

# 扩鞭繁殖毛竹林碳氮贮量的动态变化特征

刘广路, 范少辉\*, 郭宝华, 杜满义

(国际竹藤中心 / 竹藤科学与技术重点实验室, 北京 100102)

**摘要:** 为探讨不同成林时间扩鞭繁殖毛竹林的碳、氮贮量变化特征, 以撂荒地和 14 年生杉木林为对照, 对不同成林时间扩鞭繁殖毛竹林的碳、氮变化动态进行了研究。结果表明, 林地的碳、氮贮量均显著高于撂荒地; 而 14 年生杉木林转化为毛竹林后, 碳贮量短暂下降后快速上升, 成林 10 年毛竹林的碳贮量达到最大, 其后随着“林龄”的增长呈下降的趋势。成林时间超过 10 年的毛竹林的氮贮量显著高于 14 年生的杉木林, 而成林 5 年毛竹林的氮贮量低于杉木林。几种类型林分系统的碳、氮贮量均为土壤层 > 乔木层 > 凋落物层 > 林下植被层, 且乔木层碳、氮贮量比例越大, 土壤层碳氮贮量比例越低。毛竹林凋落物碳、氮贮量高于撂荒地, 低于杉木林; 但毛竹林凋落物层碳氮贮量随着成林时间的延长而降低, 毛竹林较低的凋落物碳氮贮量可能会影响毛竹林的持续固碳能力。因此, 平衡乔木层和土壤层的碳氮贮量是森林实现科学经营的关键。

**关键词:** 扩鞭繁殖; 毛竹林; 林龄; 碳氮贮量

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2013.03.003

## Dynamic Changes in Carbon and Nitrogen Storage of *Phyllostachys edulis* Forest with Rhizome Expansion

LIU Guang-lu, FAN Shao-hui\*, GUO Bao-hua, DU Man-yi

(International Centre for Bamboo and Rattan, Key Laboratory on the Science and Technology of Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China)

**Abstract:** The purpose was to comprehend the dynamic changes in carbon and nitrogen storage of *Phyllostachys edulis* forest with rhizome expansion, the changes in carbon and nitrogen storage of *P. edulis* forest in Yong'an City, Fujian Province were studied with abandoned land and 14-year-old Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) forest as control. The results showed that the carbon and nitrogen storage of forest was higher significantly than that of abandoned land. The carbon storage of *P. edulis* forest decreased firstly and then increased quickly when Chinese fir transformed into moso bamboo. The carbon storage reached the maximum when moso bamboo forest was 10 years old, and then decreased with age increasing. The change trend of carbon storage was difference from that of nitrogen storage. The nitrogen storage of moso bamboo forest with more than 10-year-old was higher significantly than that of 14-year-old Chinese fir, and the nitrogen storage of moso bamboo forest at the age of 5 were lower significantly than that of Chinese fir. The carbon and nitrogen storages of all forest types were in the order: soil layer > tree layer > litter-fall layer > vegetation layer under canopy. Meanwhile, the carbon and nitrogen storages in soil layer decreased while those in tree layer increased. The carbon and nitrogen storages in litter-fall of moso bamboo were higher than those in abandoned land, and lower than those in Chinese fir forest. Meanwhile, the carbon and nitrogen storages in litter-fall of moso bamboo forest decreased with stand age increasing. The low carbon and nitrogen storages in litter-fall of moso bamboo forest may decline continued carbon sequestration capacity. So, it was important to balance the carbon and nitrogen storages between tree layer and soil layer.

**Key words:** Rhizome expansion; *Phyllostachys edulis*; Stand age; Storage of carbon and nitrogen

收稿日期: 2012-09-24

接受日期: 2012-11-06

基金项目: 国际竹藤中心基本科研业务专项(1632010005); 国家“十二五”科技支撑课题(2012BAD23B04)资助

作者简介: 刘广路(1975~), 男, 博士, 副研究员, 主要从事竹林培育和竹林生态方面的研究。E-mail: liuguanglu@icbr.ac.cn

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fansh@icbr.ac.cn

森林生态系统的碳贮量是研究森林生态系统与大气圈之间碳交换的基本参数<sup>[1]</sup>,是反映生态系统生物生产力或能量转化效率的重要指标<sup>[2]</sup>。森林系统中的植物体中碳氮维持一定的比例关系,碳氮的耦合在控制植物碳生产与养分吸收、植物向土壤归还有机物质,以及生态系统中碳氮利用、贮存和转移起着决定作用<sup>[3]</sup>。森林生态系统中碳氮循环的功能耦合研究具有重要的理论价值和实践意义,而森林系统碳氮动态特征是开展碳氮循环耦合研究的基础。毛竹[*Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie]林是我国南方重要的森林资源之一,具有很强的固碳能力<sup>[4]</sup>,近年来随着毛竹林经济效益的提高,竹林面积不断扩大,其中扩鞭繁殖是毛竹林面积扩大的主要手段。通过扩鞭繁殖,原有的植被逐渐演变为毛竹林。研究表明,土地方式的改变对系统的碳氮贮量有重要的影响,土地利用方式的变化不仅直接改变土壤有机碳的含量和分布,而且还通过影响土壤有机碳形成、转化的因子而间接改变土壤有机碳的含量与分布<sup>[5-6]</sup>;林龄对林分的碳贮量也有重要的影响,林分通常随着林龄的增加而增加<sup>[7]</sup>,土壤各层含碳率、碳储量也随林龄的增加而增大<sup>[8]</sup>。但毛竹林是一种特殊的异龄林,在毛竹生活史小循环内,毛竹年龄通常在5~7年即会被采伐,毛竹林生活史大循环是由不同的小循环组成,但对于毛竹林在一个大生活史上的碳氮变化特征还知之甚少。通过对不同成林时间的扩鞭繁殖毛竹林的碳氮变化特征进行研究,既可以揭示林地或撂荒地演变为毛竹林过程中的碳氮变化,又可以研究不同成林时间(“林龄”)毛竹林的碳氮变化特征,为揭示毛竹林在一个大生活史中的碳氮演变提供理论基础。

