

土地利用类型对土壤微生物量和有机质的影响

董莉丽¹, 郑粉莉^{2,3}

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 西北农林科技大学 资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100;
3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 对陕北黄土丘陵区农地、园地、人工草地、荒地、灌木林地、经济林地和乔木林地等 7 种不同土地利用类型土壤剖面 4 个土壤层次的土壤微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)、土壤呼吸(RS)和土壤有机质含量(SOM)进行了测定。分析了 MBC、MBN、RS、SOM 和全氮(TN)之间的相关性;并对土壤微生物对土壤健康的生物指示功能和土地利用类型对土壤有机质的影响进行了研究。结果表明,各土地利用类型表层土壤 MBC 和 MBN 分别在 84.14~512.78 和 4.29~41.83 mg/kg 之间,RS 在 108.69~235.71 mg/kg 之间。荒地和乔木林地的土壤微生物量含量和 RS 值较高,农地较低;SOM 在 0.510%~1.547% 之间,在乔木林地和经济林地较高,在农地、园地和人工草地较低,且在不同土地利用类型之间的差异显著。土壤微生物量和 RS 与 SOC、TN 显著相关,说明土壤微生物学特征可以用来表示土壤健康水平。农地转变为其它土地利用类型后会明显提高土壤微生物量和有机质含量,尤以表层土壤增幅最为明显。

关键词: 土地利用;土壤微生物量;土壤有机质;黄土丘陵区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0010-06

中图分类号: S154.1

Effects of Land-use Types on Soil Microbial Biomass and Organic Matter

DONG Li-li¹, ZHENG Fen-li^{2,3}

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry land Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Soil microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN), soil respiration (RS), and soil organic matter (SOM) under various landuses including farmland, garden plot, artificial pasture, waste land, shrub land, economic woodland, and arbor land in the loess hilly-gully region were measured. The relationships among soil microbial biomass, soil respiration, soil organic matter (SOM), and total nitrogen (TN) were studied and the function of soil microbial properties as bio-indicators of soil health was illustrated. In addition, the effects of landuse on soil organic matter were evaluated. Results indicate that the content of MBC in topsoil ranges from 84.14~512.78 mg/kg; the content of MBN, from 4.29 to 41.83 mg/kg; and the content of RS, from 108.69 to 235.71 mg/kg. The contents of microbial biomass and RS in topsoil are higher in waste land and arbor land and lower in the farmland. The content of SOM in topsoil is 0.510%~1.547% and it is higher in the economic woodland and arbor land and lower in the farmland, garden plot, and artificial pasture. Its differences are significant in various landuses. Soil microbial biomass and RS are markedly correlated with organic matter and total nitrogen and soil microbial properties can be used to indicate the health of soils. The conversion of farmland into other landuses results in a remarkable increase in the amounts of microbial biomass and soil organic matter, especially in topsoil.

Keywords: landuse; soil microbial biomass; soil organic matter; loess hilly-gully region

收稿日期: 2009-02-27

修回日期: 2009-07-02

资助项目: 中国科学院西部行动计划(二期)(KZCX2-XB2-05-03); 西北农林科技大学创新团队(01140202); 西北农林科技大学拔尖人才计划(01140102)

作者简介: 董莉丽(1979—), 女(汉族), 陕西省扶风县人, 博士生, 研究方向为生态修复与环境效应评价。E-mail: donglili@stu.snnu.edu.cn.

通信作者: 郑粉莉(1960—), 女(汉族), 陕西省蓝田县人, 教授, 博士生导师, 研究方向为土壤侵蚀预报与水土保持。E-mail: flzh@ms.iswe.ac.cn.

