

# 宝天曼自然保护区森林土壤碳氮储量分布格局分析

彭舜磊<sup>1</sup>, 王华太<sup>2</sup>, 陈昌东<sup>1</sup>, 齐光<sup>1</sup>, 赵干卿<sup>1</sup>

(1. 平顶山学院 低山丘陵区生态修复重点实验室, 河南 平顶山 467000;

2. 平顶山学院 资源与环境科学学院, 河南 平顶山 467000)

**摘要:** 森林土壤碳氮储量是森林生态系统物质循环的基础, 关系着全球的气候变化。为了认识宝天曼森林土壤碳氮储量的分布格局, 以内乡宝天曼自然保护区森林土壤为研究对象, 采用土壤剖面调查方法, 分析比较了内乡宝天曼土壤碳氮储量和碳氮比与海拔、林龄和土壤类型的关系。结果表明: 该区域森林土壤碳储量为 14.24~137.97 t/hm<sup>2</sup>, 平均值为 82.05 t/hm<sup>2</sup>, 土壤氮储量在 0.75~6.89 t/hm<sup>2</sup> 范围, 平均值为 3.98 t/hm<sup>2</sup>; 土壤碳氮储量与海拔和林龄符合正相关的线性关系, 随着海拔的升高和林龄的增大而升高, 变化趋势明显, 碳氮比保持在 20 左右; 土壤碳氮储量在不同林型间的差异很大; 不同土壤类型之间, 山地棕壤的碳氮储量极显著高于山地黄棕壤和山地褐土 ( $p < 0.01$ )。该研究揭示了宝天曼自然保护区森林土壤碳氮储量的空间分布规律, 对于宝天曼自然保护区森林应对气候变化、森林植被恢复及森林生态系统的管理和保护具有重要的指导意义。

**关键词:** 宝天曼自然保护区; 土壤类型; 碳氮储量; 碳氮比; 海拔; 林龄

**中图分类号:** S512.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2015)05-0030-05

## Distribution Patterns of Soil Organic Carbon and Nitrogen Storage in Forestland of Baotianman Nature Reserve

PENG Shunlei<sup>1</sup>, WANG Huatai<sup>2</sup>, CHEN Changdong<sup>1</sup>, QI Guang<sup>1</sup>, ZHAO Ganqing<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Ecological Restoration in the Hilly Area, Pingdingshan University, Pingdingshan, He'nan 467000, China; 2. College of Resources and Environmental Science, Pingdingshan University, Pingdingshan, He'nan 467000, China)

**Abstract:** Soil organic carbon (SOC) and nitrogen in forestland are the basis for material recycling in the forest ecosystems, and which are significantly correlated with global climate change. In order to understand the storage distribution patterns of SOC and nitrogen in Baotianman Nature Reserves, we used soil profile survey method to study the relationship between the SOC, nitrogen storage and C : N ratio with altitude, forest age, and soil types in Baotianman Nature Reserve. The results showed that the amount of forest SOC storage ranged from 14.24 t/hm<sup>2</sup> to 137.97 t/hm<sup>2</sup>, with an average of 82.05 t/hm<sup>2</sup> in the 0—30 cm soil layer, the value of soil nitrogen storage ranged from 0.75 t/hm<sup>2</sup> to 6.89 t/hm<sup>2</sup>, with an average of 3.98 t/hm<sup>2</sup>. SOC and nitrogen storage was significantly lineated with the altitude and forest age ( $p < 0.05$ ), and positively increased with altitude and forest age increasing. SOC and nitrogen storage showed the differences among the different forest types. SOC and nitrogen storage of the brown soil was significantly greater than that of the yellow brown soil and cinnamon soil ( $p < 0.01$ ). However, C : N ratio was stable with the value of about 20, and did not significantly change with altitude and soil types ( $p > 0.05$ ). This study revealed the distribution patterns of SOC and nitrogen storage in Baotianman forest region, and was very important for guiding climate change mitigation, forest restoration, and forest ecosystem management and protection in Baotianman Nature Reserve.