## 1 研究区概况

研究地点位于福建省天宝岩国家级自然保护区(117° 31'~117° 33.5' E, 25° 55'~25° 58' N),地处戴云山余脉,属中低山地貌,海拔为580~1604.8 m。研究区属于亚热带东南季风气候,年平均气温为23℃,最低温为-11℃,最高温达40℃,无霜期约290 d,年平均降水量为2000 mm,≥10℃的年平均活动积温为4520℃~5800℃,持续天数为225~250 d,月均空气相对湿度为80%左右。竹林主要分布在海拔800 m以下,土壤为红壤或者黄红壤。研究区内森林覆盖率达96.8%,主要为毛竹,其间

混生有江南油杉(*Keteleeria cyclolepis* Flous)、杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、杨梅[*Myrica rubra* (Lour.) Sieb. et Zucc.]、南酸枣[*Choerospondias axillaris* (Roxb.) Burt et Hill]、鹅掌楸[*Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sarg.]、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)等乔木树种。

## 2 研究方法

### 2.1 实验样地选择和设置

根据小班经营档案和资源分布情况,在福建省天宝岩国家级自然保护区以撂荒地和14年生杉木林为对照,以不同成林时间的扩鞭繁殖毛竹林为研究对象,开展扩鞭繁殖毛竹林碳氮动态变化特征研究。每种类型林分设置3个20 m×20 m的样地,共18块,样地基本情况见表1,其中成林2年的毛竹林为竹-杉混交林,毛竹与杉木胸高断面面积比为0.79:1,杉木年龄为14年,其它毛竹林样地均为纯林。所选实验样地仅进行过简单的劈草处理,实验地母岩类型为沉积岩,土壤类型为黄红壤,土层厚度65~75 cm,腐殖质厚度4~5 cm,土壤湿润较疏松。

### 2.2 生物量及凋落物现存量的测定

生物量及凋落物现存量参照陈孝丑等<sup>[9]</sup>的方法。毛竹生物量采用收获法;竹鞭生物量的测定采用挖掘法;灌木层和草本层生物量采用收割法;凋落物现存量采用样方收集法。

毛竹林中伴生树种杉木的生物量按照冯宗炜<sup>[10]</sup>的《森林生态系统生物量和生产力》中伴生针叶乔木的回归方程拟合所得。

### 2.3 样品采集与测定

在每一标准样地沿对角线布点,用环刀按5 cm一层在0~60 cm分层取样,测定土壤容重。由于样地剖面情况基本一致,所以每个样地取0~20 cm、20~40 cm和40~60 cm样品各5个,样品在室内风干,研磨粉碎、过100目筛,然后装入保鲜袋待测定有机碳和全氮。土壤有机碳含量采用重铬酸钾-外加热法,全氮含量采用半微量凯氏法测定<sup>[11]</sup>。

在测定毛竹林生物量的同时,按层分组采集标准竹的分析样品。竹秆每2 m取50~100 g鲜样并称量;枝、叶分层(上、中、下),根系分级(<0.2 cm、0.2~0.5 cm、>0.5 cm、根头)。林下植被层按灌木

表 1 试验样地基本情况

Table 1 General condition of plots

林分类型 Forest type	代码 Code	海拔 Altitude (m)	坡度 Scope (°)	坡位 Slope	坡向 Aspect	平均胸径 Average DBH (cm)	林分密度 Density (ind. hm <sup>-2</sup> )	盖度 Coverage (%)	
								灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
撂荒地 Abandoned land	I	565	21	中坡 Middle	东北 NE			80	40
杉木林 Chinese fir forest for 14 years	II	623	23	中坡 Middle	东南 SE	11.8	1800	80	10
成林 2 年 Forest for 2 years	III	716	20	中坡 Middle	南 S	9.8	1950	50	30
成林 5 年 Forest for 5 years	IV	634	23	中坡 Middle	南 S	11.4	1792	53	30
成林 10 年 Forest for 10 years	V	779	15	中坡 Middle	南 S	10.97	1917	50	26
成林 > 20 年 Forest for more than 20 years	VI	685	15	中坡 Middle	南 S	10.1	1725	45	30

根、灌木枝、灌木叶、草根、草叶分别取样,经烘干、粉碎、过筛后用重铬酸钾-外加热法测定含碳率<sup>[11]</sup>,植物样品用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消化后,用凯氏定氮蒸馏法测定氮含量<sup>[12]</sup>。

## 2.4 数据统计分析

土壤有机碳、全氮贮量根据不同土层有机碳氮含量和容重推算所得,具体计算参照路翔等<sup>[13]</sup>的方法。植被层碳、氮贮量根据不同组分的碳、氮含量和生物量计算所得,其中碳贮量的计算参照漆良华等<sup>[14]</sup>的方法。

为了方便表达,文中土壤有机碳简称为土壤碳,土壤全氮简称为土壤氮。

试验数据在 Excel 2010 软件中进行整理和作图,统计分析用 SPSS 13.0 软件完成。

## 3 结果和分析

### 3.1 土壤层碳、氮的动态变化

#### 3.1.1 土壤碳氮含量变化特征

不同类型林分土壤碳含量的排列顺序为 V > VI > IV > III > II > I,其中竹林土壤碳含量高于对照的杉木林和撂荒地,且随着成林时间的延长土壤碳含量呈增加趋势,成林 10 年毛竹林的土壤碳含量最高,达 31.76 g kg<sup>-1</sup>,撂荒地土壤碳含量的最低,为 7.47 g kg<sup>-1</sup> (图 1)。土壤氮含量的变化规律与碳含量的不同,不同成林时间的毛竹林土壤氮含量呈

