

DOI: 10.5846/stxb201711021961

刘平, 邱月, 王玉涛, 魏忠平, 范俊岗, 曹宝慧. 渤海泥质海岸典型防护林土壤微生物量季节动态变化. 生态学报, 2019, 39(1): - .

Liu P, Qiu Y, Wang Y T, Wei Z P, Fan J G, Cao B H. Seasonal dynamics of soil microbial biomass in typical shelterbelts on the Bohai muddy coast. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): - .

渤海泥质海岸典型防护林土壤微生物量季节动态变化

刘平¹, 邱月¹, 王玉涛^{1,*}, 魏忠平², 范俊岗², 曹宝慧¹

¹ 沈阳农业大学林学院, 沈阳 110866

² 辽宁省林业科学研究院, 沈阳 110032

摘要: 土壤微生物生物量碳、氮是研究土壤肥力、土壤养分转化、循环以及环境变化的重要指标。研究渤海泥质海岸白榆、刺槐、白蜡、群众杨、辽宁杨纯林和辽宁杨刺槐混交林及当地自然生灌草地土壤微生物生物量碳、氮的季节动态及与土壤养分含量变化的关系, 以期为沿海防护林树种的选择及林地管理提供科学依据。结果表明: 造林能显著增加土壤微生物生物量含量, 其中白榆(25a)土壤微生物生物量碳、氮最高, 是对照的 2.50 倍和 2.09 倍。0—10 cm 土壤层微生物生物量碳、氮大于 10—30 cm 土层, 季节动态变化差异显著。在 0—10 cm 土层内, 渤海泥质海岸典型防护林土壤微生物生物量碳、氮季节动态多表现为春秋两季较高, 夏季较低的“V”字型变化; 在 10—30 cm 土层内, 防护林土壤微生物生物量碳季节变化规律与 0—10 cm 土层一致, 表现为夏季较低春秋较高的“V”字型, 微生物生物量氮主要表现为“V”字型、倒“V”字型与直线型 3 种变化形式。在 0—30 cm 土层内, 白榆(25a)、刺槐、白蜡、群众杨、辽宁杨刺槐混交林、白榆(10a)、辽宁杨及灌草地微生物生物量碳对土壤有机碳的平均贡献率分别为 1.59%、1.68%、1.42%、1.54%、2.29%、1.80%、2.02% 和 1.12%, 土壤微生物生物量氮对土壤全氮的平均贡献率分别为 1.85%、1.30%、1.08%、1.35%、2.49%、1.57%、2.08% 和 2.32%。不同类型防护林地土壤微生物量碳、氮之间显著正相关, 它们与土壤全氮、有机碳显著正相关, 与土壤电导率显著负相关, 另外, 土壤微生物量碳还与土壤速效磷含量显著正相关。从不同土层微生物量碳、氮季节动态来看, 造林可以增加泥质海岸土壤微生物生物量, 但是夏季地下水位升高, 盐碱上扬, 加之树木生长大量利用养分, 土壤微生物生物量夏季较低。综合分析土壤微生物生物量和土壤营养库的贡献率, 白榆纯林和辽宁杨刺槐混交林更有利于泥质海岸土壤微生物群落功能恢复和营养固定。

关键词: 泥质海岸; 防护林; 土壤微生物生物量碳; 土壤养分; 季节变化

Seasonal dynamics of soil microbial biomass in typical shelterbelts on the Bohai muddy coast

LIU Ping¹, QIU Yue¹, WANG Yutao^{1,*}, WEI Zhongping², FAN Jungang², CAO Baohui¹

¹ College of Forestry, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China

² Liaoning Academy of Forestry Science, Shenyang 110032, China

Abstract: Soil microbial biomass carbon and nitrogen are the important indicators to study soil fertility, soil nutrient transformation and circulation, and environmental changes. During this research, the seasonal dynamics of soil microbial biomass C and N contents and their relation with the changes of soil nutrients content in *Ulmus pumila* forest [25 years old (UPM), 10 years old (UP)], *Robinia pseudoacacia* forest (RP), *Fraxinus chinensis* forest (FC), *Populus popularis* forest (PP), *P. × liaoningensis* forest (PL), mixed forest of *P. × liaoningensis* and *R. pseudoacacia* (PR) and CK (naturally occurring shrub-grassland) were investigated. The purpose of this study is to provide a scientific basis for

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(201602663); 辽宁教育厅基金项目(L2014480); 辽宁省农业攻关及产业化资助项目(2015103002); 中央财政林业科技推广项目(辽[2015]TG14号)

收稿日期: 2017-11-02; **网络出版日期:** 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ytw730@sina.com

