陕北黄土高原土壤有机质分布研究*

薛晓辉[1,3], 卢 芳[4], 张兴昌[1,2]

(1 中国科学院 水土保持与生态环境中心, 陕西 杨陵 712100;
2 西北农林科技大学 资源与环境科学学院, 陕西 杨凌 712100;
3 中国科学院研究生院, 北京 100039; 4 西宁市环境监测站, 青海 西宁 810008)

[摘 要] 对陕北黄土高原地区不同年限、不同植被立地土壤有机质含量的分析发现, 刺槐、苜蓿、撂荒地土壤有机质含量随植被恢复年限的增加而增大, 且呈线性相关; 安塞土壤有机质含量随植被逐渐乔木化而增大; 0~60 cm 土层土壤有机质含量随深度的增加而减小; 坡面表层土壤有机质分布曲线类似于一个周期的"正弦曲线"或"反弦曲线", 但植被生长较好的坡面例外; 土壤有机质受地理位置的影响, 随纬度的北移而减小, 其顺序为: 富县> 宜川> 安塞> 神木。

[关键词] 土壤有机质; 植被恢复; 黄土高原; 陕北

[中图分类号] S153.6+21 [文献标识码] A [文章编号] 1671-9387(2005)06-0069-06

土壤有机质被认为是衡量土壤质量的重要指标之一[1~3], 其组成成分之一的胡敏酸, 是形成水稳性团聚体的胶结物质, 其对于改善土壤渗透性, 增强土壤抗冲力起着重要作用, 是形成抗冲性土体构型的物质基础[4]。在陕北, 由于人为活动破坏了地表植被, 水土流失, 土壤退化、沙化现象严重。植被的恢复与重建成为众多学者所关注的问题。因为植被有较好的水土保持功能[5~8], 所以其恢复与重建将影响到土壤养分的流失与分布。本试验是在多年退耕还林(草)后, 试图通过对陕北地区土壤有机质变化与分布的研究, 为陕北地区生态环境的恢复与重建提供科学依据。

1 样品采集与测定方法

1.1 研究区概况

本试验的采样地点分别为宜川县铁龙湾林场、富县任家台林场、安塞县纸坊沟流域和神木县六道沟流域。

宜川铁龙湾林场 位于东经 110°05′, 北纬 35°59′, 地貌属梁状丘陵, 主要土壤类型为灰褐土。暖温带半湿润半干旱气候, 年平均气温 9.8 ℃, 多年平均降水量 570.4 mm, 多集中在 7~9 月。主要乔木有油松(*P. tabulaeformis*)、白桦(*C. platyphylla* Sukats. var. *japonica* Hara.)、山杨(*P. davidiana* Dode)、辽东栎(*Q. liaotungensis* Koidz), 主要灌木有胡颓子(*E. umbellata* Thunb.)、绣线菊(*Spiraea*)、狼牙刺(*Sophora vivifolia*)、黄刺梅(*Rosa xanthina*)、忍冬(*Lonicera*)、柠条(*Caragana korshinski*)等, 主要草本植物有披针苔草(*Carex lanceolata*)、铁杆蒿(*A. sacrorum* Ledeb. var. *incana* Mattf.)、披碱草(*C. dahuricus* (Turcz.) Nevski)等。

富县任家台林场 位于东经 109°09′, 北纬 36°05′, 海拔 920~1 683 m, 地貌类型属于梁状丘陵沟壑区, 主要土壤类型为森林草原植被下发育的褐色土。年平均气温 9 ℃, 年平均降水量 576.7 mm, 多集中在 7~9 月, 占全年降水量的 60% 以上。区内林木郁闭度达 0.7 以上, 主要乔木有油松、白桦、山杨、辽东栎、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、山桃(*P. davidiana* Franch.)等, 灌木主要有狼牙刺、绣线菊、黄刺梅等, 草本植物主要有披针苔草、铁杆蒿、披碱草等。

