

福州市生态环境压力与经济脱钩耦合关系

杨泓川, 陈松林

(1. 福建师范大学 地理科学学院, 福建 福州 350007; 2. 福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福建 福州 350007)

摘要: [目的] 定量分析 2010—2015 年内福建省福州市生态环境压力与经济发展现状, 判别经济发展与资源消耗、环境污染和生态环境压力综合状况的脱钩耦合关系, 揭示该区生态经济系统脱钩耦合特征。[方法] 从生态环境压力与经济发展脱钩耦合关系理论体系构建出发, 综合运用生态足迹模型、多因素综合评价法和改良脱钩耦合模型。[结果] ① 支撑福州市区域发展所需的额外生态承载力由 2010 年的 2.89 倍增长到 2015 年的 3.37 倍, 足迹账户内部的贡献率大小依次为碳吸收地 > 农地 > 建成地 > 林地 > 草地 > 水域; ② 3 组脱钩耦合要素在各时段范围内的脱钩耦合类型均为脱钩型, 未出现临界状态和耦合型。[结论] ① 福州市生态环境压力状况总体较大, 生态透支程度较高, 在生态环境压力的内部结构中环境污染压力比重高于资源消耗压力并居于主体地位; ② 福州市经济发展方式尚处于可持续的范围中, 但 3 组脱钩耦合要素的脱钩耦合关系呈现出差异化的时序演化特征。

关键词: 生态环境压力; 经济发展; 脱钩耦合; 福州市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)01-0278-08

中图分类号: F062.1, F224.0

文献参数: 杨泓川, 陈松林. 福州市生态环境压力与经济脱钩耦合关系 [J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 278-285. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.044; Yang Hongchuan, Chen Songlin. Decoupling relationship between eco-environment pressure and economic development in Fuzhou City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 278-285.

Decoupling Relationship Between Eco-environment Pressure and Economic Development in Fuzhou City

Yang Hongchuan, Chen Songlin

(1. School of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350007, China;

2. Provincial Key Laboratory of Subtropical Resources and Environment of Fujian Province, Fuzhou, Fujian 350007, China)

Abstract: [Objective] To study the relationships between economic development and resource consumption, environmental pollution and eco-environment pressure, in order to reveal the decoupling characteristics of eco-economic system of Fuzhou City, Fujian Province during 2010—2015. [Methods] Ecological footprint model, multi-factor comprehensive evaluation method and improved de-coupling model was used to analyze the eco-environment pressure and economy development status. [Results] ① The additional ecological carrying capacity required to support the regional development increased from 2.89 times in 2010 to 3.37 times in 2015, and the internal contribution rate of the footprint account was ranked as: carbon footprint > cropland > built-up land > forest land > grazing land > fishing grounds. ② The types of the three decoupling coupling elements in the range of every stages were all decoupling type, and there was no critical state or coupling type. [Conclusion] ① The overall eco-environment pressure in Fuzhou City is relatively large, and the dominant pressure in the internal structure of ecological environment is the environmental pollution pressure. ② The development approach in Fuzhou City is still in a sustainable scope, but the decoupling relationship of three decoupled element groups present different temporal evolution feature.

Keywords: eco-environment pressure; economic development; decoupling relationship; Fuzhou City

收稿日期: 2018-08-19

修回日期: 2018-09-01

资助项目: 国家自然科学基金项目“多维视角下台商对大陆农业投资的技术扩散研究”(41771136); 福建省科技重大专项“水土流失初步治理区生态循环与产业提升技术研发与示范”(2012NZ0002)

第一作者: 杨泓川(1995—), 男(汉族), 江西省瑞金市人, 硕士研究生。研究方向为土地利用与区域可持续发展。E-mail: 1171595544@qq.com。

通讯作者: 陈松林(1963—), 男(汉族), 福建省南安市人, 博士、教授。主要从事土壤与土地资源研究。E-mail: slchen6@163.com。

耦合是指两个(或两个以上的)系统或运动形式以各种媒介实现诸如物质交换、能量传递、形态转移等多种相互作用的物理学现象^[1]。而脱钩也称“去耦”,外在表现为耦合系统中相互作用力的消失,但本质上却体现了耦合系统进入更高(或更低)级的协调阶段^[2]。因此,脱钩和耦合可以看作是同一过程的不同阶段,脱钩耦合关系可以用来描述两个(或两个以上的)系统的相对运动状态^[3]。生态环境压力与经济发展的脱钩耦合关系就是生态环境与经济发展两大系统的相对运动状态。