波浪形变化(图 1),成林 2 年和成林 > 20 年的毛竹林土壤氮含量最高,成林 5 年毛竹林和撂荒地的最低,土壤氮含量的变化可能和毛竹林对氮元素的利用和养分归还方式有关。不同林分类型的土壤碳、氮含量在不同土层的变化趋势也不同。0 ~ 40 cm 土层碳含量的变化顺序为 V > VI > IV > III > II > I, 40 ~ 60 cm 土层碳含量的变化顺序为 V > VI > IV > II > I > III,扩鞭繁殖毛竹林在成林 2 年后,土壤碳含量显著降低,其后土壤碳含量快速增加,以成林 2 ~ 10 年的增加最为迅速,成林 10 年以后的土壤碳含量保持在一个较高的水平(图 2)。撂荒地和杉木林转化为毛竹林后,0 ~ 20 cm 土壤氮含量明显下降,随着毛竹林“林龄”的增加,20 ~ 40 cm 土壤层氮含量下降幅度更大(图 2)。

#### 3.1.2 土壤碳、氮贮量的变化

不同林分类型的土壤碳贮量的排列顺序与碳含量的相同,成林 10 年的毛竹林土壤碳贮量达到最大,为 269.19 t hm<sup>-2</sup>,是成林 2 年毛竹林的 2.82 倍;成林 > 20 年的毛竹林土壤碳贮量显著低于成林 10 年的毛竹林,降低了 20.64% (图 3)。成林 2 年毛竹林的土壤氮贮量显著高于杉木林和撂荒地,但成林 5 年的下降到最低点(4.66 t hm<sup>-2</sup>),以后随着成林时间的进一步延长,土壤氮贮量上升,成林 > 20 年毛竹林的土壤氮贮量最高,达 7.06 t hm<sup>-2</sup> (图 3)。随着成林时间的延长,0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm、40 ~ 60 cm 土层的碳贮量均表现为先上升后下降的趋势,成林 10 年毛竹林的土壤碳贮量最高,随着成林时间的进

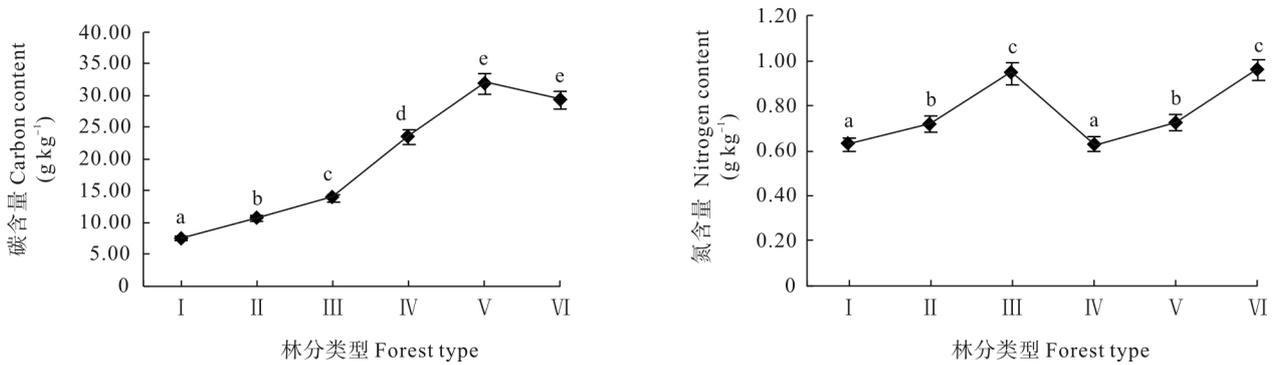


图1 不同类型林分的土壤碳、氮含量。不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Fig. 1 Carbon and nitrogen contents of soil in different forest types. The different letters indicated significant differences at 0.05 level. The same is following Figures and Tables.

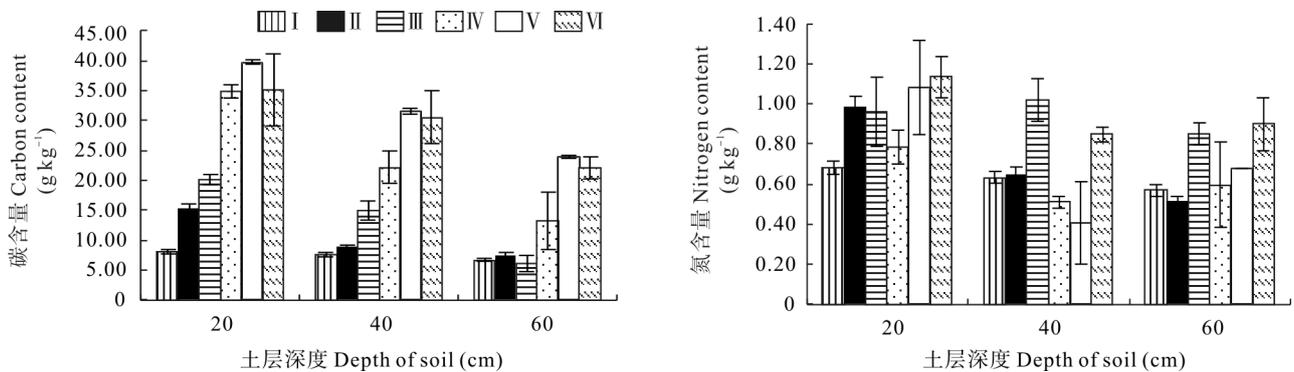


图2 不同类型林分的土壤碳、氮含量的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of carbon and nitrogen contents of soil in different forest types

