

植被类型对黄土丘陵区流域土壤有机碳氮的影响

马玉红¹, 郭胜利^{1,2*}, 杨雨林², 王小利², 杨 光^{1,2}

(1.中国科学院、水利部 水土保持研究所 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学 资源与环境学院 陕西 杨凌 712100)

摘要:恢复植被是遏止水土流失和提高土壤有机碳氮(SOC,TSN)积累的重要措施。以黄土丘陵区燕沟流域为基础,分析了主要植被类型的SOC,TSN变化及其分布特征。结果表明,自然恢复的辽东栎群落SOC含量为29.5g/kg,其次为黄刺玫、狼牙刺群落11.6~21.3g/kg,铁杆蒿(+长芒草)群落为8.4~10.6g/kg,人工建造的刺槐林5.53~11.9g/kg,小叶杨12.8~18.4g/kg,沙棘群落为8.7g/kg,仁用杏为4.7g/kg,苹果园SOC含量3.4~3.9g/kg,退耕苜蓿为4.2g/kg,耕地3.3~4.8g/kg。自然恢复的灌丛群落和人工乔木群落可有效地改变坡面SOC含量与分布。土壤有机碳氮具有显著线性关系,而C/N比例和作用区间随着农田到林地的演变而变大。

关 键 词:植被类型;土壤有机碳;燕沟流域;黄土丘陵区

中图分类号:S714.5,S154.4

文献标识码:A

文章编号:1000-3037(2007)01-0097-09

1 前言

恢复植被不仅是防治土壤侵蚀的重要措施^[1-4],更是影响土壤有机碳积累的重要因素^[5-12]。黄土高原丘陵沟壑区地形破碎,土壤侵蚀严重。20世纪90年代以来,该地区进行了大规模的植被建设与土地利用结构调整^[13],此举不仅显著地降低了流域输沙模数^[14],流域土壤质量和生产力也得到了逐渐恢复和提高^[15]。丘陵沟壑区地处暖温带落叶阔叶林与森林草原的过渡区,植被种类相对丰富,该地区天然植被中,乔木约53种,灌木168种^[16]。人工林植被主要为刺槐、杨树以及柠条等。但因地形、水热等的影响,植被在流域内的分布、生长状况表现出显著空间变异^[17-21]。因此,以恢复生态环境为目标,依据流域的水热特点,结合植被种类的差异,该地区实施了模拟天然植被结构的水土流失治理措施^[16]。但不同植被措施以及同一措施因空间分布都会影响土壤有机碳氮的含量^[22,23],而土壤有机碳氮是反映土壤质量的重要指标。但在半干旱的水土流失区,评价植被措施对土壤质量影响还缺乏深入探讨。本文以丘陵沟壑区燕沟流域为基础,分析了流域内主要植被群落条件下土壤有机碳氮含量变化及其分布特征,以为该地区选择适宜植被措施治理水土流失、恢复土壤质量提供依据。

2 材料与方法

2.1 试验点概况

燕沟流域位于36°28'00"~36°32'00"N,109°20'00"~109°35'00"E,属于陕西省延安市宝

收稿日期:2006-09-05;修订日期:2006-10-08。

基金项目:中科院西部之光项目,中国科学院水土保持研究所领域前沿资助项目“坡面侵蚀过程中泥沙有机碳组分变化与CO₂释放”,陕西省自然科学基金“小流域土壤质量性状对土地利用方式变化的响应”项目资助。

第一作者简介:马玉红(1982-),女,山东潍坊市临朐县人,硕士研究生,主要从事土壤生态研究。

*通讯作者简介:郭胜利(1969-),男,河北栾城人,副研究员,主要从事土壤生态研究。E-mail:sguo@ms.iswc.ac.cn

塔区,主沟长 8.6km,呈东南-西北流向,面积大于 48km²,流域东南高,西北低,海拔在 986~1 425m 之间,主沟比降为 2.41‰,沟壑密度为 4.8km/km²,属典型的黄土高原丘陵沟壑区。年平均气温大约为 9.8℃,无霜期约为 170d,大于 10℃积温 3 268℃,多年平均降雨量为 558.4mm。1997 年流域水土流失面积 42.55km²,占总面积的 88.65%,土壤侵蚀模数为 9 000t/(km²·a),属强度水土流失地区^[24]。流域 14 个行政村 2001 年底总人口 3 728 人,人口密度为 67.8 人/km²。黄绵土约占 90%以上。1998 年以来,在流域南部、中部、北部配置了不同的水土流失治理措施,南部主要以涵养水源的天然次生林为主,中部以人工水土保持植被为主,北部以农田林果植被为主^[16]。

