

宁南山区不同土地利用方式土壤有机碳特征研究

刘梦云<sup>1</sup>, 安韶山<sup>1,2</sup>, 常庆瑞<sup>1</sup>

( 1. 西北农林科技大学资源环境学院;  
2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 在宁夏固原上黄试验区, 对灌木林地、农地、天然草地、果园和人工草地 5 种土壤的化学性质进行了分析, 探讨了土地利用方式对土壤有机碳的影响。结果表明: ① 表层土壤有机碳含量表现为天然草地> 灌木林地> 农地> 人工草地> 果园; ④灌木林地和果园土壤有机碳含量随土层加深而变化幅度较小, 而天然草地、人工草地和农地随土层加深而递减的幅度较大; ④0~20 cm 天然草地和灌木林地的有机碳密度普遍偏高, 而农地、果园和人工草地则均较低; 而 20~40 cm 和 0~40 cm 的土层内土壤有机碳密度相比之下灌木林地、农地和天然草地相差不大, 而果园和人工草地相对较低。

关键词: 宁夏固原; 土地利用方式; 有机碳含量; 剖面变化; 有机碳密度

中图分类号: S 153.61; F301.24 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2005)03-0047-03

Features of Soil Organic Carbon Under Different  
Land Use in Mountain Area of Southern Ningxia

LIU Meng-yun<sup>1</sup>, AN Shao-shan<sup>1,2</sup>, CHANG Qing-rui<sup>1</sup>

( 1. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry;  
2. Institute of Soil and Water Conservation, CA S & M WR, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

**Abstract:** In Shanghuang, Guyuan experimental region of Ningxia, bush forest land, farmland, natural meadow, orchard and artificial meadow were researched. Soil organic C under different usage modes were researched. The results were shown: ① the content of organic C was natural meadow > bush forest land > farmland > artificial meadow > orchard in top layer; ④the content of organic C of bush forest land and orchard land decrease slowly, but farm land, natural meadow and artificial meadow decrease rapidly as depths of profile increases; ④the organic C density of natural meadow and bush forest land is higher than farmland, artificial meadow and orchard at large in 0~20 cm; while the organic C density of natural meadow, bush forest land and farmland is higher than artificial meadow and orchard in 20~40 cm and 0~40 cm.

**Key words:** Guyuan in Ningxia; land usage modes; the content of organic C; profile property; organic C density

陆地生态系统碳循环是导致全球气候变暖的重要因素之一<sup>[3,4]</sup>。而土地利用变化是影响陆地生态系统碳循环的最大因素之一, 也是仅次于化石燃料燃烧而使大气中 CO<sub>2</sub> 浓度急剧增加的最主要的人为活动<sup>[2]</sup>。据估计, 从 1850~1998 年, 已有 136±55×10<sup>9</sup> t 碳通过土地利用变化从陆地生态系统中(包括土壤和植被)排放到大气中, 占目前大气中已增加的 CO<sub>2</sub> 数量的 33%<sup>[2]</sup>。

另外, 土壤碳库在受到土地利用变化的影响后, 既可能变成大气中 CO<sub>2</sub> 的“源”(如森林破坏变成农田), 也可能变成“汇”(如森林恢复和农田中造林)。据估计, 从 1850~1998 年, 从土壤中排放的 CO<sub>2</sub> 数量按碳计约 136±55×10<sup>9</sup> t<sup>[2]</sup>。而这

些排放出来的碳又能通过合理的土地利用方式而重新被吸收到土壤中。因此, 合理地利用土地可以有效合理地吸收大气中的 CO<sub>2</sub><sup>[2]</sup>。我国是一个土地利用变化巨大的国家, 尤其在西北的黄土高原暖温带林区, 几千年的人类活动已经使土地利用发生了很大变化, 近些年又开展大规模的退耕还林还草, 这些活动必然将对土壤碳产生一定的影响<sup>[2]</sup>。本文选择宁夏固原上黄试验区为研究地点, 该地点从“六五”到“九五”均采取了不同程度、不同种类的植被覆盖措施, 通过测定分析典型灌木林、农田、天然草地、果园和人工草地等土地利用方式土壤有机碳含量和土壤有机碳密度进行初步研究, 为土壤—气候—环境形成良好的效应提供一些科学依据。

