

长江流域国土空间开发适宜性综合评价

唐常春^{1,2}, 孙威^{2,3}

(1. 长沙理工大学土木与建筑学院, 长沙 410004; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101)

摘要: 国土空间开发适宜性评价是国土开发格局优化与区域协调发展的科学基础, 开展长江流域国土空间综合评价, 可以加强和深化对流域国土空间合理开发的科学认知, 指导流域治理与可持续发展实践。根据“3步骤4原则”首次界定长江流域覆盖的县级行政区域范围, 从长江流域实际出发, 采用Delphi与AHP方法, 构建国土空间开发适宜性综合评价指标体系, 建立以724个县级行政区为基本单元的长江流域综合数据库。在此基础上, 结合专业知识与GIS空间聚类方法进行单因子分级评价, 运用动态加权求和法建立测度模型开展综合评价, 构建耦合系数模型进行人口—经济空间耦合度分析。研究表明: 全流域开发约束总体水平较高, 高值区(V~VIII级)主要分布在上中游地区。开发强度和开发潜力的空间集中度高, 区域发展差异呈继续扩大态势。综合评价分级高值区土地面积比重为22.95%, 表明适宜开发区域仅占少部分流域国土面积; 人口—GDP耦合系数(D值)为8.70, 流域人口与经济空间耦合度较低; 上中下游开发适宜性存在显著差异, 适宜性高值区主要包括长江三角洲、合肥与皖江沿线地区、武汉城市圈、荆州—宜昌长江沿线地区、襄阳—南阳地区、长株潭城市群、南昌—九江—新余地区、成渝城市群、贵阳—安顺地区、昆明市及大部分地级城市。

关键词: 国土空间; 综合评价; 开发; 适宜性; 长江流域

1 引言

随着空间开发失控与区域无序竞争问题日益突出, 开发格局优化和区域协调发展已成为中国当前亟待解决的重大科学与实践命题, 而国土空间开发适宜性综合评价是研究解决该命题的重要基础。适宜性评价是根据国土空间的自然和社会经济属性, 研究国土空间对预定用途的适宜与否、适宜程度以及限制状况。本文中的国土空间开发适宜性是指特定国土空间承载工业化和城镇化的适宜程度。

空间开发适宜性评价一直是国内外学术界关注的重要领域之一。国外研究主要集中在GIS技术应用和评价模型构建等方面。19世纪末20世纪初, 美国景观设计师开始应用手工绘图并叠加图像的方法进行空间开发适宜性评价, 随后基于GIS技术的空间开发适宜性评价方法逐步成为该领域的主流^[1]。GIS技术逐步与计算机辅助叠加制图^[2-3]、多指标决策方法^[4-7]、模糊逻辑技术^[8-9]、神经网络方法^[10]、遗传算法^[11]、元胞自动机方法相结合^[12], 有效提高了评价方法的精确化、综合化和动态化。同时, GIS技术与模型方法的融合趋势进一步明显, 如哈佛实验室开发的SYMAP和GRID系统包含了一系列可进行空间适宜性评价的模块^[13]。国内研究更关注应用层面, 丁建中等根据生态重要性和经济重要性指数划分

收稿日期: 2012-01-28; 修订日期: 2012-09-19

基金项目: 国家社会科学基金项目(09CJL045); 中国博士后科学基金资助项目(2011M500377, 2012T50127)

[Foundation: National Social Science Foundation of China, No.09CJL045; China Postdoctoral Science Foundation Funded Project, No.2011M500377, No.2012T50127]

作者简介: 唐常春(1976-), 男, 湖南衡南人, 博士后, 副教授, 中国地理学会会员(S110009172M), 主要研究方向为区域发展与土地利用。E-mail: tangchangchun@163.com

通讯作者: 孙威(1975-), 男, 河南开封人, 副研究员, 中国地理学会会员(S110008181M), 主要研究方向为区域发展与规划。E-mail: sunw@igsrr.ac.cn

不同空间开发强度类型区^[14]。祁豫玮和顾朝林通过空间开发约束、引导和强度三要素综合分析和两次两维矩阵判别,得出空间开发适宜性分类^[15]。李娜基于生态与经济因素GIS空间叠合分析,实现小尺度地域空间开发适宜性分区^[16]。孙伟和陈雯通过自然生态约束和经济开发需求的矩阵分类分析,划分6类开发适宜性区域^[17]。樊杰等选取9大指标,通过单要素评价和综合评价,对西江经济带7地市沿江20 km缓冲区内的开发建设适宜性进行评价^[18]。中国功能区划实践层面的国土空间开发适宜性评价主要由资源环境承载能力、现有开发强度、发展潜力3大类指标构成^[19]。从已开展评价研究看,研究尺度主要集中在地市和省级行政区域,针对跨省区和以流域为对象的开发适宜性评价较少。为充实研究尺度和内容体系,深化对流域国土合理开发的科学认知与理论研究,本文以县级行政区为基本单元,开展长江流域国土空间开发适宜性评价。

1978年改革开放以来,长江流域国内生产总值迅速提高,年均增长率超过10%,2010年全流域主要省份人均GDP为30876元,高于全国平均水平(29920元),是驱动中国经济增长的重要发展轴,在中国国土空间开发总体格局中占有重要战略地位。同时上中下游各区域在地理区位、自然条件、资源禀赋、发展水平等方面存在着明显地域分异特征^[20-23]。伴随快速工业化和城镇化进程,长江流域面临一系列问题,譬如上游地区水土流失较为严重与自然灾害频发;中下游湿地萎缩和环境恶化,太湖、巢湖等甚至出现严重富营养化^[24];现代农业发展滞后,影响粮食安全;发展模式比较单一和粗放,城镇化缺乏持久产业动力。究其成因,主要是长期以来缺乏从流域整体层面的有力统筹,国土空间开发“无序”所致^[25],局部地区不顾生态本底条件和资源环境承载力,盲目推进开发建设,导致可持续发展能力下降。国土空间开发适宜性综合评价研究对于优化国土空间开发布局与秩序,加强国土空间管制与流域治理,促进流域健康、协调、可持续发展具有现实意义。