2.2 样地土壤与植被调查

燕沟流域处于暖温带落叶阔叶林与森林草原的过渡区,天然植被为次生梢林,主要为辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、北京丁香(*Spekinensis* Rupr.)、黄刺玫(*R. xanthina* Lindl.)、胡颓子(*Elaeagnus pungens* Thunb.)、栒子(*Cotoneaster acutifolius* Turcz.)、狼牙刺(*Sophora Davidii*)、杜梨(*Pyrus betulæfolia* Bge.)、虎榛子(*Ostryopsis Davidiana* Dcne)等,但破坏严重。天然草被群落主要是铁杆蒿(*A. gmelinii* Web. Ex Stechm.)、长芒草(*S. bungeana* Trin.)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum* (L.) Keng.)、达乌里胡枝子(*Lespedeza dahurica* (Laxm.) A. K. Schindl.)等。人工林植被主要为刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、杨树(*Populus simonii*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* L. subsp.),以及柠条(*Caragana microphylla*)、农耕地、苜蓿(*M. sativa* L.)、果园(*Malus pumila*)等灌丛组成。2005 年 5 月上旬,在流域南、中、北部选取地形和地貌单元近似的治理坡段,对其土壤、植被群落进行了调查。各点以 GPS 定位,植被群落调查采用陆地生物群落典型样方调查方法^[25]进行,在每个采样点设置 3 个样方。草地采用 1m×1m 样方,调查草丛盖度、高度、种类等;乔木林样地采用 10m×10m 样方,主要调查林木种类、郁闭度、胸径、密度生长状况等;林下群落同样采用 1m×1m 样方,调查方法同草地;果园主要调查果树生长状况、胸径、年限、密度等。对植被群落下的土壤,用直径为 3cm 的土钻多点采集土壤样品,坡面分上、中、下 3 个坡位采样,各样点均重复 3 次。采样点的自然状况见表 1。

2.3 样品分析与数据处理

土样风干,磨细过 0.25mm 筛后,测定土壤有机碳($H_2SO_4-K_2Cr_2O_7$ 外加热法)和全氮(凯氏定氮法)含量^[26,27]。数据方差分析采用 SAS 软件^[28](SAS6.12),当 F 检验显著时,进行均值间 LSD 显著性检验。

3 结果与分析

3.1 植被类型对土壤有机碳积累的影响

表 3 显示,在樱桃沟,梯田的土壤有机碳含量为 3.37g/kg。与梯田相比,铁杆蒿群落土壤有机碳(8.37g/kg)提高 148%($P>0.05$),铁杆蒿+长芒草群落提高 214%($P<0.05$),黄刺玫群落提高 532%($P<0.05$),辽东栎群落提高 776.3%($P<0.05$)。这一结果表明,退耕后随着自然植被的恢复,土壤有机碳的积累呈提高趋势,当植被由退耕初期(5 年)的铁杆蒿演变到铁杆蒿+长芒草时土壤有机碳的提高达到显著水平。与梯田相比,5 年生人工沙棘群落(8.70g/kg)的土壤有机碳提高 158%($P>0.05$),与铁杆蒿群落土壤有机碳的恢复效果相近。上述结果表明,随着植被的自然恢复,该地区的土壤有机碳储量会有大幅度(7 倍以上)的提高,恢复天然草被群落比人工灌木群落更容易改善土壤有机碳的储量。

在吴枣园治理点,梯田的土壤有机碳含量为 3.29g/kg,与梯田相比,刺槐林群落和狼牙

表 1 燕沟流域不同植被类型的特征

Table 1 Physical properties of the sites under soil and water conservation at Yangou Catchment							
位置	坡度	坡向	海拔/m	经度	纬度	植被群落	群落特征
樱桃沟	峁顶	北坡	1 400	109 32 55.0 "	36 27 11.0 "	沙棘群落	大约 8 -10 年 , 郁闭度在 45% , 株高为 1.5 -2.0m
	峁顶	北坡	1 396	109 32 55.5 "	36 27 11.3 "	铁杆蒿群落	大约 10 -15 年 , 株高 40 -50cm , 盖度 45%
	18 °	北坡	1 381	109 32 55.8 "	36 27 12.7 "	辽东栎群落	100 年以上 , 郁闭度 60%左右 , 冠幅为 4 ×6m 株高在 6m 左右 胸径在 23 -25cm 左右 , 灌层主要为北京丁香、灰栒子 , 草层主要为细叶苔草
	15 °	北坡	1 348	109 32 55.0 "	36 27 15.4 "	黄刺玫+灰栒子- 绣线菊群落	50 年以上 , 郁闭度约 85% , 株高 1.5 ~ 2m , 长势良好
	13 °	西坡	1 354	109 32 57.3 "	36 27 15.3 "	铁杆蒿+长芒草群落	大约 10 -15 年 , 高度 50cm , 盖度 30% 左右
	0 °	西坡	1 370	109 32 59.7 "	36 27 15.2 "	梯田	当时休闲 玉米、土豆或谷子等)
吴枣园	0 °	北坡	1 288	109 31 38.0 "	36 31 30.0 "	梯旱地	当时休闲 玉米、土豆或谷子等)
	20 °	北坡	1 285	109 31 39.0 "	36 31 29.0 "	狼牙刺群落	20 年左右 , 郁闭度在 65% 株高 1.5m
	13 -17 °	北坡	1 274	109 31 42.0 "	36 31 25.0 "	人工刺槐林群落	18 年左右 , 郁闭度在 45%左右 冠幅 2 × 3m 株高 5m 胸径 15cm。树下植被主要为益母草、达乌里胡枝子、狗尾草等。
麻塔	峁顶	梯田	1 352	109 31 34.6 "	36 27 45.4 "	苜蓿	退耕种植苜蓿 5 年 , 草高在 30cm 左右 , 盖度在 48%
	0 °	梯田	1 347	109 31 33.3 "	36 27 45.9 "	谷子	前茬苜蓿
	0 °	梯田	1 336	109 31 15.9 "	36 27 54.4 "	梯旱地	当时休闲 玉米、土豆或谷子等)
九沟	0 °	峁顶	1 258	109 30 30.2 "	36 29 46.4 "	苹果园	12 年左右 株行距 3 ×4m 株高 2 -2.5m
	20 °	西坡	1 244	109 30 36.7 "	36 29 50.7 "	人工仁用杏林	12 年左右 株行距 3 ×4m 株高 2 -2.5m
	20 °	西坡	1 241	109 30 36.7 "	36 29 50.3 "	苹果园	15 年左右 株行距 2 ×3m 株高 2 -2.5m
	0 °	峁顶	1 201	109 30 51.5 "	36 30 38.0 "	苹果园	
	30 °	东坡	1 278	109 31 02.1 "	36 28 49.7 "	梯旱地	当时休闲 玉米、土豆或谷子等)