不同土地利用类型通过改变根际、地上和地下枯枝层并通过影响截流和下渗过程从而影响土壤有机物质的数量、质量和微生物活动的环境因素,造成土壤有机质的转化和土壤微生物群落功能特性的显著差异,进而引起土壤微生物特征的变化。近年来将土壤微生物量等土壤微生物特性作为土壤健康的生物指标来指导土壤生态系统管理已逐渐成为研究热点^[1-2]。土壤微生物量是土壤养分物质的一个重要的源和汇^[3],与土壤质量密切相关^[4]。多数研究指出土壤微生物量可以作为土壤质量的生物指标^[2,5]。土壤有机质是土壤的重要组成部分之一,其对土壤结构、养分储量及生物活性有重要影响^[6];土壤有机质是主要的有机碳库,在全球气候变化,尤其是大气 CO₂ 浓度升高成为全球关注的焦点背景下,理解不同土地利用类型下土壤有机质含量是评价土壤作为碳源或碳库的基础。自 20 世纪 50 年代,我国政府投入了大量的人力和物力在黄土丘陵区进行植被恢复以防治土壤退化、减少水土流失,并在 1999 年实施了大面积的退耕还林还草工程。期间,一些农地转变为荒草地或林地。许多学者已经做了大量有关这种土地利用类型变化在改善土壤物理^[7]和化学属性^[8]方面的研究。而有关农地转变为林地和草地后,对土壤微

生物特征影响的研究相对较少。另外,由于土地利用类型变化引起的土壤有机质的变化是全球碳平衡的焦点问题,因此,近年也有学者评价土地利用类型对土壤碳库的影响^[8-10]。有关陕北米脂县退耕还林还草引起的土地利用类型的变化对土壤微生物特征和有机质影响的研究鲜有报道。本研究选择该县境内泉家沟和艾家峁两个自然村,比较农地、园地、人工草地、荒地、灌木林地、经济林地和乔木林地几种不同土地利用类型对土壤微生物特征和有机质的影响。分析了微生物量、土壤有机质(SOM)、土壤呼吸量(RS)和全氮(TN)之间的相关性,评价了由于植被恢复工程引起的土地利用类型变化在改善土壤微生物特征和提高土壤有机质含量进而增加土壤碳固定方面的作用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西榆林市米脂县,多年平均降水 422 mm,全年降水分布极不均匀,年最高降水量达 704.8 mm,最低降水量 186.1 mm。7—9 月平均降水量为 291.1 mm,占全年总降水量的 64.5%,汛期降雨多为大雨和暴雨。年平均气温 8.4℃,年平均蒸发量 1 557 mm,干燥度 3.74,土壤类型为黄绵土。

表 1 样地基本情况

土地利用类型	退耕年限/a	坡向	坡度	经度、纬度	优势种及平均总盖度	主要伴生种
农地	0	NE70°	28°	110°17'33"E / 37°46'37"N	玉米	
园地(苹果园)	21	NE65°	0°	110°17'34"E / 37°46'37"N	苹果树	狗尾草,鹅绒藤,苦苣菜
人工草地(苜蓿地)	3	NW50°	25°	110°16'07"E / 37°46'25"N	苜蓿 50%	猪毛蒿,早熟禾,赖草
荒地(荒草地)	10	N	20°	110°15'51"E / 37°46'27"N	芨芨蒿 90%	芹叶铁线莲,莼花,大针茅
灌木地(柠条地)	37	E	32°	110°16'10"E / 37°46'04"N	柠条 65%	莼花,长芒草,狗娃花
经济林地(仁用杏地)	14	NE10°	33°	110°15'53"E / 37°46'28"N	仁用杏,达乌里胡枝子 75%	早熟禾,铁杆蒿,狗娃花
侧柏地	49	NE24°	18°	110°17'34"E / 37°46'37"N	侧柏,早熟禾 40%	狗娃花,棘豆,莼花
乔木林地						
油松地	24	NE35°	22°	110°15'51"E / 37°46'29"N	油松,芨芨蒿和达乌里胡枝子 50%	狗娃花,鹅观草,早熟禾
杨树地	24	NE35°	30°	110°15'50"E / 37°46'29"N	杨树,芨芨蒿 60%	胡枝子,莼花,大针茅
刺槐地	24	NE55°	30°	110°15'49"E / 37°46'29"N	刺槐,莼花和早熟禾 70%	野艾蒿,艾蒿,大针茅

注:表中植物拉丁名分别为:侧柏(*Platycladus orientalis*);杏树(*Prunus armeniaca*);苜蓿(*Medicago sativa*);油松(*Pinus tabulaeformis*);杨树(*Populus davidiana*);柠条(*Caragana korshinskii*);刺槐(*Robinia pseudoacacia*);早熟禾(*Poa annua*);达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*);芨芨蒿(*Artemisia giraldii*);莼花(*Wikstroemia indica*);狗娃花(*Heteropappus hispidus*);棘豆(*Oxytropis*);狗尾草(*Setaria viridis*);鹅绒藤(*Cynanchum chinense*);苦苣菜(*Lactuca indica*);铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*);猪毛蒿(*Artemisia scoparia*);赖草(*Leymus scalinus*);鹅观草(*Roegneria kamoji*);大针茅(*Stipa grandis*);芹叶铁线莲(*Clematis aethusifolia*);长芒草(*Stipa bungeana*);野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)。