安塞县纸坊沟流域 位于东经 109°16′, 北纬 36°44′, 流域面积 8.27 km^2, 海拔 1 010~1 431 m, 属典型的梁峁状丘陵沟壑区, 土壤类型为黄绵土。暖温带半干旱气候, 年均降雨量 549.1 mm, 多集中在 7~9 月, 年均气温为 8.8 ℃, 平均无霜期 160 d。乔

* [收稿日期] 2005-04-25
[基金项目] 国家自然科学基金项目(40171063; 40371076)
[作者简介] 薛晓辉(1980-), 男, 陕西蒲城人, 在读硕士, 主要从事土壤化学的研究。
[通讯作者] 张兴昌(1965-), 男, 陕西武功人, 研究员, 博士生导师。主要从事土壤侵蚀环境化学研究。E-mail: zhangxc@ms.iswc.ac.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

木主要有小叶杨(*P. simonii* Carr.)、苹果(*M. pumila* Mill.)、刺槐、侧柏(*Platycladus orientalis* Endl.)等, 灌木主要有柠条、狼牙刺、连翘(*F. suspensa* (Thunb.) Vahl.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)等, 植物主要有茭蒿(*A. giraldii* Pamp.)、铁杆蒿、黄蒿(*A. Scoparia*)、白羊草(*Bothriochloa ischemum* (L.) Keng.)等, 农作物主要有谷子、糜子、玉米、黄豆等。

神木县六道沟流域　位于陕西省神木县以西 14 km 处, 东经 110°22′, 北纬 38°47′, 北依长城, 地处毛乌素沙漠的边缘。流域面积 6.886 4 km^2, 主沟道长 4.21 km。该流域地貌为片沙覆盖的梁峁状丘陵区, 大于 100 m 的沟道密度为 6.45 km/km^2, 沟谷面积占流域面积 32.66%。年平均气候 8.4 ℃, 无霜期 169 d, 平均降雨量 437.9 mm, 平均干燥度 1.8, 属典型的半干旱区、水蚀风蚀交错带和农牧交错地带。乔木主要有箭杆杨(*P. pyramidalis* Borkh.)、杏(*Prunus armeniaca*)等, 灌木主要有柠条、沙棘、沙柳(*S. mongolica* Siuz.), 草本植物主要有茭蒿、铁杆蒿、黄蒿、白羊草、苜蓿(*Medicago sativa* Linn.)等, 农作物主要有谷子、糜子、玉米、黄豆等。

1.2　野外采样

针对不同生长年龄、不同植被覆盖类型的地块, 由南至北分别在宜川铁龙湾、富县任家台、安塞纸坊沟、神木六道沟等地进行定点与沿途采样, 主要采集 0～20 cm 表层土样。

1.3　测定方法

将土样风干, 拣去较大的树根、枝叶后磨碎过 60 目筛。土壤有机质测定采用 $K_2Cr_2O_7$ 氧化-外加热法[9]。

2　结果与分析

2.1　不同植被恢复年限对土壤有机质含量的影响

以安塞县纸坊沟为主, 采取退耕年限分别为 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 43 年的刺槐林地表层土壤; 在神木县六道沟, 选取退耕年限分别为 0, 3, 6, 10, 15, 23, 25, 32 年的苜蓿地作为研究对象进行采样; 在安塞纸坊沟, 采取退耕年限分别为 0(农田), 5, 6, 8, 10, 14, 22, 42, 50 年撂荒地表层土壤样品, 进行有机质含量分析。根据以上分析结果作趋势线图, 如图 1～3所示。

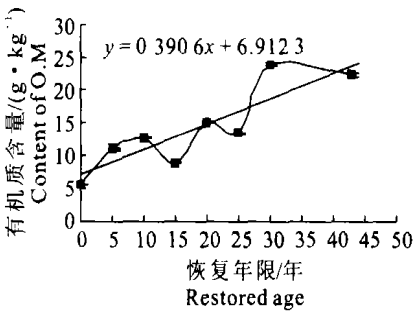

图 1　不同恢复年限刺槐地土壤有机质含量的变化

Fig. 1　Change of organic matter content in soil under distinct retored ages of *Robinia pseudoacacia*

