

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.201910046



区域国土开发强度与资源环境 承载力时空耦合关系

刘文斌^{1,2,3}, 徐伟铭^{1,2,3}, 王杏锋^{1,2,3}, 刘洁^{1,2,3}

(1. 福州大学 数字中国研究院(福建), 福建 福州 350108;

2. 福州大学 空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福建 福州 350002;

3. 福州大学 地理空间信息技术国家地方联合工程技术研究中心, 福建 福州 350002)

摘要: 针对区域国土开发强度和资源环境承载力不协调、不平衡发展问题,利用耦合协调度模型和相对发展度模型,从时空维度定量研究福州市(仓山区、台江区和鼓楼区除外)国土开发强度与资源环境承载力的耦合协调发展关系及交互耦合程度. 然后,通过新陈代谢 GM(1,1)模型预测永泰县和闽清县未来 5 a 的耦合协调发展轨迹,实现从定量研究到动态仿真的转变. 研究表明:2012—2017 年福州市国土开发强度呈“倒 U 形”发展,高值地区主要分布于福州市的中部、南部和东南部,具有明显的空间差异性;2012—2017 年福州市资源环境承载力在波动中稳步上升,上升幅度较大的地区有平潭县、闽清县、永泰县和晋安区,增幅最高达 59%. 研究期内,福州市总体处于低度协调阶段,其中晋安区耦合协调度提升最快,增幅达 22.12%;但资源环境水平总体滞后于国土开发建设水平,且相对发展状态波动最大的为闽清县和永泰县. 预测结果显示,未来 5 a 闽清县和永泰县耦合协调演化进程明显加快,两系统趋于衰退.

关键词: 国土开发强度; 资源环境承载力; 时空耦合; 趋势预测; 福州市

中图分类号: X 32(257); F205 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2020)04-0525-09

Research on Spatiotemporal Coupling Relationship Between Regional Land Development Intensity and Resource Environmental Carrying-Capacity

LIU Wenbin^{1,2,3}, XU Weiming^{1,2,3},
WANG Xingfeng^{1,2,3}, LIU Jie^{1,2,3}

(1. The Academy of Digital China, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China;

2. Key Laboratory of Spatial Data Mining & Information Sharing of Ministry of Education,
Fuzhou University, Fuzhou 350002, China;

3. National Engineering Research Center of Geospatial Information Technology, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: For regional land development intensity and resource environmental carrying-capacity problem of uncoordinated and uneven development based on the coupling coordination degree model and relative development degree model the coupling coordination development relationship and interaction coupling degree between land development intensity and resource environmental carrying-capacity in Fuzhou City (except Cangshan Dis-

收稿日期: 2019-10-28

通信作者: 徐伟铭(1985-),男,讲师,博士,主要从事区域经济与资源环境研究. E-mail: xwming2@126.com.

基金项目: 中国科学院 A 类战略性先导科技专项子课题(XDA23100502);福建省科技厅引导性项目(2017Y0055);“数字福建”重大项目(闽发改网数字函[2016]203 号)

trict, Taijiang District and Gulou District) are studied quantitatively from the space-time dimension. Moreover, the metabolic GM(1,1) model is used to predict the development track of coupling and coordination degree of Yongtai County and Mingqing County in the next five years, so as to realize the transformation from “quantitative study” to “dynamic simulation”. The results show that: the land development intensity in Fuzhou City developed in an “inverted U-shaped” from 2012 to 2017 the high-value areas were mainly distributed in the central southern and southeastern parts of Fuzhou City, with obvious spatial difference; the resource environmental carrying capacity in Fuzhou City increased steadily in the fluctuation from 2012 to 2017 the areas with a large increase were Pingtan County, Mingqing County, Yongtai County and Jin'an District with a maximum increase of 59%. During the study period, Fuzhou City was generally in the stage of low coordination, and the coupling coordination degree of Jin'an District was the fastest, with an increase of 22.12%. However, the overall level of resources environment lagged behind the level of land development and construction, and the most fluctuating relative development status were Mingqing County and Yongtai County. The prediction results show that in the next five years, the coupling coordination evolution of Mingqing County and Yongtai County will accelerate obviously, and the two systems will tend to decline.

Keywords: land development intensity; resource environmental carrying-capacity; spatiotemporal coupling; trend prediction; Fuzhou City

国土开发强度和资源环境承载力相互作用、相互制约,两者的彼此协调深刻影响区域经济的高效集约绿色发展^[1]. 近十年来,随着经济的快速发展及城镇化和工业化进程加快,区域开发建设呈现出日趋严重的失调、失衡等问题. 国内外学者对国土开发强度和资源环境承载力分别进行了大量研究^[2-4]. 当前,对资源环境承载力的研究主要包括两点:一是定量测度某一区域资源环境承载力,二是分析资源环境承载力的时空变化趋势^[5]. 毛汉英等^[6]通过建立评价指标体系,对环渤海地区区域承载力进行定量评价,并利用系统动力学模型对区域承载力和承载状况的变化趋势进行模拟和预测. 国土开发强度研究主要关注国土开发强度的生态环境效应、影响因素及时空差异等内容^[7]. 刘艳军等^[8]探究了东北地区建设用地开发强度格局演变影响因素,及其在空间上的差异特征和分异机制. 围绕区域国土开发强度和资源环境承载力的关系研究,部分学者从耦合协调视角分析了两者的关系. 卫思夷等^[7]利用耦合协调模型,分析沈阳经济区 8 个城市国土开发强度与资源环境承载力的耦合协调关系.

