

网络出版时间:2015-09-09 15:41

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.10.008

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150909.1541.016.html>

辽河源自然保护区不同林龄山杨天然次生林的 土壤有机碳特征

赵伟红¹, 康峰峰¹, 韩海荣¹, 程小琴¹, 胡景东², 韩树文², 池桂杰²

(1 北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2 河北省平泉县林业局, 河北 平泉 067500)

[摘要] 【目的】明确辽河源自然保护区不同林龄山杨天然次生林(*Populus davidiana*) 0~100 cm 土层的土壤有机碳密度及其垂直分配特征, 为评价其碳汇功能提供依据。【方法】以河北辽河源自然保护区山杨中龄林、近熟林、成熟林为研究对象, 采集了 27 个土壤剖面(0~100 cm 土层)的土壤样品, 对土壤体积质量、土壤有机碳含量进行测定, 计算土壤有机碳密度, 并对土壤有机碳含量与其他土壤理化指标的关系进行分析。【结果】辽河源自然保护区不同林龄山杨天然次生林土壤的体积质量为 1.07~1.69 g/cm³, 且随着土层深度的增加呈逐渐增加趋势。不同林龄山杨天然次生林的土壤有机碳含量均随着土层深度的增加而降低, 中龄林、近熟林和成熟林 3 种林龄山杨林土壤有机碳含量为 1.53~17.59 g/kg。0~100 cm 土层土壤有机碳密度平均值为 15.31 t/hm², 相同林龄不同土层土壤有机碳密度平均值随着土层深度的增加呈先降低后增加再降低的变化趋势。相关性分析表明, 3 种林龄整个土壤剖面土壤有机碳含量与土壤全 N、全 P 含量均呈极显著正相关, 与土壤 pH 呈正相关; 中龄林、近熟林土壤有机碳含量与土壤体积质量、土壤全 K 含量均呈极显著负相关, 与土壤含水量呈极显著正相关; 成熟林土壤有机碳含量与土壤体积质量、土壤全 K 含量存在负相关关系, 而与土壤含水量存在一定的正相关关系。【结论】辽河源自然保护区不同林龄山杨天然次生林 0~10 cm 土层土壤有机碳密度从大到小依次为近熟林>中龄林>成熟林, 10~20 cm 土层为近熟林>成熟林>中龄林, 20~100 cm 土层则表现为成熟林>中龄林>近熟林。

[关键词] 辽河源自然保护区; 山杨天然次生林; 林龄; 土壤体积质量; 土壤有机碳含量; 土壤有机碳密度

[中图分类号] S718.51+6

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2015)10-0057-07

Characteristics of soil organic carbon in *Populus davidiana* natural secondary forest stands at different ages in Liaoheyuan Nature Reserve

ZHAO Wei-hong¹, KANG Feng-feng¹, HAN Hai-rong¹, CHENG Xiao-qin¹,
HU Jing-dong², HAN Shu-wen², CHI Gui-jie²

(1 College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2 Forestry Bureau of Pingquan County, Pingquan, Hebei 067500, China)

Abstract: 【Objective】This study researched the soil organic carbon density and vertical distribution at depth of 0—100 cm in *Populus davidiana* natural secondary forests at 3 different ages in Liaoheyuan Nature Reserve to provide reference for evaluating forest carbon sequestration. 【Method】Soil samples were collected from 27 profiles (at depth of 0—100 cm) of *P. davidiana* natural secondary forest plantations at different ages in Liaoheyuan Nature Reserve and the soil bulk density, soil organic, and carbon soil carbon density were measured. Correlation analysis were also conducted between soil organic carbon and other soil

[收稿日期] 2014-03-19

[基金项目] 林业公益行业科研专项“森林生态服务功能分布式定位观测与模型模拟”(201204101)

[作者简介] 赵伟红(1987—), 女, 山东青岛人, 在读硕士, 主要从事土壤理化特征研究。

[通信作者] 韩海荣(1963—), 男, 青海西宁人, 教授, 主要从事生态管理与规划研究。E-mail: hanhr@bjfu.edu.cn

physical and chemical indexes. 【Result】 The soil bulk density in layer of 0—100 cm were 1.07—1.69 g/cm³ and gradually increased with the increase of soil depth. The soil organic carbon contents in *P. davidiana* natural secondary forests at different ages were 1.53—17.59 g/kg and decreased with the increase of soil depth. The average soil organic carbon density in layer of 0—100 cm was 15.31 t/hm², soil organic carbon densities in different soil types at same tree age increased first and then decreased gradually along with depth. Correlation analysis showed that the soil organic carbon in forests at 3 different ages in the profiles had extremely positive correlation with soil total N and soil total P and positive correlation with soil pH. The soil organic carbon of middle-aged forest and nearly mature forest had extremely negative correlation with soil bulk density and soil total K but extremely positive correlation with soil moisture. The soil organic carbon of mature forest had negative correlation with soil bulk density and total K but positive correlation with soil moisture. 【Conclusion】 The soil organic carbon densities in depth of 0—10 cm in *P. davidiana* natural secondary forests at different ages were in the decreasing order of mature forest>middle-aged forest>mature forest, in the depth of 10—20 cm the order was mature forest>mature forest>middle-aged forest, and in depth of 20—100 cm the order was mature forest>middle-aged forest>nearly mature forest.