2 研究区域

长江流域系指长江干支流的集水范围,面积约为180万km²,主要包括17个省(直辖市、自治区)的全部或部分地区,可划分为金沙江石鼓以上、金沙江石鼓以下、宜宾至宜昌干流、岷沱江、嘉陵江、乌江、宜昌至湖口干流、汉江、洞庭湖水系、鄱阳湖水系、湖口以下干流和太湖水系等12个二级流域。

长江流域是一个自然地理概念,为便于分析和为政策分区提高参考,本文将研究载体转换为以县级行政区域作为基本分析单元。研究范围界定方法步骤如下:①在ArcGIS 9.3中将长江流域自然矢量界线与2008年中国县级行政区划矢量界线进行叠加。②确定县级行政区划入长江流域的原则:第一,长江流域内面积占县域土地总面积比重大于50%;第二,面积比重小于50%,但县城位于长江流域内;第三,前两个条件都不符合,但长江流域内绝对面积较大,且生态地位与重要性突出,主要是指长江源头地区的个别县,如杂多县等;第四,扬州市辖区与江都市不符合以上原则,但位于长江干流沿岸,考虑到复杂的江淮流域关系,将其纳入研究范围。③将市辖区(飞地辖区除外)合并为一个单元,另外特大城市和大城市只是将内城区合并成一个单元,外部市辖区是以前的郊县,面积较大,经济社会特征更接近县域属性,不予合并,仍然单列。由此界定研究范围为长江流域724个县(市区)级行政区域,其中上游305个、中游318个、下游101个(图1)。

3 数据与方法

3.1 数据来源与处理

(1) 统计数据:包括2008年常住人口、GDP、三次产业增加值、农村就业人口、农业



图1 长江流域研究范围界定示意图

Fig. 1 Map showing the study scope of the Yangtze River Basin

产值、固定资产投资、财政收入等经济社会数据和部分自然资源数据,主要来源于各省(直辖市、自治区)统计年鉴和部分地级市统计年鉴,水资源数据来源于2009年各地级市和各县(区)水资源公报。

(2) 空间数据:主要包括长江流域及二级流域矢量界线、县级行政区划矢量界线、长江流域高精度DEM数据、土地利用分布数据、地质灾害数据、铁路、高速公路、国道与省道路网数据、港口与航道分布等数据,来源于国家基础地理信息中心和中国科学院资源环境数据中心及国外专业数据库,除土地利用分布数据与地质灾害数据年份分别为2005年和2002年外,其他数据年份均为2008年。

(3) 构建长江流域综合数据库。

3.2 研究方法与技术流程

研究技术流程为:选择评价对象→确定评价单元→选取评价因子/指标→评价因子/指标量化分级→因子/指标权重确定→单因子评价和综合评价。

(1) 评价指标体系构建。从长江流域实际出发,根据国土空间开发适宜性综合评价的科学内涵,遵照系统性、科学性、客观性和独立性原则,构建长江流域国土空间开发适宜性综合评价指标体系。指标体系划分为目标层、准则层、支撑层和要素层4个层级。目标层是国土空间开发适宜性,准则层包括开发约束、开发强度和开发潜力3个维度,其中开发约束包含生态、资源与农业等约束,下设生态脆弱性、生态重要性和农业重要性3个支撑层指标,为体现流域特色并考虑到资源对开发的重要制约,将人均水资源量、人均耕地面积等指标纳入要素层。开发强度是指目前开发基础与水平,主要采用开发密度、工业化和城镇化水平进行测度,要素层则包括人口与经济密度、人均GDP、产业与人口结构、城镇用地比重等重要的具体表征性指标。开发潜力主要包括经济发展后劲和交通优势度,宏观经济学认为投资、消费与出口是经济发展的“三驾马车”,考虑到中国经济发展模式演变和长江流域整体实际,并考虑到财政实力对县级区域发展的显著影响,本文选取人均投资、人均消费和人均财政收入测度区域经济发展后劲;同时,依据交通引导区域开发理论,考虑到交通建设对区域未来发展的先导性和支撑能力,将路网密度等作为反映开发潜力的重要指标。另外,将政策因素和非普适因素纳入定性辅助分析。指标赋权方法选择是综合评价的关键问题之一,本文在长江流域上中下游及其他地区遴选地理、规划、经济等学科的22位专家,覆盖面广,代表性强,采用德尔菲法(Delphi)与层次分析法(AHP)组

合赋权, 综合确定评价指标的权重^[26-27] (表1)。

(2) 单因子分级阈值划分。数据分级即等值图分级, 是指某一数值在地图上以面域方式显示的等级结构。只要选择合适的类别间隔 (Class Interval) 就可以清楚地表达该变量的空间分布规律, 并能显示其地域集聚特征。国内统计数据分级常采用最优分割、逐步聚类、模糊聚类、模式识别及遗传算法等方法^[28]。本文单因子分级是从长江流域实际出发, 综合采用专业知识分级与GIS自然

表1 长江流域国土空间开发适宜性综合评价指标体系及权重
Tab. 1 The index system and index weight coefficient of comprehensive evaluation of land spatial development suitability of the Yangtze River Basin