selection of coastal shelterbelt tree species and forest management in this area. The results showed that soil microbial biomass increased significantly by afforestation. Among all the forest types, UPM has the highest soil microbial biomass C and N contents, which are 2.50 and 2.09 times than CK. The microbial biomass C and N contents in soil layer of 0—10 cm were larger than those in 10—30 cm soil layer, and the seasonal dynamic change of soil microbial biomass in two soil layers varied significant differently. In the 0—10 cm soil layer, the seasonal dynamics of soil microbial biomass C and N contents in the typical shelterbelts on Bohai muddy coast were higher in spring and autumn, and lower in summer, with a “V” shape trend. The change trend of soil microbial biomass C in the typical shelterbelt under 10—30 cm soil layer was consistent with that of 0—10 cm soil layer, which showed a lower in summer, and a higher in spring and autumn, also with a “V” shape trend. There are mainly three forms of microbial biomass N variation: “V”, inverted “V”, and straight line. In the 0—30 cm soil layer, the average contribution rates of soil microbial biomass C to soil organic carbon in UPM, RP, FC, PP, PR, UP, PL, and naturally occurring shrub-grassland were 1.59%, 1.68%, 1.42%, 1.54%, 2.29%, 1.80%, 2.02%, and 1.12%, respectively, and in the 0—30 cm soil layer, the contribution rates of soil microbial biomass N to soil total nitrogen were 1.85%, 1.30%, 1.08%, 1.35%, 2.49%, 1.57%, 2.08%, and 2.32%, respectively. The correlation of soil microbial biomass C and N in all forest types were significantly positive, and soil microbial biomass C and N had significantly positive correlation with soil total nitrogen and organic matter, and had significantly negative correlation with soil conductivity. In addition, soil microbial biomass C had significantly positive correlation with soil available P. From the results of seasonal dynamics of microbial biomass C and N in different soil layers, it could be drew the conclusion that microbial biomass increased by afforestation in muddy coastal soil, but ground water was rose in summer, accompanied by the increment of salt and alkali content, moreover, trees utilize large quantities of nutrients to maintain growth, thus, the soil microbial biomass was lower. Based on the comparison of soil microbial biomass C and N content and their contributions to soil N pools among all forest types, the conclusion can be made that UPM and PR are the most conducive tree species to the recovery of soil microbial function and nutrient fixation on the Bohai muddy coast.

Key Words: Muddy coast; Shelterbelt; Soil microbial biomass; Soil nutrients; Seasonal dynamics

土壤微生物生物量(soil microbial biomass, SMB)是评价土壤生物学活性和土壤质量的敏感指标,在反映农林业管理措施对土壤肥力的影响方面扮演着重要角色^[1-3],对于研究盐碱地土壤的肥力变化具有重要意义^[4]。我国泥质海岸漫长,防护林建设是海岸盐碱地的重要生态治理措施。环渤海泥质海岸,已经营建了大面积防护林,但不同植被类型,由于进入土壤凋落物数量、土壤微生物群落结构的差异,土壤中微生物生物量及土壤营养物质存在很大差异^[5-7]。许景伟等^[8]研究表明,黑松刺槐、黑松麻栎及黑松紫穗槐混交林土壤微生物数量均显著高于黑松纯林,于洋等^[9]研究结果同样表明落叶松白桦混交林林土壤微生物数量显著多于落叶松纯林。凋落物类型差异同样能显著影响土壤微生物生物量,不同的树种凋落物中含有不同的碳源和氮源,混交林植被种类多样,凋落物种类较多,有利于为不同的微生物提供营养物质,促进微生物生物量的增加^[10]。以往林地土壤微生物量变化研究多集中于经历农耕、采伐等干扰后退化土壤上的人工林或者天然次生林^[11-13],主要探讨退化土壤的肥力恢复。而海岸防护林是在处于发育初期的土壤上营造的,该土壤生物循环积累养分作用微弱,养分含量低,含盐量较高。已有研究表明海岸防护林可以影响土壤水盐变化^[14-15]、氮磷含量^[15-17]、酶活性^[18-19],但这些研究多是对某一个或者几个因子进行研究,很难预警和反映土壤质量变化。而土壤微生物生物量可以敏感的反映土壤质量以及整个生态系统健康状况^[15],其对防护林及环境因子的改变如何响应尚不明晰。

土壤微生物生物量的变化受土壤水分、温度、养分含量共同影响,而这些相关因子通常随季节转变而变化,因此土壤微生物生物量通常呈现一定的季节动态^[11,13,20]。因此,本研究以渤海泥质海岸 6 种林分类型白榆(*Ulmus pumila*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、群众杨(*Populus popularis*)、辽宁杨

(*Populus×liaoningensis*) 纯林、辽宁杨刺槐混交林为研究对象,比较研究不同林分类型及不同生长阶段土壤微生物生物量碳、氮的季节动态及与土壤养分、水分和电导率等的关系、从而分析防护林对渤海泥质海岸土壤肥力状况的影响,以期为评价该区域植被恢复状况提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

试验地位于辽宁省西南部、渤海辽东湾畔锦州市凌海市建业乡建业村,地理坐标为 40°58'N,120°20'E。该区地处于北温带,属大陆性气候,四季分明,雨热同季,日照充足,年平均气温 8.7℃,无霜期为 160—180 d,年降水量 550—620 mm。该地区春季雨量少,气温回升快,平均气温 8—10℃。夏季高温多雨,降雨量 400—450 mm,占年降雨量 62%—70%,极端温度可达 39.5—42.0℃。秋季温雨骤减,平均气温为 9—11℃。凌海市海岸线长 83.7 km,该地区地势平坦,多风,土壤盐碱化程度较高。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

本研究选择白榆、刺槐、白蜡、群众杨、辽宁杨纯林和辽宁杨刺槐混交林 6 种典型防护林为研究对象,以当地自然植被灌草地为对照,防护林与自然植被灌草地彼此相邻,立地条件相似。各防护林的林分情况如表 1 所示。