Key words: Liaoheyuan Natural Reserve; *Populus davidiana* natural secondary forest; forest age; soil bulk density; soil organic carbon content; soil organic carbon density

受人类活动的影响,大气 CO₂ 浓度逐渐增加,导致全球气候发生变化,进而引起了气候学、地学、生态学界许多科学家对陆地生态系统中碳平衡以及碳储量和分布的关注^[1-2]。土壤有机碳库是陆地生态系统中最大的碳库,在 0~100 cm 土层内,全球约有 1 500 Pg (1 Pg=1 015 g) 碳以有机质形式存在于土壤中,其碳储量大约是陆地植被碳储量(500~600 Pg) 的 3 倍、大气碳储量(750 Pg) 的 2 倍^[3-6],因此土壤有机碳库的微小变化,都会对全球碳循环和碳平衡产生重要影响^[7-9]。国外关于土壤有机碳的研究最早开始于 20 世纪 50—60 年代,20 世纪 80—90 年代后,其相关理论不断完善与深化^[10-13]。许多国外学者研究指出,森林土壤在全球碳循环中起着非常重要的作用^[14-16]。

中国学者在 20 世纪 90 年代初才开始进行大规模的碳储量研究,而关于杨树碳储量的研究主要集中在近 10 年^[17-22],但研究范围较小,研究对象均为人工林,且涉及的杨树品种和年龄也较为单一。唐罗忠等^[23]对江苏省里下河地区杨树人工林的碳储量及其动态进行研究后指出,杨树对大气碳循环有积极作用。杨晓菲等^[24]对河南省西平县杨树人工林碳储量及其分配特征进行了研究,发现植被层中以乔木层的碳密度最大。目前对于山杨天然次生林土壤碳储量的研究极少,张兴锐等^[25]对燕山北部山地典型植物群落土壤有机碳储量及其分布特征的研究表明,天然次生杨桦林 0~80 cm 土壤有机碳含量随着土层深度的增加呈逐渐递减趋势。李小平^[26]

对川南 3 种林地 0~90 cm 土层土壤有机碳及其组分进行了研究,揭示了有机碳在土壤中的分布规律,并指出对不同区域森林土壤有机碳库的研究是预测和控制全球变暖的一项基础性工作。因此,开展山杨天然次生林尤其是不同林龄林分土壤有机碳的研究,对于探讨土壤有机碳特征及全球碳平衡与气候变化的相互作用具有十分重要的意义。

山杨是河北辽河源地区林分主要的建群树种,本研究以辽河源自然保护区 3 种林龄山杨天然次生林土壤为研究对象,分析了各林龄山杨林地土壤有机碳储量及其垂直分配特征、土壤有机碳含量与土壤理化指标的相关性,以期探明不同林龄山杨林土壤有机碳储量的变化规律,为我国北方森林生态系统碳的研究积累基础数据,为山杨天然次生林碳汇功能评价提供数据支撑。

1 研究区概况

研究区位于河北省平泉县辽河源自然保护区大窝铺林场,该地区是河北、辽宁、内蒙三省交界地,地理坐标为东经 118° 22′ 39″ ~ 118° 37′ 21″,北纬 41° 01′ 30″ ~ 41° 21′ 15″。研究区地处暖温带向寒温带过渡地带,属于半湿润半干旱大陆性季风型山地气候,年均气温 7.3℃,昼夜温差大。年平均降雨量 540 mm,年平均蒸发量 1 800 mm,湿润度为 0.4。土壤主要是棕壤土和褐土,土层深厚。

辽河源自然保护区总面积 33 554.3 hm²,保存有大面积的天然次生林和完好的天然植被,物种丰

富,植被类型多样,优势树种为山杨(*Populus davidiana*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、白桦(*Betula platyphylla*)、辽东栎(*Quercus mongolica*)。本研究以山杨中龄林、近熟林、成熟林为研究对象,林下灌木多为土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、榛(*Corylus heterophylla*)、毛榛(*Corylus mandshurica*)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)、小叶鼠李(*Rhamnus parvifolia*)、照山白(*Rhododendron micranthum*)等,草本多为细叶薹草(*Carex rigescens*)、大油芒(*Spodiopogon sibiricus*)、玉竹(*Polygonatum odoratum*)、银背风毛菊(*Saussurea nivea*)、歪头菜(*Vicia unijuga*)等。

