浙 江 农 林 大 学 学 报，2019，**36**(2)：349–358
Journal of Zhejiang A&F University
doi:10.11833/j.issn.2095-0756.2019.02.017

长江经济带城市化与森林生态承载力协调关系研究

廖文梅，秦克清，童　婷，彭泰中

（江西农业大学 经济管理学院，江西 南昌 330032）

摘要：以长江经济带 11 个省(市)为研究对象，基于耦合协调模型构建城市化与森林生态承载力评价指标体系，运用熵权法测算 2005–2014 年长江经济带城市化与森林生态承载力综合水平，分析其耦合协调关系及时空演化规律。研究结果表明：①长江经济带城市化与森林生态承载力综合水平分别处于上升趋势，总体呈现“中东部较强，西部较弱”的分布格局，其中城市化指数 10 a 间共增长 0.070 8，森林生态承载力指数 10 a 间共增长 0.057 9。②长江经济带城市化与森林生态承载力协调关系一直处于上升趋势，协调度值从 0.532 9 上升到 0.614 4，经历了从“低度协调”过渡到“中度协调”阶段，整体协同作用初显效果，但城市化发展滞后是制约两者协调发展水平提升的主要原因。③区域内各省（市)协调度存在一定差异，东中西部地区依次呈递减趋势，呈现“良好协调-城市发展型”“中度协调-绿色发展型”“低度协调-绿色发展型”“中度失协调-绿色发展型”的空间分布趋势。总体来看，长江经济带的森林生态承载力优先于总体城市化是导致大部分城市两系统间耦合协调度处于中低水平的重要原因。因此，在推进长江经济带建设中仍要正确处理好生态环境和经济发展的关系，探索协同推进生态优先和绿色发展新路径。图 5 表 4 参 11

关键词：林业经济学；长江经济带；城市化；森林生态承载力；耦合协调关系

中图分类号：S7-98　　　**文献标志码**：A　　　**文章编号**：2095-0756(2019)02-0349-10

Coupling relationship between urbanization and forest ecological carrying capacity on the Yangtze River Economic Belt

LIAO Wenmei, QIN Keqing, TONG Ting, PENG Taizhong

(School of Economics and Management, Jiangxi Agriculture University, Nanchang 330032, Jiangxi, China)

Abstract: This article focused on 11 provinces on the Yangtz River Economic Belt (YREB). Firstly, it established a systematic evaluation index system for urbanization and forest ecological carrying capacity (FECC). Secondly, it used an entropy weight method to measure the integrated level of the urbanization and the FECC. Finally, the change trends of the urbanization and the FECC on the YREB during 2005–2014 were revealed through the coupling coordination model. The results showed that: (1) there had been a growing trend in the integrated level of the urbanization and the FECC on the YREB, showing a distribution pattern of “strongest in the middle and east of China and weakest in the west of China”, the index of urbanization increased by 0.070 8 and the index of forest ecological carrying capacity increased by 0.057 9; (2) there had also been an upward trend in the coordinated degree between urbanization and the FECC in the YREB cities, the degree of coupling coordination rose from 0.585 7 in 2005 to 0.651 1 in 2014; it had experienced a transition from “low coordination” to “moderate coordination”; the overall synergy began to appear but the lag in the urbanization was the

收稿日期：2018-04-26；修回日期：2018-07-20

基金项目：国家自然科学基金资助项目(71463025，71663029)；江西省杰出青年人才资助计划项目(2017BCB23043)；江西省高校人文社会科学研究项目(JJ17113)；江西省研究生创新专项资金资助项目(YC2017-S186)

作者简介：廖文梅，教授，博士，从事林业经济理论与政策、生态经济理论与政策等研究。E-mail：Liaowenmei@126.com。通信作者：彭泰中，讲师，从事生态经济理与政策研究。E-mail：pengtaizhong@126.com

main factor constraining the improvement of the coordinated development; (3) there were certain differences in coordination levels among provinces; the level of the coordination had decreased from the east to the west region, presenting the spatial distribution trend of "good coordination-urbanization development", "medium mismatches-green development", "low coordination-green development" and "moderate coordination-green development". Overall, the FECC taking precedence over the urbanization on the YREB is an important reason why the coupling coordination between two systems in most cities is at medium-low level. Therefore, in promoting the construction of the YREB, we must correctly handle the relationship between the ecological environment and economic development, and explore the synergetic mode to promote ecological priorities and new approaches to green development. [Ch, 5 fig, 4 tab. 11 ref.]

Key words: forestry economics; the Yangtze River Economic Belt; urbanization; forest ecological carrying capacity; coupling coordination

