

DOI: 10.5846/stxb201404030633

曾全超, 李鑫, 董扬红, 李娅芸, 安韶山. 黄土高原不同乔木林土壤微生物量碳氮和溶解性碳氮的特征. 生态学报, 2015, 35(11): 3598-3605.

Zeng Q C, Li X, Dong Y H, Li Y Y, An S S. Soil microbial biomass nitrogen and carbon, water soluble nitrogen and carbon under different arbors forests on the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(11): 3598-3605.

黄土高原不同乔木林土壤微生物量碳氮和溶解性碳氮的特征

曾全超^{1,2}, 李 鑫³, 董扬红⁴, 李娅芸³, 安韶山^{1,3,*}

1 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 杨陵 712100

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 西北农林科技大学资源环境学院, 杨陵 712100

4 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨陵 712100

摘要:选取黄土丘陵区子午岭 4 种不同乔木林下的 0—5 cm 和 5—20 cm 的土壤为研究对象, 通过氯仿熏蒸浸提方法测定了微生物量碳氮、溶解性碳氮以及土壤的理化性质。研究表明, 不同乔木林下 0—5 cm 土层土壤微生物量氮 (MBN) 土壤微生物量碳 (MBC) 均表现为: 辽东栎>侧柏>油松>刺槐, 5—20 cm 土层为: 侧柏>辽东栎>油松>刺槐, 说明不同乔木林对土壤表层和下层的微生物量有明显的影响。上层土壤溶解性碳 (DOC)、溶解性氮 (DON) 大于下层土壤。土壤微生物量碳氮比 (MBC/MBN) 在 4—8 之间, MBC/MBN、MBN/MBC 均表现为随着土层的深度逐渐降低的趋势。MBC 与 MBN 具有显著的正相关性, MBN、MBC 与有机碳 (SOC)、土壤全氮 (TN)、MBC/MBN、溶解性碳与微生物量碳之和 (DOC+MBC)、溶解性氮与微生物量氮之和 (DON+MBN) 呈现出极显著的正相关性 ($P<0.01$)。DOC+MBC、DON+MBN 比 DOC、DON、MBC、MBN 更能反映土壤微生物量与活性碳氮库。总体来说, 人工刺槐林对土壤碳氮库的增加有一定的作用, 但是相对于辽东栎和侧柏等天然次生林有一定的差距。

关键词:子午岭; 不同乔木林; 微生物碳氮; 溶解性碳氮

Soil microbial biomass nitrogen and carbon, water soluble nitrogen and carbon under different arbors forests on the Loess Plateau

ZENG Quanchao^{1,2}, LI Xin³, DONG Yanghong⁴, LI Yayun³, AN Shaoshan^{1,3,*}

1 Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Education, Yangling 712100, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 College of Natural Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forest University, Yangling 712100, China

4 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forest University, Yangling 712100, China

Abstract: The Loess Plateau is an important site for many ecological restoration studies in China. Different forest types can have a great influence on the soil environment, including carbon and nitrogen biogeochemical cycles. The soil microbial biomass can have a large effect on soil processes and soil microorganisms after vegetation restoration in the loess hilly area of the Loess Plateau. Understanding the relationships between soil physicochemical properties and soil microbial biomass under different forest types can provide useful information for vegetation restoration in the Loess Plateau. This study sampled soils

基金项目:国家自然科学基金面上项目 (41171226); 国家自然科学基金重点基金 (41030532); 新世纪优秀人才支持计划 (NCET-12-0479); 西北农林科技大学“优秀人才科研专项 (QN2011049)”

收稿日期:2014-04-03; **网络出版日期:**2014-09-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shan@ms.iswc.ac.cn