1.2 野外调查取样与室内分析

本研究土地利用类型包括农地, 园地, 人工草地, 荒地, 灌木地和乔木林地, 样地基本情况见表 1。2007 年 9 月底 10 月初进行土壤样品采集。每个样地按 S 型布设 5 个样点, 每个样点采集剖面样品, 每个剖面分 0—5 cm, 5—10 cm, 10—20 cm 和 20—40 cm 共 4 层采集土壤样品, 将每层采集的 5 个样点土壤样品混合均匀, 按四分法分 3 袋装。SOM 采用重铬酸钾—硫酸氧化法^[11]。

调节各土样的含水量, 使其为田间持水量的 50% 左右, 在 25±1 °C 条件下密闭培养 14 d。用碱液吸收法测定土壤呼吸量, 单位为 mg/kg。用 0.5 mol/L K₂SO₄ 浸提熏蒸和不熏蒸土样(液土比为 4:1), 在 25 °C 的振荡机上振荡 30 min 后过滤, 浸提液分别用于测定土壤总有机碳(岛津 TOC-VCPH) 和速效氮(Bran-Luebbe 流动分析仪)。土壤微生物量碳(MBC) = (熏蒸浸提的有机碳 - 未熏蒸浸提的有机碳) × 4/0.38/(1 - 含水量)。土壤微生物量氮(MBN) = (熏蒸浸提的氮 - 未熏蒸浸提的氮) × 4/0.45/(1 - 含水量)。

1.3 统计分析

所有结果以烘干土质量为基础进行计算。给出了 3 个重复的算术平均值及其标准偏差。应用最小显著性差异(LSD) 检验不同土地利用类型土壤各属性之间的差异显著性, 具有相同字母者代表 0.05 水平差异不显著。利用相关性分析研究 MBC, MBN, SOM, TN, RS 之间的相关性。所有统计分析利用 SPSS 13.0 完成。

2 结果与分析

2.1 土地利用类型对土壤微生物量碳、氮的影响

土壤微生物量的高低反映了土壤同化和矿化能力的大小, 是土壤生态系统肥力的重要生物学指标。表 2 为不同土地利用类型下土壤剖面 0—5 cm, 5—10 cm, 10—20 cm 和 20—40 cm 各土层的 MBC 和 MBN 的含量。由表 2 可知各土地利用类型下 0—5 cm, 5—10 cm, 10—20 cm 和 20—40 cm 各土层的土壤 MBC 含量分别在 84.14~512.78 mg/kg, 59.81~205.61 mg/kg, 24.99~137.01 mg/kg, 9.89~68.24 mg/kg 之间, 表层(0—5cm) 土壤 MBC 含量的大小顺序为: 荒地 > 乔木林地 > 灌木林地 > 经济林地 > 人工草地 > 园地 > 农地。LSD 检验表明 MBC 除在灌木林地和经济林地之间, 园地和农地之间差异不显著外, 其它各土地利用类型之间的差异性显著。表层土壤 MBC 含量在 84.14~512.78 mg/kg 之间, 与王小

利等^[12] 研究认为旱地和林地表层土壤 MBC 在 100~500 mg/kg 之间的结论接近。在土壤剖面上, 除在农地和灌木林地的 10—20 cm 土层 MBC 含量大于 5—10 cm 土层含量外, 在其它各土地利用类型下的 0—5 cm, 5—10 cm, 10—20 cm 和 20—40 cm 土层的 MBC 含量依次降低。

