

基于生命周期评价的 OSB 生产环境影响分析

张方文^{1,2}, 张亚慧¹, 于文吉¹

(1. 中国林科院木材工业研究所, 北京 100091; 2. 北新建材集团有限公司, 北京 100048)

摘要: 基于生命周期评价方法, 对我国某 OSB 企业产品的环境影响进行分析, 并与欧洲某 OSB 企业进行对比。结果表明: 我国 OSB 企业消耗的不可再生能源更多, 欧洲 OSB 企业生产偏向使用清洁的天然气能源; 两家 OSB 企业均采用成套连续化生产线, 生产中 CO₂ 排放量接近; 我国企业的 OSB 产品在其生命周期内, 产生的酸化效应、富营养化和全球气候变暖的环境影响值相对较高, 臭氧层损耗和光化学烟雾的环境影响值相对较低。

关键词: 定向刨花板; 中国; 欧洲; 生命周期评价; 环境影响

中图分类号: TS66; X82 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2017) 05-0022-05

Environmental Impacts of Oriented Strand Board Based on Life Cycle Assessment

ZHANG Fang-wen^{1,2}, ZHANG Ya-hui¹, YU Wen-ji¹

(1. Research Institute of Wood Industry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Beijing New Building Material(Group) Co., Ltd, Beijing 100048, China)

Abstract: Based on Life Cycle Assessment (LCA), environmental impacts of oriented strand board (OSB) produced by a Chinese company and a European company were evaluated, respectively. Results showed that the Chinese OSB products consumed more non-renewable energy resources while the European OSB products consumed much cleaner energy resources like natural gases. The CO₂ emissions between the two OSB companies were about the same during production. The environmental potential values for acidification, eutrophication and global warming of the Chinese OSB products were higher than those of the European OSB products, but the Chinese OSB products had less impact on ozone depletion and photochemical smog.

Key words: oriented strand board (OSB); China; Europe; life cycle assessment (LCA); environmental impacts

产品生命周期评价 (Life cycle assessment, LCA) 是一种有效的环境管理工具, 可为研发环保产品和清洁生产、相关环境政策及产品 III 型环境标志的制

定提供指导。

定向刨花板 (OSB) 在欧美国家早已是木材加工领域的主流产品之一, 并已有相关的 LCA 研究^[1]; 我国木材工业的环境影响评价研究处于起步阶段^[2], OSB 的生产也是近几年才得到较快速的发展。而我国 OSB 产品的应用领域与欧洲产品大致相近, 行业标准 LY/T 1580-2010《定向刨花板》的制定, 也主要参考和引用欧盟标准 EN 300-2006“Oriented strand

收稿时间: 2016-12-03; 修改时间: 2017-07-06

基金项目: 四川省科技计划项目“林-板-家具一体化现代产业链关键技术集成研究与产业化示范项目”(2014NZ0033)。

作者简介: 张方文 (1983—), 男, 中国林科院木材工业研究所博士研究生; 北新建材集团有限公司工程师。

责任作者: 于文吉, 男, 中国林科院木材工业研究所研究员。

boards (OSB)-Definitions, classification and specifications”。对我国 OSB 的生产过程进行 LCA 研究，并与欧洲产品进行对比，评估不同产地 OSB 生产过程的环境影响类型及差异，探究环境影响差异的产生原因，对提高我国 OSB 生产水平和产品质量、促进清洁生产，具有现实意义^[3]。

1 OSB 生命周期评价

1.1 研究对象选择与系统边界

以中国和欧洲各一家典型 OSB 企业生产的 OSB 产品为研究对象，两家企业均生产 3 种等级的产品：OSB/2、OSB/3 和 OSB/4。不同等级的 OSB 产品代表不同的木材资源利用水平、能源有效利用水平和环境负荷水平。以三种等级的产品（各占 1/3）组合成 1 m³ OSB 为功能单位，均衡地评估 1 m³ OSB 产品的影响。

系统边界涵盖了原材料生产到产品包装，从林木培育、生长、砍伐，原辅材料运输，OSB 加工制造，到环境排放（尚未考虑 OSB 使用及回收过程的能源消耗阶段，以及整个使用、回收阶段涉及的运输过程）^[4]。