in four different forest types to investigate the soil composition and correlation with soil microbial biomass carbon (MBC), soil microbial biomass nitrogen (MBN), soil dissolved organic nitrogen (DON) and soil dissolved organic carbon (DOC), the sum of DOC and MBC (DOC+MBC) and the sum of DON and MBN (DON+MBN). The sample sites were located on Ziwuling Mountain of the Loess Plateau. The four different forests were all established 15 years ago. The results showed that in the 0 - 5 cm soil layer of the 4 forest types, MBC ranged between 350 and 693.15 mg/kg, MBN ranged between 52.21 and 93.61 mg/kg, DON ranged between 53.49 and 89.07 mg/kg, DOC ranged between 302.33 and 460.87 mg/kg, DOC+MBC ranged between 543.72 and 1114.76 mg/kg and DON+MBN ranged between 105.70 and 182.68 mg/kg. All values at 0 - 5 cm were higher than values obtained in the 5 - 20 cm soil layer. *Quercus liaotungensis* and *Biota orientalis* had the highest MBC and MBN, *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Robinia pseudoacacia* had the lowest SMBC and MBN. Soil DOC was not significantly different between forest soils for the soil layer 0—5 cm. DOC+MBC of *Q. liaotungensis* and *B. orientalis* were significantly higher than for *P. tabulaeformis* Carr. and *R. pseudoacacia*, with *R. pseudoacacia* having the lowest values of DOC+MBC. Soil DON was highest for *Q. liaotungensis* and was significantly different from the other three forest soils. Soil DON+MBN were highest for *Q. liaotungensis*, lowest for *P. tabulaeformis* Carr. and *R. pseudoacacia*, and there were no significant differences between *P. tabulaeformis* Carr. and *R. pseudoacacia*. Soil DON+MBN was lowest for *B. orientalis* in the 5—20 cm soil layer. The ratio of MBC to MBN (MBC/MBN) ranged from 4 to 8, the ratio of MBN to total nitrogen (TN) (MBN/TN) ranged from 3.21% to 5.03% and the ratio of MBC to the total organic carbon (SOC) (MBC/SOC) ranged from 2.02 to 3.29%. MBC and MBN were correlated or significantly correlated with MBC/MBN, DOC, DON, DOC+MBC, DON+MBN, TN and SOC. MBC was significantly correlated with MBN. DOC+MBC better reflected soil available carbon than MBC and DOC alone, and similarly DON+MBN better reflected soil available nitrogen. Different forests have a significant influence on the microbial biomass and water dissolved carbon and nitrogen. *Q. liaotungensis* and *B. orientalis* had much greater effects on the soil organic carbon and soil nitrogen content, which could improve the soil quality. *R. pseudoacacia* is a native species in this region, and this species had lower effects on the contents of soil carbon and nitrogen. For the process of vegetation restoration in the Loess Plateau, *Q. liaotungensis* and *B. orientalis* were more suitable forest species than *R. pseudoacacia*.

Key Words: Ziwuling mountain; different arbors; soil microbial biomass; dissolved organic carbon and nitrogen

黄土丘陵区水土流失严重,植被恢复是解决水土流失的有效途径之一^[1]。近年来,大面积的退耕还林还草,土壤质量得到有效地改善^[2],同时对土壤微生物也产生了较大的影响^[3]。土壤微生物是土壤组成不可或缺的组成部分,对土壤的形成和发育具有重要的作用。土壤微生物是森林系统中重要的分解者,在地球物质化学循环方面起着重要的作用^[4]。土壤微生物量是指体积小于 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$ 细菌、真菌、藻类和原生动物等的生物总量,是土壤活性养分的储存库,是土壤中最活跃的因子^[5],能够灵敏地响应土地利用方式的改变^[6],环境胁迫的影响^[7],植被恢复的变化^[8-9],是评价环境质量的重要指标^[10]。目前对黄土高原丘陵区土壤微生物量已有大量的研究报道,大多集中在对不同植被恢复模式,不同土地利用方式的大尺度研究^[11-12],而对森林生态系统中不同乔木林对土壤微生物量碳氮和溶解性碳氮的影响研究较少,乔木林对森林土壤碳氮循环具有重要的影响。为此,本研究选择黄土丘陵区子午岭4种典型的乔木林作为研究对象,研究不同乔木林下土壤微生物量碳氮和溶解性碳氮的分布变化,揭示不同乔木林对土壤活性碳氮的影响,以期对子午岭森林生态系统的碳氮循环机理提供理论依据,为黄土高原退耕还林模式的选择提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

子午岭地跨陕西、甘肃两省,处于黄土丘陵区的腹地,子午岭林区是黄土丘陵区目前保存较好的天然植被

区,是黄土丘陵区中部地带重要的次生原始森林。子午岭地理坐标为 $107^{\circ}30' - 109^{\circ}40' \text{ E}$, $33^{\circ}50' - 36^{\circ}50' \text{ N}$ 。地势南高北低,自西向东北倾斜,海拔为 1300—1700 m,相对高差 400 m,该区处于森林草原和半干旱草原的过渡区,气候温和湿润,其北小半部属陇中北部温带半干旱气候,南大半部属陇中南部温带半湿润气候,年平均气温为 $7.4 - 8.5^{\circ}\text{C}$,极端最低温度为 -27.7°C ,极端最高气温为 36.7°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温 2671.0°C ,无霜期 110—150 d,平均降水量 587.6 mm,干燥度 0.97,平均相对湿度 63%—68%,地带性土壤以石灰性灰褐土为主。

1.2 研究方法

1.2.1 土样采集

于 2013 年 8 月在中科院水保所子午岭土壤侵蚀与生态环境观测站附近,选择 4 种年龄相近的典型乔木林,分别为辽东栎(*Quercus liaotungensis*, Qi)、侧柏(*Biota orientalis*, Bo)、油松(*Pinus bungeana* Carr, Pc)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*, Rp),样地基本信息见表 1。每种乔木林下,都选择不同位置的 3 块样地作为野外重复,在各个样地内设置 3 个 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的样方,在每一个样方内由下向上按 S 形布点法选 5 个采样点,在各点利用土钻分别采集 0—5 cm 和 5—20 cm 的土样,分层混匀后作为 1 个样方的土样。土壤采集后挑出石块、根系等杂物,一份立即放入 -20°C 的冰箱里保存,一份风干过筛用于测定土壤的理化性质。

