

樟子松林下土壤有机碳和全氮储量研究

郭 然¹ 王效科¹ 刘 康² 杨 帆²

(1 中国科学院生态环境研究中心 北京 100085; 2 西北大学环境科学系 西安 710069)

摘 要 本文通过调查分析我国最重要樟子松原产地 红花尔基的樟子松林下土壤有机碳(SOC)和全氮(TN)及其机械组成,发现樟子松林下的土壤有机 C 和 N 含量与其机械组成呈显著相关,与粉粒含量相关系数高达 0.7028 和 0.7209,与土壤容重呈现负相关,相关系数达 0.5760 和 0.5937。樟子松林土壤平均 C、N 密度分别为 19.5 kg/m² 和 1.8 kg/m²,比同地区的桦木林和农田土壤低。同时也发现,樟子松林土壤 C、N 含量与地形有关,一般阳坡高于阴坡,下坡高于上坡;天然樟子松林的土壤 C、N 密度随年龄先出现增长,到 25 年时达到最高值,30 年以后有下降趋势,这与土壤质地的变化密切相关。在该地区,不同植物群落类型的土壤 C、N 含量的差异也主要受土壤质地变化的影响。

关键词 樟子松;有机碳;全氮

中图分类号 S154.1

全球 1m 深土层的有机 C 贮量大约是陆地植被 C 贮量的 3 倍、大气 C 贮量的 2 倍^[1],森林土壤 C 贮量为全球土壤 C 贮量的 73 %^[2],这些 C 库的变化被认为是导致大气 C 库和全球气候变化的主要原因^[3~5]。土壤有机 C 库的循环与平衡状况是系统稳定性和持续性的重要标志,与大气 CO₂ 含量变化也有密切关系^[6]。当前土壤 C 循环仍然是陆地 C 循环中最缺乏的部分^[7],研究沙地森林生态系统条件下土壤有机 C 库平衡的状况和条件,对于正确评价沙区土壤的肥力及演变趋势,调控有机物质的分配去向,制订合理可行的保持沙地森林持续经营的管理措施都具有重要的理论与实践意义。

本文所研究的沙地樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 天然林分布于我国湿润、半湿润地区的东北大兴安岭,呼伦贝尔草原红花尔基和海拉尔一带,作为欧洲赤松(*pinus sylvestris* L.) 在远东的一个地理变种,它继承了原欧洲赤松适应多种生态环境的能力,具喜光、耐旱、抗寒、耐土壤瘠薄等特点,如今已成为“三北”防护林工程和治沙工程的主要造林树种。目前对樟子松的研究主要集中在营造技术、地力衰退、病虫害防治、土壤生物等方面,为樟子松的推广提供了科学参考;而在当今全球变化的背景下,对这种推广树种的研究应该考虑它与

全球变化的联系,在这方面国内还鲜有研究。本文在樟子松的原产地红花尔基调查采样的基础上,分析了不同树种组成和环境背景下的樟子松林土壤 C、N 状况。

1 研究区域概况与方法

1.1 研究区域概况

红花尔基沙地樟子松林位于呼伦贝尔沙地南端、大兴安岭西坡中部向内蒙古高平原的过渡带,北纬 47°36' ~ 48°35',东经 118°58' ~ 120°32' 之间。沿伊敏河、辉河两岸生长在新月型或蜂窝状的固定沙丘上,沙丘高 5 ~ 15 m,西南坡为迎风坡,长而缓;东北坡为背风坡,陡而短。沙丘间有广阔的草原,樟子松林和草原交错分布形成森林草原景观。该地区属于中温带大陆性季风气候,地处半湿润、半干旱地区。年平均温度 -1.5℃, 10℃ 的年积温为 2000 h,年降水量 344 mm,降水季节分配不均,主要集中于 7、8 两月,年蒸发量为 1174 mm,干燥度为 1.33。本区风向以南、西南及西风为主,西北风次之,年均风速在 3.8 m/s。一般在 9 月上旬出现霜冻,晚霜止于 6 月上旬,平均无霜期为 90 天左右。

