

DOI: 10.5846/201805091031

闫丽娟, 李广, 吴江琪, 马维伟, 王海燕. 黄土高原 4 种典型植被对土壤活性有机碳及土壤碳库的影响. 生态学报, 2019, 39(15): - .

Yan L J, Li G, Wu J Q, Ma W W, Wang H Y. Effects of four typical vegetations on soil active organic carbon and soil carbon in Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(15): - .

黄土高原 4 种典型植被对土壤活性有机碳及土壤碳库的影响

闫丽娟¹, 李 广^{2,*}, 吴江琪², 马维伟², 王海燕²

¹ 甘肃农业大学农学院, 兰州 730070

² 甘肃农业大学林学院, 兰州 730070

摘要:对黄土高原丘陵沟壑区 4 种典型植被(荒草地、文冠果林地、柠条灌丛、沙棘林地)进行了活性有机碳(MBC, Microbial Biomass Carbon; EOC, Easily Oxidated Carbon; POC, Particle Organic Carbon)及有机碳的测定,结果表明:4 种植被土壤活性有机碳含量随着土层深度的增加呈逐渐降低的趋势,土壤有机碳为文冠果林地>荒草地>沙棘林地>柠条灌丛,且差异显著($P<0.05$)。荒草地 0—40 cm 范围内土壤 MBC 含量分别比文冠果林地、柠条灌丛、沙棘林地显著降低了 8.61%、23.84%、41.42% ($P<0.05$); 荒草地土壤 POC 含量分别比文冠果林地、沙棘林地降低了 14.47%、16.67%,比柠条灌丛 POC 高出了 25.00%;但荒草地土壤 EOC 含量、碳库活度及碳库管理指数均显著高于其他 3 种植被类型($P<0.05$)。4 中植被类型中沙棘林地土壤微生物熵(SME, Soil Microbial Entropy)最大,而柠条灌丛土壤有机碳储量最小。土壤 SOC 与土壤 EOC、有机碳储量(SOCS, Soil Organic Carbon Storage)显著相关($P<0.05$),而土壤 SOC 与 POC 呈极显著的相关($P<0.01$);土壤 EOC 与土壤 POC 显著相关($P<0.05$),但土壤 MBC 与 SOC、POC、EOC、SOCS 均呈现出不同程度的负相关性。因此土壤活性有机碳能客观反映土壤肥力和土壤质量的变化情况,是描述土壤质量和评价土壤管理的重要指标。

关键词:黄土丘陵;植被类型;微生物熵;碳库管理指数;活性有机碳

Effects of four typical vegetations on soil active organic carbon and soil carbon in Loess Plateau

YAN Lijuan¹, LI Guang^{2,*}, WU Jiangqi², MA Weiwei², WANG Haiyan²

¹ College of Agriculture, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China

² College of Forestry, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China

Abstract: We determined active organic carbon (microbial biomass carbon, MBC; easily oxidized carbon, EOC; and particle organic carbon, POC) and organic carbon in four typical vegetations (grassland, *Xanthoceras sorbifolia*, *Caragana korshinskii* shrub, and *Hippophae rhamnoides*) in the hilly-gully region of the Loess Plateau. The results showed that the soil organic carbon content during planting gradually decreased as the soil depth increased, *Xanthoceras sorbifolia* > grassland > *Caragana korshinskii* shrub > *Hippophae rhamnoides*, and the difference was significant ($P<0.05$). The soil MBC content in the 0—40 cm soil layer of the grassland was significantly lower than that in *Xanthoceras sorbifolia*, *Caragana korshinskii* shrub, and *Hippophae rhamnoides* by 8.61%, 23.84%, and 41.42%, respectively ($P<0.05$). The POC content in the grassland soil was 14.47% and 16.67% lower than that in *Xanthoceras sorbifolia* and *Hippophae rhamnoides*, respectively, and 25% higher than that in *Caragana korshinskii* shrub; however, the EOC content, carbon

基金项目:国家自然科学基金项目(31560343, 31660348, 41561022), 甘肃省高等学校协同创新团队项目(2018C-16)

收稿日期:2018-05-09; **网络出版日期:**2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lig@gsau.edu.cn

activity, and carbon management index were significantly higher in the grassland than in the other three vegetation types ($P < 0.05$). The soil microbial entropy (SME) of *Hippophae rhamnoides* in the four vegetation types was the highest, and soil organic carbon of *Caragana korshinskii* shrub was the lowest. Soil SOC was extremely significantly correlated with soil EOC, soil organic carbon storage (SOCS) ($P < 0.05$), whereas soil SOC was significantly correlated with POC ($P < 0.01$) and soil EOC with soil POC ($P < 0.05$). However, soil MBC and SOC, POC, EOC, and SOCS showed different degrees of negative correlation. Therefore, soil active organic carbon can objectively reflect the changes in soil fertility and quality, and it is an important index to describe soil quality and evaluate soil management.

