

# 甘肃省化石能源碳足迹动态研究

马彩虹<sup>1,2</sup>

(1. 陕西理工学院 历史文化与旅游学院, 陕西 汉中 723001; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:**基于生态足迹思想提出碳足迹和碳承载力概念,对甘肃省 1995—2009 年化石能源消费的碳排放和植被的碳承载力进行定量分析。结果表明:甘肃省化石能源消费的碳足迹由 1995 年的  $2\,466.12\times 10^4\text{ t C}$  增长到 2009 年的  $4\,464.47\times 10^4\text{ t C}$ ;煤炭消费的碳足迹最大,其次为石油,天然气比重最小,2009 年的比重分别为 81.54%、15.20% 和 3.26%;碳承载力由 1995 年的  $1\,158.89\times 10^4\text{ t C}$  增长到 2009 年的  $1\,472.19\times 10^4\text{ t C}$ ,其中,森林的碳承载力最大,其次为草地,农田最小;甘肃省能源消费碳足迹远高于生产性土地的碳承载力。伴随着碳足迹的高增长率,碳赤字持续增大。

**关键词:**化石能源;碳足迹;碳承载力;甘肃省

中图分类号:X171.1;S718.5      文献标志码:A      文章编号:1001-7461(2013)01-0073-04

## Temporal Analysis on Carbon Footprint of Fossil Energy Consumption in Gansu Province

MA Cai-hong<sup>1,2</sup>

(1. College of History Culture & Tourism, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723001, China;  
2. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** The concepts of carbon footprint and carbon bearing capacity were introduced based on the idea of ecological footprint. Quantitative analysis was conducted on the carbon emission of the fossil energy and carbon bearing capacity of the vegetation in Gansu Province during 1995 to 2009. The results showed that the carbon footprint of the fossil energy consumption of the province increased from  $2\,466.12\times 10^4\text{ t C}$  in 1995 to  $4\,464.47\times 10^4\text{ t C}$  in 2009, in which coal consumption consisted the largest proportion, followed by petroleum and natural gas, which accounted for 81.54%, 15.20% and 3.26%, respectively in 2009. Carbon bearing capacity of the vegetation increased from  $1\,158.89\times 10^4\text{ t C}$  in 1995 to  $1\,472.19\times 10^4\text{ t C}$  in 2009, of which carbon capacity of forest was the largest, followed by grassland, and farmland, indicating that the carbon footprint caused by fossil energy consumption was much higher than carbon bearing capacity of productive land. With high growth rate of carbon footprint, carbon deficit increased continuously.

**Key words:** fossil energy; carbon footprint; carbon capacity; Gansu Province

自工业化时代以来,以化石燃料为主的传统能源消费所引起的碳排放是引起全球温室效应的主要人为原因<sup>[1-2]</sup>。哥本哈根气候大会中,中国政府提出了 2020 年全国单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%~45% 的目标。随着温室气体(主要是碳的化合物)对人类社会和生存环境的影响日

益突出,碳排放已成为研究热点。中国能源消费碳排放的研究,有基于国家尺度的,如齐玉春<sup>[3]</sup>等对中国能源领域温室气体排放现状及减排对策作了相关研究,赵荣欣<sup>[4]</sup>等对中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹作了分析,王铮<sup>[5]</sup>等作了最优增长路径下的中国碳排放估计;也有基于省级尺度的,如郭运

收稿日期:2012-02-29    修回日期:2012-03-20  
基金项目:黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-1214);陕西省软科学项目(20120KRM48);陕西省社会科学基金(11E056)。  
作者简介:马彩虹,女,讲师,博士,主要研究方向:GIS 与国土资源评价、生态经济与区域可持续发展。E-mail:mchyanni@yahoo.cn

功<sup>[6]</sup>等运用碳排放足迹的相关含义及研究方法对上海市能源利用碳排放足迹做了相关的研究;何介南<sup>[7]</sup>等对湖南省 2000—2005 年化石燃料消耗与工业生产过程中的碳排放量进行了估算;黄金碧和黄希金<sup>[8]</sup>对江苏省城市碳排放核算及减排潜力作了分析;赵荣钦和黄贤金<sup>[9]</sup>作了基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹。上述研究为碳足迹的核算及其影响因素分析提供了研究基础。甘肃省是我国内陆省份,研究其能源消费的碳排放效应,探究节能减排策略,对于同类省市具有借鉴意义。

