

基于不同林分类型下土壤碳氮储量垂直分布

弓文艳, 陈丽华, 郑学良

(北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 以辽东大伙房水库周边防护林典型林分针阔混交林(落叶松—油松—刺槐混交林)、油松林、落叶松林、刺槐林为研究对象,对其土壤养分含量进行测定,研究了不同林分土壤剖面上有机碳、全氮、有机碳储量的分布规律。结果表明:随着土层深度的增大,4种林分的土壤有机碳、全氮含量均逐渐降低;4种林分土壤剖面有机碳含量大小顺序为落叶松林(24.16 g/kg) > 刺槐林(23.07 g/kg) > 针阔混交林(16.06 g/kg) > 油松林(15.76 g/kg);全氮含量大小顺序为刺槐林(5.23 g/kg) > 落叶松林(4.57 g/kg) > 油松林(3.45 g/kg) > 针阔混交林(2.42 g/kg);C/N平均值大小顺序为落叶松林(7.36) > 针阔混交林(6.51) > 油松林(4.67) > 刺槐林(4.57);4个林分0—40 cm土层的有机碳储量大小为落叶松林(112.94 t/hm²) > 刺槐林(107.40 t/hm²) > 针阔混交林(105.42 t/hm²) > 油松林(89.89 t/hm²);4种林分土壤pH无明显差别,各土层土壤pH随土层深度增加而增大;4种林分土壤容重由高到低顺序依次为针阔混交林(1.73 g/cm³) > 油松(1.65 g/cm³) > 落叶松(1.64 g/cm³) > 刺槐(1.56 g/cm³)。4个林分土壤有机碳含量与土壤全氮含量互相关均存在极显著正相关关系,土壤有机碳、全氮含量与C/N之间则没有明显相关关系;在针阔混交林中,土壤容重、土壤全氮含量和土壤pH与土壤有机碳之间存在线性数量关系,而其他纯林则没有这种关系。

关键词: 有机碳; 全氮; C/N; 有机碳储量; 垂直分布

中图分类号: S714.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)01-0152-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2019.01.025

Vertical Distributions of Soil Carbon and Nitrogen Reserves in Different Forests

GONG Wenyan, CHEN Lihua, ZHENG Xueliang

(Soil and Water Conservation College, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: The typical shelter forests around Dahuofang Reservoir in Liaodong were taken as research object in this study, including the coniferous and broad-leave mixed forest (larch-pine-locust mixed forest), larch, pine and locust. Soil nutrients were determined to study the distribution characteristics of organic carbon, total nitrogen and organic carbon in soil profiles under different forest stands. The results showed that with the increase of soil depth, the soil organic carbon and total nitrogen contents decreased gradually in the studied four forests. The order of soil profile organic carbon contents in the four forests was: larch forest (24.16 g/kg) > locust forest (23.07 g/kg) > coniferous and broad-leave mixed forest (16.06 g/kg) > pine forest (15.76 g/kg). The order of total nitrogen contents was: locust forest (5.23 g/kg) > larch forest (4.57 g/kg) > pine forest (3.45 g/kg) > coniferous and broad-leave mixed forest (2.42 g/kg); The order of average C/N was: Larch forest (7.36) > coniferous and broad-leave mixed forest (6.51) > pine forest (4.67) > locust forest (4.57). The organic carbon storages of 0—40 cm soil layer in four forest stands: Larch forest (112.94 t/hm²) > locust forest (107.40 t/hm²) > coniferous and broad-leave mixed forest (105.42 t/hm²) > pine forest (89.89 t/hm²). There was no significant difference in soil pH between different forests. And the soil pH of each soil layer increased with the increasing soil depth. The soil bulk densities of the four forests was in descending order: Coniferous and broad-leave mixed forest (1.73 g/cm³) > pine forest (1.65 g/cm³) > larch forest (1.64 g/cm³) > locust forest (1.56 g/cm³). There was a significant positive correlation between soil organic carbon contents and soil total nitrogen contents in the four forest stands, while no significant correlations occurred between soil organic carbon

收稿日期: 2018-09-14

资助项目: 林业生态科技工程子课题项目“三北地区防护林体系结构定向调控技术研究与示范”(2015BAD07B03)

第一作者: 弓文艳(1993—),女,硕士研究生,主要从事林业生态工程研究。E-mail: 1970504633@qq.com

通信作者: 陈丽华(1957—),女,教授,主要从事林业生态工程研究。E-mail: c_lihua@bjfu.cn

and total nitrogen content and C/N. In the coniferous and broad-leave mixed forest stand, a significant linear relationship occurred between soil bulk density, soil total nitrogen content and soil pH with soil organic carbon, while no significances in other pure forest stands.