表 1 辽河源自然保护区山杨试验样地基本情况

龄组 Age group	样地号 Plot	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	坡位 Slope position	海拔/m Elevation	密度/ (株·hm ⁻²) Density	郁闭度 Canopy density	平均胸径/cm Average DBH
中龄林 Middle-aged forest	24	18	西 West	中 Middle	989	3 767	0.72	7.28
	25	20	西 West	中 Middle	986	3 330	0.68	6.67
	32	22	西 West	中 Middle	994	2 917	0.40	7.15
近熟林 Nearly mature forest	17	18	北 North	中 Middle	1 042	1 334	0.40	11.76
	18	19.5	西 West	中 Middle	1 026	1 317	0.32	14.59
	36	19	西 West	中 Middle	1 033	1 322	0.36	12.50
成熟林 Mature forest	12	18	西 West	中 Middle	1 052	1 317	0.78	13.81
	13	19.5	西 West	中 Middle	1 067	917	0.65	16.22
	20	19	北 North	中 Middle	1 070	1 117	0.74	17.10

在样地内,采用常规的典型抽样法,每样地挖取 3 个土壤剖面。首先观察土壤剖面的层次、厚度、颜色、湿度、结构、紧实度、质地、植物根系分布等,然后从下到上按照 0~10,10~20,20~40,40~60,60~80 和 80~100 cm 分 6 层采集各土层的土壤样品,从所采集土壤样品中取 500 g 装入土壤密封袋,在自然条件下阴干,用于土壤有机碳测定。将土样带回实验室后,用镊子除去石块、根系、昆虫等杂物后磨碎,依次过孔径 1 和 0.25 mm 筛保存,用于土壤各指标的测定。同时,用环刀(100 cm³)在每一层取土样,于 105 ℃ 烘干 12 h 后,称量并计算土壤体积质量,重复 3 次,结果取平均值。

根据中华人民共和国林业行业标准(LY/T—1999)测定土壤各性质指标,其中土壤含水量采用烘干法测定;土壤 pH 值采用电位法($m(\text{土}):m(\text{水})=1:2.5$)测定;土壤全 N 含量采用浓硫酸-高氯酸消煮,凯氏定氮法测定;全 P 含量采用浓硫-高氯酸消煮,钼锑抗比色法测定;全 K 含量采用氢氧化钠熔融-火焰光度计法测定。

2.2 土壤碳密度的计算

土壤有机碳含量采用重铬酸钾氧化-外加热法

2 材料与方法

2.1 研究方法

通过全面实地踏查,于 2012 年植物生长季(7—9 月),在研究区选择 3 组林相整齐、具有代表性的不同林龄山杨天然次生林地土壤作为研究对象,山杨的树龄分别为 15 年(中龄林)、20 年(近熟林)和 25 年(成熟林)。每个山杨林中设置 3 块 20 m×30 m 的标准地进行群落调查,各林龄共 9 块样地的概况如表 1 所示。山杨林样地选择时,尽可能选取土壤母质一致,坡度、坡向大体相似的样地,尽量排除环境因素的影响。

Table 1 Basic situation of Populus davidiana plantation plots in Liaoheyan Nature Reserve

测定。土壤有机碳密度的计算公式为:

$$C_d=C_i\times R_i\times D_i/10。$$

式中: C_d 为土壤有机碳密度(t/hm²), C_i 为第 i 层土壤有机碳含量(g/kg), R_i 为第 i 层土壤体积质量(g/cm³), D_i 为第 i 层土层厚度(cm)。

2.3 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2007 进行整理与分析,运用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析、LSD 法多重比较和相关性分析。

3 结果与分析

3.1 不同林龄山杨林土壤的体积质量

由图 1 可以看出,除 40~60 cm 土层土壤体积质量的变化规律表现为成熟林>中龄林>近熟林外,0~40 cm 和 60~100 cm 各土层土壤体积质量与林龄变化规律基本一致,即随着林龄的增加,土壤体积质量也逐渐增加,但各林龄间差异不显著($P>0.05$)。这主要与植物根系在土壤中的分布状况有关,中龄林的根系在 0~40、60~100 cm 土层分布较为集中,根系量较近熟林大,从而致使土壤体积质量降低。在垂直方向上,随着土层深度的增加,各林龄

土壤体积质量逐渐增加。方差分析结果表明,近熟林 0~10 cm 土层土壤体积质量与其他各土层差异显著($P<0.05$),10~20 cm 土层土壤体积质量与 40~60,60~80,80~100 cm 土层差异显著($P<0.05$),20~40 cm 土层土壤体积质量与 60~80,

80~100 cm 差异显著($P<0.05$),60~80 cm 与 80~100 cm 土层间土壤体积质量差异不显著。中龄林与成熟林土壤体积质量在各土层间差异均不显著($P>0.05$)。

