

综述与专论

# 生命周期评价法在我国生物质材料领域中的应用

姬晓迪 郭明辉\*

(东北林业大学生物质材料与技术教育部重点实验室, 哈尔滨 150040)

**摘 要** 生命周期评价(Life Circle Assessment, 简称 LCA)是一种面向产品的环境管理评估系统, 已纳入 ISO 14000 环境管理系列标准, 在我国生物质材料相关领域的应用始于本世纪。归纳了 LCA 在我国生物质材料方面的研究现状, 针对目前我国生物质材料方面 LCA 应用的不足, 提出了一些建议。

**关键词** 生命周期评价, 生物质材料, 环境, 影响

## Review of LCA's application to Chinese biomass material field

Ji Xiaodi Guo Minghui

(Key Laboratory of Bio-Based Material Science and Technology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040)

**Abstract** Life circle assessment (LCA), which was adapted by the ISO 14000 environmental management series, is a product oriented evaluation system on environmental management and was introduced into biomass material field in 2000s. LCA research in biomass material in China was summarized and put forward some suggestions according to LCA's shortages in biomass material field.

**Key words** life circle assessment, biomass material, environment, influence

根据国标 GB/T 24040—2008 定义<sup>[1]</sup>, 生命周期评价(LCA)指的是对一个产品完整的过程中输入、输出和潜在环境影响的汇编与评估, 即对一种产品、包装材料、生产方式、能源消耗、原材料和其它相关人类活动行为的全部环节, 包括原材料的获取、初加工、生产、包装、运输、消费、回收再利用以及最终处理等, 进行资源、能源和环境影响的分析、评估<sup>[2]</sup>。LCA 在我国得到了广泛的应用, 包括包装、纺织、化工、机电、建材、建筑、能源和运输等行业, 其在我国生物质材料领域的应用侧重于传统的木材加工行业。

### 1 生命周期评价体系

根据国家标准 GB/T 24040—2008, LCA 研究分为以下 4 个阶段: (1) 目标与范围的确定, 其范围取决于研究的对象和应用意图, 不同目的的 LCA, 其深度和广度可存在很大的差异; (2) 清单分析, 即将产品完整的过程中的资源消耗和环境影响进行量化, 分析它对所研究的体系中输入和输出数据建立清单的过程, 这一过程包括对满足研究目的的数据的收集; (3) 影响评价, 分为影响分类、特征化与评估 3 个步骤<sup>[3]</sup>, 影响的类型一般分为对人类健康、生态健康的影响和对资源的消耗, 它的目的是提供进一步的信息以帮助评价产品系统的清单分析结果, 从而更好地理解它们对环境影响的重

要性; (4) 解释, 它根据所定义的研究目标与范围, 总结和讨论清单分析与影响评价的结果, 为制定结论、建议与决策作基础<sup>[1]</sup>。

### 2 生命周期评价在我国生物质材料领域的应用

生命周期评价诞生仅仅几十年, 在我国更是只应用了大约十个年头, 其理论和应用研究便已经取得了长足的进展。但在生物质材料相关领域, LCA 才刚刚取得一些进展。

#### 2.1 生命周期评价在木材加工和家具行业的应用

我国研究人员开始从生命周期的角度分析木材的环境友好性。安徽农业大学的孙启祥分析了木材的特点与生命周期, 认为木材从来源、加工、使用、回用到废弃和再生都具有良好的环境特性, 是一种环境友好型材料<sup>[4]</sup>。

陈俊松用 LCA 法对人工林采伐进行了分析, 结果显示原油在人工林采伐所消耗的自然资源中占得最多, CO<sub>2</sub> 在排放到环境中的物质里占得比例最大; 并且人工林采伐时环境影响指数远小于资源消耗指数, 不可再生资源的消耗所造成的影响远远小于污染物排放, 温室效应产生的影响在环境影响类型中作用最大。陈俊松还依据资源—环境—经济影响分析法制作了人工林采伐的生命周期评价体系, 计算了 48 种人工林采伐方式对环境、经济与资源的影响, 并进行了综合评价,

基金项目: 国家“十二五”科技计划课题(2011BAD08B0304)