Keywords: organic carbon; total nitrogen; C/N; organic carbon in soil profiles; vertical distribution

土壤是森林生态系统生命活动的主要场所,为森林的生长提供养分^[1],森林土壤碳储量占全球土壤碳储量的 73%^[2],作为全球碳循环的重要组成部分,森林土壤碳储量的积累和分解的变化将直接影响全球生态系统的碳平衡^[3]。土壤有机质作为反映土壤健康状况的重要指标,其含量将很大程度上影响土壤肥力及土壤中各种理化活动过程。氮素作为一种大量营养元素,其在森林生态系统物质循环中扮演着非常重要的作用^[4-6]。所以揭示土壤有机质和全氮的空间分布特征对实现森林土壤资源的合理利用有重要意义^[7]。

森林土壤有机碳的研究受地形、植被和人类活动影响比较大,在大尺度上估算森林土壤有机碳储量会存在很大的误差,因此在小尺度上准确估算某个林地或者山区的有机碳储量对于进一步估算大尺度范围内的森林土壤有机碳显得尤为重要^[8],目前已有大量科研人员^[9-12]对西部高寒山地、西南山地、秦岭山地和其他一些典型山地等生态系统的土壤有机碳储量以及碳氮垂直分布作了大量相关研究,但是对辽东大伙房水库库区的研究几乎空白。

本研究选取了辽东大伙房水库周边 4 种不同类型的防护林作为研究对象,比较研究了不同林分土壤剖面上土壤有机碳、全氮和有机碳储量的分布,并分析了不同林分土壤剖面有机碳、全氮和有机碳储量的分布差异以及碳氮比的变化规律,以期为该区生态环境的研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

大伙房水库防护林位于抚顺市东洲区,属于长白

山山脉分支,距离县城 13 km,位于浑河中上游,水库及其上游流域全部在抚顺地区内,包括清原、新宾、抚顺 3 个县。地理位置为 41°56′—41°59′ E,124°34′ N,主要围绕大伙房水库周围。区内土壤以棕壤和暗棕壤为主,土壤湿润,有机质含量高,棕壤为本区的地带性土壤,主要分布在落叶阔叶林中,暗棕壤为本区的垂直地带性土壤,主要分布在中山草甸和暗针叶林中。研究区多受东亚季风影响,属于温带半湿润气候,夏季多雨冬季严寒大陆性气候明显,多年平均气温在 3~7℃,多年平均降水量为 745 mm,年平均积温 3 000℃。无霜期为 150 d 左右,年平均相对湿度 71%,年日照时间 2 228~2 524 h。

研究区内森林以人工林为主,区内树木覆盖率为 83.2%,主要林分为针叶林、阔叶林、针阔混交林。研究区是我国著名的中草药和山野菜基地。主要乔木树种有落叶松(*Larix kaempferi*)、红松(*Pinus koraiensis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 于 2018 年 6—7 月在对研究区域进行实地勘察后,依据研究区内典型林分的分布情况,最终选定针阔混交林(落叶松—油松—刺槐混交林)、油松林、落叶松林、刺槐林 4 种典型林分的土壤作为研究对象,由于该研究区林分主要以人工林为主,所以选取的 4 种林分均为人工林。根据实地情况,在 4 种林分中分别设置 4 个面积为 20 m×20 m 的样方,共 16 个样方,样地基本情况见表 1。

表 1 样地概况

林分类型	起源	林龄/a	海拔/m	地理位置	坡度/(°)	土壤类型
针阔混交林	人工林	40	170	41°46′59″ N,124°08′46″ E	15	棕壤
油松林	人工林	40	190	41°46′55″ N,124°08′50″ E	20	棕壤、暗棕壤
落叶松林	人工林	45	160	41°46′09″ N,124°08′47″ E	23	棕壤、暗棕壤
刺槐林	人工林	40	185	41°46′17″ N,124°09′09″ E	22	棕壤

1.2.2 样品采集 在每个标准样方内按“S”形布点法取 4 个采样点,除去地表凋落物后进行取样,由于该区地理因素限制,只能在石砾层上造林,土层较薄,土层厚度在 40 cm 左右,所以本次研究土壤采样深度取 40 cm,每个采样点按 0—10,10—20,20—40 cm 将土壤剖面分 3 层,每层取环刀测定土壤容重,最后,将各样方内各采样点的土壤按层混合均匀后带回实验室,共计 48 个土样,土样带回实验室后,置于通风、

阴凉、干燥的室内风干,以四分法取样并过筛(孔径:2,1,0.25 mm)备用。

1.2.3 样品理化指标的测定 土壤样品在测定时均重复 3 次。土壤容重采用环刀法测定^[9],pH 采用电极法测定^[9],土壤有机碳采用重铬酸钾氧化—外加热法测定^[9],全氮、全磷采用全自动化学分析仪测定^[13]。土壤剖面有机碳储量的计算公式^[9]为:

$$C_{so} = C \times D \times E \times (1 - G) / 10 \quad (1)$$

式中: C_{∞} 为土壤有机碳储量(t/hm^2); C 为土壤有机碳含量(g/kg); D 为土壤容重(g/cm^3), E 为土层厚度(cm); G 为直径大于 2 mm 的石砾所占的体积比例(%)。