<sup>1</sup> 收稿日期: 2004-12-22  
基金项目: 国家自然科学基金(40461006); 国家“十五”科技攻关项目(2001BA606A-04); 西北农林科技大学优秀人才专项基金(04ZX011)  
作者简介: 刘梦云(1973-), 女, 讲师, 陕西蒲城人, 在读博士, 主要从事土地资源与地理信息系统研究。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究地点概况

研究区位于宁夏回族自治区固原市东部黄土丘陵区的河川乡上黄村,属泾河水系支流小川河的中游。下伏基岩为中生代砂岩(只在主河道少量出露),第三纪晚期红土和第四纪新老黄土先后堆积其上。地处东经 106°26′~106°30′,北纬 35°59′~36°03′,总土地面积 7.6 km<sup>2</sup>。海拔 1 534.3~1 822 m,年均降水量 420 mm,属半干旱温带季风气候。试区沟坡地占 90%,平缓台地仅占 8%,而且 51%的土地坡度在 15°~20°之间。研究区的土壤类型主要是黑垆土和黄绵土。覆被类型为灌木林地、农地、天然草地、人工草地和果园,其中主要植物种类有:柠条、山桃、山杏、百里香、梭草、麻蒿、长芒草、苜蓿、小麦、玉米、荞麦等。

### 1.2 研究方法

土地利用变化对土壤有机碳的影响可通过测定不同时期的同一土地利用方式下重复采样分析,这种方法需要较长时间和其他较严格的环境条件,不易于操作。本文主要对地形环境相近、土壤类型相同的不同土地利用方式的土样从剖面变化、有机碳含量以及碳密度进行研究。所采用的方法为间接方法包括相邻样地比较(Paired sites)和空间代替时间的方法(Chronosequence),这些方法需要的时间较短、易于操作,为大多数研究者使用。本研究鉴于研究区的土地利用变化没有准确的时间记载和系统的研究,也采用相邻样地比较的方法。

为了减少地形及气候差异,在相近的土壤环境条件下选取供试材料,依据不同土地利用现状——果园、人工草地、天然草地、灌木林及农地,选取典型地块设置土壤剖面,各剖面均按发生层次分层采集土壤样品。土样在秋末采集。除去凋落层后,挖土壤剖面,用 100 cm<sup>3</sup> 环刀测容重。以 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>(外加热)测有机碳含量。土壤密度根据土壤容重计算得到(kg/m<sup>3</sup>)。研究区域土壤物理环境见表 1 所示。

表 1 研究区域土壤物理环境

土样	地点	地形	坡度/°	海拔	植被类型	种植年限/年	土壤类型	母质
SH-1	基点西	坡地	14	1 670	柠条	18	黄绵土	黄土
SH-2	基点西	坡地	22	1 640	山桃 柠条	32	黄绵土	黄土
SH-3	东山顶	坡顶	5	1 680	农地		黄绵土	黄土
SH-4	东山坡	坡中部	27	1 670	柠条	10	黄绵土	黄土
SH-5	东山坡	坡中部	18	1 630	天然草地		黄绵土	黄土
SH-6	东山坡	坡中部	8.5	1 690	苜蓿	8	黄绵土	黄土
SH-7	南台	台地		1 575	苹果	15	淡黑垆土	黄土
SH-8	北台	北台		1 570	小麦		淡黑垆土	黄土
SH-9	北台	北台		1 580	果园	8	淡黑垆土	黄土
SH-10	基点北	梯田	3	1 635	小麦		淡黑垆土	黄土
SH-11	生态场	坡顶		1 675	天然草地		黄绵土	黄土
SH-12	公路南	台地		1 560	梨树	2	黄绵土	黄土
SH-13	公路南 河川	河川地			玉米		黄绵土	冲积土