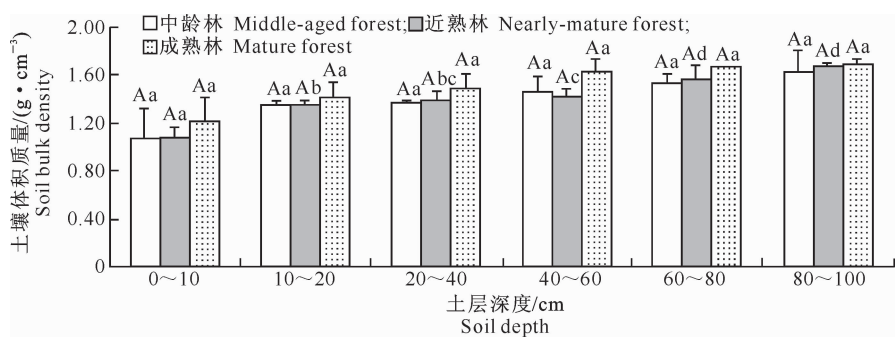


图 1 辽河源自然保护区 3 种林龄山杨天然次生林各土层土壤体积质量的变化

不同大写字母表示同一土层不同林龄间差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示同一林龄不同土层间差异显著($P<0.05$)。下图同
Fig. 1 Change of soil bulk densities in *Populus davidiana* natural secondary forests at 3 different ages in Liaoheyuan Nature Reserve

Different capital letters indicate significant differences between different ages at the same soil layer($P<0.05$) and lowercase letters indicate significant differences between different soil depths at the same age ($P<0.05$). The same below

3.2 不同林龄山杨林土壤的有机碳含量

由图 2 可知,不同林龄和不同土层土壤的有机碳含量存在较大差异。3 种林龄山杨林土壤有机碳含量为 1.53~17.59 g/kg,在 0~20 cm 土层表现为近熟林>中龄林>成熟林,且各林龄间差异不显著($P>0.05$);在 20~100 cm 土层土壤有机碳含量均表现为成熟林>中龄林>近熟林,且在 3 种林龄间表现出一定的差异,其中在 40~60 cm 土层,3 种林龄间均有显著差异($P<0.05$),而在 20~40 cm 土

层则以近熟林土壤的有机碳含量显著低于中龄林和成熟林($P<0.05$)。从垂直方向上看,各林龄土壤有机碳含量均随着土层深度的增加而逐渐降低,表层有机碳含量较高且平均含量占 0~100 cm 土层的 28%~43%,这是由于土壤有机碳主要来源于枯枝落叶,而土壤表层枯枝落叶较多,土壤有机质较为丰富;随着土壤深度的增加,受地表凋落物的影响减小,有机碳含量相对表层有所降低。

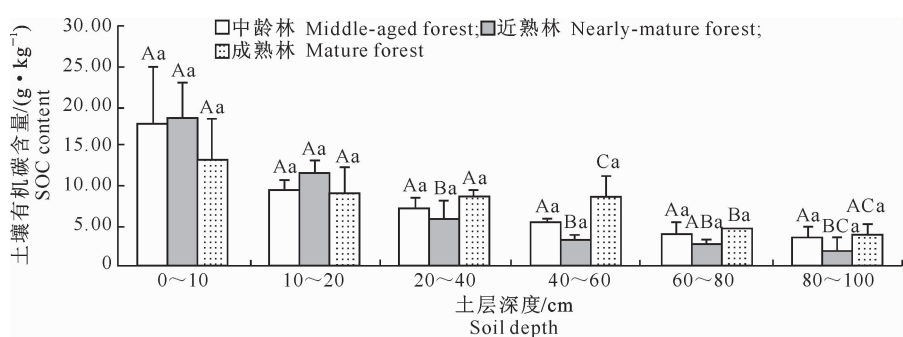


图 2 辽河源自然保护区 3 种林龄山杨天然次生林各土层的有机碳含量

Fig. 2 Soil organic carbon contents in *Populus davidiana* natural secondary forests at 3 different ages in Liaoheyuan Nature Reserve

3.3 不同林龄山杨林土壤的有机碳密度

由表 2 可知,3 种林龄山杨林地 0~10 cm 土层土壤有机碳密度从大到小依次为近熟林>中龄林>成熟林,而在 10~20 cm 土层则表现为近熟林>成

熟林>中龄林,且各林龄间差异不显著($P>0.05$);在 20~100 cm 土层,3 种林龄的土壤有机碳密度均表现为成熟林>中龄林>近熟林,方差分析结果显示,在 40~60 cm 土层,成熟林土壤有机碳密度与中

龄林、近熟林差异显著 ($P<0.05$),在 80~100 cm 土层中,中龄林土壤有机碳密度与近熟林差异显著 ($P<0.05$),成熟林与中龄林、近熟林差异均不显著 ($P>0.05$)。原因是随着林龄的增大,从中林龄到近熟林阶段山杨生长迅速,植物根系会从土壤中吸收较多的有机质用于自身生长,导致近熟林土壤有机碳含量急剧降低,因而土壤有机碳密度最低;而山