Key Words: Hilly Loess Plateau; vegetation types; microbial entropy; carbon management index; active organic carbon

土壤有机碳(SOC, Soil Organic Carbon)是评价土壤质量状况不可或缺的重要指标^[1],与土壤的物质循环和能量流动过程密切相关,特别是森林土壤有机碳库贮量的细微变化,均可引起大气 CO₂浓度的显著改变^[2]。但土壤有机碳总量的变化非常缓慢,很难在短期内观测到它的细微变化,尤其在森林土壤中更加难以观测^[3]。而土壤活性有机碳组分对土地利用方式和群落生境变化的响应则更为敏感,更有助于揭示土壤有机碳的动态变化^[4-5]。土壤活性有机碳占土壤总有机碳的比例虽然较低,但能反映出土壤管理措施和环境变化所引起的土壤碳库的微小变化^[6]。土壤活性有机碳容易受到植物、微生物的影响强烈,具有一定的溶解性,在土壤中移动快、稳定性差、容易氧化和矿化^[7],通常用微生物生物量碳(MBC, Microbial Biomass Carbon)、易氧化有机碳(EOC, Easily Oxidated Carbon)、颗粒有机碳(POC, Particle Organic Carbon)等指标来进行表征。同时土壤活性有机碳能够直接参与土壤生物化学转化过程,在土壤养分循环中起到了重要的作用,是土壤养分的储存库。有研究表明,植被恢复显著影响了黄土高原土壤微生物量碳的变化,植被凋落物的输入增加了土壤有机碳含量。植被恢复除了能够保持水土、减少土壤侵蚀外,还可以改善提高土壤的质量^[8]。目前,关于土壤活性有机碳组分的研究多集中在不同土地利用方式^[9]、耕作措施^[10-11]、施肥措施^[12]等方面,而在植被类型对土壤活性有机碳组分和碳库管理指数的研究鲜有报道。因此本文以黄土高原丘陵沟壑区文冠果林地、荒草地、沙棘林地、柠条灌丛4种不同植被类型0—40 cm层土壤为研究对象,探讨植被类型对土壤MBC、EOC、POC、SOC含量的分布特征,以期从有机碳的活性和稳定性的角度揭示黄土高原区4种植被类型对土壤活性有机碳及土壤碳库的影响,为黄土高原地区植被恢复措施的生态效益评价和土壤碳库提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

定西市安定区(介于103°52′—105°13′E、34°26′—35°35′N之间)是古代“丝绸之路”上的重镇,又是新欧亚大陆桥的必经之地,也是兰州市的东大门,素有“甘肃咽喉、兰州门户”之称。李家堡乡位于安定区东南部,平均海拔1947 m,属于大陆性气候,是典型的温带干旱、半干旱地区,年均太阳辐射141.6×1.48 kJ/cm²,日照时间达2476.6 h,≥10℃的积温为2239.1℃,被中国特产之乡组委会审定命名为“中国马铃薯之乡”。多年平均降雨量390.99 mm,主要集中在农作物收货以后(7—9月),降水量低而不稳,气候多变,干旱、霜冻、冰雹等自然灾害频繁发生。该区土壤为典型的黄绵土,土质绵软,抗侵蚀能力较弱。

1.2 样地设置与土壤样品采样

2017年3月全面收集定西市安定区李家堡乡的气候、植被、土壤、社会经济等相关文献资料,通过实地考察,选择定西市水土保持科学研究所位于李家堡乡的试验区。在其试验地区域内,以荒草地为对照组(35°34′54″N, 104°37′57″E),选择文冠果林地(35°35′10″N, 104°37′7″E)、沙棘林地(35°34′45″N, 104°39′1″E)和柠条灌丛(35°34′55″N, 104°38′1″E)作为不同的3种典型植被类型(样地植被特征见表1),每种植被类型随机选择10 m×10 m的小样地3个。2017年9月在4种不同植被的样地上按对角线五点法分层(0—10、10—20、20—40 cm)取样,共计180个土壤样品,同一样地同一土层样品组合成一个混合土样,捡去土样石块、残根

等杂物后,将样品分成两份;一份鲜土样过 2 mm 筛后,置于 4℃ 冰箱保存;另一份土样风干后,用于土壤 SOC、POC、EOC 的测定(重复 3 次)。

表 1 植被特征
Table 1 Vegetation characteristics

植被 Vegetation	丰富度 Richness	优势种组成 Dominant species composition	盖度 Coverage/%
荒草地 Grassland	9	冰草 (<i>Agropyron cristatum</i> (Linn.) Gaertn.) + 冷蒿 (<i>Artemisia frigida</i> Willd. Sp. Pl.) + 大针茅 (<i>Stipa grandis</i> P. Smirn.)	>90
文冠果林地 <i>Xanthoceras sorbifolia</i>	4	文冠果+冰草+柴胡 (<i>Bupleurum chinense</i>)	60
柠条灌丛 <i>Caragana korshinskii</i> shrub	5	柠条+冰草	30
沙棘林地 <i>Hippophae rhamnoides</i>	3	沙棘+紫花苜蓿 (<i>Medicago sativa</i>) + 冰草	85

1.3 测定方法与计算公式

土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化外加热法测定;采用氯仿熏蒸—K₂SO₄浸提法,测定微生物量碳(氯仿熏蒸杀死微生物体中的碳被释放出来的比例为 0.38);采用 KMnO₄氧化法,测定土壤易氧化有机碳含量^[13]。土壤颗粒有机碳采用杨益提供的方法进行测定^[14]。