城市是人类文明的标志，也是人类利用和改造自然的集中体现。中国在快速发展的城市化和工业化推动下，年经济增长率平均超过 9.9%，跃居成为世界第二的经济大国，然而日益加快的城市化进程势必对生态系统和资源环境承载力带来巨大压力[1]。城市的发展离不开自然生态系统的支撑。长江经济带作为全面推进的对内对外开放带和生态文明建设的先行示范带，在全面促进产业转型升级、推进新型城镇化建设方面发挥着重要的示范引领作用。因此，城市化与生态环境间的协调问题成为长江经济带发展的重要命题。森林生态的承载能力作为可持续林业理论的重要组成部分，是评价区域森林可持续性和社会可持续性的重要指标。中国对森林生态承载力的研究始于 20 世纪 80 年代，早期的研究主要集中在森林能承载的最大人口数量上展开，指在一定时期内某一区域内森林对人类社会经济活动的支持能力的阈值及可供养的具有一定生活质量的人口最大数量[2]。学者们通过人均林业产品需求量和林业收入来计算森林的人口承载量，但这种评价方法没有体现森林多功能和多服务的价值。随后，学者们将森林承载力定义为既能反映森林自身的资源状况，也能体现森林所能承载的人类社会活动量[3]。目前，学者们的研究焦点逐渐转移到森林的生态价值，将森林生态承载力与广义的森林生态安全结合起来构建森林生态承载力评价体系[4]，既在维持自身森林生态系统结构和功能不发生退化的前提下，研究森林对人类社会的支持能力[5]。总体而言，对森林生态承载力的研究还处于探索阶段，研究方法有综合指数法、熵权法、层次分析法、“压力—状态—响应”(PSR)模型以及“驱动—状态—响应”(DSR)模型，研究对象包括省域、区域、县域层面。总之，学者们对森林生态承载力的概念、内涵、评价体系及研究方法等方面作出了卓有成效的研究，发表了许多有价值的研究成果，为本研究提供了重要的理论基础。长江经济带是中国未来经济发展格局中最具活力和潜力的核心地区，在其城市化快速推进过程中，森林生态也受到了不同程度的破坏，城市化与森林生态承载力间是否出现了不协调发展的画面? 因此，本研究从耦合协调角度出发分别构建城市化和森林生态承载力 2 个子系统，深入研究长江经济带的城市化与森林生态承载力的耦合协调关系及演变趋势，提出良性耦合的对策建议，对实现长江经济带城市化与生态环境的协调和可持续发展具有重要的指导意义。

1 研究区域与数据来源

长江流域是中华民族的发源地，天然的地理优势蕴藏着巨大的经济潜力。长江经济带地跨中国东、中、西三大区域，覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南等 11 个省(市)，面积约 205 万 km^2，人口和生产总值均超过全国的 40%，串联着长江三角洲城市群、长江中游城市群和成渝城市群，是中国经济密度最大的流域经济带。因此，本研究以长江经济带 11 省(市)数据为基础，分析长江经济带城市化和森林生态承载力耦合协调发展关系，研究结果对整个长江经济带森林生态系统安全性进行科学评价是比较有意义的。研究数据来源于《中国统计年鉴》(中国统计出版社，2005–2014)，《中国环境统计年鉴》(中国统计出版社，2005–2014)和《中国环境统计年鉴》(中国统计出版社，2005–2014)。

2 研究方法

2.1 耦合评价模型

耦合是物理学中的概念，是指 2 个(或 2 个以上的)系统或运动形式通过各种相互作用而彼此影响的现象[6]。协调是 2 个或 2 个以上系统或要素之间一种良性的相互关联，是系统之间或系统内要素之间和谐一致、良性循环的关系。耦合度与协调度是对系统或要素之间耦合与协调状态、程度的描述和度量。为深入探讨长江经济带城市化与森林生态承载力之间的耦合关系，构建城市化与森林生态承载力耦合评价模型，以此来计算和分析两者之间的耦合关系以及反映 2 个系统的整体功效和协同效应。计算公式：

$$c=2(u_1\times u_2)^{1/2}/(u_1\times u_2)。\tag{1}$$

式(1)中：c 为长江经济带城市化与森林生态承载力 2 个系统的耦合度；u_1，u_2 分别为城市化和森林生态承载力 2 个系统的综合评价指数，表示 2 个系统的综合发展水平。此模型无法判断耦合是否为良性，当 2 个系统的综合发展水平都比较低时，仍然能够得到较高的耦合度。为了避免此模型的不足，本研究引入耦合协调度模型，以此客观反映长江经济带城市化与森林生态承载力之间的协调发展水平。计算公式：

$$d=(c\times t)^{1/2},\ t=\alpha u_1+\beta u_2。\tag{2}$$

式(2)中：d 为耦合协调度；t 为长江经济带城市化与森林承载力 2 个系统的综合协调指数，反映 2 个系统的综合发展水平对协调度的贡献；α，β 为待定系数，分别表示城市化与森林生态承载力的贡献系数。在研究 2 个系统的耦合协调发展过程中，假定城市化与森林生态承载力同等重要，将 α 和 β 均取值为 0.5。由于目前关于城市化与生态环境之间的耦合协调度划分标准没有统一，因此，本研究借鉴崔木花[7]的研究将城市化与森林生态承载力的耦合类型划分为五大协调等级(表 1)。

表 1　城市化与森林生态承载力耦合协调划分类型

Table 1　Type of coupling and coordination between urbanization and forest ecological bearing capacity

d	协调度等级	$u_1>u_2$	$u_1\leqslant u_2$
$0.8<d\leqslant1.0$	良好协调	城市发展型	绿色发展型
$0.6<d\leqslant0.8$	中度协调	城市发展型	绿色发展型
$0.4<d\leqslant0.6$	低度协调	城市发展型	绿色发展型
$0.2<d\leqslant0.4$	中度失调	城市发展型	绿色发展型
$0<d\leqslant0.2$	严重失调	城市发展型	绿色发展型

