

木结构建材流通链和生态链的共生关系

王亚典¹, 蔡荣芳², 高颖^{2*}, 李昌骏³, 司伟宏³

(1. 北京林业大学 园林学院, 北京 100083; 2. 北京林业大学 木质材料科学与应用教育部重点实验室, 木材科学与工程北京市重点实验室, 北京 100083; 3. 北京林业大学 经济管理学院, 北京 100083)

摘 要: 基于绿色供应链模式理论, 研究木结构建材认证体系完善度、产品丰富度模型和建材流通方式的碳排放对共生效应的影响, 并对双链模型共生单元进行优化设计。建立了木结构建材流通链、生态链模型, 以及两者的共生关系模型。定性得到木结构建材的认证体系可确保森林的可持续经营和建材的质量; 定量提出产品丰富度系数 K 的计算模型, 以权重比确定木结构建材原料树种的可替代性; 实际测算木结构建材不同流通方式的碳排放, 确定一定条件下的低碳流通方式。

关键词: 木结构建材; 流通链模型; 生态链模型; 共生关系模型

中图分类号: S782.51 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2017)03-0238-07

Symbiosis System of Circulation Chain and Ecology Chain of Wooden Building Materials

WANG Ya-dian¹, CAI Rong-fang², GAO Ying^{2*}, LI Chang-jun³, SI Wei-hong³

(1. Landscape Architecture School Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. MOE Key Laboratory of Wooden Material Science and Application, Beijing Key Laboratory of Wood Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the model of forestry green supply chain, the influences of the factors on mutualism were discussed, including the completeness of certification system for wooden building materials (WBMs), product diversification model, and carbon emission of WBMs. An optimization design was conducted for the units of the mutualism model. Models for the WBM circulation chain, ecology chain, as well as mutualism between circulation and ecology chains were established. A qualitative result was concluded that the certification system for WBMs could guarantee the sustainable forest development, and at the same time, promote the quality of WBMs. Moreover, this paper proposed a quantitative model for the calculation of the coefficient of product diversification (K) and specified the alternatives of raw materials by a weight equation. The carbon emissions of different circulation ways of WBMs were actually measured to determine a circulation way with the lowest carbon footprint.

Key words: wooden building material; circulation chain model; ecology chain model; mutualism model

近年来在碳排放总量中, 建筑行业排放的碳约占 50%, 远高于运输和工业领域, 因此, 推行绿色低碳建筑势在必行, 建筑材料的绿色供应链模式需要完善和普及^[1]。应对经济进步与环境胁迫, 重视低碳经济成为推进人类可持续发展的重要共识^[2]。现今在具备条件的地方倡导发展现代木结构建筑^[3],

预示着木结构建筑有望成为继混凝土结构、钢结构之后的又一重要建筑形式。2015 年 9 月, 中国工信部和住建部联合发文提倡大力发展木材等生物质建材^[4]。木结构建材作为木结构建筑的材料基础, 提高其流通效率与生态效应, 可缓解传统流通模式下环境与发展的对立性。应对气候变化、减少温室气体排

收稿日期: 2016-02-28 修回日期: 2017-02-28

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201510022037); 北京市教委科学研究与研究生培养共建项目(2015GJ-01)。

作者简介: 王亚典, 女, 研究方向: 木结构建材流通。E-mail: yadian0522@gmail.com

* 通信作者: 高颖, 女, 博士, 副教授, 研究方向: 木质结构和木质复合材料。E-mail: gaoying@bjfu.edu.cn

放、降低 CO₂ 总量、改变生存环境早已成为世界各国共同关注和努力的方向^[5]。本研究对木结构建材流通链进行生态设计,以期实现对环境的正影响。

1 材料与方法

1.1 研究对象概况

1.1.1 调研企业概况 将全国范围内 27 家木建筑结构用材供应链内各种类型的典型代表企业作为研究对象,通过问卷调查、实地访谈的调查方法,得到代表性木建筑结构用材和原料树种在国内的流通、分布状况,确定流通环节、流通方式,以此构建木结构建材流通链与生态链共生模型。受访企业分别来自北京、山东、浙江、上海、广东等 13 个省份或直辖市。据木结构产业联盟相关数据,截止 2013 年 8 月,中国从事木结构建筑行业的从业企业约 200 余家,其中,木结构建筑材料供应商不到 1/4。同时,本次调研的材料供应商企业 70% 以上资本规模 > 200 万元,将近 50% 的企业资本规模 > 500 万元,属于中型企业和大型企业。

