

# 黄土区人工与天然植被对凋落物量和土壤有机碳变化的影响

郭胜利<sup>1,2</sup> 马玉红<sup>2</sup> 车升国<sup>1,2</sup> 孙文义<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所 杨凌 712100)

**摘要:** 在黄土丘陵区选择从耕地、草地、灌木林到乔木林样地,不同样地内设立 1 m × 1 m (乔木 10 m × 10 m) 的样方,分析样方内凋落物积累量、碳氮含量、土壤有机碳 (SOC) 和可溶性碳 (DOC) 含量变化。结果表明:天然草地、灌木林、乔木林凋落物积累量依次为 5.3、12.1 和 32.4 t · hm<sup>-2</sup>; 但人工灌木林和乔木林的凋落物积累量分别为 6.7 和 11.4 t · hm<sup>-2</sup>, 分别是天然灌木林和乔木林的 1/2 和 1/3。随着植被的恢复,天然植被凋落物的 C/N 高于人工植被 (刺槐林除外)。与耕地 SOC (4.67 g · kg<sup>-1</sup>) 相比,天然灌木林地 SOC 提高 5.9 倍,人工灌木林地提高 1.8 倍;天然乔木林地提高 8.0 倍,而人工乔木林地仅提高 4.0 倍。凋落物积累量与 0~20 cm 土层土壤有机碳存在显著线性相关关系 ( $R^2 > 0.83$ ),但 20 cm 以下线性相关关系不显著。凋落物积累量与 0~10 cm 土壤可溶性碳含量存在显著线性相关关系 ( $R^2 > 0.893$ ),与 10~60 cm 土层线性相关关系不显著,与 80~100 cm 土壤可溶性碳存在显著线性负相关关系。

**关键词:** 天然植被; 人工植被; 凋落物; 土壤有机碳; 土壤可溶性碳

中图分类号: S718.55<sup>+</sup>4 文献标识码: A 文章编号: 1001-7488(2009)10-0014-05

## Effects of Artificial and Natural Vegetations on Litter Production and Soil Organic Carbon Change in Loess Hilly Areas

Guo Shengli<sup>1,2</sup> Ma Yuhong<sup>2</sup> Che Shengguo<sup>1,2</sup> Sun Wenyi<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry Yangling 712100;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science Yangling 712100)

**Abstract:** Litter plays an important role in carbon flow between above ground and the soil, however there is little knowledge of relationship between litters and soil organic C under vegetation types. The objective of the present study was to quantify litter accumulation, and soil organic C in artificial and natural vegetations in the hilly region of Loess Plateau, China. A sampling grid was established from arable land, grassland, shrubland, and woodland on the Huangmian soil at the Yangou watershed. Three soil cores were collected in each sampling site. Soil samples were analyzed for organic C, dissolved C. All surface litter in 1 m × 1 m area was collected prior to soil sampling, dried, weighed, and analyzed for total C and N. The litter accumulation in the natural grassland, shrubland and woodland were 5.3, 12.1 and 32.4 t · hm<sup>-2</sup>, respectively, and the litter accumulation of artificial shrubland and woodland were just 6.7 and 11.4 t · hm<sup>-2</sup>. The natural vegetation's litter accumulation ranged from two to five times of artificial vegetation. Except pure Robinia crop, the C/N of natural vegetation is higher than that of the artificial vegetation. SOC content in grassland was as 3.1 times as that in arable land; natural shrubland and artificial shrubland were as 5.9 and 1.8 times as arable land, respectively; natural woodland and artificial woodland were as 8.0 and 4.0 times as arable land, respectively. In addition, there was a significant correlation between litter accumulation and SOC content of the soil layer from 0 to 20 cm, however not below 20. There was a significant correlation between litter accumulation and DOC content of the soil layer from 0 to 10 cm. The litter accumulation and SOC content of the soil layer from 10 to 60 cm was not significantly correlated. A negative significant correlation was found between litter accumulation and DOC content of the soil layer from 80 to 100 cm.

