

云南省临沧市膏桐能源林造林碳汇计量*

欧光龙 唐军荣 王俊峰 杨绍辉 胥辉**

(西南林业大学国家林业局西南地区生物多样性保育重点实验室 昆明 650224)

摘要 依据《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》,对云南省临沧市膏桐能源林造林项目2007年和2008年的造林进行碳汇计量,计量时间为2007~2027年。结果表明,项目在2007~2016年表现为碳源,且以2010年最大,为-210 710 t CO₂当量;从2017年开始有碳汇,该年净碳汇量为9 320.24 t CO₂当量,到2027年达到812 996.65 t CO₂当量。从年际变化来看,2007~2010年均均为负增长,2011年年变化量开始为正,并于2020年达到年增长量最大,为131 267.49 t CO₂当量。图4 表2 参26

关键词 膏桐;能源林;碳汇;造林;云南省临沧市

CLC S727.405

Carbon Accounting of *Jatropha curcus* Energy Forest in Lincang, Yunnan, China*

OU Guanglong, TANG Junrong, WANG Junfeng, YANG Shaohui & XU Hui**

(Key Laboratory of Biodiversity Conservation in Southwest China, State Forest Administration, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract According to the Guidelines for Carbon Accounting and Monitoring (China Green Foundation), carbon accounting of afforestation project carried out in *Jatropha curcus* energy forest in Lincang, Yunnan, China was estimated, and the accounting period would last from 2007 to 2027. The result showed: 1) From 2007 to 2016 the forest would be a carbon source, and the net carbon removals by sink would be the largest in 2010 with the value of -210 710 t CO₂e (Carbon dioxide equivalent, the same below). And it would be a carbon sink from 2017 to 2027, and the net carbon removal by sink would be 9 320.24 t CO₂e; 2) the carbon variation would be negative from 2007 to 2010, and the annual variation be positive from 2011 to 2027 and the project net carbon removals by sink be the largest in 2020 with the value of 131 267.49 t CO₂e. Fig 4, Tab 2, Ref 26

Keywords *Jatropha curcus*; energy forest; carbon; afforestation; Lincang city of Yunnan province

CLC S727.405

气候变化目前已成为最重要的全球环境问题之一,直接影响着自然生态系统以及社会经济系统^[1],全球气温在过去的一个世纪(1906~2005年)已经上升0.7℃,并且预计在21世纪会升高1.8~4.4℃^[2]。森林生态系统作为一个重要的碳库,其碳增汇成为碳减缓的一个重要途径,日益受到国际社会的广泛关注^[3],国际上以IPCC为主开展了广泛的林业碳汇计量研究,积累了大量的计量方法^[4];在国内也开展了碳汇方面的研究。Wu等得到中国土壤有机碳储量为70.31 PgC,占全世界的4.7%^[5];Houghton等研究了土地利用变化对中国碳汇的影响^[6],陈泮勤等总结了我国陆地生态系统碳源汇时空格局、增汇技术措施和潜力及碳减排方案等^[7]。

在森林碳汇和碳储量估算方面,Fang等采用生物扩展因子法研究了我国1949~1998年间森林碳储量变化^[8],Zhang等发展其方法对我国森林的生物量变化进行了进一步研究^[9];方精云等还对我国1981~2000年森林、草地、灌草丛及农作物等陆地植被的碳汇进行了估算^[10];王效科等利用生物清单法这种方法对各森林生态系统类型的幼龄林、中龄林、

近熟林、成熟林和过熟林的植物碳贮存密度进行估算,再根据相应森林类型的面积得到中国各森林生态系统类型的植物碳贮量,最后得出中国森林生态系统现存的植物碳贮量^[11];李意德等采用蓄积量法对海南南部热带森林的碳库总量进行了估算,得出海南热带天然林(含原始林和天然更新林)的碳素库总量为0.719~0.734亿t,云南南部热带天然林的碳素库总量在0.653亿t以上,并进一步估算出我国热带林目前的碳总量在1.372~1.387亿t以上^[12];康惠宁等采用蓄积量法对中国森林固碳的现状和潜力进行了估计和预测^[13];其它还有一些学者采用涡轮相关法、涡度协方差法和驰豫涡旋积累法等方法对森林碳汇进行过估算^[14]。