2.2 综合发展水平评价模型

长江经济带城市化与森林生态承载力 2 个系统的综合发展水平计算公式如下：

$$u_{s=1,2}=\sum_{j=1}^{n}\omega_{sj}u_{sj}。\tag{3}$$

式(3)中：u_1 表示城市化系统的综合评价指数；u_2 表示森林生态承载力系统的综合评价指数；u_{sj} 为 s 系统的第 j 项指标值；ω_{sj} 为指标权重。本研究采用熵权法来计算指标权重。第 1 步：构建初始指标判断矩阵。对于 m 个研究省份，n 项城市化与森林生态承载力综合发展水平评价指标，可构建初始矩阵，$x=\{x_{ij}\}_{m\times n}$，其中 x_{ij} 为区域 i 的第 j 项指标值($i=1，2，\cdots，m$；$j=1，2，\cdots，n$)。第 2 步：指标数据的标准化。由于各指标的计量单位存在差异，需要对指标做无量纲化处理。正向指标：

$$[x_{ij}-\min(x_{ij})]/[\max(x_{ij})-\min(x_{ij})]。\tag{4}$$

负向指标：

$$[\max(x_{ij})-x_{ij}]/[\max(x_{ij})-\min(x_{ij})]。\tag{5}$$

式(4)和式(5)中：$\max(x_{ij})$和 $\min(x_{ij})$分别为指标的最大值和最小值。第 3 步：指标同度量化。

$$p_{ij}=\frac{x_{ij}'}{\sum_{i=1}^{m}x_{ij}'}。\tag{6}$$

式(6)中：p_{ij} 为第 j 项指标下第 i 个区域所占的相对比重。第 4 步：计算第 j 项指标的熵值 h_j。

$$h_j=-\sum_{i=1}^{m}p_{ij}\ln p_{ij}/\ln m。\tag{7}$$

式(7)中：h_j 为第 j 项指标的熵值；$1/\ln m$ 为信息熵系数。第 5 步：计算指标的信息效用价值。

$$d_j=1-h_j。\tag{8}$$

式(8)中：d_j 为第 j 项指标的效用价值；d_j 越大，指标的重要性越大。最后，计算权重。

$$\omega_j=\frac{d_j}{\sum\limits_{j=1}^{n} d_j}。\tag{9}$$

式(9)中：ω_j 为第 j 项指标的权重。

3 城市化与森林生态承载力综合评价指标体系构建

3.1 城市化综合评价指标体系

城市化是经济、社会、文化等多种因素综合发展的过程，实质上也是以内向式集聚为主和外向式推延为辅的综合作用的过程[2]。它不仅表现为人口由农村向城镇的转移集聚、城镇人口逐步增加，而且还包括土地的城市化和生活方式的城市化等。在城市化过程中，人们出于自身的需求和谋求更高的生活质量来到城市生活和工作，并逐渐改变原来农村的生活方式和接受城市生活方式。人口大量聚集到城市带来城市规模的扩大，使城市面积扩大以及增加更多的新城市。总之，城市化是一个复杂的过程，其中人是城市化主体，经济是驱动因素，空间是承载体，社会是城市化媒介。城市化促进人口和就业结构转变，以及产业结构升级，是现代文明取代传统文明的社会进步过程。通过梳理已有文献，在综合王少剑等[1]和王毅等[6]研究的基础上，遵循系统性、客观性以及数据的可获得性等原则，将从人口城市化、经济城市化、社会城市化和空间城市化 4 个维度来构建城市化综合水平评价体系，建立了 4 个城市化一级指标以及 14 个城市化二级指标(表 2)。

长江经济带城市化综合水平各个指标的权重如表 2 所示。比较 4 个一级指标可以发现，经济城市化(0.360 2)＞空间城市化(0.297 3)＞人口城市化(0.188 5)＞社会城市化(0.154 1)，由此可以得出：目前经济发展是长江经济带城市化的主要驱动力。在二级指标中，非农业人口占总人口的比例(0.505 7)，城市经济密度(0.511 2)和交通网密度(0.605 4)是贡献最大的指标。由此可以推断，2005–2014 年间城镇人口的增加、交通网密度和经济的提高是影响长江经济带城市化发展的重要原因。

表 2 长江经济带城市化综合水平评价体系

Table 2 Comprehensive level evaluation system of urbanization in the Yangtze River Economic Belt

目标层	准则层	权重	指标层	性质	权重
城市化	人口城市化	0.188 5	非农业人口占总人口比例	+	0.505 7
			第三从业人员占比例	+	0.162 3
			城镇人口密度	+	0.332 0
	经济城市化	0.360 2	人均国内生产总值(GDP)	+	0.180 6
			第二、第三产业占 GDP 比例	+	0.187 8
			全社会固定资产投资	+	0.120 4
			城市经济密度	+	0.511 2
	社会城市化	0.154 1	城镇居民人均可支配收入	+	0.434 0
			每万人拥有的交通车辆数	+	0.211 4
			每万人拥有的医生数	+	0.207 8
			每万人拥有的普通高校数	+	0.146 8
	空间城市化	0.297 3	城镇密度	+	0.200 6
			交通网密度	+	0.605 4
			每万人拥有的建成区面积	+	0.199 4

说明：“+”表示正向作用

3.2 森林生态承载力综合指标体系

森林生态系统是一个复杂且具有动态变化的复合系统，决定其生态服务功能大小不仅包括森林自身的内在因素，还与人类社会外界影响有关[8]。本研究从森林生态承载力内涵出发，在综合祝凌云等[4]和米锋等[9]已有研究的基础上，沿用“压力—状态—响应”(PSR)理论模型，将森林生态承载力综合评价指标体系分为 4 个维度：①森林资源状态。森林作为一种可再生资源，区域内森林的数量和质量决定森林生态价值的高低，只有达到一定的面积才能为大多数植物和动物提供一个良好的生存环境，才能维持其