综上所述,现有研究从耦合协调视角分析两者关系的成果相对不足,并且围绕区域国土开发强度与资源环境承载力相对发展层面的研究几乎空白. 鉴于此,本研究在明确国土开发强度与资源环境承载力的内在互动机制基础上,运用耦合协调度模型和相对发展度模型对福州市(仓山区、台江区和鼓楼区除外)国土开发强度与资源环境承载力的耦合协调发展关系进行研究,并借助新陈代谢 GM(1,1)模型进行系统协调状况动态趋势预测.

1 耦合协调发展机制

在开放系统中,国土开发建设推动资源环境水平的演化,反过来资源环境水平支撑国土开发建设,两者已经形成了动态具有互动影响的耦合协调系统,相互促进且共同发展(图 1). 高强度的土地开发带动大规模的资源被利用,有效推动了区域经济发展、人口增长和用地面积扩大. 特别是快速城镇化以及工业化的推进在带动资源环境开发利用的同时,资源环境系统的平衡被逐渐破坏. 过高的国土开发强度增加了对资源环境演变的压力,导致水资源、土地资源、森林资源等消耗快速增长,出现资源危机.

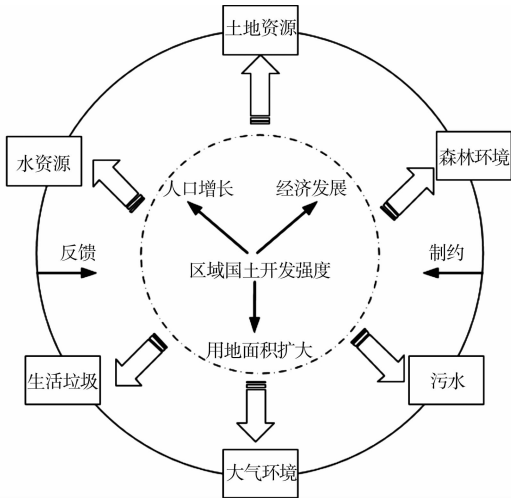


图 1 交互耦合作用示意图
Fig. 1 Schematic diagram of interactive coupling

以此同时,生活垃圾、工业“三废”等大量产生,给区域大气环境带来不可承受的压力.当区域生态环境修复能力低于开发建设速度时,资源环境承载力将会下降,区域国土开发建设的能耗超出资源环境所能承载的范围阈值,严重影响资源环境承载系统的有序发展.这一过程资源环境系统对区域国土开发建设产生巨大的反馈作用与制约效应.但随着国土开发建设和社会经济的发展,为实现区域可持续发展战略,需要采取强有力的措施对区域资源环境利用进行合理优化配置,使两者胁迫程度逐渐减弱.相关部门通过对产业结构的有效整改,加大区域资源环境治理力度,促进区域国土开发强度与资源环境水平良性演化,科学有序引导城市发展进程,这种制约作用将是提高资源环境水平的重要驱动力.

2 研究区域概况

图 2 为研究区域.福州市坐落于福建省东部,闽江下游,东经 118°08′~120°31′,北纬 25°15′~26°29′.截至 2017 年末,福州市共有 6 个市辖区、1 个县级市、6 个县,全市陆地总面积为 11 968 km²,其中城市面积为 1 219.37 km²,建成区面积为 291 km²,城镇化率为 69.5%.福州市各县(市)经济发展不平衡,差异明显,根据 2017 年福州市地区经济总量,罗源县、闽清县、永泰县和平潭县明显低于其它地区,其中永泰县和闽清县占据低点,分别为 165 和 166 亿元.

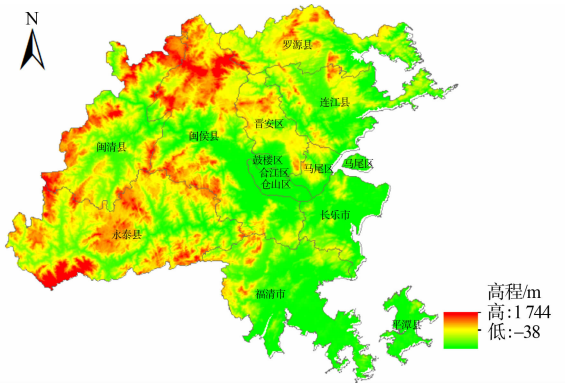


图 2 研究区域
Fig. 2 Study area

3 指标体系构建与数据来源

结合《全国主体功能区规划》,将某个地区建设空间面积占该地区总面积的比值作为国土开发强度.其中,建设空间包括城镇建设、独立工矿、农村居民点、交通、水利设施(不包含水库水面),以及其他建设用地等空间;以区域建设用地面积占该区域土地总面积的比值作为国土开发强度指数.基于前人研究,遵循科学性、全面性和可操作性原则,并充分考虑区域发展特征,构建福州市资源环境承载力评价指标体系,如表 1 所示.利用极值标准化方法对指标数据进行无量纲化处理,并用熵值赋权法来确定各项指标的权重^[9].