表 2 燕沟流域坡面样点不同植被类型的特征

Table 2 Physical properties of the slope lands at Yangou Catchment							
位置	坡位	经度	纬度	坡度	坡向	植被群落	群落特征
鸡蛋峁	上	109 33 03.4 "	36 30 21.7 "	18 °	西坡	黄刺玫群落	50 年以上 次生的天然灌木林 , 主要有黄刺玫、北京丁香、灰栒子 , 郁闭度在 85%以上 , 株高为 2.0 -2.5m
	中	109 33 01.7 "	36 30 22.2 "	18 °	西坡		
	下	109 33 01.1 "	36 30 21.8 "	18 °	西坡		
鸡蛋峁	上	109 33 05.0 "	36 30 20.3 "	18 °	西坡	退耕坡地	退耕 3 -5 年 坡面零星分布有沙棘、白茨梢、达乌里胡枝子、长芒草等 , 总体盖度 20% -30%
	中	109 33 05.2 "	36 30 20.2 "	18 °	西坡		
	下	109 33 02.7 "	36 30 21.2 "	18 °	西坡		
赵庄	上	109 28 45.8 "	36 32 18.0 "	28 °	北坡	人工刺槐林群落	大约 35 年 (1999 年人工砍伐) , 郁闭度 30%左右 , 冠幅 2 ×3m 株高 4m 胸径 5cm 左右 , 下层植被为铁杆蒿和长芒草
	中	109 28 46.5 "	36 32 18.5 "	28 °	北坡		
	下	109 28 47.5 "	36 32 19.0 "	28 °	北坡		
赵庄	上	109 28 48.3 "	36 32 19.6 "	28 °	北坡	人工小叶杨	30 年以上 , 郁闭度在 45%左右 , 冠幅 1 ×2m , 株高 6m 胸径 10cm , 下层植被主要为铁杆蒿和长芒草
	中	109 28 48.5 "	36 32 20.0 "	28 °	北坡		
	下	109 28 49.3 "	36 32 20.4 "	28 °	北坡		

刺群落土壤有机碳显著提高(分别为 68.1%和 262.9%) , 两者的生长时间基本相近 , 但狼牙刺群落土壤有机碳显著高于刺槐林群落。这表明 , 天然恢复的灌木群落比人工乔木林有助于改善土壤有机碳的储量。

表 3 不同植被类型下土壤有机碳、氮含量

Table 3 The levels of SOC and TSN under different vegetation types at Yangou Catchment

地点	植被群落	样本数	有机碳(g/kg)			有机碳(g/kg)		
			平均值	标准差	变异系数/%	平均值	标准差	变异系数/%
樱桃沟	梯田	3	3.37 D	0.21	0.06	0.31 D	0.024	0.078
	铁杆蒿	3	8.37CD	0.46	0.06	0.81 C	0.034	0.042
	沙棘	3	8.70CD	1.39	0.16	0.80 C	0.119	0.148
	铁杆蒿+长芒草	3	10.57C	1.00	0.09	0.96 C	0.055	0.058
	黄刺玫+灰栒子- 绣线菊	3	21.33 B	7.67	0.36	1.64 B	0.533	0.325
吴枣园	辽东栎	3	29.53 A	3.94	0.13	2.37 A	0.319	0.134
	梯田	3	3.29 C	0.104	0.032	0.36 C	0.005	0.014
	人工刺槐林	9	5.53 B	0.346	0.063	0.057 B	0.046	0.080
麻 塔	狼牙刺	3	11.94 A	1.263	0.106	1.03 A	0.121	0.117
	梯田	3	3.27 B	0.38	0.12	0.40 A	0.065	0.164
	返耕地	3	3.97 BA	0.27	0.07	0.44 A	0.055	0.125
九 沟	退耕苜蓿	3	4.23 A	0.49	0.12	0.49 A	0.030	0.060
	峁顶果园	3	3.40 B	0.42	0.12	0.45 B	0.052	0.114
	西坡果园	3	3.53 B	0.13	0.04	0.42 B	0.016	0.037
	峁顶果园	3	3.89 B	0.17	0.04	0.44 B	0.010	0.022
	人工仁用杏林	3	4.70 A	0.06	0.01	0.53 A	0.016	0.029
	梯田	3	4.83 A	0.87	0.18	0.53 A	0.06	0.122