生态环境的稳定性以及生态系统服务功能的发挥，具体包括森林覆盖率、单位森林面积、天然林比例、林地面积比例等 4 个资源指标，以及病虫害受害面积比例、灾害受害面积比例 2 个灾害类指标。②森林生态压力。森林生态系统承载的压力主要来源于人类经济、社会活动产生的负面影响，如资源消耗和环境污染等问题，使得森林生态系统承载的压力增大。具体指标包括森林采伐强度(主要是木材、竹材采伐量占森林蓄积的比例)，森林旅游开发强度(主要指森林旅游面积占森林面积比例)，二氧化硫排放强度，工业废水排放强度等 4 个指标。③森林生态维护。人类社会基于基本的安全需求，会减少或免除自然生态系统因超过人类适应范围对生态价值造成的减损[10]，在一定程度上人类会采取一些环保措施来减缓人类社会对森林生态承载的压力。具体包括自然保护区面积比例、新增造林比例、单位 GDP 工业污染治理强度、单位森林投资强度等 4 个指标。④自然气候条件。自然气候条件及其成因是影响森林生态承载力的主要因素，不同的自然气候条件造成区域间森林生物多样性的差异，形成区域间森林生态承载的差异，具体指标包括年降水量、平均气温、年日照时数等 3 个指标。

从表 3 的森林生态承载力评价体系中比较 4 个一级指标可以发现：森林生态压力(0.268 3)＞自然气候条件(0.250 9)＞森林资源状态(0.241 4)＞森林生态维护(0.239 4)。目前，长江经济带面临着较大的森林承载压力，且对森林资源保护力度不够。减少森林生态压力和加强森林资源保护力度是提高森林生态承载力的关键。从二级指标中可以看出，森林单位蓄积量(0.288 6)、单位森林投资强度(0.546 5)、森林旅游开发强度(0.354 9)和森林采伐强度(0.290 6)对森林生态承载力综合水平具有较高的贡献份额。在增加森林蓄积量的自然基础上提高森林投资强度，适度进行森林旅游开发和森林采伐强度是提高森林生态承载力的有力措施。

表 3　长江经济带森林生态承载力综合水平评价体系

Table 3　Comprehensive level evaluation system of forest ecological bearing capacity in the Yangtze River Economic Belt

目标层	准则层	权重	指标层	性质	权重
森林生态承载力	森林资源状态	0.241 4	森林覆盖率	+	0.176 1
			单位森林面积蓄积量	+	0.288 6
			天然林比例	+	0.149 2
			林地面积比例	+	0.157 4
			病虫害受害面积比例	−	0.121 2
			灾害受害面积比例	−	0.105 7
	森林生态压力	0.268 3	森林采伐强度	−	0.290 6
			森林旅游开发强度	−	0.354 9
			二氧化硫排放强度	−	0.165 7
			工业废水排放强度	−	0.188 8
	森林生态维护	0.239 4	自然保护区面积占比	+	0.153 1
			新增造林比例	+	0.194 3
			单位 GDP 工业污染治理强度		0.106 2
			单位森林投资强度	+	0.546 5
	自然气候条件	0.250 9	年降水量	+	0.497 8
			平均气温	+	0.108 2
			年日照时数	+	0.322 0

说明：“+”表示正向作用，“−”表示负向作用

4　城市化与森林生态承载力水平评价

4.1　长江经济带城市化综合水平评价分析

从图 1 可知：2005−2014 年长江经济带城市化综合水平一直保持稳定上升的趋势。2005 年城市化指数为 0.243 2，到 2014 年这一指数增长为 0.314 0。从城市化指数的变化趋势来看，长江经济带城市化进程比较缓慢，10 a 间城市化指数共增长 0.070 8。究其原因，与长江经济带地跨中国东、中、西部三

大板块有关，西部地区经济发展起步晚，其缓慢的城市化进程制约了长江经济带整体城市化水平。从未来的发展趋势来看，长江经济带的发展潜力还很巨大，中西部地区还有很多可利用的资源优势没有发挥出来。从 4 个一级指标的变化趋势可以看出：人口城市化与空间城市化 10 a 间的波动趋势大致相似。可以认为城市所能容纳的人口数量是有限的，城市人口剧烈增加的同时也带来城市空间的扩张需求。经济城市化一直保持稳定上升的趋势，从 2005 年的 0.198 0 增长到 2014 年的 0.237 2，表明区域对经济的发展一直保持较高的重视程度。而社会城市化呈现简单的倒“U”型趋势，2005–2009 年快速上升，2009 年后呈现略微下降趋势。因此，在建设新型城市化道路中，要促进经济又快又好发展，也要重视城市人口过快增长而引起的负面影响，同时加大社会保障力度和建设城市基础设施，这样才能将经济战略中长江经济带的这支“弓箭”做强大。

从省(市)级层面来看长江经济带各个省(市)城市化综合水平。2005–2014 年长江经济带各省(市)间的城市化综合水平差距明显(图 2)，总体呈现“中东部较强，西部较弱”的现状，符合中国现实状况。从各个省份综合水平的绝对增量来看，10 a 间城市化综合指数上升最快的是江苏省，共增加 0.224 6。下降最快的是上海市，共减少 0.048 9。深入分析发现，尽管上海市城市化水平高，但由于上海市地域面积比较狭小，大量人口的涌入会导致其城市扩张压力，2007 年后上海市空间城市化指数一直处于下降趋势，其中交通网密度从 2005 年的 1.735 4 $km \cdot km^{-2}$ 下降到 2014 年的 0.767 4 $km \cdot km^{-2}$。从 11 个省(市)的城市化综合水平的均值来看，由大到小依次排列为上海(0.976 2)、江苏(0.540 3)、浙江(0.399 2)、湖南(0.209 4)、湖北(0.203 0)、安徽(0.195 8)、江西(0.184 8)、四川(0.173 2)、重庆(0.114 3)、云南(0.090 0)、贵州(0.052 3)。