土壤砾石体积含量采用排水法测定^[14-15],即测完土壤容重之后,将环刀内的土壤过 2 mm 筛,用清水将砾石表面的土壤洗净,晾干后用量杯通过排水法测定砾石体积,得出土壤砾石体积含量。

1.2.4 数据处理 采用 Excel 2013 软件进行数据处理和制图,采用 SPSS 20.0 软件进行数据单因素方差分析各指标差异显著性,采用双变量相关分析法分析各理化性质之间的 Pearson 相关系数,用 R 软件对 4 种林分下土壤理化因子进行回归分析。

表 2 不同林分土壤有机碳含量

单位: g/kg

土层深度/ cm	针阔混交林	油松	落叶松	刺槐
0—10	38.27±3.29aA(63.04)	32.39±5.16aA(66.95)	40.58±4.82aA(60.69)	42.77±3.05aA(61.28)
10—20	15.97±2.16bA(26.30)	11.42±1.68bA(21.61)	16.14±3.12bA(22.98)	19.52±6.25bA(28.87)
20—40	6.47±1.32cB(10.66)	6.05±1.55bB(11.44)	11.47±0.83bA(16.33)	6.66±2.14cB(9.85)

注:表中数值为平均值±标准差;括号内数据为相应土层的有机碳含量占整个土壤剖面含量的比例(%);同列不同小写字母表示同一林分不同土层之间差异显著($P<0.05$);同行不同大写字母表示同一土层不同林分之间差异显著($P<0.01$)。下同。

土壤有机碳在土层分布上具有很明显的表层聚集现象。由表 2 可知,刺槐林 0—10 cm 土层的有机碳含量为 42.77 g/kg ,是所有样地土层中的最大值,其他 3 个林分的 0—10 cm 土层的有机碳含量为 32.39~40.58 g/kg ,油松林的 0—10 cm 土层的有机碳含量最低,为 32.39 g/kg 。各个林分的 0—10 cm 土层的有机碳含量占整个土壤剖面含量的 60.69%~66.95%,这充分说明了土壤有机碳在土层分布上具有明显表层聚集现象,该结果与王棣等^[9]、耿增超等^[17]的研究结果一致。

由不同林分间有机碳含量对比发现,刺槐林土壤剖面的有机碳含量变化幅度最大,从 0—10 cm 土层的 42.77 g/kg 到 20—40 cm 土层的 6.66 g/kg 。在 0—10,10—20 cm 土层上,不同林分土壤有机碳含量

2 结果与分析

2.1 不同林分土壤有机碳含量垂直分布特征

土壤有机碳是植物所需养分和土壤微生物生命活动的能量来源,其含量与进入土壤的生物残体等有机物质的输入和以土壤微生物分解作用为主的有机物质的输出密切相关^[16]。由表 2 可知,不同林分类型的不同土层间土壤有机碳含量存在明显差异。就整个土层(0—40 cm)来看,4 种林分的土壤有机碳含量随土层深度的增加不断减小。4 种林分 0—10 cm 土层与 10—20 cm 土层的土壤有机碳含量均表现为差异显著,且针阔混交林与刺槐林 2 个林分土壤有机碳含量在各层间均表现为显著性差异。

的差异不显著。在整个剖面上,不同林分的有机碳含量平均值从大到小为落叶松林(24.16 g/kg)>刺槐林(23.07 g/kg)>针阔混交林(16.06 g/kg)>油松林(15.76 g/kg)。

2.2 不同林分土壤全氮含量垂直分布特征

氮是森林生态系统生产力构成的重要因素,是植物生长发育所必需的元素。由表 3 可知,不同林分类型的不同土层间土壤的全氮含量有明显差异,就整个土层深度(0—40 cm)表现为各林分的土壤全氮含量随土层深度的增加不断减少,且各林分的土壤剖面各个土层的全氮含量均表现为显著性差异,这与土壤有机碳的土壤剖面垂直分布规律相似,可能是因为土壤中氮素大部分以有机态形式存在,所以全氮分布受有机碳的影响较大^[17-18]。

表 3 不同林分土壤全氮含量

单位: g/kg

土层深度/ cm	针阔混交林	油松	落叶松	刺槐
0—10	3.86±0.39aC(56.62)	5.80±0.62aB(55.99)	8.36±0.22aA(63.65)	5.88±0.13aB(45.40)
10—20	2.36±0.22bB(27.69)	3.12±0.78bA(30.10)	3.57±0.56bA(27.21)	3.57±0.46bA(27.58)
20—40	1.34±0.14cC(15.69)	1.44±0.38cC(13.91)	2.00±0.16cB(9.14)	2.63±0.30cA(27.02)