注 :平均值后有相同字母表示差异不显著 ,字母不同表示差异显著。

在麻塔治理点 ,退耕种植苜蓿 5 年后 ,土壤有机碳含量(4.23g/kg)与邻近农田(3.27g/kg)相比提高 29.4%($P<0.05$) ,而苜蓿地返耕又会造成土壤有机碳降低。在九沟采样点 ,梯田的土壤有机碳含量为 4.83g/kg ,苹果园土壤有机碳含量与梯田相比具有不同程度的降低 ,降低的幅度大约在 14.4%~42.0%之间($P<0.05$) ,但人工仁用杏林降低 3.8% ,尚未达显著水平($P>0.05$)。这些结果表明 ,利用人工苜蓿也可以显著改善土壤有机碳含量 ,但经济林土壤有机碳不增反降。

3.2 植被类型对剖面土壤有机碳氮分布的影响

由图 1 可以看出 ,各植被群落土壤有机碳的剖面分布都随着深度增加而逐渐降低 ,但上下层次的变幅不同。退耕农田 ,剖面 A 层的有机碳含量是 C 层的 1.5 倍 ,铁杆蒿群落、黄刺玫群落、辽东栎群落 A 层(表层)与 C 层(母质层)有机碳的比值依次升高 ,分别为 2.3、2.9 和 5.3 倍。植被群落对同一土层土壤有机碳的影响也存在显著差异 ,对于 A 层 ,与退耕农田土壤有机碳含量(3.96g/kg)相比 ,铁杆蒿群落、黄刺玫群落和辽东栎群落的土壤有机碳含量分别提高 132.3%、245.4%和 541.4%。对于 C 层 ,铁杆蒿群落、黄刺玫群落和辽东栎群落的土壤有

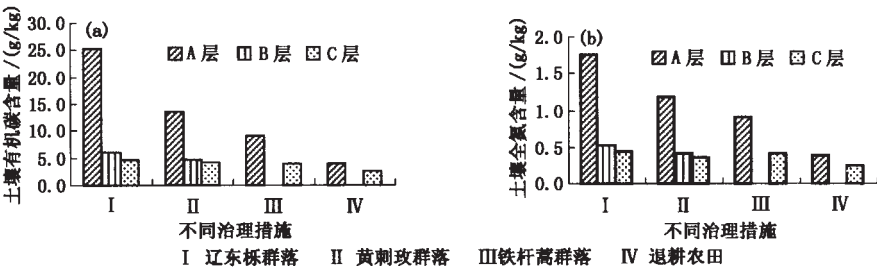


图 1 植被类型对剖面土壤有机碳、氮的含量的影响

Fig.1 Effects of vegetation types on SOC and TSN in the soil profiles

机碳含量较退耕农田(2.62g/kg)分别提高 52.3%、57.6%和 82.4%。退耕农田、铁杆蒿群落下 , 土壤剖面观察不到 B 层(淀积层), 而辽东栎和黄刺玫群落下的土壤剖面 B 层土壤有机碳分别为 6.18g/kg 和 4.78g/kg。由此看出 , 与退耕农田相比 , 铁杆蒿群落、黄刺玫群落和辽东栎群落土壤剖面中 SOC 分异越来越明显。

3.3 植被类型对坡面土壤有机碳氮分布的影响

图 2 显示 , 与坡耕地相比 , 配置灌木或乔木措施后坡面土壤有机碳氮的含量不仅显著提高 , 而且配置植被类型还显著改变了坡面有机碳氮的分布。在退耕坡地 , 坡上、中、下土壤有机碳含量基本一致 (4.1 ~ 4.7g/kg , $P>0.05$)。在相邻黄刺玫群落的坡面上 , 与坡上部有机碳含量(19.0g/kg)相比 , 坡中部降低 7.2%($P>0.05$) , 坡下部降低 18.0%($P<0.05$) , 整个坡面呈现上高下低的变化趋势。在刺槐林群落坡面上 , 与坡上部有机碳含量(9.4g/kg)相比 , 坡中部有机碳含量显著提高 26.6%($P<0.05$) , 而坡下部有机碳含量提高 5.9% , 但尚未达到显著水平($P>0.05$) , 呈现坡中部含量高而坡上部和坡下部含量较低的分布特征。在小叶杨林群落坡面上 , 与坡上部有机碳含量(12.8g/kg)相比 , 坡中部提高 44.0%($P<0.05$) , 坡下部提高 12.1% , 但尚未达到显著水平 , 呈现坡中部含量高而坡上部和坡下部含量较低的分布特征。上述结果表明 , 与坡耕地相比 , 配置不同植被后坡面土壤有机碳含量不仅提高而且分布也发生改变 : 次生天然灌丛沿着坡面有机碳含量中上部显著高于低部 ; 多年生乔木群落的坡面中部有机碳含量显著高于上部和下部。

