

鹞落坪4种典型植被类型土壤活性碳、氮特征比较

葛萍¹, 王伟波¹, 朱晓林², 达良俊^{1,3}

(¹华东师范大学环境科学系, 上海 200241; ²头陀镇林业站, 安徽岳西 246680;

³华东师范大学城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200241)

摘要:为了探讨不同植被类型土壤活性碳氮的差异特征, 系统分析了不同植被类型土壤活性碳氮水平。以安徽省鹞落坪自然保护区内常绿阔叶林(EBF)、常绿落叶阔叶混交林(EDBF)、落叶阔叶林(DBF)和常绿针叶林(ECF)4种典型植被类型为对象, 研究其土壤微生物量碳(MBC)、氮(MBN)和溶解性有机碳(DOC)、氮(DON)的含量。结果表明:用热水浸提的土壤DON和DOC含量分别是用KCl浸提的1.5~2.8倍。不同植被类型下, 用热水和KCl溶液浸提的DOC和DON含量的大小顺序均为:DBF>EDBF>EBF>ECF; DON_{KCl}的含量与DON_{hw}的含量之间均不存在显著的相关关系, 土壤潜在性可矿化氮(PMN)含量与DON_{hw}含量存在显著的正相关关系($r=0.85, P<0.05$), 与DON_{KCl}含量不存在显著的相关关系, 说明用热水浸提的DON含量比KCl溶液浸提的DON含量能更好地指示土壤活性有机氮库。土壤MBC的变化范围在136.45~297.23 mg/kg, 土壤MBN的变化范围在16.33~37.11 mg/kg, 4种林型土壤MBC、MBN的特征均为:DBF>EBF>EDBF>ECF。相关性分析显示, 土壤MBC与DOC之间以及土壤MBN与DON之间的相关性达显著或极显著水平, 说明土壤MBC、MBN、DOC和DON之间有密切联系, 且不同植被类型下土壤活性碳氮来源不同是DOC、DON与MBC、MBN相关性差异的主要原因。

关键词:森林土壤; 溶解性有机碳; 溶解性有机氮; 潜在性可矿化氮; 微生物量碳、氮

中图分类号:S715.3

文献标志码:A

论文编号:2013-2620

The Characteristics Comparison of Soil Active Organic Carbon and Nitrogen of 4 Kinds of Vegetation Types in Yaoluoping

Ge Ping¹, Wang Weibo¹, Zhu Xiaolin², Da Liangjun^{1,3}

(¹Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200241;

²Toutuo Town Forestry Station, Yuexi Anhui 246680;

³Key Laboratory for Ecology of Urbanization Process and Eco-restoration, East China Normal University, Shanghai 200241)

Abstract: In order to explore the difference characteristics of soil active organic carbon and nitrogen in different vegetation types, the author systematically analyzed the different vegetation types in the level of soil active organic carbon and nitrogen. This field study was conducted at Yaoluoping Nature Reserve, Anhui Province. In order to determine the concentrations of soil microbial biomass carbon (MBC), microbial biomass nitrogen (MBN), dissolved organic carbon (DOC), and dissolved organic nitrogen (DON) under 4 different vegetations, including evergreen broad-leaved forest (EBF), evergreen broad-leaved and deciduous broad-leaved mixed forests (EDBF), deciduous broad-leaved forests (DBF) and evergreen coniferous forests (ECF). The results showed that hot water extracted 1.5–2.8 times more soil DOC and DON than 2 mol/L KCl.