表 1 林分基本情况表
Table 1 General condition of stand

林分类型 Forest type	林龄/a Age class	平均胸径/cm Average DBH	平均树高/m Average height	郁闭度 Canopy density	草本盖度/% Herb cover
白榆纯林 UPM	25	15.4	17.6	0.8	95
刺槐纯林 RP	25	14.2	11.6	0.8	90
白蜡纯林 FC	25	12.5	13.3	0.9	90
群众杨纯林 PP	25	19.9	12	0.8	95
辽宁杨刺槐混交林 PR	10	辽宁杨 8.4 刺槐 7.6 辽宁杨 8.3 刺槐 7.0		0.9	85
白榆纯林 UP	10	12.4	10	0.9	85
辽宁杨纯林 PL	10	15.7	13	0.9	85

UPM:白榆纯林(25a),*Ulmus pumila*;RP:刺槐纯林,*Robinia pseudoacacia*;FC:白蜡纯林,*Fraxinus chinensis*;PP:群众杨纯林,*Populus popularis*;PR:辽宁杨刺槐混交林,*P. × liaoningensis* and *R. pseudoacacia*;UP:白榆纯林(10a),*Ulmus pumila*;PL:辽宁杨纯林,*Populus×liaoningensis*;CK:对照灌草地,Control check;DBH:胸径,Diameter at breast height

1.2.2 土样采集方法

在各植被类型样地内,设置 3 个 20 m×30 m 的标准地,每个标准地内设置 3 个取样点。于 2016 年 5 月 6 号(春季),7 月 11 号(夏季),9 月 20 号(秋季)采集土壤样品,采样前一周内无有效降雨。为保证土壤样品的一致性,每季采样均在采样点附近取样,采集土壤表层 0—10 cm 土层与 10—30 cm 的土样,将 3 个小样方的样品同层混匀后作为该标准地的样品;采回的土壤样品去除细根与石块,通过 2 mm 筛,分成两份,一份土样采集后用自封袋密封贮于 4℃的冰箱中用于分析土壤微生物生物量,另一份置于阴凉干燥通风处自然风干用于土壤理化性质的测定。

1.2.3 测定的项目及方法

土壤微生物生物量碳(SMBC)和土壤微生物生物量氮(SMBN)采用氯仿熏蒸-K₂SO₄提取-自动分析法,参照吴金水等^[21]的步骤,提取液中 C、N 采用自动分析仪(multi N/C 3100)测定。土壤理化性质测定参照《土壤农化分析》中的测定方法^[22]。采用凯氏定氮法测定土壤全氮(TN);采用钼锑抗比色法测定全磷(TP);采用重铬酸钾—外加加热法测定土壤有机碳(SOC);采用氯化钙浸提 AA3 连续流动分析仪测定土壤铵态氮、硝态氮含量;采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定土壤速效磷(AP)。

1.3 数据统计

数据经 Microsoft Excel 整理后,采用 SPSS 22.0 对数据进行统计分析,不同植被类型差异采用单因素方差分析(One—Way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)分析比较,采用 Pearson 相关系数分析法评价微生物生物量碳、氮与土壤理化性质的关系($\alpha=0.05$),所有数据均为 3 次重复平均值。本研究采用 Origin 8 制图。

2 结果与分析

2.1 渤海泥质海岸不同防护林土壤微生物生物量碳含量

由图 1A 可知,白榆(25a)、刺槐、白蜡、群众杨、辽宁杨刺槐混交林、白榆(10a)、辽宁杨土壤 SMBC 均高于对照灌草地,分别为对照灌草地的 250.43%,197.55%,147.83%,182.10%,143.46%,121.80%,153.53%,其中白榆(25a)与对照灌草地差异显著。造林 25a 后防护林 SMBC 含量均值为 153.95 mg/kg,较造林 10a 的防护林下 SMBC 含量均值 110.51 mg/kg,增加了 39.31%。0—10 cm 土层 SMBC 含量均高于 10—30 cm 土层(图 1B),其中白榆(25a)和群众杨林地土层间 SMBC 达到显著水平($P<0.05$)。白榆(25a)、刺槐、白蜡、群众杨、辽宁杨刺槐混交林、白榆(10a)、辽宁杨与对照灌草地 0—10 cm SMBC 均值分别为 279.60,221.85,127.23,238.92,130.40,142.26,134.54,119.18 mg/kg,分别为 10—30 cm SMBC 含量的 239.20%,244.02%,119.10%,483.77%,134.79%,281.24%,123.95%,304.70%。

渤海泥质海岸 6 种林分类型土壤 0—10 cm 与 10—30 cm 土层 SMBC 含量季节动态规律主要表现为“V”字型(图 1C,图 1D),春秋季高,夏季低。在 0—10 cm 和 10—30 cm 土层内 SMBC 夏季均值为 99.54 mg/kg 和 65.01 mg/kg。对照灌草地 SMBC 季节动态在 0—10 cm 呈倒“V”字型,在 10—30 cm 土层中春季>夏季>秋季。