1.2 研究方法

1.2.1 土壤样品采集处理 样点设置采用典型

取样法,在火烧迹地、樟子松母树林、人工林、樟子松混交林等处共设置样地12个,另设10个样地作为比较(包括草甸2个,农田1个,桦木林2个,杨树落叶松林2个,油菜2个,麦地1个);分别用环刀和土样采集器取土,取土深度为0~30cm,30~60cm,60~100cm。所取土样经风干,取少许用于测定机械组成,其余剔除杂质、研磨、过100目筛后,用于SOC、TN的分析;环刀内土样用于测定容重。

1.2.2 土壤样品分析方法 土壤容重用环刀法^[8];土壤有机C(TOC)用重铬酸钾外加热氧化法测定^[9];全N(TN)用凯氏法硝化^[10],然后用自动定氮仪测定;测定结果均以土壤干重计;机械组成送北京林业大学分析,按美国农业部质地制分类。

1.2.3 数据统计分析 有机C(N)密度由土壤容重和有机C含量来计算,计算公式如下:

$$T_0 = \sum_j \frac{(1 - d_j\%) r_j c_j d_j}{100}$$

式中 T_0 为土壤C(N)密度(kg/m^2), $d_j\%$ 为第j层土壤中砾石(粒径 $>2\text{ mm}$)的体积百分数, m 为土壤层数, c_j 为第j层中土壤有机C平均含量(g/kg), d_j 为第j层土壤厚度(cm), \bar{n}_j 为第j层土壤平均容重(g/cm^3)^[11]。土壤C(N)密度与诸环境因子的关系用SPSS软件及Microsoft Excel 2000进行处理。

2 结果分析

2.1 樟子松林下土壤C、N含量特征

2.1.1 表层土壤C、N含量差异 樟子松林下的土壤剖面分层不明显,自上而下都呈棕色,逐渐变淡,表层稍呈浅灰色,质地较为均匀,深层基本全是砂土,土壤松散无结构^[12]。机械组成以砂粒为主,粉粒次之,粘粒再次,部分土样还含有少量石砾。

对10个樟子松林样地的土壤表层C、N含量进行分析(表1),发现不同类型樟子松林的土壤C、N含量存在很大差异,土壤有机C含量平均为25.32 g/kg,标准差为16.22 g/kg;其中樟子松白桦混交林的土壤SOC及TN含量最高,分别为53.46 g/kg和4.88 g/kg;土壤C、N含量最低的一块母树更新樟子松林所着生的土壤几乎没有地被物,砂粒含量达

930 g/kg,该样地土壤SOC及TN含量仅为2.18 g/kg和0.10 g/kg;人工林和火烧迹地樟子松林的土壤C、N含量明显高于天然林;采伐迹地比火烧迹地的含量更高,这可能是因为采伐改善了樟子松的光照条件,促进了樟子松的根系生长进而改善土质的结果;总体来看,樟子松林的土壤C、N含量变化幅度较大,表层SOC相差最大近25倍,TN则相差近50倍。

2.1.2 C、N含量与土壤机械组成及容重 樟子松土壤的机械组成与SOC和TN含量呈现显著的相关关系;SOC与砂粒含量的相关系数(r^2)为0.5134,与粉粒含量相关系数(r^2)达到0.7028;TN与砂粒含量的相关系数(r^2)为0.5301,与粉粒含量相关系数(r^2)则达到0.7209(以上 $n=34$, $p<0.01$)(图1);C、N含量与粘粒含量相关性很小(r^2 为0.0002和0.067),对此已有学者提出,对土壤C库和C周转速率起关键控制作用的是粘土的类型而不是粘粒含量多少^[13],本文的结果表明樟子松林下土壤粘粒含量较低,不成为影响土壤有机C、N含量的关键因素;土壤粉粒含量则是土壤有机C、N含量的一个理想预测因子。

樟子松林下SOC和TN与土壤容重都呈现负相关,相关系数分别为0.576和0.5937($n=30$, $p<0.01$),即有机质含量高的土壤通过改善结构状况降低了容重。

2.2 樟子松林下土壤C、N密度特征

2.2.1 土壤C、N密度差异 我们测算了10个樟子松林下土壤的C、N密度,各类樟子松林的SOC密度平均为19.5 kg/m^2 ,TN密度为1.8 kg/m^2 ,其中樟子松林人工林的C、N密度最高,分别为38.2 kg/m^2 和3.3 kg/m^2 ;樟子松杨树混交林的土壤C、N密度最低,分别为7.2 kg/m^2 和0.7 kg/m^2 ;樟子松桦木混交林的土壤C、N含量高于樟子松天然纯林(表1)。