土地利用类型的不同也会引起 MBN 的变化, 表层土壤 MBN 变化范围在 4.29~41.83 mg/kg 之间, 占全氮(全氮数据见参考文献 13) 的 0.15~7.34%, 平均为 2.26%, 与 Zhou 等^[14] 研究黄土高原区土壤微生物氮为全氮的 0.20%~5.65%, 平均为 3.36% 的结论接近。表层土壤 MBN 含量的大小顺序为: 荒地 > 乔木林地 > 灌木林地 > 园地 > 人工草地 > 农地 > 经济林地。在土壤剖面上, 农地的 5—10 cm 土层的 MBN 含量大于 0—5 cm, 20—40 cm 土层 MBN 含量大于 10—20 cm 土层; 灌木林地的 20—40 cm 土层 MBC 含量大于 10—20 cm 土层; 其它各土地利用类型下的 0—5 cm, 5—10 cm, 10—20 cm 和 20—40 cm 的 MBN 含量依次降低。

土壤呼吸主要是由土壤微生物的活动引起, 土壤呼吸代表了土壤 C 素的周转速率和微生物的整体活性。土壤呼吸量(RS)(表 3) 大小顺序为: 乔木林地 > 荒地 > 灌木林地 > 经济林地 > 人工草地 > 园地 > 农地。其中, 乔木林地和荒地, 荒地、灌木林地和经济林地, 灌木林地, 经济林地和人工草地, 园地和农地之间差异不显著。其它各土地利用类型之间差异性均显著。在土壤剖面上, RS 除在园地的 20—40 cm 大于 10—20 cm 外, 在其它各土地利用类型下的 0—5 cm, 5—10 cm, 10—20 cm 和 20—40 cm 依次降低。

农地为玉米和土豆轮作的坡耕地, 由于耕种、施肥等人为扰动较剧烈, 表土侵蚀严重, 有机物质矿化剧烈, 加之作物收获后, 秸秆被取走, 微生物的能源缺乏严重使微生物量降低。而农地转变为其它土地利用类型后, 农田生态系统的开放性物质循环结构转变为封闭或半封闭物质循环结构, 每年大量的枯枝落叶和营养元素重新返回到土壤中, 有机物质输入逐渐增多, 微生物可利用的碳源氮源增加, 微生物活性及微生物量升高^[15]。荒地为退耕 10 a 的荒草地, 优势种为茭蒿, 其平均高度为 70 cm, 总盖度为 90%。茭蒿是多年生草本状的半灌木, 具有大量根毛, 使得该样地不仅地上生物量大, 为土壤微生物提供大量凋落物, 而且根系的分泌物和衰亡的根系为微生物提供了丰富的能源; 加之该样地坡向为正北方向, 且坡度较小, 而 Bastida 等^[16] 也认为: 坡向为正北方向的微生物量高; 因此荒地土壤微生物量较高。荒地表层土壤

微生物量显著高于经济林地和乔木林地, 而有机质含量(表 3)显著小于经济林地和乔木林地, 说明荒地表层土壤有较多的碳氮通过同化作用转入到微生物体内暂时固定, 有利于调节土壤养分供应, 提高养分利用率。在 3 个林地土壤中, 经济林地土壤微生物量和 RS 最小, 这主要与其退耕时间较短, 坡度较大且受人

为扰动较剧烈有关。土壤微生物量和 RS 在土壤剖面上一般随土层的加深而降低, 且不同土地利用类型表层土壤微生物量和 RS 差异较显著, 这主要是由于枯枝落叶或植物残体在地表聚集的原因。另外, 由于农地翻耕、播种、施肥等因素, 土壤微生物量和 RS 在土壤剖面各层次之间的差异小。

