

## 云南省 2008-2013 年森林植被碳储量变化研究

燕 腾<sup>1,3</sup>, 彭一航<sup>1</sup>, 王效科<sup>2</sup>, 苏凯文<sup>1</sup>, 陈路红<sup>1</sup>, 郑 伟<sup>1</sup>, 巩合德<sup>1,2\*</sup>

(1. 西南林业大学, 云南 昆明 650224; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100080;  
3. 中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041)

**摘要:** 根据第七、第八次全国森林资源连续清查数据, 采用生物量扩展因子法, 从不同龄组、林型、起源对云南省森林植被碳储量和碳密度进行估算。结果表明, 2008 年云南省森林植被总碳储量  $798.31 \times 10^6$  t, 2013 年增至  $831.81 \times 10^6$  t; 2013 年的调查结果显示各林型(除灌木林)碳储量普遍增加, 平均碳密度却有所降低, 由第七次调查时的  $49.98$  t/hm<sup>2</sup>, 降至 2013 年的  $39.78$  t/hm<sup>2</sup>; 人工林各龄组间碳储量变化明显, 平均变化率达 55.28%; 天然林碳储量却只增加了  $23.02 \times 10^6$  t, 增长率为 3.26%。适当扩大人工林面积可增加碳储量, 但这种方式已经不适合云南碳汇项目的发展。

**关键词:** 碳储量; 碳密度; 云南省; 生物量扩展因子

中图分类号: S718.55

文献标识码: A

## Forest Carbon Storage in Yunnan during 2008-2013

YAN Teng<sup>1,3</sup>, PENG Yi-hang<sup>1</sup>, WANG Xiao-ke<sup>2</sup>, SU Kai-wen<sup>1</sup>, CHEN Lu-hong<sup>1</sup>, ZHENG Wei<sup>1</sup>, GONG He-de<sup>1,2\*</sup>

(1. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 3. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Estimation was made on forest carbon storage and density in Yunnan province based on continuous inventory for national forest resources in 2008 and 2013, by biomass extension factors and with forest age structure, type and origin. The results showed that forest carbon storage in Yunnan in 2008 was  $798.31 \times 10^6$  t and increased to  $831.81 \times 10^6$  t in 2013. Inventory in 2013 demonstrated that carbon storage of different forest types increased except shrub, but carbon density decreased from  $49.98$  t/ha in 2008 to  $39.78$  t/ha. The forest carbon storage of the plantation had a significant change, instead, of the natural forest, increased by only  $23.02 \times 10^6$  t during 5 years. Forest carbon storage could be increased by more plantation area, which is not sustainable for Yunnan province.

**Key words:** carbon storage; carbon density; Yunnan province; biomass extension factor

森林植被碳储量动态变化在维护全球碳平衡中起着至关重要的作用。对森林植被碳储量的准确评估及动态变化研究, 不仅是预测气候变化及其对生态系统影响的关键, 也是我国经济的发展和人民生活的改善的关键。我国森林生物量及碳储量的研究源于上世纪 80 年代, 潘维涛等在 1979 年通过建立杉树林的对数回归方程, 对湖南会同县不同地区的生物量进行了分析比较<sup>[1]</sup>; 王效科等以各林龄级森林类型为统计单位, 采用建立生物量与蓄积量的关系的方法, 对我国森林生态系统的植物碳储量进行了估算, 得出我国森林生态系统的植物碳贮量为  $3.26 \sim 3.73$  Pg<sup>[2]</sup>; 王雪军等利用辽宁省 1984-2003 年间四次森林资源调查资料, 运用各主要树种的生物量模型

收稿日期: 2015-11-05; 修回日期: 2016-02-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31200482); 国家自然科学基金(31560189)

作者简介: 燕腾(1989-), 男, 山东潍坊, 农业推广硕士研究生, 主要森林生态学研究; \*通讯作者。

和含碳量系数研究了二十年间森林碳储量动态变化<sup>[3]</sup>；叶金盛等运用生物量换算因子连续函数法分析了广东省 1988-2007 年间各林地种类和森林类型的碳储量和碳密度变化<sup>[4]</sup>。