基金项目:城乡一体化建设中林业关键技术研究“生态公益林抚育与多功能经营关键技术研究”(48104410); 低碳技术在生态农业中的集成应用“上海森林生态系统的碳储量估测研究”(48102700)。

第一作者简介:葛萍, 女, 1982年出生, 安徽舒城人, 在读博士, 主要从事城市生态学及恢复生态学方面的研究。通信地址:200241 上海市闵行区东川路500号华东师范大学资环学院470室, E-mail: geping2010@126.com。

通讯作者:达良俊, 男, 1962年出生, 上海人, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事城市生态学及植被工程学方面的研究。通信地址:200241 上海市闵行区东川路500号华东师范大学资环学院470室, E-mail: daliangjun@126.com。

收稿日期:2013-10-11, **修回日期:**2013-12-11。

The pool sizes of DOC and DON were measured by hot water and 2 mol/L KCl extraction were in the order of DBF>EDBF>EBF>ECF under 4 different vegetations; The amounts of DON in 2 mol/L KCl extracts were not significantly correlated with those in hot water extracts. The DON in hot water extracts was significantly related to potential mineralizable N (PMN) ($r=0.85$, $P<0.05$), while there was no such relationship present between the PMN and the DON in KCl extract. This indicated that the DON in hot water extracts might better indicator of soil active organic N pool. Soil MBC and MBN concentrations were 136.45–297.23 mg/kg, and 16.33–37.11 mg/kg, respectively. 4 forests in soil MBC and MBN were characterized by DBF>EBF>EDBF>ECF. There were significant positive correlations between MBC, MBN and DOC, DON, indicating the close relationships between MBC, MBN and DOC, DON and the main reason of this distinction was the diverse source in active organic carbon and nitrogen under different vegetation.

Key words: forest soil; dissolved organic carbon; dissolved organic nitrogen; potential mineralizable N; microbial biomass carbon and nitrogen

0 引言

陆地生态系统碳、氮循环及储量的变化已成为当今全球变化研究的热点问题。土壤微生物量和溶解性有机质(dissolved organic matter, DOM)逐渐被视为土壤健康的生态指标。其中,土壤微生物量主要包括:微生物量碳(microbial biomass carbon, MBC)和微生物量氮(microbial biomass nitrogen, MBN)。溶解性有机碳(dissolved organic carbon, DOC)和溶解性有机氮(dissolved organic nitrogen, DON)是DOM重要的2个组成部分。Kalbitz等^[1]提出土壤有机质的短暂波动主要发生在活性较高且易分解的部分,用各养分全量元素的变化来评价土壤质量的改变是不够及时的。MBC、MBN、DOC和DON是对土壤质量变化响应最明显和最迅速的土壤活性组分指标。土壤微生物参与了多种土壤生物化学过程,对有机物质的分解转化、养分的转化和供应起着重要的主导作用^[2-3]。土壤微生物量受气候、土壤和植被因子的显著影响,即使在相同的气候条件和土壤类型下,不同植被下的土壤微生物仍然存在较大差异^[4]。在森林生态系统中,土壤的理化性质受覆盖物种类、气候、根活性等一系列因素的控制^[5],其中植被类型起着关键性作用^[6]。DOC和DON作为土壤中活跃的化学组分,是微生物主要能量和营养物质的重要来源^[7-8],在维持陆地生态系统养分平衡方面发挥重要作用^[9]。

国内外有关植被对于土壤微生物量研究主要针对土地利用变化、生态系统恢复和退化过程^[10-11],而关于土壤溶解性有机碳氮的研究,大部分集中在亚寒带、温带气候区,而对亚热带地区的森林土壤DOC、DON研究相对较少^[12]。因此,将这几种活性组分联系起来进行研究,能够及时地反映不同植被类型下土壤质量的演变,揭示活性组分对不同植被类型的响应规律及相

互间的耦合关系是十分必要的。因此,笔者以鹞落坪自然保护区不同植被类型土壤为对象,研究不同林下土壤微生物量碳、氮和溶解性有机碳、氮的含量及相互关系,旨在为该区评价森林土壤质量,保持森林土壤生物学、肥力提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