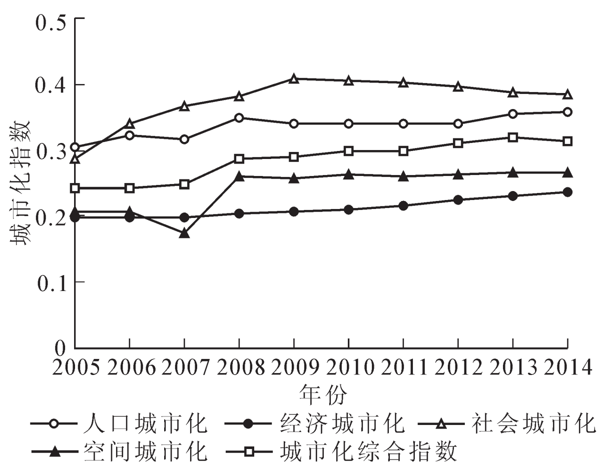

图 1 长江经济带城市化综合水平及各层面变化趋势

Figure 1 Comprehensive level of urbanization in the Yangtze River Economic Belt and the trend of change at various levels

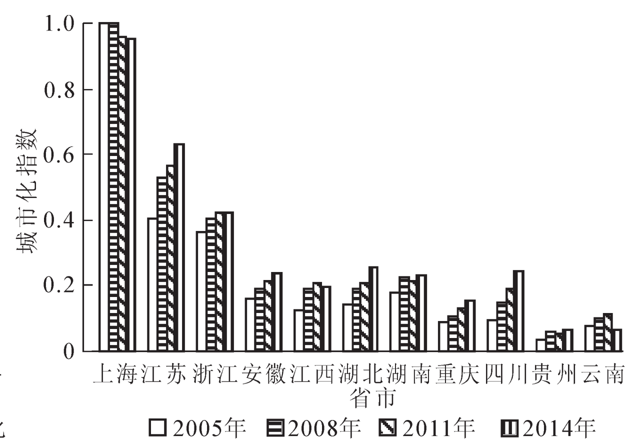

图 2 各个省份城市化综合水平变化趋势

Figure 2 Trends of the comprehensive level of urbanization in the provinces of the Yangtze River Economic Belt

4.2 长江经济带森林生态承载力综合水平分析

长江经济带的森林生态承载力综合水平及 4 个一级指标的时间变动趋势如图 3 所示。从图 3 可以看出：2005–2014 年间长江经济带森林生态承载力综合水平呈现波动式上升的趋势，2005 年森林生态承载力指数为 0.452 0，到 2014 年这一指数增长到 0.509 9。从 10 a 间的变化趋势来看，长江经济带森林生态承载力得到了较好的提升，说明政府对长江经济带的森林资源保护的措施初见成效。比较 4 个一级指标的变化趋势可以发现，森林生态承载力综合水平与自然资源状况和自然气候条件的变化趋势基本一致，在 2008，2011，2012 年等年份都呈现同幅度的变化趋势。森林资源是森林生态承载力的基础，而自然气候条件是提高森林质量的充分条件，需建立森林防火防灾预警系统，预防恶劣天气带来的负面影响。其次森林承载压力指数与森林保护指数呈上升趋势，与 2005 年相比，10 a 间 2 个指标分别提高了 0.091 8 和 0.149 6，由此可以看出：政府正在逐渐加大对森林保护的投入，但目前长江经济带的生态面

临较大的压力，所以森林保护带来的正面效果并不明显。

从省(市)级层面来看长江经济带各省(市)的森林生态承载力综合水平。从图 4 可以看出：2005–2014 年间各省(市)的森林生态承载力综合水平差距较小，总体呈现“东中部较高，西部略低”的格局，尤其是上海、江西、江苏明显高于西部地区。究其原因，可能由于经济等因素的制约导致西部省(市)对森林生态的保护力度比不上中、东部省(市)造成的。从各个省(市)的森林生态承载力综合水平的绝对增量来看，安徽省是森林生态承载力综合指数增幅最快的省份，10 a 共增加 0.213 6。重庆市基本持平。上海市是综合指数下降最快的省份，10 a 共减少 0.121 9。深入分析发现，从 2009 年起上海市对森林的保护力度在不断下降，其中新增造林比例由 2005 年的 20.248 7%下降到 2014 年 0.241 0%，单位 GDP 工业污染治理强度由 2005 年 0.060 7%下降到 0.024 1%，林业投资强度由 2005 年的 43 012.00 元·hm^{-2} 下降到 2014 年的 6 026.00 元·hm^{-2}。从 11 个省(市)的森林生态承载力综合水平的均值来看，由大到小依次排列为江西省(0.596 5)、江苏省(0.557 4)、上海市(0.552 3)、重庆市(0.536 0)、湖南省(0.519 6)、浙江省(0.508 3)、云南省(0.498 2)、四川省(0.485 4)、贵州省(0.438 1)、安徽省(0.402 1)。

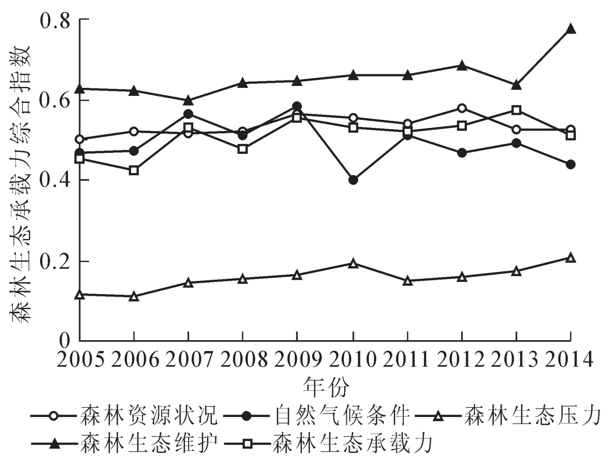

图 3　长江经济带森林生态承载力综合水平及各层面变化趋势

Figure 3　Integrated level of forest ecological bearing capacity in the Yangtze River Economic Belt and its changing trend at various levels