云南省作为我国四大重点林区省份之一，林业建设在应对气候变化、降低大气 CO<sub>2</sub> 浓度以及保护生物多样性等方面具有重要意义。尽管云南森林资源丰富，森林碳汇项目起步较早，但缺乏对森林碳储量和碳汇潜力的定量研究，对云南省森林资源碳储量的研究也较少。本研究通过对 2004-2013 年第七、第八次全国森林资源连续清查数据进行估算分析，对云南省森林植被碳储量动态变化进行研究，为云南省森林碳汇项目的发展提供科学依据和理论基础。

## 1 研究区域概况

云南省（97°31'E ~ 106°11'E，21°8'N ~ 29°15'N）地处我国西南边陲，属高原季风气候，四季如春，降雨充沛，年均降水量 1 100 mm 左右；年平均气温 5 ~ 24℃，光照充足，多数地区日照 1 800 ~ 2 700 h，日温差较大。云南省山地高原面积广阔，约占其总土地面积 383 210 km<sup>2</sup> 的 94%，土壤以红壤系列为主；省内江河纵横、高原湖泊众多，省内湖泊总蓄水量达 300 亿 m<sup>3</sup><sup>[5]</sup>。

云南省植物资源丰富，有高等植物 274 科 2 076 属 17 000 种，种类繁多。至 2013 年，全省林地面积为 2 501.04 万 hm<sup>2</sup>，森林面积达 1 914.19 万 hm<sup>2</sup>，森林覆盖率 50.03%。主要森林类型有寒温性针叶林、暖性针叶林以及热性阔叶林 3 类。

## 2 研究方法数据来源

### 2.1 数据来源

研究所使用的数据来源源于第七、第八次全国森林资源连续清查成果报告，由国家林业局森林资源管理司发行。该报告中详细统计了云南省 2008 和 2013 年连续两次森林资源调查结果，包括各优势树种（组）及其相应各龄组的面积、蓄积、单位蓄积量以及各地森林的归属权等详细信息。

### 2.2 研究方法

本研究采用生物量扩展因子法，通过建立生物量与蓄积量间的关系，进而根据各优势树种（组）的不同含碳率、不同地上生物量与地下生物量的关系、不同的木材密度等角度对各优势树种（组）碳贮量进行对比研究，估算云南省森林植被碳储量<sup>[6-10]</sup>。

采用的生物量扩展因子法计算公式如下：

$$C = V \times B_{EF} \times D \times (1 + R) \times C_F \times S$$

式中， $C$  为某一森林类型的森林植被碳储量（t）； $V$  为某一森林类型的单位蓄积量（m<sup>3</sup>）； $B_{EF}$  为某一森林类型的生物扩展因子； $D$  为某一树组的木材密度（td·m·m<sup>-3</sup>）； $R$  为某一树组地下生物量与地上生物量的比值； $C_F$  为某一树组生物量含碳率（td·m）； $S$  为某一优势树种（组）的面积（m<sup>2</sup>）。

表 1 为本研究中优势树种（组）的扩展因子、木材密度、地下/地上生物量比值、含碳率参考值。

由于经济林、竹林、灌木林在第七、八次全国森林资源连续调查数据中，相关资料不详细，无法通过建立生物量与蓄积量的关系对其进行估算，故采用单位面积平均生物量乘以面积的方式计算其总生物量，进而通过含碳率计算得出其总的碳储量<sup>[11]</sup>。我国经济林的平均生物量为 23.7 t/hm<sup>2</sup>；秦岭淮河以南的灌木林平均生物量为 19.76 t/hm<sup>2</sup>；杂竹的平均生物量为 47.86 t/hm<sup>2</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 森林各林型的碳储量变化及分析

根据第七、第八次全国森林资源连续调查数据，对云南省森林植被碳储量进行了计算。由表 2 可知，云南

表 1 优势树种(组)生物扩展因子、木材密度、地下/地上生物量比值、含碳率参考值  
Table 1 Biomass expansion factor, wood density, underground and aboveground biomass ratio and carbon content