表 1 福州市资源环境承载力评价指标体系

Tab. 1 Assessment index system of resource environmental carrying-capacity of Fuzhou City

目标层	准则层(权重)	指标层	指标代码	指标功效	权重
资源环境承载力	资源承载力子系统(0.319)	人均耕地面积/hm ²	A1	+	0.068
		人均水资源拥有量/m ³	A2	+	0.079
		区域人口密度/人·km ⁻²	A3	-	0.083
		人均粮食占有量/kg	A4	+	0.088
	生态环境承载力子系统(0.339)	生活垃圾无害化处理率/%	A5	+	0.056
		环境质量综合指数(API)	A6	-	0.117
		建成区绿化覆盖率/%	A7	+	0.051
		污水处理率/%	A8	+	0.046
		森林覆盖率/%	A9	+	0.069
	社会经济发展子系统(0.342)	人口增长率/%	A10	-	0.068
		农村居民人居可支配收入/元	A11	+	0.004
		GDP 增长率/%	A12	+	0.062
		第三产业比重/%	A13	+	0.087
		人均 GDP/元	A14	+	0.005
		公路通车里程/km	A15	+	0.116

由于福州市的台江区、仓山区和鼓楼区数据获取难度较大,所以选取福州市其余 10 个区县作为研究对象,对福州市(仓山区、台江区和鼓楼区除外)国土开发强度与资源环境承载力的耦合协调发展关系

进行定量研究. 下文涉及的福州市不包括仓山区、台江区和鼓楼区, 有关数据来源于 2012—2017 年《福州市统计年鉴》《福州市环境状况公报》《福州市水资源公报》和《福州市各区县政府工作报告》, 部分建设用地面积数据来源于各年份的土地利用现状数据.

4 研究方法

4.1 综合指数评价模型

为了能更加正确的反映福州市资源环境承载力的整体状况, 拟采用逐层递进的方法合成综合指数. 采用加权函数法合成福州市资源环境承载力综合指数, 即

$$Q = \sum_{i=1}^3 \eta_i \cdot (\sum_{j=1}^n x_{i,j} \eta_{i,j}), \quad \sum_{j=1}^n \eta_{i,j} = 1. \tag{1}$$

式(1)中: Q 为资源环境承载力综合指数; η_i 为第 i 子系统(资源承载力子系统、生态环境承载力子系统、社会经济发展子系统)权重; $x_{i,j}$ 为第 i 子系统第 j 项指标的标准值; $\eta_{i,j}$ 为第 i 子系统第 j 项指标的权重; n 为第 i 子系统所包含的指标数.

4.2 耦合协调度评价模型

耦合度模型是用来反映各系统之间相互作用程度的, 但它不能判断系统之间是否良性. 本研究参照国内外学者对系统间耦合协调度模型建立的思路, 构建国土开发强度与资源环境承载力的耦合协调度模型. 即

$$W = (C \cdot T)^{1/2}. \tag{2}$$

式(2)中: W 为系统的耦合协调度; C 为系统耦合度, $C = 2 \left[\frac{Q \cdot S}{(Q+S) \cdot (Q+S)} \right]^{1/2}$; T 为国土开发强度与资源环境承载力综合协调指数, $T = (aQ + bS)^{1/2}$; a 和 b 为待定系数, 本研究采用系数 $a = b = 0.5^{[10]}$; S 为国土开发强度综合指数.

4.3 相对发展度模型

耦合协调度模型可准确评估国土开发强度和资源环境承载力的协调发展水平, 却难以衡量二者之间的相对发展程度. 因此, 采用相对发展度模型求解国土开发强度和资源环境承载力的相对发展度系数. 即

$$\lambda = Q/S. \tag{3}$$

式(3)中: λ 为相对发展度; S, Q 分别为国土开发强度和资源环境承载力综合指数.

按照区域的实际情况, 综合考虑系统的耦合协调度和相对发展度, 并借鉴已有研究成果^[11], 建立协调发展等级判定标准, 如表 2 所示.

表 2 协调发展等级判定标准
Tab. 2 Coordinated development level determination criteria

耦合协调度	相对发展度	类型	耦合协调发展特征	耦合阶段
0≤W<0.5	0<λ≤0.8	I	资源环境水平滞后于国土开发建设, 二者高度拮抗, 系统趋于衰退	拮抗
	0.8<λ≤1.2	II	资源环境水平同步于国土开发建设, 二者低度拮抗, 系统趋于优化	
	1.2<λ	III	资源环境水平超前于国土开发建设, 二者高度拮抗, 系统趋于衰退	
0.5≤W<0.7	0<λ≤0.8	IV	资源环境水平滞后于国土开发建设, 二者低度磨合, 系统趋于衰退	磨合
	0.8<λ≤1.2	V	资源环境水平同步于国土开发建设, 二者高度磨合, 系统趋于优化	
	1.2<λ	VI	资源环境水平超前于国土开发建设, 二者低度磨合, 系统趋于衰退	
0.7≤W<1.0	0<λ≤0.8	VII	资源环境水平滞后于国土开发建设, 二者低度协调, 系统趋于衰退	协调
	0.8<λ≤1.2	VIII	资源环境水平同步于国土开发建设, 二者高度协调, 系统趋于优化	
	1.2<λ	IX	资源环境水平超前于国土开发建设, 二者低度协调, 系统趋于衰退	

4.4 新陈代谢 GM(1,1)

邓聚龙^[12]提出的 GM(1,1)模型对数据的长期预测存在缺陷, 不能对最优初始条件和辨识参数进行动态选择, 而新陈代谢 GM(1,1)模型是对该缺陷的一种优化. 新陈代谢 GM(1,1)模型^[13]在系统不断补充新信息的同时, 能及时去掉老信息, 不断地新陈代谢, 可以更好的揭示系统将来的发展趋势. 因此,

在前人的研究基础上^[14-15],建立新陈代谢 GM(1,1)耦合协调度和相对发展度预测模型,具体有如下 4 个主要步骤.