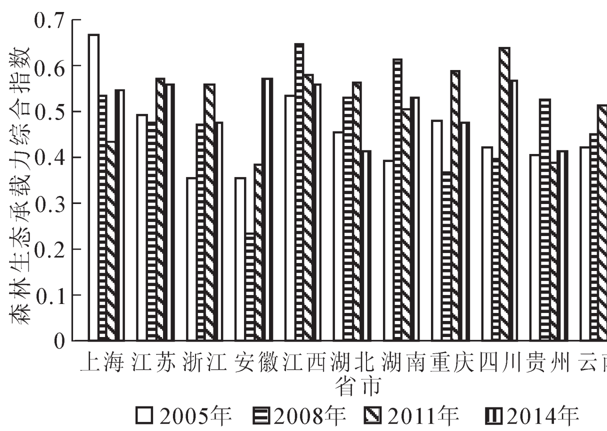

图 4　各个省份森林生态承载力综合指数变化趋势

Figure 4　Trends of integrated forest ecological bearing capacity index in the provinces of the Yangtze River Economic Belt

5　城市化与森林生态承载力耦合协调度分析

5.1　长江经济带耦合协调演化特征

利用式(2)的耦合协调度模型得出 2005–2014 年长江经济带与 11 个省(市)的城市化与森林生态承载力的协调度，并利用 Arc GIS 10.2 制作了总体趋势和演化特征，具体如图 5 所示。从图 5 可以看出：10 a 间长江经济带城市化与森林生态承载力之间的协调度一直处于平稳上升趋势，其中协调度值从 2005 年的 0.532 9 上升到 0.614 4，从“低度协调”阶段过渡到“中度协调”的协调阶段，整体协同作用初显，2 个系统间的相互作用逐渐增强。整体来看城市化水平滞后于森林生态承载力，2005 年长江经济带城市化综合水平得分为 0.243 2，2014 年增长为 0.314 0，而森林生态承载力水平 2005 年为 0.452 0，2014 年增长为 0.509 9。从区域的综合情况来看城市化滞后是构成 2 个系统不协调的主要原因，相对森林生态承载力水平来说，城市化还有进一步发展提升的空间。长江经济带地跨中国东、中、西部三大板块，经济发展水平出现“东高西低”的不平衡状态，东、西区域间的差异使得整体城市化水平滞后。

此外，从图 5 可以看出：2005–2014 年间各省(市)的耦合协调趋势，其中，上海市一直处于“高度协调阶段”，但 10 a 间两系统耦合协调度呈现略微下降的趋势，其耦合协调值从 2005 年的 0.904 0 下降到 2014 年的0.821 4。贵州省耦合协调度呈倒“U”型发展趋势，且一直处于“低度失调”阶段。此外，四川省、湖南省、湖北省、浙江省耦合协调度上升较快，从“低度协调”过渡到“中度协调”阶段。从部

署长江经济带战略以来，长江经济带一直践行“绿水青山就是金山银山”的发展理念，不破坏生态环境为前提，推动经济健康快速发展。因此，长江经济带要以上海、浙江、江苏等较发达省市为龙头，重点扶持西部落后省份，依托黄金水道的天然优势，打造绿色文明示范城市。

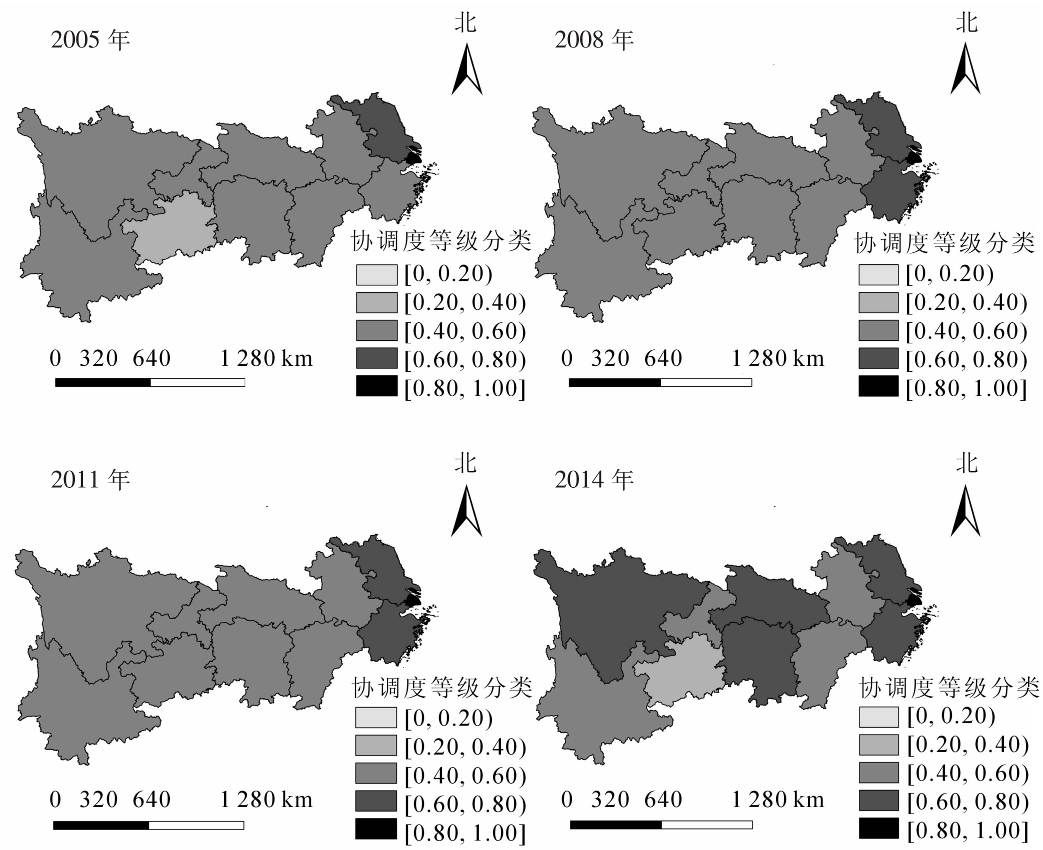

图 5 2005-2014 年长江经济带以及各个省(市)的耦合协调度变化趋势示意图

Figure 5 Trends in coupling and coordination of the Yangtze River Economic Belt and provinces in 2005-2014