国外对生态经济耦合系统的研究主要集中在模型分析以及理论框架的构建上,发展并产生了 3 项标志性成果^[4]:①20 世纪 80—90 年代由联合国环境规划署(UNEP)和经济发展与合作组织(OECD)联合开发的“压力—状态—响应”(PSR)模型,为探讨经济发展与环境关系提供了一套完整的理论框架和全新的分析思路;②20 世纪末提出的环境库兹涅茨曲线认为经济发展过程中经济增长与环境污染之间存在一种先同步后相背的“倒 U 型”变化规律,即伴随着经济发展,环境经历了一个先恶化后改善的变化过程^[5];③21 世纪初,OECD 提出脱钩模型,认为当经济增长率高于环境压力增长率时,生态经济耦合系统趋于协调,应当通过各种手段加快二者的相背变化,以使环境压力不再成为经济增长的“阿喀琉斯之踵”^[6]。国内相关研究起步较晚,一般基于国外理论展开概念辨析、机制分析和实证研究^[7-10],主要体现出 3 个方面的特色:①由于中国行政区划体系的影响,多空间尺度下生态经济系统耦合关系的差异性成为研究的重点^[11-13];②通过跨学科理论迁移丰富和完善既有理论,特别注重物理学研究宏观物体的理论与方法和地理学过程和格局的分析视角相结合^[14-15]。③以经济发展的重要表现形式城市化与生态环境的耦合关系在此类研究中占据主导地位^[16-19],这和中国当前的经济发展阶段密切相关。

通过文献梳理发现,目前关于生态经济系统耦合关系判别的研究仍存在缺陷:①研究方法难以适应脱钩耦合关系在短期尺度上的细微变化;②对生态环境压力的内涵不明晰,以至于难以识别经济发展与资源消耗、经济发展与环境污染和经济发展与生态压力综合状况之间的差异化关系,造成结果分析片面化。基于此,本研究拟以福州市为例,采用“省公顷”生态足迹模型将研究区生态压力状况本地化,分别设立表征区域生态环境压力的综合性指标和资源、环境两方面的分解性指标,利用多因素评价法测度研究区经济发展水平,并借助改良脱钩耦合模型对研究区经济发展

与资源消耗、环境污染和生态综合状况的脱钩耦合关系进行判别,揭示研究区经济生态系统耦合特征。

福建省作为中国东南沿海的重要开放窗口和生态大省,其经济和生态的协调发展对于全国具有一定的先行和示范意义。而福州市作为福建省省会,其经济增长过程和生态文明建设过程必将成为整个省域的宏观折射及微观缩影,具有较强的代表性。从研究视角看,当前对福州市的研究通常只从单方面考察其生态环境压力或经济发展状况,而并未揭示两者的相互作用关系^[20-21];少数研究涉及到两者的协调性但理论依据有所不足^[22]。因此本研究以耦合模型为载体,定量研判福州市生态环境压力和经济发展的耦合特征,这对于明晰福州市生态环境压力现状以及统筹生态经济系统协调发展具有一定的积极意义。

1 理论模型与数据来源

生态环境压力的内涵和外延国内外学者尚未达成共识,但国内大多数学者普遍接受修饰压力的定语生态环境是由生态和环境构成的一个组合名词^[23],它既包括各种生态生产性产品与人类生存发展的资源保障关系也包含了环境容量与人类可持续发展的约束控制关系,也就是说生态环境可分为资源保障和环境容量两大要素。值得注意的是,压力的根本受体并非环境本身,而是人,而人类活动又是生态环境压力产生的根本因素之一。基于此,本研究认为生态环境压力是指生态环境系统所提供的资源供给功能和环境容量功能同人类活动的需求不相适应的矛盾而导致人类整体福利下降的系统负效应。因此可以表现为人类活动、资源供给与环境容量三元耦合模型(图 1)。

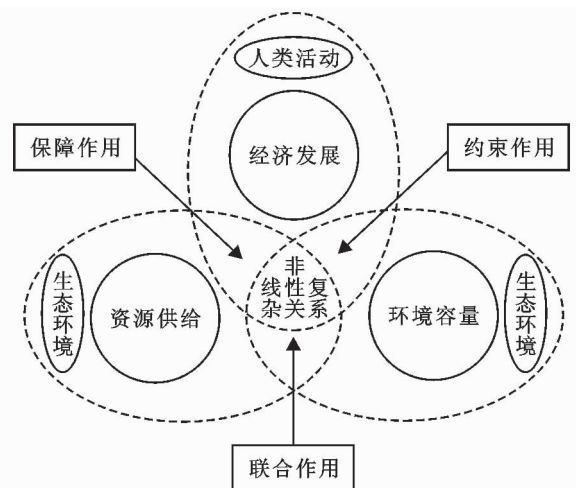


图 1 经济发展、资源供给和环境容量三元耦合模型

其中经济发展是最具活力的人类活动,它是在经济增长的基础上,一个国家或地区经济结构和社会结

构持续高级化的创新过程或变化过程^[24],最直接表现为人民生活富裕。可见经济发展是经济增长水平和人民生活水平两大要素综合体。在宏观世界中,经济发展与生态环境压力是一对典型的交互耦合关系,主要体现在:①人类社会在经济发展的不同阶段对生态环境所施加的压力存在差异;②由于经济发展的非线性特征,胁迫生态环境也呈现出对应的非线性响应;③生态环境的负效应阻碍社会经济的进一步发展;④经济发展系统和生态环境系统内部诸要素的耦合关系并不一定是同步的。经济发展与生态环境压力间的耦合关系就是经济发展的要素综合体与资源供给和环境容量两大要素交互胁迫的非线性复杂关系的总和^[25]。