准则层	权重	支撑层	权重	要素层	权重		
开发约束 (生态与农业约束) A	0.382	生态脆弱性 A1	0.137	平均海拔 A11	0.028		
				地形坡度 A12	0.033		
				地质灾害危险性 A13	0.041		
		生态重要性 A2	0.132	农业重要性 A3	0.115	人均水资源量 A14	0.034
						森林覆盖率 A21	0.051
						草地覆盖率 A22	0.039
						湿地覆盖率 A23	0.043
		人均耕地面积 A31	0.061				
		人均农业产值 A32	0.053				
		开发强度 (开发基础与水平) B	0.307	开发密度 B1	0.106	人口密度 B11	0.053
人均 GDP B12	0.053						
工业化水平 B2	0.102			人均 GDP B21	0.050		
				二三产业比重 B22	0.052		
城镇化水平 B3	0.100			城镇人口比重 B31	0.050		
城镇用地面积比重 B32	0.050						
开发潜力 (未来发展潜力) C	0.311	经济发展后劲 C1	0.166	人均固定资产投资 C11	0.059		
				人均消费水平 C12	0.055		
				人均财政收入 C13	0.051		
		交通优势度 C2	0.145	铁路路网密度 C21	0.041		
				高速公路密度 C22	0.041		
				国道密度 C23	0.033		
				省道密度 C24	0.030		

断裂点分级方法。数据分级级别的确定, 主要取决于数据集本身与研究对象的内在分异和复杂程度, 由于长江流域幅员广大, 自然条件与经济社会发展水平分异显著, 同时考虑到数据处理工作量及后续研究, 所有单因子分级统一采用8级。具体分级方案见表2。

(3) 指标集成与综合评价模型。在要素层单因子分析基础上, 运用加权求和方法进行逐级归并集成, 依次得出8个支撑层指标和3个准则层指标的评价结果, 计算公式为:

$$E_n = \sum_{i=1}^p w_i e_i \tag{1}$$

式中: E_n 为指标 n 的单元归并值; p 为指标 n 包含的下一层级指标数; w_i 为指标 i 的权重; e_i 为指标 i 的分级值或初始归并值。

为使综合评价既能反映出区域开发潜能的总体特征, 又能突出限制性因素的作用, 本文在准则层指标评价基础上, 通过将开发约束作为负向指标, 开发强度与潜力作为正向指标, 同时结合流域实际设置主要限制系数 (表3), 运用动态加权求和法综合集成, 计算国土空间开发适宜性综合评价值^[29], 模型公式为:

$$G = \prod_{j=1}^L f_j(x_j) \sum_{i=1}^n w_i d_i \tag{2}$$

式中: G 为空间单元综合评价值; L 为限制因素数; n 为准则层因素数; $f_j(x_j)$ 为 j 限制因素的限制系数, $0 \leq f_j(x_j) \leq 1$, $f_j(x_j)$ 值越大, 限制性越弱, $f_j(x_j) = 1$ 时无限制; w_i 为准则层因素 i 的权重系数 (以开发约束权重为基准进行转换); d_i 为准则层因素 i 评价值。

(4) 人口—经济空间耦合度分析。在国土空间开发适宜性综合评价分级基础上, 通过各级区域常住人口比重与GDP比重的对比, 即测算耦合差系数, 可分析流域和区域人口密度 (重心) 与经济密度 (重心) 空间耦合度水平。耦合差系数模型为:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^n |P_i - E_i|} \tag{3}$$

表2 长江流域单因子分级阈值区间划分方法

Tab. 2 Partitioning method of threshold interval of the single factor classification of the Yangtze River Basin

指标名称	度量 单位	度量阈值区间							
		1	2	3	4	5	6	7	8
平均海拔	m	0-200	201-500	501-1000	1001-2000	2001-3000	3001-4000	4001-5000	> 5000
平均坡度	°	0-0.7	0.8-1.7	1.8-2.7	2.8-3.9	4.0-5.5	5.6-7.6	7.7-10.2	10.3-15.9
地质灾害 危险性	%	0-10	11-20	21-30	31-40	41-55	56-70	71-85	86-100
人均水资源量	m ³	0-300	301-500	501-1000	1001-1700	1701-2200	2201-3000	3001-8000	> 8000
森林覆盖率	%	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-65	66-80	81-100
草地覆盖率	%	0-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-65	66-80	81-100
湿地覆盖率	%	0-2	3-5	6-10	11-15	16-20	21-30	31-40	41-58
人均耕地面积	hm ²	0-0.053	0.054-0.10	0.11-0.15	0.16-0.20	0.21-0.30	0.31-0.50	0.51-0.80	0.81-0.96
地均农业产值	万元 /km ²	0-50	51-100	101-150	151-200	201-300	301-400	401-600	601-968
人口密度	人 /km ²	0-10	11-50	51-200	201-500	501-1000	1001-3000	3001-6000	> 6000
地均 GDP	万元 /km ²	0-250	251-500	501-1000	1001-2000	2001-4000	4001-10000	10001-50000	50001-140000
人均 GDP	元	2335-7000	7001-14000	14001-21000	21001-28000	28001-35000	35001-70000	70001-140000	> 140000
二三产业比重	%	0-30	31-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-95	96-100
农村就业人口 比重	%	0-5	6-10	11-15	16-20	21-30	31-40	41-50	51-55
城镇用地比重	%	0-0.10	0.11-0.20	0.21-0.50	0.51-2.50	2.51-5.00	5.01-10.00	10.01-30	> 30
人均固定资产 投资	元	168-3800	3801-7000	7001-10000	10001-15000	15001-20000	20001-30000	30001-40000	40001-61000
人均消费水平	元	500-2000	2001-3000	3001-4000	4001-6000	6001-10000	10001-15000	15001-25000	25001-44000
人均财政收入	元	0-450	451-1000	1001-2000	2001-3000	3001-4500	4501-7500	7501-11500	11501-22000
主干路网密度	km /km ²	0-0.02	0.03-0.05	0.06-0.10	0.11-0.15	0.16-0.20	0.21-0.30	0.31-0.40	0.41-0.66

注: 考虑到各省(直辖市、自治区)县级区域城镇化率指标统计口径不一致, 本文采用农村就业人口比重作为城镇化率的负向指标。

式中: D 为人口—经济空间耦合差系数; P_i 、 E_i 分别为*i*级区域常住人口比重与GDP比重。

表3 主要限制因素的限制系数

Tab. 3 The limit coefficient of main limiting factors

指标分级	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
限制系数	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92	0.90	0.88	0.86