步骤 1 设评价数据序列 $X_t = \{X_0, X_1, X_2, \dots, X_n\} (t=0, 1, 2, \dots, n)$, 通过对序列 X_t 进行一次累加生成新的数列 Y_t 和均值数列 S_t , 建立 GM(1,1)模型, 即

$$\frac{dY_t}{dt} + \delta Y_t = \gamma. \quad (4)$$

式(4)中: δ, γ 为待求系数. 利用微分方程的求解方法得 $\hat{Y}_t = \left(X_0 - \frac{\gamma}{\delta}\right)e^{-\delta t}$.

步骤 2 根据最小二乘法估计参数: $C = n \sum (S_t)^2 - (\sum S_t)^2$, $\delta = \frac{(\sum X_t)(S_t) - n(\sum X_t S_t)}{C}$, $\gamma = \frac{(\sum S_t^2)(\sum X_t) - (\sum S_t)(\sum X_t S_t)}{C}$, 求得预测值 $\hat{X}_t = \hat{Y}_t - \hat{Y}_{t-1} = \left(X_0 - \frac{\gamma}{\delta}\right)(1 - e^{\delta}) \times e^{-\delta t}$.

步骤 3 用已知序列建立的 GM(1,1)模型预测一个新值 X_{n+1} , 去掉最老信息 X_0 , 保持数据等维特性, 构成新数列 $X_t(0) = \{X_1, X_2, \dots, X_n, X_{n+1}\}$. 用新数列重复上述 GM(1,1)模型操作步骤, 直到完成预测目标.

步骤 4 对预测模型进行精度校验. 若残差检验中平均相对残差小于 10%, 则认为该模型精度能达到较高要求; 若平均相对残差小于 20%, 则认为该模型精度能达到一般要求^[16].

5 结果分析

5.1 国土开发强度时空特征分析

福州市国土开发强度总体呈“倒 U 形”发展, 国土开发强度总体均值在 2015 年出现峰值 4.43%, 逼近 2030 年国土开发强度红线 4.62%. 究其原因在于区域经济迅速发展及新城新区的建立, 导致人口和产业的聚集态势不断增强, 促使城市快速扩张, 部分地区出现土地供不应求等现象.

福州市各县(市)近 6 a 的国土开发强度状况表现出空间非均衡性, 高值集中分布于福州市的中部、南部和东南部, 主要有马尾区、晋安区、福清市和长乐市. 晋安区开发强度遥遥领先, 最高达 11.63%, 增幅达 50.58%. 这四个地区占据优越的地势条件和政策优势, 加上产业基础坚实, 且地区开放力度逐渐加强, 吸引了大批优秀人才以及外资企业入驻, 区域城镇化建设步伐加快.

但是, 在福州市的北部、西南部及西北部, 由于受工业基础、地形因素等影响, 城市发展速度缓慢, 开发强度一直保持低水平状态, 如永泰县和闽清县开发强度长期处于低谷, 最低仅 0.31%. 城市发展一方面要防止开发强度过大所带来的负效应, 另一方面也要合理利用土地资源, 提高土地利用经济效益.

5.2 资源环境承载力时空特征分析

福州市的资源环境承载力总体均值在 2012—2014 年呈现了小幅波动下降态势, 由 0.453 3 下降到 0.282 3, 但下降态势趋缓, 特别是近几年资源环境水平表现出“稳中上升”的大好趋势, 说明福州市资源环境承载力状况不断提升.

纵观福州市各县(市)近 6 a 的资源环境承载力状况, 可以看出正向增幅较大的区域主要分布在福州市的中部、西南部和东南部, 主要有平潭县、闽清县、永泰县和晋安区. 其中平潭县资源环境承载力总体占据高位, 增长幅度最为显著, 由 0.318 2 增至 0.725 2, 增幅高达 59%. 这些地区所在地农业生态环境优越, 社会经济条件较好, 经济发展较快; 但经济发展空间相对较大, 且平潭县与晋安区资源环境承载力趋于饱和状态, 在未来的几年应持续采取有效措施, 加大污染治理、节能减排等方面的投入, 防止出现倒退趋势.

5.3 耦合协调演化特征分析

从整体看, 福州市国土开发强度与资源环境承载力耦合协调均值在波动中稳步上升, 从 0.68 提升至 0.81, 增幅达 18%, 但总体仍处于低度协调阶段. 2012—2017 年, 福州市的 9 个县(市)的国土开发强度与资源环境承载力耦合协调度都有所提升(表 3), 大小排序为: 晋安区 > 马尾区 > 罗源县 > 长乐市 > 连江县 > 平潭县 > 永泰县 > 闽侯县 > 闽清县. 耦合协调度平均提升幅度为 9.55%, 提升最高的为晋安

区,增幅达 22.12%;仅有福清市耦合协调度呈现下降趋势,从 2012 年的 0.80 降至 2017 年的 0.74,降幅达 7.47%.