表 2 不同土地利用类型下土壤 MBC 和 MBN

土地利 用类型	MBC/(mg · kg ⁻¹)				MBN/(mg · kg ⁻¹)			
	0—5 cm	5—10 cm	10—20 cm	20—40 cm	0—5 cm	5—10 cm	10—20 cm	20—40 cm
农地	84.14 ^a (8.56)	63.87 ^{cd} (18.58)	88.33 ^b (20.87)	46.22 ^{bc} (9.97)	5.48 ^{cd} (2.66)	7.00 ^{bcde} (2.46)	0.94 ^c (0.18)	2.64 ^{cd} (1.41)
园地	109.73 ^e (10.93)	59.81 ^d (6.77)	24.99 ^e (0.00)	9.89 ^d (4.36)	13.34 ^{cd} (1.28)	5.21 ^{cd} (1.30)	4.42 ^{bc} (0.99)	3.07 ^{cd} (0.11)
人工草地	198.97 ^d (6.63)	98.92 ^c (5.61)	92.67 ^b (3.85)	56.87 ^{ab} (2.99)	11.63 ^{cd} (3.14)	3.26 ^d (1.88)	1.47 ^c (0.88)	0.80 ^d (0.00)
荒地	512.78 ^a (22.76)	149.93 ^b (25.82)	137.01 ^a (21.16)	57.55 ^{ab} (24.11)	41.83 ^a (1.52)	14.20 ^a (1.81)	13.41 ^a (4.49)	7.77 ^{ab} (0.78)
灌木林地	268.31 ^c (34.79)	65.68 ^{cd} (19.58)	77.86 ^b (18.85)	19.22 ^d (0.00)	14.77 ^{bc} (1.07)	10.08 ^b (0.71)	6.89 ^b (0.70)	9.49 ^a (0.59)
经济林地	246.50 ^c (20.92)	160.12 ^b (20.70)	97.88 ^b (9.88)	25.32 ^{cd} (14.33)	4.29 ^d (0.76)	2.26 ^c (0.98)	0.79 ^c (0.27)	0.72 ^d (0.44)
乔木林地	417.22 ^b (34.49)	205.61 ^a (28.21)	125.38 ^a (13.05)	68.24 ^a (5.70)	23.50 ^b (11.52)	7.45 ^{bc} (3.63)	6.12 ^b (2.31)	4.98 ^{bc} (3.26)

注: LSD 检验, 字母相同的表示在 0.05 水平上差异不显著。下同。

表 3 不同土地利用类型下土壤 RS 和 SOM

土地利 用类型	RS/(mg · kg ⁻¹)				SOM/%			
	0—5 cm	5—10 cm	10—20 cm	20—40 cm	0—5 cm	5—10 cm	10—20 cm	20—40 cm
农地	108.69 ^d (12.44)	73.92 ^d (0.68)	70.85 ^c (3.94)	64.64 ^c (1.58)	0.510 ^e (0.009)	0.498 ^e (0.025)	0.560 ^{bc} (0.008)	0.510 ^b (0.017)
园地	127.74 ^d (16.19)	86.75 ^{cd} (4.79)	73.57 ^c (0.00)	74.12 ^{bc} (4.75)	0.727 ^e (0.038)	0.634 ^d (0.024)	0.516 ^{cd} (0.014)	0.391 ^c (0.018)
人工草地	171.37 ^c (10.98)	95.16 ^{cd} (21.82)	85.62 ^{bc} (9.51)	65.16 ^c (10.38)	0.607 ^f (0.017)	0.525 ^e (0.047)	0.458 ^d (0.017)	0.398 ^c (0.015)
荒地	219.43 ^{ab} (9.10)	124.12 ^b (19.20)	99.75 ^{ab} (5.86)	97.38 ^a (4.44)	1.129 ^c (0.013)	0.612 ^d (0.028)	0.622 ^{ab} (0.023)	0.652 ^a (0.012)
灌木林地	202.44 ^{bc} (11.10)	111.56 ^{bc} (3.38)	101.22 ^{ab} (5.58)	94.57 ^a (3.89)	0.960 ^d (0.029)	0.668 ^c (0.010)	0.512 ^{cd} (0.037)	0.395 ^c (0.018)
经济林地	189.78 ^{bc} (3.22)	152.63 ^a (8.09)	114.20 ^a (10.47)	79.42 ^b (3.31)	1.253 ^b (0.055)	0.909 ^a (0.038)	0.663 ^a (0.032)	0.518 ^b (0.014)
乔木林地	235.71 ^a (39.66)	130.02 ^{ab} (26.07)	112.24 ^a (19.53)	94.22 ^a (13.42)	1.547 ^a (0.137)	0.829 ^b (0.099)	0.645 ^a (0.181)	0.435 ^c (0.114)

2.2 不同土地利用类型对土壤有机质的影响

不同土地利用类型和相同土地利用类型土壤剖面不同土层土壤有机质含量状况见表 3。由表中可知, 乔木林地表层土壤有机质含量最高, 为 1.547%, 在农地最低, 为 0.510%; 与农地相比, 有机质含量在乔木林地、经济林地、荒地、灌木林地、园地和人工草地地分别增加了 203.3%、145.7%、121.4%、88.2%、42.5% 和 19.0%; 且各土地利用类型之间的差异均显著。一般认为黄绵土表层有机质含量为 0.45%~0.80%, 7 种土地利用类型中, 除农地、园地和人工草地表层土壤有机质含量在 0.510%~0.727% 之间外, 其它 4 种土地利用类型表层土壤有机质含量在 0.960%~1.547% 之间。其中乔木林地表层土壤有机质含量高, 邱莉萍等^[17] 也认为土壤有机质在农地含量最低, 在林地含量最高。这主要是由于林草地枯枝落叶比较丰富, 可以有效减少径流, 使得表层的养分含量得以保留, 特别是有机质和全氮尤