同一土层,不同林分类型间土壤含氮量也存在差异。由表 3 可知,除针阔混交林 20—40 cm 土层与油松林 20—40 cm 土层全氮含量差异不显著,混交林其他土层与其他林分同一层剖面下均表现为差异性显著。各林分 0—10 cm 土层全氮含量为 3.86~8.36 g/kg ,落叶松在 0—10 cm 土层全氮含量为所有样地 0—10 cm 全氮含量的最大值,为 8.36 g/kg ,混交林在 0—10 cm 土层全氮含量为所有样地 0—10 cm 全

氮含量的最小值,为 3.86 g/kg ,各林分 0—10 cm 土层的全氮含量占土壤剖面的 45.40%~63.65%,由此可知土壤全氮含量也有表层聚集现象。

根据对不同林分全氮含量的对比,各个林分土壤剖面全氮含量大小为:刺槐林(5.23 g/kg)>落叶松林(4.57 g/kg)>油松林(3.45 g/kg)>针阔混交林(2.42 g/kg)。

2.3 不同林分土壤有机碳储量剖面分布

根据有机碳储量计算公式(1)计算 4 种林分不同土

壤层次的有机碳储量,并计算出整体剖面的有机碳储量,来反映该林分下土壤的有机碳储量。由表 4 可知,各林分随着土层的加深,有机碳储量明显下降,且除了针阔混交林的 10—20,20—40 cm 土层,其余各林分各土层有机碳储量含量均表现为差异显著。各林分 0—40 cm 土壤剖面有机碳储量大小为:落叶松林(112.94 t/hm²)>刺槐林(107.40 t/hm²)>针阔混交林(105.42

t/hm²)>油松林(89.89 t/hm²),除油松林外,其余各林分土壤有机碳储量均大于全国土壤平均碳储量(96 t/hm²)^[19]。各个林分 0—10 cm 土层有机碳储量占剖面有机碳总储量百分比大小为:油松林>刺槐林>针阔混交林>落叶松林,且随土层加深,各层所占的比重呈下降趋势,这表明土壤有机碳储量同土壤有机碳和全氮一样,具有比较明显的表层聚集现象。

表 4 不同林分土壤有机碳储量

单位:t/hm³

土层深度/cm	针阔混交林	油松	落叶松	刺槐
0—10	54.57±4.55aA(51.76)	52.29±2.48aB(58.17)	60.15±1.15aA(55.68)	60.08±0.94aA(55.94)
10—20	27.67±4.27bA(26.25)	25.10±6.72bA(27.92)	33.10±1.66bA(30.65)	28.40±2.34bA(26.45)
20—40	23.18±2.71bA(21.99)	12.50±3.89cA(13.91)	19.69±2.91cA(13.67)	18.92±3.25cA(17.61)
总和	105.42	89.89	112.94	107.4

2.4 土壤 C/N 变化规律

C/N 可用来反映土壤有机质的分解状况,可看作氮素矿化能力的标志^[20],一般以 C/N 为 25:1 为界限,C/N 小于 25:1,不仅有利于有机质的转化,还可以为土壤提供充足的氮素;而 C/N 大于 25:1 时,有机质难以转化,但有利于土壤有机质的积累^[21]。并且一般 C/N 范围在 2~70,本次调查林分的 C/N 均处于正常合理范围内。

由图 1 可知,调查的 4 种林分中,各个不同林分土壤剖面的 C/N 均在 3.17~8.82,小于 25:1,表明这 4 个林分氮素的矿化能力均较强;混交林剖面的 C/N 在 4.70~8.82,这表明针阔混交林内土壤有机质转化最容易,为土壤提供充足氮素能力最强。

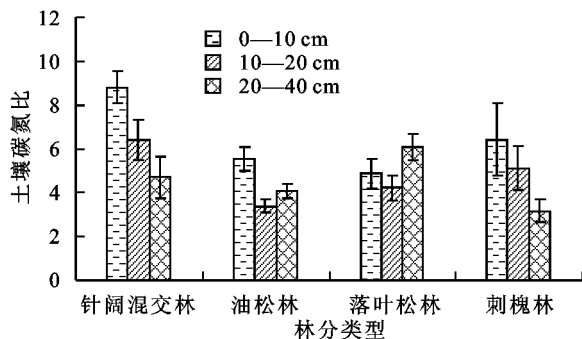


图 1 4 种林分下不同土层土壤 C/N 分布

4 种林分中,针阔混交林和刺槐林的土壤 C/N 随剖面加深不断减小,符合 C/N 在剖面的一般变化现象^[22],除落叶松林外,其余 3 个林分剖面的 C/N 最大值均出现在 0—10 cm 土层,各个林分 C/N 均值从大到小依次为:落叶松林(7.36)>针阔混交林(6.51)>油松林(4.67)>刺槐林(4.57)。所以就能否为土壤提供充足氮素来看,针阔混交林要优于其余 3 种林分,刺槐林能力最弱。