杨生长到成熟林阶段,土壤有机碳的积累和消耗处于相对稳定状态,土壤有机碳含量会逐渐积累,因而土壤有机碳密度又恢复到较高水平。3 种林龄山杨林土壤有机碳密度与土壤有机碳含量表现出不同的变化规律,这主要是由于土壤有机碳密度的计算与土壤有机碳含量和土壤体积质量有关。

表 2 辽河源自然保护区不同林龄山杨天然次生林土壤有机碳密度特征

Table 2 Characteristics of soil organic carbon storages in <i>Populus davidiana</i> natural secondary forests at 3 different ages in Liaoheyuan Nature Reserve				t/hm ²
土层/cm Soil depth	中龄林 Middle-aged forest	近熟林 Nearly mature forest	成熟林 Mature forest	
0~10	18.82±9.14 Aa	20.03±3.88 Aa	16.48±3.39 Aabc	
10~20	12.60±1.30 Aa	15.76±1.63 Aa	12.90±3.66 Aabc	
20~40	19.40±2.32 Aa	16.17±3.25 Aa	25.99±1.15 Aabc	
40~60	15.73±2.06 Aa	9.17±2.03 Ab	27.16±2.07 Ba	
60~80	12.41±0.57 Aa	7.55±2.07 Ab	14.70±0.09 Ab	
80~100	12.25±2.65 Aa	5.14±3.12 Bb	13.28±0.42 ABc	
0~100	91.20	73.83	110.50	

注:不同大写字母表示同一土层不同林龄间差异显著 ($P<0.05$);不同小写字母表示同一林龄不同土层间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different capital letters indicate significant differences between different ages at same soil layer ($P<0.05$) and lowercase letters indicate significant differences between different soil depths at same age ($P<0.05$).

相同林龄不同土层土壤有机碳密度平均值随着土层深度的增加均呈先降低后增加再降低的变化趋势。中龄林土壤有机碳密度在 20~40 cm 土层达到最大,按其平均值高低排序为 20~40 cm>0~10 cm>40~60 cm>10~20 cm>60~80 cm>80~100 cm,但各土层差异均不显著 ($P>0.05$)。近熟林土壤有机碳密度平均值则在 0~10 cm 土层出现最大值,各土层表现为 0~10 cm>20~40 cm>10~20 cm>40~60 cm>60~80 cm>80~100 cm,其中 40~100 cm 土层的土壤有机碳密度与 0~40 cm 土层差异显著 ($P<0.05$),而 40~100 cm 各土层之间差异不显著 ($P>0.05$)。成熟林土壤有机碳密度在 40~60 cm 土层出现最大值,各土层之间具体表现为 40~60 cm>20~40 cm>0~10 cm>60~80 cm>80~100 cm>10~20 cm,且 40~60

cm、60~80 cm 和 80~100 cm 土层间土壤有机碳密度存在显著差异 ($P<0.05$)。

3.4 土壤有机碳含量与土壤理化因子的相关性

由土壤有机碳含量与土壤理化因子间的相关性分析结果(表 3)可知,3 种林龄土壤有机碳含量均与土壤全 N、全 P 含量呈极显著正相关 ($P<0.01$);中龄林、近熟林土壤有机碳含量与土壤体积质量、土壤全 K 含量呈极显著负相关 ($P<0.01$),而与土壤含水量存在极显著正相关关系 ($P<0.01$);成熟林土壤有机碳含量与土壤体积质量、土壤全 K 含量呈不显著 ($P>0.05$) 负相关,与土壤含水量、土壤 pH 存在一定的正相关关系 ($P>0.05$);近熟林土壤有机碳含量与土壤 pH 存在极显著正相关关系 ($P<0.01$),中龄林土壤有机碳含量与土壤 pH 存在不显著 ($P>0.05$) 正相关关系。

表 3 辽河源自然保护区不同林龄山杨林土壤有机碳含量与土壤主要生态因子的相关系数

Table 3 Relationship between soil organic carbon contents and main soil ecological factors in <i>Populus davidiana</i> forests at different ages in Liaoheyuan Nature Reserve							
龄组 Age group	有机碳含量 SOC content	土壤体 积质量 Soil bulk	土壤含水量 Soil moisture	全 N Total N	全 P Total P	全 K Total K	pH
中龄林 Middle-aged forest	1	-0.658**	0.627**	0.923**	0.679**	-0.627**	0.135
近熟林 Nearly mature forest	1	-0.884**	0.826**	0.933**	0.547**	-0.831**	0.493**
成熟林 Mature forest	1	-0.172	0.204	0.550**	0.491**	-0.151	0.115

注: ** 表示相关性显著水平为 $P<0.01$, * 表示相关性显著水平为 $P<0.05$ 。
Note: ** and * mean significant correlations at the levels of $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively.