本研究测算生态足迹所需的福建省各年份生物产量数据、土地利用现状数据以及福州市城镇、农村居民各类产品年人均消费量等资料,来自 2011—2016 年《福建统计年鉴》,2011—2016 年《福州市统计年鉴》,2011—2016 年《福建农村统计年鉴》和福建省土地利用变更调查成果;脱钩耦合模型中计算经济发展指数所需的 10 项指标均采自 2011—2016 年《中国城市统计年鉴》。

2 研究方法

2.1 生态足迹模型

生态足迹模型用以表征生态环境压力,本研究采用“省公顷”对传统生态足迹模型进行修正主要原因在于客观性。①通过省域内土地实际生态生产能力求取均衡因子和产量因子,有助于消除全球单位产量年际波动造成的“生态足迹幻觉”^[26-27],更能反映福州市的生态环境压力状况;②福州市作为福建省省会城市的人地关系特殊性只有在省域范围内才能较好体现。“省公顷”生态足迹模型的计算结果是全省平均生产力的面积当量(hm²),它代表省域内平均生产水平下 1 hm² 土地的生产能力^[28]。

任意一种土地利用类型,省域内任何一个区域基于“省公顷”生态足迹为:

$$EF = N \times ef = N \times \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{p_i} \times YF \times EQF \quad (1)$$

式中:EF——区域生态足迹;ef——人均生态足迹;N——研究区常住人口数; c_i ——第 i 种产品的年人均消费量(kg/人); p_i ——第 i 种产品在省域内的平均产量; n ——生态物质产品数。YF 和 EQF——所研究土地利用类型基于“省公顷”的产量因子和均衡因子。由于篇幅有限,“省公顷”均衡因子和产量因子的计算过程详参考薛若晗^[28]的研究,取 2010—2015

年福建省均衡因子的平均值作为计算参数,农地、林地、草地、水域的均衡因子分别为 3.70;0.36;0.20;0.64,建成地和碳吸收地的均衡因子分别等于农地和林地的均衡因子(hm²)。2010—2015 年福州市产量因子(ahm²/hm²)计算结果归纳整理见表 1。

表 1 2010—2015 年福州市产量因子 hm²

年份	农地	林地	草地	水域	建成地
2010	1.074	0.671	2.999	1.276	1.074
2011	1.074	0.634	3.015	1.297	1.074
2012	1.071	0.690	2.980	1.270	1.071
2013	1.066	0.663	2.848	1.294	1.066
2014	1.066	0.723	3.277	1.320	1.066
2015	1.058	0.739	3.058	1.268	1.058

碳吸收地生态足迹主要由消费化石能源所致,计算公式为:

$$EF_{\text{碳}} = \frac{P_C \times (1 - S_{\text{OCEAN}})}{Y_C} \times EQF \quad (2)$$

式中: P_C ——该地区 CO₂ 排放量,这里用“万元地区生产总值能耗”和“地区生产总值”折算该地区消耗的标准煤当量,根据相应的转换系数^[29]得到 CO₂ 排放量; S_{OCEAN} ——给定年份海洋吸收 CO₂ 的百分比,参考相关资料取值为 21.74%^[30], Y_C ——每年福建省林地平均碳吸收率,参照已有研究^[31],福建省杉木林、马尾松林、阔叶林和竹林 4 种森林类型的碳吸存量超过总量的 93.5%,依据各类森林的面积和年碳净吸存量,加权平均得到 Y_C 为 3.978 4 t/hm²。

省域内任意一种土地利用类型的生态承载力为:

$$ED = A \times YF \times EQF \quad (3)$$

式中:A——一种给定土地利用类型可得面积。根据生产潜力的相似性将耕地和园地合并为农地,此外,本研究只核算淡水产品的生态足迹,为了尽可能考虑原始物质来源的准确性使均衡因子和产量因子的设置更加合理,所以在核算水域面积时扣除了“沿海滩涂”。

区域生态环境压力静态状况的生态赤字为:

$$ED = EF - BC \quad (4)$$

沿用传统生态足迹模型中的生态超载指数(BOI)来表征区域内生态环境综合压力状况,根据生态足迹账户中农地、林地、草地、水域、建设用地和碳吸收地在属性上表现出的资源环境偏好,将前 5 类生态生产性土地上的生态足迹进行汇总,设立资源消耗指数(RPI)以衡量研究区内资源压力状况。将碳吸收地生态足迹为变量设立环境污染指数(EPI)表征研究区环境压力状况。

计算公式分别为:

$$RF = EF - EF_{\text{碳}} \quad (5)$$

$$RPI_k = \frac{RF_k}{RF_{2010}} \quad (6)$$

$$EPI_k = \frac{EF_{\text{碳}k}}{EF_{\text{碳}2010}} \quad (7)$$

$$BOI_k = \frac{BC_{2010} (EF_k - BC_k)}{(EF_{2010} - BC_{2010})} \quad (8)$$

式中:RF——资源消耗足迹;RPI_k——第 k 年资源消耗指数标准化值;RF_k和 RF₂₀₁₀——第 k 年和基期年的资源消耗足迹;EPI_k——第 k 年环境污染指数