观察数据可以发现,福州市经历了磨合和协调两阶段,没有出现拮抗阶段.其中晋安区、闽侯县、闽清县和长乐市经历了“协调磨合协调”的演变过程,连江县经历了“协调磨合协调磨合”的演变过程,永泰经历了“磨合协调”的演变过程,其余区县均处于协调阶段.根据各区县的耦合协调阶段情况可以发现,福州市总体发展态势较好,在磨合和协调两者中互相演化,呈现出往协调方向发展的态势.

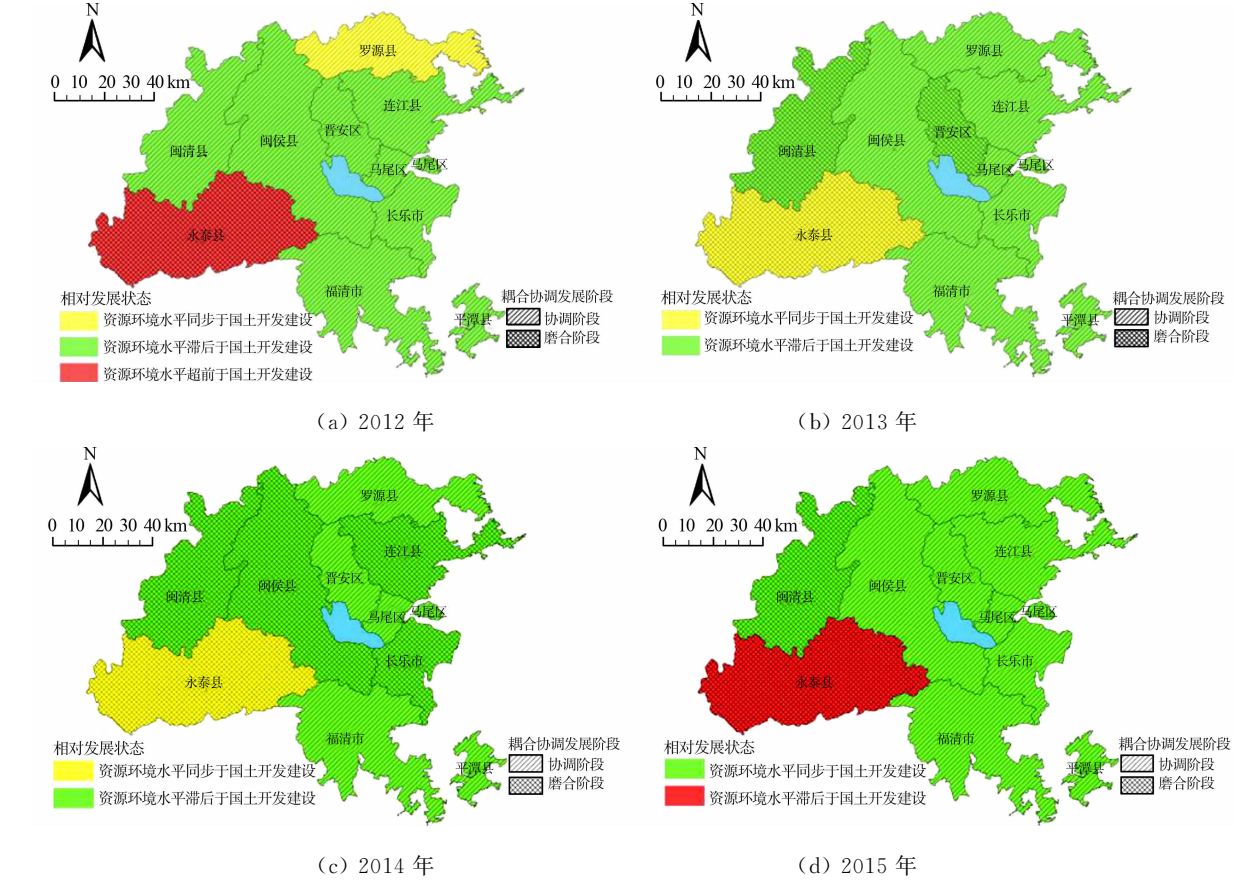
表 3 耦合协调发展测算结果

Tab. 3 Coordinated coordinated development measurement results

行政区划	2012 年			2013 年			2014 年			2015 年			2016 年			2017 年		
	W	λ	类型	W	λ	类型	W	λ	类型	W	λ	类型	W	λ	类型	W	λ	类型
马尾区	0.82	0.07	Ⅶ	0.74	0.04	Ⅶ	0.75	0.05	Ⅶ	0.82	0.07	Ⅶ	0.89	0.09	Ⅶ	0.87	0.08	Ⅶ
晋安区	0.73	0.03	Ⅶ	0.68	0.02	Ⅳ	0.73	0.03	Ⅶ	0.86	0.05	Ⅶ	0.89	0.07	Ⅶ	0.90	0.09	Ⅶ
闽侯县	0.80	0.47	Ⅶ	0.77	0.37	Ⅶ	0.66	0.16	Ⅳ	0.77	0.32	Ⅶ	0.82	0.39	Ⅶ	0.85	0.38	Ⅶ
连江县	0.76	0.40	Ⅶ	0.73	0.29	Ⅶ	0.64	0.13	Ⅳ	0.78	0.32	Ⅶ	0.79	0.36	Ⅵ	0.81	0.33	Ⅵ
罗源县	0.75	0.87	Ⅷ	0.71	0.56	Ⅶ	0.70	0.42	Ⅶ	0.77	0.58	Ⅶ	0.80	0.53	Ⅶ	0.82	0.49	Ⅶ
闽清县	0.70	0.53	Ⅶ	0.69	0.47	Ⅳ	0.64	0.37	Ⅳ	0.69	0.60	Ⅳ	0.71	1.02	Ⅷ	0.71	1.55	Ⅸ
永泰县	0.65	1.32	Ⅵ	0.64	1.08	Ⅴ	0.65	1.06	Ⅴ	0.68	1.53	Ⅵ	0.70	1.52	Ⅸ	0.71	1.49	Ⅸ
平潭县	0.74	0.28	Ⅶ	0.77	0.28	Ⅶ	0.72	0.18	Ⅶ	0.77	0.24	Ⅶ	0.80	0.33	Ⅶ	0.85	0.41	Ⅶ
福清市	0.80	0.18	Ⅶ	0.80	0.16	Ⅶ	0.74	0.14	Ⅶ	0.76	0.15	Ⅶ	0.81	0.20	Ⅶ	0.74	0.13	Ⅶ