2.2.2 土壤C、N库垂直分层 从樟子松土壤垂直剖面来看,土壤表层(0~30 cm)SOC密度平均为11.9 kg/m^2 ,占61.0%,TN密度平均为1.1 kg/m^2 ,占61.1%;第2层(30~60 cm)SOC密度平均为5.5 kg/m^2 ,占28.2%,TN密度平均为0.5 kg/m^2 ,占27.8%;第3层(60~100 cm)SOC密度平均为2.1 kg/m^2 ,占10.8%,TN密度平均为0.2 kg/m^2 ,占11.1%。

表 1 各类樟子松林土壤 SOC 及 TN 含量对比

Table 1 Inventory of SOC and TN in soils under different types of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forests

群落类型	土壤分层 (cm)	容重 (g/cm ³)	SOC (g/kg)	TN (g/kg)	C 密度 (kg/m ²)	N 浓度 (kg/m ²)	C/N
火烧迹地	0 ~ 30	1.38	24.85	2.21			
樟子松林	30 ~ 60	1.53	3.33	0.27	13.5	1.2	11.1
	60 ~ 100	1.63	2.54	0.27			
火烧迹地	0 ~ 30	1.49	14.33	1.38			
樟子松林	30 ~ 60	1.55	17.90	1.72	15.7	1.5	10.3
	60 ~ 100	1.57	1.62	0.19			
火烧迹地	0 ~ 30	1.52	26.58	2.69			
樟子松林	30 ~ 60	1.77	4.20	0.31	14.7	1.4	10.5
	60 ~ 100	1.69	0.40	0.00			
采伐迹地	0 ~ 30	1.56	30.56	2.77			
樟子松林	30 ~ 60	1.48	4.44	0.37	19.5	1.9	10.5
	60 ~ 100	1.66	4.88	0.61			
樟子松杨	0 ~ 30	1.41	10.70	0.98			
树混交林	30 ~ 60	1.59	4.25	0.43	7.2	0.7	10.5
	60 ~ 100	1.65	1.01	0.10			
樟子松白	0 ~ 30	1.04	53.46	4.88			
桦混交林	30 ~ 60	1.36	32.46	2.63	36.7	3.2	11.4
	60 ~ 100	1.66	10.22	0.95			
樟子松白桦	0 ~ 30	1.43	12.36	1.30			
杨树混交林	30 ~ 60	1.59	2.78	0.22	7.3	0.7	10.3
	60 ~ 100	1.65	1.00	0.07			
樟子松母树林	0 ~ 30	1.32	29.93	2.84			
	30 ~ 60	1.48	18.19	1.79	20.8	2.0	10.4
	60 ~ 100	1.63	1.29	0.12			
樟子松人工林	0 ~ 30	1.41	36.12	3.14			
	30 ~ 60	1.52	5.47	0.59	21.4	1.9	11.0
	60 ~ 100	1.63	5.54	0.54			
樟子松人工林	0 ~ 30	1.43	51.68	4.40			
	30 ~ 60	1.54	29.98	2.58	38.2	3.3	11.8
	60 ~ 100	1.66	3.24	0.25			