2.5 不同林分土壤 pH、容重分析

土壤 pH 是土壤酸碱度的强度指标,对土壤的基本性质和肥力有重要的影响。其中土壤中氮素的硝

化作用和有机质的矿化都受到土壤 pH 的影响。由图 2 可知,各个林分不同土层间土壤 pH 均呈现随土层深度的增加而增加的趋势,4 种林分间土壤 pH 没有明显差异。

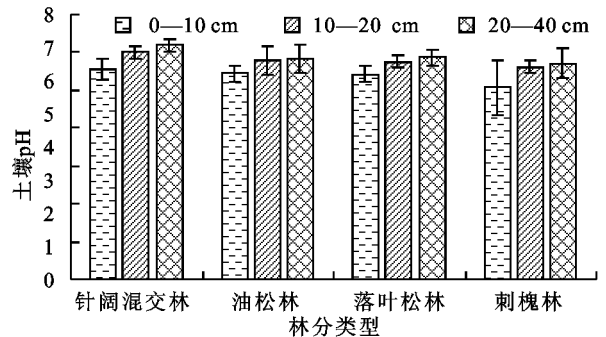


图 2 4 种林分下不同土层土壤 pH 对比

土壤容重是反映土壤物理性质的重要指标,它直接影响着土壤的通透性,在其他条件一致的情况下,一定范围内,土壤容重越小,表明土壤保水透水性能越好。由表 5 可知,土壤容重受林分类型、土壤厚度的影响,4 种林分土壤容重大体表现为 0—10 cm 土层与 10—20 cm 土层差异显著,且随土层深度的增加土壤容重逐渐变大;在 10—20 cm 土层与 20—40 cm 土层中土壤容重差异不显著。4 种林分土壤容重由高到低依次为:针阔混交林(1.73 g/cm³)>油松(1.65 g/cm³)>落叶松(1.64 g/cm³)>刺槐(1.56 g/cm³)。

2.6 土壤有机碳、全氮与其他理化因子之间的相关关系

对土壤有机碳与其余 5 种理化因子进行相关性分析。由表 6 可知,4 种林分土壤有机碳含量与土壤全氮含量存在极显著正相关关系,相关系数在为 0.644~0.852,针阔混交林和油松林的土壤有机碳含量与土壤容重之间存在极显著负相关关系,其余 2 个林分土壤有机碳含量与土壤容重之间存在显著负相关关系。除针阔混交林土壤有机碳含量与 pH 之间为极显著负相关外,其余林分均为显著负相关。此外,除针阔混交林土壤有机碳与 C/N 有显著相关性

外,其余各林分土壤有机碳含量与 C/N 和全磷含量 均无明显相关性。

表 5 不同林分土壤容重比较

土层 深度/cm	土壤容重/(g·cm ⁻³)			
	针阔混交林	油松	落叶松	刺槐
0—10	1.68±0.07bA	1.63±0.13aA	1.59±0.11bA	1.48±0.04bB
10—20	1.75±0.05aA	1.67±0.10aA	1.68±0.07aA	1.56±0.05aB
20—40	1.76±0.05aA	1.644±0.087aAB	1.638±0.047aB	1.639±0.116aB
平均值	1.73	1.65	1.64	1.56

表 6 土壤有机碳与其他理化因子之间的相关关系

林分类型	土壤容重	全氮含量	土壤 pH	土壤 C/N	全磷含量
针阔混交林	-0.643**	0.820**	-0.754**	0.481*	-0.396
油松林	-0.797**	0.852**	-0.636*	0.273	-0.430
落叶松林	-0.433*	0.644**	-0.506*	0.156	0.309
刺槐林	-0.596*	0.782**	-0.642*	0.503	-0.043

注: * 表示 $P < 0.05$; ** 表示 $P < 0.01$; $n = 24$ 。下同。

由表 7 可知,4 种林分土壤全氮含量与土壤有机碳含量之间存在极显著正相关关系,相关系数在 0.644~0.852,除刺槐林外,其余 3 个林分土壤全氮含量与土壤容重有显著负相关关系;除油松林外,其余 3 个林分土壤全氮含量与土壤 pH 存在显著负相关关系;4 个林分土壤全氮含量与 C/N 和土壤全磷含量均无明显相关性。

表 7 土壤全氮与其他理化因子之间的相关关系

林分类型	土壤容重	有机碳含量	土壤 pH	土壤 C/N	全磷含量
针阔混交林	-0.454*	0.820**	-0.623**	0.007	-0.403
油松林	-0.587*	0.852**	-0.503	-0.167	-0.426
落叶松林	-0.489*	0.644**	-0.425*	-0.148	0.130
刺槐林	-0.325	0.782**	-0.864**	-0.101	-0.113