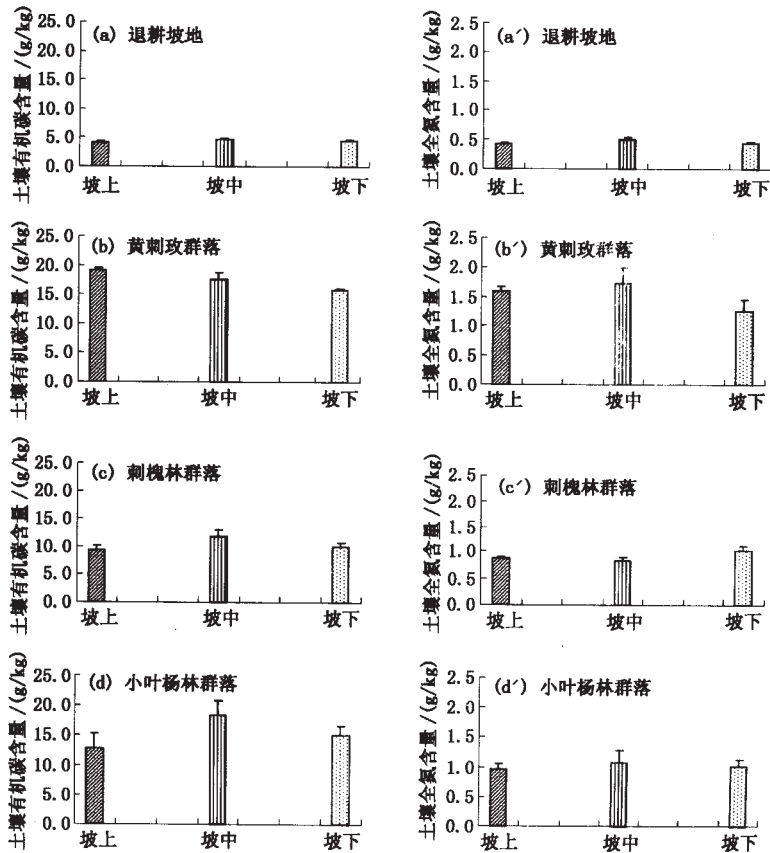


图 2 植被类型对坡面土壤有机碳、氮分布的影响

Fig.2 Effect of vegetation types on SOC and STN distribution along slope lands

3.4 植被类型对土壤碳氮比的影响

图 3 显示,不同植被措施土壤有机碳与全氮均存在极显著线性相关关系,但碳氮的比例和作用区间随农田到林地的演变而变大;其次土壤碳氮比(回归方程的斜率)依经济林果地(9.3)、农田(9.9)、草地(10.3)和林地(11.4)的顺序递增。这表明,当农地变为林地后,土壤有机碳氮的积累速率不仅得到改善,而且土壤的固碳潜力也会得到大幅度的提高。植被类型反映了有机物的输入量,因此可知,随着农田退耕为林草地,土壤将会固定更多的碳氮。

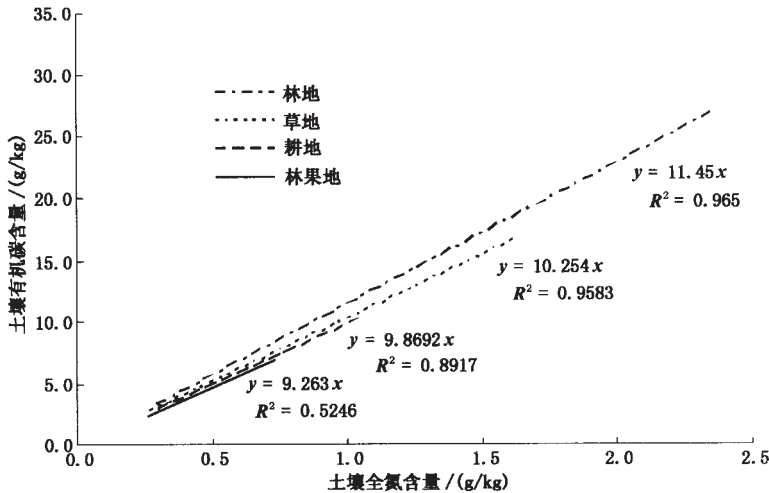


图 3 植被类型对土壤有机碳氮比的影响

Fig.3 Effect of vegetation types on soil C:N ratio

4 结论与讨论

综上所述,在黄土丘陵沟壑区,自然恢复的辽东栎群落土壤有机碳含量最高为 29.5g/kg,其次为黄刺玫、狼牙刺群落为 11.6~21.3g/kg,铁杆蒿(+长芒草)群落为 8.4~10.6g/kg。相对于自然恢复的草、灌、乔群落,人工建造的刺槐林为 5.53~11.9g/kg,小叶杨为 12.8~18.4g/kg,沙棘为 8.7g/kg,仁用杏为 4.7g/kg,果园(3.5g/kg 左右)与耕地(3.3~4.8g/kg)相近,退耕苜蓿为 4.2g/kg。植被类型由农地变为天然林草地后,土壤碳氮积累速度加快,到该地区的顶级植被群落 SOC 与耕地相比提高 6 倍以上。但在北方石质山区,与空旷地相比,混交林土壤有机碳含量提高 70%以上^[29]。西南石灰岩地区聚土垄作或聚土免耕提高 30%以上^[30],种植茶园则可提高 90%^[31]。在高海拔气候冷凉的青藏高原地区,荒地天然封育提高 40%以上,但在内蒙古草原,重度退化的草场培育后土壤有机碳至少可提高一倍以上^[32]。南方红壤地区,在侵蚀劣地上(裸地或光板地)恢复植被土壤有机碳含量可提高数倍甚至十几倍^[33]。