本文以荒草地为对照进行土壤碳库管理指数的计算^[15]:

碳库活度(A)= 土壤活性有机碳含量(g/kg)/土壤非活性有机碳含量(g/kg)

碳库活度指数(AI)= 样品碳库活度(A)/参考土壤碳库活度

碳库指数(CPI)= 样品总碳含量(g/kg)/参考土壤总碳含量(g/kg)

土壤碳库管理指数(CPMI,%)= 碳库指数(CPI)×碳库活度指数(AI)×100

土壤微生物熵(SME,%)= 土壤微生物量碳(mg/kg)/土壤总有机碳含量(g/kg)

0—40 cm 层土壤有机碳储量 SOCS (Mg/ha) = SOC×BD×H×10⁻¹

式中,SOC 为土壤有机碳含量(g/kg);BD 为土壤容重(g/cm³);H 为土层厚度(cm)。

1.4 数据处理

根据野外调查观测资料和实验室内的分析资料,用 EXCEL(2003)图表处理软件和 SPSS(19.0)统计分析软件进行数据处理分析。其中,数据进行 One-wayANOVA 方差分析,并用 LSD 多重比较法进行差异显著性分析,相关性分析采用 Pearson 检验法。

2 结果与分析

2.1 植被类型对土壤有机碳的影响

在剖面垂直分布上(图 1),荒草地和沙棘林地土壤 SOC 含量呈现出随着土层深度增加而逐渐降低的趋势,最大值出现在 0—10 cm 层,分别比 10—20 cm、20—40 cm 层显著高出了 10.94%和 47.21%、86.74%和 125.10%(P<0.05);而文冠果林和柠条灌丛土壤有机碳含量随着土层深度增加呈现出“升-降”的变化规律,10—20 cm 层土壤有机碳含量分别比 0—10 cm、20—40 cm 层高出了 36.49%和 11.51%、223.58%和 72.74%,不同土层间土壤有机碳含量差异显著(P<0.05)。4 种植被类型在 0—40 cm 层表现为文冠果林和荒草地土壤有机碳显著高于沙棘林地和柠条灌丛(P<0.05),而沙棘林地和柠条灌丛土壤有机碳含量在 0—40 cm 层差异不显著。

2.2 植被类型对土壤活性有机碳的影响

本研究表明,除沙棘林地土壤 MBC 含量随土层深度增加逐渐增大之外,其余 3 种植被类型土壤 MBC 含量均随土层深度增加呈现减小的趋势(图 2)。4 中植被类型下 0—10、10—20 cm 层土壤 MBC 含量与 20—

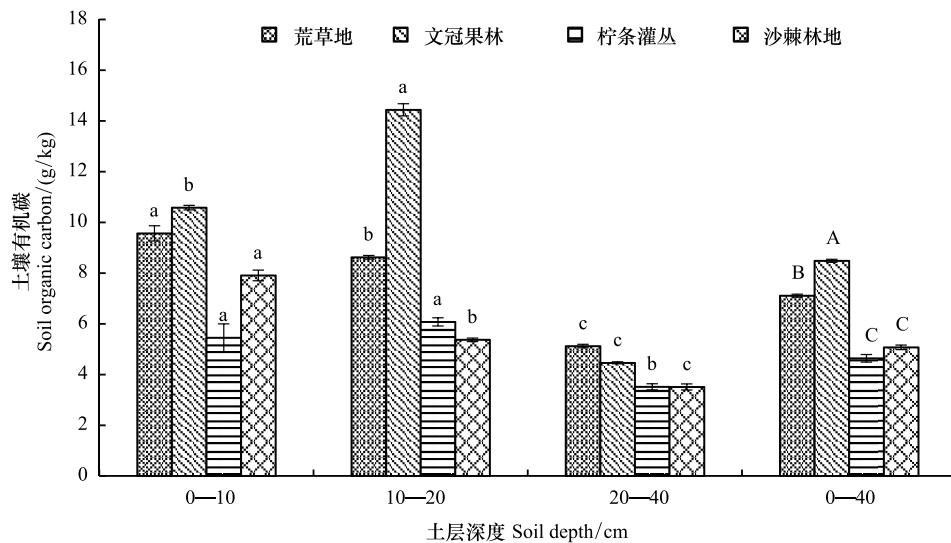


图1 4种植被类型下土壤有机碳的变化

Fig.1 Changes of soil organic carbon under four vegetation types

不同小写字母表示不同土层存在显著差异 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示不同植被间存在显著差异 ($P < 0.05$)

40 cm层土壤 MBC 含量差异显著 ($P < 0.05$), 而 0—10 cm 与 10—20 cm 层 MBC 含量差异不显著。其中荒草地、文冠果林地、柠条灌丛 0—10 cm 层土壤 MBC 含量是 20—40 cm 层的 2.38 倍、2.11 倍、1.46 倍, 而沙棘林地 20—40 cm 层土壤 MBC 含量比 0—10 cm、10—20 cm 层分别高出了 20.55%、1.47%。4 种植被类型下 0—40 cm 层土壤 MBC 含量表现为沙棘林地 > 柠条灌丛 > 文冠果林地 > 荒草地, 其中沙棘林地土壤 MBC 含量与柠条灌丛、文冠果林地、荒草地土壤 MBC 含量差异显著 ($P < 0.05$), 而文冠果林地与荒草地土壤 MBC 含量无明显差异。