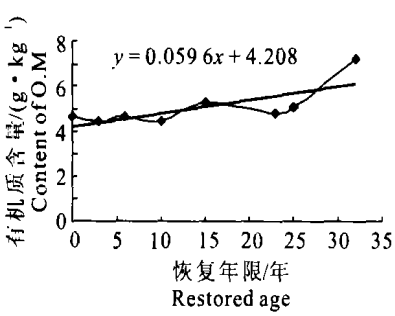

图 2　不同退耕年限苜蓿地土壤有机质含量的变化

Fig. 2　Change of organic matter content in soil under distinct retored ages of *Medicago sativa*

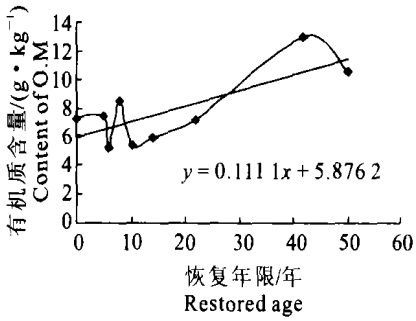

图 3　不同恢复年限撂荒地土壤有机质含量的变化

Fig. 3　Change of organic matter content in uncropped soil of distinct restored ages

由图 1～3 可以看出, 随植被恢复年限的增加, 刺槐和苜蓿地土壤有机质含量呈增大趋势, 刺槐土壤有机质含量与其退耕年限的相关系数 r = 0.873 2, 大于 $r_{0.01,6}$ = 0.834, 呈极显著线性相关; 苜蓿地土壤有机质含量与植被退耕年限的相关系数 r = 0.754 4, 大于 $r_{0.05,6}$ = 0.707, 呈显著线性相关; 撂荒地土壤有机质含量与植被退耕年限的相关系数 r = 0.772 8, 大于 $r_{0.05,7}$ = 0.666, 呈显著线性相关。这是因为在植物生长过程中, 植物吸收环境中的碳素并将其转变为有机物质, 并以枯落物等带入土壤逐年累积所致。在图 1～3 中, 其趋势线斜率不同, 表明土壤有机质含量随恢复年限增加的增长速度也不同。原因可能与不同植物吸收转化碳素的能力、土壤中的有机质积累与矿化量、植被恢复年限间隔不一等因素有关。

2.2　植被类型与土壤有机质含量的关系

对安塞纸坊沟农田和退耕约 20 年的草地、柠条、柳树、山杨、柏树、刺槐等地块的有机质含量进行调查分析, 结果(图 4)发现, 不同植被覆盖下的土壤有机质含量排序为: 刺槐林地> 柏树林地> 山杨林地> 柳树林地> 柠条林地> 草地林地> 农田林地。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

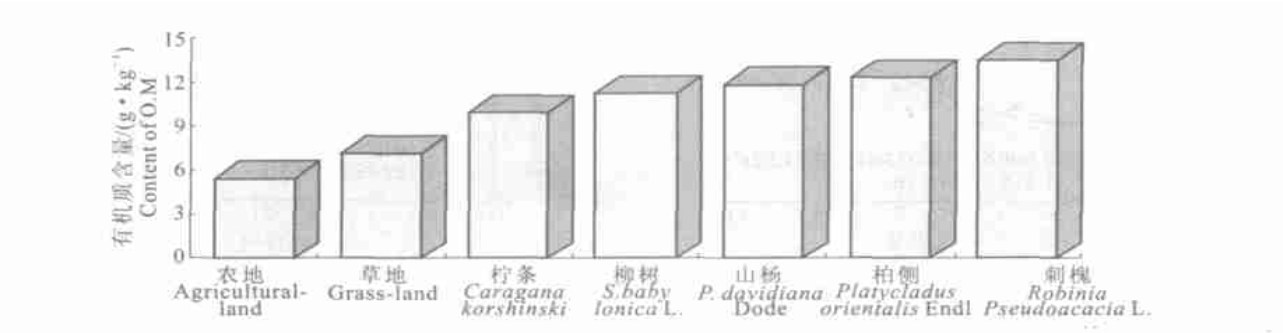

图 4　安塞县不同植被类型立地土壤有机质含量的变化

Fig. 4　Change of organic matter content in soil among different vegetation types in Ansai county