1.1.2 企业采用的木材原料树种及经营比重 企业利用 SPF(spruce-pine-fir)、北美乔柏(*Thuja plicata*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、南方松(*Pinus* spp.) 等树种,以及 OSB(oriented strand board)、Glulam、LVL(laminated veneer lumber)等工程木制品的经营比重较大(表 1)。工程木制品在全国 27 家木结构建材相关企业中的经营比重分析表明,结构用胶合板、OSB、Glulam、LVL、PSL、CLT 分别为结构用定向刨花板、胶合木、单板条层积木、平行木片胶合木、正交层积木与其他工程木制品的经营分别为 52%、78%、67%、67%、60%、41% 与 85%。

1.2 模型构建方法

基于绿色供应链理论,运用价值链分析法处理调研数据,梳理流通链上各个环节及环节间的相互关系,构建木结构建筑建材的流通链与生态链共生模型。绿色供应链是传统供应链和传统环境管理的有机结合和有效拓展^[6],低碳经济背景下研究绿色供应链协作机理和影响因素极具潜力。张智光^[1]提出将绿色供应链中的“绿色制造”拓展到林业资源培育等环节,研究林业产业多目标管理的新动态—林业绿色供应链问题。模型以认证链为依托,森林认证是运用市场机制来促进森林可持续经营,实现生态、社会和经济目标的工具。流通链的中上游的国际性森林认证体系^[7]可确保林木培育和采伐来自可持续发展的森林经营单位。无论是国内原木开采还是国外木材进口,木材检验检测及质量管理是一个国家

林业工程发展的衡量标准^[8]。本研究在对一般绿色供应链的基本思想和发展动态进行系统梳理的基础上,研究林业绿色供应链的内涵、特性、理论基础和研究动态,并探讨了其应用领域的相关问题。

表 1 原料树种在全国 27 家木结构建材相关企业中的经营比重

Table 1 Business proportion of raw tree species in 27 nationwide enterprises investigated

树种	经营百分比/%
北美乔柏(<i>Thuja plicata</i>)	63
冷杉(<i>Abies fabri</i>)	11
南方松(<i>Pinus</i> spp.)	48
落叶松(<i>Larix gmelinii</i>)	23
花旗松(<i>Pseudotsuga menziesii</i>)	45
花旗松—落叶松	30
新西兰辐射松(<i>Pinus radiata</i>)	19
樟子松(<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>)	45
欧洲赤松(<i>Pinus sylvestri</i>)	15
铁杉(<i>Tsuga longibracteata</i>)	26
欧洲云杉(<i>Picea abies</i>)	33
铁—冷杉	23
云杉—松—冷杉	74
杉木(<i>Cunninghamia lanceolata</i>)	23

注:经营百分比是指调研的全国范围内 27 家木结构建材相关经营企业中,某一种木结构建材在该企业业务总量中所占的百分比。南方松是松属(*Pinus* app.)湿地松(*Pinus elliottii*)、长叶松(*Pinus palustris*)、短叶松(*Pinus chinata*)、火炬松(*Pinu staede*)4 个树种的集群名称。

1.3 模型验证方法

“共生”概念由德国真菌学家德贝里(Anton Debary)提出,是指不同的生物种群按某种物质联系生活在一起,形成共同生存、协同进化的关系^[9]。双链“物质联系”的运行机制是衡量双链共生质量和产量的关键,合理的共生单元设计可实现经济效益、环境效益和社会效益的稳步共进。

双链共生单元叠合度越高,共生效益越大(图 1),木结构建材的生态效应 P_n 值表现为木材消耗量、建材生产过程能耗、水资源消耗、CO₂ 排放量、木材利用率;流通效应 Q_n 值表现为建材生产效率、木制品质量保证能力、林地生产规模经济性和经营防范度。 P_n 值与 Q_n 值的交集 $W_n = P_n + Q_n$,即生态要素与流通要素的叠合部分。共生单元包含木结构建材认证体系完善度、木结构建材产品多样性、木结构建材不同运输方式碳排放、和废弃木材循环利用率。

双链模型的共生效益主要体现在木结构建材流通链与生态链经济效益与生态效益的叠合度上。本研究选取反映模型叠合度的木结构建材认证体系完善度(W_1)、木结构建材产品多样性(W_2)、合理运输方式碳排放(W_3)3 个指标进行验证。因我国废弃