## 2 结果与分析

### 2.1 土地利用方式对土壤有机碳含量的影响

#### 2.1.1 不同土地利用方式下土壤有机碳含量

土地利用变化影响土壤有机碳的输入和输出,而输入和输出又决定了土壤有机碳的含量。表 2 显示,在 0~20 cm 的

土层,各土地利用方式土壤有机碳平均含量表现为天然草地>灌木林地、农地、人工草地和果园分别高 16%、16.6%、42% 和 90%;灌木林地与农地表层平均值相差无几,而比果园高 64%,比人工草地高 22%。在 20~40 cm 的土层,则表现为灌木林地>天然草地>农地>人工草地>果园,天然草地与农地相差不多,而人工草地与果园最低且含量水平相当。这是由于研究区天然草地生长状况良好,草被种类多,均属一年生植物,每年枯落物全部回归土壤,根系数量多,且广泛分布于地表下,因而有机碳含量高。灌木林地也因年枯落物多有机碳含量高,而研究区内人工草地多种植苜蓿,苜蓿属多年生草本植物,地上部分多被割走,补充土壤养分的根系也不足,导致人工草地反而有机质含量较低。果园属多年生木本植物,而且年枯枝落叶量少,也形成了较低的有机质含量。同时,可能由于耕作土壤温度高使土壤有机碳分解速度快而破坏了土壤有机碳的稳定性并加大了渗透量等。另外,农地也表现出较高的土壤有机碳含量,这与农地多施有机肥的有关。

表 2 不同土地利用方式土壤有机碳的含量

土地利用方式	土层	有机碳		容重	
		平均/(g·kg <sup>-1</sup> )	变异系数	平均/(g·cm <sup>-3</sup> )	变异系数
灌木林地	0~20	8.31±3.69	0.44	1.14±0.00	0.00
	20~40	6.84±4.26	0.62	1.39±0.23	0.16
农地	0~20	8.27±4.37	0.51	1.19±0.05	0.04
	20~40	6.15±1.52	0.24	1.26±0.12	0.09
天然草地	0~20	9.63±2.64	0.27	1.17±0.06	0.05
	20~40	6.28±2.52	0.40	1.08±0.13	0.12
果园	0~20	5.07±0.33	0.07	1.23±0.09	0.07
	20~40	4.45±0.79	0.18	1.30±0.06	0.04
人工草地	0~20	6.79		1.16	-
	20~40	4.93		1.19	-

#### 2.1.2 土壤有机碳含量随土层深度的变化

土地利用变化同时也影响土壤有机碳含量在土壤剖面上的分布。表 2 显示,灌木林地和果园土壤有机碳含量随土层加深而变化幅度较小,降低幅度分别为 17.69% 和 12.23%,而天然草地、人工草地和农地随土层加深而递减的幅度较大,变化幅度分别为 34.79%、27.39% 和 25.63%。这可能由于草本植被根系分布浅,土壤有机碳分布输入量上下差异明显造成的,而农地由于其特殊的施肥管理制度故而形成这种现象;灌木林地植被种类多,不仅表层有充足的有机碳输入量,而且根系分布深广,形成了整个土壤剖面有机碳含量均较丰富的结果,而果园有机碳输入量在整个剖面上均较少。综上所述,天然草地可迅速增加土壤有机碳的含量,灌木林地有提高整个土壤剖面有机碳的功能,这也为土壤-环境中的 CO<sub>2</sub> 的循环提供了一个事实依据,即天然草地和灌木林地有有效吸收大气中 CO<sub>2</sub> 的功能。

### 2.2 土地利用方式对土壤有机碳密度的影响

#### 2.2.1 土壤有机碳的平均密度计算公式

土壤有机碳密度是指单位体积土壤中的有机碳质量,它由土壤有机碳含量和土壤容重计算得到的。由于排除了面积因素和影响而以土体体积为基础来计算,土壤碳密度已成为评价和衡量土壤中有机碳储量的一个极其重要的指标<sup>[1]</sup>。