基本系统边界属于“Cradle-to-gate”，如图 1 所示。

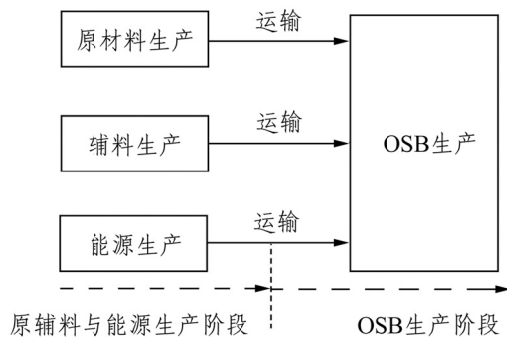


图 1 定向刨花板生命周期评价系统边界
Fig.1 System boundary of LCA for OSB

1.2 LCA 评价

1.2.1 中国某 OSB 生产企业

该企业在国内 OSB 生产领域具有典型性，年产能 22 万 m³，采用先进的连续平压装备和技术，生产稳定。

OSB 组合产品的规格均为 2 440 mm×1 220 mm×15 mm，平均密度 636.81 kg/m³，平均含水率 6%。

采用异氰酸酯（PMDI）胶黏剂生产 OSB 产品，施胶量 4%~6%。

原材料运输距离≤500 km，PMDI 胶黏剂及石蜡防水剂运输距离≤1 000 km；热能工厂除了使用本厂部分加工剩余物外，还需另购木屑料，运输距离约 50 km。

国产 OSB 的加工制造、环境排放的输入、输出清单，分别列于表 1 和表 2^[3]。

表 1 中国某 OSB 企业生产 1 m³ 板材的输入清单
Tab.1 Input for 1 m³ of OSB production in the Chinese company

| 类别 | 耗用材料 | 产品等级 | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|
| | | OSB/2 | OSB/3 | OSB/4 |
| 原辅材料/ kg | 原木（湿材） | 1993.91 | 1993.91 | 2216.10 |
| | 异氰酸脂 | 14.68 | 22.96 | 53.34 |
| | 石蜡 | 3.05 | 6.29 | 10.29 |
| | 外购木屑 | 34.23 | 34.23 | 244.69 |
| | 水 | 30.43 | 30.43 | 26.03 |
| | 硬纸板 | 0.42 | 0.42 | 0.42 |
| | PC 塑料包角 | 0.04 | 0.04 | 0.04 |
| | 钢带 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| 能源 | 木质垫条 | 10.53 | 10.53 | 10.53 |
| | 电力/kW·h | 195.61 | 195.61 | 307.46 |
| | 柴油/L | 0.80 | 0.83 | 0.83 |

表 2 中国某 OSB 企业生产 1 m³ 板材的输出清单
Tab.2 Output for 1 m³ of OSB production in the Chinese company

| 类别 | 产品或物质名称 | OSB/2 | OSB/3 | OSB/4 |
|------------|-------------|--------|--------|--------|
| 主产品/kg | OSB | 608.00 | 620.00 | 680.00 |
| 副产品/ kg | 树皮 | 258.54 | 258.54 | 288.20 |
| | 碎料 | 26.61 | 26.61 | 29.97 |
| | 砂光粉 | 43.16 | 43.16 | 48.28 |
| 废渣/ kg | 粉尘 | 0.41 | 0.41 | 0.56 |
| | 滤渣 | 21.30 | 21.30 | 27.89 |
| 水污染物/ g | 氨氮 | 3.85 | 3.85 | 7.77 |
| | 悬浮物 | 43.81 | 43.81 | 80.33 |
| | 化学需氧量 (COD) | 148.88 | 148.88 | 272.96 |
| 废气/g | 二氧化硫 | 0.73 | 0.73 | 2.68 |

根据国内研究中比较普遍采用的 CML2001-Apr.2013，取五类影响指标^[5]：酸化效应（AP）、富营养化（EP）、全球气候变暖（GWP 100）、臭氧层损耗（ODP）、光化学臭氧创造潜力（POCP）。