5.2 长江经济带各省份耦合协调类型划分

计算长江经济带 11 省(市)2005-2014 年两大系统综合水平均值，根据表 1 的耦合协调度等级划分标准可以将 11 个省(市)划分为 4 种耦合协调类型，结果如表 4：①良好协调发展—城市发展型：上海市。上海市城市化综合水平在 11 个省(市)中位列第一位，2005-2014 年上海市城市化综合水平均值为 0.976 2，而森林生态承载力综合水平均值为 0.552 3，城市化综合水平明显大于森林生态承载力综合水平。上海市在城市化发展过程中森林生态未能很好地与之同步。在未来城市化进程中，应充分发挥其作为长江经济带中心城市的辐射功能，引领和带动整片区域的发展，同时要采取相应的措施提高上海市的森林生态承载力，协调好城市化和森林生态之间的关系。一方面要重视森林数量和质量的提高，另一方面要着力控制资源能源的过度消耗，减少碳排放和“三废”污染，注重科学技术的发展提高工业固体废物综合利用率，推动城市化与森林生态同步协调发展。②中度协调—绿色发展型：江苏省和浙江省。江苏省和浙江省城市化综合水平均值分别为 0.540 3 和 0.399 2，森林生态承载力综合水平分别为 0.557 4 和 0.508 2，城市化发展稍微滞后于森林生态承载力综合水平，出现协调发展的趋势。从各层指标得分来看，浙江省和江苏省森林承载力波动比较大，深入分析发现 2005-2014 年间 2 个省份森林承载压力指数都有上升趋势，浙江省森林压力指数从 2005 年的 0.142 8 上升到 0.197 0，江苏省森林承载压力指数从 2005 年 0.000 1 上升到 2014 年 0.002 7，因此，森林生态压力是制约 2 个系统耦合协调的一大约束力。江苏省和浙江省作为长江经济带的主力发展省份，要加快城市经济发展，则要扩大城市建成区建设，吸纳更多的人口到城市中；促进产业结构的转型，加以转变城市经济发展的方式，同时提高森林生态承载力，加大环境污染的整治，减轻森林承载压力。③低度协调—绿色发展型：安徽省、江西省、湖南省、湖北省、重庆市、四川省、云南省。2005-2014 年 7 个省(市)的城市化综合水平均值分别为

0.195 8，0.184 8，0.203 0，0.209 4，0.114 3，0.173 2 和0.090 0，而森林生态承载力均值分别为 0.402 1，0.596 5，0.519 0，0.519 5，0.536 0，0.485 4 和 0.498 2。总体来看，7 个省(市)森林生态得到了很好的保护和发展，但城市化水平相对落后，可以在未来发展中优先考虑走绿色城市化发展模式之路，要全面提高城市化整体发展水平，加快推进人口、空间、经济和社会城市化进程，促进与经济中心的交流与合作，充分将资源优势转化为经济优势。④中度失调—绿色发展型：贵州省。2005-2014 年贵州省城市化均值为 0.052 3，森林生态承载力为 0.438 1。由于地势高低不平，交通闭塞和城市历史原因使得贵州省经济起步晚，城市化水平较低。在未来，贵州省要因地制宜，多措并举地推进城市化发展，注重生态保护的同时，加快经济化、城市建成区和交通基础建设，提高城市化水平，适当开发旅游业，全面提高贵州省整体的综合发展实力，发挥绿水青山的优势。

表 4　长江经济带各个省市耦合协调度类型

Table 4　Type of coupling and coordination of provinces and provinces in the Yangtze River Economic Belt

省市	$\bar{u}_1(x)$	$\bar{u}_2(x)$	$\bar{d}$	耦合协调度类型
上海	0.976 2	0.552 3	0.858 0	良好协调—城市发展型
江苏	0.540 3	0.557 4	0.735 9	中度协调—绿色发展型
浙江	0.399 2	0.508 2	0.664 1	中度协调—绿色发展型
安徽	0.195 8	0.402 1	0.519 6	低度协调—绿色发展型
江西	0.184 8	0.596 5	0.573 8	低度协调—绿色发展型
湖北	0.203 0	0.519 0	0.568 7	低度协调—绿色发展型
湖南	0.209 4	0.519 5	0.568 7	低度协调—绿色发展型
重庆	0.114 3	0.536 0	0.494 3	低度协调—绿色发展型
四川	0.173 2	0.485 4	0.528 1	低度协调—绿色发展型
贵州	0.052 3	0.438 1	0.384 1	中度失调—绿色发展型
云南	0.090 0	0.498 2	0.455 2	低度协调—绿色发展型

