、草分布不均匀; “中”层坡度最陡, 土层薄而贫瘠, 不利于草本生长, 林下植被以灌木为主; “上”层坡度较缓, 灌木较少, 林下光照条件较好, 草本均匀分布于林隙之中。虽然植被的物种组成在某种程度上控制着土壤有机碳分解的速度^[17-18], 但本研究并未发现调查样地林下灌木与草本的多样性指数和均匀度指数与土壤有机碳密度有明显的相关性, 只是发现灌木和草本种类最丰富的“下”层, 全剖面土壤有机碳密度最高。

3.4 天然次生油松林试验地的土壤有机碳储量

由(5)式求得试验地 0~40 cm 土层土壤有机碳储量为 72.59 Mg。

4 讨 论

由于不同学者对中国土壤有机碳密度估计结果差异很大^[7,19], 因此研究区林地土壤有机碳密度在全国同类林地中的地位难以确定。李克让等^[7]和方精云等^[19]对中国常绿针叶林土壤有机碳密度的估算结果分别为 179.8 Mg 和 71.6 Mg (58.2~85.0 Mg), 本研究区土壤有机碳密度则分别是全国同类林地有机碳密度的 40.37% 和 101.38%。本研究基于统计抽样方法, 对试验区土壤有机碳密度和有机碳贮量进行了估算, 在可靠性为 95%, 相对误差为 ±11.13% 时, 研究区 0~40 cm 土层土壤有机碳密度为 (60.492±6.73) Mg/hm², 有机碳贮量为 72.59 Mg, 与前人研究相比, 本研究结论更加可靠。但由于土壤有机碳库组成的复杂性和影响因素的多样性, 开展多种土壤类型和植被类型土壤有机碳密度和储量研究, 仍是今后研究的重点之一。

土壤有机碳储量是土壤中植物残体与其在土壤微生物作用下分解损失量之差^[20], 其库容的大小受气候、植被、土壤理化特性等诸多因素的影响。目前, 对于土壤有机碳的主导控制因子及其控制过程仍不十分了解, 这是出现未知碳汇的重要原因^[17]。

本研究区土壤有机碳密度虽未与林下植被群落特征表现出明显的相关性, 但灌木和草本种类丰富度高的部位全剖面土壤有机碳密度最高。因此, 开展土壤理化性质和植被类型及其交互作用对土壤有机碳密度影响的研究, 也是今后土壤有机碳研究的重点之一。

[参考文献]

[1] 范宇, 刘世全, 张世熔, 等. 西藏地区土壤表层和全剖面背景有机碳库及其空间分布 [J]. 生态学报, 2006, 26 (9): 2834-2846.
Fan Y, Liu S Q, Zhang S R, et al. Background organic carbon storage of topsoil and whole profile of soils from Tibet district and their spatial distribution [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26 (9): 2834-2846. (in Chinese)

[2] Lal R. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alisol in western Nigeria. II. Soil chemical properties [J]. Soil & Tillage Research, 1997, 42: 161-174.

[3] Torn M S, Trunbore S E, Chadwick O A, et al. Mineral control of soil organic carbon storage and turn over [J]. Nature, 1997, 389: 170-173.

[4] Axel D, Karsten K. Amounts and degradability of dissolved organic carbon from foliar litter at different decomposition stages [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37: 2171-2179.

[5] Fettweis U, Bens O, Reinhard F, et al. Accumulation and properties of soil organic carbon at reclaimed sites in the Lusatian lignite mining district afforested with Pinus sp [J]. Geoderma, 2005, 129: 81-91.

[6] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析 [J]. 土壤学报, 2004, 41 (1): 35-43.
Xie X L, Sun B, Zhui H Z, et al. Organic carbon density and storage in soils of China and spatial analysis [J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41 (1): 35-43. (in Chinese)

[7] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳贮量 [J]. 中国科学 (D 辑): 2003, 33 (1): 72-80.
Li K R, Wang S Q, Cao M K. Carbon storage of vegetation and soil in China [J]. China Science (Ser. D): 2003, 33 (1): 72-80.

[8] 王绍强, 周成虎, 李克让, 等. 中国土壤有机碳库及空间分布特征分析 [J]. 地理学报, 2000, 55 (5): 533-544.
Wang S Q, Zhou H C, Li K R, et al. Analysis on spatial distribution characteristics of soil organic carbon reservoir in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55 (5): 533-544. (in Chinese)

[9] 吴建国, 张小全, 王彦辉, 等. 土地利用变化对土壤物理组分中有机碳分配的影响 [J]. 林业科学, 2002, 38 (4): 19-29.
Wu J G, Zhang X Q, Wang Y H, et al. The effects of land use changes on the distribution of soil organic carbon in physical fractionation of soil [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38 (4): 19-29. (in Chinese)

[10] Bernoux M, Arrouays D, Cerrir C C, et al. Modeling vertical distribution of carbon in oxisols of the western Brazilian ama-

zon (rondonia) [J]. Soil Science,1998,163:941-951.