根据 4 种林分土壤有机碳与其他理化因子之间的相关关系,得出 4 种林分下与土壤有机碳关系显著的理化因子为土壤容重、全氮含量和土壤 pH。为了分析土壤有机碳与土壤容重、全氮含量、土壤 pH 的数量关系,应用 R 软件对 4 种林分土壤有机碳(y)与土壤容重(x_1)、土壤 pH(x_2)、全氮含量(x_3)进行回归分析,从而建立土壤有机碳与这 3 个因子的多元线性回归方程($P < 0.01$)。

$$\text{针阔混交林: } y = 153.221 - 48.032x_1 - 11.252x_2 + 4.941x_3$$

$$\text{油松林: } y = 161.773 - 82.323x_1 + 2.932x_3$$

$$\text{落叶松林: } y = 14.0966 + 2.2035x_3$$

$$\text{刺槐林: } y = 6.1352 + 3.2388x_3$$

由 4 种林分下的土壤有机碳与土壤容重、全氮含量、土壤 pH 的多元线性回归方程可以看出,在针阔混交林中,土壤容重、土壤全氮含量和土壤 pH 与土壤有机碳之间存在线性数量关系,表明针阔混交林对土壤容重、土壤全氮含量、土壤 pH 和土壤有机碳含量产生综合性的影响;在油松林中,土壤有机碳与土壤容重和土壤全氮含量之间存在线性关系,说明油松

林对土壤有机碳、土壤容重和土壤全氮含量产生综合性影响;而在落叶松林和刺槐林中,仅表现为土壤有机碳含量与土壤全氮含量存在线性数量关系。

3 讨论

3.1 土壤有机碳和全氮的分布特征

本研究中 4 种林分土壤有机碳和全氮含量变化具有明显的垂直分布特征,均随土层深度的增加而显著减少,这与之前很多研究^[9,22-23]结果一致,同一林分不同土层间有机碳含量存在显著差异,主要原因是不同土层有机质在输入时存在很大的差异^[24]。通常情况下,土壤表层积累的枯枝落叶、地表植物凋落物和植物根系是有机质输入的主要途径,这使土壤表层土壤有机碳含量较深土层高,且土壤表层枯落物的矿化分解、转化积累和土壤呼吸等过程均随有机物表层土壤有机碳和全氮的积累提高。此外,各林分土壤有机碳和全氮含量还受到林分类型、土壤微生物类型和地被物类型等各方面的综合影响。

3.2 土壤有机碳储量的分布特征

不同林分 0—10 cm 土层有机碳储量占整个剖面有机碳储量的 51% 以上,说明多个林分的土壤有机碳储量具有明显的表层聚集现象,这也在一定程度上说明了土壤有机碳储量的稳定性较差,容易受到人为活动、降雨等多种外在因素的影响。且从研究中发现林分的土壤有机碳储量的表层聚集现象与土壤有机碳和全氮的变化规律一致,这与已有研究^[9,22]结果一致。

3.3 土壤 C/N 的分布特征

各个林分 C/N 均值从大到小依次为:落叶松林 > 针阔混交林 > 油松林 > 刺槐林。所以就能否为土壤提供充足氮素来看,针阔混交林要优于其余 3 个林分。

3.4 土壤 pH 及容重分布特征

各林分间土壤 pH 无明显差异,4 种林分不同土层土壤 pH 均随土层深度增加而增大。4 种林分土壤容重由高到低依次是对 4 种林分土壤容重的分析中得出,在 10—20 cm 土层与 20—40 cm 土层中土壤容重差异不显著,且有减小趋势,造成这种情况的原因是当地土层较薄,且 20—40 cm 土层为石砾层,从而使土壤的紧实度下降,土壤容重随之减小。4 种林分土壤容重表现为:针阔混交林(1.73 g/cm³) > 油松(1.65 g/cm³) >

落叶松(1.64 g/cm³)>刺槐(1.56 g/cm³)。可以看出混交林对土壤保水性的改良效果优于各纯林。

3.5 土壤有机碳、全氮与其他理化因子之间的关系

各林分土壤有机碳含量与全氮含量互相存在极显著正相关关系;除针阔混交林土壤有机碳与 pH 存在极显著负相关外,其余 3 个林分均与 pH 存在显著负相关;4 种林分与土壤容重之间的相关性显著;但 4 种林分土壤有机碳、全氮同 C/N、全磷含量之间关系不明显,说明影响土壤有机碳、全氮含量的因素复杂,土壤有机碳和全氮的分布规律受土壤理化性质、林分类型等各种因素的综合影响^[16]。

在本研究中,针阔混交林下的土壤碳氮含量没有落叶松林和刺槐林高,所以本研究应用 R 软件对 4 种典型林分下土壤有机碳与和其有显著相关性的土壤容重、全氮含量、土壤 pH 进行了回归分析,发现在针阔混交林中,土壤容重、土壤全氮含量和土壤 pH 与土壤有机碳之间存在线性数量关系,而其他纯林则没有这种关系;由此可推断混交林对于综合改良土壤理化性质的功能优于纯林。