作者简介: 姬晓迪(1990—), 男, 硕士, 研究方向: 木材碳学与低碳加工。

联系人: 郭明辉, 教授, 博士生导师, 研究方向: 木材科学, 生物质复合材料等。

得出“手办车集采+汽车运材”是理想作业模式的结论,并认为相比于其他林分及轮伐期,15 年生的杉木总体评价最高<sup>[5]</sup>。

燕鹏飞结合实地调研,采用 LCA 方法,分析了定向刨花板、规格材与胶合木这 3 种产品在生产过程中对环境造成的影响。结果表明,生产单位体积的 3 种产品,定向刨花板对不可更新资源与环境造成的影响最大,胶合木次之,规格材最低;还分析了工字搁栅、规格材梁与胶合木梁 3 种弯曲部件对环境的影响,结论是工字搁栅对环境造成的影响最低并且其材料使用效率最高,然后是胶合木梁,最后是规格材梁<sup>[6]</sup>。

薛拥军和王珺以我国南部几省部分生产水平较高的板式家具企业流水线生产的板式家具为研究对象,分析评价了其家具产品的生产阶段。结果表明中纤板企业每生产 1m<sup>3</sup> 的中密度纤维板,资源消耗量最大的是木材;家具企业每加工 1m<sup>3</sup> 的中密度纤维板,消耗最多的是稀释剂,其次是涂料和胶黏剂;板式家具的生产阶段对环境造成的主要影响是局地性与区域性的废水、废气和固体废弃物的排放<sup>[7]</sup>。丁涛等结合 ISO14000,运用 Eco-it 软件对床头柜材料的采集和生产过程对环境的影响进行了 LCA 分析。结果表明,贴面纸在组成床头柜的所有材料中对环境造成的影响最小,金属连接件次之,板材的影响最大,但三者之间的差别并不大;床头柜生产过程中能耗引起的环境影响远小于材料引起的环境影响<sup>[8]</sup>。

## 2.2 生命周期评价在竹材制品行业的应用

一般而言,LCA 是面向“产品”的评价系统,而在产品设计领域内经常会选用以“原料”为对象的生命周期评价法。胡敏君在研究竹子作为一种设计材料所具有的设计价值、研究竹产品的设计开发、探究设计在竹产品附加价值的创造方面的作用时提出可以从较为宏观的角度来对竹材进行粗略的生命周期评价分析,这位 LCA 在竹/木材相关行业的应用开辟了一条新的途径<sup>[9]</sup>。

王爱华编制了一套较为完整的面向我国竹/木质制品的 LCA 指标系统,并将 Eco-indicator 99 方法改进后结合 SimaPro6.0 环境影响评价软件对竹地板与实木地板的生产过程进行了生命周期评价。结论是,在竹地板的整个生命周期中,竹条的生产过程对环境施加了最大的负荷,然后是板坯的生产阶段、地板成品的生产阶段和产品的使用阶段,最大的损害类型为资源损害;而在实木地板完整生命过程中,生产环节造成的环境影响最大,然后是产品废弃与产品的使用环节,对资源造成的损害是生产过程中最大的损害类型,最大的环境影响类型为化石资源的消耗;综合比较而言,实木地板的环境影响优于竹地板,但影响结果相差不大<sup>[10]</sup>。

余翔用 SimaPro 7.1 软件对竹集成材地板和竹重组材地板进行了 LCA 分析,结果表明,在竹集成材地板的生产环节中,对环境的影响最大的是竹条制造环节,其次是地板成品和板坯生产环节;对人体健康影响和资源损耗方面,竹条制造环节最大,然后是成品制造环节和板坯制造环节;对于生态系统质量,影响最大的是竹条生产环节,然后是板坯和成品制造环节。在竹集成材地板的完整生命过程中,对环境的影响最大的是产品制造环节,使用环节对环境的影响很小,废弃阶段对改善环境有积极作用。在竹重组材地板的生产环节,板坯制造对环境的负荷最大,其次为竹束制造和成品生产环节;对于生

态系统质量与人体健康,板坯生产环节影响最大,其次为竹束制造和成品生产环节;对于资源消耗方面,板坯制造环节影响最大,其次为成品制造环节和竹束制造环节。在竹重组材地板完整生命过程中,对环境造成影响最大的是产品制造环节,使用环节对几乎没有对环境造成不利的影响,废弃环节对改善环境有积极作用。综合比较竹集成材地板和竹重组材地板,从环保的角度来看,竹重组材地板对环境造成的负面影响要比竹集成材地板大,不过其材料利用率较高,经济效益也较为显著<sup>[11]</sup>。