采用特征化模型^[6]，以及影响类型特征化因子单位^[3]，计算 1 m³ OSB 产品的环境影响特征值，结果列于表 3。

表 3 中国 1 m³ OSB 环境影响特征值
Tab.3 Characteristics of LCA on 1 m³ of OSB production in the Chinese company

| 产品等级 (1 m ³) | 环境影响类型指标 | | | | |
|-----------------------------|----------|-------|---------|----------------------|-------|
| | AP | EP | GWP 100 | ODP/10 ⁻⁸ | POCP |
| OSB/2 | 1.475 | 0.202 | 364.219 | 3.712 | 0.135 |
| OSB/3 | 1.514 | 0.210 | 397.018 | 3.794 | 0.141 |
| OSB/4 | 2.084 | 0.253 | 457.843 | 6.958 | 0.209 |
| 组合 OSB | 1.691 | 0.222 | 406.360 | 4.821 | 0.162 |

对表 3 中的环境影响特征值进行归一化和加权比较，得到：1 m³ OSB/2、1 m³ OSB/3 和 1 m³ OSB/4 的总环境影响值，分别为：8.54×10⁻¹¹、9.51×10⁻¹¹ 和 1.69×10⁻¹⁰。

其中 OSB/4 产品由于使用要求更高，为保证强度，其密度和施胶量均大幅增大，故 OSB/4 对环境的影响值远高于 OSB/2 和 OSB/3；OSB/3 的总环境影响值略大于 OSB/2，原因也是其密度和施胶量增大所致^[7]。

1.2.2 欧洲某典型 OSB 生产企业

该企业生产的 OSB 产品为三层结构，面层和底层施用三聚氰胺改性脲醛树脂（MUF）胶，施胶量 3.5%~5%；中间施用 PMDI 树脂胶，施胶量 2%~3.5%；平均密度 614.81 kg/m³，平均含水率 5%，石蜡添加量 1%^[8-10]。

该企业生产原料的 93%来源于半径 250 km 范围内的森林，还有 7%的木材来自于海运，运输距离约 1 020 km，在欧洲的 OSB 企业中具有代表性；胶黏剂和石蜡来自半径 1 300 km 的运输范围^[11]。

欧洲 OSB 产品的能耗、CO₂ 排放及环境影响数据，均发布于环境产品声明（EPD）中^[8-10]；电力能源结构分析数据，来自于 Gabi ts 数据库。

2 中欧 OSB 企业产品的生命周期评价对比

2.1 能耗清单对比

生产 1 m³ 组合等级 OSB，两家 OSB 企业在原木采伐、运输阶段和生产阶段（含辅料生产及运输阶段），对不可再生能源的消耗情况，如图 2 所示。

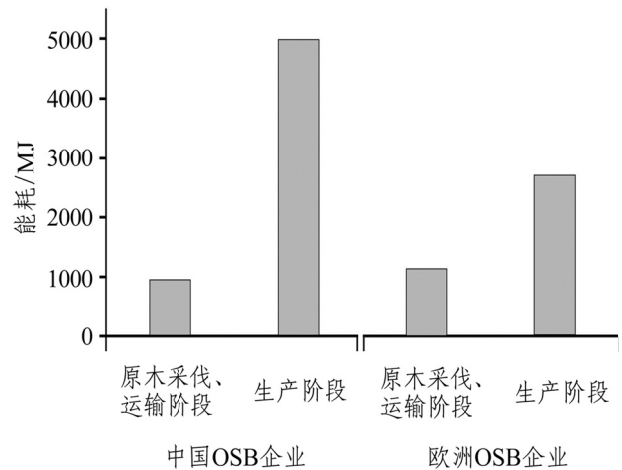


图 2 中欧 OSB 企业不可再生能源消耗的对比

Fig.2 Non-renewable energy consumption comparison for OSB production between the Chinese company and the European company

由图 2 可见，我国 OSB 企业的不可再生能源总消耗约 6 774.7 MJ，其中原木采伐和运输阶段消耗 867.6 MJ，占比约 12.8%；生产阶段消耗 5 907.1 MJ，占比约 87.2%。

欧洲 OSB 企业对不可再生能源的总消耗量为 3 825.5 MJ，其中原木采伐和运输阶段消耗 1 135.1 MJ，占比约 29.7%；生产阶段消耗 2 690.4 MJ，占比约 70.3%。