表 1 不同乔木林样地描述

Table 1 The description of sample sites in different arbors forests

森林类型 Forest types	经度 Longitude/($^{\circ}$)	纬度 Latitude/($^{\circ}$)	海拔 Altitude/m	盖度 Coverage/%	树高 Tree height/m	胸径 Breast-height diameter/cm	地径 Basal diameter/cm
Qi	$109^{\circ}08'55.97''$	$36^{\circ}03'43.38''$	1327	90%	6.81	34.75	45.70
Bo	$109^{\circ}08'55.78''$	$36^{\circ}03'37.16''$	1333	70%	4.21	27.00	33.72
Pc	$109^{\circ}10'18.50''$	$36^{\circ}04'43.80''$	1193	90%	6.28	29.46	40.38
Rp	$109^{\circ}10'04.58''$	$36^{\circ}04'53.20''$	1152	70%	3.55	8.50	10.42

四种乔木林树龄基本一致,均为 15a 左右;Qi: 辽东栎 *Quercus liaotungensis*; Bo: 侧柏 *Biota orientalis*; Pc: 油松 *Pinus bungeana* Carr; Rp: 刺槐 *Robinia pseudoacacia*

1.2.2 分析方法

土壤有机质采用重铬酸钾-外加热法,土壤全氮采用凯氏消煮定氮法(KYD-9830),土壤含水率采用 105°C 烘干法,土壤容重采用环刀法^[13]。土壤微生物量碳氮采用氯仿熏蒸 $0.5 \text{ mol/L K}_2\text{SO}_4$ 浸提法^[14-15]。其中浸提液中的溶解性碳(DOC)采用总有机碳分析仪(Phoenix 8000,美国)测定,由熏蒸与未熏蒸土样的 DOC 差值计算得到微生物量碳(MBC),转换系数为 0.45^[5];浸提液中溶解性氮(DON)采用碱性过硫酸钾氧化法测定^[16],熏蒸与未熏蒸土样的 DON 的差值得到微生物量氮,转换系数 0.45^[5]。所有指标每份土样测定 3 个平行。

1.2.3 数据处理与分析

所有数据经过 Excel 2013 处理,利用 SPSS 20.0 进行单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)进行分析比较,各个指标之间采用 Pearson 相关系数法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同乔木林下土壤的理化性质

不同乔木林下土壤的基本理化性质见表 2。该区域土壤为弱碱性,在 7.84—8.17 之间变动。土壤容重在 0—5 cm 土层为 $0.69 - 1.10 \text{ g/cm}^3$,辽东栎最低,刺槐最高;5—20 cm 土层在 $1.02 - 1.21 \text{ g/cm}^3$ 之间变化,油松最低,侧柏最高。土壤含水率辽东栎最高,其它 3 种乔木林变化不大。土壤有机碳与全氮在辽东栎和侧柏中含量较高,油松和侧柏较小。不同乔木林下土壤 pH 值、容重随着土层深度有所增加,土壤含水率、土壤有机

碳、土壤全氮均随着土层深度的增加而减小,其中辽东栎两个土层的含水率明显高于其它乔木林。

表 2 不同乔木林下土壤的理化性质

Table 2 Soil physiochemical characters of different arbors forests

森林类型 Forest types	土层 Soil depth/cm	容重 Bulk density/ (g/cm ³)	含水率 Soil moisture/%	有机碳 Organic carbon/ (g/kg)	全氮 Total N/(g/kg)	pH
Qi	0—5	0.69±0.04Bc	0.24±0.05Aa	28.94±1.36Aa	2.55±0.03Aa	7.86±0.00Ba
	5—20	1.07±0.10Aa	0.19±0.01Aa	15.36±0.28Ba	1.39±0.01Ba	8.00±0.03Aab
Bo	0—5	0.97±0.08Ab	0.15±0.00Aa	25.97±1.42Ab	2.06±0.01Ab	7.84±0.16Aa
	5—20	1.21±0.10Aa	0.14±0.01Abc	13.14±0.75Bb	1.2±0.06Bb	7.94±0.22Ac
Pe	0—5	0.99±0.04Ab	0.16±0.01Aa	15.26±1.20Ac	1.52±0.04Ac	7.90±0.32Aa
	5—20	1.02±0.01Aa	0.18±0.00Aab	15.42±2.27Aa	1.39±0.13Aa	8.07±0.06Aab
Rp	0—5	1.10±0.01Aa	0.15±0.08Aa	10.64±0.24Ad	1.13±0.02Ad	8.14±0.06Aa
	5—20	1.14±0.01Aa	0.14±0.00Abc	7.76±1.11Bc	0.81±0.16Bc	8.17±0.03Aa