4 种植被类型下 0—40 cm 层土壤 POC 含量为沙棘林地 > 文冠果林地 > 荒草地 > 柠条灌丛, 且差异显著 ($P < 0.05$) (图 2)。在剖面垂直分布上, 荒草地、文冠果林地、沙棘林地土壤 POC 含量均随土层增加显著降低 ($P < 0.05$), 0—10 cm 层土壤 POC 含量最高, 分别为 1.12 g/kg、1.62 g/kg、1.36 g/kg; 而柠条灌丛土壤 POC 含量随土层增加呈现“升—降”的变化趋势, 10—20 cm 层土壤 POC 含量比 0—10 cm、20—40 cm 层高出了 91.67%、170.59%。

由图 2 可知, 0—40 cm 层荒草地土壤 EOC 含量分别比文冠果林地、柠条灌丛、沙棘林地高出了 36.94%、64.84%、100.21%, 方差分析表明差异显著 ($P < 0.05$)。其中荒草地和柠条灌丛土壤 EOC 含量随土层深度增加呈现“升—降”的趋势, 而文冠果林地和沙棘林地土壤 EOC 含量随土层深度增加逐渐降低, 4 种植被类型下各层土壤 EOC 含量均具有明显的差异性 ($P < 0.05$)。

2.3 不同植被类型土壤活性有机碳的分配比例

土壤活性有机碳占总有机碳的比例较活性有机碳总量更能反映植被对土壤行为的影响结果^[2]。由图 3 可知, 荒草地土壤 EOC 的分配比例随土层增加呈现“升—降”的变化, 文冠果林地 EOC 分配比例与荒草地相反, 而柠条灌丛和沙棘林地 EOC 分配比例随土层增加逐渐降低。4 种植被类型土壤 POC 的分配比例随土层深度增加呈现出与 EOC 分配比例完全不同的变化趋势, 其中荒草地和文冠果林地土壤 POC 分配比例随土层深度增加逐渐降低, 柠条灌丛 POC 的分配比例最大值出现在 10—20 cm (15.13%), 而沙棘林地土壤 POC 分配比例最小值则出现在 10—20 cm (11.61%)。

2.4 不同植被类型土壤碳库特征的变化

4 种植被类型土壤微生物熵最大值出现在沙棘林地 (表 2), 相对于沙棘林地, 荒草地、文冠果林地、柠条灌丛土壤微生物熵分别降低了 58.18%、61.65%、15.83%。以荒草地土壤为对照, 土壤碳库活度 (A, Carbon