在林业碳汇项目及其计量方面,2004年国家林业局碳汇管理办公室在广西、内蒙古、云南、四川、山西和辽宁启动了林业碳汇试点项目,2005年广西项目成为全球第一个被批准的CDM造林再造林项目方法学,并于2006年获CDM执行理事会批准项目实施^[15];张小全、武曙红等对林业碳汇项目尤其是CDM项目的一些概念、实施中的一些具体问题进行分析 and 探讨^[16-21];李怒云等在碳汇项目管理和我国林业碳汇政策方面进行了阐述和研究^[22-24]。此外,2008年国家林业局应对气候变化和节能减排工作领导小组办公室牵头组织相关专家参考了IPCC、温洛克国际以及CDM执行理事会批准的有关CDM造林再造林碳汇项目活动的基线方法和监测方法学、适用工具等,出版了《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》,指导相关造林项目的碳汇计量与监测工作^[25]。

收稿日期:2009-12-01 接受日期:2010-01-06

*“十一五”国家重大科技支撑计划课题(No. 2007BAD32B02)和中国绿色碳基金云南省临沧市膏桐能源林碳汇计量与监测项目资助 Supported by the Key Sci-tech Pillar Project of the “11th 5-Year Plan” of China (No. 2007BAD32B02) and the Project of Carbon Accounting and Monitoring of *Jatropha curcus* Energy Forest in Lincang City from China Green Foundation

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: zyxy213@126.com)

膏桐是一种重要的可开发的生物能源树种,目前云南省规划于2006~2015年培育以膏桐为主的66.7万hm²原料林基地,形成年产约200万吨生物柴油、产值超过30亿元的新兴产业^[26]。该树种具有耐旱、耐土地贫瘠等特性,且规划种植区多位于西南干热河谷等困难造林地段,因此对这一生态脆弱地区生态恢复起着积极作用。同时,膏桐能源林会产生一定的碳汇效益。本研究即以云南省临沧市膏桐能源林项目为例,依据《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》,对项目区2007年和2008年营造的膏桐能源林进行碳汇计量,以期能为能源林及相关造林项目碳汇计量及监测等提供借鉴。

1 研究区概况

临沧市位于云南省西南部,北回归线横贯南部,东邻思茅,北连大理,西接保山,西南与缅甸交界,位于北纬23°05′~25°03′、东经98°41′~100°32′,土地总面积2.4万km²,总人口约226.5万人。临沧市主要受印度洋暖湿气流和西南季风的影响,四季之分不明显,但干湿季分明,雨水较多,日照时间长,年平均日照时数在2 000 h以上,霜期较短,部分地区终年无霜;立体气候明显,山区年平均气温为13~15℃,中海拔坝区为16~18℃,低海拔河谷地区在19℃以上。从各县情况看,临翔、凤庆、永德、沧源气候温和,四季如春,年平均气温16.5~17.5℃,云县、双江、耿马和镇康四县气候炎热,年平均气温在18~20℃,夏季较长,无明显冬季。

项目区涉及临沧市4个县,即双江县、镇康县、云县和永德县。

2 研究方法

本研究依据《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》^[25]和项目区各县膏桐能源林造林作业设计,对云南省临沧市膏桐能源林碳汇进行计量。项目时间为2007~2027年。

2.1 土地合格性审查和碳库选择

利用3S技术,依据《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》,根据2000年1月1日前必须为无林地的要求^[25],对项目造林地进行土地合格性审查,确定项目边界和造林地各地块面积(土地合格性审查结果见表1)。结合实地踏查情况,确定项目区碳库分为地上部分碳库和地下部分碳库,其中地上部分碳库分为灌木层碳库和草本层碳库。土壤有机碳库不予计量。

2.2 碳储量变化研究方法

2.2.1 基线碳储量变化 基线情境下,可以合理假定土壤有

机碳、枯落物和枯死木碳库处于稳定状态或退化状态,即这3个碳库的碳储量将保持不变或继续降低^[25]。计量时可以假定这3个碳库的碳储量变化为零,只考虑散生木生长引起的碳储量变化,而项目实施时保留散生木,对散生木的碳储量不予计量。因此可以假定基线情境下碳储量变化为零。

2.2.2 项目碳储量变化 通过膏桐的生物量增长曲线及其生物量地上部分与地下部分比值[膏桐生物量增长模型引自《中国绿色碳基金云南省临沧市膏桐能源林碳汇计量报告》,未发表。模型为 $B = \frac{1}{1/30000 + 0.013(0.628^A)}$ (B-膏桐生物量, A-年),地上部分和地下部分的比值为2.43],预测膏桐林分的生物量变化。林分碳储量变化预测假定膏桐存活率或保存率85%预测(生物量转换成碳储量生物扩展因子采用IPCC默认值0.5)。