不同大写字母表示同一乔木林不同土层之间差异显著($P<0.05$),不同小写字母表示同一土层不同乔木林之间差异显著($P<0.05$)

2.2 不同乔木林下土壤微生物量碳氮

如图 1 所示,土壤微生物量碳在 0—5 cm 土层为 350.83—693.15 mg/kg,且含量大小顺序为辽东栎>侧柏>油松>刺槐,其中辽东栎和侧柏显著高于油松、刺槐($P<0.05$);5—20 cm 土层为 143.92—366.54 mg/kg,含量大小顺序为辽东栎>侧柏>油松>刺槐,辽东栎、侧柏、油松显著高于刺槐($P<0.05$)。辽东栎、侧柏、油松、刺槐下的土壤微生物量碳均随着的土层的增加而降低,表层显著高于下层($P<0.05$)。

如图 1 所示,0—5 cm 土壤微生物量氮在 52.21—93.61 mg/kg 之间变化,5—20 cm 土壤微生物量氮变化幅度为 30.75—58.88 mg/kg。不同乔木林土壤微生物量氮均表现为表层大于下层,以刺槐林差异最为明显,表层是下层的 2.44 倍。土壤微生物量氮含量在表层的大小顺序为:辽东栎>侧柏>油松>刺槐,下层为侧柏>辽东栎>油松>刺槐。辽东栎和侧柏表层土壤的微生物量氮显著大于油松和刺槐;下层土壤中,侧柏显著高于油松、刺槐,辽东栎显著高于刺槐($P<0.05$)。

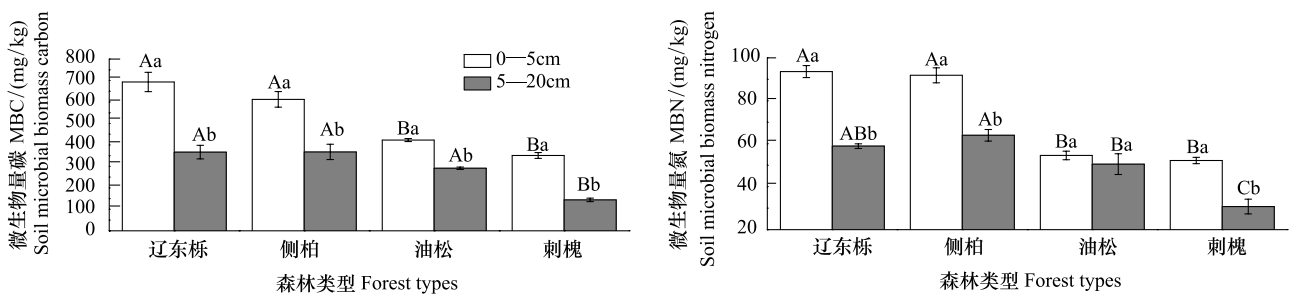


图 1 不同乔木林下土壤微生物量

Fig.1 The microbial biomass under different arbors forests

不同小写字母表示同一乔木林不同土层之间差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示同一土层不同乔木林之间差异显著($P<0.05$)

2.3 不同乔木林下土壤溶解性碳氮

如图 2 所示,0—5 cm 土壤溶解性碳(DOC)在 302.33—460.87 mg/kg 之间变化,侧柏最大,刺槐最小;5—20 cm 土壤变化幅度为 192.90—352.34 mg/kg,油松最大,刺槐最小。土壤溶解性氮(DON)在 0—5 cm、5—20 cm 变化幅度分别为 53.49—89.07 mg/kg、29.02—50.14 mg/kg,表层和下层土壤均表现为辽东栎最大,刺槐最小。土壤溶解性碳与微生物量碳之和(DOC+MBC)在 0—5 cm、5—20 cm 变化幅度分别为 543.72—1114.76 mg/kg、446.25—647.32 mg/kg,表层辽东栎最大刺槐最小,下层油松最大刺槐最小。土壤溶解性氮与微生物量氮之和(DON+MBN)在 0—5 cm、5—20 cm 变化幅度分别为 105.70—182.68 mg/kg、68.85—109.20 mg/kg,

表层和下层土壤均表现为辽东栎最大,刺槐最小。

LSD 分析表明,不同乔木林下表层土壤 DOC 差异不显著,下层 DOC 油松显著高于侧柏、辽东栎、刺槐($P<0.05$),辽东栎与侧柏差异不显著。表层土壤 DOC+MBC 辽东栎与侧柏差异不显著,但二者显著高于油松和刺槐,下层土壤 DOC+MBC 辽东栎、侧柏、油松之间差异不显著,均显著高于刺槐($P<0.05$)。表层土壤 DON 辽东栎显著高于侧柏、油松、刺槐,侧柏、油松、刺槐之间差异不显著,下层土壤 DON 辽东栎、侧柏、油松、刺槐之间差异显著($P<0.05$),大小顺序为辽东栎>油松>侧柏>刺槐。4 种乔木林下,辽东栎表层土壤 DON+MBN 显著高于其它 3 种乔木林,下层显著高于侧柏和刺槐,刺槐显著低于侧柏和辽东栎($P<0.05$)。