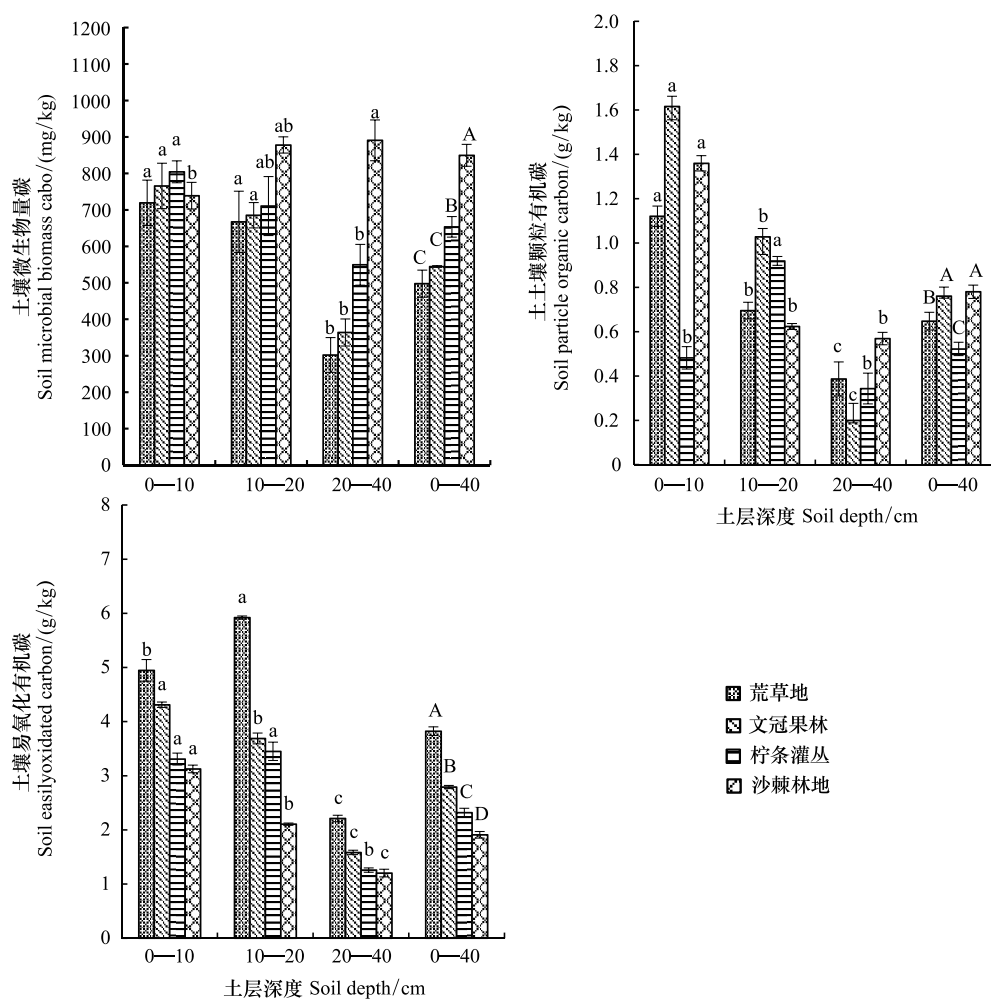


图 2 4 种植被类型下土壤活性有机碳的变化

Fig.2 Changes of soil active organic carbon under four vegetation types

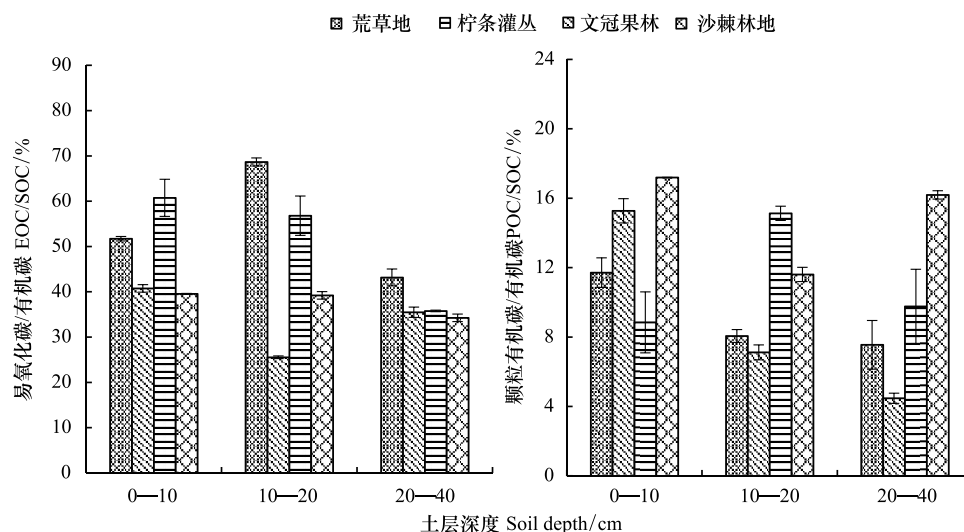


图 3 4 种植被类型土壤易氧化有机碳、颗粒有机碳占总有机碳的百分比

Fig.3 Soil easily oxidized carbon and particulate organic carbon percentage of total organic carbon in four vegetation types

pool activity) 为荒草地>柠条灌丛>沙棘林地>文冠果林地,而 4 种植被类型土壤碳库指数(CPI, Carbon pool index)的变化范围在 0.65—1.19 之间,最大值出现在文冠果林地;文冠果林地、柠条灌丛、沙棘林地土壤碳库管理指数(CPMI, Carbon pool management index)均小于对照组碳库管理指数。4 种植被类型 0—40 cm 层土壤有机碳储量为文冠果林地最高,柠条灌丛最低,其它次之,文冠果林地土壤有机碳储量(SOCS, Soil organic carbon storage)分别比荒草地、柠条灌丛、沙棘林地高出了 14.30%、93.96%、65.12%,方差分析表明差异显著($P<0.05$)。

表 2 4 中植被类型下土壤微生物熵、碳库管理指数及土壤有机碳储量

Table 2 Soil microbial entropy, carbon management index and soil organic carbon storage under four vegetation types

植被 Vegetation	微生物熵 Soil microbial entropy/%	碳库活度 Carbon pool activity	碳库指数 Carbon pool index	碳库管理指数 Carbon pool management index/%	土壤有机碳储量 Soil organic carbon storage/ (Mg/hm ²)
荒草地 Grassland	7.00	1.16	1.00	100.00A	46.92B
文冠果林地 <i>Xanthoceras sorbifolia</i>	6.42	0.49	1.19	50.30B	53.63A
柠条灌丛 <i>Caragana korshinskii</i> shrub	14.09	1.00	0.65	56.06B	27.65D
沙棘林地 <i>Hippophae rhamnoides</i>	16.74	0.60	0.71	37.01C	32.48C

2.5 不同植被类型下土壤活性有机碳与有机碳的相关性分析

土壤有机碳之间的相关性如表 3 所示,4 中植被类型土壤 SOC 与土壤 EOC、SOCS 显著相关($P<0.05$),而土壤 SOC 与 POC 极显著相关($P<0.01$);土壤 EOC 与土壤 POC 显著相关($P<0.05$),与 SOCS 不相关,相关系数为 0.374;土壤 MBC 与 SOC 呈现出显著负相关($P<0.05$),与 POC 呈现出极显著的负相关($P<0.05$),与 EOC、SOCS 则呈现出不显著的负相关关系。

表 3 土壤有机碳相关指标间的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of soil organic carbon related indicators

	SOC	EOC	POC	MBC	SOCS
SOC	1	0.699 *	0.712 **	-0.693 *	0.597 *
EOC		1	0.581 *	-0.190	0.374
POC			1	-0.838 **	0.222
MBC				1	-0.419
CPMI					1