在原木采伐和运输阶段，尽管欧洲 OSB 企业的原木采伐半径小于我国 OSB 企业，但其有 7%的原木来自于长途海运，所以不可再生能源消耗较高。

欧洲 OSB 企业通常都配备生物质电力工厂，专用于人造板生产线的电力供应，所以，欧洲企业在生产阶段的不可再生能源的消耗量大幅减小。

2.2 能源结构对比

为准确评估 OSB 生产过程的总环境排放，还须考虑电力生产结构的间接环境影响。基于 Gabi ts 能源数据库，OSB 工厂电力初级能源使用结构^[12-13]如图 3 所示。

由图 3 可见，我国 OSB 企业生产使用的电力主要来源于硬煤发电，其次是水电，核能发电仅占比约 1.5%，物质能源、天然气和高炉煤气发电占比也非常小；欧洲 OSB 企业用电的 47%为天然气发电，其次是原油发电，核能发电占比也达到 14%。

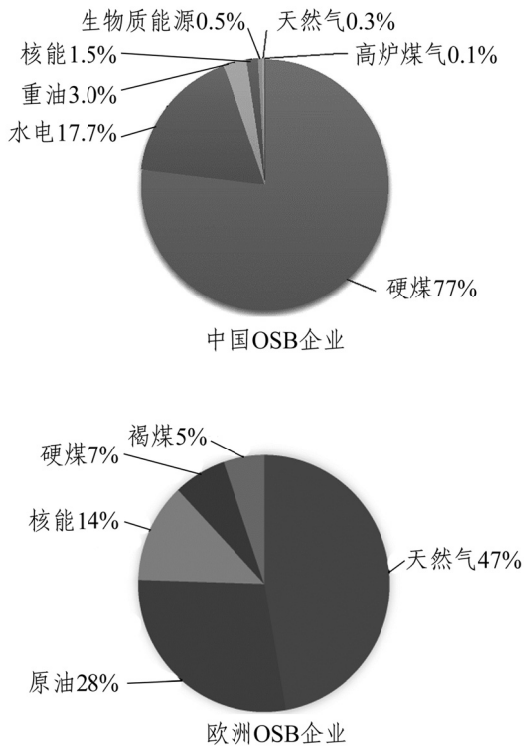


图3 中欧 OSB 企业使用的不可再生初级能源的结构
Fig.3 Non-renewable energy structure comparison for OSB production between the Chinese company and the European company

我国 OSB 生产中煤炭电力占比过大，原因在于水电受季节因素影响，调节性能差，致使对煤炭的依赖度较高，导致了生产企业的环境压力较大^[14]。而欧洲 OSB 生产主要使用清洁能源，且核能设施也较为完备，因而对环境的影响相对要小。

2.3 CO₂ 排放对比

CO₂ 排放包括 OSB 生产过程的直接排放及电力和胶黏剂等其他物质流输入产品的间接排放^[1, 15]。原辅材料生产、运输阶段和 OSB 生产阶段，中欧两家公司生产 1 m³ 组合等级 OSB 时，CO₂ 排放的分析如图 4 所示。

由图 4 可见，两家公司生产 1 m³ OSB 消耗的原木，生长时吸收 CO₂ 分别为 1 197 和 1 168.5 kg。在原木采伐及运输阶段，两家企业的 CO₂ 排放量分别为 73 kg 和 153.5 kg，欧洲企业排放量大，是因其部分原料需远洋运输所致；而在生产阶段，均使用相近的成套连续化生产线，故 CO₂ 排放量接近，分别为 330 和 336 kg。