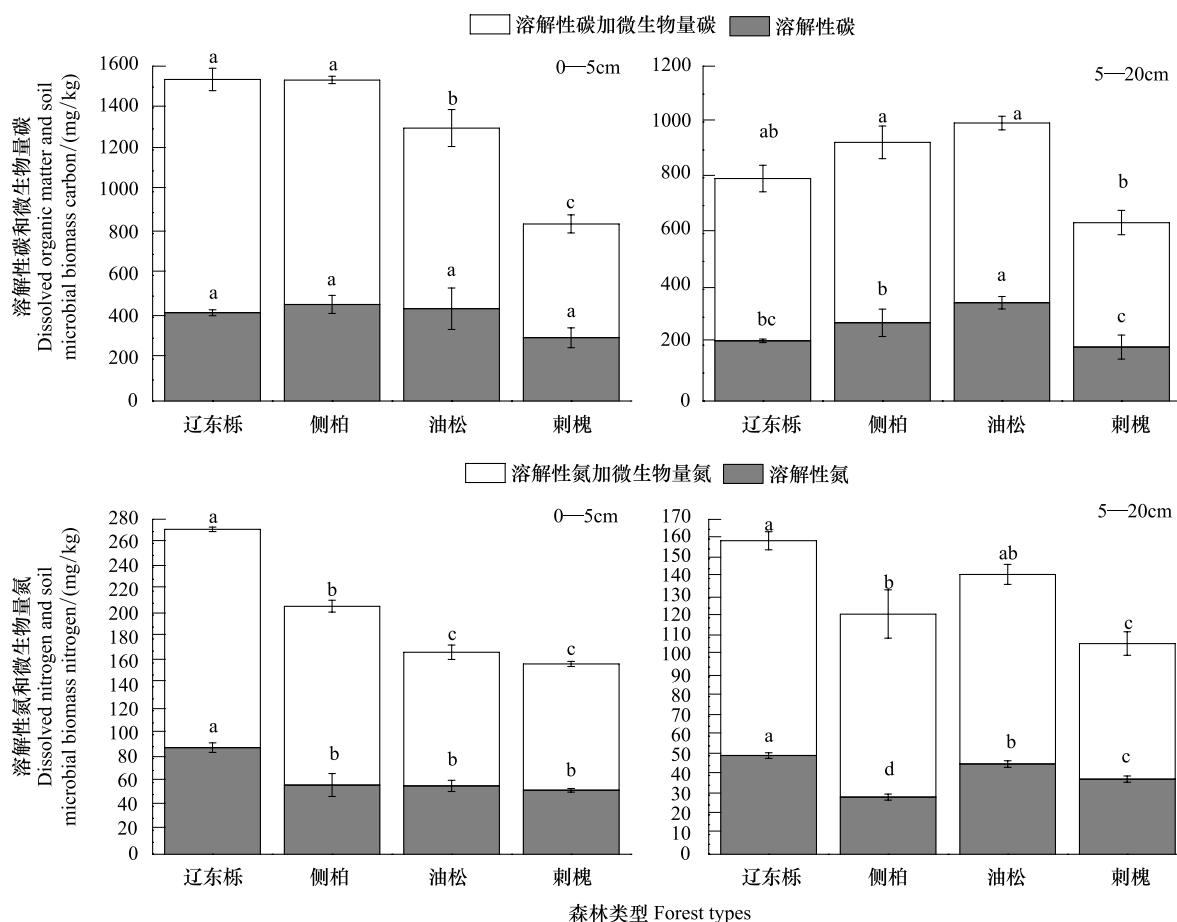


图2 不同乔木林下土壤溶解性碳氮

Fig.2 The dissolved organic nitrogen and carbon under different arbors forests

不同小写字母表示同一土层不同乔木林之间差异显著 ($P<0.05$)

2.4 不同乔木林下土壤微生物量碳氮比值以及土壤理化性质的关系

由表3可以看出,4种乔木林土壤微生物量碳氮比值(MBC/MBN)大体在4—8之间变化,表层大于下层。不同乔木林林下表层土壤微生物量碳氮比值大小顺序为油松(7.76)>辽东栎(7.39)>刺槐(6.73)>侧柏(6.72),下层为辽东栎(6.22)>油松(5.87)>侧柏(5.74)>刺槐(4.69)。不同乔木林土壤微生物量氮占全氮的比例在3.21%—5.03%之间变化,微生物量碳占总有机碳比例为2.02%—3.29%之间变化。土壤碳氮比(SOC/TN)在8.46—12.42之间变化,刺槐最低,辽东栎最高,表层土壤大于下层土壤。