在农田中, 化肥与有机肥料的投入及其植物固定虽增加了土壤有机质含量[10~12], 但地上部分的收割减少了碳源的归还, 加上长期的土壤翻耕和植物吸收矿质氮也加大了有机质矿化利用, 从而导致农田的有机质含量降低。其次为草地、灌木, 以乔木林地的有机质含量最高, 即在安塞恢复 20 年的植被中, 土壤有机质含量随着植被逐渐乔木化而增大。

2.3　坡面有机质分布

选取坡地梯田、裸地(11 年小区, 建区前为油松林地)、沙蒿(天然生长)、草地(约 42 年, 主要有茭蒿和索芭)、混交林(杨树和沙棘混交)、撂荒地(5 年)、柴松(约 200 年)、狼牙刺(天然生长) 8 个坡面, 沿坡面从坡顶开始每隔 10 m 采 1 个点样, 对坡面表层(0~20 cm) 土壤有机质含量用多项式进行拟合, 结果如图 5~12 所示。由图 5~12 可以看出, 坡面表层土壤有机质分布类似"正弦"或"反弦"分布。坡地梯田、裸地、沙蒿、草地、混交林表现得尤为明显, 而天然灌木和柴松的分布趋势不甚明显, 这可能与雨水对坡面的侵蚀有关。无论是"正弦"还是"反弦"曲线, 在坡面中上部附近, 土壤有机质含量都有大幅度下降, 而坡底有机质含量较高, 这是由于坡面中上部大量土壤粘粒和粉粒流失至坡底富集所致[13]。