**Key words:** natural vegetation; replanted vegetation; litter; SOC; DOC

凋落物是生态系统的重要组成成分,它是联系土壤碳库和植物碳库的重要环节,对陆地生态系统碳循环具有重要影响(彭少麟等,2002;杨万勤等,2007)。全球每年通过凋落物分解归还到土壤中有

机碳大约为 50 Gt (Palviainen *et al.*, 2004)。生态系统中凋落物积累量的增加与土壤有机碳的提高是一致的(Sauer *et al.*, 2007),大部分新输入的有机碳首先在土壤表层进行分解周转(Arai *et al.*, 2007);而

收稿日期:2008-04-22。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(40771125),中科院“西部之光”项目的联合资助。

叶片凋落物的可溶性有机碳(DOC)对土壤 A 层的发育和 B 层有机碳的积累具有重要作用(Uselman *et al.*, 2007)。植被恢复措施不仅显著影响凋落物的积累量、性质(张希彪等, 2006; 庞学勇等, 2002; 杨玉盛等, 2004; 王清奎等, 2007; 毛艳玲等, 2008; 卢立华等, 2009), 而且显著影响土壤有机碳的积累速率(Abril *et al.*, 2001; Feral *et al.*, 2002; Evrendilek *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2002; 朱志诚, 1993; 马玉红等, 2007; 胡亚林等, 2005)。但至今, 凋落物对土壤有机碳的影响机制尚不十分清楚。

本文依据黄土区植被恢复治理区内天然和人工植被恢复系列, 研究了不同植被恢复条件下地表凋落物积累量、凋落物的碳氮组成变化, 0~100 cm 土层中土壤有机碳全量、可溶性有机碳组分含量分布以及地表凋落物与土壤有机碳之间的关系, 以期揭示植被恢复条件下, 地表凋落物与土壤有机碳的关系。此外, 这一研究对科学评价人工与天然植被的生态效应也具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验点概况

研究区域位于陕西省延安市燕沟流域和子午岭, 属典型的黄土高原丘陵沟壑区, 植被分区为黄土高原森林区与森林-草原区过渡带。年平均气温大约为 9.8℃, 无霜期约为 170 天, 大于 10℃ 积温 3 268℃, 多年平均降雨量为 558.4 mm。天然植被为次生林, 主要为辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)等。天然草地主要是白莲蒿(*Artemisia gmelinii*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)等。人工植被主要为刺槐(*Robinia pseudoacacia*)人工林、农作物等。该流域 1998 年开始了大规模的植被恢复建设, 具有天然和人工植被恢复序列。

### 1.2 样地选择与样方设置

2007 年 5 月中旬, 在这 2 个类型区内选取地形和地貌单元近似的治理坡段, 以人工和天然植被为序列, 选择样地, 设置样方。

燕沟流域: 为近年来黄土高原优先和重点水土流失治理区。选择 10 个天然植物样地和 8 个人工植物样地。每个样地设置 3 个样方。草地采用 1 m × 1 m 样方, 乔木林采用 10 m × 10 m 样方(下同)。

子午岭林区: 为目前黄土高原唯一保存完整的天然次生林地区。该天然次生林是 1866 年当地人口外迁后在弃耕地上逐渐恢复起来的。所在区域内, 生长有不同弃耕年限天然和人工植物群落。在天然植物样地上设置了 5 个样方和人工植物样地上

设置了 3 个样方。

### 1.3 凋落物和土壤样品的采集

1.3.1 地表凋落物的采集 各点以 GPS 定位, 植物群落调查采用陆地生物群落典型样方调查方法, 每个样地设置 3 个样方。草地样方, 调查草丛盖度、高度、种类等; 乔木林样地主要调查林木种类、郁闭度、胸径、密度生长状况等; 林下植物群落调查方法同草地; 对地表枯落物采用 1 m × 1 m 样方, 用网袋收集。共计采集凋落物样品 78 个, 其中, 人工植物系列的凋落物样品 36 个, 天然植物系列的凋落物样品 42 个。

1.3.2 土样的采集 在采集凋落物的样方内, 用直径为 3 cm 的土钻多点采集 0~5, 5~10, 10~15, 15~20, 20~40, 40~60, 60~80, 80~100 cm 土壤样品, 均重复 3 次; 用环刀法采集 0~20, 20~40, 40~60, 60~80, 80~100 cm 土样, 测定土壤密度。土壤样品 624 个, 其中人工植被条件下的土壤样品 288 个, 天然植被条件下的 336 个。