木材循环利用的相关基础资料较为缺乏,故废弃木材循环利用率(W_4)未进行具体分析。在满足经济产量的前提下,验证木结构建材的认证链完整度、原

料树种的丰富度系数 K 和不同流通方式的碳排放量体现的共生模型的叠合效益。

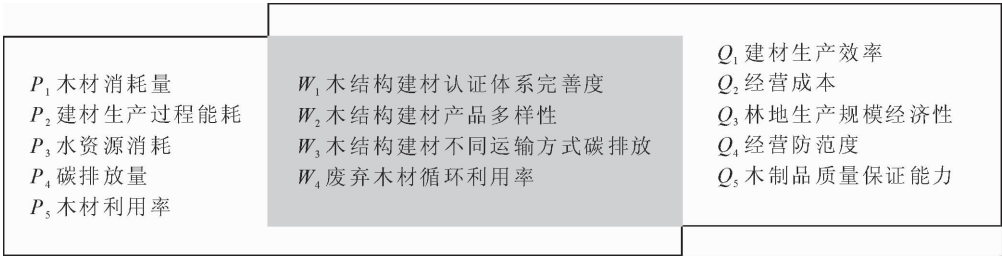


图 1 共生单元主要因素

Fig. 1 Main factors of the mutualism units

1.4 不同流通方式下木结构建材运输碳排放分析

木结构建材的流通方式多样,主要包括公路汽运、铁路运输和水路运输。其中公路运输包括汽油木材运输车 and 柴油木材运输车,水路运输包括小型木材机动船和大型木材船舶。本研究以江苏省太仓港到上海市某木材集散中心的木材运输为例,对公路与水路单位周转量的碳排放进行测算。选择最为普及的 15 t 载重木材柴油或汽油货车作为公路运输交通工具,选取小型木材运输船舶和大型木材运输船舶作为水路运输交通工具,测算出 4 种交通工具的不同能耗和碳排放量。

2 结果与分析

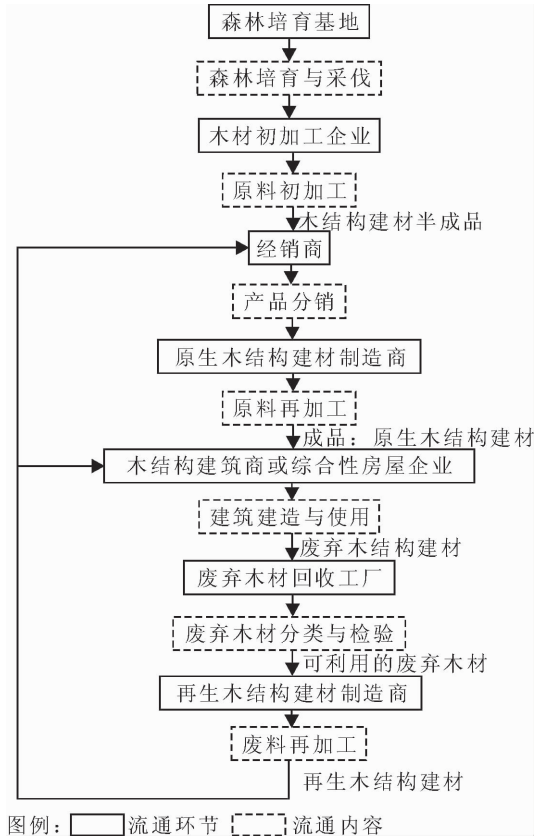
2.1 木结构建材流通链结构

在森林培育基地进行森林的培育和采伐,产出原木;木材初加工企业进行原木初加工,得到半成品;经销商将其分销到原生木结构建材制造商,制作成品后投入到建筑建造与使用;建材达到使用寿命后产生的废弃木材,通过再生木结构建材制造商产出再生木结构建材,返回流通链上游的经销商或木结构建筑商和综合性房屋企业。建立木结构建材流通模型(图 2)。

2.2 木结构建材生态链结构

生态链结构的主要构成分为木结构建材的认证机制。认证体系从森林经营认证(forest management, FM)起始,要求原木来自可持续经营的森林,以保持林地生产力;在流通链中上游,包括从原木的运输、加工到原生木结构建材产品流通的各环节,进行产销监管链认证(chain of custody, COC),确保最终木结构建材源自于经过认证的经营良好的森林;在分销环节通过传统以及“互联网+”等新的销售方式,高效传递信息流^[10];原生木结构建材商生产出的成品需经过 COC 认证和木结构建材质量分级,明确建材使用用途,提高使用效率;执行施工现场环境

保护标准,通过工厂预制加工和现场干式装配作业减少烟尘噪音污染;建筑使用阶段采用绿色建筑评估体系和建筑生命周期设计降低能耗;最后,将废弃的木材回收分级实现其循环利用(图 3)。