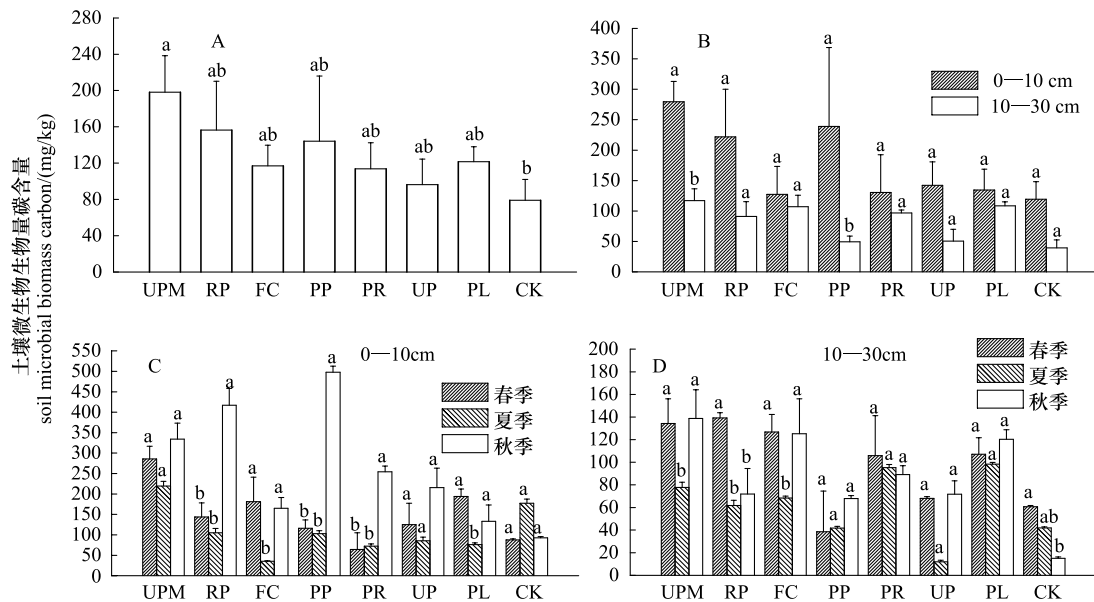


图 1 不同防护林及灌草地土壤微生物生物量碳含量动态

Fig.1 Dynamics of soil microbial biomass carbon (SMBC) in different plantations and shrub land

A:不同防护林 SMBC 含量,相同小写字母表示不同防护林间 SMBC 含量差异未达到显著水平 $P<0.05$;B:各土层 SMBC 均值,相同小写字母表示同一防护林 SMBC 含量未达到显著水平 $P<0.05$;C、D:防护林下不同土层 SMBC 季节变化,相同小写字母表示同一树种季节间 SMBC 差异未达到显著水平 $P<0.05$

2.2 渤海泥质海岸不同防护林土壤微生物生物量氮含量

由图 2A 可知,白榆(25a)、刺槐、群众杨、辽宁杨刺槐混交林、辽宁杨林下 SMBN 分别为对照灌草地的 208.57%,102.02%,105.47%,106.19%,101.17%,其中白榆(25a)与对照灌草地差异达到显著水平($P<0.05$)。造林 25a 白榆 SMBN 含量为 25.36 mg/kg,较造林 10a 的白榆 SMBN 含量 10.40 mg/kg,增加了 143.85%。0—

10 cm 土层 SMBN 含量均高于 10—30 cm 土层(图 2B),其中白榆(25a 和 10a)和群众杨土层间 SMBN 差异达到显著水平。白榆(25a)、刺槐、白蜡、群众杨、辽宁杨刺槐混交林、白榆(10a)、辽宁杨与对照灌草地 0—10 cm SMBN 季节含量均值分别为 39.34, 16.08, 9.38, 22.54, 13.38, 18.97, 15.24, 17.31 mg/kg, 分别为 10—30 cm SMBN 含量的 345.46%, 183.99%, 125.56%, 724.67%, 107.54%, 1036.77%, 162.76%, 246.98%。

渤海泥质海岸 6 种林分类型土壤 SMBN 含量也存在明显季节动态。在 0—10 cm 土层, SMBN 季节规律仍为“V”字型(图 1C),对照灌草地 SMBN 季节变化表现为倒“V”字型。在 10—30 cm 土层内,防护林林下 SMBN 季节变化规律并不一致,白榆(25a 和 10a)SMBN 与 0—10 cm 土层季节变化规律一致;刺槐、辽宁杨 SMBN 季节规律与 0—10 cm 土层相反,表现为夏季最高。

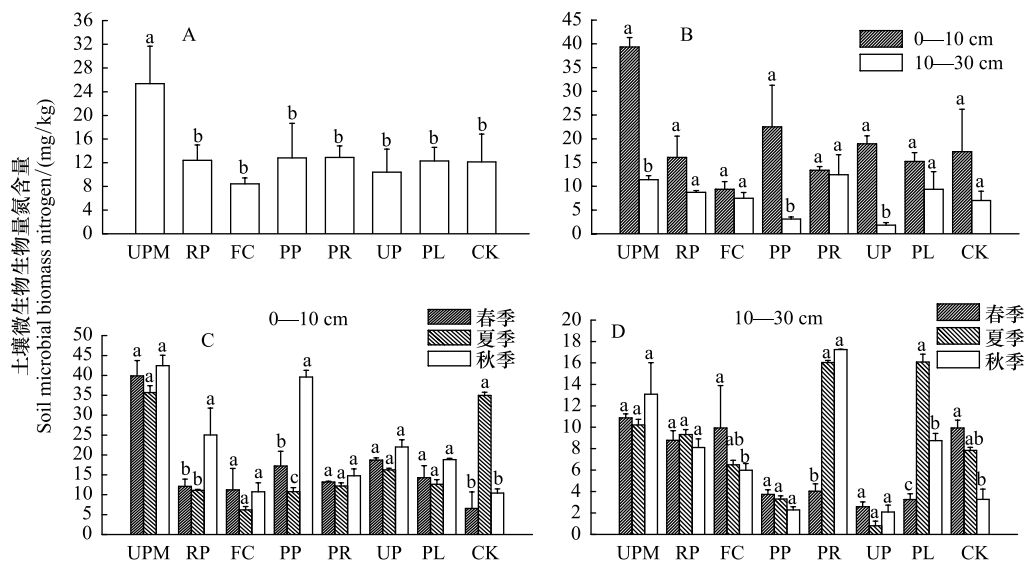


图 2 不同防护林及灌草土壤微生物生物量氮含量动态

Fig.2 Dynamics of soil microbial biomass nitrogen in different plantations and shrub land