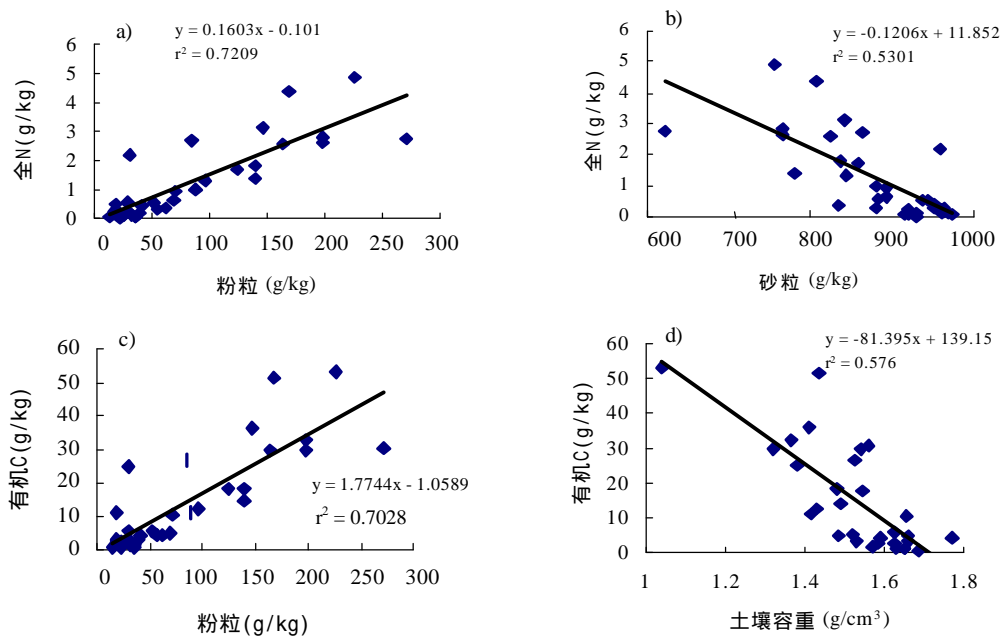


图 1 土壤 SOC 及 TN 含量与机械组成 (a~d) 之间相关关系
Fig.1 Relationships of SOC, TN to soil particle-size distribution (a~d)

3 讨 论

3.1 土壤 C、N 密度与地形的关系

樟子松是阳性树种，非常喜光^[12]，因而坡位和坡向对土壤 C、N 含量的有一定影响。从 3 个火烧迹地来看，处于南坡下坡位的两个样地，坡度为 10° 的样地比坡度仅 0.5° 的样地土壤 SOC 密度高 2.2 kg/m^2 ，TN 密度高 0.3 kg/m^2 ；处于西南坡向坡顶位置的样地因其具备良好的日照条件土壤 C、N 含量也相对较高；坡度同为 10° 的两处樟子松人工林样地，一个处于南坡上坡位，另一个处于西偏北下坡位，后者比前者有机 C 密度高 16.8 kg/m^2 ，N 密度高 1.4 kg/m^2 ；我们观察到，向阳位置的样地一般具有相对较高的密度，其林相也较好；平地的土壤 C、N 密度较低；处于上坡位置的樟子松林林相较好，但土壤有机质含量不高。

3.2 树龄对土壤 C、N 密度的影响

树龄对土壤有机质有一定影响，我们的调查数

据发现樟子松林在 20 年时土壤 C、N 含量还较低，25 年时土壤 C、N 密度最高，30 年以后的樟子松天然林土壤 C、N 含量相对持平，并随年龄略有下降，总体处于较低水平（图 2）。刘国民等通过对章台地区不同林龄樟子松人工林生长状况和土壤肥力状况的调查发现多年生樟子松林土壤养分在 30 龄后会下降^[14]。本研究反映出樟子松天然林也存在这种情况。对土壤质地进行比较，可以发现随着树龄增长，土壤中砂粒含量呈起伏状的增长趋势；粉粒含量则恰恰相反（图 3）。说明随树龄增长，樟子松生长的土壤越来越倾向砂土环境，粉粒含量逐渐减少，并伴随着 SOC 和 TN 的下降。

3.3 与其他群落类型的比较

比较各群落类型土壤的 SOC、TN 含量，可以发现樟子松的含量较低，在各种群落型中仅比油菜地高（表 2）；从各群落类型的机械组成分析，也是油菜地的砂粒含量最高，樟子松次之，粉粒含量则