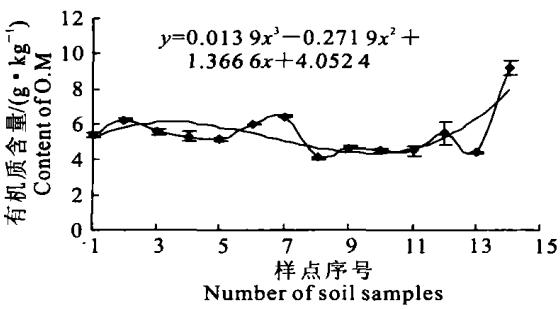

图 5　坡地梯田土壤有机质含量的变化

Fig. 5　Change of O. M content in soil on slope terrace

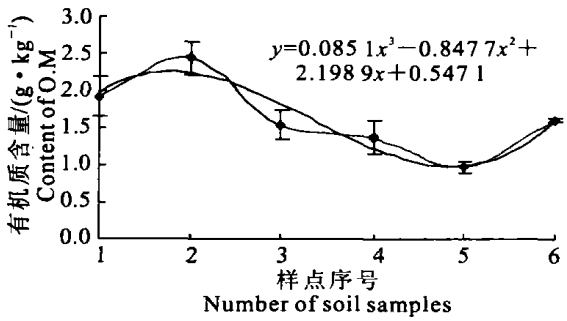

图 6　裸地坡面土壤有机质含量的变化

Fig. 6　Change of O. M content on the slope of bare-land

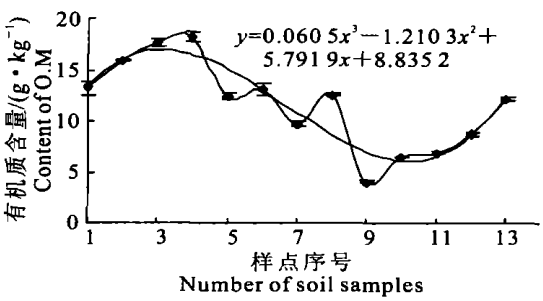

图 7　沙蒿坡面土壤有机质含量的变化

Fig. 7　Change of O. M content in soil on the slope of *A. desertoum* Spreng

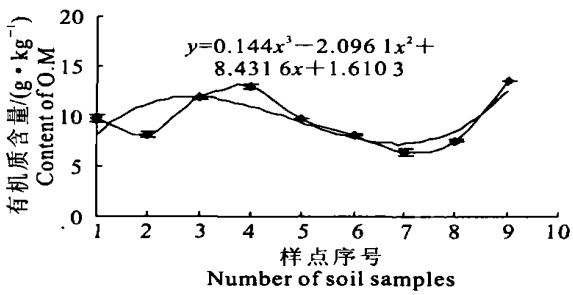

图 8　草地坡面土壤有机质含量的变化

Fig. 8　Change of O. M content on the slope of grassland

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

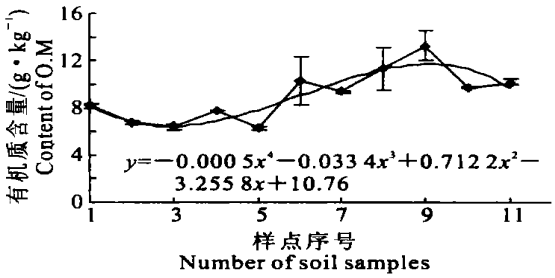

图 9　乔灌混交林坡面有机质含量的变化

Fig. 9　Change of O. M content in soil on the slope covered by shrub and arbar

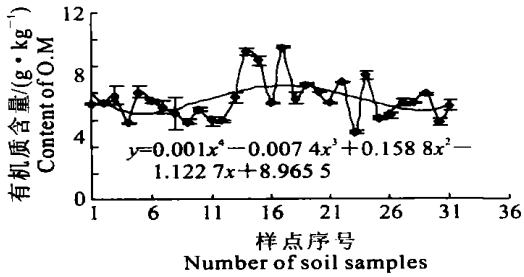

图 10　5 年撂荒地坡面土壤有机质含量的变化

Fig. 10　Change of O. M content in soil in the five-year-uncropped land

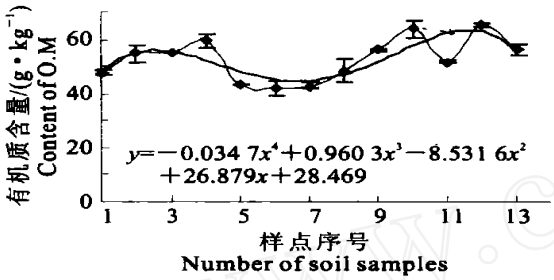

图 11　天然柴松坡面有机质含量的变化

Fig. 11　Change of O. M content in soil on the slope of crude *P. shenkaneusis* Yao et Hsu

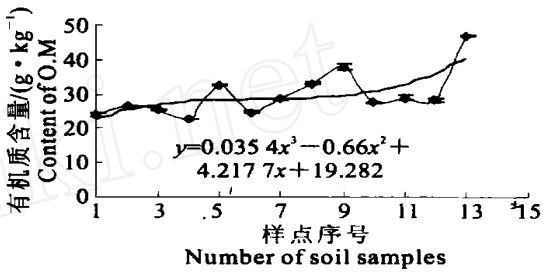

图 12　天然狼牙刺坡面有机质含量的变化

Fig. 12　Change of O. M content in soil on the slope of crude *Sophora vivifolia*

由图 5～12 还可以看出, 柴松林地土壤有机质含量为 40～60 g/kg, 天然狼牙刺林地土壤有机质含量为 20～40 g/kg, 而其他地块土壤有机质含量不超过 20 g/kg。且柴松和天然狼牙刺林地土壤有机质含量的分布趋势线并不类似一个周期的"正弦"或"反弦"曲线。这是因为狼牙刺和柴松坡面植被生长较好, 水土保持功能较强, 土壤受雨水侵蚀较少, 有机质向坡脚富集不多。撂荒地坡面土壤有机质也不呈"正弦"或"反弦"分布(图 10), 可能是因为坡面起伏较大, 且距坡顶 210 m 左右(第 22 个采样点附近)有一条约 6 m 宽的路坎的缘故。