A:不同防护林 SMBN 含量,相同小写字母表示不同防护林间 SMBN 含量差异未达到显著水平 $P < 0.05$; B:各土层 SMBN 均值,相同小写字母表示同一防护林 SMBN 含量未达到显著水平 $P < 0.05$; C、D:防护林下不同土层 SMBN 季节变化,相同小写字母表示同一树种季节间 SMBN 差异未达到显著水平 $P < 0.05$

2.3 土壤微生物生物量碳氮比

从表 2 可知,各防护林不同层次土壤微生物生物量碳氮比均有明显季节差异。白榆纯林(25a)、刺槐、白蜡、群众杨、辽宁杨刺槐混交林、白榆(10a)、辽宁杨春季、夏季、秋季不同土壤层次土壤微生物生物量碳氮比均高于对照灌草地,分别为对照灌草地的 1.11, 1.40, 1.53, 1.72, 1.32, 2.43, 1.64 倍。

2.4 土壤微生物生物量对土壤营养库的贡献率

白榆(25a)、刺槐、白蜡、群众杨、辽宁杨刺槐混交林、白榆(10a)、辽宁杨和对照灌草地不同土层的有机碳含量分别为 8.20—13.66, 7.45—10.44, 7.50—8.97, 4.87—11.58, 3.90—6.21, 3.62—6.48, 5.64—6.39, 5.19—8.00 g/kg, 全氮含量分别为 0.99—1.54, 0.88—1.00, 0.70—0.86, 0.63—1.02, 0.41—0.69, 0.43—0.70, 0.56—0.61, 0.54—0.49 g/kg(表 3)。各样地 SMBC 对土壤有机碳的平均贡献率依次为刺槐>辽宁杨>白榆(10a)>辽宁杨刺槐混交林>白榆(25a)>群众杨>白蜡>对照灌草地;各样地 SMBN 对土壤全氮的平均贡献率排序依次为刺槐>对照灌草地>辽宁杨>白榆(25a)>白榆(10a)>群众杨>辽宁杨刺槐混交林>刺槐。

2.5 土壤微生物生物量碳、氮含量间及其与土壤肥力因子的相关性分析

土壤微生物生物量与土壤养分之间存在显著相关性(表 4)。土壤微生物生物量碳、氮之间呈极显著相关,相关系数为 0.784。土壤电导率与 SMBC、SMBN 呈显著负相关,相关系数分别为—0.462 和—0.449。SMBC、SMBN 与有机碳、全氮、速效磷显著相关,与含水量、pH 无显著相关性,土壤电导率与土壤含水量、pH

极显著正相关,表明土壤养分与土壤微生物生物量碳、氮之间具有相互影响的复杂关系。

表 2 土壤微生物量碳氮比季节变化

Table 2 Seasonal variation of soil microbial biomass C-N ratio

林地 Forest type	土层 Soil depths/cm	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	均值 Mean
UPM	0—10	7.17(0.80) b	6.13(0.07) a	11.06(2.88) a	9.12
	10—30	12.85(3.29) bc	7.65(0.72) bc	9.84(1.58) c	
RP	0—10	11.80(3.21) a	9.28(0.20) a	15.93(1.52) a	11.45
	10—30	17.62(0.44) bc	6.65(0.69) c	7.42(1.27) cd	
FC	0—10	11.01(3.47) a	5.86(0.38) a	15.87(1.46) a	12.58
	10—30	12.99(4.24) bc	10.59(0.85) bc	19.19(1.50) bc	
PP	0—10	7.15(2.01) b	9.73(0.41) a	12.63(0.80) a	14.12
	10—30	15.30(12.28) bc	12.78(1.51) b	27.14(8.85) b	
PR	0—10	4.93(3.14) b	5.89(0.25) a	17.65(1.91) a	10.84
	10—30	25.48(4.70) ab	5.94(0.06) c	5.16(0.33) cd	
UP	0—10	8.52(3.41) a	5.49(0.21) a	11.96(2.40) a	19.95
	10—30	31.64(0.55) a	19.71(9.23) a	42.37(17.81) a	
PL	0—10	13.04(1.31) a	6.16(0.21) a	7.14(2.22) a	13.41
	10—30	33.35(2.47) a	6.13(0.34) c	14.65(0.64) bc	
CK	0—10	18.76(8.24) a	5.11(0.03) a	8.90(0.35) a	8.20
	10—30	6.13(0.38) c	5.35(0.12) c	4.93(1.18) d	