1 研究区概况

甘肃省位于我国西部,能源种类较多,除煤炭、石油、天然气外,还有太阳能、风能等新能源。其中,石油可采储量为  $6 \times 10^8$  t,天然气探明储量  $31.57 \times 10^8$  m<sup>3</sup>。全省煤炭预测储量为  $1\,428 \times 10^8$  t。甘肃风能资源丰富,总储量为  $2.37 \times 10^8$  kW,居全国第 5 位。也是我国太阳能最为丰富的三个区域之一,各地年太阳总辐射值大约为  $4\,800 \sim 6\,400$  MJ · m<sup>-2</sup>。近年来,甘肃省经济增长较快,2009 年甘肃省财政收入完成  $604.01 \times 10^8$  元,同比增长 36.63%;全省财政支出  $1\,245.57 \times 10^8$  元,比上年增支  $277.13 \times 10^8$  元,增 28.62%。但是,伴随着经济的高速增长,能源的消费量也迅速增长。

2 材料与方法

以《中国能源统计年鉴》、《甘肃统计年鉴》和《中国人口统计年鉴》为依托,对 1995—2009 年甘肃省主要化石能源的碳足迹和植被碳承载力进行计算。

IPCC 法由联合国气候变化委员会提出,为国际通用的碳排放计算方法<sup>[10]</sup>。本文采用 IPCC 法定量测算碳排放的额度,基于生态足迹思想<sup>[11]</sup>,提出了碳足迹和碳承载力的概念。碳足迹定义为“某一区域在一定时间内排放温室气体的总量”。碳承载力定义为“某一地区或范围内所有生产性土地所能吸收的碳排放的量”。碳承载力的测算需要考虑绿色植被的碳吸收率,主要考虑森林、草地和农作物的碳吸收率。一定区域碳排放量与碳吸收量的差额即为碳赤字(若其值 > 零,为碳赤字;若其值 < 零,则为碳盈余。)计量模型如下:

$$Ch = \sum Qh_i \times NCV_i \times \frac{1}{1\,000} \times (Cf_i \times \frac{12}{44} + Mf_i \times \frac{12}{16})$$

(1)

$$CC_w = \sum (CC_f + CC_g + CC_p)$$

(2)

$$CC_i = M_i \times NEP_i$$

(3)

$$CD_w = CF_w - CC_w$$

(4)

式中,Ch 为化石能源碳排放额;Qh<sub>i</sub> 表示第 i 种化石能源消费量;NCV<sub>i</sub> 为能源净发热值(TJ · Gg<sup>-1</sup>, 1 Gg = 10<sup>9</sup> g);Cf<sub>i</sub> 和 Mf<sub>i</sub> 分别为缺省 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 排放因子;NCV<sub>i</sub>、Cf<sub>i</sub>、Mf<sub>i</sub> 均采用 IPCC 的给定值<sup>[12]</sup>。1/1 000 为单位换算系数;12/44、12/16 分别为 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 所含碳量的转化系数;CC<sub>w</sub> 为区域碳承载力;CC<sub>f</sub> 为森林固碳能力;CC<sub>g</sub> 为草地固碳能力;CC<sub>p</sub> 为农田固碳能力;CC<sub>i</sub> 为第 i 种生产性土地(植被)的固碳量;M<sub>i</sub> 为第 i 种生产性土地(植被)的面积;CD<sub>w</sub> 为区域碳赤字;NEP 为植被的固碳能力,即 1 hm<sup>2</sup> 的植被 1 a 能吸收的碳总量。各种植被的 NEP 采用谢鸿宇<sup>[13]</sup> 等人的研究结果,森林、草地、农田的值分别为 3.809 592、0.948 229、8.994 616 632 tC · hm<sup>-2</sup>。考虑到农作物的生长周期短,需要将其固碳能力乘一校正系数 R,本文暂定为 0.1。