2.4　土壤有机质的垂直分布

选取坡地梯田(安塞县)、裸地(富县实验地小区)、苜蓿草地(神木县)和沙柳(神木县)、沙棘(安塞县)、油松林地(安塞县)作为研究对象, 测定土壤有机质含量。结果(表 1)表明, 在 0～60 cm 土壤剖面中, 随采样深度(每 20 cm 1 层)增加, 土壤有机质含量依次递减。这是由于有机质来源的差异引起的, 土壤有机质主要来自于植物枯落物与腐朽根系、动物残骸、土壤微生物及人为施用的有机肥料[11, 12]。很明显, 0～20 cm 的土层比 20～40 cm, 40～60 cm 的土层更易获得有机质碳源。

表 1　不同植被覆盖土壤 0～60 cm 土层有机质含量的变化

Table 1　Change of organic matter content in 0～60 soil layers under different vegetations coverings　　g/kg

深度/cm Depth	坡地梯田 Terrace on the slope	裸地 Bareland	苜蓿 *Medicago sativa* Linn	沙柳 *S. mongolica* Siuz	沙棘 *Hippophae rhamnoides*	油松 *Pinus tabulaeformis*
0～20	4.63	14.11	5.04	1.08	5.44	26.52
20～40	2.12	7.59	2.46	0.81	3.38	10.83
40～60	1.73	5.96	2.04	0.70	2.66	8.26

在表 1 中, 同一土壤层次不同植被类型林下土壤的有机质含量不同。这是因为各地块的植被、气候、土壤质地、地貌等因素不同, 导致土壤有机质来源和矿化程度不同所造成。表 1 中裸地小区的建区年限为 11 年, 其前身为 20 年左右的油松林, 环境较为阴湿, 所以尽管裸地缺乏有机质来源, 但裸地的有机质含量仍然较高; 沙柳地土壤的有机质含量很低, 仅为 1.08 g/kg。这是因为沙柳地地处神木风沙区, 处于一个多风、干燥(0～20 cm 土壤含水量仅 8.6 g/kg)、土壤侵蚀严重的自然环境中, 土壤有机质极易矿化和流失。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.5　地理位置对土壤有机质含量的影响

2.5.1　地理位置对乔木、灌木、草地土壤有机质的影响

选取 4 个采样地点的乔木、灌木、草地的土壤表层样品, 测定有机质含量, 结果列于表 2。

表 2　地理位置对不同植被覆盖土壤有机质含量的影响

Table 2　Effect of geographical places on soil organic matter content under different vegetation coverings　g/kg

地点 Place	土壤类型 Soil types	乔木 Arbor		灌木 Shrub		草地 Grassland
		油松 *Pinus tabulaeformis*	刺槐 *Robinia seudoacacia*	狼牙刺 *Sophora vivifolia*	柠条 *Caragana korshinski*	
宜川 Yichuan	灰褐土 Huihe soil	20.00	11.29	14.57	-	27.39
富县 Fu county	褐色土 Hese soil	34.84	18.81	29.77	-	-
安塞 Ansai	黄绵土 Huangmian soil	10.13	13.47	15.91	10.54	12.22
神木 Shenmu	沙黄土 Shahuang soil	5.45	-	-	-	7.18
	风沙土 Fengsha soil	-	-	-	2.03	1.38

注: "-"表示该地区对应的植被较少。

Note: "-" means that the exist of corresponding vegetation is lacking in the area

由表 2 可见, 宜川和富县两地土壤有机质含量较高。不同地理位置下, 油松林地(约 20 年) 土壤有机质含量表现为富县> 宜川> 安塞> 神木; 刺槐(约 25 年) 和狼牙刺林地表现为富县> 安塞> 宜川; 草地为宜川> 安塞> 神木(沙黄土) > 神木(风沙土); 在宜川铁龙湾和富县任家台, 柠条主要为野生, 无成片生长的地块; 安塞和神木主要以人工种植为主, 神木柠条地土壤有机质含量不足安塞的 20%。