### 1.4 样品分析与数据处理

凋落物在 60℃ 烘 24 h, 称量, 以此估算单位面积上枯落物量, 粉碎后, 测定碳( $H_2SO_4-K_2Cr_2O_7$  外加法)和全氮(凯氏定氮法)含量。

采回的新鲜土样混合均匀后, 风干, 磨细过 1 mm 筛后, 测定土壤可溶性碳( $0.5 mol L^{-1} K_2SO_4$  溶液浸提, 土液质量体积比 1:4, 振荡 30 min, 浸提液上机测定)。风干样过 0.25 mm 筛后, 测定土壤有机碳( $H_2SO_4-K_2Cr_2O_7$  外加法)、全氮(凯氏定氮法)含量。

数据方差分析采用 SAS 软件(SAS 6.12), 当  $F$  检验显著时, 进行均值间 LSD 显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 植被恢复类型对地表凋落物积累量及其 C/N 的影响

由表 1 可以看出, 开垦利用条件下(坡耕地), 由于植物地上部分被取走, 地表很少见到凋落物积累( $0.1 t \cdot hm^{-2}$ )。退耕还林还草后, 地表凋落物的积累量大幅度提高, 但不同恢复植被类型对凋落物积累量的影响不同。天然植被恢复过程中, 草地凋落物积累量为  $3.0 \sim 8.5 t \cdot hm^{-2}$ , 平均为  $5.3 t \cdot hm^{-2}$ ; 天然灌木群落凋落物量为  $3.7 \sim 15.8 t \cdot hm^{-2}$ , 平均为  $12.1 t \cdot hm^{-2}$ , 较草地提高 129% ( $P > 0.05$ ); 天然乔木群落  $27.3 \sim 36.6 t \cdot hm^{-2}$ , 平均为  $32.4 t \cdot hm^{-2}$ , 较草地提高 511% ( $P < 0.05$ )。在人工植被恢复过程中, 牧草一般用于饲养圈养的牲畜, 地表仅存少量凋

落物,但人工灌木群落条件下,地表凋落物积累量变化于  $1.3 \sim 12.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,平均为  $6.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;人工乔木林群落条件下,地表凋落物积累量波动于  $3.1 \sim 15.3 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,平均为  $11.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,与人工灌木相比,

提高 70%。随着植被的恢复,除豆科植被刺槐林的 C/N 明显降低外,天然系列条件下凋落物的 C/N 由 35.9 提高到 69.2,人工系列条件下,由 20.3 提高到 68.4(表 1)。

表 1 黄土高原丘陵区不同植被条件下的凋落物量与土壤有机碳组分的变化

Tab. 1 Litter production and SOC fractions under different vegetations in Loess hilly areas