由于项目实施将去除一定的原有植被,原有植被有灌木林地、荒草地和耕地3种类型,耕地碳储量忽略不计,不予扣减,因此只需在测定并计算原有植被生物量中的灌木层和草本层碳储量(其中灌木层地上部分单位面积生物量为8.26 t/hm²,地下部分为3.66 t/hm²;草本层地上部分为5.64 t/hm²,地下部分为3.20 t/hm²) (数据引自《中国绿色碳基金云南省临沧市膏桐能源林碳汇计量报告》,未发表),生物量转换成碳储量生物扩展因子采用IPCC默认值0.5。

碳排放计量依据《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》。碳排放主要是造林和抚育管理中施用化肥产生的排放,其计量仅考虑因施用含氮肥料引起的N₂O排放,包括基肥施用和抚育管理中的追肥引起的N₂O排放。施用化肥有复合肥和普钙,其中复合肥含氮25%,普钙不含氮。

碳泄露计量依据《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》。碳泄露主要是造林、补植补造及抚育管理过程中苗木和化肥运输,运输工具均为农用运输车,运输车耗油量采用12 L/100 km;农用运输车使用柴油,柴油的燃烧值采用0.043 GJ/L,CO₂排放因子值选用0.0741 t/GJ。

项目净碳汇量为林分碳储量减去原有植被的碳储量、项目产生的排放量、项目泄漏量和基线碳储量变化量的和。

3 结果与分析

3.1 林分碳储量变化

林分总碳储量按照地下部分和地上部分分别计量。2007年项目林分地上部分碳储量为1 209.00 t CO₂e,地下部分碳储量为497.53 t CO₂当量,总碳储量为1 706.53 t CO₂当量;2008年林分总碳储量为5 979.68 t CO₂当量,到2012年林分总碳储量达到37 400.45 t CO₂当量,2017年达296 043.99 t CO₂当量,

表1 项目区土地合格性审查结果
Table 1 Result of qualified afforestation land

县份 Town	造林年份 Afforestation year	合格小班 Qualified subcompartment		不合格小班 Unqualified subcompartment	
		A/hm ²	数量 No.	A/hm ²	数量 No.
双江 Shuangjiang	2007	1900.87	139	1813.79	111
	2008	2430.97	172	611.68	38
镇康 Zhenkang	2007	3490.65	1153	260.33	39
	2008	566.67	42	140.87	10
永德 Yongde	2008	2223.00	480	50.33	3
云县 Yunxian	2008	5106.67	480	226.67	21
合计 Total		15718.83	2466	3103.67	222

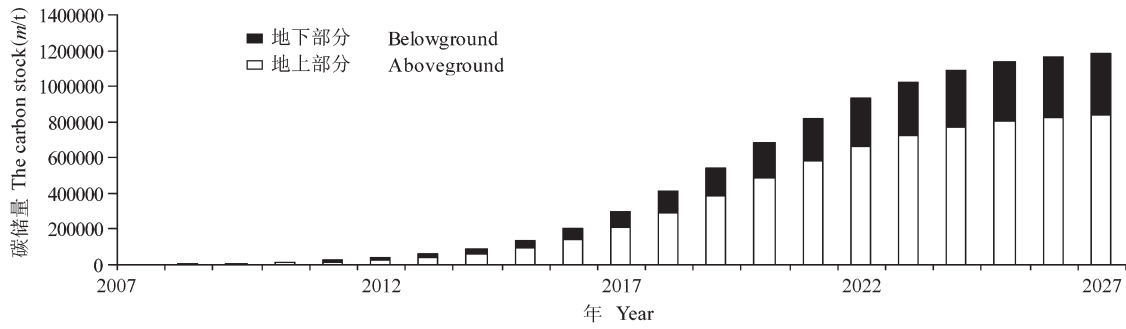


图1 项目林分碳储量变化

Fig. 1 The annual carbon stock of stand forest

表2 原有植被去除产生的碳储量变化情况
Table 2 The carbon stock change by removal of previous vegetation