如表4所示,MBN、MBC与MBC/MBN、DOC、DOC+MBC、TN、SOC、DON、DON+MBN存在显著或极显著的正相关性,MBN与MBC之间相关性极显著($P<0.01$)。DOC与MBN、DOC+MBC、SOC/TN、TN、SOC、DON+MBN、MBC、DON之间具有显著或极显著的正相关性($P<0.05$),与MBC/MBN相关性不显著。TN、SOC与MBN、MBC、DON、DOC相关性极显著($P<0.01$)。

表 3 不同乔木林土壤微生物量比值的变化

Table 3 The ratio change of the soil microbial biomass under different arbors forests

森林类型 Forest types	土层 Soil depth/cm	微生物量碳氮比 (MBC/MBN)	碳氮比 SOC/TN	微生物量氮/全氮 MBN/TN/%	微生物量碳/总有机碳 MBC/SOC/%
Qi	0—5	7.39±0.45	12.42±0.91	4.44±0.20	2.64±0.03
	5—20	6.22±0.50	11.29±0.95	5.03±0.28	2.77±0.01
Bo	0—5	6.72±0.48	10.83±0.37	3.41±0.14	2.10±0.01
	5—20	5.74±0.51	10.39±0.57	4.35±0.15	2.39±0.31
Pc	0—5	7.76±0.44	9.77±1.19	3.28±0.12	2.60±0.24
	5—20	5.87±0.21	9.25±0.86	3.21±0.16	2.02±0.13
Rp	0—5	6.73±0.41	9.49±3.14	4.15±0.16	3.29±0.42
	5—20	4.69±0.09	8.46±0.09	3.82±0.23	1.87±0.16

MBC: 微生物量碳 Soil microbial biomass carbon;MBN: 微生物量氮 Soil microbial biomass nitrogen;TN: 总氮 Total nitrogen;SOC: 有机碳 Soil organic carbon

表 4 土壤微生物量和土壤理化性质间相关系数

Table 4 Correlation coefficient between soil microbial biomass and soil physicochemical properties

项目 Items	微生物量碳 MBC	微生物量 碳氮比 MBC/MBN	溶解性碳 DOC	微生物量碳 加溶解性碳 MBC+DOC	溶解性氮 DON	微生物量氮 加溶解性氮 DON+MBN	总氮 TN	有机碳 SOC
微生物量碳 MBC	0.922 **	0.397 *	0.431 *	0.850 **	0.605 **	0.916 **	0.832 **	0.926 **
微生物量碳氮比 MBC/MBN		0.696 **	0.416 *	0.897 **	0.716 **	0.924 **	0.777 **	0.902 **
溶解性碳 DOC			0.166	0.565 **	0.537 **	0.514 **	0.363 *	0.460 **
微生物量碳加溶解性碳 MBC+DOC				0.775 **	0.408 *	0.469 **	0.684 **	0.572 **
溶解性氮 DON					0.696 **	0.870 **	0.872 **	0.905 **
微生物量氮加溶解性氮 DON+MBN						0.874 **	0.523 **	0.611 **
总氮 TN							0.772 **	0.873 **
有机碳 SOC								0.929 **

* 表示存在显著相关($P<0.05$), ** 表示存在极显著相关($P<0.01$);DOC: 溶解性碳 Dissolved organic carbon;DON: 溶解性氮 Dissolved nitrogen;MBC: 微生物量碳 Soil microbial biomass carbon;MBN: 微生物量氮 Soil microbial biomass nitrogen;TN: 总氮 Total nitrogen;SOC: 有机碳 Soil organic carbon

3 讨论

3.1 不同乔木林下土壤微生物量碳氮的影响

土壤微生物量碳氮能很好地表征土壤微生物^[17],可作为土壤质量变化的生物学指标^[18]。本研究中不同乔木林下土壤微生物量碳氮表层大于下层,主要是因为表层土壤的有机质、全氮、水份含量都较高,土壤容重较小,通气性好,有利于土壤微生物的生长繁殖。不同乔木林下土壤微生物量碳氮差异较大,辽东栎和侧柏含量较高,油松和刺槐含量较低。造成这种差异主要是植被类型不同。有研究表明,不同乔木林下的土壤微生物量不同^[19],是由于植被输入土壤的有机质的数量和质量不同^[20],另外不同林型的根际环境对细菌、真菌、放线菌都有一定的影响^[21]。不同林型的凋落物分解速度影响土壤微生物的数量。辽东栎等阔叶乔木的掉落物分解速度快,其土壤微生物数量较多^[22]。相反,油松属于针叶常绿乔木,其凋落物分解速度慢,相应的微生物数量也就较少。虽然刺槐是常绿阔叶乔木,但是选择的样地是人工刺槐林,恢复年限时间较短(15a),有研究发现黄土高原恢复 50a 的刺槐林地土壤微生物量碳氮磷及养分含量显著低于侧柏林地^[23]。虽然人工刺槐林对土壤的结构和肥力有一定的改善作用,但是要恢复到天然次生林的状态还需要一个漫长的阶段。