地点 Site	恢复方式 Restoration	植被类型 Vegetation type	凋落物 Litter/( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	凋落物碳氮比 C/N in litter	SOC/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	DOC/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
燕沟 Yangou	天然恢复 Natural vegetation	白羊草 <i>B. ischaemum</i>	0.1	49.5	$6.0 \pm 0.5$	$127.4 \pm 12.9$
		白莲蒿 1 <i>A. gmelinii</i> 1	6.1	69.2	$12.6 \pm 0.9$	$277.8 \pm 45.9$
		白莲蒿 2 <i>A. gmelinii</i> 2	8.5	54.5	$14.3 \pm 1.9$	$213.0 \pm 22.6$
		狼牙刺 <i>Sophora davidii</i>	3.7	36.2	$13.3 \pm 1.65$	$269.3 \pm 12.5$
		灰栒子 <i>Cotoneaster acutifolius</i>	15.6	39.8	$52.9 \pm 10.8$	$486.9 \pm 49.6$
		虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>	15.8	36.5	$41.8 \pm 1.9$	$420.0 \pm 50.7$
		黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i>	15.7	60.5	$13.8 \pm 6.0$	$267.1 \pm 46.5$
	人工恢复 Artificial vegetation	辽东栎 1 <i>Q. liaotungensis</i> 1	36.6	52.2	$46.8 \pm 8.0$	$500.1 \pm 33.4$
		辽东栎 2 <i>Q. liaotungensis</i> 2	30.1	49.5	$25.0 \pm 0.7$	$307.0 \pm 68.3$
		苹果 <i>Malus pumila</i>	0.1	17.7	$4.3 \pm 0.1$	$68.4 \pm 28.6$
		柠条 <i>Caragana korshinskii</i>	1.3	29.7	$5.8 \pm 0.6$	$101.8 \pm 3.1$
		沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	12.3	20.3	$12.6 \pm 4.5$	$221.6 \pm 25.0$
		仁用杏 <i>Amniaca vulgaris</i>	6.4	68.4	$10.5 \pm 1.9$	$235.8 \pm 10.5$
		刺槐 1 <i>R. pseudoacacia</i> 1	3.1	68.2	$9.1 \pm 1.6$	$201.5 \pm 37.1$
子午岭 Zwuling	天然恢复 Natural vegetation	刺槐 2 <i>R. pseudoacacia</i> 2	15.3	30.6	$19.9 \pm 0.5$	$172.1 \pm 63.7$
		刺槐 3 <i>R. pseudoacacia</i> 3	8.6	42.8	$25.2 \pm 1.2$	$511.8 \pm 46.6$
		小叶杨 <i>Populus simonii</i>	11.8	52.4	$15.3 \pm 2.1$	$255.7 \pm 64.2$
		雀麦 <i>Bromus japonicus</i>	3.0	35.9	$28.3 \pm 1.9$	$521.5 \pm 8.4$
	人工恢复 Artificial vegetation	猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>	3.4	59.9	$9.5 \pm 1.2$	$162.0 \pm 14.3$
		鼠李 <i>Rhamnus davurica</i>	9.8	50.1	$15.8 \pm 0.8$	$353.1 \pm 8.4$
		辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>	27.3	57.7	$45.8 \pm 8.3$	$1396.1 \pm 516.8$
人工恢复 Artificial vegetation	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	35.5	41.3	$32.1 \pm 5.8$	$379.7 \pm 14.4$	
	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	11.7	35.9	$26.5 \pm 2.9$	$358.7 \pm 8.9$	
	小叶杨 <i>P. simonii</i>	9.0	48.9	$9.6 \pm 0.8$	$147.3 \pm 19.3$	
		刺槐 <i>R. pseudoacacia</i>	20.5	22.6	$19.5 \pm 5.2$	$257.1 \pm 13.6$

## 2.2 植被恢复类型对表层及剖面土壤有机碳、可溶性碳的影响

天然植被和人工植被恢复过程中,土壤有机碳含量均呈提高趋势(图 1),但提高的幅度不同。与耕地(SOC 为  $4.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )相比,天然草被类型土壤有

机碳含量( $14.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )提高 3.1 倍;天然灌木类型( $27.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )提高 5.9 倍,人工灌木类型( $8.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )仅提高 1.8 倍;天然乔木类型( $37.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )提高 8.0 倍,而人工乔木群落( $18.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )仅提高 4.0 倍。上述结果表明,随着

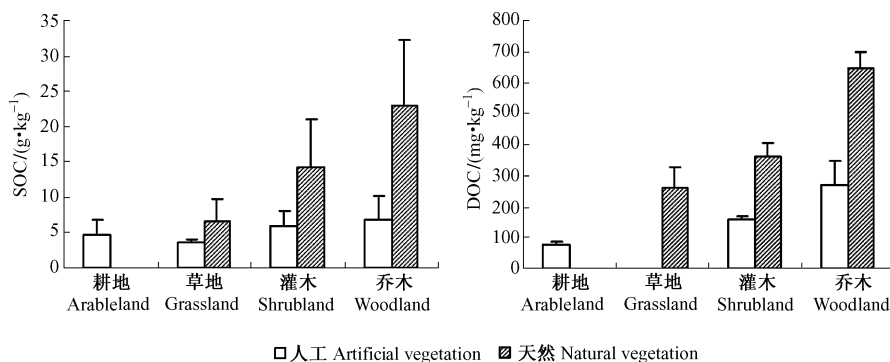


图 1 植被类型对表层(0~20 cm)土壤有机碳、可溶性碳含量的影响

Fig. 1 Effects of vegetation types on SOC and DOC in 0~20 cm soil depth

植被的恢复, 表层土壤有机碳含量会提高 1.8 ~ 8.0 倍; 但相同条件下天然恢复的植被类型土壤有机碳含量为人工恢复植被类型的 2 ~ 3 倍。土壤可溶性有机碳与土壤有机碳表现出相似的变化规律(图 1)。这些结果表明, 植被的天然恢复对土壤有机碳的影响比人工植被的效果更显著。