本研究结果表明,在黄土高原的丘陵沟壑区,天然恢复植被较人工植被具有显著的优势:有机碳氮积累速度快,潜力大。植被类型反映了植被向土壤输入有机物量的高低,尤其在凋落物形成数量上。人工林草地的群落结构一般比较简单,枯落物量较低。例如刺槐林为黄土高原地区广泛种植的人工乔木林,在该流域的吴枣园,刺槐林下植被简单,主要为益母草、达乌里胡枝子、狗尾草、糙隐子草等形成的草被层,林下枯落物层不明显,土壤有机碳含量仅为 5.5g/kg,稍高于相邻的耕地。而自然恢复的辽东栎群落,具有明显的乔-灌-草三层结构,乔木层以辽东栎为主,夹杂有茶条槭等,灌层主要为北京丁香、灰栒子,草层主要为细叶苔草。

等物种不仅丰富,而且林下的枯落物层明显。其次,自然恢复植被群落的枯落物特性各异,分解速度各不相同^[34,35],容易形成枯落物的积累。而刺槐林为豆科类植物,植物体中氮素含量较高,C/N比例也容易促进枯落物的分解。另外,管理措施也可能是影响其土壤有机碳氮积累的重要因素,例如在苹果园,果实采集、树形修剪使得果树的大量光合产物被带离果园,大大减少了输入土壤的有机物量;其次,果园土壤连年深翻,有机碳矿化分解加快。坡面上天然恢复植被群落土壤有机碳氮含量较高,其原因可能与天然恢复植被易于形成枯落物层,从而能更有效地拦蓄水土,提高有机物质输入有关。傅伯杰等^[36]在该地区发现坡面因配置不同的植被类型而导致土壤水分、养分分布的变化。因此,以植被措施治理水土流失时也应该考虑不同植被的环境效应,选择既能够治理水土流失又能显著改善土壤碳氮含量的植被才能迅速改善土壤质量。

参考文献(References):

- [1] Lal R. Soil erosion and the global carbon budget[J]. *Environment International*, 2003, 29: 437-450.
- [2] Lal R, J P Bruce. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect[J]. *Environmental Science & Policy*, 1999, 2: 177-185.
- [3] 朱显谟, 任美镔. 中国黄土高原的形成过程与整治对策[J]. *中国水土保持*, 1992, (2): 4-10. [ZHU Xian-mo, REN Mei-e. Formation and strategy of control to Loess Plateau of China. *Soil and Water Conservation of China*, 1992, (2): 4-10.]
- [4] 侯喜禄, 曹清玉. 陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究[J]. *水土保持通报*, 1990, 10(2): 19-25. [HOU Xi-lu, CAO Qing-yu. Study on the benefits of plants to reduce sediment in the loess rolling gullied region of north Shaanxi. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1990, 10(2): 19-25.]
- [5] 周广胜, 王玉辉, 蒋延玲, 等. 陆地生态系统类型转变与碳循环[J]. *植物生态学报*, 2002, 26(2): 250-254. [ZHOU Guang-sheng, WANG Yu-hui, JIANG Yan-ling, et al. Conversion of terrestrial ecosystems and carbon cycling. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(2): 250-254.]
- [6] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被和土壤碳贮量[J]. *中国科学*, 2003, 33(1): 72-80. [LI Ke-rang, WANG Shao-qiang, CAO Ming-kui. Vegetation and soil carbon storage in China. *Science in China*, 2003, 33(1): 72-80.]
- [7] 解宪丽, 孙波, 周慧珍, 等. 不同植被下中国土壤有机碳的储量与影响因子[J]. *土壤学报*, 2004, 41(5): 687-699. [XIE Xian-li, SUN Bo, ZHOU Hui-zhen, et al. Carbon stocks and their influencing factors under native vegetation in China. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(5): 687-699.]
- [8] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential[J]. *Global Change Biology*, 2000, 6: 317-327.
- [9] Poulton P R, Pye E, Hargreaves P R, et al. Accumulation of carbon and nitrogen by old arable land reverting to woodland[J]. *Global Change Biology*, 2003, 9: 942-955.
- [10] Grunzweig J M, Sparrow S D, Yakir D, et al. Impact of agriculture land-use change on carbon storage in boreal Alaska[J]. *Global Change Biology*, 2004, 10: 452-472.
- [11] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis[J]. *Global Change Biology*, 2002, 8: 345-360.
- [12] Steven Degryze, Johan Six, Keith Paustian, et al. Soil organic carbon pool changes following land-use conversions[J]. *Global Change Biology*, 2004, 10: 1120-1132.
- [13] 徐勇, Roy C Sidle. 黄土丘陵区燕沟流域土地利用变化与优化调控[J]. *地理学报*, 2001, 56(6): 657-666. [XU Yong, Roy C Sidle. Land use change and its relation of Yangou watershed in loess hilly-gully region. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(6): 657-666.]
- [14] 琚彤军, 刘普灵, 郑世清, 等. 燕儿沟流域泥沙监测初报[J]. *水土保持研究*, 2000, 7(2): 176-178. [JU Tong-jun, LIU Pu-ling, ZHENG Shi-qing, et al. Primary report on monitoring sediment in Yan'an Gully Valley. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7(2): 176-178.]
- [15] 田均良, 刘普灵, 张翼, 等. 治理水土流失再造山川秀美延安——对中尺度生态环境建设中落实总理指示的认识与思考[J]. *水土保持研究*, 2000, 7(2): 4-9. [TIAN Jun-liang, LIU Pu-ling, ZHANG Yi, et al. The management of soil and water loss to