3 结果与分析

3.1 碳足迹计算结果分析

甘肃省碳足迹呈上升趋势(图 1),由 1995 年的  $2\,466.12 \times 10^4$  tC 增长到 2009 年的  $4\,464.47 \times 10^4$  tC,年均增长率 7.07%。2009 年的碳足迹是 1995 年的 1.99 倍。其中,煤炭由  $1\,940.94 \times 10^4$  tC 增长为  $3\,640.34 \times 10^4$  tC;同期石油消费碳足迹由  $395.28 \times 10^4$  tC 增长为  $678.45 \times 10^4$  tC,天然气碳足迹由  $6.98 \times 10^4$  tC 增长为  $145.68 \times 10^4$  tC。天然气碳足迹年均增长率最高,其次为煤炭,石油最低。从消费结构分析,煤炭消费产生的碳足迹最大,其次为石油,天然气最小,2009 年的比重分别为 81.54%、15.20%和 3.26%(表 1)。研究时段内,甘肃省煤炭和石油碳足迹比重略有下降,天然气比重有较快提高。甘肃省的能源结构不符合低碳经济要求,以热值低、污染大的煤炭比重过高,新型清洁能源比重过小。

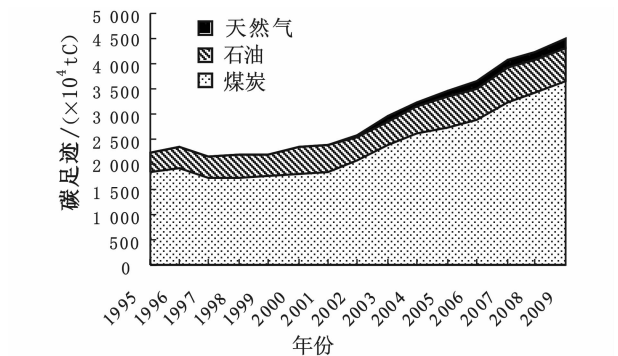


图 1 甘肃省化石能源碳足迹动态及构成  
Fig. 1 Trends of carbon footprint of fossil energy in Gansu Province and its structure

3.2 碳承载力计算结果分析

研究时段内,甘肃省的碳承载力是基本稳定不变,稍有增长,由 1995 年的 1 158.89 万 tC 增长到 2009 年的 1 472.19 万 tC。在 3 种生产性土地(植被)

表 1 甘肃省化石能源碳足迹及构成的比较

类别	1995 年		2009 年		年均增长
	碳足迹/( $\times 10^4$ tC)	百分比/%	碳足迹/( $\times 10^4$ tC)	百分比/%	率/%
煤炭	1 840.95	82.07	3 640.34	81.54	6.98
石油	395.28	17.62	678.45	15.20	5.12
天然气	6.98	0.31	145.68	3.26	141.83
合计	2 243.21	100.00	4 464.47	100.00	7.07

之中,森林的碳承载力最大,其次为草地,农田最小,是弱碳承载力类型。值得注意的是,森林的碳承载力数量在 2003 年以前基本保持在  $828.28 \times 10^4$  tC 的水平上,2004 年以后到达一个新的水平,估算在  $1\,141.47 \times 10^4$  tC 的水平上(图 2)。数值的突变,一方面可能与我们国家森林的统计口径变化有关系。另一方面,1999 年以后,我国实施了大面积的植树造林。幼林到成林即具有明显的碳汇能力需要 3—5 a 时间。甘肃省的森林碳承载力在 2004 年的明显变化可能与上述两个因素有关,反映出植树造林在碳承载力提高方面有较为明显的成效。

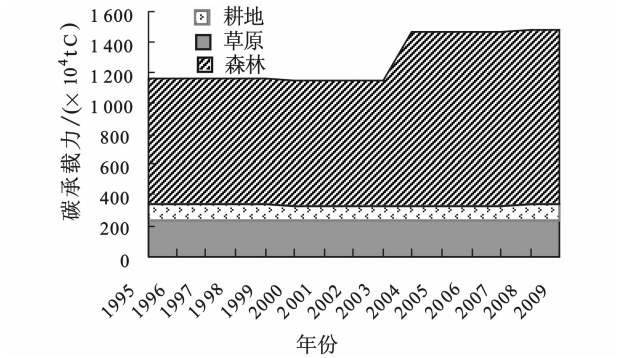


图 2 生产型土地的碳承载力  
Fig. 2 Carbon capacity of production land

3.3 碳赤字动态分析

研究时段内,甘肃省的能源消费造成的碳足迹远远高于生产性土地的碳承载力。伴随着碳足迹高速增长速率,碳赤字持续增大。尤其 2002 年以后,碳赤字的增长幅度快速提升(图 3)。因此,甘肃省降低碳赤字一方面需要考虑如何就降低碳足迹,另一方面要考虑如何提高碳承载力。