不同植被类型条件下, 土壤有机碳和可溶性碳含量随着土层深度的增加而逐渐降低(表 2, 3), 但同一剖面中, 40 cm 以下土壤有机碳和可溶性碳含量差异并不显著, 即使不同植被条件下, 40 cm 以下土层有机碳含量也不因植被类型而存在显著差异, 而辽东栎深层土壤可溶性有机碳含量反倒最低(表 3)。

表 2 植被类型对 0 ~ 100 cm 土层 SOC 的影响

Tab. 2 Effects of vegetation types on SOC in 0 ~ 100 cm soil depth

土层 Soil layer/cm	SOC/(g kg <sup>-1</sup> )				LSD <sub>0.05</sub>
	白羊草 <i>B. ischaemum</i>	白莲蒿 <i>A. gmelinii</i>	人工刺槐 <i>R. pseudoacacia</i>	辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>	
0 ~ 5	6.0 ± 0.5	14.3 ± 2.0	19.9 ± 0.5	46.8 ± 12.9	13.6
5 ~ 10	5.4 ± 0.2	9.6 ± 1.3	10.7 ± 2.2	19.2 ± 1.5	2.2
10 ~ 15	5.2 ± 0.3	6.8 ± 0.4	7.47 ± 1.223	9.9 ± 2.2	2.7
15 ~ 20	4.1 ± 0.3	6.0 ± 0.3	6.37 ± 0.6	6.7 ± 0.5	0.9
20 ~ 40	3.6 ± 0.5	5.5 ± 0.2	6.3 ± 1.2	5.7 ± 1.3	1.9
40 ~ 60	2.8 ± 0.2	3.1 ± 0.4	3.4 ± 0.5	3.3 ± 0.5	0.9
60 ~ 80	2.8 ± 0.4	3.0 ± 0.2	2.8 ± 0.7	2.9 ± 0.4	0.9
80 ~ 100	2.6 ± 0.2	2.6 ± 0.5	3.3 ± 0.5	2.6 ± 0.3	0.8
LSD <sub>0.05</sub>	0.5	1.3	1.9	9.0	

表 3 植被类型对 0 ~ 100 cm 土层土壤可溶性碳的影响

Tab. 3 Effects of vegetation types on DOC in 0 ~ 100 cm soil depth

土层 Soil layer/cm	DOC/(mg kg <sup>-1</sup> )				LSD <sub>0.05</sub>
	白羊草 <i>B. ischaemum</i>	白莲蒿 <i>A. gmelinii</i>	人工刺槐 <i>R. pseudoacacia</i>	辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>	
0 ~ 5	127.1 ± 12.9	213.0 ± 22.6	172.1 ± 63.7	500.1 ± 33.4	68.6
5 ~ 10	118.6 ± 13.7	150.2 ± 13.1	154.4 ± 3.3	253.9 ± 8.1	18.8
10 ~ 15	95.1 ± 8.0	109.9 ± 22.6	136.0 ± 4.6	117.7 ± 16.8	31.3
15 ~ 20	92.9 ± 12.8	100.7 ± 39.4	127.0 ± 10.1	84.2 ± 13.7	41.6
20 ~ 40	82.7 ± 8.0	80.7 ± 26.3	121.8 ± 29.0	60.1 ± 7.6	38.3
40 ~ 60	67.6 ± 1.6	52.3 ± 4.4	70.6 ± 8.2	36.7 ± 6.1	10.6
60 ~ 80	58.5 ± 4.1	48.1 ± 4.5	48.0 ± 12.1	33.8 ± 4.0	13.3
80 ~ 100	51.2 ± 1.8	37.1 ± 6.5	44.7 ± 5.6	19.8 ± 3.0	8.7
LSD <sub>0.05</sub>	15.8	36.3	41.2	23.2	