注: * 表示相关性达显著水平($P<0.05$), ** 表示相关性达极显著水平($P<0.01$)

3 讨论

3.1 不同植被类型土壤总有机碳含量

在本研究中,荒草地和柠条灌丛随着土层深度的加深,土壤总有机碳含量逐渐减小。可见土壤深度对有机碳含量有显著影响,这与之前的同类研究结果相符^[16],由于植物的枝叶残体和根系大部分分布于表层土壤中,分解后形成的腐殖质在表层土壤中积累,因此荒草地和柠条灌丛土壤有机碳含量具有典型的表聚性。而文冠果林地和沙棘林地土壤有机碳在 10—20 cm 土层最大,因为文冠果林地和沙棘林地地表生长着一些浅根的伴生植物,根系集中在 0—10 cm 层,而森林区具有相对复杂的微生物环境^[17],大量的植物根系使得土壤容重减小,孔隙度增加,土壤微生物活性较高,提高了表层土壤微生物对有机质的利用率^[18],因此文冠果林地和沙棘林地土壤有机碳 10—20 cm 层较高。此外,森林土壤有机碳含量取决于植被凋落物的输入和分解,同时也取决于植被每年的归还量和土壤微生物的分解速率,而植被类型、气候特点以及土壤性质的差异,均会导致土层内有机碳含量的分布存在差异^[19-20]。

3.2 不同植被类型土壤活性有机碳的分布特征

土壤活性有机碳主要来源于地上植物凋落物、土壤腐殖质、植物根系以及微生物群系的分泌物^[21],对外界具有较强的敏感性,通过影响微生物及其活性,对生态系统碳循环起到了重要作用^[13]。本研究表明沙棘林地土壤微生物量碳含量显著高于柠条灌丛、荒草地和文冠果林地,因为沙棘林地具有发达的侧根系,根系微生物种类和数量高于其他三种植被类型,同时较小的土壤容重有利于植物根系的生长,使得土壤拥有较高的通气性^[22-23],增加了土壤需氧微生物的活性。从较高的土壤微生物熵(表 2)可以看出沙棘林地微生物种类复杂且活性较高,有利于有机碳的分解利用,而文冠果林地 0—40 cm 的侧根较少,群落局部微环境的遮阴作用使得土壤温度较低^[24],降低了土壤微生物的活性,因此沙棘林地土壤微生物量碳含量最高。本研究表明 4 种植被类型下 0—40 cm 层土壤微生物熵均高于 5%,因为 9 月降雨增加,适宜的温度提高了土壤微生物的活性,微生物分解土壤有机碳的速率增加^[25](表 3),同时土壤微生物进一步分解吸收土壤易氧化有机碳和颗粒有机碳用于自身繁殖,增加了土壤微生物的活性和数量^[26],导致土壤微生物量碳的增加和土壤有机碳含量的急剧下降,使得土壤微生物熵增大。在垂直剖面上,土壤微生物量碳随土层深度的增加逐渐降低,因为随着土层深度的加深,地上向深层土壤输入有机碳源的含量减少,使得土壤有机碳含量急剧下降,因而土壤微生物量碳含量逐渐降低^[27]。而沙棘林地土壤微生物量碳随土层的增加逐渐增大,因为沙棘林地表层枯落物较少,土壤有机碳含量较低,表层水分含量低于 20—40 cm 层,20—40 cm 层土壤微生物活性较高,有机质易被矿化分解,从而加速了有机质向微生物量碳的周转速率^[28]。

土壤颗粒有机碳和易氧化有机碳一般被称为活性有机碳,在土壤中周转速度较快,它比土壤有机碳更易受植被类型的影响^[29]。本研究表明 4 种植被类型下土壤颗粒有机碳和易氧化有机碳含量均明显随土层深度的增加而降低,与前人研究结果一致^[30],这主要是因为土壤活性有机碳在很大程度上取决于土壤总有机碳含量(表 3),一方面土壤总有机碳随土层深度的增加而减少,另一方面,植被枯枝落叶层不但为土壤提供大量的有机碳,而且使表层土壤具有较高的养分浓度,从而为植物细根向表土层聚集提供了良好的条件^[31],而凋落物和根系分泌物经微生物的分解,成为土壤活性有机碳的重要来源^[32]。从各活性有机碳组分的分配比例来看,10—20 cm 层土壤易氧化有机碳含量分配比例在荒草地达到最大,在文冠果林地达到最小,这与荒草地土壤易氧化有机碳、文冠果林地土壤有机碳密切相关。而土壤颗粒有机碳分配比例表现出随土层深度的增加而降低,这是因为颗粒有机碳主要由新近凋落的、部分分解的、与土壤矿质结合不紧的植物残体组成^[33],由此说明了不同植被类型土壤易氧化有机碳和颗粒有机碳含量的高低很大程度上取决并依赖于总有机碳的贮量。