鹞落坪自然保护区位于安徽省西南部的岳西县境内,是大别山主峰分水岭的主段,其地理位置为30°40′—31°06′N, 116°03′—116°33′E,面积123 km²。该区的次生植被恢复良好,森林覆盖率在90%以上,是大别山中次生植被保存最好的代表性地区之一。属亚热带北缘,年均气温10~14℃,最冷月(1月)均温2℃左右,最热月(7月)均温22~25℃,无霜期约为220天。降雨量受季风影响较大,年降水量为1200~1400 mm,季节分配不均匀,夏季降雨量最多(44.2%),冬季最少(8.9%)。空气相对湿度大,约80%。该区的主要岩层是寒武纪前的变质岩,燕山期侵入的花岗岩及下古代的砂岩。

1.2 样点选择

采样点选择在鹞落坪自然保护区内4种不同植被类型作为研究对象,其基本情况如下。

1.2.1 常绿阔叶林 分布在海拔522 m处,黄棕壤。青冈栎(*Cyclobalanopsis glauca*)为建群种,总盖度约为75%,高18~24 m,胸径10~20 cm。主要伴生种有冬青(*Ilex purpurea*)、小叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)等。

1.2.2 常绿落叶阔叶混交林 分布在海拔890 m处,暗黄棕壤。短柄枹、青刚栎混交林(*Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*, *Cyclobalanopsis glauca*),盖度约为65%,高10~12 m,林下灌木有青冈栎幼林

(*Cyclobalanopsis glauca*)、具柄冬青(*Ilex pedunculosa* Miq.)、小叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、映山红(*Rhododendron simsii* Planch.)、欐木(*Loropetalum chinensis*)等。

1.2.3 落叶阔叶林 分布在海拔1213 m处,山地棕壤。栓皮栎(*Quercus variabilis*)为优势种,总盖度约为70%,高17~21 m。主要伴生种有麻栎(*Quercus acutissima*)、苦槠木(*Fraxinus championii*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)、枫香(*Liquidambar formosana*)等。

1.2.4 针叶林 分布在海拔1500 m处,山地棕壤。几乎全是黄山松,盖度约为90%,高约14~18 cm,平均胸径17 cm。伴生少量映山红(*Rhododendron simsii* Planch.)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)。

1.3 样品采集与处理

2011年10月,在4种不同植被类型分别设置3个20 m×20 m的样方,每个样方间隔100 m左右并在样方内以“S”形取5个点,采集0~20 cm层土壤样品,均匀混合后作为1个样品。土样带回室内拣去石砾,植物根系和碎屑,过2 mm土壤筛,再分成2份。一份用于土壤微生物量碳(MBC)、氮(MBN)、溶解性有机碳(DOC)和溶解性有机氮(DON)的测定。另一份土壤风干后,用于测定土壤基本性质和土壤养分。

1.4 样品分析方法

土壤全碳(TC)、全氮(TN)含量采用元素分析仪(Isoprime-EuroEA3000,意大利)测定;土壤含水量采用烘干法测定,将土壤样品置于105℃下,烘至恒质量,所失去的质量即为水分的质量,根据其烘干前后质量之差,计算土壤水分含量的百分数;土壤pH按1:2.5的水土比充分混合、摇匀后,用Extech II pH计测定;土壤容重测定采用环刀法:采样时先除土壤表层凋落物,在0~20 cm深度的土壤剖面取样。每个样地3次重复,将样品密封后,带回实验室,测定土壤容重。DOC、DON含量采用热水和KCl溶液浸提,然后使用Multi N/C 3100测定DOC、溶解性总氮(TDN)含量, DON=

TDN-(NH₄⁺-N+NO₃⁻-N);使用FIAstar 5000流动注射分析仪测定铵态氮(NH₄⁺-N)和硝态氮(NO₃⁻-N)含量;土壤MBC、MBN采用氯仿熏蒸浸提方法测定。土壤潜在性可矿化氮(PMN)采用淹水培养方法测定^[13]。