### 2.3 凋落物积累量对表层及剖面土壤有机碳、土壤可溶性碳的影响

凋落物量与土壤有机碳和土壤可溶性碳存在线性相关关系, 表明凋落物是影响土壤有机碳积累的重要因素(图 2)。其次, 在 0 ~ 100 cm 的剖面内, 各

土层的有机碳含量与凋落物量之间的关联度( $R^2$ )从 0 ~ 5 cm 土层的 0.993 减小到 20 ~ 40 cm 土层 0.353, 80 ~ 100 cm 土层的 0.001。这些结果表明, 地表凋落物的积累量对土壤有机碳含量的影响主要在 0 ~ 40 cm。各植被群落土壤可溶性碳含量在 0 ~

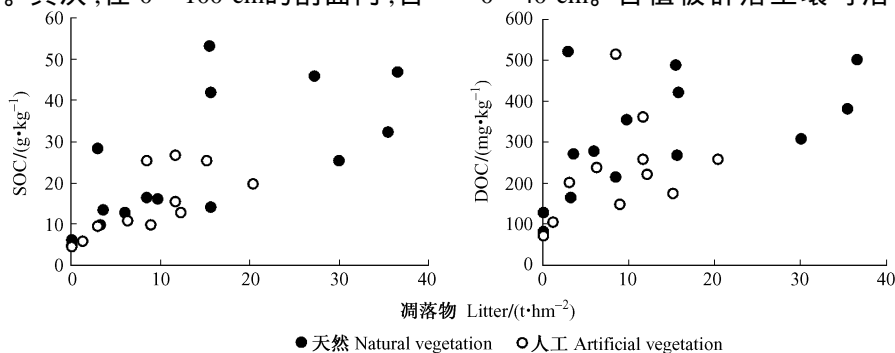


图 2 凋落物量对表层(0 ~ 20 cm)土壤有机碳及可溶性碳含量的影响

Fig. 2 Effects of litter production on SOC and DOC in 0 ~ 20 cm soil depth

10 cm土层随着生物量的增加而升高,关联度  $R^2$  为 0.893 和 0.95。在 10~60 cm土层土壤可溶性碳随着生物量的增加而降低,但关联度  $R^2$  很小。在 60~80,80~100 cm土层关联度 ( $R^2$ ) 为 0.952 和

0.843。这些结果表明,地表凋落物积累量对土壤可溶性碳的影响主要在 0~10 cm土层,二者呈显著的正相关,而 10~100 cm土层二者呈负相关,但减小的趋势不显著(表 4)。

表 4 凋落物量与 0~100 cm 剖面中有机碳,可溶性碳含量的相关关系

Tab. 4 Correlation between litter production and SOC,DOC in 0~100 cm soil depth

土层 Soil layer/cm	与 SOC 回归方程 Regression equation with SOC	$R^2$	与 DOC 回归方程 Regression equation with DOC	$R^2$
0~5	SOC = 1.126x + 4.71	0.993	DOC = 10.193x + 98.89	0.893
5~10	SOC = 0.355x + 5.98	0.990	DOC = 3.520x + 118.09	0.950
10~15	SOC = 0.128x + 5.54	0.993	DOC = 0.390x + 117.48	0.281
15~20	SOC = 0.039x + 5.45	0.827	DOC = - 0.364x + 107.26	0.098
20~40	SOC = 0.044x + 4.60	0.351	DOC = - 0.637x + 95.97	0.149
40~60	SOC = 0.012x + 2.97	0.506	DOC = - 0.768x + 68.44	0.590
60~80	SOC = 0.001x + 2.85	0.025	DOC = - 0.632x + 56.66	0.951
80~100	SOC = 0.001x + 2.76	0.001	DOC = - 0.798x + 50.25	0.841

### 3 结论

综上所述,在黄土丘陵地区,不同植物群落条件下的凋落物存在显著差异。人工植被的凋落物量仅为天然植被的 1/2 到 1/3。在植被恢复过程中,土壤有机碳含量得到大幅度提高。与耕地相比,天然草地土壤有机碳含量提高 3.1 倍;天然灌木林提高 5.9 倍,人工灌木林仅提高 1.8 倍;天然乔木林提高 8.0 倍,而人工乔木林仅提高 4.0 倍。凋落物的 C/N 由 35.9 提高到 69.2。人工条件下,凋落物的 C/N 由 20.3 提高到 68.4,并且天然植被高于人工植被。凋落物积累量与 0~20 cm土层土壤有机碳存在显著线性相关关系,拟合优度  $R^2$  达到 0.827 以上。20 cm以下线性相关关系不显著。凋落物积累量与 0~10 cm土壤可溶性碳含量存在显著线性相关关系,拟合优度  $R^2$  达到 0.893 以上,10~60 cm土层线性相关关系不显著,80~100 cm土层凋落物量与可溶性碳存在显著线性负相关关系。