优势树种(组)	B <sub>EF</sub>	D	R	C <sub>F</sub>	优势树种(组)	B <sub>EF</sub>	D	R	C <sub>F</sub>
冷杉	1.316	0.366	0.174	0.500	楠木	1.639	0.477	0.264	0.503
油杉	1.667	0.448	0.277	0.500	榆树	1.671	0.598	0.621	0.497
铁杉	1.667	0.442	0.277	0.502	刺槐	1.674	0.598	0.261	0.497
云杉	1.734	0.342	0.244	0.521	木荷	1.894	0.598	0.258	0.497
思茅松	1.304	0.454	0.145	0.522	枫香树	1.765	0.598	0.398	0.497
华山松	1.785	0.396	0.170	0.523	其他硬阔类	1.674	0.598	0.261	0.497
云南松	1.619	0.483	0.146	0.511	桉	1.263	0.578	0.221	0.525
落叶松	1.416	0.49	0.212	0.521	杨树	1.446	0.378	0.227	0.496
高山松	1.651	0.413	0.235	0.501	槲	1.586	0.443	0.289	0.485
其他松类	1.631	0.424	0.206	0.511	其他软阔类	1.586	0.443	0.289	0.485
杉木	1.634	0.307	0.246	0.520	针叶混	1.587	0.405	0.267	0.510
柏木	1.732	0.478	0.220	0.510	阔叶混	1.514	0.482	0.262	0.490
柳杉	2.593	0.294	0.267	0.524	针阔混	1.656	0.486	0.248	0.498
栎类	1.355	0.676	0.292	0.500	经济林				0.500
白桦	1.424	0.541	0.248	0.491	竹林				0.500
樟	1.412	0.46	0.275	0.492	灌木林				0.470

注: 参数来源:《中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报》“土地利用变化与林业温室气体清单”(2013); 冷杉(*Abies fabri*)、云杉(*Picea asperata*)、铁杉(*Tsuga chinensis*)、油杉(*Keteleeria fortunei*)、落叶松(*Larix gmelinii*)、华山松(*Pinus armandii*)、云南松(*P. yunnanensis*)、思茅松(*P. kesiya* var. *langbianensis*)、高山松(*P. densata*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、榿树(*Tilia tuan*)、东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)、柏木(*Cupressus funebris*)、白桦(*Betula platyphylla*)、樟(*Cinnamomum camphora*)、楠木(*Phoebe zhennan*)、榆树(*Ulmus pumila*)、木荷(*Schima superba*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、枫香树(*Liquidambar formosana*)、杨树(*Populus schneideri*)、桉(*Eucalyptus robusta*)、槲(*Melia azedarach*)、白花泡桐(*Paulownia fortunei*)、檫木(*Sassafras tzumu*)

省 2008 年森林植被总碳储量为 798.31×10<sup>6</sup> t, 2013 年增至 831.81×10<sup>6</sup> t, 总增长量为 33.50×10<sup>6</sup> t, 年均增长 6.70×10<sup>6</sup> t, 年均增长率 0.84%; 森林植被平均碳密度却有所降低, 由 2008 年的 49.98 t/hm<sup>2</sup>, 降至 2013 年的 39.78 t/hm<sup>2</sup>; 在所有森林林型中, 两次森林资源调查相比, 各林型(除灌木林)碳储量普遍增加; 阔叶林碳密度却由 58.85 t/hm<sup>2</sup>降至 56.46 t/hm<sup>2</sup>, 年均变化率为 -0.82%。

森林植被碳储量估算结果显示, 各林型(除灌木林外)的碳储量普遍增加, 总碳密度却明显降低, 其原因可能为如表 3 所示。不同龄组的人工林面积有明显增加, 且人工林面积增量在总林分面积增量中所占比重较大。由于人工林与天然林生理性差异, 人工林由幼龄发育成中龄及成熟林的时间较天然林更短, 同时, 人工林各龄组碳密度普遍低于天然林各龄组, 从而导致总森林面积增加, 森林植被总体碳密度却降低。

表 2 各林型的生物量、碳储量及碳密度  
Table 2 Biomass, carbon stock and density of different forest types