同一植被下, 地理位置所引起的土壤有机质差异, 主要是由于各地气候、土质、水土流失等不同所致。神木县由于水土流失、土壤风化严重, 气候干燥土壤有机质极易矿化, 所以土壤有机质含量很低。特别是风沙土中草地土壤有机质含量仅为 1.38 g/kg, 是神木沙黄土的 19%, 安塞黄绵土的 11%, 宜川灰褐土的 5%。

2.5.2　陕北土壤有机质的南北差异

采集不同年限的草地、灌木、乔木林地的 0～20 cm 土壤样品 617 个, 其中宜川 70 个(1～70 号)、富县 108 个(71～178 号)、安塞 257 个(179～435 号)、神木 182 个(436～617 号), 分析其有机质含量, 结果如图 13 所示。由图 13 可见, 其有机质分布共出现了 3 个高峰, 分别分布在宜川、富县和安塞。究其原因: 一是因为植被覆盖类型不同, 土壤有机质含量不同; 二是各地区间气候、土壤质地、人为活动强度的差异, 也是导致土壤有机质含量不同的重要影响因素。

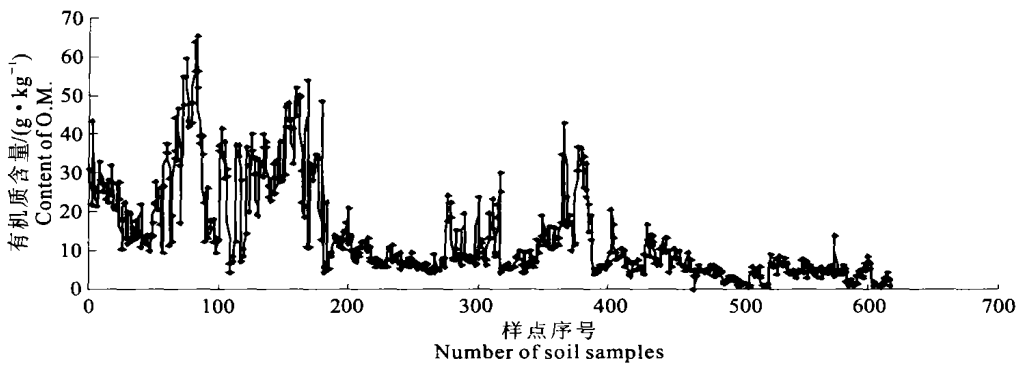

图 13　陕北 0～20 cm 土层土壤有机质的分布

Fig. 13　Distribution of organic matter content in the soil about 0- 20 cm in Northern Shaanxi

从整体看, 在陕北地区现有的植被分布情况下, 表层土壤有机质含量由南至北依次降低, 土壤有机质平均含量表现为富县(为 31.35 g/kg) > 宜川(为 22.45g/kg) > 安塞(为 10.84 g/kg) > 神木(为 4.61 g/kg)。据调查资料进行分析, 有机质含量的降低与人为破坏植被, 从而导致水土流失和土壤退化、沙化密切相关。神木地区处于风蚀、水蚀交错带, 纬度较高、气候干燥、少雨, 人工次生林较少, 且土壤沙化比较严重, 土壤含水量较低, 有机质易流失、矿化。在宜川、富县, 纬度较低, 人工次生林生长较好, 林区较

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

多, 气候相对湿润, 土壤含水量较高, 土壤有机质易累积。安塞地处二者之间, 水土流失也相当严重, 土壤有机质含量仅优于神木, 这一试验结果也支持了陕北有机质含量分布南高北低的判断。

3 结 论

1) 在刺槐林地、苜蓿草地和撂荒地中, 土壤有机质含量随植被的恢复年限增加而增大, 但其增长速度并不相同。且土壤有机质含量与植被恢复年限呈线性相关。

2) 在安塞县纸坊沟流域约 20 年的植被立地中, 土壤有机质含量表现为刺槐林地> 柏树林地> 山杨林地> 柳树林地> 柠条林地> 草地林地> 农田林地, 即随着植被逐渐乔木化而有增大的趋势。