4 研究结果

4.1 开发约束评价

以县级区域为单元, 计算9个要素层的实际指标值, 采用单因子分析方法进行评价分级, 以反映长江流域各要素空间分异格局。在此基础上, 以要素层分级值(1~8)集成得到3个支撑层指标值, 进而计算开发约束值。运用自然断裂点方法划分8种开发约束级别, 并对各级别区域的土地面积、常住人口、GDP以及在上中下游分布格局进行空间统计分析, 揭示长江流域开发约束的空间分异与上中下游差异(表4)。开发约束高值区(V~VIII级)土地面积比重为60.30%, 全流域开发约束总体水平较高, 生态保护和农业发展对工业

化和城镇化的约束性较强。高值区常住人口与GDP比重分别为32.60%和16.80%，流域人口分布对生态约束强度的敏感性要小于GDP，人口—经济空间耦合度较低，耦合差系数为5.87。

开发约束高值区主要分布在上游地区，包括横断山区、长江源头地区、秦巴山区、三峡地区、云贵高原等区域，中游地区的汉江上游和鄂西山区、武陵山区、雪峰山区、南岭地区、罗霄山区和桐柏山—大别山区等区域的开发约束也较显著。下游地区高值区分布少。开发约束低值区主要分布在四川盆地、江汉平原、南阳盆地、洞庭湖平原、鄱阳湖平原和长江下游地区，上海和环太湖地区开发约束相对高于周边地区，但目前仍属于低值区(图2a)。开发约束高值区中，上中下游行政区数量分别为247个、67个和1个，上中下游面积比重分别为85.66%、14.13%和0.21%；低值区中，上中下游行政区数量分别为64个、252个和100个，上中下游面积比重分别为16.25%、67.03%和16.72%(表5)。

4.2 开发强度评价

开发强度I~VIII级区域土地面积比重呈递减关系，呈现出“金字塔”等级结构。高值区(V~VIII级)土地面积比重为16.01%，流域开发空间集中度较高，国土空间开发尚处于集聚阶段。高值区常住人口与GDP比重分别为44.87%和78.21%，流域人口空间分布集中度要明显低于经济集中度，反映城镇化水平滞后于工业化和经济发展水平(表6)。流域人口与GDP空间分布耦合度较低，开发强度各级区域人口—经济耦合差系数(D值)

表4 长江流域开发约束分级与空间分异

Tab. 4 Grading and spatial variation of development constraints of the Yangtze River Basin

开发约束分级	开发约束值	土地面积 比重 (%)	常住人口 比重 (%)	GDP 比重 (%)
I 极低	1.01-1.59	4.45	8.41	10.81
II 低	1.60-1.89	11.73	19.70	21.25
III 较低	1.90-2.20	9.77	17.55	30.85
IV 偏低	2.21-2.52	13.75	21.74	20.29
V 偏高	2.53-2.84	21.94	16.37	8.33
VI 较高	2.85-3.27	11.09	7.08	3.22
VII 高	3.28-3.80	17.45	6.62	3.14
VIII 极高	3.81-4.51	9.82	2.53	2.11
合计	1.01-4.51	100.00	100.00	100.00

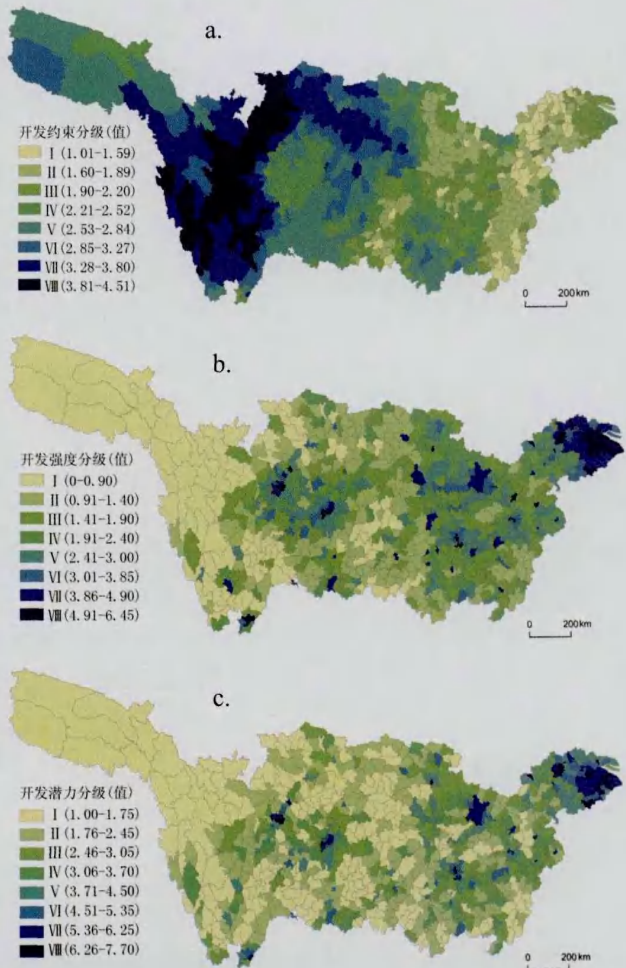


图2 长江流域国土空间开发适宜性分项评价分级图

Fig. 2 The partial evaluation grading map of land spatial development suitability of the Yangtze River Basin

表5 长江流域开发约束的上中下游分异

Tab. 5 Variation of development constraints among the upper, middle and lower reaches of the Yangtze River Basin