标准化值;EF_{碳k}和 EF_{碳2010}——第 k 年和基期年的环境污染足迹;BOI_k——第 k 年生态超载指数标准化值,其余变量涵义同理可知。

2.2 多因素综合评价法

多因素综合评价法用以测算经济发展指数,综合度量福州市经济发展状况,从经济增长水平和人民生活水平两方面选取 10 项指标构建评价指标体系。采用极值标准化法消除各项指标原始量纲,并用 Matlab 编程得到各指标熵值及权重,评价指标体系见表 2。

表 2 福州市经济发展指数评价指标体系

目标层	一层指标	一层指标权重	二层指标	二层指标权重	总权重	影响
经济发展指数 (EDI)	经济增长水平	0.523 9	人均地区生产总值(元/人)	0.168 7	0.088 4	+
			二三产业比重/%	0.316 9	0.166 0	+
			地均固定资产投资/万元	0.189 1	0.099 1	+
			地方财政一般预算内收入/万元	0.164 6	0.086 2	+
			城镇化水平/%	0.160 7	0.084 2	+
	人民生活水平	0.476 1	城乡居民储蓄年末余额/万元	0.188 4	0.089 7	+
			居民消费水平(元/人)	0.171 7	0.081 7	+
			人均轿车拥有量/辆	0.204 0	0.097 1	+
			农村劳动者工资性收入/元	0.162 6	0.077 4	+
			通货膨胀率/%	0.273 3	0.130 1	-

注:“+”为正向指标,“-”为负向指标。

任意一年的经济发展指数计算公式:

$$EDI_k = \frac{\sum_{j=1}^m W_j P_{kj}}{\sum_{j=1}^m W_j P_{2010j}} \quad (9)$$

式中:EDI_k——第 k 年经济发展指数标准化值;m——指标的个数;W_j——第 j 项指标的权重;P_{kj}——第 k 年第 j 项指标的标准化值。

2.3 脱钩耦合模型

根据公式(1)~(9)测得参数计算资源消耗指数(RPI)、环境污染指数(EPI)、生态超载指数(BOI)和经济发展指数(EDI),以分别表征福州市资源消耗、环境污染、生态压力和经济发展水平。将上述各指标年际变化率作为变量计算出脱钩弹性系数,以此作为经济发展综合状况与资源消耗状况、环境污染状况和生态压力综合状况三组脱钩耦合类型的评判依据,公式如下:

$$E_{BOI,EDI} = \frac{\Delta BOI}{\Delta EDI} \quad (10)$$

$$E_{RPI,EDI} = \frac{\Delta RPI}{\Delta EDI} \quad (11)$$

$$E_{EPI,EDI} = \frac{\Delta EPI}{\Delta EDI} \quad (12)$$

式中: $E_{BOI,EDI}$ 、 $E_{RPI,EDI}$ 和 $E_{EPI,EDI}$ ——经济发展与生态压力综合状况、资源消耗状况和环境污染状况的脱钩弹性系数。

3 结果与分析

3.1 生态环境压力状况分析

根据公式(1)~(4)计算得到福州市 2010—2015 年区域生态足迹和区域生态承载力(图 2)以及生态赤字(图 3),并分析福州市生态环境压力状况:

(1)由图 2a 可知,纵向上福州市生态足迹呈逐年上升趋势,由基期的 $5.94 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 升至 $6.80 \times 10^6 \text{ hm}^2$,增幅为 14.57%,而在 2015 年下降至 $6.78 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。在 6 种生态生产性土地中,除农地生态足迹逐年下降明显,草地和水域生态足迹围绕基期年小幅上下浮动外,其余 3 种生态生产性土地,碳吸收地、建成区和林地的足迹均逐年升高。农地足迹的下降主要是由于农地产量因子下降、城镇居民粮食消费显著下降和城镇人口基数的不断扩大同时催生的。其中农地产量因子下降(表 1)的原因是,尽管福州市农地的平均生产力在研究期内仍处于持续增长态势,但是其增长速度要慢于省域农地生产力的平均增速,其根源在于福

州市本身并非省内农业优势产区,并且随着近年来产业结构调整步伐加快,农业转型形势趋于严峻。按常理,消费结构的优化应该会体现在草地和水域足迹的上升上,但就现状而言,这 2 类土地产品的消费变化比较小,并伴随年际波动。碳吸收地、建成区和林地生态足迹增加的原因较为明显且最终都指向经济支撑,分别是能耗的逐年增加、建成区面积的不断扩大和家具消费量的增加;横向上足迹账户的内部结构贡