- rebuild a graceful Yan 'an with green mountains and clean water rivers- Understanding and thinking concerning premier 's instructions on eco-environment constructions. *Research of Soil and Water conservation*, 2000, 7(2): 4- 9.]
- [16] 杨光,薛智德,梁一民.陕北黄土丘陵区植被建设中的空间配置及其主要建造技术[J].水土保持研究,2000,7(2): 136 ~ 139.[YANG Guang,XUE Zhi-de,LIANG Yi-min.A discussion on spatial arrangement of vegetation of artificial construction and the main construction techniques. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7(2): 136- 139.]
- [17] 巩杰,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵区小流域土地利用和植被恢复对土壤质量的影响[J].应用生态学报,2004,15(12): 2292 ~ 2296.[GONG Jie,CHEN Li-ding,FU Bo-jie,et al.Effects of land use and vegetation restoration on soil quality in a small catchment of the Loess Plateau. *China J. Appl. Eco.*, 2004, 15(12): 2292- 2296.]
- [18] 王国梁,刘国彬,许明祥.黄土丘陵区纸坊沟流域植被恢复的土壤养分效应[J].水土保持通报,2002,22(1): 1 ~ 5.[WANG Guo-liang,LIU Guo-bin,XU Ming-xiang.Effect of vegetation restoration on soil nutrient changes in Zhifanggou Watershed of loess hilly region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002, 22(1): 1- 5.]
- [19] 安韶山,刘梦云,李壁成,等.宁南山区不同植被恢复措施的土壤养分效应研究[J].西北植物学报,2003,23(8): 1429 ~ 1432.[AN Shao-shan,LIU Meng-yun,LI Bi-cheng,et al.Effect of different vegetation restoration on soil nutrient changes in Southern Ningxia mountain region. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*, 2003, 23(8): 1429- 1432.]
- [20] 郭胜利,刘文兆,史竹叶,等.半干旱区流域土壤养分分布特征及其与地形、植被的关系[J].干旱地区农业研究,2003, 21 (4): 40 ~ 43.[GUO Sheng-li,LIU Wen-zhao,SHI Zhu-ye,et al.Soil nutrients distribution and its relation to landform and vegetation at small watershed in semiarid area. *Agricultural Research in Arid Areas*, 2003, 21(4): 40- 43.]
- [21] 刘守赞,郭胜利,王小利,等.植被对黄土高原沟壑区坡地土壤有机碳的影响[J].自然资源学报,2005,20(4): 529 ~ 536.[LIU Shou-zan,GUO Sheng-li,WANG Xiao-li,et al.Effect of vegetation on soil organic carbon of slope land in gully region of Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(4): 529- 536.]
- [22] 朱志诚.陕北黄土高原植被基本特征及其对土壤性质的影响[J].植物生态学与地植物学学报,1993,17(3): 280 ~ 286. [ZHU Zhi-cheng.The main characteristics of the vegetation and its impact on the soil essence in the Loess Plateau of Northern Shaanxi Province. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1993, 17(3): 280- 286.]
- [23] 郑粉莉,张成娥.加速侵蚀对土壤腐殖酸动态变化的影响[J].生态学报,1999,19(2): 194 ~ 199.[ZHENG Fen-li,ZHANG Cheng-e.Impact of accelerated erosion on dynamics of soil humic acids. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 194- 199.]
- [24] 焦锋,杨勤科,雷会珠.燕儿沟流域土地利用现状及合理利用途径[J].水土保持通报,1998,18(7): 41 ~ 44.[JIAO Feng, YANG Qin-ke,LEI Hui-zhu.Present situation of land use and proposals for rational use at Yan'er Gully watershed. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1998, 18(7): 41- 44.]
- [25] 董鸣.陆地生物群落调查观测与分析[M].北京:中国标准出版社,1996.[DONG Ming. *Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities*. Beijing: Standards Press of China, 1996.]
- [26] Nelson D W, Sommers L E. Total carbon, organic carbon, and organic matter [A]. In: Page A L, R H Miller, D R Keeney. *Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties (second edition)* [C]. Madison, Wisconsin, USA, 1992. 562- 564.
- [27] Bremner J M, C S Mulvaney. Regular Kjeldahl method [A]. In: Page A L, R H Miller, D R Keeney. *Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties (second edition)* [C]. Madison, Wisconsin, USA, 1982. 561- 616.
- [28] SAS Institute Inc. SAS Release 6.12 [CP/CD]. USA: Cary SAS Institute Inc., 1998.
- [29] 夏江宝,杨吉华,李红云,等.山地森林保育土壤的生态功能及其经济价值研究[J].水土保持报,2004,18(2): 97 ~ 100.[XIA Jiang-bao, YANG Ji-hua, LI Hong-yun, et al. Study on ecological functions and evaluation of soil conservation in mountainous forest. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(2): 97- 100.]
- [30] 朱波,陈实,游祥,等.紫色土退化旱地的肥力恢复与重建[J].土壤学报,2002,39(5): 743 ~ 749.[ZHU Bo, CHEN Shi, YOU Xiang, et al. Soil fertility restoration on degraded upland of purple soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(5): 743- 749.]
- [31] 王效举.土壤植茶的环境效应[J].土壤通报,1995,26(2): 91 ~ 93.[WANG Xiao-ju. The soil plants of the environmental effect of tea. *Chinese Journal of Soil Science*, 1995, 26(2): 91- 93.]
- [32] 董世魁,胡自治,龙瑞军,等.高寒地区混播多年生禾草对草地植被状况和土壤肥力的影响及其经济价值分析[J].水土保持学报,2002,16(3): 98 ~ 101.[DONG Shi-kui, HU Zi-zhi, LONG Rui-jun, et al. Effect of mixture perennial grasses on vegetation and soil fertility of grassland and economic values of mixture grassland in alpine region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(3): 98- 101.]