为明显^[18]。而园地和农地表面无草被覆盖, 且作物生长过程中吸收利用了大量的土壤养分, 作物收获后未留下残茬, 返还到土壤中的有机物很少, 其土壤有机质含量比较低^[17]。巩杰等^[19] 研究认为灌木林地土壤有机质含量高于油松林地和山杏林地, 而本研究得出柠条灌木林地仅高于园地、人工草地和农地, 这主要是由于当地柠条于 1970 年栽种, 部分已经枯死, 地面植被盖度较低且样地坡度较大。以上分析说明植被对土壤有机质明显的积累作用, 同时也说明多年的植树造林工程对坡地养分流失有明显的减缓作用。人工草地土壤有机质含量较低, 仅高于农地, 这主要是由于其退耕仅 3 a, 土壤恢复时间短加之人为扰动等因素使土壤有机质积累缓慢。

相对农地, 其他各土地利用类型表层(0—5 cm)土壤 SOM 增幅明显, 5—10 cm SOM 增加幅度变小, 与农地相比, 经济林地、乔木林地、灌木林地、园地、荒地和人工草地 SOM 分别增加了 82.53%、66.47%、

34.14%, 27.13%, 22.89%, 5.42%。10—20 cm 和 20—40 cm SOM 增加幅度进一步减小,经济林地、乔木林地和荒地 10—20cm 相对农地分别增加了 18.39%, 15.18%和 11.07%;而园地、灌木林地和人工草地相对农地减少了 7.86%, 8.57%, 18.21%; SOM 在荒地和经济林地 20—40 cm 相对农地分别增加了 27.84 和 1.57%, 其它土地利用类型相对农地分别有所降低。林地、荒地和人工草地地表面土壤 SOM 明显高于农地,这主要是由于表层土壤有大量的枯枝落叶,而土壤剖面下部各层土壤枯枝落叶少,且植物根系吸收土壤养分。以上分析表明,农地转变为其它土地利用类型后,表层土壤 SOM 增加最明显,另外,土壤有机质快速且大幅度的增加表明黄土高原在土壤固碳方面具有很大的潜能^[21]。有机质含量在农地各土层排序依次为 10—20 cm (0.560) > 20—40 cm (0.510) > 0—5 cm (0.510) > 5—10 cm (0.498), 其中,后 3 层之间差异不显著。有机质含量在荒地各土层排序依次为: 0—5 cm (1.129) > 20—40 cm (0.652) > 10—20 cm (0.622) > 5—10 cm (0.612), 且其在各层次之间差异显著,其中,有机质含量在 20—40 cm 和 10—20 cm 高于 5—10 cm, 这与采样时发现 20 cm 土层处有约 10 cm 厚的草根有关。其它 5 种土地利用类型土壤有机质含量均随土层深度的增加而降低,且各层之间的差异达显著水平。

2.3 土壤微生物量与养分之间相关性

农地转化为其它土地利用类型后,土壤微生物学特征和养分明显增加,说明其存在一定的相关性,对微生物量、呼吸量与土壤有机质和全氮进行相关性分析(表 4),结果表明, MBC 和 MBN 极显著正相关,且分别与 SOM、TN 和 RS 呈极显著正相关。MBC 与 SOM 相关性系数为 0.865,表明土地利用对土壤 MBC 的影响与有机物质的输入和累积有关。这主要是因为土壤中大量的有机质能够为微生物的生长提供大量的碳源和氮源^[20]。TN 与 MBN 具有极显著的正相关关系,相关系数为 0.623。Chen 等^[21]研究红壤区不同土地利用类型对土壤微生物量影响时得出 TN 与 MBN 之间的相关系数为 0.787,并认为 MBN 是土壤氮肥供应水平的生物学指标。李娟等^[22]研究也得出土壤 MBC、MBN 与 SOC、TN 均呈极显著的正相关的结论,并认为土壤 MBC、MBN 的变化与土壤 SOC、TN 的变化一致,可以代表土壤 SOC、TN 作为评价土壤肥力高低的指标。本研究表明在我国黄土丘陵区土壤微生物量也可用以表示土壤肥力的水平。RS 和 MBC 在各土地利用类型之间的大小顺序基本一致,且二者之间的相关系数达 0.901, Sparling^[23]研究认为土壤呼吸代表了活性微生物量碳部分。农地转变为其它土地利用类型后,土