图例: [] 流通环节 [] 流通内容

注:原生木结构建材:由原木经过一定工序直接生产出的建材。再生木结构建材:以废弃木材为原料,经过筛选除尘重构等多道工序生产出的建材。

图 2 木结构建材流通链模型

Fig. 2 The model of wooden building material circulation chain

2.3 木结构建材流通链和生态链共生模型的验证

2.3.1 木结构产品认证体系完善度 在木结构建材流通过程中,对应的木结构产品认证体系的完善有利于提高双链共生效益,体系的各个环节由各认证指标组成,产品认证体系完善度(W_1)可作为衡量

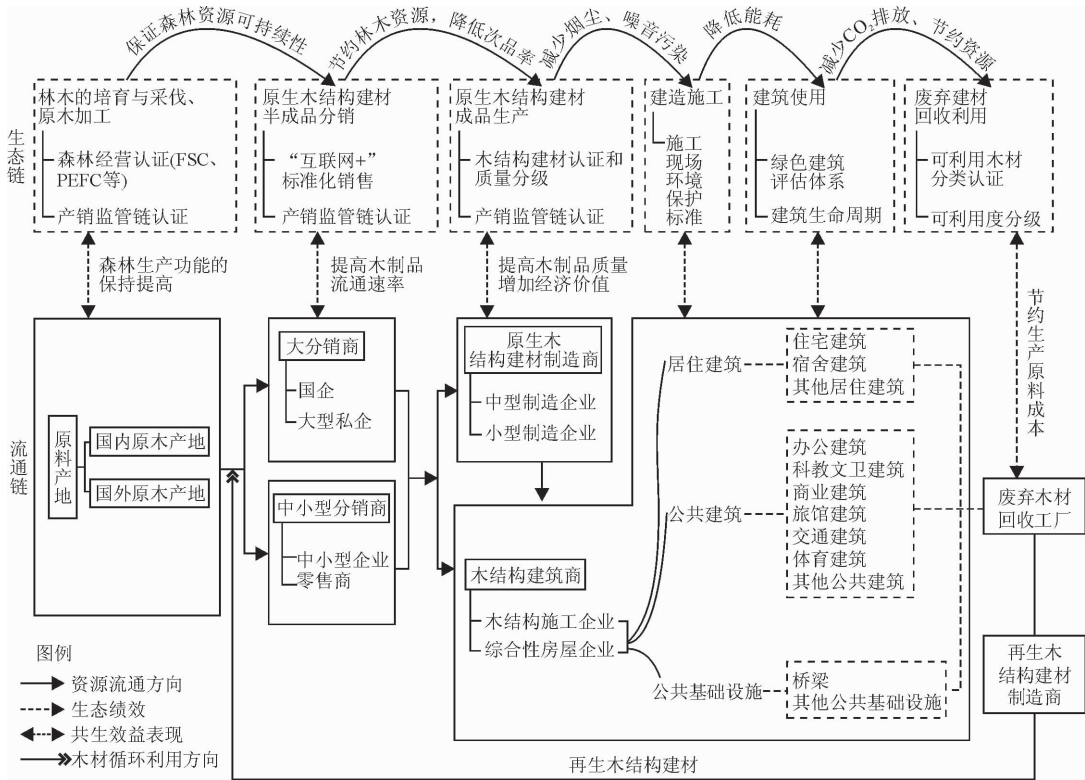


图 3 木结构建材流通链与生态链的共生模型

Fig. 3 The mutualism system of circulation chain and ecology chain

相关效益的指标,木结构产品认证体系完善度(W_1)值越高,产品认证体系越完善,对于木结构流通链与生态链模型的作用越显著(表 2)。据此得到完善度模型。

$$W_1 = \frac{P_s}{P_0} \times 100\% \tag{1}$$

式中, W_1 为木结构产品认证体系完善度, P_s 为某木结构产品 N 的认证机制种类数量的总和, P_0 为木结构产品满足所有认证机制时的赋值总和。

2.3.2 木结构建材原料树种丰富度系数 在木结构建材流通链上游,产品多样性可表现为建材加工原料即原木的树种的丰富度。丰富度系数(K)可作为衡量树种多样性的指标,与木结构建筑种类、木结构建材种类和用量、木结构建材原料常用树种数量相关。据此,提出木结构建材原料树种丰富度模型。

$$0 \leq K = \frac{\bar{X}}{X_{\max}} = \frac{w_1 X_1 + w_2 X_2 + \dots + w_N X_N}{X_{\max}} \leq 1 \tag{2}$$