长乐市	0.80	0.14	Ⅶ	0.77	0.12	Ⅶ	0.63	0.06	Ⅳ	0.77	0.13	Ⅶ	0.82	0.16	Ⅶ	0.85	0.19	Ⅶ

5.4 耦合协调相对发展特征分析

将两系统的相对发展状态界定为资源环境水平滞后于国土开发建设、资源环境水平同步于国土开发建设,以及资源环境水平超前于国土开发建设等 3 种状态.2012—2017 年福州市资源环境水平与国土开发建设相对发展状态总体呈“倒金字塔形”.即大部分区域资源环境水平滞后于国土开发建设,占比 60%,处于“超前状态”和“同步状态”的区域较少,如图 3 所示.



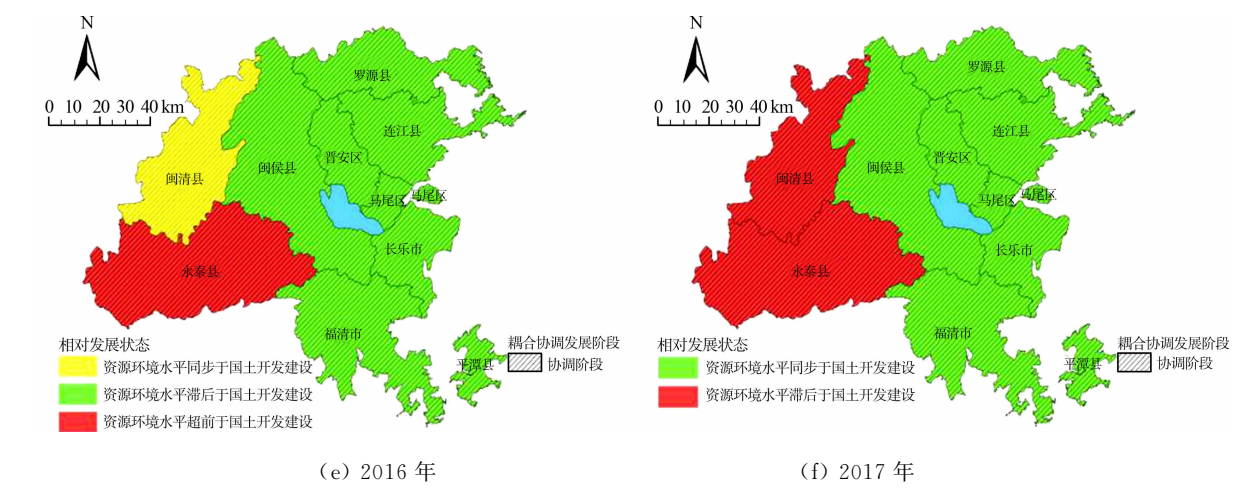


图 3 2012—2017 年福州市资源环境水平与国土开发建设耦合协调发展分布

Fig. 3 Coordinated development distribution of resource and environmental level and land development and construction in Fuzhou City, 2012 to 2017

2012—2017 年，福州市各县(市)国土开发与建设资源环境水平相对发展状态波动最大的为闽清县。其从 2012 年的滞后状态逆袭成 2017 年的超前状态，中间经历了“滞后同步超前”的演变过程。究其原因在于，闽清县生态环保整治工作“对症下药”，近几年以绿色经济为主驱动力，大力推进生态文明建设，加强法律保障措施，坚决将责任落实到个人。然而，马尾区、晋安区、闽侯县、平潭县、福清市和长乐市连续几年处于滞后状态，两系统趋于衰退。

在 2015 年《福州新区总体方案》初期规划中，将马尾区、长乐市、福清市部分区域设立为滨海新区规划的一部分，受此影响这些地区城镇建设速度加快，造成当地发展脱离实际，生态环境破坏程度加重。在未来的城市发展中，应加强国土开发强度与资源环境承载力的耦合协调发展程度，防止一方“超前”或“滞后”，影响城市的平衡发展，出现城市“亚健康”病态。

5.5 耦合协调预测分析

闽清县和永泰县位于福州市西部，是福州市构建“一区两翼、双轴多极”城镇空间布局的重要地区。预测福州市西部山区国土开发强度与资源环境承载力耦合协调发展趋势，有利于优化山区国土空间开发格局，加快推进落后地区国土开发建设，为解决福州市区域发展不均衡问题提供重要参考借鉴。