黄冬梅用 LCA 方法分析了竹结构、木结构和砖混结构的民宅,界定范围为从资源采掘到主体结构建造完成,功能单位界定为 1m<sup>3</sup> 民宅。结果表明,无论是化石资源的消耗、能源消耗还是对环境的总负荷,影响最小的都是木结构民宅,其次为竹结构民宅,砖混结构民宅最差;从环境影响类型来看,3 种结构民宅影响都较大的是不可再生资源、温室效应和酸化<sup>[12]</sup>。

## 2.3 生命周期评价在生物质复合材料行业的应用

赵丽莎对生物纤维复合材料与人工纤维复合材料进行了 LCA 分析,研究得出,以棕榈纤维环氧树脂复合材料为代表的生物纤维复合材料对环境的影响明显小于以玻璃纤维环氧树脂复合材料为代表的人工纤维复合材料。同时,棕榈纤维环氧树脂复合材料在固碳和玻璃的使用量方面要优于玻璃纤维环氧树脂复合材料;但是,在电力、钢材、化石原料、混凝土和人力等消耗方面,二者没有显著差异<sup>[13]</sup>。

李晓平利用 LCA 方法对农作物秸秆人造板生产阶段和使用阶段的环境特性进行了定性评价,结果得出,农作物秸秆人造板比木质人造板在保护森林资源、保护土地资源和固碳方面有优势,而在玻璃、电力、钢材、化石能源、混凝土、水资源和人力等资源的消耗方面,农作物秸秆人造板与木质人造板没有明显差异<sup>[14]</sup>。

刘文金以 LCA 方法研究了中纤板的生态循环周期,以中密度纤维板为研究对象,研究范围为整个生产和使用过程,主要考察了中密度纤维板环境负荷中废弃物、能源消耗、使用过程中挥发物污染、资源消耗 4 个参数,建立了中密度纤维板生态循环周期评价的数学模型,确立了采样点选择、数据收集、编目分析、评价模型建立和权重系数确定等,明晰了中纤板生命周期评价中分析的要求与内容。

薛拥军、向仕龙等依据 LCA 方法,研究了我国现存的纤维板生产系统,建立了面向国内普遍采用的纤维板生产系统在环境与经济效益、技术性能等方面进行生命周期评价的系统。结果表明,在原材料消耗方面,生产 1m<sup>3</sup> 中纤板,消耗木材最多,其次为胶黏剂和防水剂;在能源消耗方面,干燥和热压消耗能源最多,纤维制备、分选、施胶、铺装、预压、冷却、裁边和砂光等过程耗能不多,原木的采集、运输、剥皮和削片等过程耗能最少;在对环境的影响方面,能源工厂和胶粘剂生产产生的废气最多,主要是甲醛和粉尘,生产环节产生的固体废弃物被用作了能源,机械转动噪声和空气动力性噪声是主要的噪声污染源<sup>[15-17]</sup>。

向仕龙、魏新莉等从 LCA 观点分析研究了刨花板生产环节的环境特性,评价了刨花板生产过程中原料消耗、能源消耗和环境影响三方面的影响,结果表明,原料消耗方面,木材资

源的消耗是瓶颈;能源消耗方面,刨花制备与干燥、板坯铺装与热压是生产阶段耗能最多的环节;环境影响方面,主要有废气、污水和噪音三方面的环境影响,废气主要是温室气体和甲醛,噪音主要是削片机、刨片机、齐边分割锯与空气动力性噪声<sup>[18]</sup>。

### 3 生命周期评价在我国生物质材料领域应用的不足

生命周期评价方法本身也有一定的局限性,在我国生物质材料领域应用的时间还不是很长,存在着一些不足之处<sup>[2]</sup>。

#### 3.1 范围上的不足

适用范围方面,我国目前针对生命周期评价在生物质材料领域研究,得出的结果可能是全国性或者区域性质的,不适用于具体一个地方的情况,地方性的情况也不能代表全国或区域性的状况;应用范围方面,目前生命周期评价在生物质材料领域应用还不广泛,没有具体针对到生物质材料从采集、加工到使用、废弃各个阶段,很多研究只是针对评价对象的生产 and 运输环节,同时生物质材料加工与使用方式众多,已经开展了的生物质材料加工研究,仅选择了木材加工领域中典型的加工方式,还有许多其他的生产方式,像木塑复合材料、木材的防腐处理等方面没有涉及到<sup>[19]</sup>。