式中, K 值为树种丰富度系数, K 值越大,树种丰富度越高; X_n 为可用来生产某一种木制建材的常用原木树种的个数,在技术未更新的一定时期内,为定值; \bar{X} 为生产特定木结构建筑的木结构建材常用的原木树种个数的平均值;

X_{\max} 为生产特定木结构建筑的木结构建材常用

表 2 木结构产品认证完善程度评价

Table 2 Evaluation of wooden product certification complete degree

木结构产品认证体系完善度环节	木结构产品认证指标 P_s	赋值 P_0
P_1 林木培育与采伐	n_1 森林经营认证(0 或 1)	1
	n_2 产销监管链(0 或 1)	1
P_2 原生木结构建材半成品分销	n_3 “互联网+”销售标准化程度(0 或 1)	1
	n_4 产销监管链认证(0 或 1)	1
P_3 原生木结构建材成品生产	n_5 木结构建材认证和质量分级(0 或 1)	1
	n_6 产销监管链认证(0 或 1)	1
P_4 建造施工	n_7 施工现场环境保护标准(0 或 1)	1
P_5 建筑使用	n_8 绿色建筑评估体系(0 或 1)	1
	n_9 建筑生命周期(0 或 1)	1
P_6 废弃建材回收利用	n_{10} 可利用木材分类认证(0 或 1)	1
	n_{11} 可利用度分级(0 或 1)	1
合计	0—11	11

注:某一木结构产品符合认证指标 P_s 时赋值为 1,不符合则赋值为 0。的原木树种个数的最大值; w_n 为某一种木制建材体

积占整栋木结构建筑用料总体积的比例 $w_n = \frac{V_n}{V_0}$

$\frac{V_n}{\sum_{i=1}^N V_i}$; V_n 为建设一栋木结构建筑所需要的某一种木

制建材的体积; V_0 为一栋木结构需要的所有木制建

材的总体积, $V_0 = \sum_{i=1}^N V_i, V_i = 0, \dots, N$ 。

以轻型木结构为例(表 3), 计算其丰富度系数 K 值。

若要建成一栋 100 m^2 的轻型木结构建筑一般需要 20 m^3 结构用木质建材, 其中规格材体积约占 70% , OSB 板体积约占 30% , 规格材可替换树种数量为 3 种, OSB 可替换树种大于 10 种, $w_1 = 70\%$, $w_2 = 30\%$, $X_1 = 3, X_2 = X_{\max} = 10$; 即可得该木结构建筑的树种丰富度系数:

$$K = \frac{\bar{X}}{X_{\max}} = \frac{w_1 X_1 + w_2 X_2}{X_{\max}} = \frac{70\% \times 3 + 30\% \times 10}{10} = 0.51 = 51\% \quad (3)$$

据此, 一栋 100 m^2 的典型轻型木结构建筑的木质建材原料树种的丰富度系数为 51% 。

若用预制工字梁替代原结构中体积占比 5% 的搁栅, 则 $w_1 = 65\%, w_2 = 30\%, w_3 = 5\%, X_1 = 3, X_2 = X_{\max} = 10, X_3 = X_{\max} = 10$;

$$K = \frac{\bar{X}}{X_{\max}} = \frac{w_1 X_1 + w_2 X_2 + w_3 X_3}{X_{\max}} = \frac{65\% \times 3 + 30\% \times 10 + 5\% \times 10}{10} = 0.565 = 56.5\% \quad (4)$$

加入预制工字梁后的丰富度系数增加为 56.5% , 互作结构更加稳定。因此, 对特定的木结构建筑, 木结构建材的树种种类越丰富, 从原料到成品

表 4 不同流通方式下木结构建材运输碳排放

Table 4 Carbon emission of typical wooden building materials transportation under different circulate modes

运输起点	运输终点	运输方式	运输交通类型	里程数/km	总能耗	总碳排放量 /($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$)
太仓港	上海	公路	汽油木材货车	59.2	$4.878\ 9\ \text{L} \cdot \text{T}^{-1}$	8.980 6
			柴油木材货车	59.2	$3.587\ 5\ \text{L} \cdot \text{T}^{-1}$	9.193 7
		水路	小型木材运输机动船	65.5	$0.766\ 4\ \text{kg} \cdot \text{T}^{-1}$	2.410 4
			大型木材运输船舶	65.5	$0.771\ 6\ \text{kg} \cdot \text{T}^{-1}$	0.471 6