**Keywords:** Baotianman Nature Reserve; soil types; soil organic carbon and nitrogen storages; C : N ratio; altitude; forest age

土壤是森林生态系统中物质循环和能量流动的重要组成部分<sup>[1]</sup>,它在很大程度上决定了生态系统的类型。土壤碳氮储量在一定程度上反映了土壤肥力的高低,是衡量森林土壤质量和植被恢复效果的重要指标<sup>[2]</sup>,同时森林土壤碳氮储量在应对全球气候变化中也起着至关重要的作用<sup>[3-4]</sup>。近年来,森林土壤碳氮储量的研究已经成为热点问题。很多研究表明,森林土壤的碳氮储量与林型关系密切,不同林型差异很大<sup>[5-10]</sup>,而且随林龄和恢复年限的增加,碳氮积累越大<sup>[11]</sup>。不同土地利用方式对土壤的碳氮储量产生很大影响,森林转化为农田或天然林转变成人工林后,土壤的碳氮储量会严重丢失<sup>[12-14]</sup>。一些学者研究了土壤碳氮含量随海拔的变化规律,认为土壤碳氮含量随海拔的升高而增加<sup>[15-17]</sup>。宝天曼国家级自然保护区作为我国同纬度地区保存最为完好的暖温带向亚热带过渡的栎类落叶阔叶林区,森林植被和土壤在海拔分布上具有明显的梯度性,然而,在该地区有关土壤碳氮储量及碳氮比在不同海拔、不同林型以及不同林龄间的分布格局研究尚比较缺乏。本文拟以宝天曼自然保护区 200~1 830 m 海拔梯度内主要不同林龄的林型和土壤类型为研究对象,探讨土壤碳氮储量和碳氮比随海拔、林型、林龄和土壤类型的变化规律,旨在为宝天曼自然保护区应对气候变化、森林植被恢复及森林生态系统的管理和保护提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

宝天曼国家级自然保护区为世界生物圈保护区,位于秦岭东段伏牛山南坡的河南省南阳市境内,地理坐标为 33°25′—33°33′N,111°53′—112°17′E,海拔高度 200~1 830 m,位于北亚热带向暖温带过渡地区,属季风型大陆性气候,年平均气温 15.1℃,年降水量 855.6 mm。地貌以切割程度不同的中山为主,低山为辅,主要岩石是花岗岩、石灰岩和砂岩,区内土壤划分 3 个土类:海拔 1 300 m 以上为山地棕壤土类,海拔 800~1 300 m 为山地黄棕壤土类,海拔 800 m 以下为山地褐土。植被属暖温带落叶林向北亚热带常绿阔叶林过渡类型,海拔 1 200 m 以下,以栓皮栎(*Quercus variabilis*)林为主;海拔 1 100~1 300 m 以短柄枹(*Quercus glandulifera* var. *brevipetiolata*)林为主;海拔 1 300~1 600 m 以锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)林为主;海拔 1 600~1 750 m 为由华山松(*Pinus armandii*)、锐齿栎组成的针阔混交林;海拔 1 700 m 以上有锐齿栎、坚桦(*Betula chinensis*)组成的山顶矮曲林。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与样品采集 在野外踏查的基础上,在 200~1 830 m 的海拔梯度上,根据森林类型,林龄和土壤类型,共设置 35 个样地,沿海拔梯度自下而上包括侧柏(*Platycladus orientalis*)人工林、栓皮栎人工林、槲栎(*Quercus aliena*)次生林、栓皮栎次生林、短柄枹次生林,锐齿栎次生林,锐齿栎+华山松次生林等林型,涵盖了宝天曼自然保护区的主要森林类型,同时也包含了三种主要的土壤类型。调查土壤指标前,首先记录每个样地的经纬度、林型、林龄、坡度和坡向等指标,然后每个样地随机挖取 3 个典型土壤剖面,去掉凋落物层,在 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm 分别用环刀进行取样,备测土壤容重;同时在紧邻土壤剖面,用土钻按 0—10 cm,10—20 cm,20—30 cm 分层钻取土样,分别装入自封袋,备测土壤有机碳和全氮含量。