林型	2008 年		2013 年	
	碳储量 /10 <sup>6</sup> t	碳密度 /t·hm <sup>-2</sup>	碳储量 /10 <sup>6</sup> t	碳密度 /t·hm <sup>-2</sup>
针叶林	227.90	38.96	247.80	42.64
阔叶林	436.85	58.85	446.21	56.46
针阔混交林	71.27	49.02	81.29	52.28
经济林	19.73	11.85	25.13	11.85
灌木林	40.38	9.29	28.76	9.29
竹林	2.18	23.73	2.62	23.73
合计(平均)	798.31	49.98	831.81	39.78

森林植被碳储量估算结果显示, 各林型(除灌木林外)的碳储量普遍增加, 总碳密度却明显降低, 其原因可能为如表 3 所示。不同龄组的人工林面积有明显增加, 且人工林面积增量在总林分面积增量中所占比重较大。由于人工林与天然林生理性差异, 人工林由幼龄发育成中龄及成熟林的时间较天然林更短, 同时, 人工林各龄组碳密度普遍低于天然林各龄组, 从而导致总森林面积增加, 森林植被总体碳密度却降低。

表 3 不同起源、不同龄组的森林类型在第七、第八次森林资源调查中的面积  
Table 3 Forest areas of different origin, different age and different forest types in two surveys

	起源	合计	幼龄林	中龄林	成熟林
森林林分	第七次调查/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	147 270	56 385	39 491	51 394
	第八次调查/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	152 695	55 317	47 404	56 144
	变化率/%	3.68	-1.91	20.44	9.52
人工林	第七次调查/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	15 450	6 861	5 469	3 120
	第八次调查/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	19 577	7 677	6 862	5 038
	变化率/%	27.78	12.49	27.00	65.78
天然林	第七次调查/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	131 820	49 524	34 022	48 275
	第八次调查/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	133 118	45 640	36 372	51 106
	变化率/%	1.06	-8.55	7.60	6.51

本研究中, 第八次全国森林资源连续调查碳储量估算结果, 与李世东等 2013 年出版的《中国生态状况调查—森林植被碳储量动态变化研究》中关于在 2009-2013 年云南省森林碳储量将达到 913.24×10<sup>6</sup> t 的预测存在一定差异<sup>[12]</sup>, 差异幅度 9.79%, 且森林碳储量年均增长率仅为 0.84%。根据第八次全国森林资源清查数据、第二次土壤普查的土地评价<sup>[5]</sup>及对比表 2 等, 森林病虫害、森林火灾和当地的宜林地面积及其社会对土地的需求, 都可能制约该地区森林植被碳储量。云南省森林面积的年均增长呈现下滑趋势, 在满足常用耕地及各类建设用地情况下, 依靠不断扩大森林面积增加森林碳储量的方式, 已经不再适合云南碳汇项目的发展建设。

3.2 不同起源、不同龄组的森林类型的碳储量变化及分析

从表 4 可以看出, 云南省森林林分总碳储量在 2008 年为  $736.02 \times 10^6$  t, 至 2013 年增至  $775.30 \times 10^6$  t, 变化率为 5.34%; 人工林碳储量由  $29.45 \times 10^6$  t 增长至  $45.73 \times 10^6$  t, 变化率达 55.28%; 天然林碳储量却只增加了  $23.02 \times 10^6$  t, 增长率为 3.26%。

表 4 不同起源、不同龄组的森林类型的碳储量及碳密度变化  
Table 4 Carbon storage and density of forest with different origin, different age and different forest types in two surveys

起源		合计		幼龄林		中龄林		成熟林	
		碳储量 /10 <sup>6</sup> t	碳密度 /t·hm <sup>-2</sup>	碳储量 /10 <sup>6</sup> t	碳密度 /t·hm <sup>-2</sup>	碳储量 /10 <sup>6</sup> t	碳密度 /t·hm <sup>-2</sup>	碳储量 /10 <sup>6</sup> t	碳密度 /t·hm <sup>-2</sup>
森林林分	第七次调查	736.02	49.97	130.20	23.09	165.92	42.01	439.88	85.59
	第八次调查	775.30	50.77	132.51	24.85	184.48	38.92	458.32	81.63
	变化率/%	5.34	1.60	1.77	7.62	11.19	-7.36	4.19	-4.63
人工林	第七次调查	29.45	19.06	5.95	8.68	10.93	19.99	12.57	40.28
	第八次调查	45.73	23.36	8.74	11.39	16.32	23.79	20.67	41.02
	变化率/%	55.28	22.56	46.89	31.22	49.31	19.01	64.44	1.84
天然林	第七次调查	706.56	53.60	124.24	25.09	155.01	45.56	427.31	88.52
	第八次调查	729.58	54.81	123.77	27.12	168.16	46.23	437.66	85.64
	变化率/%	3.26	2.26	-0.38	8.09	8.48	1.47	2.42	-3.25