4 结论

(1)4 种林分土壤剖面有机碳含量大小为落叶松林(24.16g/kg)>刺槐林(23.07 g/kg)>针阔混交林(16.06 g/kg)>油松林(15.76 g/kg);全氮含量大小为:刺槐林(5.23 g/kg)>落叶松林(4.57 g/kg)>油松林(3.45 g/kg)>针阔混交林(2.42 g/kg)。

(2)C/N 平均值大小顺序为落叶松林(7.36)>针阔混交林(6.51)>油松林(4.67)>刺槐林(4.57)。

(3)4 个林分 0—40 cm 土层的有机碳储量大小为落叶松林(7.36)>针阔混交林(6.51)>油松林(4.67)>刺槐林(4.57)。

(4)4 种林分土壤 pH 无明显差别,各土层土壤 pH 随土层深度增加而增大;4 种林分土壤容重由高到低依次为针阔混交林(1.73 g/cm³)>油松(1.65 g/cm³)>落叶松(1.64 g/cm³)>刺槐(1.56 g/cm³)。

(5)4 个林分土壤有机碳含量与土壤全氮含量互相存在极显著正相关关系,土壤有机碳、全氮含量与 C/N 之间则没有明显相关关系;在针阔混交林中,土壤容重、土壤全氮含量和土壤 pH 与土壤有机碳之间存在线性数量关系,而其他纯林则没有这种关系。

参考文献:

[1] 薛立,吴敏,徐燕,等.几个典型华南人工林土壤的养分状况和微生物特性研究[J].土壤学报,2005,42(6):1017-1023.
[2] Sedjo R A. The carbon cycle and global forest ecosys-

tem [J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1993, 70(1/4): 295-307.

- [3] Corre M D, Schnabel R R, Shaffer J A. Evaluation of soil organic carbon under forests, cool-season grasses and warm-season grasses in the northeastern US [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 31(11): 1531-1539.
[4] 黄宇,冯宗伟,汪思龙,等.杉木、火力楠纯林及其混交林生态系统 C、N 储量[J].生态学报,2005,15(12):3146-3154.
[5] 杜红梅,王超,高红真.华北落叶松人工林碳汇功能的研究[J].中国生态农业学报,2009,17(4):756-759.
[6] Vitousek P M, Howarth R W. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? [J]. Biogeochemistry, 1991, 13(2): 87-115.
[7] 胡克林,余艳,张凤荣,等.北京郊区土壤有机碳含量的时空变异及其影响因素[J].中国农业学报,2006,39(4):764-771.
[8] Bucur V. Ultrasonic techniques for nondestructive testing of standing trees [J]. Ultrasonic, 2005, 43(4): 237-239.
[9] 王棣,耿增超,余雕,等.秦岭典型林分土壤有机碳储量及碳氮垂直分布[J].生态学报,2015,35(16):5421-5429.
[10] 马和平,郭其强,刘合满,等.西藏季节拉山东麓垂直带土壤碳氮分布特征及其影响因素[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(1):91-96.
[11] 黄从德,张健,杨万勒,等.四川森林土壤有机碳储量的空间分布特征[J].生态学报,2009,29(3):1217-1225.
[12] 王宁.山西森林生态系统碳密度分配格局及碳储量研究[D].北京:北京林业大学,2014.
[13] 陈建磊,谢文霞,崔高清,等. Smart Chem140 全自动化学分析仪测定土壤全氮全磷的研究[J].分析科学学报,2006,32(1):84-88.
[14] 解迎革,李霞.土壤中砾石含量的测定方法研究进展[J].土壤,2012,44(1):17-22.
[15] 时忠杰,王彦辉,于澎涛,等.六盘山森林土壤中的砾石对渗透和蒸发的影响[J].生态学报,2008,28(12):6090-6098.
[16] 陈翠玲,蒋爱凤,介元芬,等.土壤微团聚体与土壤有机质及有效氮、磷、钾的关系研究[J].河南职业技术学院学报,2003,31(4):7-9.
[17] 耿增超,姜林,李珊珊,等.祁连山中段土壤有机碳和氮素的剖面分布[J].应用生态学报,2011,22(3):665-672.
[18] 党坤良,雷瑞德,耿增超,等.秦岭火地塘林区不同土壤类型化学性质的研究[J].西北林学院学报,1996,11(增刊1):26-30.
[19] 肖伟伟,范晓晖,杨林章,等.长期定位施肥对潮土有机质氮组分和有机碳的影响[J].土壤学报,2009,46(2):274-280.
[20] 李珊珊,耿增超,姜林,等.秦岭火地塘林区土壤剖面碳氮垂直分布规律的研究[J].西北林学院学报,2011,26(4):1-6.