就整个生命周期阶段而言，在抵消原木采伐、

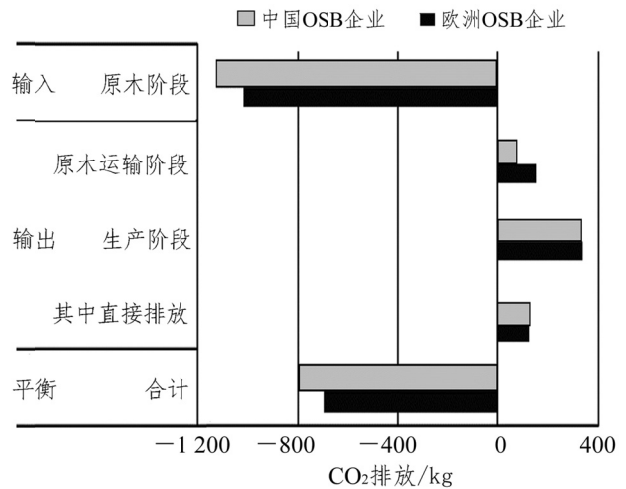


图4 中欧 OSB 企业生产 1 m³ OSB 产品的 CO₂ 排放
Fig.4 CO₂ emissions comparison of 1 m³ of OSB production between the Chinese company and the European company

运输及 OSB 生产过程中的 CO₂ 排放后，1 m³ 中国 OSB 产品仍有 794 kg 的 CO₂ 存储在 OSB 中，直至板材全生命周期结束后才会释放，即 CO₂ 排放量为 -794 kg；1 m³ 欧洲 OSB 仍有 679 kg 的 CO₂ 存储在 OSB 中，CO₂ 的排放量为 -679 kg，从 CO₂ 的排放来看，中国 OSB 的固碳量更大，对缓解全球气候变暖的作用更显著。

2.4 环境影响对比

对中欧两家 OSB 企业在原辅材料生产、运输和 OSB 生产阶段，五种环境影响指标的特征分析结果，列于表 4。

表4 OSB 企业生产 1 m³ OSB 的环境影响特征值
Tab.4 Environment impact on LCA comparison of 1 m³ of OSB production between the Chinese company and the European company

| 产品来源 | 环境影响类型 | 原辅材料生产阶段 | 原辅材料运输阶段 | OSB 生产阶段 | 合计 |
|------|----------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| 中国企业 | AP | 0.325 | 0.063 | 1.303 | 1.691 |
| | EP | 0.079 | 0.015 | 0.128 | 0.222 |
| | GWP 100 | -1124.000 | 10.589 | 395.771 | -717.640 |
| | ODP/10 ⁻⁸ | 0.077 | 0.000 | 4.744 | 4.821 |
| | POCP | 0.052 | -0.026 | 0.136 | 0.162 |
| 欧洲企业 | AP | 0.250 | 0.095 | 0.637 | 0.982 |
| | EP | 0.054 | 0.016 | 0.092 | 0.162 |
| | GWP 100 | -1015.000 | 15.800 | 334.940 | -664.260 |
| | ODP/10 ⁻⁸ | 1040.000 | 3.920 | 10859.000 | 2130.000 |
| | POCP | 0.069 | 0.007 | 0.055 | 0.132 |

由表4可知,与欧洲相比,我国OSB生产过程对环境的酸化效应(AP)、富营养化(EP)和光化学臭氧创造潜力(POCP)的数值偏高,而全球气候变暖(GWP100)、臭氧层损耗(ODP)值较低。原因在于我国企业能源结构中煤电消耗比重大;但产品的密度高,抵扣之后,GWP100仍达-717.64 kg CO₂, ODP也低于欧洲OSB企业。

3 结语

1) 能耗:在原木采伐和运输阶段中,欧洲OSB企业因原料远洋运输问题,消耗不可再生能源更高;生产制备阶段,欧洲企业使用更多清洁能源,消耗的不可再生能源资源更少。

2) 固碳:在原木生长阶段,欧洲OSB生产原材料吸收了更多的CO₂;在原木采伐及运输阶段,中国OSB排放的CO₂更少;在生产阶段,中欧OSB的CO₂排放值非常接近。OSB生命周期内,中国和欧洲OSB企业生产1 m³组合等级OSB,CO₂固碳量分别为794和679 kg。

3) 环境影响特征值:中国OSB生产的酸化效应、富营养化、光化学烟雾指标,相对于欧洲OSB偏高,但全球气候变暖和臭氧层损耗的影响值较低。

参考文献:

[1] Kline D E. Gate-to-gate life cycle inventory of oriented strand board production[J]. Wood and Fiber Science, 2005, 37(12): 74-84.

[2] 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.