不同起源的成熟林碳储量远大于中龄林和幼龄林的(表 4), 天然林碳储量远大于人工林的。由于人工林与天然林的生理性差异, 人工林的生长速度快, 由幼龄林发育成中龄林及成熟林的时间较天然林更短, 在快速增加碳储量方面更具优势, 这可能也是人工林在第七、八次调查中碳储量明显增加的主要原因。因此, 云南省在发展森林植被碳储量时, 应适当发展部分人工林, 增加森林植被碳储量。

2008 年和 2013 年, 云南省各森林类型的不同龄组(除天然林中的幼龄林)碳储量都有了普遍增加。人工林各龄组间碳储量变化明显, 平均变化率为 55.28%; 天然林总增长量为 3.26%, 幼龄林碳储量出现负增长, 变化率为-0.38%。天然林中中龄林及成熟林碳储量总增加  $23.51 \times 10^6$  t。森林林分平均碳密度增加  $0.80 \text{ t} / \text{hm}^2$ , 增长率为 1.60%, 总林分与天然林中成熟林碳密度变化明显, 面积增加却负增长。原因可能是不同林型间的碳密度存在差异、森林病虫害、森林火灾等对部分碳密度较大的林型造成较大的损失。

由表 4 可知, 各林型中, 成熟林碳储量最大, 中龄林的次之, 幼龄林的最小, 此结果与李亮<sup>[13]</sup>的幼龄林碳储量大于中龄林碳储量的观点存在不同。由于依靠增加森林面积提高碳储量方式的减少, 幼龄林的年增长量降低, 龄组碳储量相应减少。随时间推移, 幼龄林逐渐向中龄林过渡, 中龄林碳储量增加而幼龄林碳储量减少。

3.3 优势树种(组)的碳储量及分析

表 5 优势树种(组)的碳储量及碳密度  
Table 5 Carbon storage and density of dominant tree species in two surveys

林种	第七次森林资源连续调查			第八次森林资源连续调查		
	优势树种(组)	碳储量/10 <sup>6</sup> t	碳密度/t·hm <sup>-2</sup>	优势树种(组)	碳储量/10 <sup>6</sup> t	碳密度/t·hm <sup>-2</sup>
森林林分	栎类	159.21	71.66	阔叶混	273.20	53.97
	阔叶混	114.14	47.67	栎类	117.60	75.40
	云南松	101.64	32.74	云南松	113.76	37.57
人工林	杉木	8.27	23.30	杉木	9.64	23.30
	华山松	6.01	23.64	华山松	8.12	32.56
	云南松	5.24	22.73	桉树	7.87	26.84
天然林	栎类	159.21	71.66	阔叶混	272.27	54.40
	阔叶混	113.81	48.10	栎类	117.60	75.40
	云南松	96.40	33.54	云南松	107.84	38.41

不同起源及各优势树种(组)生长特性不同, 扩展因子、木材密度及含碳率等存在差异, 使各优势树种(组)的碳储量及碳密度在不同起源的林型间也存在一定差异。从表 5 可以看出, 森林林分碳储量最多的优势树种(组)与天然林碳储量最多的优势树种(组)相同, 且碳储量排名一直在前; 阔叶混交林碳储量增长明显, 栎类碳储量呈负增长。

在人工林中, 桉树碳储量及碳密度明显增加, 由  $1.66 \times 10^6$  t 增至  $7.87 \times 10^6$  t, 碳密度由  $6.91 \text{ t} / \text{hm}^2$  增至  $26.84 \text{ t} / \text{hm}^2$ ; 云南松碳储量由  $5.24 \times 10^6$  t 增加至  $5.93 \times 10^6$  t。

