

土地城市化背景下武汉市资源环境承载力仿真研究^{*1}

谭术魁 韩思雨* 周敏

(华中科技大学公共管理学院, 武汉 430074)

【摘要】: 运用 Vensim 软件, 通过构建“土地城市化—资源环境承载力”系统动力学模型对不同情景下武汉市资源环境承载力的发展趋势进行仿真, 为土地城市化背景下武汉市未来发展方向提供参考。结果显示, 协调发展型是最适合武汉市的发展模式, 而现状延续型、政绩驱动型和生态环保型情景下武汉市资源环境承载力到 2020 年均将面临超载压力。武汉市在适当加速推进土地城市化的同时应注重增加耕地面积、加强基础设施建设、降低资源消耗和污染排放, 确保资源环境承载系统平稳运行。

【关键词】: 武汉市; 土地城市化; 资源环境承载力; 系统动力学; 仿真

【中图分类号】: X24 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227(2017)11-1824-07

DOI: 10. 11870 /cjlyzyyhj201711011

资源环境承载力作为支撑社会经济活动开展和维持区域可持续发展的基础, 对国土空间开发保护具有重要指示作用^[1]。我国已进入“十三五”规划发展阶段, 武汉市作为国家区域中心城市正处于工业化和城市化加速发展的战略黄金期, 其经济“万亿倍增”和全面建设小康社会目标的完成离不开城市土地快速扩张, 土地城市化为武汉市建设规模扩张、经济规模提高和人口规模扩大提供载体的同时, 所带来的耕地面积剧减、水资源严重短缺以及空气污染加剧等问题必然对区域资源环境承载力带来巨大压力。如何在推进土地城市化的过程中使得人口经济规模、资源消耗和环境状况与城市资源环境系统可承载容量相匹配成为武汉市未来发展阶段亟待解决的课题。

目前, 对武汉市资源环境承载力的研究较少, 已有文献多集中在以武汉市水资源承载力为主的单项承载力分析评价, 发现武汉市水资源承载力逐年增大^[2], 但仍有超载可能^[3]; 仅有少数学者运用 TOPSIS 模型和灰色关联法等对一定时期内武汉市资源环境承载力进行评价和障碍因子诊断, 结论显示在 2000 ~ 2013 年期间武汉市资源环境承载力总体水平不断上升^[4], 人均 GDP 和人均社会固定资产投资等是主要障碍因子^[5]。以上研究对提升武汉市资源环境承载力有重要参考价值, 但均是通过建立指标体系评价历史时期的承载能力, 武汉市资源环境承载力的动态性和前瞻性研究仍然空白。鉴于此, 本文引入“土地城市化—资源环境承载力”系统动力学模型, 对土地城市化推进过程中不同发展情景下武汉市资源环境承载力未来趋势进行仿真预测, 并提出兼顾城市发展扩张和资源环境保护的政策建议。

1 研究区域和数据来源

¹ 收稿日期: 2017-02-23; 修回日期: 2017-04-12

基金项目: 湖北省思想库项目(HBSXK201616) [Hubei Province Think Tank Project(HBSXK201616)]

作者简介: 谭术魁(1965 ~), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 主要研究方向为土地管理, 房地产管理, 住房政策. E-mail: tansk@126. com

* 通讯作者 E-mail: siyu0614@126. com

1. 1 研究区域概况

本文将系统边界定义为整个武汉市，武汉市是湖北省省会，位于江汉平原东部，长江中游，长江及其最长支流汉水横贯市区，区域总面积 8 594 km²。至 2015 年，武汉市建成区面积为 55 300 hm²，耕地面积为 198 530 hm²，全市常住人口为 891 万人，生产总值为 10 069. 48 亿元。作为中部地区副省级城市和长江经济带发展重镇，武汉市区域可持续发展对国家中部崛起战略实施及长江中游城市群建设至关重要。

1. 2 数据来源

对武汉市资源环境承载力进行模拟仿真，建模采用的所有历史数据来自《武汉市统计年鉴》、《中国城市统计年鉴》、《中国国土资源统计年鉴》和各类公报等；长期目标预测数据来自《武汉市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》和《武汉市土地利用总体规划大纲（2005 ~ 2020 年）》等。

2 模型构建和参数设定

2. 1 模型构建

“土地城市化-资源环境承载力”系统是一个典型的巨大复杂动态系统。建设用地面积、耕地资源数量、城市绿化面积、人口数量、GDP 总量、各类资源消耗量和废气排放量等内容是表征资源环境承载力的核心指标^[6~8]，土地城市化对城市土地面积、耕地数量、城市人口结构以及经济产出水平等都产生了复杂而深刻的影响，资源环境承载力的阈值又反过来制约土地城市化速率，进一步对土地城市化政策的制定产生影响。随着时间推移和空间变化，二者相互促进、相互制约，形成动态而复杂的系统。