表中括号内的数值表示为标准误;后面相同小写字母表示同一土层树种间差异未达到显著水平 $P<0.05$

表 3 微生物生物量对土壤营养库的贡献率

Table 3 The contribution of microbial biomass to soil nutrient pool

贡献率	土层 Soil layer/cm	UPM	RP	FC	PP	PR	UP	PL	CK
微生物量生物量碳/有机碳	0—10	2.05	2.13	1.42	2.06	2.10	2.20	2.11	1.49
MBC/OC(%)	10—30	1.12	1.22	1.42	1.01	2.48	1.40	1.92	0.75
微生物量氮生物量/全氮	0—10	2.55	1.61	1.09	2.21	1.94	2.71	2.49	3.20
MBN/TN(%)	10—30	1.15	0.99	1.07	0.49	3.03	0.43	1.67	1.43

MBC:微生物生物量碳, Microbial biomass carbon; MBN:微生物生物量氮, Microbial biomass c nitrogen; OC:有机碳, Organic carbon; TN:全氮, Total nitrogen

表 4 土壤微生物生物量、土壤酶活性与土壤理化性质的相关关系

Table 4 Correlation between soil microbial biomass, soil enzyme activity and soil physical and chemical properties

指标 Index	微生物量碳 MBC	微生物量氮 MBN	有机碳 OC	全氮 TN	全磷 TP	速效磷 AP	铵态氮 NH ₄ -N	硝态氮 NO ₃ -N	土壤电导率 EC	土壤含水量 SMC	pH
SMBC	—	0.784 **	0.816 **	0.677 **	0.173	0.377 **	-0.195	0.272	-0.462 **	-0.064	0.039
SMBN	0.784 **	—	0.705 **	0.633 **	0.230	0.284	0.036	0.189	-0.449 **	0.039	0.012
EC	-0.462 **	-0.449 **	-0.200	-0.214	-0.086	-0.263	0.043	0.031	—	0.500 **	0.411 **

*, $P<0.05$; **, $P<0.01$. pH: 土壤酸碱度, potential of hydrogen; OC: 有机碳, Organic carbon; TN: 全氮, Total nitrogen; TP: 全磷, Total phosphorus; AP: 速效磷, Available phosphorus; NH₄⁺-N: 铵态氮, Ammonium nitrogen; NO₃⁻-N: 硝态氮, Nitrate nitrogen; EC: 电导率, Electrical conductivity; SMC: 土壤含水量, Soil moisture content

3 讨论

土壤微生物生物量季节变化既受森林类型、树种组成和树龄影响,也受气候、土壤理化性质等因子影响^[12,23]。本研究不同类型防护林土壤微生物生物量碳、氮存在明显的季节变化,春秋季大于夏季,这与桉柳防护林^[4]和落叶松人工林^[12]研究结果中土壤微生物生物量秋季较高一致,但是与春季最低不一致。秋季大量枯落物进入土壤后分解,使得土壤养分增加,生长季增加的细根产生大量分泌物,也为土壤微生物提供大

量碳氮源^[24-26],因此,秋季土壤微生物生物量碳、氮含量较高。而本研究土壤微生物生物量夏季最低,可能与沿海地区盐分动态变化有关,夏季地下水位上升,盐碱也随之向上运动,抑制了微生物活动有关。另外防护林地比对照灌草地植被覆盖度大,生长旺盛,对土壤微生物量消耗较大。王国兵等^[27]研究次生栎林和火炬松人工林土壤微生物生物量碳表明其在植物生长旺季维持在较低水平,而在植物休眠季节维持在较高水平。本研究中土壤微生物生物量春季也较高,可能是春季土壤温度开始回升,冻结期积累的养分随着融化过程释放,显著增加了土壤中有效养分,促进了土壤微生物的活动,使得微生物生物量在春季增加,Devi 等^[23]在栎树林地研究也有一致发现。

土壤微生物生物量受林分类型、生长阶段、凋落物数量和质量、林地的理化性质等影响显著^[3,23,28]。本文研究表明各种类型防护林土壤有机碳、全氮均高于对照灌草地,各类土壤微生物生物量碳、氮与土壤有机碳、全氮呈极显著正相关,土壤微生物生物量碳还与速效磷呈极显著正相关,土壤微生物量碳、氮之间也极显著正相关。这说明微生物量碳、氮含量可反映土壤营养状况^[12,29]。林木枯落物增加土壤中有有机质,可以给微生物活动提供物质和能量来源^[12,24],同时,微生物又可促进枯落物分解^[30]。防护林地土壤微生物生物量碳、氮均随着土层加深而减少,土壤中有有机碳、全氮、速效磷、铵态氮、硝态氮等土壤养分在土壤垂直梯度中具有明显的层次性,由于土壤表层积累了较多枯枝落叶和腐殖质,营养源较丰,水热条件和通气状况好,随着土层加深,通透性变差,养分减少,限制了土壤微生物的数量和活动能力^[12,31]。李玥等^[31]对上海市沿海防护林土壤微生物研究也表明随着土层加深微生物数量减少。本研究还表明土壤微生物生物量碳、氮与土壤的电导率成呈显著负相关,与土壤水分无显著相关关系。说明土壤含盐量是影响土壤微生物生物量的限制因子,而水分对土壤微生物生物量没有显著影响。研究结果普遍认为盐碱会降低微生物种群数量和功能,而水分对土壤微生物的影响结论并不一致^[31-32],李玥等^[31]表明沿海防护林土壤含水率与细菌、真菌、放线菌数量的相关性都不显著,杨凯等^[12]研究也发现土壤湿度对落叶人工林土壤微生物碳、氮无限制性影响。在本研究中,土壤微生物生物量与土壤含水量关系不显著,土壤电导率与土壤含水量呈极显著正相关,盐随水动,夏季渤海泥质海岸降雨量增大,土壤含水量增加,土壤盐分随着地下水位的升高而向地表聚集,从而抑制土壤微生物活动。