4 结论与讨论

4.1 结论

甘肃省能源消费的碳足迹由 1995 年的  $2\,466.12 \times 10^4$  tC 增长到 2009 年的  $4\,464.47 \times 10^4$  tC,年均增长率 7.07%;从化石能源消费结构角度分析,煤炭的碳足迹最大,其次为石油,天然气比重最

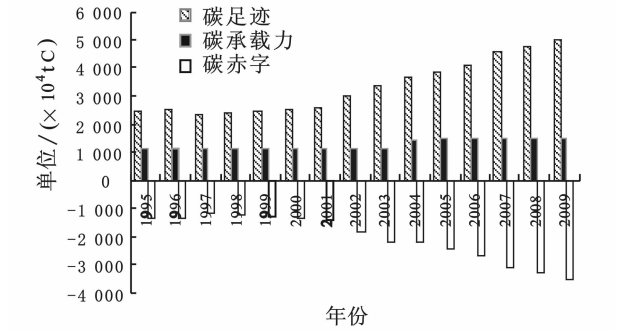


图 3 甘肃省碳足迹和碳承载力对比  
Fig. 3 Comparison of carbon footprint and carbon capacity in Gansu Province

小,2009 年的比重分别为 81.54%、15.20% 和 3.26%;碳承载力由 1995 年的  $1\,158.89 \times 10^4$  tC 增长到 2009 年的  $1\,472.19 \times 10^4$  tC,其中,森林的碳承载力最大,其次为草地,农田最小;能源消费造成的碳足迹远远高于生产性土地的碳承载力。伴随着碳足迹高速增长速率,碳赤字将持续增大。

甘肃省需要综合运用多种手段,有效控制碳排放。首先,优化化石能源消费结构问题是甘肃省降低碳排放的基本战略。如有序开展煤制天然气、煤制液体燃料和煤基多联产研发示范;加大天然气资源勘探开发力度,促进天然气产量快速增长;发展清洁高效、大容量燃煤机组;加强并网配套工程建设,有效发展风电;积极发展太阳能、生物质能、地热能等其他新能源。其次,大力倡导绿色、低碳消费理念。如建立低碳产品标准、标识和认证制度,建立完善碳气体排放核算制度;推行绿色采购,引导消费者购买生态产品等。第三,培育和加强森林的碳增汇能力。持续提高森林覆盖率、发展林业碳汇经济,应是甘肃省的长期战略。甘肃省可以结合 CDM 项目推进植树造林的实施<sup>[14]</sup>,实现森林资源产品结构、森林资源质量和森林生态系统功能的基本改善<sup>[15]</sup>,进一步提升森林植被的碳承载力。

参考文献:

[1] SOLOMON S,PLATTNER G K,KNUTTI R,et al. Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions[J]. PNAS,2009,

106(6):1704-1709.

[2] ROGER P J, WIGLEY T, GREEN C. Dangerous assumptions[J]. Nature, 2009, 452: 531-532.

[3] 齐玉春, 董云社. 中国能源领域温室气体排放现状及减排对策研究[J]. 地球科学, 2004, 24(5): 528-534.

QI Y C, DONG Y S. Emission of greenhouse gases from energy field and mitigation countermeasures in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(5): 528-534. (in Chinese)

[4] 赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋. 中国不同产业空间的碳排放强度与碳足迹分析[J]. 地理学报, 2010, 65(9): 1048-1057.

ZHAO R Q, HUANG X J, ZHONG T Y. Research on carbon emission intensity and carbon footprint of different industrial spaces in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(9): 1048-1057. (in Chinese)

[5] 王铮, 朱永彬, 刘昌新. 最优增长路径下的中国碳排放估计[J]. 地理学报, 2010, 65(12): 1559-1568.