3) 坡面土壤有机质含量在各个坡面的分布趋势, 类似一个周期的"正弦"或"反弦"曲线, 但植被生长较好时, 这种分布趋势不明显。无论是"正弦"还是"反弦"曲线, 在坡面中上部附近, 土壤有机质含量大幅度下降, 而在坡脚有所富集。

4) 在不同植被覆盖土壤的 0～60 cm 土层, 土壤有机质含量依次为 0～20 cm > 20～40 cm > 40～60 cm。在同一土层, 土壤有机质含量也不同。

5) 在陕北, 草地及灌木、乔木林地土壤的有机质含量随纬度的增加而降低。由南至北, 4 个采样地区, 土壤有机质含量表现为富县> 宜川> 安塞> 神木。

[参考文献]

[1] 张俊华, 常庆瑞, 贾科利, 等. 黄土高原植被恢复对土壤肥力质量的影响研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 38- 41.

[2] 田积莹, 黄义端. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀性能指标的初步研究[J]. 土壤学报, 1964, 12(3): 278- 296.

[3] 张兴昌, 邵明安. 水蚀条件下不同土壤氮素和有机质的流失规律[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 231- 234.

[4] 刘国彬. 黄土高原草地植被恢复与土壤抗冲性形成过程Ⅲ. 植被恢复对土壤腐殖质物质及水稳性团聚体的影响[J]. 水土保持研究, 1997, 4(5): 122- 128.

[5] 黄奕龙, 傅伯杰, 陈利顶. 黄土高原水土保持建设的环境效应[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1): 29- 32.

[6] Armstrong C L, Mitchell J K. Transformation of rainfall by plant cancopy[J]. Trans ASAE, 1987, 30(3): 688- 696.

[7] 任 海, 彭少麟, 刘鸿先, 等. 小良热带人工混交林的凋落物及其生态效益研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(5): 458- 462.

[8] 刘定辉, 李 勇. 植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 34- 37.

[9] 刘光崧. 土壤理化分析与坡面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.

[10] 史吉平, 张夫道, 林 葆. 长期施肥对土壤有机质及生物学特性的影响[J]. 土壤肥料, 1998, (3): 7- 11.

[11] 张爱君, 张明普. 长期施用有机和无机肥料对黄潮土有机质含量及组成的影响[J]. 江苏农业研究, 2001, 23(3): 30- 33.

[12] 王彩绒, 杨学云, 张付申. 施肥对土壤有机质的影响研究[J]. 陕西农业科学, 2000, (7): 13- 15.

[13] 李 勇, 张建辉, 杨俊诚, 等. 陕北黄土高原陡坡地土壤侵蚀变异的空间格局[J]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 17- 21.

Distribution of soil organic matters on loess plateau of Northern Shaanxi

XUE Xiao-hui[1,3], **LU Fang**[4], **ZHANG Xing-chang**[1,2]

(1 *The Research Center Of Soil and Water Conservation & Ecological Entironment, CAS, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*;
2 *School of Resource And Environmental Sciences, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*;
3 *Graduate School of Chinese Academy Science, Beijing* 100039, *China*; 4 *Environmental Monitoring of Xi'ning, Xi'ning, Qinghai* 810008, *China*)

Abstract: By analyzing the organic matters content in soils of different vegetations coverings with different restoration time in North of Shaanxi provice, we found that the content of organic matters increased with the increase of re-vegetation time in the soil with *Robinia pseudoacacia*, *Medicago sativa* L. inn planted and abandoned land, and there was a linear correlation between the content of soil organic matters and restored time; The content of organic matters increased with the coverings turning from grass to arbor in Ansai; The content of soil organic matters reduced with the increase of soil depth in 0- 60 cm layers; Though the trend-line was simulated with multinomial, we found that distribution of soil organic matters in slope surface layer soils showed "sinusoid" or "re-sinusoid" in a whole period, except those slopes with well vegetations. Besides, the content of soil organic matters was affected by geographical position, and dropped with the increase of latitude from south to north with a distribution order of Fu county> Yichuan> Ansai > Shenmu.

Key words: soil organic matter; re-vegetation; Loess Plateau; North of Shaanxi provice

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net