#### 3.2 方法上的不足

虽然 GB/T 24040—2008 中对生命周期评价的方法有着明确的规定,但是没有覆盖到生命周期评价的每一个具体的步骤,LCA 的具体实施还要依赖实施者。由于实施者自身的经验和技术水平有限,像系统边界、数据收集与影响类型等依赖于实施者界定的环节就有了一定的主观性,没有建立在客观的基础上。

#### 3.3 数据上的不足

生命周期评价的实施者在实施生命周期评价时,参照的往往是产品的一个具体的生产厂家的生产工艺或者是全国的平均水平,而数据可能是从厂家生产一线获得的,也可能是行业的平均数据,还可能是当地或者国家统计的数据,同一个产品,其原料获取、产品加工、使用和废气处理等环节数据的来源可能不尽相同,同时数据的获取还要依赖于实施者本身的判断,这就造成了数据的不准确,容易得出错误的结论;并且在生物质材料加工行业,有些数据并没有国家统计标准,例如胶黏剂,这就造成了实施者可能会参照其他国家的标准,也造成了数据来源的不准确;同时,由于数据往往更新很快,具有一定的时效性,这也是数据质量不高的一个原因。

### 4 生命周期评价在我国生物质材料领域应用的展望

虽然生命周期评价体系在我国生物质材料领域应用的还不是很完善,但是研究人员已经在木材加工和家具行业、竹材制品行业和生物质复合材料行业取得了一系列的研究成果,如果将生命周期评价体系与我国的实际情况进行结合,从以下几个方面进行加强,可以取得进一步的成果。

#### 4.1 扩展研究范围

目前生命周期评价在我国生物质材料领域的应用范围还

不是很广,许多方面如木塑复合材料、胶合板和木材干燥等尚未被研究;同时,生命周期评价是从“摇篮到坟墓”式的全周期的评价体系,而它在我国生物质材料领域的应用一般只涉及到了原材料的获取、产品的加工和使用阶段,并没有涉及到废弃处理阶段,应全面地将各个环节都进行研究,全面评价已有产品对环境的影响、人身安全影响和资源与能源消耗。

#### 4.2 建立我国的评价模型、完善我国的数据库

目前我国生物质材料领域的生命周期评价大多是参照其他行业的生命周期评价模型进行的,并且评价所用的软件也都是外国开发的。但是每个产品都有自己特定的生产模式,其对环境造成的影响也不尽相同,各国之间的资源消耗模型也不尽相同,如果只是照搬其他行业的形式、使用不符合我国国情的软件,势必会造成结果的不准确性,因此必须建立符合我国国情、符合生物质材料行业行情的评价模型。目前,在实施生命周期评价时,很多数据都是借鉴欧美国家的数据库,而欧美的数据库不一定符合中国国情,因而必须完善符合中国国情的数据库。

#### 4.3 结合经济、社会、文化影响多方面考虑生命周期评价体系

生命周期评价只是分析评价对象在能源和资源消耗、生态环境与人体健康等方面的环境影响,没有涉及到经济、社会和文化方面的因素,也没有考虑到企业的产品质量、经济成本与劳动力成本等因素,因此可以结合评价对象,对企业和社会产生的影响,综合、全面分析产品的性质。

#### 4.4 从材料角度考虑生命周期评价体系

由于我国木材资源紧缺,人口、能源和环境问题也日益突出,充分、合理、高效地利用木材资源成为解决木材供求矛盾的根本途径<sup>[20]</sup>。我们可以利用生命周期评价方法,分析木材整个生命周期中各种使用方式对环境以及木质资源造成的影响,得出木材最高效、最充分的使用途径,为更高效的利用木材奠定基础。