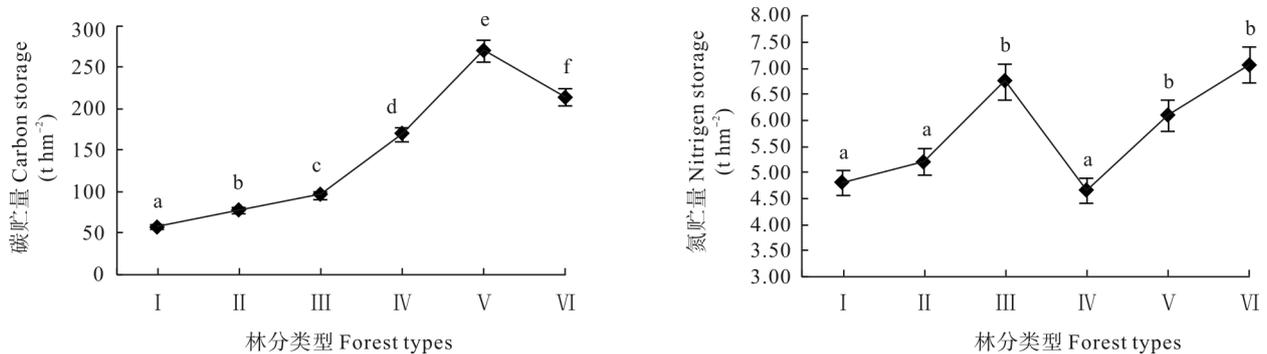


图3 不同类型林分的土壤碳、氮贮量

Fig. 3 Carbon and nitrogen storage of soil in different forest types

一步延长,碳贮量下降明显(图4)。0~20 cm 土层的氮贮量的排列顺序为 V > VI > II > IV > III > I ; 20~40 cm 土层氮贮量的排列顺序为 IV > V > VI > I > II > III , 40~60 cm 土层氮贮量的排列顺序为 VI > III > V > IV > I > II , 不同林分类型不同深度土层的氮贮量不同,这可能是不同类型林分的

根系分布及对氮的需求量不同,造成不同层次土壤氮的消耗和归还量不同(图4)。

### 3.1.3 土壤层碳、氮比的变化

成林5年以后的毛竹林土壤碳氮比显著高于成林2年的竹-杉混交林、杉木林和撂荒地,成林5年后的毛竹林土壤碳氮比为 30.27~36.48,处于较

高水平(表 2)。这反映了毛竹林地单位氮素可以固定更多的碳,具有较高的固碳能力,成林 20 年后的毛竹林土壤碳氮比虽然与成林 10 年的毛竹林土壤碳氮比未达到显著差异水平,但较成林 10 年的毛

竹林降低了 6.21%,因此,建议要对成林时间(“林龄”)超过一定阈值后的竹林地进行调整。不同土层碳氮比的变化规律不明显,总体表现为 40~60 cm 土层碳氮比较小,而 0~40 cm 土层碳氮比较大。

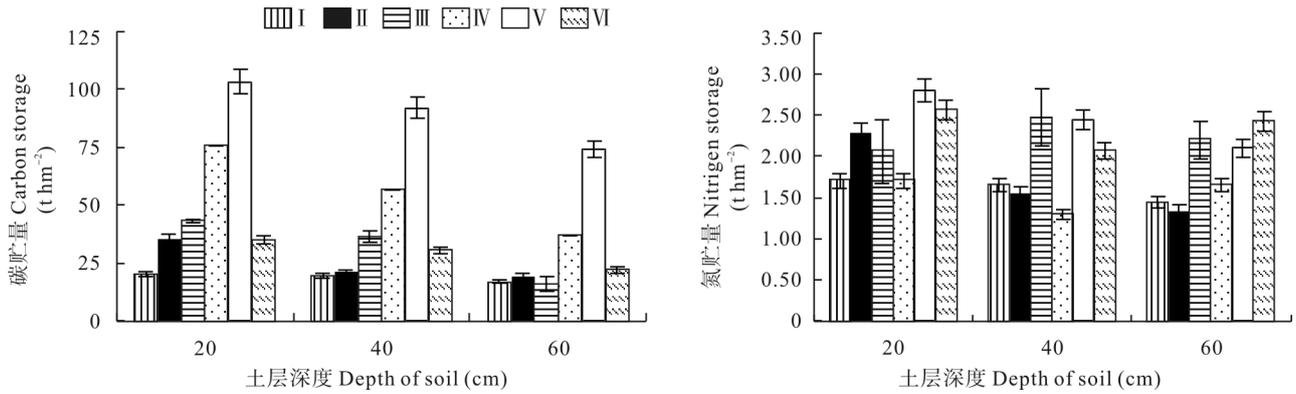


图 4 不同类型林分土壤碳、氮贮量的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of carbon and nitrogen storage of soil in different forest types

表 2 扩鞭繁殖毛竹林土壤层碳氮比

Table 2 C: N of soil in different forest types

土层深度 Depth of soil (cm)	林分类型 Forest types					
	I	II	III	IV	V	VI
0~20	11.90	15.60	20.95	44.42	36.72	30.92
20~40	12.01	13.54	14.77	43.58	37.46	36.12
40~60	11.81	14.57	7.19	22.33	35.26	24.60
合计 Total	11.91a	14.57b	14.18b	36.35c	36.48c	30.27c

### 3.2 植被层碳氮的动态变化

#### 3.2.1 乔木层碳、氮的动态变化

成林 2 年的毛竹林碳贮量最低,以后毛竹林的碳贮量显著升高,成林 5 年时达到最大值(98.58 t hm<sup>-2</sup>),此后随着成林时间的进一步延长乔木层的碳贮量降低(图 5)。杉木林乔木层在逐渐演替为毛竹林的过程中氮贮量发生显著下降,其中成林 2 年的毛竹林氮贮量最低,成林 5 年的氮贮量达到最高点(0.32 t hm<sup>-2</sup>),此后随着成林时间的延长氮贮量呈下降的趋势,但成林 5 年毛竹林的氮贮量仍显著低于杉木林的氮贮量(0.34 t hm<sup>-2</sup>) (图 5)。

#### 3.2.2 林下植被层的碳、氮变化特征

不同林分类型林下植被层碳贮量的排列顺序为 II > III > I > IV > V > VI,氮贮量的排列顺序为 II > I > III > IV > V > VI (图 6),毛竹林的林下

植被层的碳、氮贮量显著低于杉木林和撂荒地,且随着毛竹林林龄的增加,林下植被层的碳、氮贮量降低。毛竹林的密度和干扰强度通常比杉木林更大,这可能是毛竹林林下植被碳、氮贮量较少的原因。