4 结论与讨论

在本研究中,辽河源不同林龄山杨天然次生林土壤体积质量的变化趋势除 40~60 cm 土层外均表现为随着林龄的增加而逐渐增加,在垂直方向上,土壤体积质量随着土层深度的增加而逐渐增加。研究区土壤体积质量的这种变化趋势可能是由于不同林龄山杨根系分布、凋落物数量不同所导致。

本研究结果显示,各林龄山杨林土壤有机碳含量随着土壤深度的增加而减少,这是由于表层森林土壤受地表凋落物、植物根系及微生物影响较大,土壤结构较为合理,土壤体积质量小,透气性好,水分适中,有利于凋落物的分解,土壤有机质丰富,因而表层土壤有机碳含量较高^[27]。各林龄山杨林表层土壤(0~20 cm 土层)有机碳含量差异不显著,而底层(20~100 cm 土层)土壤有机碳含量表现为成熟林最大,中龄林次之,近熟林最小,且各林分之间土壤有机碳含量表现出一定的差异,其原因可能是随着林龄的增大,从中林龄到近熟林阶段林木生长迅速,植物根系从土壤中吸收了较多的有机质用于自身生长,从而导致近熟林土壤有机碳含量急剧降低。目前国内关于森林土壤有机碳含量随林龄变化的相关研究较多,但结果存在一定差异,有研究认为林地土壤有机碳含量随林龄的增大而增加^[28],也有研究认为其随着林龄的增加先减小后增加^[29-30],出现这种差异的主要原因是各研究的林龄、研究方法、研究尺度、区域气候、土壤母质及土壤质地等因素存在较大不同^[31-32]。因此,对不同林龄山杨天然次生林土壤有机碳储量的研究是十分必要的。

在不同生长阶段,森林土壤有机碳密度不同,不同林龄林分其有机碳来源(地上凋落物及地下凋落物,如细根)及其数量与质量差异是影响土壤有机碳在土壤中分布的主要因子之一。本研究结果表明,山杨成熟林土壤有机碳密度最大,中龄林次之,近熟林最小,但不同土层土壤有机碳密度随林龄增加的变化趋势并不相同。本研究中,山杨林土壤有机碳密度低于我国森林土壤的平均有机碳密度(193.55 t/hm²)^[33]。

森林土壤有机碳含量受植被类型、地形因子和土壤理化性质等影响。研究发现,森林土壤有机碳含量与土壤体积质量^[34]、pH 值^[35]、土壤全 N 含量^[36]等之间具有显著或极显著相关性。本研究结果表明,中龄林土壤有机碳含量与土壤体积质量、含水量、全 N、全 P 和全 K 具有极显著相关关系;近熟

林土壤有机碳含量与土壤体积质量、含水量、全 N、全 P、全 K 和 pH 值具有极显著相关关系;成熟林土壤有机碳含量仅与全 N、全 P 具有极显著相关关系。不同林龄山杨林土壤有机碳含量与土壤体积质量、含水量、pH 值、全 N、全 P 和全 K 的相关性大小及显著性均表现不同,可见山杨林土壤有机碳含量及垂直分布特征与山杨树龄的变化及土壤主要生态因子特征关系密切。

[参考文献]

- [1] Solomon S, Quin D, Manning M, et al. Climate Change 2007: The physical science basis contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 996-998.
- [2] Malhi Y, Baldocchi D D, Jarvis P G. The carbon balance of tropical temperate and boreal forests [J]. Plant Cell and Environment, 1999, 22(6): 715-740.
- [3] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. Science, 1994, 263(5144): 185-190.
- [4] Batjes N H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world [J]. European Journal of Soil Science, 1996, 47(2): 151-163.
- [5] Jobbágy E G, Jackson R B. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation [J]. Ecological Applications, 2000, 10(2): 423-436.
- [6] Fantappiè M, L'Abate G, Costantini E A C. The influence of climate change on the soil organic carbon content in Italy from 1961 to 2008 [J]. Geomorphology, 2011, 135(3/4): 343-352.
- [7] Turner J, Lambert M. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia [J]. Forest Ecology and Management, 2000, 133(3): 231-247.
- [8] Guo L B, Gifford R M. Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis [J]. Global Change Biology, 2002, 8(4): 345-360.
- [9] Poeplau C, Don A, Vesterdal L, et al. Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone: carbon response functions as a model approach [J]. Global Change Biology, 2011, 17(7): 2415-2427.
- [10] Smith R M, Samuels G, Cernuda C F. Organic matter and nitrogen buildup in some Puerto Rican soil profile [J]. Soil Sci, 1951, 72: 409-427.
- [11] Bohn H L. Estimate of organic carbon in world soils: II [J]. Sci Soc Am J, 1976, 40: 468-470.
- [12] Saha S K, Nair P K R, Nair V D, et al. Soil carbon stock in relation to plant diversity of homegradens in Kerala, India [J]. Agroforestry Systems, 2009, 76(1): 53-65.
- [13] Schimel D S, House J I, Hibbard K A, et al. Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystem [J]. Nature, 2001, 414: 169-172.