献率大小依次为:碳吸收地>农地>建成地>林地>草地>水域。若将生态压力分解为资源消耗压力 and 环境污染压力两大部分,则依据生态足迹的研究的基本逻辑将农地、建成地、林地、草地和水域等 5 项足迹合并表征资源压力,而碳吸收地表征环境压力。可见在生态压力的内部结构中环境压力的贡献率已超过 60%,表明福州市环境污染压力高于资源消耗压力居于主体地位。

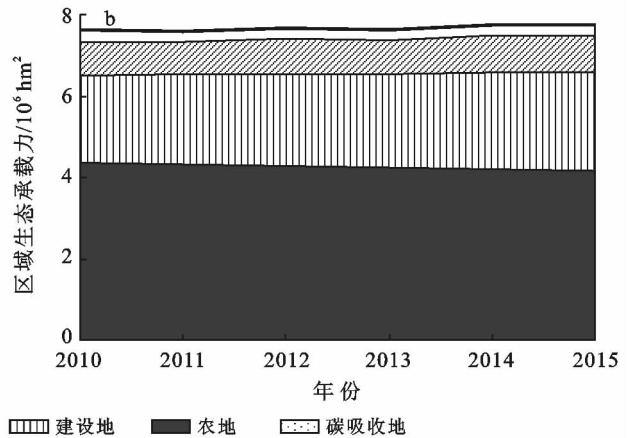
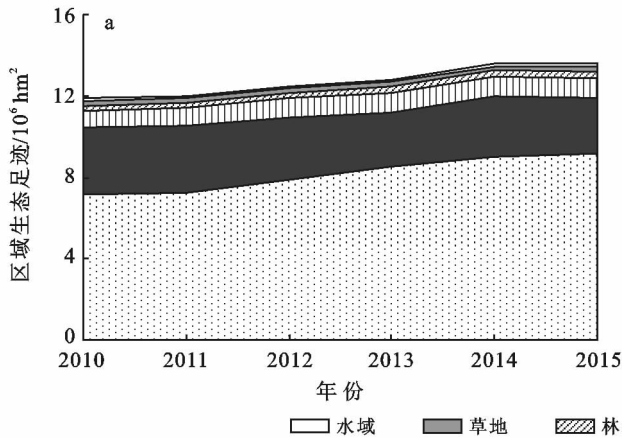


图 2 2010—2015 年福州市区域生态足迹与区域生态承载力

(2) 由图 2b 可知,福州市区域生态承载力波动上升,但整体上升幅度较小,仅上升 1.68%,纵向变化最为明显的是农地、建成地和林地。农地与建成地之间承载力此消彼长,主要原因是土地面积的变化,这也印证了福州市的快速城镇化必定以牺牲耕地为代价;林地承载力增长归因于林地产量因子的上升;此外,由于“沿海滩涂”以及居民的海产品消费均未纳入计算,水域生态足迹和生态承载力都会相对低估;草地足迹和承载力之间相对差距最大,原因是一方面福州市草地面积较少,人均占有量低;另一方面,受现代健康理念和传统饮食文化的影响,福州人日常食品消费结构中奶制品和牛羊肉所占份额较高。

(3) 就生态环境压力状况而言(图 3),2010—2015 年福州市的生态账户处于持续赤字状态,支撑经济发展所需的额外生态承载力由 2010 年的 2.89 倍,增长到 2015 年的 3.37 倍,基本处于生态透支较为严重的高压态。其中,2010—2014 年福州市生态赤字逐年攀升,从 $4.41 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 上升到 $5.25 \times 10^6 \text{ hm}^2$,总增长率为 18.96%,年平均增长率为 3.16%。2015 年仍处于赤字高位,但有略微回落至 $5.22 \times 10^6 \text{ hm}^2$,原因主要是和 2014 年相比,城镇居民的粮食消费有所回落,尽管总人口数在增加,但是粮食消费更少的城镇居民基数也在增大,两种因素的共同作用导致其变化过程发生波动。

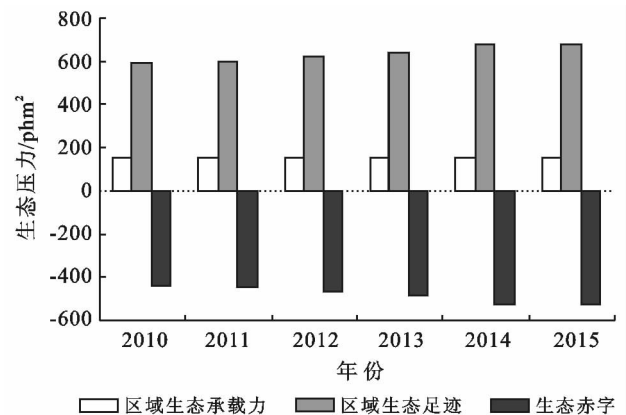


图 3 2010—2015 年福州市生态压力变化

3.2 生态环境压力与经济发展脱钩耦合关系

3.2.1 脱钩耦合关系判别 OECD 最初将脱钩程度划分为脱钩、耦合、负脱钩三大类型^[32],Tapio 进一步将其细化为强负脱钩、弱负脱钩、衰退性耦合、衰退性脱钩、强脱钩、弱脱钩、扩张性耦合和扩张性负脱钩 8 类^[33],传统方法都考虑了两系统同向变化和反向变化的所有可能情形。本文不再沿用传统分类方法,原因是短期尺度的经济发展过程通常是稳定的,如福州市在研究期内经济负增长现象不可能发生,若按原始耦合关系判别方法将造成大量判别类型冗余,且无法刻画耦合关系的细微波动。基于此对传统模型予以改进,通过选择性预设某一要素的变动方向,即只考