6　结论

本研究基于耦合协调度模型，构建了城市化和森林生态承载力的评价指标体系，采用熵权法研究了长江经济带 11 个省(市)城市化和森林生态承载力的协调耦合关系。主要结论如下：①经济城市化和森林生态压力分别为城市化系统和森林生态承载力系统中贡献份额最大的指标。②2005-2014 年间长江经济带城市化综合水平和森林生态承载力综合水平呈现稳定上升趋势，呈现“中东部较强，西部较弱”的现状，进一步验证了流域发展不平衡不协调问题。③2005-2014 年间长江经济带城市化和森林生态承载力的耦合协调度一直保持上升趋势，从“低度协调”过渡到“中度协调”阶段，且城市化滞后于森林生态承载力。④除上海外，2005-2014 年间 11 个省(市)的耦合协调度均处于上升趋势。根据耦合模型测算结果，可以将 11 个省(市)划分为 4 种协调类型，且从西到东呈现“中度失调—绿色发展型”“低度协调—绿色发展型”“中度协调—绿色发展型”“良好协调—城市发展型”的时空演化趋势。

总体来看，长江经济带城市化滞后于森林生态承载力是造成大部分省(市)耦合协调度处于中低水平的原因，进一步说明国家在推进长江经济带发展过程中坚持了“绿水青山就是金山银山”的生态优先发展理念。因此，在未来一段时间，长江经济带针对这种现状，仍要正确处理生态环境和经济发展的关系，探索协同推进生态优先和绿色发展新路子，特别是处理好“绿水青山”和“金山银山”的关系。针对森林生态承载力滞后的省(市)，要重点关注生态环境的改善，转变经济增长方式，走生态城市发展之路；而城市化滞后森林生态承载力的省(市)要努力将生态资源优势转变为区域发展优势，围绕生态优势打造投资项目，发展绿色环保产业和生态旅游产业，走高效低污染的可持续发展道路，推动两者协调发展；同时加快长江经济带上各个城市的交流与合作，依托黄金水道，在中心城市的带动下提升整体城市化水平，努力把长江经济带打造为中国绿色发展之路的美丽样板。

7　参考文献

[1]　王少剑，方创琳，王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度[J]. 生态学报，2015，**35**(7)：2244 – 2254.
WANG Shaojian, FANG Chuanglin, WANG Yang. Quantitative investigation of the interactive coupling relationship between urbanization and eco-environment [J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(7): 2244 – 2254.

[2]　欧阳勋志，彭世揆，廖为明，等. 森林承载力评价方法的探讨[J]. 江西农业大学学报，2003，**25**(6)：834 – 838.
OUYANG Xunzhi, PENG Shikui, LIAO Weiming, *et al*. Approach to evaluating method for forest carrying capacity [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2003, **25**(6): 834 – 838.

[3] 张志杰，伊力塔，韩海荣，等. 浙江省森林承载力评价研究[J]. 浙江林学院学报，2009，**26**(3)：368 – 374.

ZHANG Zhijie, YI Lita, HAN Hairong, *et al*. Study on forest carring capacity in Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26**(3): 368 – 374.

[4] 祝凌云，张大红. 吉林省长白县森林生态承载力评价[J]. 生态科学，2016，**35**(5)：176 – 182.

ZHU Lingyun, ZHANG Dahong. Forest ecological carrying capacity evaluation on Changbai County in Jilin Province [J]. *Ecol Sci*, 2016, **35**(5): 176 – 182.

[5] 李建华，佘济云，陈端吕. 武陵源区森林旅游生态承载力研究[J]. 中南林业科技大学学报，2009，**29**(4)：158 – 163.

LI Jianhua, SHE Jiyun, CHEN Duanlü. Ecological carrying capacity of forest tourism resources in Wulingyuan District [J]. *J Cent South Univ For Technol*, 2009, **29**(4): 158 – 163.

[6] 王毅，丁正山，余茂军，等. 基于耦合模型的现代服务业与城市化协调关系量化分析：以江苏省常熟市为例[J]. 地理研究，2015，**34**(1)：97 – 108.

WANG Yi, DING Zhengshan, YU Maojun, *et al*. Quantitative analysis of the coordination relation between modern service industry and urbanization based on coupling model: a case study of Changshu [J]. *Geogr Res*, 2015, **34**(1): 97 – 108.

[7] 崔木花. 中原城市群 9 市城镇化与生态环境耦合协调关系[J]. 经济地理，2015，**35**(7)：72 – 78.

CUI Muhua. The relationship of coupling coordination between urbanization and ecological environment: a caseof urban cluster in the Central Plains [J]. *Econ Geogr*, 2015, **35**(7): 72 – 78.

[8] 冯继广，丁陆彬，王景升，等. 基于案例的中国森林生态系统服务功能评价[J]. 应用生态学报，**27**(5)：1375 – 1382.

FENG Jiguang, DING Lubin, WANG Jingsheng, *et al*. Case-based evaluation of forest ecosystem service function in China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2016, **27**(5): 1375 – 1382.

[9] 米锋，谭曾豪迪，顾艳红，等. 我国森林生态安全评价及其差异化分析[J]. 林业科学，2015，**51**(7)：107 – 115.

MI Feng, TAN Zenghaodi, GU Yanhong, *et al*. Difference analysis and evaluation of Chinese forest ecological security [J]. *Sci Silv Sin*, 2015, **51**(7): 107 – 115.

[10] 谢高地，张钇锂，鲁春霞，等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报，2001，**16**(1)：47 – 53.

XIE Gaodi, ZHANG Yili, LU Chunxia, *et al*. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China [J]. *J Nat Rresour*, 2001, **16**(1): 47 – 53.

[11] 李琰，李双成，高阳，等. 连接多层次人类福祉的生态系统服务分类框架[J]. 地理学报，2013，**68**(8)：1038 – 1047.

LI Yan, LI Shuangcheng, GAO Yang, *et al*. Ecosystem services and hierarchic human well-being: concepts and service classification framework [J]. *Acta Geogr Sin*, 2013, **68**(8): 1038 – 1047.