某一土层的有机碳密度 SOC<sub>i</sub>(kg/m<sup>2</sup>) 计算公式如下<sup>[1]</sup>:

$$SOC_i = C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \tag{1}$$

式中:  $C_i$ ——土壤有机碳含量( % );  $D_i$ ——容重(  $\text{kg}/\text{m}^3$  );  $E_i$ ——土层厚度(  $\text{cm}$  );  $G_i$ ——大于 2 mm 的石砾所占的体积百分比( % )。

如果某一土体的剖面由 K 层组成, 那么该剖面的有机碳密度的计算公式为:

$$SOC_i = \sum_{i=1}^k SOC_i = \sum_{i=1}^k C_i D_i E_i (1 - G_i) / 10 \quad (2)$$

表 3 研究区土壤有机碳密度变化状况

土地利用方式	土样	0 ~ 20 cm			20 ~ 40 cm			0 ~ 40 cm 土层	
		有机碳含量	容重/	有机碳密度	有机碳含量	容重	有机碳密度	有机碳密度	
		$/(g \cdot kg^{-1})$	$(g \cdot cm^{-3})$	$(kg \cdot m^{-2})$	$/(g \cdot kg^{-1})$	$/(g \cdot cm^{-3})$	$/(kg \cdot m^{-2})$	$/(kg \cdot m^{-2})$	
灌木林地	SH- 1	4. 06	1. 2	0. 97	5. 57	1. 53	1. 7	2. 67	
	SH- 2	10. 15	1. 12	2. 27	11. 6	1. 51	3. 5	5. 77	
	SH- 4	10. 73	1. 1	2. 36	3. 36	1. 13	0. 76	3. 12	
	SH- 3	15. 02	1. 1	3. 3	7. 31	1. 11	1. 62	4. 92	
农地	SH- 8	5. 74	1. 14	1. 31	5. 57	1. 24	1. 38	2. 69	
	SH- 10	7. 08	1. 23	1. 74	7. 71	1. 34	2. 07	3. 81	
	SH- 13	6. 21	1. 20	1. 49	6. 9	1. 37	1. 89	3. 38	
天然草地	SH- 5	12. 3	1. 12	2. 76	8. 58	0. 98	1. 68	4. 44	
	SH- 11	9. 57	1. 21	2. 32	3. 6	1. 17	0. 84	3. 16	
	SH- 7	5. 16	1. 25	1. 29	4. 93	1. 24	1. 22	2. 51	
果园	SH- 9	4. 7	1. 31	1. 23	3. 54	1. 29	0. 91	2. 14	
	SH- 12	5. 34	1. 13	1. 21	4. 87	1. 36	1. 32	2. 53	
人工草地	SH- 6	6. 79	1. 16	1. 58	4. 93	1. 19	1. 17	2. 75	

由表 3 可以看出, 0 ~ 20 cm 深度内天然草地和灌木林地的有机碳密度普遍偏高, 而果园和人工草地则均较低, 农地由于大量培施有机肥料, 因而个别土样的有机碳密度显得很高, 但总体水平较低。充分说明了天然草地和灌木林地能够大量有效地吸收碳, 而其他利用方式则相比来说这种功能较差。在 20 ~ 40 cm 的土层内土壤有机碳密度相比之下除灌木林地的个别土样特别高以外, 灌木林地、农地和天然草地相差不大, 而果园和人工草地相对较低; 在这一层次上, 总体差别较大, 充分说明了土壤对于碳的蓄积能力的不同。0 ~ 40 cm 深度土壤有机碳密度表现为灌木林地、农地和天然草地较高, 而果园和人工草地较低, 由此可以看出, 果园和人工草地相比之下不利于碳的吸收和蓄积, 但农地由于需要大量培施有机肥和其他肥料, 所以土壤中的有机碳来源不全是吸收空气中的 CO<sub>2</sub> 转化来的。因此, 可以得出结论, 对于 CO<sub>2</sub> 的吸收功能来说, 灌木林地和天然草地是较佳的利用方式。