相同林龄土壤微生物生物量变化模式基本一致,但不同林分之间仍存在一定差异。在本研究中,白榆(25a)土壤微生物生物量显著高于其他3种相同林龄防护林。可能与白榆对盐碱条件的强适应性有关。很多研究表明,同一地区不同森林类型因树种组成变化、凋落物的数量和质量^[33]、细根生物量^[34]不同,形成林内环境差异,导致土壤有机质、养分库的差异^[9]。在本研究中还发现25a防护林林下土壤微生物生物量显著高于造林10a防护林,10a防护林土壤微生物生物量与对照灌草地差异不显著。由于随着林分的发育,树木可通过根系分泌物、细根以及枯落物分解等途径提高土壤有机质含量,增加土壤微生物可利用的营养物质^[35]。毛琰^[36]和高晶^[37]等人研究表明幼龄林林下土壤微生物生物量碳氮含量处于较低水平,随着林分的发育,土壤微生物生物量含量增加。也有研究表明,造林使得土壤微生物生物量碳氮降低,如4年生和7年生速生杨树林^[38]。

4 结论

渤海泥质海岸防护林土壤微生物生物量碳、氮含量春秋季节大于夏季。造林可以提高土壤微生物生物量,且土壤微生物生物量碳、氮含量随着土层加深而降低,随着树龄增大而升高。同样是25a防护林,白榆林分土壤微生物生物量显著高于其他3种防护林。土壤微生物生物量对土壤有机碳的贡献率均大于对照灌草地,辽宁杨刺槐混交林对全氮的贡献率较显著。土壤微生物生物量与土壤全氮、有机碳和速效磷含量显著相关,与土壤电导率呈负显著相关。可见,防护林可以通过改善土壤微生物生物量来提高渤海泥质海岸土壤肥力,选择抗性强且有大量枯落物的阔叶树种,合理的混交配置可以增加土壤改良效果。

参考文献 (References):

- [1] Shao X X, Yang W Y, Wu M. Seasonal dynamics of soil labile organic carbon and enzyme activities in relation to vegetation types in Hangzhou bay