WANG Z, ZHU Y B, LIU C X. Integrated projection of carbon emission for China under the optimal economic growth path[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(12): 1559-1568. (in Chinese)

[6] 郭运功, 汪冬冬, 林逢春. 上海市能源利用碳排放足迹研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(2): 103-108.

GUO Y G, WANG D D, LIN F C. Carbon footprint of energy use in Shanghai[J]. China Population Resources and Environment, 2010, 20(2): 103-108. (in Chinese)

[7] 何介南, 康文星. 湖南省化石燃料和工业过程碳排放的估算[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 28(5): 52-58.

HE J N, KANG W X. Estimation of carbon emissions from fossil fuel and industrial production from 2000 to 2005 in Hunan Province[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2009, 28(5): 52-58. (in Chinese)

[8] 黄金碧, 黄贤金. 江苏省城市碳排放核算及减排潜力分析[J]. 生态经济, 2012(1): 49-53.

HUANG J B, HUANG X J. Analysis of urban carbon reducing pressure and potential of Jiangsu Province[J]. Ecological Economy, 2012(1): 49-53. (in Chinese)

[9] 赵荣钦, 黄贤金. 基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. 地理研究, 2010, 29(9): 1640-1648.

ZHAO R Q, HUANG X J. Carbon emission and carbon footprint of different land use types based on energy consumption of Jiangsu Province[J]. Geographical Research, 2010, 29(9): 1640-1648. (in Chinese)

[10] 王微, 林剑艺, 崔胜辉, 等. 碳足迹分析方法研究综述[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(7): 71-78.

WANG W, LIN J Y, CUI S H, *et al.* An overview of carbon footprint analysis[J]. Environmental Science & Technology, 2010, 33(7): 71-78. (in Chinese)

[11] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity, what urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992(2): 121-130.

[12] EGGLESTON H S, BUENDIAL, MIWAK, *et al.* 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory[R]. Japan: Prepared by National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006.

[13] 谢鸿宇, 陈贤生, 林凯荣, 等. 基于碳循环的化石能源及电力生态足迹[J]. 生态学报, 2008, 28(4): 1729-1735.

XIE H Y, CHEN X S, LIN K R, *et al.* The ecological footprint analysis of fossil energy and electricity[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1729-1735. (in Chinese)

[14] 丁文广, 吴洋, 牛贺文, 等. 中国林业 CDM 项目发展现状及前景研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(1): 265-268.

DING W G, WU Y, NIU H W, *et al.* An analysis on the current development situation and the prospect of Chinese CDM program[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(1): 265-268. (in Chinese)

[15] 周宏斌, 封斌, 高保山, 等. 陕北沙区林业资源保护与可持续发展[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(4): 218-222.

ZHOU H B, FENG B, GAO B S, *et al.* Protection of forestry resources and sustainable development in Northern Shaanxi Sandy Areas[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008, 23(4): 218-222. (in Chinese)

[9]

黄金华. 马尾松木荷混交林采伐模式对土壤效应研究[J]. 防护林科技, 2004(2):7-9.  
HUANG J H. Study on effect of cutting model of masson pine and schima superba mixed forest on soil fertility[J]. Protection Forest Science and Technology, 2004(2):7-9. (in Chinese)

[10]

董林水, 陈礼光, 郑郁善, 等. 木荷马尾松混交林生物量与生产力的研究[J]. 江西农业大学学报, 2001, 23(2):244-247.  
DONG L S, CHEN L G, ZHENG Y S, *et al.* A study on the biomass and productivity of mixed plantations of *Schima superba* and *Pinus massoniana*sn[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2001, 23(2):244-247 (in Chinese)

[11]

郑郁善, 洪伟, 陈永芳, 等. 毛竹杉木混交林经营模式决策分析[J]. 福建林学院学报, 2000, 20(2):105-109.  
ZHENG Y S, HONG W, CHEN Y F, *et al.* Decision analysis of management pattern for mixed forest of Chinese-fir and *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens*[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 2000, 20(2):105-109. (in Chinese)

[12]

李振问, 李春林, 林长青. 杉木火力楠混交林的生态效益研究[J]. 福建林学院学报, 1992, 12(2):142-147.  
LI Z W, LI C L, LIN C Q. Study on ecological benefit in mixed stand of Chinese fir and maelur [J]. Journal of Fujian College of Forestry, 1992, 12(2):142-147. (in Chinese)

[13]

卢善土. 杉木山杜英混交林林分生产力及生态效益的研究[J]. 福建林学院学报, 1998, 18(4):348-351.