开发约束分级	行政区 数量(个)	上游行政 区数(个)	中游行政 区数(个)	下游行政 区数(个)	上游面积 比重(%)	中游面积 比重(%)	下游面积 比重(%)
I 极低	53	1	24	28	0.05	56.10	43.85
II 低	122	0	91	31	0.00	78.79	21.21
III 较低	113	6	75	32	2.65	78.28	19.07
IV 偏低	128	57	62	9	44.26	52.76	2.98
V 偏高	115	75	39	1	77.20	22.21	0.59
VI 较高	61	43	18	0	78.73	21.27	0.00
VII 高	95	85	10	0	92.45	7.55	0.00
VIII 极高	44	44	0	0	100.00	0.00	0.00

注:考虑到重庆是特大型山地城市,内城区各区分开统计。江西省新建县由空间上不相邻的两块区域组成,亦分开统计。

为8.73。

开发强度地域分异明显,长江三角洲、合肥市与马芜铜地区、武汉—宜昌长江沿线地区、长株潭萍地区、南昌—新余—抚州、渝西地区、成德绵乐地带、贵阳市、昆明市及大部分地级城市开发强度较高,长江源头地区、川西—藏东—滇北横断山区、乌蒙山区、秦巴山区、武陵山区、鄂西地区、南岭山区、赣东南等开发强度很低(图2b)。高值区中,上中下游行政区数分别为73个、84个和73个,面积比重为30.90%、42.97%和26.13%;低值区中,上中下游行政区数为238个、235个和28个,上中下游面积比重为62.86%、33.93%和3.21%(表7)。

4.3 开发潜力评价

开发潜力评价支撑层指标主要包括经济发展后劲和交通优势度,交通优势度是在计算主干路网密度的基础上,叠加港口和航道等水运要素,进行修正得出。开发潜力V~VIII级区域土地面积比重呈显著递减关系(表8),高值区(V~VIII级)土地面积比重为8.96%,表明流域开发潜力的空间集中度很高。高值区常住人口与GDP比重为31.26%和68.06%,

表6 长江流域开发强度分级与空间分异

Tab. 6 Grading and spatial variation of development intensity of the Yangtze River Basin

开发强度分级	开发强度值	土地面积 比重(%)	常住人口 比重(%)	GDP 比重(%)
I 极低	0.00-0.90	34.54	5.52	1.29
II 低	0.91-1.40	19.85	14.25	4.27
III 较低	1.41-1.90	18.32	18.07	7.17
IV 偏低	1.91-2.40	11.28	17.29	9.06
V 偏高	2.41-3.00	8.21	14.64	10.05
VI 较高	3.01-3.85	2.89	6.91	6.77
VII 高	3.86-4.90	3.04	9.47	16.00
VIII 极高	4.91-6.45	1.87	13.85	45.39
合计	0.00-6.45	100.00	100.00	100.00

表7 长江流域开发强度的上中下游分异

Tab. 7 Variation of development intensity among the upper, middle and lower reaches of the Yangtze River Basin

开发强度分级	行政区 数量(个)	上游行政 区数(个)	中游行政 区数(个)	下游行政 区数(个)	上游面积 比重(%)	中游面积 比重(%)	下游面积 比重(%)
I 极低	96	83	13	0	94.61	5.39	0.00
II 低	147	61	82	4	45.86	52.05	2.09
III 较低	148	59	80	9	42.91	52.70	4.39
IV 偏低	110	35	60	15	30.33	56.74	12.93
V 偏高	91	36	46	9	36.69	53.12	10.19
VI 较高	41	15	17	9	30.23	46.35	23.42
VII 高	50	13	12	25	29.65	20.65	49.70
VIII 极高	48	9	9	30	12.98	28.42	58.60

各级区域 D 值为8.58, 人口空间分布不合理。

开发潜力空间格局与开发强度基本类似, 但集中度更高, 区域分异更显著, 下中游优势更突出(图2c), 如不采取区域协调发展政策, 区域间及上中下游间发展差距将继续扩大。高值区中, 上中下游行政区数分别为42个、43个和64个, 面积比重为25.08%、32.44%和42.48%; 低值区中, 上中下游行政区数分别为269个、276个和37个, 面积比重为60.98%、35.64%和3.38%(表9)。

4.4 开发适宜性综合评价

在分项评价基础上, 集成测算开发适宜性综合评价值, 并进行评价分级和类型区划分。开发适宜性I~VIII级区域面积占全流域面积比重呈递减关系(表10), 高值区(V~VIII级)土地面积比重为22.95%, 适宜开发区域仅占少部分流域国土面积, 大部分区域开发适宜性较低, 需要限制开发甚至禁止开发。高值区常住人口与GDP比重分别为55.39%和82.63%, 各级区域 D 值为8.70。未来一段时期全流域发展仍将以集聚为主, 因此必须加快人口在区域间的迁移与合理流动, 促使人口—经济空间耦合, 否则, 区域发展差距将进一步扩大^[29]。

表8 长江流域开发潜力分级与空间分异

Tab. 8 Grading and spatial variation of development potential of the Yangtze River Basin

开发潜力分级	开发潜力值	土地面积 比重(%)	常住人口 比重(%)	GDP 比重(%)
I 极低	1.00-1.75	47.22	20.99	6.17
II 低	1.76-2.45	22.40	19.63	8.92
III 较低	2.46-3.05	12.85	14.99	7.68
IV 偏低	3.06-3.70	8.57	13.13	9.17
V 偏高	3.71-4.50	4.31	8.84	9.28
VI 较高	4.51-5.35	2.11	6.21	9.88
VII 高	5.36-6.25	1.55	7.71	21.14
VIII 极高	6.26-7.70	0.99	8.50	27.76
合计	1.00-7.70	100.00	100.00	100.00

表9 长江流域开发潜力的上中下游分异

Tab. 9 Variation of development potential among the upper, middle and lower reaches of the Yangtze River Basin