- [14] Lal R. Forest soils and carbon sequestration [J]. Forest Ecology and Management, 2005, 220: 242-258.
- [15] Detwiler R P, Hall C A S. Tropical forests and the global carbon cycle [J]. Science, 1988, 239: 42-47.
- [16] Lal R. Forest soil and carbon sequestration [J]. Forest Ecology and Mangement, 2005, 220: 242-258.
- [17] 刘婷婷, 陈 军, 庄建磊, 等. 杨树人工林生物量及其碳储量的研究 [J]. 生物农业, 2009, 4(8): 192-194.
Liu T T, Chen J, Zhuang J L, et al. The biomass and carbon storage of poplar plantations [J]. Biological Agriculture, 2009, 4(8): 192-194. (in Chinese)
- [18] 李海玲, 陈乐蓓, 方升佐, 等. 不同杨-农间作模式碳储量及分布的比较 [J]. 林业科学, 2009, 45(11): 9-14.
Li H L, Chen L B, Fang S Z, et al. Comparison of carbon storage and distribution in different poplar-crop intercropping patterns [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(11): 9-14. (in Chinese)
- [19] 丁 杨. 苏北杨树人工林生物量及碳贮量的研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
Ding Y. Biomass and carbon storage in poplar plantations in the north of Jiangsu province [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008. (in Chinese)
- [20] 司 婧, 贾黎明, 韦艳葵, 等. 地下滴灌对杨树速生丰产林碳储量的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(1): 14-18.
Si J, Jia L M, Wei Y K, et al. Carbon storage in fast-growing and high-yield poplar plantations under subsurface drip irrigation [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2012, 34(1): 14-18. (in Chinese)
- [21] 谢 涛. 苏北沿海不同林龄杨树人工林土壤有机碳特征 [D]. 南京: 南京林业大学, 2012.
Xie T. Characteristics of soil organic carbon in poplar plantations of different ages in coastal area of north Jiangsu [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2012. (in Chinese)
- [22] 王 超. 黄土高原不同林龄毛白杨人工林碳密度研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
Wang C. Study on carbon density of *Populus tomentosa* plantations at different ages on Loess Plateau [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2011. (in Chinese)
- [23] 唐罗忠, 生原喜久雄, 黄宝龙, 等. 江苏省里下河地区杨树人工林的碳储量及其动态 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, 28(2): 1-6.
Tang L Z, Haibara K, Huang B L, et al. Storage and dynamics of carbon in a poplar plantation in Lixiahe region, Jiangsu province [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Nat Sci Edi, 2004, 28(2): 1-6. (in Chinese)
- [24] 杨晓菲, 鲁绍伟, 饶良懿, 等. 河南省西平县杨树人工林碳贮量及其分配特征研究 [J]. 林业资源管理, 2010, 4(2): 38-42.
Yang X F, Lu S W, Rao L Y, et al. Carbon storage and spatial distribution in poplar plantation in Xiping county of Henan province [J]. Forest Resources Management, 2010, 4(2): 38-42. (in Chinese)
- [25] 张兴锐, 许中旗, 纪晓林, 等. 燕山北部山地典型植物群落土壤有机碳贮量及其分布特征 [J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 186-196.
- [26] 李小平. 川南三种林地土壤有机碳及其组分研究 [D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2012.
Li X P. Study on soil organic carbon and its fractions about three forest land in southern Sichuan Province [D]. Ya'an, Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [27] 李 平, 郑阿宝, 阮宏华, 等. 苏南丘陵不同林龄杉木林土壤活性有机碳变化特征 [J]. 生态学杂志, 2011, 30(4): 778-783.
Li P, Zheng A B, Ruan H H, et al. Variation of soil labile organic carbon in different age Chinese fir plantations in south Jiangsu [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(4): 778-783. (in Chinese)
- [28] 肖春波, 王 海, 范凯峰, 等. 崇明岛不同年龄水杉人工林生态系统碳储量的特点及估测 [J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2010, 28(1): 30-34.
Xiao C B, Wang H, Fan K F, et al. Carbon storage of *Metasequoia glyptostroboides* plantation ecosystems at different age stages in Chongming island, East China [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science Edition, 2010, 28(1): 30-34. (in Chinese)
- [29] 王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等. 不同发育阶段杉木林土壤有机碳变化特征及影响因素 [J]. 林业科学研究, 2009, 22(5): 667-671.
Wang D, Wang B, Dai W, et al. The variation characteristics of soil organic carbon and its influence factor in different developing stages of chinees fir plantations [J]. Forest Research, 2009, 22(5): 667-671. (in Chinese)
- [30] Paul K I, Polglase P J, Richards G P. Sensitivity analysis of predicted change in soil carbon following afforestation [J]. Ecological Modelling, 2003, 164(2/3): 137-152.
- [31] Paul K I, Polglase P J, Nyakuengama J G, et al. Change in soil carbon following afforestation [J]. Forest Ecology and Management, 2002, 168: 241-257.
- [32] 王淑平, 周广胜, 高素华, 等. 中国东北样带土壤活性有机碳的分布及其对气候变化的响应 [J]. 植物生态学报, 2003, 27(6): 780-785.
Wang S P, Zhou G S, Gao S H, et al. Distribution of soil carbon, nitrogen and phosphorus along northeast China transect (NECT) and their relationships with climatic factors [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2003, 27(6): 780-785. (in Chinese)
- [33] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518-522.
Zhou Y R, Yu Z L, Zhao S D. Carbon storage and budget of major Chinese forest types [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(5): 518-522. (in Chinese)