1.2.2 土壤容重和碳氮含量的测定及碳氮储量的计算 土壤容重采用环刀法<sup>[16-17]</sup>:采集回的土壤样品自然风干后,采用 TOC 分析仪测试土壤有机碳含量<sup>[17]</sup>,土样消煮后,用凯氏定氮仪测试土壤全氮含量<sup>[18]</sup>。土壤剖面单位面积土壤碳储量(SOC)和氮储量(TN)的计算公式如下<sup>[1,5]</sup>:

$$SOC = \sum_{i=1}^n 0.1 \rho_i \times SOC_i \times H_i \times (1 - S_i) \quad (1)$$

$$TN = \sum_{i=1}^n 0.1 \rho_i \times TN_i \times (1 - S_i) \quad (2)$$

式中: SOC, TN—— $n$  层土壤单位面积有机碳储量和全氮储量(t/hm<sup>2</sup>);  $\rho_i$ —— $i$  土层的土壤容重(g/cm<sup>3</sup>);  $SOC_i$ ,  $TN_i$ —— $i$  土层的土壤有机碳含量和全氮含量(g/kg);  $H_i$ —— $i$  土层深度(cm);  $S_i$ —— $i$  土层中土壤砾石的含量(%);如果计算单个土层单位面积土壤碳储量与全氮储量,去掉加和符号。

1.2.3 数据统计分析 通过曲线拟合探讨土壤的碳氮储量和碳氮比与海拔、林龄的相关关系,通过单因素方差分析比较不同土壤类型碳氮储量和碳氮比的差异性,显著性检验采用  $\alpha = 0.05$ ,曲线拟合采用 Excel 2003 和 R 软件进行,同时利用 Excel 2003 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤碳氮储量随海拔的分布规律

宝天曼自然保护区森林土壤 0—10,10—20,20—30 cm 的土壤碳储量和氮储量与海拔均呈极为显著的线性关系,变化趋势一致( $p < 0.000\ 01$ ,表 1),虽然在 800~1 000 m 海拔范围内随海拔的升高而下降,但总体上,土壤碳氮储量随海拔升高而增大;0—30 cm 土

壤的碳氮储量也表现出相同的趋势(表 1)。土壤的碳氮比与海拔的相关关系不显著( $p=0.402>0.05$ , 图 1 和表 1),碳氮比维持在 20 左右。

2.2 不同林型内土壤碳氮储量的分布规律

由表 2 可知,不同林型土壤碳氮储量差异很大,0—30 cm 土壤碳储量的变化范围为 14.24~137.37

t/hm<sup>2</sup>,土壤氮储量的变化范围为 0.75~6.41 t/hm<sup>2</sup>;锐齿栎+华山松林土壤的碳氮储量最大,侧柏人工林的土壤碳氮储量最小。土壤碳氮储量总体上表现为天然次生林大于人工林,说明天然林转化为人工林后,土壤碳氮储量丢失严重。由表 3 可知,不同林型土壤碳氮比波动较小。

表 1 土壤碳氮储量和碳氮比与海拔拟合方程及参数

自变量 $x$	因变量 $y$	土层深度/cm	拟合方程	标准残差	决定系数 $R^2$	$F$ 值	显著性 $p$
海拔	碳储量	0—10	$y=0.020x+7.975$	6.235	0.739	93.42	$<0.00001$
		10—20	$y=0.020x+1.954$	6.343	0.731	89.77	$<0.00001$
		20—30	$y=0.019x+2.890$	5.954	0.727	87.79	$<0.00001$
		0—30	$y=0.060x+12.820$	14.99	0.807	138.10	$<0.00001$
海拔/m	氮储量	0—10	$y=0.0011x+0.291$	0.342	0.730	89.39	$<0.00001$
		10—20	$y=0.00088x+0.210$	0.372	0.592	47.94	$<0.00001$
		20—30	$y=0.00083x+0.236$	0.327	0.626	55.19	$<0.00001$
		0—30	$y=0.0028x+0.737$	0.765	0.779	116.10	$<0.00001$
海拔	碳氮比(C:N)	0—30			0.021	0.720	0.402