[3] 张方文,陈水龙,张海孝,等. 定向刨花板生产过程的生命周期评价[J]. 木材工业, 2017, 31(3): 31-34.

[4] Richter K, Gugerli H. Wood and wood products in comparative life cycle assessment[J]. Holz als Roh-und Werkstoff, 1996, 54(4): 225-231.

[5] 李兴福,徐鹤. 基于GaBi软件的钢材生命周期评价[J]. 环境保护与循环经济, 2009, 29(6): 15-18.

[6] Athena Sustainable Materials Institute. A Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Canadian Oriented Strand Board: An Update[R]. Ottawa: Athena Sustainable Materials Institute, 2012.

[7] 张玲,袁增伟,毕军. 物质流分析方法及其研究进展[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 6189-6198.

[8] Fritz EGGGER GmbH & Co. OG. Environmental product declaration according to ISO 14025 [R]. Berlin: Institut Bauen und Umwelt. V., 2012.

[9] Kronoply GmbH, Kronopol Sp z o o, Kronofrance SAS. Environmental product declaration in according to ISO 14025 [R]. Berlin: Institut Bauen und Umwelt.V., 2011.

[10] Kronospan Luxembourg S A. New and environmentally friendly OSB panels[R/OL]. [2008-03-15]. http://ec.europa.eu/environment/life/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE05_NV_L_000047_LAYMAN.pdf.

[11] 张方文,于文吉. 欧洲定向刨花板发展现状及最新市场情况[J]. 国际木业, 2014, 44(9): 16-19.

[12] 张浩,王洪涛,侯萍. 基于生命周期评价的中国浮法玻璃燃料对比分析[J]. 化学工程与装备, 2011(5): 141-143.

[13] 姜睿,王洪涛,张浩,等. 中国水泥生产工艺的生命周期对比分析及建议[J]. 环境科学学报, 2010, 30(11): 2361-2368.

[14] 聂祥仁,高峰,陈文娟,等. 材料生命周期的评价研究[J]. 材料导报, 2009, 23(13): 1-6.

[15] Puettmann M, Oneil E, Kline E, et al. Cradle to gate life cycle assessment of oriented strand board production from the Southeast[R/OL]. [2013-04]. http://www.corrim.org/pubs/reports/2013/phase1_updates/SE%20OSB%20LCA%20May%202013%20final.pdf.

(责任编辑 向琴、劳万里)

(上接第8页)

参考文献:

[1] Ellegaard P. Finite-Element Modeling of Timber Joints with Punched Metal Plate Fasteners[J]. Journal of Structural Engineering, 2006, 132(3): 409-417.

[2] 许晓梁,马人乐,何敏娟. 轻型木桁架静力试验及承载能力分析[J]. 特种结构, 2006, 23(1): 1-4.

[3] 况宜. 轻型木桁架齿板连接节点受力性能的试验研究[D]. 重庆:重庆大学, 2011.

[4] 车雨珂. 金属齿板连接轻型木桁架试验方法及加载程序研究[D]. 重庆:重庆大学, 2013.

[5] TPIC. Truss Design Procedures and Specifications for Light Metal Plate Connected Wood Trusses[S]. Truss Plate Institute of Canada, 2014.

[6] Amanuel S, Gebremedhin K G, Boedo S, et al. Modeling the Interface of Metal-Plate-Connected Tension-Splice Joint by Finite Element Method[J]. Transactions of the ASCE, 2000, 43(5):1269-1277.

[7] Liu X. Three-Dimensional Modeling of Metal Plate Connected Wood Truss Joints [D]. Vancouver: University of British Columbia, 2013.

[8] 王滋. 国产日本落叶松平行弦木桁架承载性能研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2017.

[9] Hankinson R L. Investigation of Crushing Strength of Spruce at Varying Angles of Grain[J]. Air Force Information Circular, 1921, 3(259).

[10] Foschi R O. Analysis of Wood Diaphragms and Trusses. Part II: Truss-Plate Connections [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 1977, 4(3): 353-362.

[11] Nielsen J. Stiffness Analysis of Nail-Plate Joints Subjected to Short-Term Loads[D]. Aalborg: Aalborg University, 1996.

[12] 王丽. 国产齿板与落叶松规格材节点连接性能研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2016.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)