本文以国家发改委公布的《资源环境承载力监测预警机制研究》为依据，运用 Vensim 软件，从土地城市化-土地资源承载力、水资源承载力、生态环境承载力和社会经济承载力 4 个方面，选取建成区土地面积、耕地面积、GDP、总人口、建成区绿化覆盖面积、城市道路面积和二氧化硫排放量 7 个指标作为状态变量，综合用水量、土地城市化进程、城市化进程和建成区土地面积增长速率等多个辅助变量和速率变量，构建武汉市“土地城市化-资源环境承载力”系统动力学模型，系统流图见图 1。

得出，具体见表 1。考虑到现实发展中众多不可预测因素，本文引入随机干扰系数以使模型仿真数据与现实数据的拟合程度更高。

表 1 主要变量取值

变量	取值	变量	取值
年份	2007	二氧化硫排放增长率（%）	-7.5
区域总面积（10 ⁴ m ² ）	856 915	常住人口（10 ⁴ 人）	891
建成区土地面积（10 ⁴ m ² ）	45 100	人口增长率（%）	0.13
建成区面积增长率（%）	2.8	建成区绿化覆盖面积（10 ⁴ m ² ）	16 838
耕地面积（10 ⁴ m ² ）	210 350	绿化覆盖面积增长率（%）	3.2
耕地面积增长率（%）	-0.72	城市道路面积（10 ⁴ m ² ）	4 528
GDP（10 ⁸ 元）	3 209.05	城市道路面积增长率（%）	12.57
GDP 增长率（%）	18.12	人均生活用水指数（m ³ /人）	54.15
二氧化硫排放量（吨）	133 900	城市化进程	表函数确定

3 模型检验与情景仿真

3. 1 模型检验

以 2007 年为初始时间，选择不同的时间步长进行敏感性检验后显示，模型系统具有稳定性和有效性。通过对建成区土地面积、耕地面积和常住人口 3 个状态变量的系统模拟值与实际统计值进行比较可以看出，相对误差均在 3%以内(表 2)，且土地城市化率的检验拟合曲线基本重合(图 2)，表明模型仿真数据能够真实反映武汉市资源环境承载力状况，为情景仿真提供了科学坚实的基础。

表 2 系统模型主要历史变量检验

年份	建成区土地面积（10 ⁴ m ² ）			耕地面积（10 ⁴ m ² ）			常住人口（10 ⁴ 人）		
	实际值	模拟值	误差（%）	实际值	模拟值	1 误差（%）	实际值	模拟值	误差（%）
2007	45100	45100	0	210350	210350	0	891	891	0
2008	46100	46335	0.51	210230	208854	0.65	897	902	0.56
2009	47500	47680	0.38	208940	207316	0.78	910	935	2.75
2010	50000	48974	2.05	207070	205850	0.6	980	967	1.33
2011	50600	50286	0.62	206520	204406	1.02	1002	973	2.98
2012	52000	51672	0.63	203820	202947	0.43	1012	982	2.96
2013	53400	53108	0.55	199440	201491	1.03	1022	997	2.45
2014	55300	54619	1.23	198530	200025	0.75	1033.8	1023.9	0.96

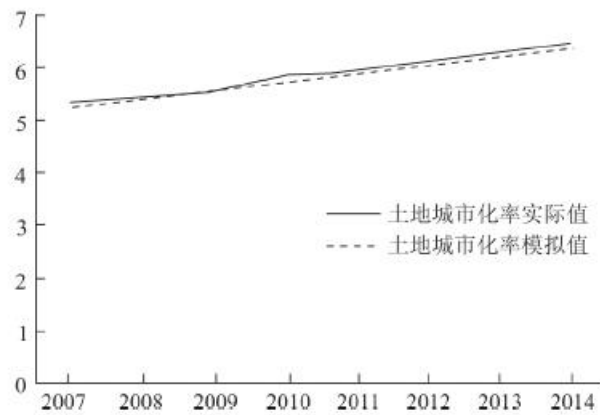


图2 土地城市化率检验拟合曲线

Fig. 2 Fitting Curve of Land Urbanization Rate Test

3. 2 情景仿真

政府政绩驱动和生态保护要求是影响土地城市化进程的主要因素^[9, 10]，通过设定现状延续型、政绩驱动型、生态保护型和协调发展型四种发展情景对土地城市化推进过程中不同情景下武汉市资源环境承载力进行仿真研究。参考王洋^[11]等依据中国土地城市化率阈值所确定的城市土地扩展速度(城市建设用地面积年增长率小于3.5%为低速扩展,3.5%~8%为中速扩展,8%~10%为高速扩展,大于10%为超高速扩展)以及2007~2014年各速率变量历史值改变参数设定,以2014年为初始年份进行情景仿真。

现状延续型。模型中各速率变量设定为2014年现状值,即建成区面积增长率为3.56%(中速扩展),耕地面积增长率为-0.456%,常住人口增长率为1.15%,GDP增长率为11.25%,建成区绿化覆盖面积为4.38%,城市道路面积增长率为6.26%,二氧化硫排放降低率为11.48%,居民人均生活用水指数保持在64.18 m³/人的水平。