LU S T. A study on productivity and ecological benefit in mixed stand of Chinese fir and *Sylvestrial elaeocarpus*[J]. Journal of Fujian College of Forestry, 1998, 18(4):348-351. (in Chinese)

[14]

张任好. 福建含笑-杉木混交林生长状况及生态效益[J]. 林业科学研究, 1999, 12(5):544-547.  
ZHANG R H. Stand characteristics in mixed stand of michelia fujianensis and Chinese fir[J]. Forest Research, 1999, 12(5):544-547. (in Chinese)

[15]

刘春华. 杉木观光木混交林生长及生态效益分析[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(11):165-166, 79.

[16]

董建辉, 薛泉宏, 张建昌, 等. 黄土高原人工混交林土壤肥力及混交效应研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(3):31-3.  
DONG J H, XIE Q H, ZHANG J C, *et al.* Soil fertility characteristis and mixed effect of plantation forests on loess plateau [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(3):31-3. (in Chinese)

[17]

赵忠, 薛德自, 苏印泉, 等. 油松侧柏混交林效益及种间关系的研究[J]. 西北林学院学报, 1994, 9(1):12-17.  
ZHAO Z, XUE D Z, SU Y Q C, *et al.* Studies on the benefits and the relationship between tree species of mixed stands of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientali*[J]. Journal of Nothwest Forestry University, 1944, 9(1):12-17. (in Chinese)

(上接第 81 页)

[16]

万劲, 方升佐. 能源林的发展概述[J]. 现代农业科技, 2006(10):14-17.

[17]

BLISS L C. Caloric and lipid content in Alpine Tundra plants [J]. Ecology, 1962, 43(4):753-757.

[18]

范航清, 林鹏. 秋茄红树植物落叶分解的碎屑能量研究[J]. 植物学报, 1994, 36(4):305-311.  
FAN H Q, LIN P. Studys on detritus energy during the decomposition of *Kandelia* Candel leaf litter[J] Acta Botanica Sinica, 1994, 36(4):305-311. (in Chinese)

[19]

杨清培, 李鸣光, 李仁伟. 广东黑石顶自然保护区马尾松群落演替过程中的材积和生物量动态[J]. 广西植物, 2001, 21(4):295-299.  
YANG P Q, LI M G, LI R W. Studies on the dynamic succession of *Pinus masso-niana* community in Heishiding Natural Reserve[J]. Guihaia, 2001, 21(4):295-299. (in Chinese)

[20]

林瑞余, 谢锦升, 蔡丽平, 等. 木美红豆群落的能量现存量[J]. 南京林业大学学报:自然科学版, 2002, 26(1):37-40.

LIN R Y, XIE J S, CAI L P, *et al.* Standing crop of energy in *Ormosia xylocarpa* community[J]. Journal of Nanjing Forestry Unversity: Natural Science Edition, 2002, 26(1):37-40. (in Chinese)

[21]

张清海, 叶功富, 林益明. 东南滨海沙地主要造林树种的生物量与能量[J]. 南京林业大学学报:自然科学版. 2007, 31(3), 143-146.  
ZHANG Q H, YE G F, LIN Y M. Study on biomass and energy of main species plantation on the coast sandy in the South East of China[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Science Edition, 2007, 31(3), 143-146. 9(in Chinese)

[22]

李高扬, 李建龙, 王艳, 等. 优良能源植物筛选及评价指标探讨[J]. 可再生能源, 2007, 25(6):84-89.  
LI G Y, LI J L, WANG Y, *et al.* Study on the selection and evaluation on fine energy plants[J]. Renewable Energy Resources, 2007, 25(6):84-89. (in Chinese)