开发潜力分级	行政区 数量(个)	上游行政 区数(个)	中游行政 区数(个)	下游行政 区数(个)	上游面积 比重(%)	中游面积 比重(%)	下游面积 比重(%)
I 极低	207	131	73	3	79.46	19.98	0.56
II 低	170	73	89	8	47.48	48.71	3.81
III 较低	112	35	68	9	32.36	61.45	6.19
IV 偏低	93	30	46	17	37.33	49.19	13.48
V 偏高	57	19	18	20	33.22	30.55	36.23
VI 较高	39	11	15	13	23.39	43.70	32.91
VII 高	31	8	7	16	13.48	36.68	49.84
VIII 极高	22	4	3	15	12.44	6.19	81.37

表10 长江流域国土空间开发适宜性综合评价分级与空间分异

Tab. 10 Comprehensive evaluation grading and spatial variation of land spatial development suitability of the Yangtze River Basin

综合分级	类型区	综合评价值	土地面积 比重(%)	常住人口 比重(%)	GDP 比重(%)
I	开发适宜性极低区	0.00-1.34	29.38	2.91	0.81
II	开发适宜性低区	1.35-2.42	18.99	10.68	2.94
III	开发适宜性较低区	2.43-3.47	14.83	13.54	5.78
IV	开发适宜性偏低区	3.48-4.57	13.85	17.48	7.84
V	开发适宜性偏高区	4.58-5.77	9.59	14.62	7.88
VI	开发适宜性较高区	5.78-7.52	7.53	14.34	10.43
VII	开发适宜性高区	7.53-10.32	3.46	10.59	15.64
VIII	开发适宜性极高区	10.33-14.15	2.37	15.84	48.68
合计		0.00-14.15	100.00	100.00	100.00

适宜性高值区主要包括长江三角洲、合肥与皖江沿线、武汉城市圈、荆州—宜昌长江沿线、襄阳—南阳地区、长株潭城市群、南昌—九江—新余、成渝城市群、贵阳—安顺地区、昆明市及大部分地级城市等,低值区包含长江源头地区、川西—藏东—滇北横断山区、乌蒙山区、三峡库区、秦巴山区、武陵山区、南岭地区和赣东南等地区(图3)。高值区中,上中下游行政区数分别为73个、137个和89个,面积比重为20.65%、54.75%和24.60%;低值区中,上中下游行政区数量为238个、182个和12个,面积比重为68.94%、29.55%和1.51%(表11)。

上中下游地区开发适宜性结构存在显著差异,其中上游高值区与低值区的行政区数量占比为23.47%和76.53%,土地面积占比为8.24%和91.76%;中游行政区数量占比为42.95%和57.05%,土地面积占比为35.70%和64.30%;下游行政区数量占比为88.12%和11.88%,土地面积占比为82.97%和17.03%。上中下游开发适宜性各类型区数量和面积比例详见图4、图5。

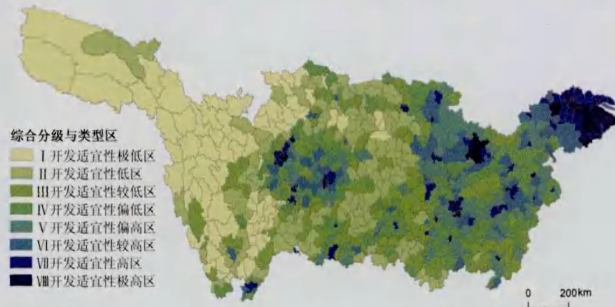


图3 长江流域国土空间开发适宜性综合评价分级与类型区分布
Fig. 3 The comprehensive evaluation grading of land spatial development suitability and distribution of various types of regions in the Yangtze River Basin

表11 长江流域国土空间开发适宜性类型区的上中下游分布

Tab. 11 Variation of land spatial development suitability among the upper, middle and lower reaches of the Yangtze River Basin

类型区	行政区 数量(个)	上游行政 区数(个)	中游行政 区数(个)	下游行政 区数(个)	上游面积 比重(%)	中游面积 比重(%)	下游面积 比重(%)
开发适宜性极低区	73	71	2	0	99.24	0.76	0.00
开发适宜性低区	114	75	39	0	71.24	28.76	0.00
开发适宜性较低区	112	49	61	2	43.13	55.51	1.36
开发适宜性偏低区	133	43	80	10	30.04	63.03	6.93
开发适宜性偏高区	96	25	66	5	20.73	73.64	5.63
开发适宜性较高区	89	24	42	23	24.60	47.16	28.24
开发适宜性高区	66	17	20	29	20.86	36.13	43.01
开发适宜性极高区	48	7	9	32	7.18	26.87	65.95

5 结论与政策启示

长江流域在中国国土开发总体格局中具有重要战略地位,上中下游各区域在生态本底、资源环境与经济社会发展等方面存在着明显地域分异,这使其成为流域国土空间开发适宜性综合评价“天然试验田”。基于快速工业化和城镇化背景,针对长江流域面临的实际突出问题,采用系统方法,开展国土空间开发适宜性综合评价研究,有助于为流域可持续发展与区域协调发展提供科学基础和决策支持。研究表明:

(1) 长江流域开发约束总体水平较高,生态保护和农业发展对工业化和城镇化的约束性较强。开发约束高值区(V~VIII级)主要分布在上游地区特别是横断山区、长江源头地区、秦巴山区和云贵高原等区域;中游地区亦有大面积分布,主要分布在汉江上游、武陵

山区和南岭地区等区域；下游地区高值区分布少。上海和环太湖地区开发约束要相对高于周边地区，但目前仍处于低值区水平。

(2) 开发强度与开发潜力 I~VIII 级区域土地面积占全流域面积比重均呈明显的递减关系，二者高值区土地面积比重均不足 20%，流域开发的区域集中度较高，呈现出“金字塔”等级体系，国土空间开发尚处于集聚主导阶段。开发潜力空间格局与开发强度基本类似，但集中度更高，区域分异更显著，下中游优势更突出。

(3) 综合评价高值区土地面积比重为 22.95%，表明适宜开发区域仅占少部分流域国土面积，大部分区域开发适宜性较低，需要限制开发甚至禁止开发。开发适宜性空间分布存在显著的上中下游差异和区域分异，上中