3 结论与讨论

木结构建材流通链是木结构建材产品从原产地沿各流通中间环节传递至终端用户, 再反馈到流通链上游的闭合链条结构。生态链使流通模式升级为反馈式流程和低开采、高利用、低排放的循环经济模式^[11]。

基于前人的研究理论和体系, 建立了流通链和生态链的共生关系模型。利用价值链分析法, 选出共生链中的 3 个主要影响共生效应的共生单元, 研究完善了木结构建材的认证体系, 建立了原料及产品丰富度模型, 测算了不同木结构建材运输方式的碳排放量。

现阶段, 我国林业发展确立了以生态建设为主

或半成品并联通路的支路越多, 双链的互作结构越稳定。

表 3 典型木结构建筑代表性建材种类与
可选用树种种类数量

Table 3 Categories of typical wooden building materials
and alternative tree species

木结构 建筑类型	序号	木结构 建材类型	w_n	X_n	K
轻型木结构	1	规格材	w_1	3	K_1
	2	OSB	w_2	10+	K_2
现代梁柱式木结构	1	胶合木	w_1	9	K_1
	2	预制工字梁	w_2	10+	K_2
	3	LVL	w_3	6	K_3
	4	PSL	w_4	5	K_4
	5	胶合板	w_5	10+	K_5
	6	OSB	w_6	10+	K_6
大跨木结构	1	胶合木	w_1	9	K_1
井干式木结构	1	原木	w_1	10+	K_1
	2	锯材	w_2	10+	K_2

注: 10+表示可替换的常用树种>10种。

2.3.3 不同流通方式下木结构建材运输碳排放
使用汽油货车、柴油货车、小型木材运输机动船与大型木材运输船舶运输总碳排放量(W_3)分别为 $8.980\ 6, 9.193\ 7, 2.410\ 4\ \text{kg} \cdot \text{t}^{-1} \text{km}^{-1}$ 与 $0.4716\ \text{kg} \cdot \text{t}^{-1} \text{km}^{-1}$ (表 4)。可见, 选择大型木材运输船舶最节能低碳, 而在公路运输时尽量选择汽油木材货车运输为宜。

的林业可持续发展道路, 建立以资源保护和工程建设推动生态建设, 以科技进步和精深加工推进林业产业结构升级的方针, 满足社会经济发展对林业的多种需求^[12]。生态链的组成以资源最大化为原则, 低碳尘排放为目标, 是一套由各类相关认证标准构成的木结构建材认证体系, 并对应到流通链的相应环节。该体系监督木结构建材是否来自可持续经营的森林, 规范木结构建材及废弃木材的质量和类型, 控制木结构建材生产和使用过程的能耗指标与建材利用率和耐久度。与之前的研究不同在于本研究提出了以森林认证及产销监管链体系为基础的生态链, 营造森林可持续经营和产品质量监管的保障体系。加入产销监管链认证, 不仅能保证木材来源的合法性, 还能保证木材来源的可持续性; 相对于木材

合法性认定体系的起步状态,产销监管链认证已通过层层试点,在中国已发展完善^[13];木材流通的中间阶段由产销监管链认证监管,获得市场准入资质,增强市场竞争力;明确木结构建材等级,全面提升产品质量,降低企业的采购成本和施工成本,提高生产效益;促进产品的技术改进,调整其开发设计;提高木结构建材流通行业的信誉。

目前,国际上趋于完善的森林认证体系有 FSC 森林认证和 PEFC 森林认证,确保最终产品源自于经过认证的经营良好的森林。木材的消耗量和利用率是贯穿流通链整个环节的生态指标,是衡量流通效率的标准;建材生产过程中的能量消耗、水资源消耗和 CO₂ 排放量是检验流通过程是否符合绿色低碳的重要指标。在保证木材质量和合理利用的情况下,尽量降低流通中消耗的资源及碳排放量,使流通链达到绿色循环的要求。加拿大林业企业通过自愿、市场化的森林认证计划,保证它们提供给客户的产品全部产自可持续管理林场,该国经认证的林地面积居世界第 1 位。在瑞典,伐木与造林同时进行,“砍 1 棵种 4 棵”是基本国策,林木大量使用和出口的同时,储蓄总量不减反增,保证了木结构建材的价值绩效。

目前,我国还未建立木质建材的绿色建材评价指标体系,这使得木质建材的质量很难得以保证,建立专业的、独立的木质绿色建材评价体系势在必行。本研究建立了木结构产品认证体系完善度评价方法与模型。