### 3 讨 论

由于石化燃料的大量使用和土地利用变化, 大气中的 CO<sub>2</sub> 浓度已由工业革命前的 280 ml/m<sup>3</sup> 上升到现在的 360 ml/m<sup>3</sup>, 而且目前每年仍以 0. 5 ml/m<sup>3</sup> 的速度快速增加。预计未来 100 a 这种趋势将会继续, 甚至可能变得更为强烈<sup>[5, 6]</sup>。CO<sub>2</sub> 在大气层中的积累引起了全球变暖、降水格局改变和海平面上升等全球性问题的发生, 威胁着全球生态环境和人类自身生存与发展, 因而引起国际社会普遍关注<sup>[5, 6]</sup>。在维护区域生态环境和全球碳平衡方面, 森林生态系统起着极其重要的作用<sup>[7 ~ 9]</sup>。减少森林破坏、增加森林面积等森林管理措施可以增加森林植被和土壤的碳贮存量, 从而减缓 CO<sub>2</sub> 在大气中的积累速度<sup>[5, 8, 9]</sup>。尽管全球森林土壤碳库是其植被碳库的两倍多<sup>[1, 9, 10]</sup>, 但人们更多的把这种作用归功于森

2. 2. 2 不同土地利用方式土壤有机碳的平均密度

对于研究地区来说, 土壤中的石砾含量很少, 可忽略不计。另外, 由于研究地区的土层只有 40 cm 以上的资料齐全, 因此本文只就 40 cm 以上的土层的碳密度作以研究。0 ~ 20 cm 以及 20 ~ 40 cm 土层有机碳密度  $SOC_{(0 \sim 20)}$  及  $SOC_{(20 \sim 40)}$  采用公式(1)进行计算, 0 ~ 40 cm 土层土壤有机碳密度  $SOC_{(0 \sim 40)}$  采用公式(2)计算, 可得出表 3 所示数据:

林植被生长过程的碳贮存<sup>[8, 9]</sup>, 而忽视了土壤的功效。这是因为土壤是个非常复杂的三维体, 又是大气圈、水圈、岩石圈和生物圈共同作用的界面, 时空变异大, 估算土壤碳储量及其变化等存在很大的不确定性。此外, 人类活动的干扰, 如石化燃料使用、环境污染和土地利用变化等又是影响土壤碳库及其循环的因子, 这些因子也增加了精确估计的难度<sup>[11 ~ 13]</sup>。

许多研究表明森林变成农田或草地后土壤有机碳含量将发生一定的变化。如 Detwiler 指出, 热带森林转化为农田, 土壤有机碳含量降低 40%, 变成草地降低 20%; Motavalli 指出, 热带次生林破坏开垦为农田后, 土壤有机碳含量下降 44%。而农田或草地中造林后土壤有机碳含量将发生显著变化<sup>[2]</sup>。如 Lugo 等总结得出造林后土壤有机碳含量增加 100% 以上; Schiffman 和 Johnson 得出农田弃耕后土壤有机碳含量增加 35%; Wilde 发现造林 50 年后 0 ~ 15 cm 土层的土壤有机碳含量增加 300% ~ 400%<sup>[2]</sup>。因此, 大部分结果显示, 造林后土壤有机碳含量明显增加, 而森林砍伐变成农田则有机碳含量存在明显降低趋势。

虽然本文没有直接研究土地利用方式的转变对于有机碳的储量以及密度的影响, 但是从侧面也表明了不同土地利用方式土壤有机碳的含量和密度存在明显差别。另外, 不同地区土地利用方式的改变对于有机碳的影响也不一致, 有的区域影响大些, 有的小些, 总体来说, 退耕还林还草有利于土壤对于 CO<sub>2</sub> 的吸收, 可增加有机碳的储量, 能有效改良环境, 而毁林毁草造田则相对地会降低土壤有机碳的储量, 致使相比之下大气中的 CO<sub>2</sub> 含量有所增加。土壤- 大气- 环境之间是可以相互影响、可以相互调节以及相互消长的, 因此, 任何一方的改良和恶化都会牵扯到其他两个方面状况的