- [33] 彭新华.侵蚀劣地红壤有机碳库恢复对团聚体形成及其稳定性机制的研究[D].北京:中国科学院研究生院,2003.
[PENG Xin-hua.Effect of Organic Carbon Pools on Aggregate Formation and Aggregate Stability after Vegetative Restoration on a Severely Eroded Plinthi Cultisol.Beijing:Graduate University of Chinese Academy of Sciences,2003.]
- [34] Martin J P,K Haider,G Kassim.Biodegradation and stabilization after 2 years of specific crop,lignin,and polysaccharide carbon in soils[J].Soil Sci. Soc. Am. J.,1980,44:1250- 1255.
- [35] 黄耀,沈雨,周密,等.木质素和氮含量对植物残体分解的影响[J].植物生态学报,2003,27(2):183 -188.[HUANG Yao, SHEN Yu,ZHOU Mi,et al.Decomposition of plant residue as influenced by its lignin and nitrogen.Acta Phytocologica Sinica,2003,27(2):183- 188.]
- [36] 傅伯杰,马克明,周华峰,等.黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响[J].科学通报,1998,43(22): 2444 -2448.
[FU Bo-jie,MA Ke-ming,ZHOU Hua-feng,et al.Effect of land use pattern on distribution of soil nutrient in the Loess Plateau.Chinese Science Bulletin,1998,43(22):2444- 2448.]

Influence of Vegetation Types on Soil Organic C at Yangou Catchment in the Loess Hilly-gully Region

MA Yu-hong¹,GUO Sheng-li^{1,2},YANG Yu-lin²,WANG Xiao-li²,YANG Guang^{1,2}

(1.Institute of Soil and Water Conservation,Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource,Yangling 712100, China; 2.Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry,Yangling 712100,China)

Abstract: Reforestation plays an important role in soil conservation and soil carbon sequestration. Different vegetation types were established in a catchment due to soil loss control in the hilly-gully region of the Loess Plateau. Natural vegetation and replanted vegetation were selected based on typical sites of the Yangou catchment in the region. The community of vegetations selected at the site was identified. Soil organic carbon (SOC) and total soil N (TSN) under different vegetations are compared. For natural vegetations, SOC content under Liaodong oak tree (*Q. liaotungensis* Koidz.) was 29.5g/kg, Huangcimei (*R. xanthina* Lindl.) and *Potentilla cryptotaeniae* thorn (*Sophora Davidii*) varied from 11.6 to 21.3g/kg, and Iron rod wormwood (*A. gmelinii* Web. Ex Stechm.) + *S. bungeana* Trin. varied from 8.4 to 10.6g/kg. For replanted vegetations, SOC content under pure Robinia crop (*Robinia pseudoacacia* L.) varied from 5.53 to 11.9g/kg and small-leaf poplar (*Populus simonii*) from 12.8 to 18.4g/kg. SOC content under *Hippophae rhamnoides* L. subsp and wood of apricot for kernel were 8.7g/kg and 4.7g/kg, respectively. SOC in orchard (*Malus pumila*) varied from 3.4 to 3.9g/kg. When farmland converted to alfalfa (*M. sativa* L.), SOC content increased from 3.4 to 4.2g/kg. For cropland, SOC varied from 3.3 to 4.8g/kg. Compared to arable soil, natural vegetation significantly influences surface SOC in the soil profiles, however, SOC in C horizon under natural vegetation was higher than that in arable soil. SOC distribution in arable slope land is significantly different from that under natural recovery of grasses, shrubs, woods and man-built vegetation. Soil C/N ratio increases in the order: orchard, arable land, grassland and woodland. In addition, there was a significant correlation between TSN and SOC at the catchment.

Key words: vegetation; soil organic C; Yangou Catchment; hilly-gully region of the Loess Plateau