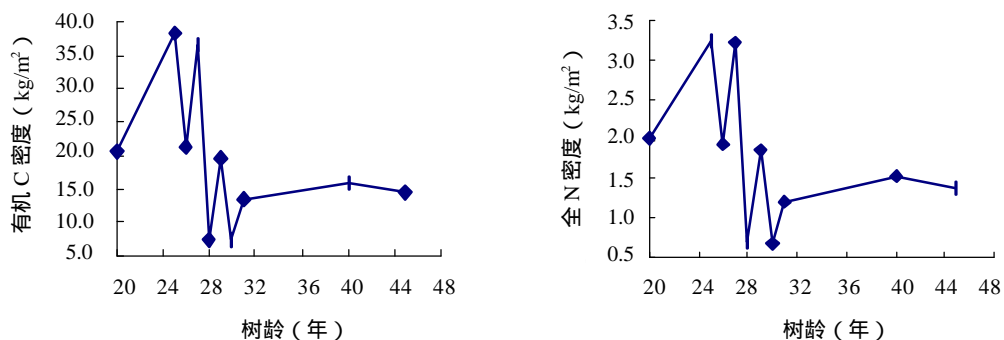


图 2 土壤有机 C 及全 N 密度与树龄示意图

Fig. 2 Density of SOC and TN and ages of trees

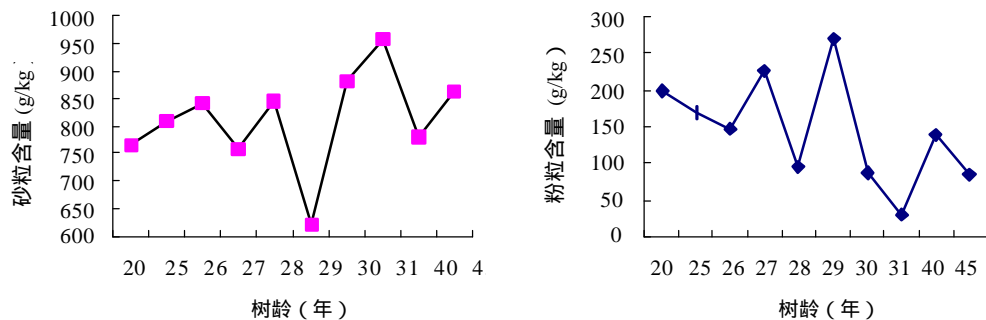


图 3 树龄与土壤砂粒、粉粒含量示意图

Fig. 3 Sand and silt content and ages of trees

有相反的规律；对各群落类型土壤砂粒和粉粒含量与 SOC 含量进行分析，可以发现：除草甸土以外，其他群落的土壤粉粒含量与 SOC 含量的变化方向一致，砂粒含量与 SOC 含量的变化方向则正好相

反，因 CN 比(C/N)较稳定，故 N 的变化与 C 一致。这说明本区土壤质地是群落分布及 SOC、TN 变化的主要原因。

表 2 各群落类型土壤 SOC 及 TN 测定结果
Table 2 Results of SOC and TN under different community types

群落类型	SOC (g/kg)	TN (g/kg)	C/N
樟子松林	25.32 ± 16.22	2.27 ± 1.48	11.2
白桦林	56.28 ± 12.21	5.05 ± 1.49	11.1
柞木林	41.80	3.57	11.7
落叶松柞木混交林	67.45	6.53	10.3
大麦	44.80 ± 15.49	3.63 ± 1.15	12.3
油菜	20.92	2.48	8.5
草甸	90.04 ± 59.71	7.00 ± 4.53	13.9

4 结 论

(1) 樟子松林下土壤的 C、N 含量及密度与机械组成呈现显著相关关系，尤其与粉粒含量相关系数高达 0.7028 和 0.7209，与土壤容重关系呈现显著负相关，相关系数达 0.576 和 0.5937，说明樟子松对土壤物理性状的改良势必引起土壤有机质含量的增加；