#### 3.2.3 凋落物层的碳、氮变化

有林地的凋落物碳、氮贮量高于撂荒地的,因为林地具有更多的凋落物质量。不同林分类型的凋落物碳、氮贮量的排列顺序为 II > III > IV > V > VI > I (图 7),杉木林演变为毛竹林后,凋落物碳、氮贮量降低,且毛竹林成林时间越长凋落物的碳、氮贮量就越低。虽然凋落物碳、氮贮量的绝对值较小,但是其在养分归还过程中起着重要的作用,凋落物碳、氮贮量的降低可能降低土壤提供有效养分的能力。

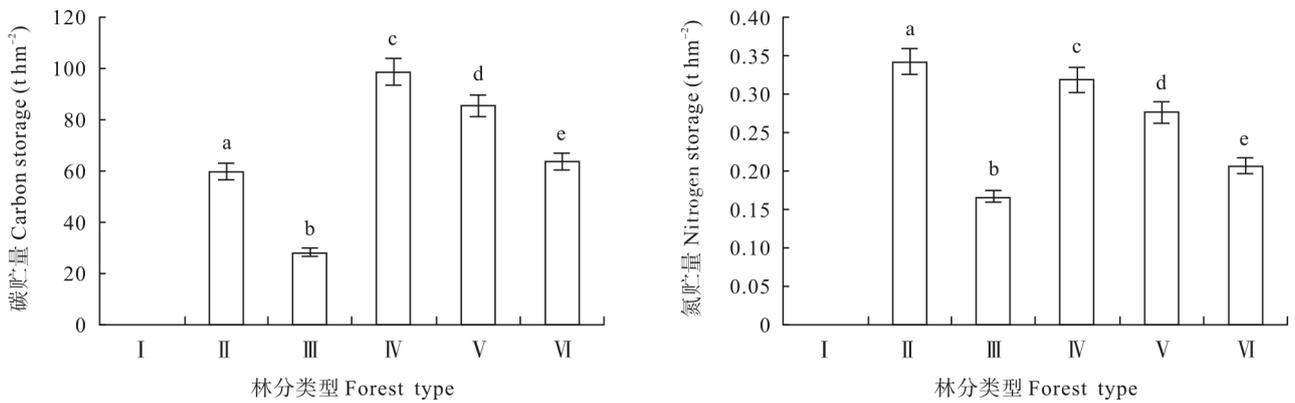


图5 不同林分类型乔木层的碳、氮贮量

Fig. 5 Carbon and nitrogen storage of tree layer in different forest types

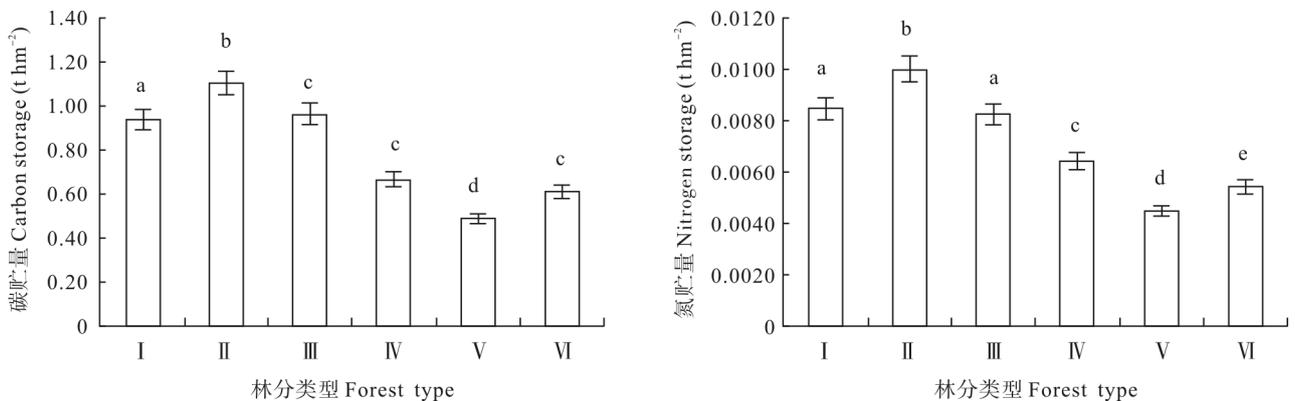


图6 不同林分类型林下植被层的碳、氮贮量

Fig. 6 Carbon and nitrogen storage of understory vegetation in different forest types

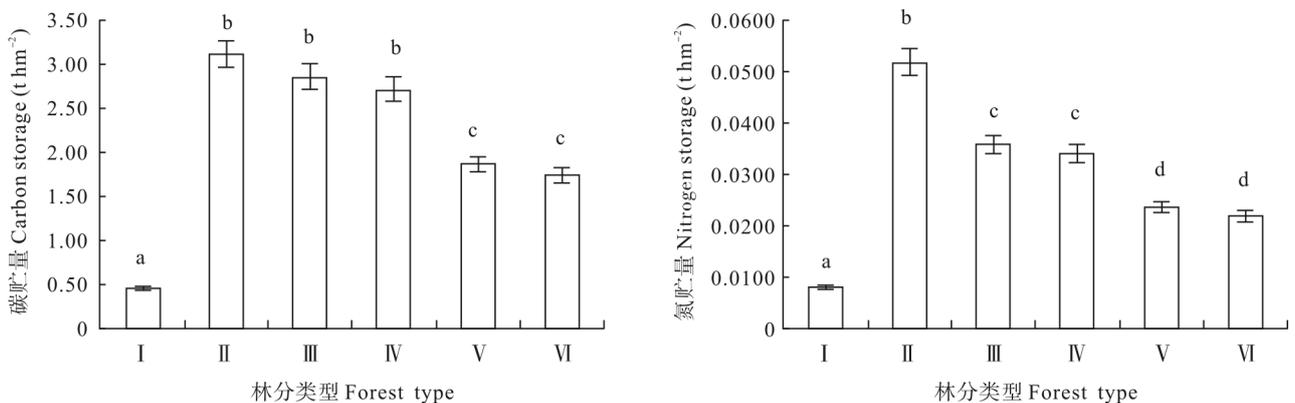


图7 凋落物的碳、氮贮量

Fig. 7 Carbon and nitrogen storage in litter-fall

### 3.3 毛竹林系统的碳、氮贮量变化

不同林分类型毛竹林系统碳贮量的排列顺序为 V > VI > IV > II > III > I, 氮贮量的排列顺序为 V > VI > III > II > IV > I。撂荒地转化为毛竹林地或者杉木林地后,系统的碳、氮贮量均显著增