1.5 统计分析

利用SPSS 17.0对数据进行计算和处理,不同林分间差异采用单因素方差分析检验,变量间相关关系采用多元分析中的相关分析进行分析,显著性差异水平为P=0.05。

2 结果与分析

2.1 不同植被类型土壤基本性质

由表1可知,各林分土壤含水率的变化范围在18.4%~30.1%,pH的变化范围在4.41~5.18,EDBF林下土壤的含水率及pH均显著高于其他林分(P<0.05)。经方差分析可知,EBF和EDBF林下土壤全碳含量显著高于DBF和ECF的(P<0.05),但土壤全氮在不同林分间差异不显著(P>0.05)。不同林分土壤PMN含量差异显著(P<0.05),DBF林下土壤PMN含量最高(63.8 mg/kg),而ECF林下的最低(35.4 mg/kg)。ECF林下土壤容重显著高于其他林分的(P<0.05)。EDBF和DBF林下土壤C/N比值显著高于EBF和ECF的(P<0.05)。

2.2 不同植被类型土壤用2 mol/L的KCl溶液浸提溶解性有机质及无机氮的含量

由表2可知,各林分土壤用2 mol/L的KCl溶液浸提的DON含量的变化范围在16.94~21.04 mg/kg,占土壤TN的变化范围在0.74%~1.17%,但各林分间差异不显著(P>0.05)。EDBF和DBF林分下的土壤用2 mol/L的KCl溶液浸提的DOC含量差异不显著(P>0.05),其含量分别是EBF和ECF的1.3和1.5倍。不同林分土壤DOC/DON比值差异显著(P<0.05),DBMF林分下土壤DOC/DON比值最大(6.36%),而在ECF林分下土壤DOC/DON比值最小(3.45%)。不同林分土壤用2 mol/L的KCl溶液浸提的NH₄⁺-N是无机氮的主导

表1 不同植被类型土壤0~20 cm的基本理化性质

植被类型	含水率/%	pH	全碳/(g/kg)	全氮/(g/kg)	碳氮比	容重/(g/cm)	潜在性可矿化氮/(mg/kg)
EBF	21.5±0.7 b	4.61±0.3 b	3.43±0.11 b	1.51±0.02 a	2.27±0.4 a	1.13±0.02 b	40.1±0.02 c
EDBF	30.1±0.1 a	5.18±0.1 a	7.90±0.12 a	2.51±0.06 a	3.15±0.5 b	1.17±0.03 b	50.3±0.06 b
DBF	18.4±1.0 c	4.46±0.3 b	8.23±0.17 a	2.32±0.05 a	3.55±0.3 b	1.14±0.02 b	63.8±0.05 a
ECF	20.3±0.4 b	4.41±0.2 b	3.74±0.15 b	1.82±0.01 a	2.05±0.8 a	1.22±0.01 a	35.4±0.01 d

注:表中数据为平均值±标准差(n=3);同列数据标有不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。EBF:常绿阔叶林,EDBF:常绿落叶阔叶混交林,DBF:落叶阔叶林,ECF:常绿针叶林。下同。

表2 不同植被类型用2 mol/L 氯化钾溶液浸提的0~20 cm 土层的土壤溶解性有机碳、氮和无机氮含量

植被类型	无机氮/(mg/kg)		溶解性有机氮/ (mg/kg)	DON/TN/ %	溶解性有机碳/ (mg/kg)	溶解性有机碳/溶解性有机氮/ %
	铵态氮	硝态氮				
EBF	9.17±0.41 c	2.10±0.44 b	16.94±3.72 a	0.74±0.02 c	83.15±3.39 b	4.91±1.4 b
EDBF	8.37±0.25 c	4.12±0.68 a	17.08±4.15 a	0.68±0.03 d	108.64±2.07 a	6.36±2.2 a
DBF	10.33±0.38 b	1.33±0.31 b	19.25±2.50 a	1.28±0.01 a	111.29±1.38 a	5.78±1.5 ab
ECF	12.38±0.36 a	2.32±0.48 b	21.04±1.74 a	1.17±0.01 b	72.69±2.11 c	3.45±1.3 c