下游高值区面积分别占上中下游面积的 8.24%、35.70% 和 82.97%。适宜开发区主要包括长三角、合肥与皖江沿线、武汉城市圈、荆州—宜昌、襄阳—南阳、长株潭城市群、南昌—九江—新余、成渝城市群、贵阳—安顺、昆明市及大部分地级城市等区域。

(4) 长江流域应以国土空间开发适宜性综合评价为基本依据，科学划分鼓励类、限制类和禁止开发区域，在此基础上合理确定各区域功能导向，鼓励类开发区域应加快推进新型工业化与城镇化进程，限制类开发区域应以农业发展和生态保护为主要发展方向，禁止开发区域要杜绝与保护无关的开发建设活动。同时，目前全流域人口—经济空间耦合度较低，未来一段时期流域发展仍将以集聚为主，应加快户籍、土地管理、社会保障等制度创新，促进人口等要素在区域间合理迁移流动，促进人口与经济优化布局及空间相互耦合，缩小区域发展差距，实现流域一体化和区域协调发展。

参考文献 (References)

[1] He Yingbin, Chen Youqi, Yang Peng et al. An overview and perspective of alien land suitability evaluation study based on GIS technology. *Progress in Geography*, 2009, 28(6): 898-904. [何英彬, 陈佑启, 杨鹏 等. 国外基于 GIS 土地适宜性评价研究进展及展望. *地理科学进展*, 2009, 28(6): 898-904.]

[2] Mac Dougall E B. The accuracy of map overlay. *Landscape Planning*, 1975, (2): 23-30.

[3] Steinitz C, Parker P, Jordan L. Hand drawn overlays: Their history and prospective uses. *Landscape Architecture*, 1976, (9): 444-455.

[4] Carver S J. Integrating multi-criteria evaluation with geographical information system. *International Journal of Geographical Information System*, 1991, 5(3): 321-339.

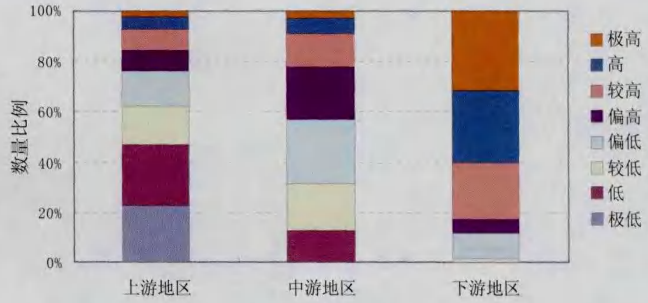


图 4 长江流域上中下游开发适宜性各类型区数量比例

Fig. 4 Number ratios of various types of regions among the upper, middle and lower reaches of the Yangtze River Basin based on development suitability

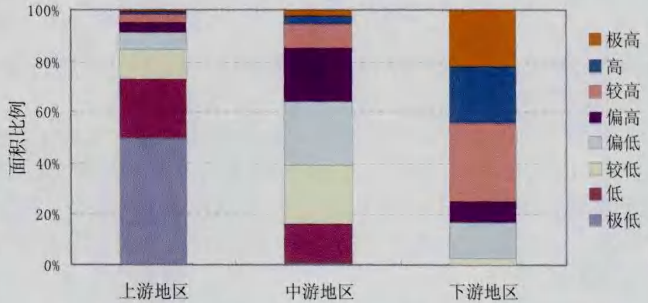


图 5 长江流域上中下游开发适宜性各类型区面积比例

Fig. 5 Area ratios of various types of regions among the upper, middle and lower reaches of the Yangtze River Basin based on development suitability