因此，文中基于新陈代谢 GM(1,1)预测模型，通过 MATLAB 编写程序，取福州市 2012—2017 年闽清县和永泰县的耦合协调度和相对发展度作为分析数据，预测未来 5 a 两县耦合协调发展轨迹，结果如表 4 所示。

表 4 新陈代谢 GM(1,1)模型精度检验

Tab. 4 Accuracy test of metabolic GM(1,1) model

行政区划	2012 年		2013 年		2014 年		2015 年		2016 年		2017 年		平均相对残差
	初值	拟合值	初值	拟合值	初值	拟合值	初值	拟合值	初值	拟合值	初值	拟合值	
闽清县	0.70	0.70	0.69	0.67	0.64	0.68	0.69	0.69	0.71	0.70	0.71	0.71	0.02
永泰县	0.65	0.65	0.64	0.64	0.65	0.66	0.68	0.68	0.70	0.70	0.71	0.72	0.01

从表 4 可知：闽清县和永泰县平均相对残差分别为 0.02 和 0.01，在精度可接受范围之内。这表明新陈代谢 GM(1,1)预测模型对闽清县和永泰县耦合协调度的拟合程度较高，可以认为该预测模型能用于闽清县和永泰县未来 5 a 耦合协调发展趋势预测，如图 4~7 所示。

从图 4~7 可知：闽清县耦合协调度和相对发展度在 2022 年分别达到 0.78 和 8.57，永泰县耦合协调度和相对发展度在 2022 年分别达到 0.83 和 25。表明闽清县和永泰县国土开发强度和资源环境承载力耦合协调未来 5 a 的发展轨迹大致延续 2012—2017 年变化特征，均呈现上升趋势且持续处于超前状态。其中闽清县耦合协调度和相对发展度上升速度较缓慢，永泰县耦合协调度和相对发展度上升态势较迅猛。这说明如果在未来几年不采取相应措施，两系统将会出现严重的非均衡性，“脱钩”现象越来越严重，系统将趋于衰退。

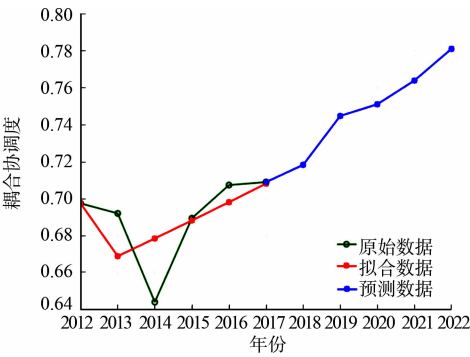


图 4 闽清县耦合协调度动态变化
Fig. 4 Dynamic change of coupling and coordination degree in Minqing County

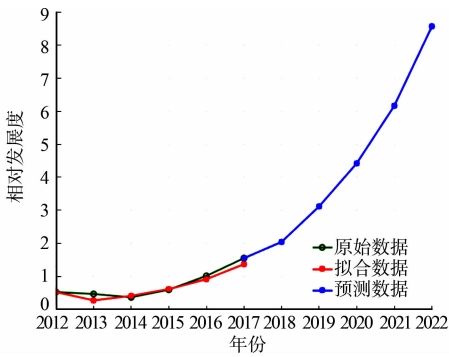


图 5 闽清县相对发展度动态变化
Fig. 5 Dynamic change of relative development degree in Minqing County

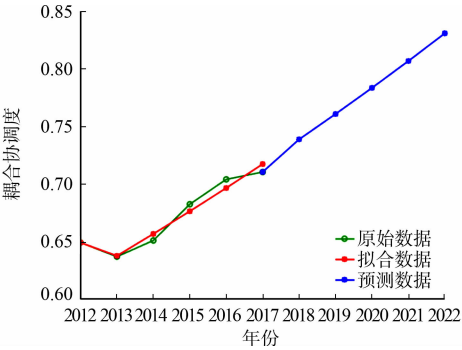


图 6 永泰县耦合协调度动态变化
Fig. 6 Dynamic change of coupling and coordination degree in Yongtai County

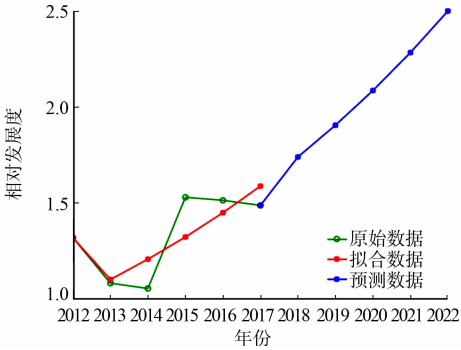


图 7 永泰县相对发展度动态变化
Fig. 7 Dynamic change of relative development degree in Yongtai County

6 结论

文中为解决区域国土开发强度和资源环境承载力不协调、不平衡发展问题提供重要的决策参考,得到以下 5 点主要结论.

1) 2012—2017 年间,福州市国土开发强度呈“倒 U 形”发展,在 2015 年均值出现高峰值 4.43%,逼近 2030 年国土开发强度红线 4.62%. 高值集中分布于福州市的中部、南部和东南部,主要有马尾区、晋安区、福清市和长乐市.