(2) 樟子松林下土壤的 C、N 含量与坡度坡向有关，大致可描述为：阳坡高于阴坡，下坡高于上坡；

(3) 天然樟子松林土壤 C、N 含量最高值出现在 25 年，在 30 年后呈下降趋势；

(4) 不同群落类型的 SOC、TN 含量主要受土壤质地的影响。

参考文献

- Lal R. Soil processes and greenhouse effect. In: Lal R, et al. eds. Methods for assessment of soil degradation. CRC press, Boca, RATON, printed in the United States of America, 1998, 119 ~ 212
- Dixon RK. Carbon pools and fluxes of global forest ecosystems. Science, 1994, 263: 185 ~ 190
- Schlesinger WH. Response of the terrestrial biosphere to global climate change and human perturbation. Vegetation, 1993, 104/105:295 ~ 305
- Watson RT, Noble, Bolin B et al. Land ,land use change, and forestry: a special report of the IPCC. Cambridge university press, Cambridge, United Kingdom, 2000, 189 ~ 217
- 徐德应. 人类经营活动对森林土壤碳的影响. 世界林业研究, 1994, (5): 26 ~ 32
- Mosier AR. Soil processes and global change. Biology and fertility, 1998, 27 (3): 221 ~ 229
- 孙维侠, 史学正, 于东升. 土壤有机碳的剖面分布特征及其密度的估算方法研究. 土壤, 2003, 35 (3): 236 ~ 241
- 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 1983, 90 ~ 93
- Nelson DW and Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, AL, Miller RH and Keeney DR. eds. Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1982, 539 ~ 579
- Bremner JM and Mulvaney CS. Nitrogen-total. In: Page, AL, Miller RH and Keeney DR. eds. Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1982, 595 ~ 608
- 金峰, 杨浩, 蔡祖聪, 赵其国. 土壤有机 C 密度及储量的统计研究. 土壤学报, 2001, 38 (4): 522 ~ 528
- 赵兴梁, 李万英. 樟子松. 北京: 农业出版社, 1963, 6
- Powers JS, William H. Schlesinger WH. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rain forests of northeastern Costa Rica, Geoderma, 2002, 109: 165~190
- 刘明国, 苏芳莉, 马殿荣. 多年生樟子松人工纯林生长衰退及地力衰退原因分析. 沈阳农业大学学报, 2002, 33 (4): 274 ~ 277

(下转第 202 页)

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL MICROBIOTIC CRUSTS ON ERDOS PLATEAU

CUI Yan LV Yi-zhong LI Bao-guo

(Resources and Environment College, Soil-Plant LAB, China Agricultural University, Beijing 100094)

Abstract Soil microbiotic crusts play an important role in the tibba ecosystem. By field sampling, some original soil microbiotic crusts were gathered and their physico-chemical properties were analyzed. The results revealed that the longer the sand dunes have been fixed, the thicker and the more biocrusts are formed. The thickness of the crusts under four different types of plant community ranges within 0.3 ~ 1.5cm. The fraction of coarse sands in the crusts (0.25 ~ 0.05mm) decreased by as much as 30%, and the thicker the microbiotic crusts, the less the coarse sands. But the bulk density of the microbiotic crusts increased with the thickness, and so did the capillary moisture capacity. The reason maybe is the high moisture absorption by biomaterial like lichen, algae, etc in the soil microbiotic crust. However thick microbiotic crusts might hinder water movement. Nutrient analysis of the crusts revealed that as the crusts increased in thickness. SOM, total N, available N increased remarkably, total P and available P increased a little and pH decreased slightly, which illuminated the soil microbiotic crusts had a strong function of enriching soil water and soil nutrients in the Erdos Tibba (semi-arid).

Key words Erdos plateau, Microbiotic crust, Soil nutrient, Soil water

(上接第 196 页)

CARBON AND NITROGEN POOL IN FOREST SOIL UNDER *PINUS SYLVESTRIS* VAR. *MONGOLICA*

GUO Ran¹ WANG Xiao-ke¹ LIU Kang² YANG Fan²

(1 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085;

2 Department of Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract Based on field investigations of Honghuaerji, the native habitat of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, it was found that in the forest soil organic Carbon, and total Nitrogen were significantly correlated with soil texture, especially with silt content, showing a correlation coefficient being as high as 0.7028 and 0.7209, respectively, but negatively with bulk density, being 0.5760 and 0.5937, respectively in correlation coefficient. In comparison with the forestland under white birch and farmland, the forestland under *Pinus sylvestris* var. *mongolica* was relatively lower in content of SOC and TN, being 19.5kg/m² and 1.8kg/m² respectively. At the same time, SOC and TN in the forestland under *Pinus sylvestris* var. *mongolica* were also found related to topography. Generally, they were higher in the soil on the sunny slope than in the shady slope and in the down slope than in the upper slope. Besides, they were increasing with age of the forest and rising to the peak when the forest was 25 years old, and then showed a decreasing trend after it was 30 years old, which was closely related to change in soil texture. So was the difference in SOC and TN contents between soils under different plant communities.

Key words *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, Soil organic Carbon, Total Nitrogen