本研究中发现不同乔木林下 MBC/MBN 在 4—8 之间变化,略低于赵彤^[9]等研究的人工乔木林下的微生物

物量碳氮比(9—11),与李香珍^[24]等研究的5—9接近。有研究表明,土壤中微生物量碳氮比值可以很好地反映土壤中微生物的种类和区系^[25],细菌碳氮比为5:1,真菌碳氮比10:1,放线菌碳氮比为6:1^[26]。4种乔木林下MBC/MBN在4—8之间,说明该区域土壤微生物以细菌和真菌为主,放线菌较少。4种乔木林下,无论是0—5 cm还是5—20 cm土层以油松的MBC/MBN最高,刺槐最小,说明油松林下土壤真菌含量较多,这与任建宏等的研究一致^[27]。造成不同乔木林下土壤MBC/MBN差异的主要是植被的凋落物和根系物分解,形成不同的微生物区系^[28],植被还可以通过对土壤水分、土壤养分、pH值得影响,改变土壤中的微生物组成^[29]。由于不同植被类型下土壤养分的不同,导致形成不同的微生物种类^[27],因此植被类型对土壤微生物量产生较大的影响。

3.2 不同乔木林下微生物量碳氮、溶解性碳氮与土壤理化性质的关系

通过相关性分析发现,DOC与MBC/MBN没有相关性,与MBN、MBC有显著的相关性($P < 0.05$),但是(DOC+MBC)与MBC、MBN、MBC/MBN存在极显著的相关性($P < 0.01$),相关系数分别为0.850、0.897、0.565。相比DOC,DOC+MBC更能反映土壤微生物量,这与赵彤等^[17]的研究一致。DOC是微生物生长繁殖的直接来源^[30],Yano等^[31]研究表明森林土壤中约有12%—40%的DOC被微生物所利用,因此DOC与土壤微生物紧密相关^[32]。土壤有机质是土壤微生物生长的必需物质,特别是活性有机碳是土壤微生物的直接能源^[33],而MBC、DOC又是活性有机碳的一部分^[34],本研究发现,DOC+MBC与SOC的相关性(0.905)比DOC与SOC、MBC与SOC的相关性更高,因此DOC+MBC比DOC、MBC更能表征土壤微生物量和土壤活性有机碳。

此外,DON+MBN也有DOC+MBC的类似规律。首先,DON+MBN与MBC、MBN有极显著地正相关性($P < 0.01$),相关系数达0.924、0.916,说明土壤中的微生物量碳氮能很好的反映土壤中的微生物。另外,DON+MBN与DOC、MBC/MBN、TN、SOC、DON均存在极显著的正相关($P < 0.01$),表明DON+MBN与土壤的碳氮关系密切。虽然,DON与MBC、MBN存在显著的正相关性($P < 0.05$),但是相关系数较小,分别为0.605和0.716。DON是植物和微生物直接利用的氮源,而MBN的主要成分是蛋白质、氨基酸、核酸等,非常容易分解,是土壤中的活性氮的源和汇,二者在土壤氮循环中起着重要的作用。因此可以推断DON+MBN比DON、MBN更能反映土壤中的氮库的变化。

4 结论

(1)黄土丘陵区子午岭森林区不同乔木林下土壤微生物量碳氮、溶解性碳氮均表现0—5 cm显著高于5—20cm($P < 0.05$),其中辽东栎最大,其次为侧柏,油松和刺槐最小。不同乔木林对土壤微生物量和溶解性碳氮具有重要的影响,对森林土壤的碳氮循环具有重要的作用。在植被恢复过程中辽东栎、侧柏等常绿阔叶林对土壤碳库和氮库的作用更大,有利于碳氮养分的累积。

(2)不同乔木林下MBC+DOC比MBC、DOC单个指标更能反映土壤碳转化的有效性,MBN+DON更反映土壤活性氮库,MBC+DOC、MBN+DON更能敏感的反映植被恢复对土壤微生物量及活性碳氮的影响。

参考文献(References):