对比各优势树种(组)碳储量和碳密度变化, 可以看出, 阔叶混交林的碳密度明显高于部分优势树种(组)的碳密度, 且碳储量含量高, 因此混交林在扩大森林植被碳储量方面具有一定优势。

## 4 结论

根据第七、第八次全国森林资源连续清查数据,利用生物量扩展因子法,采用改良的计算参数,从不同龄组、林型、起源、优势树种等对云南省森林植被碳储量及碳密度进行计算分析,并由此对云南省森林植被碳储量的发展方向提出来相应建议。

云南省森林植被总碳储量在 2008 年为  $798.31 \times 10^6$  t, 2013 年增至  $831.81 \times 10^6$  t; 所有森林林型(除灌木林)碳储量普遍增加,平均碳密度却有所降低,由第七次调查时的  $49.98 \text{ t/hm}^2$  降至第八次的  $39.78 \text{ t/hm}^2$ 。

2008—2013 年,云南省各森林类型的不同龄组(除天然林中的幼龄林)碳储量都有普遍增加。人工林碳储量由  $29.45 \times 10^6$  t 增长至  $45.73 \times 10^6$  t,各龄组碳储量变化明显,平均变化率 55.28%;天然林碳储量却只增加了  $23.02 \times 10^6$  t,增长率仅为 3.26%,幼龄林碳储量甚至出现负增长,为-0.38%,天然林中中龄林及成熟林碳储量都明显增加,共增加  $23.51 \times 10^6$  t。

对比数据显示 2013 年云南省森林面积增量显著,但森林植被碳储量增长缓慢,平均碳密度呈负增长。适当扩大人工林面积可增加碳储量,但森林面积的年均增长已经呈现下滑趋势,并且还得满足耕地及各类建设用地,因此,依靠不断扩大森林面积增加森林碳储量的方式,不再适合云南碳汇项目的发展。

云南省未来的碳储量变化,将减少扩大森林面积增加碳储量的方式,幼龄林的面积年增长量降低,龄组碳储量相应减少,同时,随时间推移,幼龄林逐渐向中龄林、成熟林过渡,使中龄林、成熟林碳储量增加而幼龄林碳储量减少。中龄林、成熟林碳储量将成为云南省碳储量的主体;套种乡土树种将替代单一树种,混交林可能取代单一林型,成为森林植被碳储量的主体。

## 参考文献:

- [1] 潘维伟,李利村,高正衡. 两个不同地域类型杉木林的生物产量和营养元素分布[J]. 中南林业科技, 1979, (4): 1-14.
- [2] 王效科,冯宗炜,欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 13-16.
- [3] 王雪军,黄国胜,孙玉军,等. 近 20 年辽宁省森林碳储量及其动态变化[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4 757-4 764.
- [4] 叶金盛,余光辉. 广东省森林植被碳储量动态研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2010, 34(4): 7-12.
- [5] 李灿光,普永宏,杨锦霞,等. 云南资料大全[M]. 昆明: 云南人民出版社, 2006, 2-73
- [6] 何英. 森林固碳估算方法综述[J]. 世界林业研究, 2005, 18(1): 22-27.
- [7] 张洪武,罗令,牛辉陵,等. 森林生态系统碳储量研究方法综述[J]. 陕西林业科技, 2010(6): 45-48.
- [8] 赵林,殷鸣放,陈晓非,等. 森林碳汇研究的计量方法及研究现状综述[J]. 西北林学院学报, 2008, (1): 59-63.
- [9] 程鹏飞,王金亮,王雪梅,等. 森林生态系统碳储量估算方法研究进展[J]. 林业调查规划, 2009, (6): 39-45.
- [10] 方精云,陈安平,赵淑清,等. 中国森林生物量的估算: 对 Fang 等 Science 一文(Science, 2001, 291: 2 320~2 322)的若干说明[J]. 植物生态学报, 2002, 26(2): 243-249.
- [11] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, 16(5): 498-508.
- [12] 李世东,胡淑萍,唐小明. 中国生态状况调查—森林植被碳储量动态变化研究[M]. 北京: 科技出版社, 2013. 216-217.
- [13] 李亮. 云南省 1992-2007 年森林植被碳储量动态变化及其碳汇潜力分析[D]. 云南财经大学, 2012.