### 参考文献

- [1] GB/T 24040—2008, 环境管理 生命周期评价框架与原则[S]. 2008.
- [2] 邓南圣,王小兵. 生命周期评价[M]. 北京:化学工业出版社, 2003, 29-37.
- [3] 郑艳华. 生命周期评价法在公路建设项目环境影响分析中的应用[D]. 南京:南京林业大学, 2009.
- [4] 孙启祥. 从生命周期角度评估木材的环境友好性[J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(2): 170-175.
- [5] 陈俊松. 基于生命周期评价理论的人工林[D]. 南京:南京林业大学, 2011.
- [6] 燕鹏飞. 木结构产品物化环境影响的定量评价[J]. 清华大学学报, 2008, 48(9): 1395-1398.
- [7] 薛拥军,王珺. 板式家具产品的生命周期评价[J]. 木材工业, 2009, 23(4): 22-25.
- [8] 丁涛,周捍东,江科,等. 家具产品环境影响评价的原理及应用[J]. 家具, 2006, 154(6): 43-46.
- [9] 胡敬君. 竹子价值的设计开发[D]. 上海:同济大学, 2006.

(下转第 14 页)

能的影响,深刻剖析和认识这些机理有助于研制高性能的吸附材料,也是奠定该领域发展的基础。(3)优化 SO<sub>2</sub> 吸附反应的工作条件,各种工况条件下活性炭纤维吸附 SO<sub>2</sub> 的研究结果差别很大,研究最佳的反应条件降低不利因素的影响,对于提高吸附性能十分重要。(4)降低制备和改性活性炭纤维的成本,提高解吸再生效率,使未来活性炭纤维制品在气体净化的应用方面更具竞争性。

参考文献

[1] 沈曾民,张文辉,张学军. 活性炭材料的制备与应用[M]. 北京: 化学工业出版社,2006,278-308.

[2] 李开喜,吕春祥,凌立成. 活性炭纤维的脱硫性能[J]. 燃料化学学报,2002,30(1):89-96.

[3] Mochida I, Korai Y, Shirahama M, et al. Removal of SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> over activated carbon fibers[J]. Carbon, 2000, 38 (1): 227-239.

[4] Ling Licheng, Li Kaixi, Liu Lang, et al. Removal of SO<sub>2</sub> over ethylene tar pitch and cellulose based activated carbon fibers [J]. Carbon,1999,37(3):499-504.

[5] Kaneko K, Nakahigashi Y, Nagata K. Microporosity and adsorption characteristics against NO, SO<sub>2</sub>, and NH<sub>3</sub> of pitch-based activated carbon fibers [J]. Carbon,1988,26(3):327-332.

[6] 罗德明,刘中正,串亚权,等. 活性炭纤维对 SO<sub>2</sub> 吸附性能的研究[J]. 成都科技大学学报,1993,(4):1-7.

[7] 华坚,尹华强,罗德明,等. 脱硫活性炭纤维成形及 SO<sub>2</sub> 吸附性能[J]. 新型炭材料,1995,(3):56-60.

[8] 串亚权,刘中正,罗德明,等. 活性炭纤维(PAN-ACF)对 SO<sub>2</sub> 的物理吸附、传质机理和扩散的探讨[J]. 四川环境,1993,12(3):9-13.

[9] 李开喜,凌立成,刘朗,等. 不同反应温度下活性炭纤维脱除 SO<sub>2</sub> 的能力[J]. 新型炭材料,1999,14(1):8-12.

[10] 刘义,曹子栋,王盛. 活性炭纤维与柱状活性炭用于烟气脱硫的对比实验[J]. 西安交通大学学报,2002,36(7):701-704.

[11] 许绿丝,岑泽文,曾汉才,等. 活性炭纤维吸附 NO 和 SO<sub>2</sub> 的试验研究[J]. 华中科技大学学报,2006,34(2):105-107.

[12] 张彬,宋磊. 活性炭材料的孔径结构对 SO<sub>2</sub> 吸附性能的影响[J]. 华侨大学学报,2014,35(3):293-298.

[13] 范武波,刘勇军,王维竹,等. 活性炭纤维脱除有色冶炼烟气中 SO<sub>2</sub> 的性能[J]. 四川化工,2014,(1):49-53.

[14] Vivekanand G, Ashutosh S, Nishith V. Preparation and characterization of ACF for the adsorption of BTX and SO<sub>2</sub> [J]. Chemical Engineering and Processing. 2006,45(1):1-13.