2) 2012—2017 年间,福州市资源环境水平在波动中稳步上升,上升幅度较大的区域主要分布在福州市的中部、西南部和东南部,主要有平潭县、闽清县、永泰县和晋安区,增幅高达 59%.

3) 2012—2017 年间,福州市总体处于低度协调阶段,部分地区在磨合和协调中演化,如闽清县和永泰县. 其中耦合协调度提升最高的为晋安区,增幅达 22.12%,仅有福清市的耦合协调度呈现降幅趋势,降幅达 7.47%.

4) 2012—2017 年间,福州市相对发展状态呈“倒金字塔形”,为滞后状态的地区占比 60%. 其中波动最大的是闽清县,从 2012 年的滞后状态逆袭成 2017 年的超前状态.

5) 通过预测发现,闽清县和永泰县在未来 5 a 内,国土开发强度与资源环境承载力耦合协调度和相对发展度呈上升趋势,但两地协调发展动态演化速度差异明显,闽清县不及永泰县. 两系统“脱钩”现象明显,趋于衰退.

针对所得出的结论,给出了如下对策和建议.

第一,对于环境资源压力制约型的连江县、长乐市和福清市,应严格控制区域国土开发强度,由粗放型向集约型转变,强化内涵挖潜,加大土地资源整合力度. 对于新城新区的建设应充分利用已有的土地资源,做好“两违”整治工作,往“紧凑型”发展,积极构筑“一区、两翼、双轴、多极”空间发展布局.

第二,对于经济开发制约型的闽清县和永泰县,应在开发强度红线范围内合理有效提高区域国土开发强度,加快经济建设发展进程.同时,应制定相应人才引进战略,加大人才落户优惠政策,吸引高创新型人才,推动区域经济发展浪潮.永泰县可结合自身丰富的旅游资源,发展“点状”乡村旅游,引进先进的旅游资源项目,以“点线圆”形式向外辐射,实现旅游产业关联发展.

第三,根据区域不同的国土开发强度和资源环境承载力状况,应明确区域资源禀赋和环境本底,统筹区域人口资源分布、环境保护和经济发展布局,并积极完善资源环境考核机制,以加快推进区域多要素协同发展.

参考文献:

[1] 段佩利,刘曙光,尹鹏,等. 中国沿海城市开发强度与资源环境承载力时空耦合协调关系[J]. 经济地理,2018,38(5):60-67. DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2018.05.008.

[2] 牛方曲,封志明,刘慧. 资源环境承载力评价方法回顾与展望[J]. 资源科学,2018,40(4):655-663. DOI:10.18402/resci.2018.04.01.

[3] TENG Yusi,XIA Weili. Research on system dynamics of urban land comprehensive carrying capacity in Xi'an City, China[J]. Open Cybernetics and Systemics Journal,2015,9(1):1929-1935. DOI:10.2174/1874110X01509011929.

[4] WANG Kuifeng1,XU Meng,CHEN Xiaoman. The comprehensive evaluation on resource environmental bearing capacity of central cities in the Yellow River Delta: A case study on Dongying City[J]. Journal of Groundwater Science and Engineering,2017,5(4):47-56.

[5] 孙才志,于广华,王泽宇,等. 环渤海地区海域承载力测度与时空分异分析[J]. 地理科学,2014,34(5):513-521.

[6] 毛汉英,余丹林. 区域承载力定量研究方法探讨[J]. 地球科学进展,2001,16(4):549-555. DOI:10.3321/j.issn:1001-8166.2001.04.017.

[7] 卫思夷,居祥,荀文会. 区域国土开发强度与资源环境承载力时空耦合关系研究:以沈阳经济区为例[J]. 中国土地科学,2018,32(7):58-65. DOI:10.11994/zgtdkx.20180626.104301.

[8] 刘艳军,于会胜,刘德刚,等. 东北地区建设用地开发强度格局演变的空间分异机制[J]. 地理学报,2018,73(5):818-831. DOI:10.11821/dlxb201805003.

[9] 雷勋平,邱广华. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究[J]. 环境科学学报,2016,36(1):314-323. DOI:10.13671/j.hjkxxb.2015.0580.

[10] 刘耀彬,李仁东,宋学锋. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J]. 地理学报,2005,60(2):237-247. DOI:10.3321/j.issn:0375-5444.2005.02.007.

[11] 刘浩,张毅,郑文升. 城市土地集约利用与区域城市化的时空耦合协调发展评价:以环渤海地区城市为例[J]. 地理研究,2011,30(10):1805-1817. DOI:10.3724/SP.J.1011.2011.00211.

[12] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002.

[13] 唐万梅,向长合. 基于二次插值的 GM(1,1)模型预测方法的改进[J]. 中国管理科学,2006,14(6):110-112. DOI:10.3321/j.issn:1003-207X.2006.06.020.

[14] 王璐,沙秀艳,薛颖. 改进的 GM(1,1)灰色预测模型及其应用[J]. 统计与决策,2016(10):74-77. DOI:10.13546/j.cnki.tjyj.2016.10.020.

[15] 冯欢. 重庆市县域尺度资源环境承载力综合评价研究及空间动态分析[D]. 重庆:西南大学,2017.

[16] 刘思峰,谢乃明,等. 2010 灰色系统理论及其应用[M]. 5 版. 北京:科学出版社.

(责任编辑:黄仲一 英文审校:吴逢铁)