### 参 考 文 献

胡亚林,汪思龙,黄宇,等. 2005. 凋落物化学组成对土壤微生物学性状及土壤酶活性的影响. 生态学报, 25(10): 2662 - 2668.  
 马玉红,郭胜利,杨雨林,等. 2007. 植被类型对黄土丘陵区土壤有机碳氮的影响. 自然资源学报, 22(1): 97 - 105.  
 毛艳玲,杨玉盛,邢世和,等. 2008. 细柄阿丁枫天然林与杉木人工林土壤水稳性团聚体有机碳比较. 华侨大学学报:自然科学版, 29(1): 106 - 110.  
 卢立华,蔡道雄,贾宏炎,等. 2009. 南亚热带 7 种林分凋落叶养分含量的年动态变化. 林业科学, 45(4): 1 - 6.  
 庞学勇,胡泓,乔永康,等. 2002. 川西亚高山云杉人工林与天然林养分分布和生物循环比较. 应用与环境生物学报, 8(1): 1 - 7.  
 彭少麟,刘强. 2002. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应. 生态学报, 22(9): 1534 - 1544.

王清奎,汪思龙,于小军,等. 2007. 杉木与阔叶树叶凋落物混合分解对土壤活性有机质的影响. 应用生态学报, 18(6): 1203 - 1207.  
 杨玉盛,郭剑芬,林鹏,等. 2004. 格氏栲天然林与人工林枯枝落叶层碳库及养分库. 生态学报, 24(2): 359 - 367.  
 杨万勤,邓仁菊,张健. 2007. 森林凋落物分解及其对全球气候变化的响应. 应用生态学报, 18(12): 2889 - 2895.  
 张希彪,上官周平. 2006. 黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较. 生态学报, 26(2): 373 - 382.  
 朱志诚. 1993. 陕北黄土高原植被基本特征及其对土壤性质的影响. 植物生态学与地植物学学报, 17(3): 280 - 286.  
 Abril A, Bucher E H. 2001. Overgrazing and soil carbon dynamics in the Western Chaco of Argentina. Applied Soil Ecology, 16: 243 - 249.  
 Arai H, Tokuchi N, Koba K. 2007. Possible mechanisms leading to a delay in carbon stock recovery after land use change. Soil Science Society of America Journal, 71(5): 1636 - 1638.  
 Boyer J N, Groffman P M. 2001. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles. Soil Biology Biochemistry, 28(6): 783 - 790.  
 Evrendilek F, Celik I, Kilic S. 2004. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. Journal of Arid Environments, 59: 743 - 752.  
 Feral C J W, Epstein H E L, Otter L, et al. 2003. Carbon and nitrogen in the soil-plant system along rainfall and land-use gradient in southern Africa. Journal of Arid Environments, 54: 327 - 334.  
 Liu S L, Fu B J, Lü Y H, et al. 2002. Effects of reforestation and deforestation on soil properties in humid mountainous areas: a case study in Wolong Nature Reserve, Sichuan Province, China. Soil Use and Management, 18: 376 - 380.  
 Palviainen M, Finer L, Kurka A M, et al. 2004. Release of potassium, calcium, iron and aluminum from Norway spruce, Scots pine and silver birch logging residues. Plant and Soil, 259: 123 - 136.  
 Sauer T J, Cambardella C A, Brandle J R. 2007. Soil carbon and tree litter dynamics in a red cedar-scotch pine shelterbelt. Agroforestry System, 71(3): 163 - 174.  
 Uselman S M, Qualls R G, Lilienfein J. 2007. Contribution of roots vs. leaf litter to dissolved organic carbon leaching through soil. Soil Science Society of America Journal, 71(5): 1555 - 1563.

(责任编辑 郭广荣)