- [1] 邢肖毅,黄懿梅,安韶山,闫浩. 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异. 生态学报, 2013, 33(18): 5608-5614.
- [2] Peng W, Zhang K, Chen Y, Yang Q. Research on soil quality change after returning farmland to forest on the loess sloping croplands. Journal of Natural Resources, 2005, 20(2): 272-278.
- [3] 胡婵娟,傅伯杰,刘国华,靳甜甜,刘宇. 黄土丘陵区典型人工林下土壤微生物功能多样性. 生态学报, 2009, 29(2): 727-733.
- [4] 刘延滨,王庆成,王承义,崔崧,蒙宽宏. 退化落叶松人工林近自然化改造对土壤微生物及养分的影响. 生态学杂志, 2012, 31(11): 2716-2722.
- [5] Jenkinson D S, Brookes P C, Powlson D S. Measuring soil microbial biomass. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(1): 5-7.
- [6] Bossio D A, Scow K M. Impact of carbon and flooding on the metabolic diversity of microbial communities in soils. Applied and Environmental Microbiology, 1995, 61(11): 4043-4050.
- [7] Panikov N S. Understanding and prediction of soil microbial community dynamics under global change. Applied Soil Ecology, 1999, 11(2/3):

- 161-176.
- [8] 刘雨, 郑粉莉, 安韶山, 和文祥, 郭曼, 吕春华. 燕沟流域土壤微生物学性质对植被恢复过程的响应. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 824-832.
- [9] 赵彤, 闫浩, 蒋跃利, 黄懿梅, 安韶山. 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响. 生态学报, 2013, 33(18): 5615-5622.
- [10] Powlson D, Prookes P, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(2): 159-164.
- [11] Zhang C, Xue S, Liu G B, Song Z L. A comparison of soil qualities of different revegetation types in the Loess Plateau, China. Plant and Soil, 2011, 347(1/2): 163-178.
- [12] 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.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol Biochem, 1987, 19(6): 703-707.
- [15] Sparling G P, West A W. Modifications to the fumigation-extraction technique to permit simultaneous extraction and estimation of soil microbial C and microbial N. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1988, 19(3): 327-344.
- [16] Cabrera M L, Beare M H. Alkaline persulfate oxidation for determining total nitrogen in microbial biomass extracts. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(4): 1007-1012.
- [17] 赵彤, 蒋跃利, 闫浩, 黄懿梅, 安韶山. 黄土丘陵区不同坡向对土壤微生物生物量和可溶性有机碳的影响. 环境科学, 2013, 34(8): 3223-3230.
- [18] Bucher A, Lanyon L. Evaluating soil management with microbial community-level physiological profiles. Applied Soil Ecology, 2005, 29(1): 59-71.
- [19] 江玉梅, 陈成龙, 徐志红, 刘苑秋, 欧阳菁, 王芳. 退化红壤区人工林土壤的可溶性有机物、微生物生物量和酶活性. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2273-2278.
- [20] Hu Y L, Wang S L, Huang Y, Yu X J. Effects of litter chemistry on soil biological property and enzymatic activity. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(10): 2662-2668.
- [21] 章家恩, 刘文高, 王伟胜. 南亚热带不同植被根际微生物数量与根际土壤养分状况. 土壤与环境, 2002, 11(3): 279-282.
- [22] 肖慈英, 黄青春, 阮宏华. 松、栎纯林及混交林凋落物分解特性研究. 土壤学报, 2002, 39(5): 763-767.
- [23] 薛莲, 刘国彬, 戴全厚, 卫伟, 侯喜禄. 侵蚀环境生态恢复过程中人工刺槐林(*Robinia pseudoacacia*)土壤微生物量演变特征. 生态学报, 2007, 27(3): 909-917.
- [24] 李香真, 曲秋皓. 蒙古高原草原土壤微生物量碳氮特征. 土壤学报, 2002, 39(1): 97-104.
- [25] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [26] Cleveland C C, Liptzin D. C: N: P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass? Biogeochemistry, 2007, 85(3): 235-252.
- [27] 任建宏, 燕辉, 朱铭强, 彭晓邦. 秦岭北坡4种植被类型的土壤养分状况和微生物特征比较研究. 水土保持研究, 2010, 17(4): 228-232.
- [28] 姜培坤, 周国模. 侵蚀型红壤植被恢复后土壤微生物量碳, 氮的演变. 水土保持学报, 2003, 17(1): 112-114.
- [29] 汪杏芬, 李世仪. CO₂倍增对植物生长和土壤微生物生物量碳, 氮的影响. 植物学报, 1998, 40(12): 1169-1172.
- [30] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, Michalzik B, Matzner E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. Soil Science, 2000, 165(4): 277-304.
- [31] Yano Y, McDowell W H, Kinner N E. Quantification of biodegradable dissolved organic carbon in soil solution with flow-through bioreactors. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62(6): 1556-1564.
- [32] 周焱, 徐宪根, 阮宏华, 汪家社, 方燕鸿, 吴焰玉, 徐自坤. 武夷山不同海拔土壤水溶性有机碳的含量特征. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(4): 48-52.
- [33] 沈宏, 曹志洪, 胡正义. 土壤活性有机碳的表征及其生态效应. 生态学杂志, 1999, 18(3): 32-38.
- [34] 杨继松, 刘景双. 小叶章湿地土壤微生物生物量碳和可溶性有机碳的分布特征. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1544-1549.