- [5] Banai R. Fuzziness in geographical information systems: Contributions from the analytic hierarchy process. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1993, (7): 315-329.
- [6] Malczewski J. GIS and Multi-criteria Decision Analysis. New York: Wiley, 1999.
- [7] Openshaw S, Abraham R J. Geo-Computation. London: Taylor & Francis, 2000.
- [8] Wang F, Brent Hall G, Subaryono. Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: Database design and applications. *International Journal of Geographical Information System*, 1990, (4): 261-283.
- [9] Burrough P A, McDonnell R A. Principles of Geographical Information Systems. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- [10] Sui D Z. Integrating neural networks with GIS for spatial decision-making. *Operational Geographer*, 1993, 11(2): 13-20.
- [11] Krzanowski R, Raper J. Spatial Evolutionary Modeling. Oxford: Oxford University Press, 2001.
- [12] Batty M, Xie Y. From cells to cities. *Environment and Planning B*, 1994, 21(7): 31-48.
- [13] Murray T, Roger P, Sinton D et al. Honey Hill: A systems analysis for planning the multiple uses of controlled water areas. 2 vols. Report Nos. AD736343 and AD736344. National Technical Information Service, Springfield, Virginia, 1971.
- [14] Ding Jianzhong, Chen Yi, Chen Wen. Regionalization of spatial feasible development on based analysis of eco-economy in Taizhou City. *Scientia geographica sinica*, 2008, 28(6): 842-848. [丁建中, 陈逸, 陈雯. 基于生态-经济分析的泰州空间开发适宜性分区研究. *地理科学*, 2008, 28(6): 842-848.]
- [15] Qi Yuwei, Gu Chaolin. Study on the methods and their application for the urban development spatial division: A case of Nanjing. *Geographical research*, 2010, 29(11): 2035-2044. [祁豫玮, 顾朝林. 市域开发空间区划方法与应用: 以南京市为例. *地理研究*, 2010, 29(11): 2035-2044.]
- [16] Li Na. Regionalization of feasible development in Yizheng City based on GIS. *Areal research and development*, 2009, 28(2): 123-128. [李娜. 基于GIS的仪征空间开发适宜性分区研究. *地域研究与开发*, 2009, 28(2): 123-128.]
- [17] Sun Wei, Chen Wen. Regionalization of spatial potential development and distribution guidance: A case study of Ningbo city. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(3): 402-413. [孙伟, 陈雯. 市域空间开发适宜性分区与布局引导研究: 以宁波市为例. *自然资源学报*, 2009, 24(3): 402-413.]
- [18] Fan Jie, Pan Wenfeng, Hu Dongsheng et al. A Research on Sustainable Development of Xijiang Economic Belt (Section of Guangxi): Function, Process and Pattern. Beijing: Science Press, 2011. [樊杰, 潘文峰, 胡东升等. 西江经济带(广西段)可持续发展研究: 功能、过程与格局. 北京: 科学出版社, 2011.]
- [19] Fan Jie. The scientific foundation of major function oriented zoning in China. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 339-350. [樊杰. 我国主体功能区划的科学基础. *地理学报*, 2007, 62(4): 339-350.]
- [20] Zhang Wenhe. Theories and methods of economic zoning of river basin. *Tianfu New Forum*, 1991, (6): 28-34. [张文合. 流域经济区划的理论与方法. *天府新论*, 1991, (6): 28-34.]
- [21] Chen Wen, Yu Xiaogan. Characteristics, problems and development strategy in regions along the Changjiang River. *Scientia Geographica Sinica*, 1997, 17(2): 113-119. [陈雯, 虞孝感. 长江产业带建设特征、问题与发展思路. *地理科学*, 1997, 17(2): 113-119.]
- [22] Liu Shengjia. Economic Development and Comparative Study among the Upper, Middle and Lower Reaches of the Yangtze Basin. Wuhan: Huazhong Normal University Press, 1998. [刘盛佳. 长江流域经济发展和上、中、下游比较研究. 武汉: 华中师范大学出版社, 1998.]
- [23] Yu Xiaogan. Study on Sustainable Development of the Yangtze River Basin. Beijing: Science Press, 2003. [虞孝感. 长江流域可持续发展研究. 北京: 科学出版社, 2003.]
- [24] Liu Zhaode, Yu Xiaogan, Wang Zhixian. The current water pollution of Taihu drainage basin and the new management proposals. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(4): 467-474. [刘兆德, 虞孝感, 王志宪. 太湖流域水环境污染现状与治理的新建议. *自然资源学报*, 2003, 18(4): 467-474.]
- [25] Wang Xincan, Rong Fengcong. Comprehensive planning and sustainable development of Yangtze River Basin. *Yangtze River*, 2010, 41(4): 5-8, 18. [王新才, 荣凤聪. 长江流域综合规划与可持续发展. *人民长江*, 2010, 41(4): 5-8, 18.]
- [26] Zhu Chuangeng, Ma Xiaodong, Meng Zhaoyi et al. The Theory, Method and Case of Regional Major Function Oriented Zoning. Beijing: Science Press, 2007. [朱传耿, 马晓冬, 孟召宜等. 地域主体功能区划理论·方法·实证. 北京: 科学出版社, 2007.]
- [27] Guo Zhigang. Social Statistical Methods and the Application of SPSS. Beijing: China Renmin University Press, 2002. [郭志刚. 社会统计方法与SPSS应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2002.]
- [28] Ge Meiling, Feng Zhiming. Population distribution of china based on GIS: Classification of population densities and curve of population gravity centers. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(2): 202-210. [葛美玲, 封志明. 中国人口分布的密度分级与重心曲线特征分析. *地理学报*, 2009, 64(2): 202-210.]

- [29] Fan Jie, Tao Anjun, Lv Chen. The coupling mechanism of the centroids of economic gravity and population gravity and its effect on the regional gap in China. *Progress in Geography*, 2010, 29(1): 87-95. [樊杰, 陶岸君, 吕晨. 中国经济与人口重心的耦合态势及其对区域发展的影响. *地理科学进展*, 2010, 29(1): 87-95.]

Comprehensive Evaluation of Land Spatial Development Suitability of the Yangtze River Basin

TANG Changchun^{1,2}, SUN Wei^{2,3}

- (1. School of Civil Engineering and Architecture, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China;
2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;
3. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The evaluation of land spatial development suitability is the scientific foundation of spatial pattern optimization and regional coordinated development. So, the comprehensive evaluation of land spatial development suitability in the Yangtze River Basin can strengthen and deepen the understanding of land reasonable development of river basin and guide the river basin government and the sustainable development practice. According to "Three Steps and Four Principles", the county-level administrative area of the Yangtze River Basin is firstly defined, which includes 724 counties. Using the Delphi and Analytic Hierarchy Process (AHP) methods, the comprehensive evaluation index system and index weight coefficient are established. Furthermore, the single index evaluation and composite index evaluation are analyzed by using GIS spatial clustering method and dynamic weighted summation method, and population-economic spatial coupling degree is calculated by constructing coupling difference coefficient model. The results show that: the overall level of development constraint of the Yangtze River Basin is relatively high, high-value regions (V to VIII level) are mainly distributed in the upper and middle reaches of the basin. The spatial concentration degrees of development intensity and development potential are high, and the regional development gap is widening. The area of high value regions of comprehensive evaluation accounts for 22.95% of the total basin area, indicating that the suitable development area is in a minority of Yangtze River Basin area. The coupling difference coefficient between population and economy is 8.70, and the spatial coupling degree between population and economy is low. The variation of land spatial suitability is significant among the upper, middle reaches and lower reaches of the Yangtze River Basin. The high value regions include the Yangtze River Delta region, Hefei city and City Cluster along the Wanjiang River in Anhui Province, City Cluster of Wuhan and Jingzhou-Yichang region, Xiangyang-Nanyang region, City Cluster of Changsha-Zhuzhou- Xiangtan, Nanchang-Jiujiang-Xinyu region, City Cluster of Chengdu-Chongqing, Guiyang- Anshun region, Kunming city, and most of prefecture-level cities.

Key words: land space; comprehensive evaluation; development; suitability; Yangtze River Basin