形式,其变化范围在8.37~12.38 mg/kg,占土壤无机总氮的95.7%~97.2%左右(见表2)。EBF和EDBF林下土壤NH₄⁺-N的含量显著低于DBF和ECF林分的($P < 0.05$)。而EDBF林下土壤NO₃⁻-N的含量(4.12 mg/kg)显著高于其他林分的(1.33~2.32 mg/kg)。

2.3 不同植被类型土壤用热水浸提溶解性有机质及无机氮的含量

各林分土壤用热水浸提的DON含量是用2 mol/L KCl溶液浸提DON含量的1.5倍左右(见表2和表3),变化范围在26.54~31.34 mg/kg 占土壤TN的变化范围在1.10%~1.95%(见表3)。ECF林分下土壤用热水浸提的DON含量显著高于EBF和EDBF林下的($P < 0.05$),各林分土壤用热水浸提的DOC含量差异显著($P < 0.05$)。这就导致土壤DOC/DON比值在DBF的林分(4.74%)显著低于和ECF林分的(11.01%)。不同林分土壤用热水浸提的NH₄⁺-N是无机氮的主导形式(12.34~15.38 mg/kg),EDBF林下土壤NO₃⁻-N的含量显

著高于其他3种林分的($P < 0.05$,见表3)。

2.4 不同植被类型土壤微生物量碳氮的含量

土壤MBC的变化范围在136.45~297.23 mg/kg, DBF林分下的土壤MBC含量分别是EBF、EDBF和ECF林分下的1.03倍、1.07倍和2.18倍(见表4)。土壤MBN的变化范围在16.33~37.11 mg/kg, DBF林分下的土壤MBN含量分别是EBF、EDBF和ECF林分下的1.04倍、1.13倍和1.83倍(见表4)。不同林分下,土壤MBC、MBN的特征均为:DBF>EBF>EDBF>ECF。各林分间土壤MBC、MBN差异显著($P < 0.05$),而土壤MBC/MBN的比值差异不显著($P > 0.05$;见表4)。不同林分土壤MBC/TC比为3.51%~8.38%,MBN/TN比为1.13%~2.36%,且EBF林分下土壤MBC/TC和MBN/TN的比值显著高于其他3种林分($P < 0.05$)。

2.5 土壤活性碳氮与其他土壤养分的关系

相关分析结果(见表5)表明,不同植被类型下,在0~20 cm土层,除了DON_{KCl}与DON_{hw}之间不存在显著

表3 不同植被类型用热水浸提的0~20 cm 土层的土壤溶解性有机碳、氮和无机氮含量

植被类型	无机氮/(mg/kg)		溶解性有机氮/ (mg/kg)	DON/TN/ %	溶解性有机碳/ (mg/kg)	溶解性有机碳/溶解性有机氮/ %
	铵态氮	硝态氮				
EBF	13.11±0.22 c	3.15±0.12 b	26.54±3.02 b	1.15±0.01c	166.28±2.21 c	6.27±3.4 ab
EDBF	12.34±0.25 c	5.22±0.45 a	27.58±3.25 b	1.10±0.03 c	216.46±1.07 b	7.85±2.8 ab
DBF	14.33±0.48 b	2.63±0.31 b	29.25±2.50 ab	1.95±0.02 a	322.16±1.58 a	11.01±3.5 a
ECF	15.38±0.11 a	3.12±0.46b	31.34±2.04 a	1.74±0.01 b	148.68±3.11 d	4.74±0.8 b