类型 Type	地上部分 Aboveground		地下部分 Belowground		合计 Total	
	含碳量 Carbon content (C, m/t)	碳储量 Carbon storage (CO ₂ e, m/t)	含碳量 Carbon content (C, m/t)	碳储量 Carbon storage (CO ₂ e, m/t)	含碳量 Carbon content (C, m/t)	碳储量 Carbon storage (CO ₂ e, m/t)
草本层 Herb layer	18141.62	66519.27	10293.12	37741.44	28434.74	104260.71
灌木层 Shrub layer	18889.96	69263.19	8370.13	30690.48	27260.09	99953.66
合计 Total	37031.58	135782.46	18663.25	68431.92	55694.83	204214.38

2022年增至931 255.62 t CO₂当量，到2027年，项目林分碳储量达到1186 820.76 t CO₂当量（图1）。

3.2 原有植被的去除

原有植被地上部分和地下总含碳量分别为37 031.58 t 和18 663.25 t，总含碳量达到55 694.84 t，折合碳储量为204 214.38 t CO₂当量（表2）。

3.3 项目碳排放变化

从图2中可以看出，2007年因为只有双江和镇康两县造林，且使用的为无氮复合肥，故化肥施用排放为0 t CO₂当量；2008年施肥产生排放为3 737.74 t CO₂当量，2009~2027

年每年均为8 567.72 t CO₂当量，到2027年的总排放量为166 524.46 t CO₂当量。

3.4 项目碳泄露变化

造林项目引起的泄露主要考虑使用运输工具燃烧化石燃料引起的CO₂排放。泄露包括造林与补植补造中苗木和化肥运输，以及抚育管理中化肥运输工具的使用。

从图3中可以看出，2007年仅涉及两个县造林，其泄露值为107.39 t CO₂当量，2008年涉及2007年造林地的补植补造、抚育管理和2008年造林，其总的泄露值为255.17 t CO₂当量，2009年涉及补植补造苗木运输和抚育管理化肥运输，其产生