258-264.

Wang J S. Plant bacteriology [M]. Beijing: Agricultrue Publishing House in China,2000:258-264. (in Chinese)

[14] 陈功友,张 兵,武晓敏,等. 大豆斑疹病菌 harpin 编码基因的克隆与特性研究 [J]. 微生物学报,2005,45(4):496-499.

Chen G Y,Zhang B,Wu X M,et al. Cloning and characterization of an harpin_encoding gene from *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines* required for hypersensitive response on non-host plant tobacco [J]. Acta Microbiologica Sinica, 2005, 45 (4):496-499. (in Chinese)

[15] 谭放军,徐泽安,尹文雅,等. Harpin 蛋白研究进展及其应用 [J]. 湖南农业科学,2003(6):38-40.

Tan F J,Xu Z A,Yin W Y,et al. Studies on Harpin protein and its application [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2003 (6):38-40. (in Chinese)

[16] 白庆荣,朱俊华,刘晓玲. 利用 RNA 介导的抗病性获得抗 2 种病毒的转基因烟草 [J]. 植物病理学报,2005,35(2):148-154.

Bai Q R,Zhu J H,Liu X L,et al. Production of transgenic tobacco plants resistant to two viruses via RNA-mediated virus resistance [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2005, 35 (2): 148-154. (in Chinese)

[17] 黄 婷,柯美福,陈 伟,等. 烟草品种对烟草花叶病毒病和黄瓜花叶病毒病的抗性鉴定 [J]. 植物保护,2012,38(5):115-119.

Huang T,Ke M F,Chen W,et al. Identification of tobacco variety resistance to Tobacco mosaic virus and Cucumber mosaic virus [J]. Plant Protection, 2012, 38 (5): 115-119. (in Chinese)

(上接第 63 页)

[34] 方运霆,莫江明,Brown S,等. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳贮量和分配特征 [J]. 生态学报,2004,24(1):135-142.

Fang Y T,Mo J M,Brown S,et al. Storage and distribution of soil organic carbon in Dinghushan Biosphere Reserve [J]. Acta Ecological Sinica,2004,24(1):135-142. (in Chinese)

[35] 李 忠,孙 波,林心雄. 我国东部土壤有机碳密度及转化的控制因素 [J]. 地理科学,2001,21(4):301-307.

Li Z,Sun B,Lin X X. Density of soil organic carbon and the factors controlling its turnover in east China [J]. Scientia Geographica Sinica,2001,21(4):301-307. (in Chinese)

[36] 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.

Xu Q F,Jiang P K,Shen Q. Comparison of organic carbon pool of soil in bush and broad-leaved forests [J]. Journal of Beijing Forestry University,2005,27(2):18-22. (in Chinese)

(上接第 69 页)

[17] Yan T,Guo Z K,Jiang R,et al. New flavonol and diterpenoids from the endophytic fungus *Aspergillus* sp. YXF3 [J]. Planta Medica,2013,79(5):348-352.

[18] Li H Q,Li X J,Wang Y L,et al. Antifungal metabolites from *Chaetomium globosum*, an endophytic fungus in *Ginkgo biloba* [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2011, 39 (4/5/6): 876-879.

[19] Li X,Tian Y,Yang S X,et al. Cytotoxic azaphilone alkaloids from *Chaetomium globosum* TY1 [J]. Bioorganic Medicinal Chemistry Letters,2013,23(10):2945-2947.

[20] Liu X,Dong M,Chen X,et al. Antimicrobial activity of an endophytic *Xylaria* sp. YX-28 and identification of its antimicrobial compound 7-amino-4-methylcoumarin [J]. Applied Microbiology and Biotechnology,2008,78(2):241-247.