( 下转第 114 页)

RGBA 值。

纹理映射技术可以将任意的平面图形或图象覆盖到物体表面(此处物体表面即为地形三维模型)上,在物体表面上形成真实的颜色纹理。在计算机图形学中,纹理被定义成一光亮度函数,纹理函数可以是一维(定义域是一条曲线)、二维(定义域是一个曲面)或是高维的。

最常用的为二维光亮度函数,也可以由一个数学模型定义或由一幅平面图象定义。

对于本项研究而言,纹理函数由一个二维图象阵列——数字正射影像图数据来定义,由于这是一个离散的栅格数据,因此在映射之前,需要在纹理空间( $U, V$ )用这些离散数据构造连续的纹理函数 $f(U, V)$ 。最简单易行的办法是对栅格数据进行双线性内插(bilinear interpolation)。首先将纹理映射到三维地面,然后再映射到屏幕图象。

参考文献:

[1] Al Gore. The Digital Earth: Understanding Our Planet in the 21st Century[ R]. Los Angeles: the California Science Center, 1998.

[2] 朱显谟,田积莹. 强化黄土高原土壤抗冲性和入渗性[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 7– 10.

[3] 李壁成. 小流域水土流失与综合治理遥感监测[ M]. 北京: 科学出版社, 1995.

[4] 张永生,等. 集成化数字摄影测量工作站软件、硬件及其使用[ M]. 北京: 星球地图出版社, 1998.

[5] 廖朵朵,张华军. OpenGL 三维图形程序设计[ M]. 北京: 星球地图出版社, 1996.

[6] 吴海平,等. OpenGL 图形程序设计及应用环境[ M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.

[7] 李世华,李壁成,胡月明. 黄土高原小流域景观虚拟现实技术研究与应用[J]. 水土保持通报, 2003, 23(5): 46– 49.

(上接第 49 页)

改变。当然,对于 CO<sub>2</sub> 的流向可以进行动态的检测,从这三个方面综合地去研究、去考虑。

参考文献:

[1] 解宪丽,孙波,等. 中国土壤有机碳密度和储量的估算[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 35– 43.

[2] 吴建国,张小全,等. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 593– 599.

[3] 孙维侠,史学正,等. 我国东北地区土壤有机碳密度和储量的估算研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 298– 300.

[4] 方运霆,莫江明,等. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳贮量和分配特征[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 135– 142.

[5] IPCC. Land use, land-use change, and forestry, Summary for Policymakers, a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[EB]. Geneva, Switzerland, 2001. 1– 20. Available from <http://www.Ipcc.ch/Pub/srlulucf-e.pdf>.

[6] IPCC. Climate change 2001. The science of climate change. Summary for policymakers a report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change[EB]. Geneva, Switzerland, 2001. 1– 98. Available from <http://www.Ipcc.ch/pub/spm2-01.pdf>.

[7] Brown S and Lugo A E. Storage and Production of organic matter in tropical forests and their role in the global carbon cycle[J]. Biotropic, 1982, 14: 161– 187.

[8] Brown S, Sathaye J, Cannell M, et al. Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions[A]. In: Watson R T, Zinyowera M C, and Moss R H, eds. Climate change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific– Technical Analyses[ M]. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 1996.

[9] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon Pools and flux of global forest system[J]. Science, 1994, 263: 185– 190.

[10] 周玉荣,于振良,赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518– 522.

[11] Sampson R N, Apps M, Brown S. Terrestrial biosphere carbon fluxes quantification of sinks and sources of CO<sub>2</sub>[J]. Water Air and Soil Pollution, 1993, 70: 3– 15.

[12] Sombroek W G, Nachtergaele F O, Hebel A. Amount, dynamics and sequestrating of carbon in tropical and subtropical soils[J]. Ambio 1993, 22(7): 417– 426.

[13] 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.