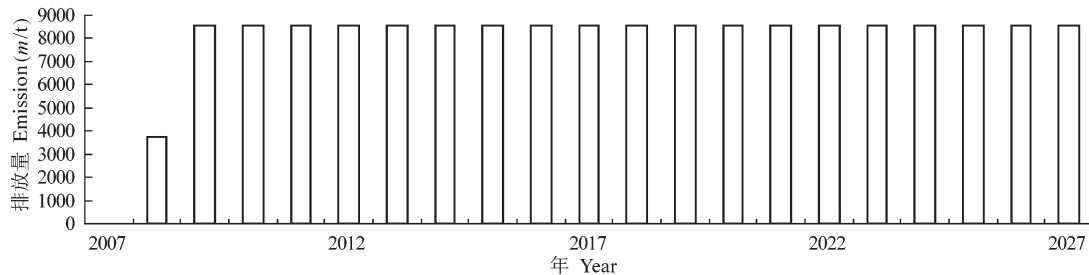


图2 项目年际碳排放变化

Fig. 2 Annual carbon emission of the project

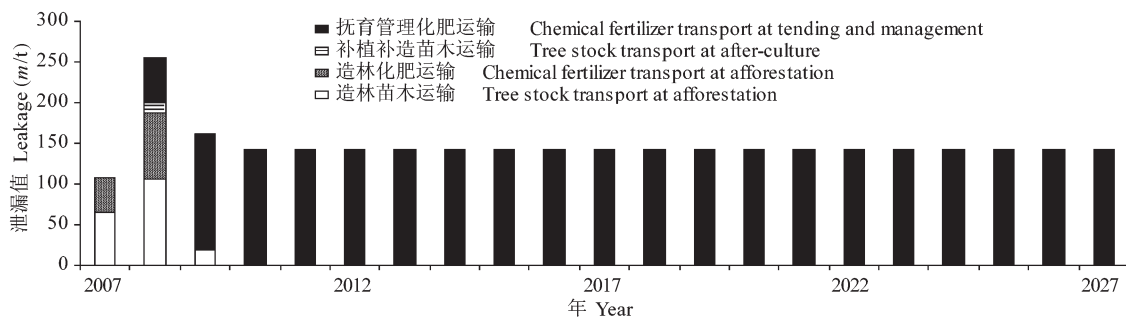


图3 项目年际碳泄露变化

Fig. 3 Annual carbon leakage of the project

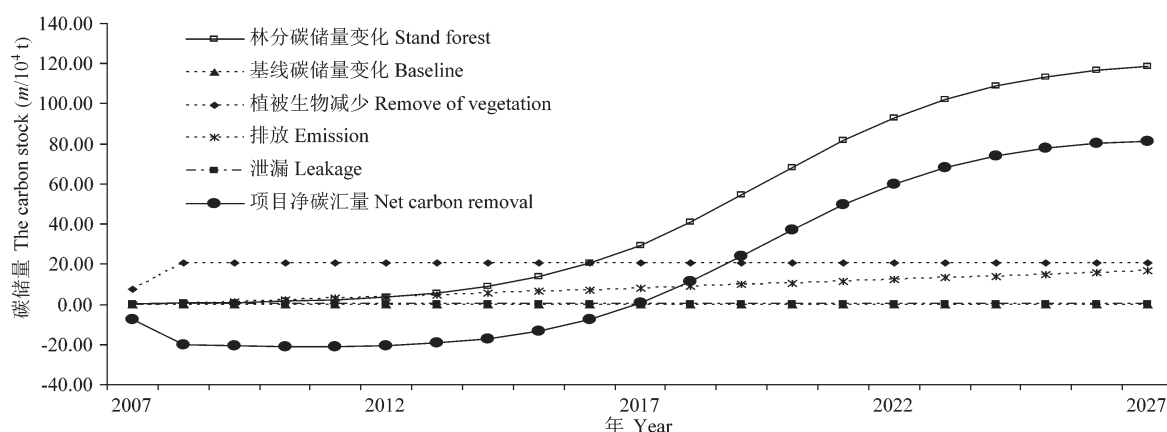


图4 项目区碳储量变化
Fig. 4 The change curve of carbon storage in study area

的泄漏值为161.06 t CO₂当量, 2010~2027年均均为抚育管理化肥运输产生的泄漏, 其值为每年142.31 t CO₂当量。

3.5 项目净碳汇量

从图4中可以看出, 项目2007~2016年均均为碳源, 且以2010年最大, 为-210 710 t CO₂e, 从2017年开始有碳汇, 项目净碳汇量为9 320.24 t CO₂当量, 到2027年达到812 996.65 t CO₂/a. 从年际变化来看, 2007~2010年均均为负增长, 2011年年变化量开始为正, 并于2020年达到年增长量最大, 为131 267.49 t CO₂/a.

4 结论与讨论

依据《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》的计量方法, 对2007年和2008年云南省临沧市膏桐能源林造林项目进行碳汇计量, 项目年净碳汇量2007~2010年均均为负增长, 2011年年变化量开始为正, 并于2020年达到年增长量最大, 为131267.49 t CO₂/a. 项目累计碳汇量在2007~2016年均均为碳源, 且以2010年最大, 为-210 710 t CO₂当量; 从2017年开始有碳汇, 值为9 320.24 t CO₂当量, 到2027年达到812 996.65 t CO₂/a.

项目营造以采收种子为目的的膏桐能源林, 没有砍伐等活动引起的碳排放, 因此该造林项目比以取得木材和薪炭的造林项目具有一定的优势; 采用《中国绿色碳基金造林项目碳汇计量与监测指南》中的计量方法, 与CDM项目在造林地定义等方面有所不同, 但研究所采用的方法是基于计量的相关原则, 计量结果也可为其它地区的膏桐能源林营造项目及其它造林提供参考和借鉴; 此外, 本研究对项目区造林项目碳汇进行估算和预测, 项目碳汇也存在一定的不确定性, 如可能发生的森林火灾、病虫害等, 抚育管理实施情况、膏桐产业发展前景等都对项目碳汇产生一定影响, 这些不确定性需要开展进一步碳汇监测研究。

致谢 本研究得到国家林业局应对气候变化办公室和中国绿色基金会的大力支持, 在野外调查和数据收集中得到云南省双江县林业局、镇康县林业局、永德县林业局和云县林业局有关同志的帮助和支持。

References

1 Ravindranath N, Sathaye J. *Climate Change and Developing Countries*.

Dordrecht, Netherlands: Kluwer, 2002

2 IPCC. 4th Assessment Report Climate Change, 2007

3 Wei DS (魏殿生). *Afforestation and climate change—a study on carbon sink*. Beijing: China Forestry Publishing House (北京: 中国林业出版社), 2003

4 Li NY (李怒云), Nü J (吕佳). *Carbon Inventory Methods*. Beijing: China Forestry Publishing House (北京: 中国林业出版社), 2009

5 Wu H, Guo Z, and Peng C. Distribution and storage of soil organic carbon in China. *Global Biogeochem Cycles*, 2003, **17** (2): 1048