壤 MBC 和 RS 均有所增加,表明退耕还林还草使土壤生物学性状得到显著改善。MBC 与 RS 显著相关,并且 MBC 与 SOC 显著相关,说明 MBC 不仅是 SOC 变化的敏感指标,并可用于指示土壤微生物活性。RS 与 MBC、SOM 和 TN 均成极显著正相关,且与 MBC 的相关系数最高(表 4),说明基质有效 C、N 的提供对呼吸起着重要的控制作用。

表 4 土壤微生物量、全氮、土壤呼吸之间的相关性分析

项目	MBC	SOM	TN	MBN	RS
MBC	1				
SOM	0.865**	1			
TN	0.844**	0.976**	1		
MBN	0.746**	0.595**	0.623**	1	
RS	0.901**	0.875**	0.876**	0.684**	1

3 结论

7 种土地利用类型表层土壤中,农地转变为其它土地利用类型后,微生物量和土壤呼吸普遍增高。除农地外,其他 6 种土地利用类型表层土壤微生物量均显著大于下部各层,说明植被对表层土壤恢复作用明显。TN 与 MBN、SOM 与 MBC 具有显著的正相关关系, MBC 和 MBN 也呈极显著正相关,表明土壤微生物学特征可以用来表示土壤健康水平。相对农地,土地利用类型发生变化后,表层土壤 SOM 增加最显著,并随土层的加深 SOM 增幅减少,乔林地表层土壤 SOM 增幅最高,苜蓿 SOM 增加最少。表明在黄土丘陵区进行的退耕还林还草工程不仅减少水土流失,提高土壤质量,并且会增强土壤碳的固定。

[参 考 文 献]

- [1] 易志刚, 蚁伟民, 丁明懋, 等. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳、微生物生物量碳和土壤 CO₂ 浓度垂直分布[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 611-615.
- [2] 薛蕙, 刘国彬, 戴全厚, 等. 黄土丘陵区人工灌木林恢复过程中的土壤微生物生物量演变[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 517-523.
- [3] 赵吉. 土壤健康的生物学检测与评价[J]. 土壤, 2006, 38(2): 136-142.
- [4] 周丽霞, 丁明懋. 土壤微生物学特性对土壤健康的指示作用[J]. 生物多样性, 2007, 15(2): 162-171.
- [5] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality[M]// Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, et al. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Madison. Wisconsin: Soil Society of America Special Publication, 1994: 3-21.
- [6] Roldan A, Salinas-Gard J R, Alguacil M M, et al. Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation

- and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field [J]. *Applied Soil Ecology*, 2005, 30: 11-20.
- [7] 刘梦云, 常庆瑞, 齐雁冰. 不同土地利用方式的土壤团粒及微团粒的分形特征 [J]. *中国水土保持科学*, 2006, 4(4): 47-51.
- [8] Chen L D, Gong J, Fu B J, et al. Effect of land use conversion on soil organic carbon sequestration in the loess hilly area, loess plateau of China [J]. *Ecol. Res.*, 2007, 22: 641-648.
- [9] 徐秋芳, 姜培坤, 沈泉. 灌木林与阔叶林土壤有机碳库的比较研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(2): 18-22.
- [10] Wang Zh P, Han X G, Li L H. Effects of grassland conversion to croplands on soil organic carbon in the temperate Inner Mongolia [J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 86: 529-534.
- [11] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 132-136.
- [12] 王小利, 苏以荣, 黄道友等. 土地利用对亚热带红壤低山区土壤有机碳和微生物碳的影响 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 750-757.
- [13] 董莉丽, 郑粉莉. 黄土丘陵区不同土地利用类型下土壤酶活性和养分特征 [J]. *生态环境*, 2008, 17(5): 2050-2058.
- [14] Zhou J B, Li Sh X. Relationships between soil microbial biomass C and N and mineralizable nitrogen in some arable soils on loess plateau [J]. *Pedosphere*, 1998, 8(4): 349-354.
- [15] 薛蕊, 刘国彬, 戴全厚, 等. 黄土丘陵区退耕撂荒地土壤微生物量演变过程 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42, 943-950.
- [16] Bastida F, Barberó G G, Garé a C, et al. Influence of orientation, vegetation and season on soil microbial and biochemical characteristics under semiarid conditions [J]. *Applied Soil Ecology*, 2008, 38: 62-70.
- [17] 邱莉萍, 张兴昌. 子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响 [J]. *自然资源学报*, 2006, 21(6): 965-972.
- [18] 张玉斌, 吴发启, 曹宁, 等. 泥河沟流域不同土地利用土壤养分分析 [J]. *水土保持通报*, 2005, 25(2): 23-26.
- [19] 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.
- [20] Guo M J, Cao J, Wang Ch Y, et al. Microbial biomass and nutrients in soil at different stages of secondary forest succession in Ziwulin, north west China [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 217: 117-125.
- [21] Chen G Ch, He Zh L. Effect of land use on microbial biomass-C, -N and -P in red soil [J]. *Journal of Zhejiang University Science*, 2003, 4(4): 480-484.
- [22] 李娟, 赵秉强, 李秀英, 等. 长期有机无机肥料配施对土壤微生物学特性及土壤肥力的影响 [J]. *中国农业科学* 2008, 41(1): 144-152.
- [23] Sparling J P. Microcalorimetry and other methods to assess biomass and activity in soil [J]. *Soil Biol. Biochem.*, 1981, 13: 93-98.

(上接第9页)

[参 考 文 献]

- [1] 李玉山. 土壤水库的功能和作用 [J]. *水土保持通报*, 1983, 3(5): 27-30.
- [2] 邵明安, 彭新得, 夏卫生. 黄土高原环境的旱化与黄土中水分关系 [J]. *中国科学*, 1998, 28(4): 357-66.
- [3] Grason R B, Western A W, Chiew F H S. Preferred states in spatial soil moisture patterns: local and nonlocal controls [J]. *Water resources research*, 1997, 33: 3897-2908.
- [4] 杨文治, 韩仕峰. 黄土丘陵区人工林草地的土壤水分生态环境 [J]. *中国科学院西北水土保持研究所集刊*, 1985(2): 18-28.
- [5] 王志强, 刘宝元, 海春兴. 晋西北黄土丘陵区不同植被类型土壤水分分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(4): 53-58.
- [6] 杨文治, 邵明安. 黄土高原土壤水分研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 70-80.
- [7] 王志强, 刘宝元, 张岩. 不同植被类型对厚层黄土剖面水分含量的影响 [J]. *地理学报*, 2008, 63(7): 703-713.
- [8] 刘向东, 吴钦孝, 赵鸿雁. 黄土丘陵区人工油松林土壤水分特征的研究 [J]. *中国科学院西北水土保持研究所集刊*, 1991(14): 71-78.
- [9] 王志强, 刘宝元, 徐春达. 连续干旱条件下黄土高原几种人工林存活能力分析 [J]. *水土保持学报*, 2002, 16(4): 25-29.
- [10] 王志强, 刘宝元, 王旭艳, 等. 黄土丘陵半干旱区人工林迹地土壤水分恢复研究 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23(11): 13-18.
- [11] 杨文治, 余存祖. 区域治理与评价 [M]. 北京: 科学出版社, 1992: 241-343.
- [12] 张庆利, 王芝明. 美国有关土壤粒度测定的简便方法 [J]. *水土保持科技情报*, 2002(3): 18-21.
- [13] 蔡永明, 张科利, 李双才. 不同粒径间土壤质地资料的转换问题研究 [J]. *土壤学报*, 2003, 40(4): 151-158.
- [14] 中国科学院南京土壤所. 土壤物理性质测定法 [M]. 北京: 中国科学出版社, 1978: 34-43.
- [15] 王力, 邵明安, 候庆春. 土壤干层量化指标初探 [J]. *水土保持学报*, 2000, 14(4): 87-90.
- [16] 杨文治. 林草植被建设的土壤养分和水分环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 25-36.