3.3 土壤碳库特征及活性有机碳之间的相关性

土壤微生物量碳被认为是土壤活性养分的储存库,是植物生长可直接利用养分的重要来源^[34]。土壤有机碳活度和碳库管理指数均可以一定程度上反映土壤有机碳的质量,其值越大,表示有机碳越易于被微生物分解和被植物吸收利用,碳库质量也就越高^[35-36]。本研究表明,文冠果林地、柠条灌丛、沙棘林地土壤碳库活度及碳库管理指数均低于对照组,这与李忠武等^[37]研究不同的是,本研究显示不同植被土壤有机碳活度范围为 0.49—1.16,这也说明,有机碳活度除了与土壤有机碳总量有关,还跟土壤活性有机碳含量有关,是二者共同作用的结果^[5]。而 0—40 cm 层土壤有机碳储量在文冠果林地最高,柠条灌丛土壤有机碳储量最低,荒草地和沙棘林地次之。因为文冠果林地具有较多复杂的浅根植物,地表枯落物较其他 3 种类型最多,而柠条灌丛和沙棘林地地表枯落物最少,能够氧化分解的部分更少,因此柠条灌丛和沙棘林地土壤 0—40 cm 层有机碳储量较低。研究表明土壤易氧化有机碳、颗粒有机碳与土壤总有机碳具有显著的相关性($P < 0.05$),因为土壤有机碳中的活性部分直接参与了土壤生物化学转化过程,一些活性有机碳组分与土壤有机碳处于动态平衡中,在一定条件下实现了相互转化^[38]。

4 结论

4 种植被类型下文冠果林地土壤有机碳含量显著高于荒草地、柠条灌丛和沙棘林地($P < 0.05$),0—40 cm

层土壤有机碳储量与土壤有机碳的变化一致。土壤微生物量碳和颗粒有机碳最大值均出现在沙棘林地,最小值分别出现在荒草地和柠条灌丛,而土壤易氧化有机碳为荒草地最高,沙棘林地最低。从土壤剖面垂直分布来看,土壤总有机碳和各活性有机碳组分含量均表现出随土壤深度增加而逐渐降低的趋势,土壤易氧化有机碳含量均与土壤总有机碳含量关系密切,呈显著的正相关,土壤微生物量碳与土壤有机碳呈显著的负相关,而土壤颗粒有机碳含量与土壤总有机碳含量之间的正相关性达到了极显著水平。

参考文献 (References):

- [1] 杨帆, 黄来明, 李德成, 杨飞, 杨仁敏, 赵玉国, 杨金玲, 刘峰, 张甘霖. 高寒山区地形序列土壤有机碳和无机碳垂直分布特征及其影响因素. 土壤学报, 2015, 52(6): 1226-1236.
- [2] 周晨霓, 马和平. 西藏色季拉山典型植被类型土壤活性有机碳分布特征. 土壤学报, 2013, 50(6): 1246-1251.
- [3] 张剑, 汪思龙, 王清奎, 刘燕新. 不同森林植被下土壤活性有机碳含量及其季节变化. 中国生态农业学报, 2009, 17(1): 41-47.
- [4] 兰明娟. 氮素添加对陇中黄土高原雨养农田土壤有机碳及其活性碳组分的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2017.
- [5] 董扬红, 曾全超, 安韶山, 张宏. 黄土高原不同林型植被对土壤活性有机碳及腐殖质的影响. 水土保持学报, 2015, 29(1): 143-148.
- [6] 吴亚丛, 李正才, 程彩芳, 刘荣杰, 王斌, 格日乐图. 林下植被抚育对樟树人工林土壤活性有机碳库的影响. 应用生态学报, 2013, 24(12): 3341-3346.
- [7] 刘荣杰, 吴亚丛, 张英, 李正才, 马少杰, 王斌, 格日乐图. 中国北亚热带天然次生林与杉木人工林土壤活性有机碳库的比较. 植物生态学报, 2012, 36(5): 431-437.
- [8] 薛莲, 刘国彬, 戴全厚, 党小虎, 周萍. 不同植被恢复模式对黄土丘陵区侵蚀土壤微生物量的影响. 自然资源学报, 2007, 22(1): 20-27.
- [9] 李欣雨, 夏建国, 鄢广奎, 宋承远, 李琳佳. 名山河流域不同土壤类型和土地利用方式下有机碳的分布特征. 水土保持学报, 2017, 31(3): 224-230, 238-238.
- [10] 张英英, 蔡立群, 武均, 齐鹏, 罗珠珠, 张仁陟. 不同耕作措施下陇中黄土高原旱作农田土壤活性有机碳组分及其与酶活性间的关系. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 1-7.
- [11] 黄尚书, 成艳红, 钟义军, 黄欠如, 孙永明, 武琳, 章新亮, 许彦. 水土保持措施对红壤缓坡地土壤活性有机碳及酶活性的影响. 土壤学报, 2016, 53(2): 468-476.
- [12] 杨滨娟, 黄国勤, 兰延, 陈洪俊, 王淑彬. 施氮和冬种绿肥对土壤活性有机碳及碳库管理指数的影响. 应用生态学报, 2014, 25(10): 2907-2913.
- [13] 吴江琪, 马维伟, 李广, 王辉, 罗永忠, 聂志刚, 薛景文. 尕斯库勒湿地沼泽化草甸中不同积水区土壤活性有机碳含量. 湿地科学, 2017, 15(1): 137-143.
- [14] 杨益, 牛得草, 文海燕, 张宝林, 董强, 陈菊兰, 傅华. 贺兰山不同海拔土壤颗粒有机碳、氮特征. 草业学报, 2012, 21(3): 54-60.
- [15] 徐明岗, 于荣, 王伯仁. 长期不同施肥下红壤活性有机质与碳库管理指数变化. 土壤学报, 2006, 43(5): 723-729.
- [16] 田静, 郭景恒, 陈海清, 范明生, 吕润海, 魏荔, 李晓林. 土地利用方式对土壤溶解性有机碳组成的影响. 土壤学报, 2011, 48(2): 338-346.
- [17] 江玉梅, 谢晶, 曹广洋, 陈成龙, 徐志红, 刘苑秋. 江西退化红壤人工重建森林土壤微生物碳源代谢功能研究. 土壤学报, 2014, 51(1): 158-165.
- [18] 吴建国, 徐德应. 六盘山林区几种土地利用方式对土壤中可溶性有机碳浓度影响的初步研究. 植物生态学报, 2005, 29(6): 945-953.
- [19] 高晟, 吴永波, 薛建辉, 姚健. 贵州省溶岩区植被类型对凋落物量、土壤有机碳及速效养分的影响. 水土保持通报, 2011, 31(5): 7-12.
- [20] 马玉红. 黄土区植被类型对土壤有机碳的影响[D]. 西安: 中国科学院研究生院, 2008.
- [21] 肖烨, 黄志刚, 武海涛, 吕宪国. 三江平原不同湿地类型土壤活性有机碳组分及含量差异. 生态学报, 2015, 35(23): 7625-7633.
- [22] 吴江琪, 马维伟, 李广, 陈国鹏. 黄土高原 4 种植被类型对土壤物理特征及渗透性的影响. 水土保持学报, 2018, 32(4): 133-138.
- [23] 王慧杰, 郝建平, 冯瑞云, 南洋, 杨淑巧, 南建福. 微孔深松耕降低土壤紧实度提高棉花产量与种籽品质. 农业工程学报, 2015, 31(8): 7-14.
- [24] 张淑琴, 陈晓德, 李艳霞, 肖海军. 缙云山植被群落对土壤温度变化的影响研究. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(5): 162-167.
- [25] 魏天凤, 任艳林, 曾辉, 贺金生. 降水改变对樟子松人工林土壤微生物量碳及微生物商动态变化的影响. 北京大学学报: 自然科学版, 2009, 45(3): 533-540.
- [26] 张于光, 张小全, 刘学端, 肖烨, Wu L Y. 不同林型土壤微生物有机碳降解基因的多样性. 生态学报, 2007, 27(4): 1412-1419.
- [27] 马和平, 郭其强, 刘合满, 钱登锋. 西藏色季拉山土壤微生物量碳和易氧化态碳沿海拔梯度的变化. 水土保持学报, 2012, 26(4): 163-