本研究建立了代表性建材种类与原材料树种关系的丰富度模型,利用丰富度系数量化木结构建材原料的可替代程度;木材加工业的增长主要来源于要素投入和技术的进步,而发展木材加工业不能单纯依靠生产要素的无限投入,而是要依赖技术进步来促进木材加工业的持续增长^[14]。木结构建材在原料树种多样性的基础上,通过技术开发及产品设计实现产品的多样性。木结构建筑的零部件由不同的木结构建材产品构成,丰富的木结构建材产品为木结构建筑的多样性带来可能。木结构建材原料的树种多种多样,我国现阶段主要经营的木结构建材树种主要包括云杉—松—冷杉(SPF)、北美乔柏、樟子松、南方松等。原木的材性一定程度上决定了木结构建材的质量和用途,不同的加工工艺丰富了木结构建材的产品种类,多样的原木树种提供了可替代性高的木结构建材原材料。

合理的运输方式不仅使得资源良性流通,促进流通链可持续运行,还可以降低单位木材周转量能耗和碳排放,增加生态绩效。木结构建材流通方式

直接影响到流通链上各环节的木材运输能耗,合理的流通方式可以将木材单位周转量碳排放最小化,提高生态效益。根据行业标准中给定的基本条件和基本燃料消耗量,汽油木材货车和柴油木材货车分别消耗燃料 0.068 9 L · t⁻¹ · km⁻¹ 和 0.606 L · t⁻¹ · km⁻¹,单位周转量碳排放量分别是 0.151 7 kg · t⁻¹ · km⁻¹ 和 0.155 3 kg · t⁻¹ · km⁻¹,消耗柴油;小型木材船舶和大型木材船舶分别消耗柴油 0.011 7 kg · t⁻¹ · km⁻¹ 和 0.002 3 kg · t⁻¹ · km⁻¹,单位周转量碳排放量是 0.036 8 kg · t⁻¹ · km⁻¹ 和 0.007 2 kg · t⁻¹ · km⁻¹^[15]。据此,以太仓港到上海某木材集散中心的木材运输为例,对公路与水路单位周转量的碳排放进行测算。得出了特定条件下的低碳运输方式。在木结构建材流通链上,CO₂ 排量较大的流通环节主要体现在林木采伐、集材、运输和贮木场生产 4 个阶段。据测算,不同情况下运材段的碳排放量相较其他 3 个阶段最大,可达 4 个阶段总碳排放量的 65.3%~74.7%。故运材段流通方式的选择是节能减排的关键^[16]。故研究中计算了某一运输距离的不同运输方式的单位周转量碳排放,通过比较得到合理的运输方式,促进低碳环保。

通过共生模型明确木结构建材的流通机制及流通链与生态链的密切联系,可为实现木结构建材的绿色流通提供参考。同时,由于共生模型的综合性和复杂性,加上经济因素与人文因素的双重影响,木结构建材的绿色流通还需更进一步的研究和改进。

致谢:感谢朱光前先生、毛林海先生对调查项目的宝贵意见;感谢中国木材与木制品流通协会、中国现代木结构建筑技术产业联盟、苏州昆仑绿建、上海绿木业、木建优品(北京)、耐思木业(上海)、迟木匠技术开发有限公司等单位对本项目的倾力支持,向在团队调研过程中为项目提供无私帮助的专家、前辈及热心填写调查问卷的各企业致谢!

参考文献:

[1] 张智光. 林业产业管理的新动态:林业绿色供应链[J]. 林业经济, 2008 (12): 57-62.
ZHANG Z G. A new trend in forestry industry administration: forestry green supply chain [J]. Forestry Economics, 2008 (12): 57-62. (in Chinese)

[2] 黄彦. 低碳经济时代下的森林碳汇问题研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27 (3): 260-268.
HUANG Y. Forest carbon sink towards low carbon economy [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27 (3): 260-268. (in Chinese)

[3] 中共中央、国务院. 关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见[J/OL], <http://news.xinhuanet.com/politics/2016->

02/21/c_1118109546.htm. 2016,2.

[4] 工业和信息化部,住房和城乡建设部. 促进绿色建材生产和应用行动方案[J/OL], http://www.mohurd.gov.cn/wjfb/201509/t20150906_224666.html. 2015.9.