加。杉木林转化为毛竹林后,系统的碳贮量发生短暂(成林时间低于5年)下降,随着毛竹林成林时间的延长,碳贮量显著增加;氮贮量呈相似的变化规律,成林时间大于10年后系统的氮贮量显著高于杉木林的(表3)。几种林分类型的碳、氮贮量在不

表3 毛竹林的碳、氮贮量( $\text{t hm}^{-2}$ )Table 3 Carbon and nitrogen storage ( $\text{t hm}^{-2}$ ) in moso bamboo forest

		乔木层 Tree layer	%	林下植被层 Vegetation layer under canopy	%	凋落物层 Litter-fall layer	%	土壤层 Soil layer	%	合计 Total
I	C	0.00	0.00	0.95	1.63	0.47	0.80	57.03	97.57	58.45a
	N	0.00	0.00	0.01	0.18	0.01	0.16	4.79	99.66	4.80a
II	C	59.65	42.51	1.12	0.80	3.11	2.22	76.44	54.47	140.32b
	N	0.34	6.16	0.01	0.18	0.05	0.93	5.19	92.74	5.60b
III	C	28.12	22.23	0.98	0.77	1.86	1.47	95.56	75.53	126.52b
	N	0.17	2.41	0.01	0.12	0.02	0.34	6.74	97.13	6.94c
IV	C	98.58	36.33	0.67	0.25	2.84	1.05	169.24	62.37	271.33c
	N	0.32	6.39	0.01	0.13	0.04	0.72	4.66	92.77	5.02b
V	C	85.35	23.92	0.50	0.14	1.73	0.49	269.19	75.45	356.77d
	N	0.28	3.65	0.00	0.06	0.02	0.26	7.37	96.03	7.67d
VI	C	63.79	22.72	0.62	0.22	2.69	0.96	213.64	76.10	280.73c
	N	0.21	2.85	0.01	0.07	0.03	0.47	7.06	96.61	7.30d

同层次的排列顺序均为土壤层 > 乔木层 > 凋落物层 > 林下植被层, 成林 5 年毛竹林乔木层的碳、氮贮量最高, 土壤层的碳、氮贮量最低, 成林 10 年和成林 > 20 年竹林乔木层的碳贮量较低, 而土壤层的碳贮量较高, 反映了乔木层碳、氮贮量与土壤层碳、氮贮量随成林时间的变化趋势相反, 乔木层碳、氮贮量升高, 消耗的土壤碳、氮量增多, 因而土壤碳、氮贮量降低。

## 4 结论和讨论

林地由撂荒地转化为毛竹林后系统的碳、氮贮量呈增加趋势, 14 年生的杉木林演替为毛竹林后, 碳贮量在经历短暂的下降后, 呈上升的趋势; 氮贮量变化规律性不明显。土地利用方式的改变对林分碳贮量有重要影响, 土地利用方式是影响土壤粒径分布、土壤有机碳及其组成含量的重要因素, 土地利用方式变化即可成为土壤有机碳减少的途径<sup>[15]</sup>, 也是有机碳增加的有效方式<sup>[16-17]</sup>。本研究中, 撂荒地转化为毛竹林地后碳、氮贮量上升, 反映了林地具有高的碳、氮固定能力。在耕地转变为林地后土壤碳密度及贮量变化的研究中也得到相似的结论, 退耕地转变为森林后成为大气  $\text{CO}_2$  的一个重要碳汇<sup>[18]</sup>。毛竹和杉木的分布区和生长环境条件基本相同, 有关毛竹林和杉木碳、氮贮量的比较研究较多, 但因为杉木林年龄的不同而结果差异较大。在湖

南会同, 15 年生杉木林的碳贮量( $152.52 \text{ t hm}^{-2}$ )略高于毛竹林的碳贮量( $144.3 \text{ t hm}^{-2}$ )<sup>[19]</sup>, 而本研究结果表明, 14 年生杉木林转化为毛竹林后, 系统碳贮量经短暂下降后呈上升趋势, 成林 10 年毛竹林的碳贮量显著高于杉木林, 这可能是因为两地立地条件及林分生长状况的不同造成的。在台湾关于毛竹和杉木林碳贮量的研究结果也表明, 毛竹林和杉木林的年碳贮量分别为( $8.13 \pm 2.15$ )  $\text{t hm}^{-2}$  和( $3.35 \pm 2.02$ )  $\text{t hm}^{-2}$ , 且杉木林平均年碳贮量随着龄级的增加而降低<sup>[20]</sup>, 证实了毛竹林具有较强的固碳能力。本研究结果表明碳、氮贮量的变化不同步, 可能对林分系统碳氮耦合功能产生重要影响。研究结果也表明, 生态系统碳循环和碳固定效率取决于关键养分元素输入量和需求量之间的平衡, 以及养分利用的有效性<sup>[2]</sup>, 不同成林时间(“林龄”)的毛竹林的碳、氮贮量不同, 碳固定效率也不同, 通过经营措施调整竹林生长状况是提高竹林固碳效率的必要手段。

林分碳氮贮量主要分布在土壤层, 林地由撂荒地或者杉木林演变为毛竹林后, 土壤碳含量和贮量显著提高, 成林 10 年毛竹林的土壤碳、氮贮量最高, 但是成林 > 20 年毛竹林碳、氮贮量低于成林 10 年毛竹林的。本研究毛竹林的土壤碳、氮贮量随着“林龄”的变化趋势与其他树种不尽相同, 兴安落叶松土壤有机碳贮量随林龄增加而显著增加<sup>[21]</sup>, 但毛竹林每年要进行采竹挖笋, 移出系统的养分元素较多, 造成毛竹林“林龄”超过一定阈值后, 土壤的碳、