6 Houghton RA, Hackler JL. Sources and sinks of carbon from land-use change in China. *Global Biogeochem Cycles*, 2003, **17** (2): 1034

7 Chen PQ (陈泮勤), Wang XK (王效科), Wang LM (王礼茂). *Carbon budget and its sink promotion of terrestrial ecosystem in China*. Beijing: Science Press (北京: 科学出版社), 2008

8 Fang J, Chen A, Peng C, Zhao S, Ci L. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, **292**: 2320~2322

9 Zhang X, Xu D, Fang J, Chen A, Zhao S, Ci L. 2002. Calculating Forest Biomass Changes in China. *Science*, **296**:1359

10 Fang JY (方精云), Guo ZD (郭兆迪), Piao SL (朴世龙), Chen AP (陈安平). Estimation of terrestrial vegetation from 1981 to 2000 in China. *Sci China Ser D: Earth Sci* (中国科学D辑: 地球科学), 2007, **37** (6): 804~812

11 Wang XK (王效科), Feng ZW (冯宗炜). The potential to sequester atmospheric carbon through forest ecosystems in China. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 2000, **19** (4): 72~74

12 Li YD (李意德), Zeng QB (曾庆波), Wu ZM (吴仲民), Zhou GY (周光益), Chen BF (陈步峰). Estimation of amount of carbon pool in natural tropical forest of China. *For Res* (林业科学研究), 1998, **11** (2): 156~162

13 Kang HN (康惠宁), Ma QY (马钦彦), Yuan JZ (袁嘉祖). Estimation of carbon sink function of forests in China. *Chin J Applied Ecol* (应用生态学报), 1996, **7** (3): 230~234

14 Zhao L (赵林), Yin MF (殷鸣放), Chen XF (陈晓非), Wang DQ (王大奇). Summary of the research methods of forest carbon sink accounting. *J Northwest For Univ* (西北林学院学报), 2008, **23** (1): 59~63

15 Li NY (李怒云). *China Forestry Carbon*. Beijing: China Forestry Publishing House (北京: 中国林业出版社), 2007

- 16 Zhang XQ (张小全), Hou ZH (侯振宏). Definitions of afforestation, reforestation and deforestation in relations to carbon accounting. *Sci Silv Sin* (林业科学) 2003, **39** (2): 145~152
- 17 Zhang XQ (张小全), Hou ZH (侯振宏). Definitions of forestry degradation, forestry management, devegetation and revegetation in relations to carbon accounting. *Sci Silv Sin* (林业科学) 2003, **39** (4): 140~144
- 18 Zhang XQ (张小全), Wu SH (武曙红). Guidelines for CDM afforestation and reforestation project in China. Beijing, China: China Forestry Publishing House (北京: 中国林业出版社), 2006
- 19 Wu SH (武曙红), Zhang XQ (张小全), Li JQ (李俊清). Analyses on leakage issues of forestry sequestration project. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 2006, **42** (2): 98~104
- 20 Wu SH (武曙红), Zhang XQ (张小全), Li JQ (李俊清). Baseline issues for forest-based carbon sink project on Clean Development Mechanism (CDM). *Sci Silv Sin* (林业科学), 2006, **42** (4): 112~116
- 21 Wu SH (武曙红), Zhang XQ (张小全). Analyses on non-permanence issues of CDM forestry project. *Sci Silv Sin* (林业科学). 2007, **43** (8): 123~126
- 22 Li NY (李怒云), Song WM (宋维明), Zhang SD (章升东). State and trend of forestry carbon sequestration management in China. *Green China* (绿色中国), 2005 (6): 23~26
- 23 Li NY (李怒云), Gong YZ (龚亚珍), Zhang SD (章升东). Forestry carbon sequestration projects in China-A synergized strategy of mitigation, adaptation and sustainable development. *World For Res* (世界林业经济), 2006, **19** (3): 1~5
- 24 Li NY (李怒云), Song WM (宋维明). Summary for climate change and forestry carbon sequestration policy under CDM in China. *For Econ* (林业经济), 2006 (5): 60~64
- 25 Office of Leading Group for Combating Climate Change, Energy Saving and Emissions Reduction, State Forestry Administration. Guidelines for carbon accounting and monitoring (China Green Foundation). Beijing: China Forestry Publishing House (北京: 中国林业出版社), 2008
- 26 Liu ED (刘二党). Yunnan: Efforts to promote the construction of *Jatropha curcas* biomass energy. *For China* (中国林业), 2007 (5): 24~25