考虑 $\Delta EDI > 0$ 的情形,同时采用分级的方式强化脱钩类型的划分而弱化耦合部分的划分以降低冗余,并弥补经典脱钩模型无法精细描述脱钩演化过程的缺陷。以生态环境综合压力指数(BOI)与经济发展指数(EDI)为例,当 $\Delta BOI < 0$ 且 $\Delta EDI > 0$ 时,脱钩类型为强脱钩;当 $\Delta BOI > 0$ 且 $\Delta EDI > 0$ 时,脱钩类型为弱

脱钩,上述两类脱钩类型称为基底类型。在基底类型中以 0.25 为间隔在 $E_{BPI,EDI}$ 绝对值 $[0, 1]$ 范围内划分出 I, II, III, IV 4 种程度类型,并以 1 为阈值作为脱钩和耦合的临界状态。脱钩耦合类型的判定标准及内涵见表 3,EDI 同其他两项分解性指标的脱钩耦合关系可类比判别。

表 3 经济发展与生态环境综合压力脱钩耦合类型判定标准

脱钩耦合类型	ΔBOI	ΔEDI	$E_{BPI,EDI}$	类型涵义	
强脱钩	I	< 0	> 0	$(-0.25, 0]$	经济发展与生态环境良性互动的程度不断加深
	II	< 0	> 0	$(-0.5, -0.25]$	
	III	< 0	> 0	$(-0.75, -0.5]$	
	IV	< 0	> 0	$(-1, -0.75]$	
弱脱钩	I	> 0	> 0	$[0, 0.25)$	经济发展速度高于生态环境压力增长速度,但两者的差距不断缩小
	II	> 0	> 0	$[0.25, 0.5)$	
	III	> 0	> 0	$[0.5, 0.75)$	
	IV	> 0	> 0	$[0.75, 1)$	
临界状态	> 0	> 0	1	经济发展对生态环境造成巨大压力,发展模式不可持续	
耦合	> 0	> 0	> 1		

3.2.2 脱钩耦合关系分析 根据公式(1)~(12)计算得到脱钩耦合弹性系数(表 4),结果表明:福州市经济发展与资源消耗压力、经济发展与环境污染压力、经济发展与生态环境综合压力 3 组脱钩耦合要素在 T_1 — T_5 全时期范围内的脱钩耦合类型均为脱钩

型,未出现临界状态和耦合型,这也意味着 3 组脱钩耦合要素要么处于良性协调状态,要么处于同向增长的合理区间内,以上结果合力表征了福州市区域发展总体可持续性。然而,3 组脱钩耦合要素呈现出差异化的时序演化特征。

表 4 3 组要素脱钩耦合类型演化过程

时期	ΔRPI	ΔEPI	ΔBOI	ΔEDI	$E_{RPI,EDI}$	脱钩耦合类型	$E_{EPI,EDI}$	脱钩耦合类型	$E_{BPI,EDI}$	脱钩耦合类型
T_1 (2010—2011 年)	-1.01	2.16	1.65	11.69	-0.09	强脱钩 I	0.18	弱脱钩 I	0.14	弱脱钩 I
T_2 (2011—2012 年)	-2.32	8.33	4.12	11.48	-0.20	强脱钩 I	0.73	弱脱钩 III	0.36	弱脱钩 II
T_3 (2012—2013 年)	-7.34	7.94	3.59	10.38	-0.71	强脱钩 III	0.76	弱脱钩 IV	0.35	弱脱钩 II
T_4 (2013—2014 年)	7.02	6.36	6.51	7.35	0.96	弱脱钩 IV	0.86	弱脱钩 IV	0.89	弱脱钩 IV
T_5 (2014—2015 年)	-3.29	1.13	-0.23	7.82	-0.42	强脱钩 II	0.14	弱脱钩 I	-0.03	强脱钩 I

(1) $E_{RDI,EDI}$ 的演化过程可分为平稳期(T_1 — T_2)和震荡期(T_3 — T_5)。平稳期内福州市经济发展与资源消耗压力的脱钩耦合类型均为强脱钩 I,在这一阶段福州市的经济发展与资源消耗压力之间具备较低程度的良性互动关系,即福州市该阶段经济综合实力的高速增长并没有以资源的过度消耗为代价,相反由于科技水平的进步和资源配置效率的提升驱动资源消耗压力产生了明显的下降趋势;震荡期内 $E_{RDI,EDI}$ 值波动幅度较大,从-0.71 跃升至 0.96 随后又骤降至-0.42,变化形态呈现为明显的低—高一低“倒 V 字”型特征,这也导致经济发展与资源消耗压力脱钩耦合