氮贮量下降。不同林分类型同一土层的碳、氮含量和贮量的分布格局也不同,氮含量和贮量的变化规律与碳的变化规律不同,造成不同林分类型的土壤碳氮比存在较大差异。土壤碳氮比的差异可能影响到土壤微生物的活动,进而影响林分养分的有效性。碳积累速率和存储能力与限制植物生长的氮和磷供应相联系<sup>[22]</sup>,凋落物和土壤碳库的增长也受到微生物为维持它们自身碳/养分平衡需要的制约<sup>[2]</sup>,微生物在40%的生长效率下需要C:N约为25:1的底物来满足它们的需氮量<sup>[23]</sup>。毛竹林的C:N大于25,杉木林和撂荒地的小于25,预示着毛竹林微生物活动可能更活跃。

成林5年后毛竹林的植被层碳贮量显著高于14年生杉木林和撂荒地,随着成林时间的延长毛竹林植被层的碳、氮贮量先上升后下降,毛竹林达到一定的“林龄”后需通过合理经营措施以维持系统的碳、氮贮量。植被层碳、氮贮量与土壤碳、氮贮量的变化趋势相反,植被层碳、氮贮量增加会造成土壤碳、氮贮量的减少。植被层碳贮量的高低直接决定林分的经济价值,而土壤层碳、氮贮量则体现了更大的生态价值,如何平衡植被和土壤层碳、氮贮量是森林实现科学经营的关键。毛竹林的凋落物层碳、氮贮量随成林时间的延长而降低,但始终高于撂荒地,低于杉木林。凋落物分解是森林生态系统养分循环中至关重要的过程,通过森林凋落物和林木枯死细根的分解作用,向大气释放CO<sub>2</sub>并提供给植物和微生物养分,对森林生态系统自肥和全球陆地碳循环有重要的影响<sup>[24-25]</sup>。竹林凋落物对于竹林生态系统的物质循环和能量流动具有重要的意义,凋落物分解归还的养分元素是竹林维持自身生长所需养分的重要来源之一<sup>[26-28]</sup>,是毛竹林长期生产力保持的重要因子。研究表明,毛竹林分年凋落量为1.73 t hm<sup>-2</sup>,明显低于丛生竹小叶龙竹(*Dendrocalamus barbatus*)和麻竹(*Dendrocalamus latiflorus*)的年凋落量,甚至年凋落物量较小的杉木林凋落物量也比毛竹林凋落物量高1.7倍以上<sup>[29]</sup>,毛竹林凋落物量较低可能对其持续立地生产力产生不利的影响,进而影响林分碳、氮贮量。

## 参考文献

- [1] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem [J]. *Science*, 1994, 263(5144): 185-190.
- [2] Hessen D O, Ågren G I, Anerson T R, et al. Carbon sequestration in ecosystems: The role of stoichiometry [J]. *Ecology*, 2004, 85(5): 1179-1192.
- [3] Xiang W H, Huang Z H, Yan W D, et al. Review on coupling of interactive functions between carbon and nitrogen cycles in forest ecosystems [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, 26(7): 2365-2372.  
项文化, 黄志宏, 闫文德, 等. 森林生态系统碳氮循环功能耦合研究综述 [J]. *生态学报*, 2006, 26(7): 2365-2372.
- [4] Wang B, Wang Y, Guo H, et al. Carbon storage and spatial distribution in *Phyllostachys pubescens* forest in Dagangshan Mountain of Jiangxi Province [J]. *J Beijing For Univ*, 2009, 31(6): 39-42.  
王兵, 王燕, 郭浩, 等. 江西大岗山毛竹林生态系统碳贮量及其分配特征研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2009, 31(6): 39-42.
- [5] Parton W J, Schimel D S, Cole C V. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands [J]. *Soil Sci Soc Amer J*, 1987, 51(5): 1173-1179.
- [6] Zhang S J, Xiang W H. Research progress in effects of land use mode on soil active organic carbon [J]. *J C South Univ For Techn*, 2012, 32(5): 134-142.  
张仕吉, 项文化. 土地利用方式对土壤活性有机碳影响的研究进展 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32(5): 134-142.
- [7] Liu E, Wang H, Liu S R. Characteristics of carbon storage and sequestration in different age beech (*Castanopsis hystrix*) plantations in south subtropical area of China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2012, 23(2): 335-340.  
刘恩, 王晖, 刘世荣. 南亚热带不同林龄红锥人工林碳贮量与碳固定特征 [J]. *应用生态学报*, 2012, 23(2): 335-340.
- [8] Qin X J, Ding G J. Characteristics of soil organic carbon and its relationship with nutrients in different age *Pinus massoniana* plantation stands [J]. *J Zhejiang For Sci Techn*, 2012, 32(2): 12-17.  
秦晓佳, 丁贵杰. 不同林龄马尾松人工林土壤有机碳特征及其与养分的关系 [J]. *浙江林业科技*, 2012, 32(2): 12-17.
- [9] Chen X C, Liu G L, Fan S H, et al. Growth characteristics and biomass distribution of *Phyllostachys pubescens* stands with changes in fertilization time [J]. *J Zhejiang Agri For Univ*, 2012, 29(1): 52-57.  
陈孝丑, 刘广路, 范少辉, 等. 连续施肥对毛竹林生长特征及生物量空间构型的影响 [J]. *浙江农林大学学报*, 2012, 29(1): 52-57.
- [10] Feng Z W, Wang X K, Wu G. Biomass and Productivity of Forest Ecosystems in China [M]. Beijing: Science Press, 1999:103-104.  
冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 103-104.
- [11] Liu G L, Fan S H, Guan F Y, et al. Soil environmental characteristics of different types of *Phyllostachys pubescens* forests with intensive cultivation in northwest of Fujian province