[15] Vivekanand G, Ritesh A, Nishith V. Removal of SO<sub>2</sub> by activated carbon fibers in the presence of O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O [J]. Carbon, 2006,44(1):46-60.

[16] 李开喜,凌立成,刘朗,等. 氧化热处理对活性炭纤维吸附转化 SO<sub>2</sub> 能力的影响[J]. 环境化学,1999,18(3):210-215

[17] 李开喜,凌立成,刘朗,等. 热处理改性的活性炭纤维的脱硫活性[J]. 催化学报,2000,21(3):264-268

[18] Li Kaixi, Ling Licheng, Lu Chunxiang L, et al. Influence of CO-evolving groups on the activity of activated carbon fiber for SO<sub>2</sub> removal [J]. Fuel Processing Technology, 2001, 70 (3): 151-158.

[19] 彭卫华,胡将军,李英柳,等. 活性炭纤维电极法烟气脱硫研究[J]. 化工环保,2004,24(6):396-398.

[20] 牛志睿. 低浓度 SO<sub>2</sub> 气体的活性炭纤维吸附及微波解吸回收 SO<sub>2</sub> 的实验研究[D]. 西安建筑科技大学,2007,1-15.

[21] 李开喜,凌立成,刘朗,等. SO<sub>2</sub> 在含氮沥青基活性炭纤维上的脱除(1)含氮沥青基活性炭纤维的脱硫能力研究[J]. 新型炭材料,1998,13(2):37-42.

[22] Li Kaixi, Ling Licheng, Lu Chunxiang L, et al. Catalytic removal of SO<sub>2</sub> over ammonia-activated carbon fibers[J]. Carbon,2001,39(12):1803-1808.

[23] 王维竹,刘勇军,范武波,等. 活性炭纤维改性表面官能团脱硫作用[J]. 化工新型材料,2014,42(4):182-184.

[24] 王涛,赵玲,华坚. 杂多酸、离子液体改性活性炭纤维的脱硫性能比较[J]. 环境化工,2014,32(S1):433-437.

[25] Wang Jianying, Zhao Fengyun, Hu Yongqi. Modification of activated carbon fiber by loading metals and their performance on SO<sub>2</sub> removal [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2006,14(4):478-485.

[26] Liu Zhenshu. Adsorption of SO<sub>2</sub> and NO from incineration ue gas onto activated carbon bers[J]. Waste Management,2008,28(11):2329-2335.

[27] Noel D, Patricia A, Marcos G. Tailoring micro-mesoporosity in activated carbon fibers to enhance SO<sub>2</sub> catalytic oxidation[J]. Journal of Colloid and Interface Science,2014,428:36-40.

收稿日期:2014-11-23

(上接第 3 页)

[10] 王爱华. 竹/木质产品生命周期评价及其应用研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院,2007.

[11] 余翔. 竹集成材地板和竹重组材地板生命周期评价(LCA)比较研究[D]. 福州:福建农林大学,2011.

[12] 黄冬梅. 竹/木结构民宅的生命周期评价[D]. 南京:南京林业大学,2012.

[13] 赵丽莎. 生物纤维复合材料力学性能和复合材料生命周期评价的研究[D]. 南昌:江西农业大学,2011.

[14] 李晓平. 利用生命周期评价法评价农作物秸秆人造板的环境特性[J]. 浙江林学院学报,2010,27(2):210-216.

[15] 刘文金. 中密度纤维板生态循环周期评价理论的研究[J]. 中南

林学院学报,2006,26(4):117-120.

[16] 薛拥军,向仕龙,刘文金. 纤维板生命周期评价模式构建[J]. 中国人造板,2006,13(11):29-32.

[17] 薛拥军,向仕龙,刘文金. 中密度纤维板产品的生命周期评价[J]. 林业科技,2006,31(6):47-49.

[18] 向仕龙,魏新莉,刘文金. 从生命周期角度评价刨花板的环境特性[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(6):166-168.

[19] 李慧媛,黄思维,周定国. 生命周期评价体系在我国木材加工领域的应用[J]. 世界林业研究,2013,26(2):54-59.

[20] 鲍甫成,吕建雄. 中国木材资源结构变化与木材科学研究对策[J]. 世界林业研究,1999,12(6):42-47.

收稿日期:2013-11-24