4 结论

相对尿素处理,控释氮肥既可为油菜生育前期提供适量氮素供应,促进氮素吸收,又可在生育中后期生殖发育阶段,保证土壤氮素的供应强度,促进了油菜生长,显著提高油菜产量。CRNF1 增产增效更加显著,较常规尿素处理显著增产 20.1%,氮肥利用率提高了 60.2%,氮肥农学利用率提高了 30.5%。本文中 CRNF1 处理对提升土壤肥力和作物产量的效果更加佳,是较为理想的施肥方式。本研究的结论基于盆栽试验得出,未来有待在大田试验下进一步研究。

CRNF1 处理可提高后期土壤微生物生物量氮含量,为作物生殖发育提供充沛的氮素养分;可刺激油菜后期土壤脲酶与 FDA 水解酶活性,在油菜生长后期有利于促进尿素向无机氮转换,增强土壤供氮能力。控释氮肥对土壤微生物活性的影响本研究有了初步的结论,但其对土壤微生物群落结构多样性仍需要继续开展试验进行系统、深入的研究。

参考文献:

- [1] 王汉中,殷艳. 我国油料产业形势分析与对策建议[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(3): 414-421.
- [2] 任涛,鲁剑巍. 中国冬油菜氮素养分管理策略[J]. 中国农业科学, 2016, 49(18): 3506-3521.
- [3] 鲁剑巍. 中国油菜生产的高产高效氮素管理[J]. 中国农业科学, 2016, 49(18): 3504-3505.
- [4] Trinh T H, Kussaari K, Shuib A S, et al. Modelling the release of nitrogen from controlled release fertiliser: Constant and decay release [J]. Biosystems Engineering, 2015, 130: 34-42.
- [5] Gao X, Li C L, Zhang M, et al. Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil [J]. Field Crops Research, 2015, 181: 60-68.
- [6] 魏建英. 缓控释肥料在油菜上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2014(16): 12, 14.
- [7] 李敏,叶舒娅,刘枫,等. 包膜控释尿素对油菜产量和氮肥利用率的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(35): 20055-20056.

- [8] Lu Y, Sun Y, Liao Y. Effects of the application of controlled release nitrogen fertilizer on rapeseed yield, agronomic characters and soil fertility [J]. Agricultural Science and Technology, 2015, 16(6): 1216-1221.
- [9] Han Y L, Song H X, Liao Q, et al. Nitrogen Use Efficiency is mediated by vacuolar nitrate sequestration capacity in roots of brassica napus [J]. Plant Physiology, 2016, 170(3): 1684.
- [10] 李得孝,郭月霞,员海燕,等. 玉米叶绿素含量测定方法研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(6): 153-155.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 王校常,陆琴,李腊梅,等. 太湖地区典型水稻 FDA 水解酶活性的剖面分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 834-839.
- [13] 吴金水,林启美. 土壤微生物生物量测定方法及其影响 [M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [14] 李银水,鲁剑巍,廖星,等. 氮肥用量对油菜产量及氮素利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(4): 379-383.
- [15] 张敬昇,李冰,王昌全,等. 控释掺混尿素对土壤无机氮和油菜产量及氮素利用率的影响[J]. 土壤, 2017, 49(3): 505-511.
- [16] 王晓巍,蒯佳林,郁继华,等. 不同缓/控释氮肥对基质栽培甜瓜生理特性与品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3): 847-854.
- [17] 刘涛,鲁剑巍,任涛,等. 适宜氮水平下冬油菜苗期不同叶位叶片光合氮分配特征[J]. 中国农业科学, 2016, 49(18): 3532-3541.
- [18] Gombert J, Le D F, Lothier J, et al. Effect of nitrogen fertilization on nitrogen dynamics in oilseed rape using ¹⁵N-labeling field experiment [J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2010, 173: 875-884.
- [19] 张敬昇,王昌全,李冰,等. 控释掺混尿素对稻、麦土壤氮与酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6): 1899-1908.
- [20] 李猛,聂洪光,张淑红,等. 有机肥配施氮肥设施菜田 FDA 水解酶活性与肥力相关性研究[J]. 园艺学报, 2016, 43(5): 907-917.

(上接第 157 页)

- [21] Springob G, Kirchmann H. Bulk soil C to N ratio as a simple measure of net N mineralization from stabilized soil organic matter in sandy arable soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(4): 629-632.
- [22] 赵俊勇,孙向阳,李素艳,等. 辽宁省老秃顶子不同林分类型土壤有机碳储量和碳氮垂直分布特征[J]. 东北林

业大学学报, 2016, 44(10): 65-78.

- [23] 梁启鹏,余新晓,庞卓,等. 不同林分土壤有机碳密度研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 889-893.
- [24] 赵伟红,康峰峰,韩海荣,等. 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[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(10): 57-63, 76.