- [J]. *J Nanjing For Univ (Nat Sci)*, 2010, 34(5): 17–22.
- 刘广路, 范少辉, 官凤英, 等. 闽西北不同类型集约经营毛竹林土壤环境特征 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2010, 34(5): 17–22.
- [12] Liu G L, Fan S H, Guan F Y, et al. Distribution pattern of nutrient elements and its relationship with soil environment in different aged *Phyllostachys edulis* [J]. *For Res*, 2010, 23(2): 252–258.
- 刘广路, 范少辉, 官凤英, 等. 不同年龄毛竹营养器官主要养分元素分布及与土壤环境的关系 [J]. *林业科学研究*, 2010, 23(2): 252–258.
- [13] Lu X, Xiang W H, Liu C. Storage and distribution of soil organic carbon and nitrogen in four subtropical forests in central southern China [J]. *J Soil Water Cons*, 2012, 26(3): 169–173.
- 路翔, 项文化, 刘聪. 中亚热带4种森林类型土壤有机碳氮贮量及分布特征 [J]. *水土保持学报*, 2012, 26(3): 169–173.
- [14] Qi L H, Liu G L, Fan S H, et al. Effects of different tending measures on carbon density, storage, and allocation pattern of *Phyllostachy edulis* forests in western Fujian Province [J]. *Chin J Ecol*, 2009, 28(8): 1482–1488.
- 漆良华, 刘广路, 范少辉, 等. 不同抚育措施对闽西毛竹林碳密度、碳贮量与碳格局的影响 [J]. *生态学杂志*, 2009, 28(8): 1482–1488.
- [15] Ge Q S, Dai J H, He F N, et al. Land use and cover change of the past 300 years in China and its nitrogen cycle effects [J]. *Sci China: Earth Sci*, 2008, 38(2): 197–210.
- 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 过去300年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究 [J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2008, 38(2): 197–210.
- [16] Xu W L, Tang G M, Sheng J D, et al. Effects of cultivation on organic carbon fractionation and aggregate stability in Xinjiang oasis soils [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, 30(7): 1773–1779.
- 徐万里, 唐光木, 盛建东, 等. 垦殖对新疆绿洲农田土壤有机碳组分及团聚体稳定性的影响 [J]. *生态学报*, 2010, 30(7): 1773–1779.
- [17] Zhang J H, Li G D, Nan Z R. Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe River [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, 32(12): 3745–3753.
- 张俊华, 李国栋, 南忠仁. 黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系 [J]. *生态学报*, 2012, 32(12): 3745–3753.
- [18] Huang C D, Zhang J, Deng Y L, et al. Carbon storage and allocation patterns of young forests converted by farmland [J]. *J Soil Water Cons*, 2012, 21(4): 130–133.
- 黄从德, 张健, 邓玉林, 等. 退耕还林地在植被恢复初期碳储量及分配格局研究 [J]. *水土保持学报*, 2012, 21(4): 130–133.
- [19] Xiao F M, Fan S H, Wang S L, et al. Estimation of the carbon balance in moso bamboo and Chinese fir plantation ecosystem [J]. *Sci Silv Sin*, 2010, 46(11): 59–65.
- 肖复明, 范少辉, 汪思龙, 等. 毛竹、杉木人工林生态系统碳平衡估算 [J]. *林业科学*, 2010, 46(11): 59–65.
- [20] Yen T M, Lee J S. Comparing aboveground carbon sequestration between moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla*) and Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) forests based on the allometric model [J]. *For Ecol Manag*, 2011, 261(6): 995–1002.
- [21] Wang H Y, Wang W J, Qin L, et al. Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in *Larix gmelinii* plantations in northeast China [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, 32(3): 833–843.
- 王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等. 兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异 [J]. *生态学报*, 2012, 32(3): 833–843.
- [22] Herbert D A, Williams M, Rastetter E B. A model analysis of N and P limitation on carbon accumulation in Amazonian secondary forest after alternate land-use abandonment [J]. *Biogeochemistry*, 2003, 65(1): 121–150.
- [23] Chapin S F III, Matson P, Mooney H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [M]. New York: Springer-Verlag, 2002: 183–188.
- [24] Zhou G L, Guan L L, Wei X H, et al. Factors influencing leaf litter decomposition: An intersite decomposition experiment across China [J]. *Plant Soil*, 2008, 311(1/2): 61–72.
- [25] Wang X E, Xue L, Xie T F. A review on litter decomposition [J]. *Chin J Soil Sci*, 2009, 40(6): 1473–1478.
- 王相娥, 薛立, 谢腾芳. 凋落物分解研究进展 [J]. *土壤通报*, 2009, 40(6): 1473–1478.
- [26] Fu M Y, Fang M Y. Nutrient cycling in bamboo stands: I: leaf litter and its decomposition in pure *Phyllostachys pubescens* stands [J]. *For Res*, 1989, 2(3): 207–213.
- 傅懋毅, 方敏瑜. 竹林养分循环: I. 毛竹纯林的叶凋落物及其分解 [J]. *林业科学研究*, 1989, 2(3): 207–213.
- [27] Wang J J, Xu Q F, Jiang P K. Impacts of litter of *Phyllostachy pubescens* on functional biodiversity of soil microorganism communities in broad-leaved forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, 44(9): 146–151.
- 王纪杰, 徐秋芳, 姜培坤. 毛竹凋落物对阔叶林土壤微生物群落功能多样性的影响 [J]. *林业科学*, 2008, 44(9): 146–151.
- [28] Liu G L, Fan S H, Guan F Y, et al. Effects of different proportion mixed *Phyllostachys pubescens* leaf litter on litter decomposition in *P. pubescens* forest [J]. *Chin J Ecol*, 2011, 30(8): 1598–1603.
- 刘广路, 范少辉, 官凤英, 等. 毛竹凋落叶组成对叶凋落物分解的影响 [J]. *生态学杂志*, 2011, 30(8): 1598–1603.
- [29] Liu G L. Study on the mechanism of maintaining long-term productivity of bamboo forest [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2009: 49–50.
- 刘广路. 毛竹林长期生产力保持机制研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009: 49–50.