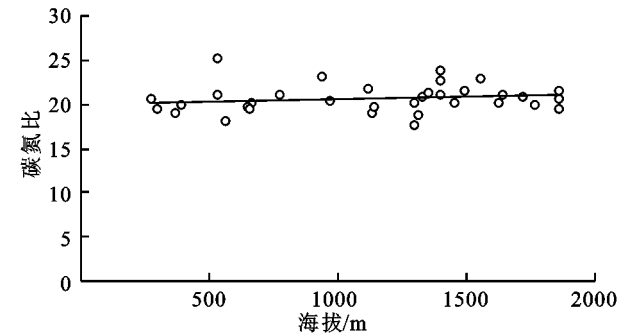


图 1 土壤碳氮比与海拔的关系

选择具有林龄序列的栓皮栎、短柄枹和锐齿栎天然次生林探讨林龄与土壤碳氮储量和碳氮比的关系。

表 2 不同林型土壤的碳氮储量

林型	土壤碳储量/(t·hm <sup>-2</sup> )				土壤氮储量/(t·hm <sup>-2</sup> )			
	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	0—30 cm	0—10 cm	10—20 cm	20—30 cm	0—30 cm
侧柏人工林	4.63	4.06	5.55	14.24	0.21	0.21	0.33	0.75
栓皮栎人工林	11.87	8.91	17.45	38.23	0.52	0.47	0.87	1.86
栓皮栎次生林	26.36	19.90	17.32	63.58	1.33	0.98	0.85	3.16
短柄枹次生林	24.93	26.97	25.63	77.53	1.84	1.36	1.22	4.42
锐齿栎次生林	44.31	41.88	36.16	122.35	2.08	1.55	2.05	5.68
锐齿栎+华山松林	46.34	45.35	45.68	137.37	2.77	1.77	1.87	6.41
平均值	26.41	24.51	24.63	75.55	1.46	1.06	1.20	3.71

表 3 不同林型土壤的碳氮比

林型	土层/cm			
	0—10	10—20	20—30	0—30
侧柏人工林	21.97	19.23	16.95	18.99
栓皮栎人工林	22.81	19.11	20.00	20.55
栓皮栎次生林	19.85	20.36	20.44	20.12
短柄枹次生林	13.52	19.83	21.22	17.54
锐齿栎次生林	21.28	27.02	17.66	21.54
锐齿栎+华山松林	16.71	25.64	24.39	21.43
平均值	19.36	21.87	20.11	20.03

由图 2—4 可知,栓皮栎、短柄枹和锐齿栎天然次生林土壤碳氮储量均随林龄的增大而增大,其中栓皮栎次生林土壤碳氮储量与林龄的线性关系显著( $p<0.05$ ,图 2A 和 2B),短柄枹次生林土壤碳氮储量与林龄的二次曲线关系极为显著( $p<0.01$ ,图 3A 和 3B),锐齿栎次生林土壤碳储量与林龄线性关系极为显著( $p=0.0003$ ,图 4A),其氮储量与林龄指数关系显著( $p=0.013$ ,图 4B)。栓皮栎和锐齿栎次生林土壤碳氮比与林龄相关性不显著( $p>0.05$ ,图 2A 和 4C),短柄枹次生林土壤碳氮比与林龄负线性相关显著( $p=0.011$ ,图 3C)。

2.3 不同土壤类型土壤碳氮储量比较

宝天曼自然保护区内三种土壤类型 0—30 cm 碳储量的极小值和极大值分别为 14.24,137.97 t/hm<sup>2</sup>,平均值为 82.05 t/hm<sup>2</sup>,氮储量的极小值和极大值分别为 0.75,6.89 t/hm<sup>2</sup>,平均值为 3.98 t/hm<sup>2</sup>(图 5A 和 5B)。山地褐土的碳氮储量和碳氮比分别为(48.53±17.47) t/hm<sup>2</sup>, (2.43±0.95) t/hm<sup>2</sup>, (20.32±1.86),山地黄棕壤的碳氮储量和碳氮比分别为(65.01±16.46) t/hm<sup>2</sup>, (3.26±0.95) t/hm<sup>2</sup>, (20.23±1.80),山地棕壤的碳氮储



为:锐齿栎+华山松混交林>锐齿栎次生林>栓皮栎次生林>短柄枹次生林>栓皮栎人工林>侧柏人工林。林型不同,乔木层、灌木层和草本层的物种组成和丰富度也不同,造成林下凋落物和粗木质残体的质和量也不同,土壤酶活性不同,直接影响到土壤的有机碳和氮素的供给和归还<sup>[19]</sup>。不同林型土壤动物和微生物的丰富度和活动能力不同,分解粗木质残体和凋落物的快慢存在差异,使得不同林型的土壤,碳氮储量差异很大<sup>[7-10]</sup>。此外,本研究中,栓皮栎次生林转化成栓皮栎人工林后土壤中碳氮储量分别丢失40%和41%,转化为侧柏人工林后,土壤中碳氮储量分别丢失78%和76%。说明天然林转化成人工林后,土壤中的碳氮储量丢失严重<sup>[19]</sup>。