- tidal flat wetland. PLoS One, 2015, 10(11): e0142677.
- [2] 邱甜甜, 刘国彬, 王国梁, 孙利鹏, 姚旭. 黄土高原不同生长阶段油松人工林土壤微生物生物量碳的变化及其影响因素. 应用生态学报, 2016, 27(3): 681-687.
- [3] Lungmuana, Singh S B, Vanthawmliana, Saha S, Dutta S K, Rambuatsaiha, Singh A R, Boopathi T. Impact of secondary forest fallow period on soil microbial biomass carbon and enzyme activity dynamics under shifting cultivation in North Eastern Hill region, India. Catena, 2017, 156: 10-17.
- [4] Cao D, Shi F, Ruan W, Lu Z, Chai M. Seasonal changes in and relationship between soil microbial and microfaunal communities in a *Tamarix chinensis* community in the Yellow River Delta. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(80): 18425-18432.
- [5] Rutigliano F A, D'Ascoli R, De Santo A V. Soil microbial metabolism and nutrient status in a Mediterranean area as affected by plant cover. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(11): 1719-1729.
- [6] 罗达, 史作民, 唐敬超, 刘世荣, 卢立华. 亚热带乡土树种人工纯林及混交林土壤微生物群落结构. 应用生态学报, 2014, 25(9): 2543-2550.
- [7] 肖好燕, 刘宝, 余再鹏, 万晓华, 桑昌鹏, 周富伟, 黄志群. 亚热带不同林分土壤矿质氮库及氮矿化速率的季节动态. 应用生态学报, 2017, 28(3): 730-738.
- [8] 许景伟, 王卫东, 李成. 不同类型黑松混交林土壤微生物、酶及其与土壤养分关系的研究. 北京林业大学学报, 2000, 22(1): 51-55.
- [9] 于洋, 王海燕, 丁国栋, 任丽娜, 孙嘉, 范敏锐. 华北落叶松人工林土壤微生物数量特征及其与土壤性质的关系. 东北林业大学学报, 2011, 39(3): 76-80.
- [10] Fang X M, Yu D P, Zhou W M, Zhou L, Dai L M. The effects of forest type on soil microbial activity in Changbai Mountain, Northeast China. Annals of Forest Science, 2016, 73(2): 473-482.
- [11] 王薪琪, 韩轶, 王传宽. 帽儿山不同林龄落叶阔叶林土壤微生物生物量及其季节动态. 植物生态学报, 2017, 41(6): 597-609.
- [12] 杨凯, 朱教君, 张金鑫, 闫巧玲. 不同林龄落叶松人工林土壤微生物生物量碳氮的季节变化. 生态学报, 2009, 29(10): 5500-5507.
- [13] Kaiser C, Fuchslueger L, Koranda M, Gorfer M, Stange C F, Kitzler B, Rasche F, Strauss J, Sessitsch A, Zechmeister-Boltenstern S, Richter A. Plants control the seasonal dynamics of microbial N cycling in a beech forest soil by belowground C allocation. Ecology, 2011, 92(5): 1036-1051.
- [14] 梁珍海, 刘德辉, 卢义山, 仇才楼, 徐春, 杨国富, 康立新. 泥质海岸防护林对滩涂土壤盐分的影响及机制. 南京大学学报: 自然科学版, 1998, 34(2): 139-143.
- [15] Hu Y, Wang L, Fu X H, Yan J F, Wu J H, Tsang Y F, Le Y Q, Sun Y. Salinity and nutrient contents of tidal water affects soil respiration and carbon sequestration of high and low tidal flats of Jiuduansha wetlands in different ways. Science of the Total Environment, 2016, 565: 637-648.
- [16] 魏忠平, 范俊岗, 潘文利, 陈罡, 刘红民. 泥质海岸盐碱地刺槐-杨树混交林改土效果研究. 水土保持通报, 2012, 32(1): 106-110, 170-170.
- [17] 王洪, 许跃华, 张金池, 张瑜, 杨兴春. 苏北泥质海岸盐碱地杨树纯林土壤的改良效应. 中国水土保持科学, 2013, 11(1): 65-68.
- [18] 邱月, 刘平, 魏忠平, 范俊岗, 邢献予, 李仁平, 宋岩, 马成才. 渤海泥质海岸四种典型防护林对土壤微生物生物量、酶活性及土壤养分的影响. 土壤通报, 2017, 48(5): 1119-1125.
- [19] 李春艳, 李传荣, 许景伟, 宋海燕, 郑莉, 王月海. 泥质海岸防护林土壤微生物、酶与土壤养分的研究. 水土保持学报, 2007, 21(1): 156-159, 200-200.
- [20] Wen L, Lei P F, Xiang W H, Yan W D, Liu S G. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in pure and mixed stands of *Pinus massoniana* and *Cinnamomum camphora* differing in stand age. Forest Ecology and Management, 2014, 328: 150-158.
- [21] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [23] Devi N B, Yadava P S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India. Applied Soil Ecology, 2006, 31(3): 220-227.
- [24] 金发会, 李世清, 卢红玲, 李生秀. 石灰性土壤微生物量碳、氮与土壤颗粒组成和氮矿化势的关系. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2739-2746.
- [25] 谭波, 吴庆贵, 吴福忠, 杨万勤. 川西亚高山-高山森林土壤养分动态及其对季节性冻融的响应. 生态学报, 2015, 35(15): 5175-5182.
- [26] Habekost M, Eisenhauer N, Scheu S, Steinbeiss S, Weigelt A, Gleixner. Seasonal changes in the soil microbial community in a grassland plant diversity gradient four years after establishment. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(10): 2588-2595.
- [27] 王国兵, 阮宏华, 唐燕飞, 何蓉. 森林土壤微生物生物量动态变化研究进展. 安徽农业大学学报, 2009, 36(1): 100-104.
- [28] Mubyana-John T, Masamba W R L. Soil microbial biomass carbon, nitrogen and sulphur as affected by different land uses in Seronga, Okavango Delta, Botswana. British Journal of Environment and Climate Change, 2013, 3(4): 628-639.
- [29] 王风芹, 田丽青, 宋安东, 桑玉强, 张劲松, 高峻. 华北刺槐林与自然恢复植被土壤微生物量碳、氮含量四季动态. 林业科学, 2015, 51

(3): 16-24.

- [30] 苗娟, 周传艳, 李世杰, 闫俊华. 不同林龄云南松林土壤有机碳和全氮积累特征. 应用生态学报, 2014, 25(3): 625-631.
- [31] 李玥, 张金池, 王丽, 李奕建. 上海市沿海防护林土壤微生物三大类群变化特征. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(1): 43-47.
- [32] 王宁, 王美菊, 李世兰, 王楠楠, 冯富娟, 韩士杰. 降水变化对红松阔叶林土壤微生物生物量生长季动态的影响. 应用生态学报, 2015, 26(5): 1297-1305.
- [33] 郭婧, 喻林华, 方晰, 项文化, 邓湘雯, 路翔. 中亚热带 4 种森林凋落物量、组成、动态及其周转期. 生态学报, 2015, 35(14): 4668-4677.
- [34] 刘聪, 项文化, 田大伦, 方晰, 彭长辉. 中亚热带森林植物多样性增加导致细根生物量"超产". 植物生态学报, 2011, 35(5): 539-550.
- [35] 胡亚林, 汪思龙, 颜绍馥, 高洪. 杉木人工林取代天然次生阔叶林对土壤生物活性的影响. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1411-1416.
- [36] 毛璐, 崔强, 赵琼, 艾桂艳, 李禄军, 曾德慧. 不同林龄杨树农田防护林土壤微生物生物量碳、氮和微生物活性. 应用生态学报, 2007, 20(9): 2079-2084.
- [37] 高晶, 韩海荣, 康峰峰, 立天宇, 宋小帅, 赵伟红, 于晓文, 赵金龙. 冀北辽河源不同林龄油松天然次生林土壤微生物生物量及酶活性. 东北林业大学学报, 2015, 43(9): 78-83.
- [38] 张秀玲, 李君剑, 石福臣. 速生杨人工林对土壤碳氮含量及微生物生物量的影响. 生态与农村环境学报, 2008, 24(2): 32-35.