类型一度经历了由强脱钩 III 到弱脱钩 IV 再到强脱钩 II 的起伏变化过程。一方面资源消耗压力触底反弹,而另一方面经济发展恰逢降速提质阶段,两相作用催生 T_4 时期 $E_{RDI,EDI}$ 逼近临界状态。总体来看脱钩耦合类型在研究期 80% 的时段中为强脱钩,福州市经济发展与资源消耗的矛盾较小。

(2) $E_{EPI,EDI}$ 在时间序列的格局上呈现出“两端低,中间高”的特点。起始时期经济发展与环境污染压力同向增长,但 ΔEPI 的增长速度远远滞后于 ΔEDI ,导致其在脱钩耦合类型的上属于弱脱钩 I。而在 T_2 — T_4 时期 ΔEPI 持续高水平增长,年平均增长率超过

7%, 相比而言 ΔEDI 在增速方面正逐渐丧失优势地位, 经济发展与环境污染压力的脱钩耦合类型由弱脱钩Ⅲ进一步发展成为弱脱钩Ⅳ, 折射出的现实含义就是这一阶段福州市经济发展对环境污染造成的影响具有显化趋势。 T_5 时期福州市明确精心打造“美丽福州”的目标, 并以国家级生态市创建工作为契机, 在推进节能减排攻坚、加大环境保护力度和上实施了一系列积极举措, 使得生态环境状况得到明显改善, 经济发展与环境污染压力的脱钩耦合类型回到弱脱钩Ⅰ。总体来看该组要素的脱钩耦合类型在研究期内均为弱脱钩, 福州市经济发展与环境污染的矛盾依然需要谨慎对待。

(3) $E_{BOI, EDI}$ 的一个重要特征是在任何时期其值均介于该时期 $E_{RDI, EDI}$ 和 $E_{EPI, EDI}$ 两项指标值的区间范围内, 体现出生态环境综合压力是资源消耗压力和环境污染压力综合作用的结果, 同时也能看到前两组脱钩耦合要素对于第三组脱钩耦合要素的影响程度有所区别。它们之间的基本关系是: ①第三组要素的基底类型为 $E_{RDI, EDI}$ 和 $E_{EPI, EDI}$ 之间绝对值较大一方的基底类型; ②当前两组脱钩耦合要素基底类型相同时, 第三组要素的程度类型大于或等于前两组要素的最大程度类型, 反之则小于或等于前两组要素的最大程度类型。 $T_1 - T_4$ 时期经济发展与生态环境综合压力的脱钩耦合类型的基底类型均为弱脱钩, 程度类型不断提升, 这与经济发展和环境污染压力的脱钩耦合类型基本保持一致, 生态环境综合压力伴随经济发展呈波动上升趋势; T_5 时期该组要素的脱钩耦合类型为强脱钩Ⅰ, 但 $E_{BOI, EDI}$ 的值仅为 -0.03 , 这表明这种良性互动的状态极不稳定。

4 结论与讨论

通过概念辨析和结果与分析, 本研究得出以下主要结论:

(1) 福州市生态环境压力状况总体较大, 生态透支程度较高, 在生态环境压力的内部结构中环境污染压力比重高于资源消耗压力并居于主体地位。

(2) 从福州市经济发展的要素综合体与资源保障和环境容量两大要素所呈现的脱钩耦合关系看, 研究期内3组脱钩耦合要素在 $T_1 - T_5$ 范围内的脱钩耦合类型均为脱钩型, 未出现临界状态和耦合型, 经济发展方式基本处在可持续的范围之中。

(3) 从3组脱钩耦合要素的脱钩耦合关系差异化的时序演化特征看: ①福州市经济发展与资源消耗的矛盾较小; ②经济发展与环境污染的矛盾整体呈显化趋势, 尽管期末有所缓和, 但仍需谨慎对待; ③经济发

展与生态环境综合状况的脱钩耦合关系是前两组脱钩耦合要素综合作用的结果, 其基本延续了经济发展与环境污染压力关系的变化特征, 两者在期末产生的良性协调状态极不稳定。应当坚持绿色发展的正确导向, 加快实施在生态环境保护领域特别是节能减排上的有力举措, 促进经济发展与生态环境的协调关系常态化。

本研究综合生态足迹模型、多因素综合评价法和改良脱钩耦合模型揭示了福州市的生态经济系统脱钩耦合关系特征, 结果表明改良脱钩耦合模型能够有效刻画短期尺度生态经济系统耦合关系, 对变化现象的解释力增强具有一定积极意义。但仍存在一些不足, 研究旨在探讨短期尺度上城市经济发展与生态环境压力脱钩耦合关系的现状及其相互关系, 并未深入分析影响两者脱钩耦合关系的主导因子和作用机理, 而这一部分的研究对于实际工作具有较强的指导意义。此外, 生态足迹模型的优势和局限性都比较明显, 该方法固然能够避免在使用多因素综合评价法时权重确定的主观性, 但其在表征环境污染压力方面仍不够充分。