表4 土壤微生物量碳/氮比及土壤微生物量碳、氮分别占全碳和全氮的百分比例

植被类型	微生物量碳MBC/(mg/kg)	微生物量氮MBN/(mg/kg)	MBC/MBN/%	MBC/TC/%	MBN/TN/%
EBF	287.58±1.5 b	35.45±0.25 b	8.11±1.3 a	8.38±2.5 a	2.36±0.2 a
EDBF	277.66±0.8 c	32.67±0.05 c	8.50±0.6 a	3.51±0.1 b	1.31±0.1 b
DBF	297.23±1.1 a	37.11±0.06 a	8.01±0.8 a	3.61±1.2 b	1.61±0.3 b
ECF	136.45±2.4 d	20.33±0.14 d	8.35±1.6 a	3.65±0.8 b	1.13±0.1 b

表 5 4 种不同植被类型下土壤活性碳氮与土壤全碳、全氮间的相关系数

指标	DON _{hw}	DON _{KCl}	DOC _{hw}	DOC _{KCl}	MBC	MBN	TC	TN	PMN
DON _{hw}	1								
DON _{KCl}	0.88	1							
DOC _{hw}	0.93**	0.80*	1						
DOC _{KCl}	0.86*	0.91*	0.89*	1					
MBC	0.75**	0.76*	0.96**	0.86*	1				
MBN	0.79**	0.85*	0.95**	0.93*	0.98*	1			
TC	0.88**	0.91*	0.96**	0.91**	0.84**	0.91*	1		
TN	0.94**	0.94*	0.85*	0.82**	0.66**	0.74**	0.95*	1	
PMN	0.75*	0.84	-0.65*	-0.71	-0.89	0.86	-0.73	0.82*	1

注: *表示相关性显著水平($P < 0.05$); **表示相关性显著水平($P < 0.01$)。

的相关性($P > 0.05$), 土壤 MBC 与 DOC 之间以及土壤 MBN 与 DON 之间的相关性达显著($P < 0.05$)或极显著水平($P < 0.01$), 说明微生物量碳、氮是 DOC、DON 的源和汇。

3 结论与讨论

3.1 不同植被类型土壤溶解性有机碳和氮含量

不同的萃取剂具有不同的浸提溶解性有机质的能力。研究者通常用 2 mol/L KCl 溶液或热水浸提土壤中的 DOC、DON 含量。本研究中用热水浸提的土壤 DON 和 DOC 含量分别是用 KCl 浸提的 1.5~2.8 倍, 与大多数学者在森林土壤的研究结果一致^[14-15]。DON_{KCl} 的含量与 DON_{hw} 的含量之间均不存在显著的相关关系($P > 0.05$), 土壤 PMN 含量与 DON_{hw} 含量存在显著的正相关关系($r = 0.85$, $P < 0.05$), 与 DON_{KCl} 含量不存在显著的相关关系($P > 0.05$), 这表明用热水浸提的 DON 含量比 KCl 溶液浸提的 DON 含量能更好的指示土壤活性有机氮库。森林土壤中的 DOC、DON 主要来自于腐殖质的淋滤、微生物及根系代谢产物和分泌物等均与地上植被类型密切相关^[16-17]。不同的植被类型可以通过改变土壤的理化性质、微生物群落丰富度、不同数量和质量的凋落物的输入来影响土壤活性碳氮及其转化^[18-19]。Wang 等^[20]和 Xing 等^[21]研究表明, 土壤 DOC 和 DON 含量的变化趋势为阔叶树显著高于针叶树, 认为在阔叶林的落叶层生物量和根系代谢产物和分泌物高于针叶林的。本研究中, 不同植被类型用热水和 KCl 溶液浸提的 DOC 和 DON 含量的大小顺序均为: DBF > EDBF > EBF > ECF (见表 2 和表 3), 这可能是因为落叶阔叶林在秋季枯枝落叶相对较多, 且分解速率快, 易溶解的有机质向下淋溶较多所致。