[5] 周媛,郑丽凤,周新年,等. 基于行业标准的木材生产作业系统碳排放[J]. 北华大学学报:自然科学版,2014,15(6):815-820. ZHOU Y,ZHENG L F,ZHOU X N,*et al.* Carbon emission of timber production operating system based on industry standards[J]. Journal of Beihua University:Natural Science,2014,15(6):815-820. (in Chinese)

[6] 谢海涛,张智光. 供应链协作研究综述及其理论模型构建[J]. 山东工商学院学报,2014,28(2):71-77. XIE H T. Supply chain collaborative research were reviewed and its theoretical model building[J]. Journal of Shandong Institute of Business and Technology,2014,28(2):71-77. (in Chinese)

[7] 颜帅. 国际森林认证体系与中国森林认证的理论和政策研究[D]. 北京:北京林业大学,2003.

[8] 杨继刚. 试论影响木材检验质量的因素及对策[J]. 农民致富之友,2016(5):225-225.

[9] 张宪省,贺学礼. 植物学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.

[10] 黄楚新,王丹.“互联网+”意味着什么——对“互联网+”的深层认识[J]. 新闻与写作,2015(5):5-9.

[11] 殷延青,胡金鑫,段新芳,等. 循环型林产业产业链及其发展模式研究[J]. 陕西林业科技,2006(3):38-41. YIN Y Q,HU J X,DUAN X F,*et al.* Forest industrial research recycling chain and its development model[J]. Shaanxi Forest Science and Technology,2006(3):38-41. (in Chinese)

[12] 韩杏容,夏自谦,张德英. 我国林业经济增长整合模式分析[J]. 西北林学院学报,2006,21(6):187-189. HAN X R,XIA Z Q,ZHANG D Y. Analysis of integration mode of economic growth in China's forestry sector[J]. Journal of Northwest Forestry University,2006,21(6):187-189. (in Chinese)

[13] 白清玉. 产销监管链认证标准与木材合法性认定体系关联性研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.

[14] 黄登良,汪鹏,谢丽团,等. 低碳约束下木材加工业全要素生产率研究[J]. 林业经济问题,2015,35(4):348-353. HUANG D L,WANG P,XIE L T,*et al.* Analysis on total factor productivity of the wood processing industry under the low carbon constraints[J]. Issues of Forestry Economics,2015,35(4):348-353. (in Chinese)

[15] 郭伟,姚涛,张时聪,等. 轻型木结构房屋碳排放总量计算方法研究[J]. 建筑节能,2014,42(9):73-76. GUO W,YAO T,ZHANG S C,*et al.* Calculation method determination of carbon dioxide emissions for light frame wood houses[J]. Building Energy Efficiency,2014,42(9):73-76. (in Chinese)

[16] 解天荣,王静. 交通运输业碳排放量比较研究[J]. 综合运输,2011(8):20-24. XIE T R,WANG J. A comparative study on carbon emissions from transportation[J]. Comprehensive Transportation,2011(8):20-24. (in Chinese)

(上接第 237 页)

[13] 孙德林,余先纯,孙德彬. 烧结温度对木材陶瓷耐磨性的影响[J]. 材料热处理学报,2013,34(11):27-31. SUN D L,YU X C,SUN D B,*et al.* Effects of sintering temperature on abrasive resistance of woodceramics[J]. Transactions of Materials and Heat Treatment,2013,34(11):27-31. (in Chinese)

[14] 胡慕任,刘淑兰. 23 种广东常见阔叶树材的耐磨性质[J]. 木材工业,1992,6(3):37-43.

[15] 李坚. 木材保护学[M]. 北京:科学出版社,2012.

[16] 张丽沙. 主要陈设工艺品木雕用材材质的系统研究[D]. 南京:南京林业大学,2015.

[17] KOCAEFE D S,PONCSAK G,DORE R YOUNSI. Effect of heat treatment on the wettability of white ash and soft maple by water[J]. Holz. Roh. Werkst. ,2008,66:355-361.

[18] 李贤军,蔡智勇,傅峰,等. 高温热处理对松木颜色和润湿性的影响规律[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(8):178-182. LI X J,CAI Z Y,FU F,*et al.* Effects of high temperature thermal treatment on color and wettability of pseudotsugamenziesii wood[J]. Journal of Central South University of Forestry,2011,31(8):178-182. (in Chinese)

[19] 马世春. 汽蒸处理改善木材尺寸稳定性初探[J]. 木材工业,1998,12(5):36-39. MA S C. Study on improving dimensional stability of wood after saturated steam treatment[J]. China Wood Industry,1998,12(5):36-39. (in Chinese)

[20] 冯德君,赵经峰. 热处理木材吸湿性及尺寸稳定性研究[J]. 西北林学院学报,2011,26(2):200-202. FENG D J,ZHAO J F,*et al.* Heat treatment of wood hygroscopicity and dimensional stability[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,26(2):200-202. (in Chinese)