166, 171-171.

- [28] 胡婵娟, 傅伯杰, 靳甜甜, 刘国华. 黄土丘陵沟壑区植被恢复对土壤微生物生物量碳和氮的影响. 应用生态学报, 2009, 20(1): 45-50.
- [29] 张瑞, 张贵龙, 姬艳艳, 李刚, 常泓, 杨殿林. 不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响. 环境科学, 2013, 34(1): 277-282.
- [30] 杨玉盛, 刘艳丽, 陈光水, 李灵, 谢锦升, 林鹏. 格氏栲天然林与人工林土壤非保护性有机 C 含量及分配. 生态学报, 2004, 24(1): 1-8.
- [31] 李龙波, 涂成龙, 赵志琦, 崔丽峰, 刘文景. 黄土高原不同植被覆盖下土壤有机碳的分布特征及其同位素组成研究. 地球与环境, 2011, 39(4): 441-449.
- [32] 徐侠, 王丰, 栾以玲, 汪家社, 方燕鸿, 阮宏华. 武夷山不同海拔植被土壤易氧化碳. 生态学杂志, 2008, 27(7): 1115-1121.
- [33] Six J, Conant R T, Paul E A, Paustian K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. Plant and Soil, 2002, 241(2): 155-176.
- [34] 汪文霞, 周建斌, 严德翼, 马勤安. 黄土区不同类型土壤微生物量碳、氮和可溶性有机碳、氮的含量及其关系. 水土保持学报, 2006, 20(6): 103-106, 132-132.
- [35] 徐鹏, 江长胜, 郝庆菊, 祝滔. 缙云山土地利用方式对土壤活性有机质及其碳库管理指数的影响. 环境科学, 2013, 34(10): 4009-4016.
- [36] 韩新辉, 佟小刚, 杨改河, 薛亚龙, 赵发珠. 黄土丘陵区不同退耕还林地土壤有机碳库差异分析. 农业工程学报, 2012, 28(12): 223-229.
- [37] 李忠武, 郭旺, 申卫平, 黄金权, 聂小东, 王曙光, 刘桂平, 马文明, 王亚梅. 红壤丘陵区不同地类活性有机碳分布特征及与草本生物量关系. 湖南大学学报: 自然科学版, 2013, 40(3): 76-82.
- [38] 刘学东. 荒漠草原不同群落类型土壤活性有机碳组分特征研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.