林龄显著影响着土壤的碳氮储量<sup>[11]</sup>,本研究通过栓皮栎次生林、短柄枹次生林和锐齿栎次生林林龄序列研究表明,3个林型中土壤的碳氮储量均与林龄呈显著正相关。原因是林龄越大,地上和地下生物量越大,粗木质残体和凋落物量越大,土壤中的死根系也越多,土壤动物和微生物活动频繁,分解粗木质残体和凋落物快,有机质丰厚,因此土壤有机质和氮储量的较大<sup>[20-22]</sup>。

### 3.3 土壤类型对土壤碳氮储量的影响显著

宝天曼自然保护区内三种土壤类型0—30 cm碳氮储量的大小顺序为:山地棕壤>山地黄棕壤>山地褐土,存在显著差异。这三种土壤类型随海拔梯度变化而变化,山地棕壤由于位于高海拔地段,森林植被林龄为成熟林,因此,土壤中的碳氮储量最高,山地褐土所处海拔较低,受人类活动干扰严重,尤其是人工林和林龄较小的次生林,土壤的碳氮储量较低,这与党坤良等的研究结果一致<sup>[17]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 解宪丽,孙波,周慧珍,等.中国土壤有机碳密度和储量的估算与空间分布分析[J].土壤学报,2004,41(1):35-43.
- [2] 黄从德,张健,杨万勤,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.
- [3] 徐小锋,田汉勤,万师强.气候变暖对陆地生态系统碳循环的影响[J].植物生态学报,2007,31(2):175-188.
- [4] 胡正华,张寒,陈书涛,等.氮沉降对林带土壤 $N_2O$ 和 $CH_4$ 通量的影响[J].中国环境科学,2011,31(6):533-543.
- [5] 肖英,任希.不同森林覆盖下长沙土壤氮的垂直变化及氮储量[J].中南林业大学学报,2013,33(6):104-107.
- [6] 耿波,岳亚军.红河谷不同林分土壤养分状况研究[J].水土保持研究,2015,22(1):90-92.
- [7] 渠开跃,冯慧敏,代力民,等.辽东山区不同林型土壤有机碳剖面分布特征及碳储量研究[J].土壤通报,2009,40(6):1316-1320.
- [8] Vesterdal L, Schmidt I K, Callesen I, et al. Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255(1): 35-48.
- [9] O'Brien N D, Attiwill P M, Weston C J. Stability of soil organic matter in *Eucalyptus regnans* forests and *Pinus radiata* plantations in south eastern Australia[J]. Forest Ecology and Management, 2003, 185(3): 249-261.
- [10] Daniel M. White, S Garland D, et al. Characterizing soil organic matter quality in arctic soil by cover type and depth[J]. Cold Regions Science and Technology, 2004, 38(1): 63-73.
- [11] 苗娟,周传艳,李世杰,等.不同林龄云南松林土壤有机碳和全氮积累特征[J].应用生态学报,2014,25(3): 625-631.
- [12] 黄晓强,赵云杰,信忠保,等.北京山区典型土地利用方式对土壤理化性质及可蚀性的影响[J].水土保持研究,2015,22(1):5-10.
- [13] 董云中,王永亮,张建杰,等.晋西北黄土高原丘陵区不同土地利用方式下土壤碳氮储量[J].应用生态学报,2014,25(4):955-960.
- [14] Laganière J, Angers D A, Paré D. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: A meta-analysis[J]. Global Change Biology, 2010, 16(1): 439-453.
- [15] 吕世丽,李新平,李文斌,等.牛背梁自然保护区不同海拔高度森林土壤养分特征分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2013,41(4):161-168.
- [16] 胡启武,欧阳华,刘贤德.祁连山北坡垂直带土壤碳氮分布特征[J].山地学报,2006,24(6):654-661.
- [17] 党坤良,张长录,陈海滨,等.秦岭南坡不同海拔土壤肥力的空间分异规律[J].林业科学,2006,42(1):16-21.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2005.
- [19] 孙文义,郭胜利.天然林与人工林对黄土高原沟壑区深层土壤有机碳的影响[J].生态学报,2010,30(10): 2611-2620.
- [20] 林波,刘庆,吴彦,等.川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响[J].应用与环境生物学报,2003,9(4):346-351.
- [21] 胡承彪,韦源连,梁宏温,等.两种森林凋落物分解及其土壤效应的研究[J].广西农业大学学报,1992,11(4): 47-52.
- [22] 梁宏温,黄承标,胡承彪.广西宜山县不同林型人工林凋落物与土壤肥力的研究[J].生态学报,1993,13(3): 235-242.