[参 考 文 献]

- [1] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析[J]. 地理研究, 2003, 22(2): 211-220.
- [2] 钟大洋, 黄贤金, 韩立, 等. 资源环境领域脱钩分析研究进展[J]. 自然资源学报, 2010, 25(8): 1400-1412.
- [3] 盖美, 胡杭爱, 柯丽娜. 长江三角洲地区资源环境与经济增长脱钩分析[J]. 自然资源学报, 2013, 28(2): 185-198.
- [4] Kjellström T, Corvalán C. Framework for the development of environmental health indicators [J]. World Health Statistics Quarterly, 1995, 48(2): 144-154.
- [5] Levrel H, Kerbiriou C, Couvet D, et al. OECD pressure-state-response indicators for managing biodiversity: A realistic perspective for a French biosphere reserve [J]. Biodiversity & Conservation, 2009, 18(7): 1719-1732.
- [6] Lee R F, Giaquinto R O, Hardy C J. Coupling and decoupling theory and its application to the MRI phased array [J]. Magnetic Resonance in Medicine, 2010, 48(1): 203-213.
- [7] 盛业旭, 欧名豪, 刘琼. 资源环境脱钩测度方法: “速度脱钩”还是“数量脱钩”? [J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(3): 99-103.
- [8] 宋伟轩, 毛宁, 陈培阳, 等. 基于住宅价格视角的居住分异耦合机制与时空特征: 以南京为例 [J]. 地理学报, 2017, 72(4): 589-602.
- [9] 刘爱东, 曾辉祥, 刘文静. 中国碳排放与出口贸易间脱钩关系实证 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(7): 73-81.
- [10] 苑清敏, 邱静, 秦聪聪. 天津市经济增长与资源和环境

- 的脱钩关系及反弹效应研究[J]. 资源科学, 2014, 36(5):954-962.
- [11] 张文彬, 李国平. 中国区域经济增长及可持续性研究: 基于脱钩指数分析[J]. 经济地理, 2015, 35(11):8-14.
- [12] 张引, 杨庆媛, 闵婕. 重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析[J]. 地理学报, 2016, 71(5):817-828.
- [13] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径[J]. 地理学报, 2016, 71(4):531-550.
- [14] 孙平军, 修春亮, 张天娇. 熵变视角的吉林省城市化与生态环境的耦合关系判别[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3):875-882.
- [15] Lin Zhenming, Xia Bin. Sustainability analysis of the urban ecosystem in Guangzhou City based on information entropy between 2004 and 2010 [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(3):417-435.
- [16] 张雅杰, 刘辉智. 长江经济带城镇化与生态环境耦合协调关系的时空分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6):334-340.
- [17] 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.
- [18] 乔蕻强. 兰州市城市化与生态系统服务价值的耦合关系定量研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4):333-337, 344.
- [19] 李晓庆, 姜博, 初楠臣. 城市群土地集约利用与新型城镇化耦合协调分析:以我国三大城市群为例[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(7):983-991.
- [20] 黄梅玲. 基于生态足迹模型的福州市可持续发展探讨[J]. 山地农业生物学报, 2007, 26(1):64-70.
- [21] 杨森, 廖福霖. 福州市经济发展阶段划分及其特征分析[J]. 亚热带资源与环境学报, 2011, 6(3):88-94.
- [22] 黄一绥. 福州市环境与经济协调发展度评价与分析[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(12):44-47.
- [23] 王孟本. “生态环境”概念的起源与内涵[J]. 生态学报, 2003, 23(9):1910-1914.
- [24] 赵景柱, 梁秀英, 张旭东. 可持续发展概念的系统分析[J]. 生态学报, 1999, 19(3):105-110.
- [25] 刘耀彬, 宋学锋. 城市化与生态环境耦合模式及判别[J]. 地理科学, 2005, 25(4):26-32.
- [26] 张恒义, 刘卫东, 王世忠, 等. “省公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算:以浙江省为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1):82-92.
- [27] 周涛, 王云鹏, 龚健周, 等. 生态足迹的模型修正与方法改进[J]. 生态学报, 2015, 35(14):4593-4560.
- [28] 薛若晗. “省公顷”生态足迹模型的均衡因子和产量因子计算:以福建省为例[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(25):90-93.
- [29] 涂华, 刘翠杰. 标准煤二氧化碳排放的计算[J]. 煤质技术, 2014(2):57-60.
- [30] 邱寿丰, 朱远. 基于国家生态足迹账户计算方法的福建省生态足迹研究[J]. 生态学报, 2012, 32(22):7124-7134.
- [31] 王义祥. 福建省主要森林类型碳库与杉木林碳吸存[D]. 福州:福建农林大学, 2004.
- [32] Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Indicators to measure decoupling of environmental pressure and economic growth [R], Paris: OECD, 2002.
- [33] Tapio P. Towards a theory of decoupling: degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001 [J]. *Transport Policy*, 2005, 12(2):137-151.