[11] Torn M S,Trunbore S E,Chadwick O A,et al. Minral control of soil organic carbon storage and turn over [J]. Nature, 1997,389:170-173.

[12] 侯琳,彭 鸿,陈晓荣,等. 分层抽样法在路基水土流失监测中的应用 [J]. 水土保持通报,2004,24(3):37-39.
Hou L,Peng H,Chen X R,et al. Appling streaming sampling technique in monitoring soil and water loss on railway slope [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation,2004,24(3):37-39. (in Chinese)

[13] 侯琳,雷瑞德,康博文,等. 黄龙山林区油松封育过程中植物物种多样性特征 [J]. 西北植物学报,2004,24(7):1165-1172.
Hou L,Lei R D,Kang B W,et al. Traits of plant diversity in a hillclosing and afforestation sequence of *Pinus tabulaeformis* stands in Huanglong mountains [J]. Acta Botanica Boreali-oc-cidentalisa Sinica,2004,24(7):1165-1172. (in Chinese)

[14] 田英姿,李友明. TOC 分析仪测定原理及应用 [J]. 造纸科学与技术,2003,22(2):45-47.
Tian Y Z,Li Y M. Application of instrument TOC and its ana-lyzing principle [J]. Paper Science & Technology, 2003, 22 (2):45-47. (in Chinese)

[15] Jobbagy E G,Jackson R B. The vertical distribution of soil or-ganic carbon and its relation to climate and vegetation [J]. Ec-ological applications,2002,10(2):423-436.

[16] Berger T W,Neubauer C,Glatzel G. Factors controlling soil carbon and nitrogen stores in purest ands of Norway spruce (Piceaabies) and mixed species stands in Austria [J]. Forest Ecology and Management,2002,159:3-14.

[17] 周莉,李保国,周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展 [J]. 地球科学进展,2005,20(1):99-105.
Zhou L,Li B G,Zhou G S. Advances in controllling factors of soil organic carbon [J]. Advances in Earth Science,2005,20 (1):99-105 (in Chinese).

[18] Cao M K, Woodward F I. Dynamic responses of terrestrial e-cosystem carbon cycling to global climate change [J]. Nature, 1998,393:249-252.

[19] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳循环及其全-球意义 [M]//王庚辰,温玉璞. 温室气体浓度和排放监测及-相关过程. 北京:中国环境科学出版社,1996:129-139.
Fang J Y,Liu G H,Xu S L. Carbon cycle in China terrestrial ecosystem and its significance to the globe [M]//Wang G C, Wen Y P. Concentration,monitoring leaking and interrelated process of greenhouse gases. Beijing: China environmental publishing company,1996:129-139. (in Chinese)

[20] Post W M,King A M,Wullschleger S D. Soil organic matter model and global estimates of soil organic carbon [C]// Powl-son D S,McGill W B,Jensen L S,et al. Evaluation of soil or-ganic matter models. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 1996:201-224.

(上接第 155 页)

[24] 沈海龙. 植物组织培养 [M]. 北京:中国林业出版社,2005.
Shen H L. Plant tissue culture [M]. Beijing:China Forestry Press,2005. (in Chinese)

[25] 臧运祥,郑伟尉,孙仲序,等. 植物胚状体发生过程中主要代谢-产物变化动态研究进展 [J]. 山东农业大学学报:自然科学-版,2004,35(1):131-136
Zang Y X,Zheng W W,Sun Z X,et al. Recent advance of dy-namic changes of metabolic products during plants's somatic embryogenesis [J]. Journal of Shandong Agricultural Univer-sity:Natural Science Edition,2004,35(1):131-136. (in Chi-nese)

[26] 高述民,陆帼一,杜慧芳. 大蒜体细胞胚发育分化中特异蛋白-和某些生理生化变化 [J]. 植物生理学通讯,2001,37 (3): 207-210.
Gao X M,Lu G Y,Du H F. Some special proteins and several variations of physiology and biochemistry during garlic somat-ic embryogenesis [J]. Plant Physiology Communications, 2001,37(3):207-210. (in Chinese)

[27] Hilde W,Christian L,Christine T,et al. Differential expres-sion of catalase genes in Nicotiana plumbaginifolia(L.) [J]. P Natl Acad Sci USA,1994,91:10450-10454.