3.2 不同植被类型土壤微生物量碳和氮含量

土壤微生物主要以植物残体为营养源, 不同植被类型组成和结构不同, 所形成有机质的量和营养成分存在一定的差异, 植物的质和量的差异必然导致土壤微生物在各种植被之间分布的不均一性。一般来讲, 树叶占其林地凋落物总量的大部分, 植被类型的不同导致凋落物种类不同, 进而影响微生物群体, 因此植被类型可能影响微生物量和碳利用效率^[22-23]。本研究中, 土壤微生物量碳、氮的变化趋势均为: DBF > EBF > EDBF > ECF, 说明阔叶林在土壤有机质的积累能力方面要强于针叶林。这与前人研究结果较一致。Nambu 等^[24]研究指出, 落叶林的土壤微生物量比针叶林的含量高主要是由于针叶林下调落物分解的更慢, 导致土壤可得到的营养物较少, 这可能会影响微生物代谢, 使微生物量较低^[25]。而何容^[26]对武夷山亚热带森林土壤微生物量沿海拔高度的变化的研究结果与其相反, 认为针叶林的样地含有的肿节竹具有大量易分解凋落物, 导致土壤微生物量增长, 减少与落叶林土壤微生物量含量的差距, 使其差异不显著。

3.3 土壤活性碳氮与其他土壤养分的关系

碳氮循环是在微生物的作用下同时进行, 土壤活性组分间均以微生物为纽带存在着耦合关系, 本研究发现土壤 MBC 与 DOC 之间以及土壤 MBN 与 DON 之间的相关性达显著($P < 0.05$)或极显著水平($P < 0.01$), 这与前人研究结果较为一致。黄靖宇等^[27]研究发现, 土地利用方式对表层土壤微生物对 DOC 的影响要大于对 DON 的影响, 认为 DOC 是微生物在 C 循环过程中的一个重要影响因子, DON 与微生物的关系受其它外源氮素的影响较大。多炜帆等^[28]研究表明, 土壤微生物

物量碳、氮与土壤有机碳、全氮呈显著正相关,并认为土壤有机质是影响土壤微生物量的关键因子^[29],其含量越高能为微生物在进行自身合成与代谢过程中提供足够的碳、氮物质来源以及能量来源^[30]。因此,土壤微生物可利用碳、氮的来源不同是DOC、DON与MBC、MBN相关性差异的主要原因。

参考文献

- [1] Kalbitz K, Solinger S, Park J K, et al. Controls on the dynamic of dissolved organic matter in soils: A review[J].*Soil Science*,2000, 165:277-304.
- [2] Jenkinson D S. The turnover of the organic carbon and nitrogen in soil[J].*Philosophical Transactions of the Royal Society*,1990,329: 361-368.
- [3] 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[J].*水土保持学报*,2003,17(1):112-114.
- [4] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil[J].*Biological Reviews*,1992,67(3):321-358.
- [5] Chapman P J, Williams B L, Hawkins A. Influence of temperature and vegetation cover on soluble inorganic and organic nitrogen in a spodosol[J].*Soil Biology and Biochemistry*,2001,33(7):1113-1121.
- [6] Kara O, Bolat I. Soil microbial biomass C and N changes in relation to forest conversion in the northwestern Turkey[J].*Land Degradation and Development*,2008,19(4):421-428.
- [7] Jiang Y M, Chen C R, Liu Y Q, et al. Soil soluble organic carbon and nitrogen pools under mono- and mixed species forest ecosystems in subtropical China[J].*Journal of Soils and Sediments*, 2010,10:1071-1081.
- [8] Park J H, Kalbitz K, Matzner E. Resource control on the production of dissolved organic carbon and nitrogen in a deciduous forest floor [J].*Soil Biology and Biochemistry*,2002,34:813-822.
- [9] Hedin L O, Armesto J J, Johnson A H. Patterns of nutrient loss from unpolluted old-growth temperate forest: evaluation of biogeochemical theory[J].*Ecology*,1995,76:439-509.
- [10] 刘占锋,刘国华,傅伯杰,等.人工油松林恢复过程中土壤微生物生物量C、N的变化特征[J].*生态学报*,2007,27(3):1011-1018.
- [11] 刘满强,胡峰,何园球,等.退化红壤不同植被恢复下土壤微生物量季节动态及其指示意义[J].*土壤学报*,2003,40(6):937-944.
- [12] 江玉梅,陈成龙,徐志红,等.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[J].*应用生态学报*,2010,21(9): 2273-2278.
- [13] Waring S A, Bremner J M. Ammonium production in soil under waterlogged conditions as an index of nitrogen availability[J].*Nature*,1964,201:951-952.
- [14] Burton J, Chen C R, Xu Z H, et al. Soluble organic nitrogen pools in adjacent native and plantation forests of subtropical Australia[J].*Soil Biology and Biochemistry*,2007,39:2723 - 2734.
- [15] Jiang Y M, Chen C R, Liu Y Q, et al. Soil soluble organic carbon and nitrogen pools under mono- and mixed species forest ecosystems in subtropical China[J].*Journal of Soils and Sediments*, 2010,10:1071-1081.
- [16] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, et al. Controls in the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review[J].*Soil Science*,2000,165 (4):277-304.
- [17] Chapman P J, Williams B L, Hawkins A. Influence of temperature and vegetation cover on soluble inorganic and organic nitrogen in a spodosol[J].*Soil Biology and Biochemistry*,2001,33(7):1113-1121.
- [18] Chen C R, Condon L M, Xu Z H. Impacts of grassland afforestation with coniferous trees on soil phosphorus dynamics and associated microbial processes: a review[J].*Forest Ecology and Management*,2008,255:396-409.
- [19] Witt C, Setälä, H. Do plant species of different resource qualities form dissimilar energy channels below-ground?[J].*Applied Soil Ecology*,2010,44:270-278.
- [20] Wang Q, Wang S. Response of labile soil organic matter to changes in forest vegetation in subtropical regions[J].*Applied Soil Ecology*, 2011,47:210-216.
- [21] Xing S H, Chen C R, Zhou B Q, et al. Soil soluble organic nitrogen and microbial processes under adjacent coniferous and broadleaf plantation forests[J].*Journal of Soils and Sediments*,2010,10: 1071-1081.
- [22] Anderson T H, Domsch, K H. The metabolic quotient for CO₂ as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as Ph, on the microbial biomass of forest soils[J].*Soil Biology and Biochemistry*,1993,25:393-395.
- [23] Bauhus J, Pare D, Cote L. Effects of tree species stand age and soil type on soil microbial biomass and its activity in a southern boreal forest[J].*Soil Biology and Biochemistry*,1998,30:1077-1089.
- [24] Nambu I T, Yonebayashi K. Acidic properties of dissolved organic matter leached from organic layers in temperate forests[J].*Soil Science and Plant Nutrition*,1999,45:65-77.
- [25] Xu, X K, Inubushi, K, Sakamoto, K. Effect of vegetations and temperature on microbial Biomass carbon and metabolic quotients of temperate volcanic forest soils[J].*Geoderma*,2006,136(1): 310-319.
- [26] 何容.对武夷山亚热带森林土壤微生物量沿海拔高度的变化[D].南京:南京林业大学,2007:27-28.
- [27] 黄靖宇,宋长春,宋艳宇,等.湿地垦殖对土壤微生物量及土壤溶解有机碳、氮的影响[J].*环境科学*,2008,29(5):1380-1387.
- [28] 多祯帆,王光军,闫文德,等.亚热带3种森林类型土壤微生物碳、氮生物量特征比较[J].*中国农学通报*,2012,28(13):14-19.
- [29] 张海燕,肖延华,张旭东.土壤微生物量作为土壤肥力指标的探讨[J].*土壤通报*,2006,37(3):422-425.
- [30] Jia G M, Cao J, Wang C Y, et al. Microbial biomass and nutrients in soil at the different stages of secondary forest succession in Ziwulin, northwest China[J].*Forest Ecology and Management*,2005, 217(1):117-125.