政绩驱动型。将建成区面积增长率设定10.56%(超高速扩展),在现状延续型的基础上,将耕地面积增长率降低5个百分点,常住人口增长率和GDP增长率均提高3个百分点,建成区绿化覆盖面积增长率和城市道路面积增长率降低3个百分点,二氧化硫排放降低率下调3个百分点,提高居民人均生活用水指数至74.18 m³/人。

生态环保型。将建成区面积增长率设定为1.56%(低速扩展),在现状延续型的基础上,将耕地面积增长率提高10个百分点,常住人口增长率和GDP增长率降低1.5个百分点,建成区绿化覆盖面积增长率提高6个百分点,城市道路面积增长率提高3个百分点,二氧化硫排放降低率提高6个百分点,设定居民人均生活用水指数为54.18 m³/人。

协调发展型。将建成区面积增长率设定为8.56%(高速扩展),在现状延续型的基础上,将耕地面积增长率提高5个百分点,人口增长率和GDP增长率均提高1.5个百分点,建成区绿化覆盖面积增长率提高3个百分点,城市道路面积增长率提高6个百分点,二氧化硫排放降低率提高6个百分点,同时将居民人均生活用水指数降低为59.18 m³/人。4种情景仿真结果如图3~10所示。

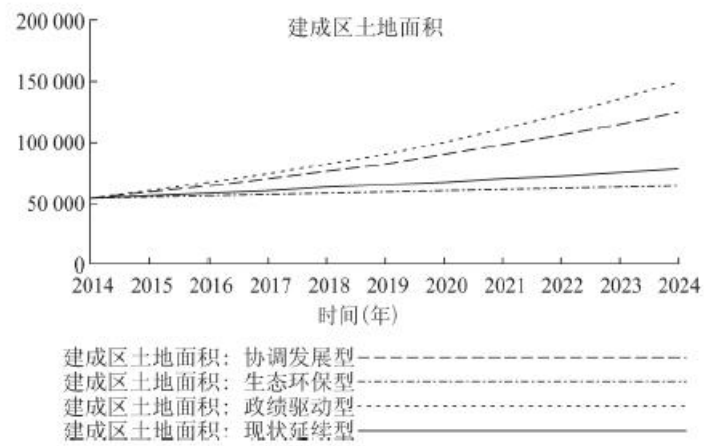


图3 建成区土地面积仿真值

Fig. 3 Simulation Value of Built-Up Land Area

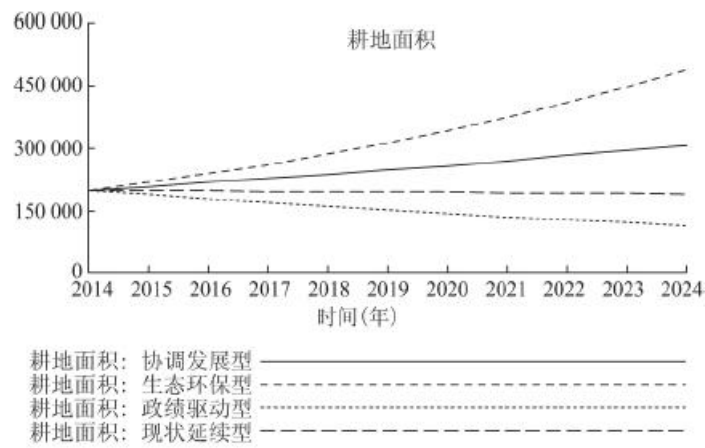


图4 耕地面积仿真值

Fig. 4 Simulation Value of Arable Land

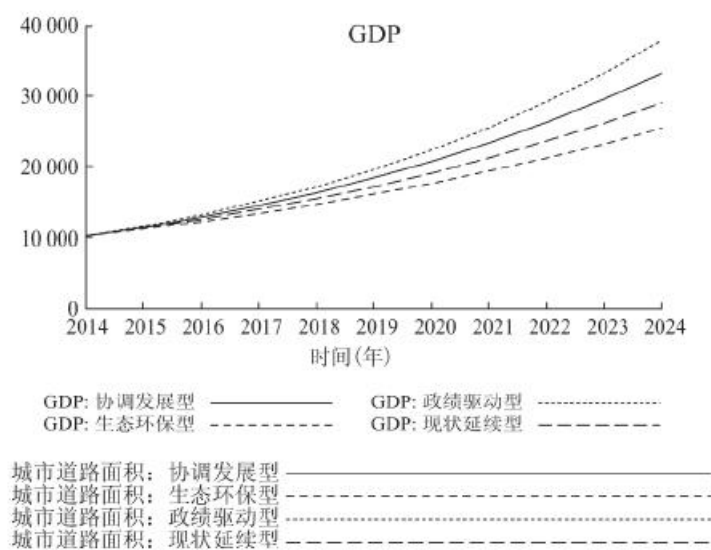


图 5 GDP 仿真值

Fig. 5 Simulation Value of GDP



图 6 常住人口仿真值

Fig. 6 Simulation Value of Population

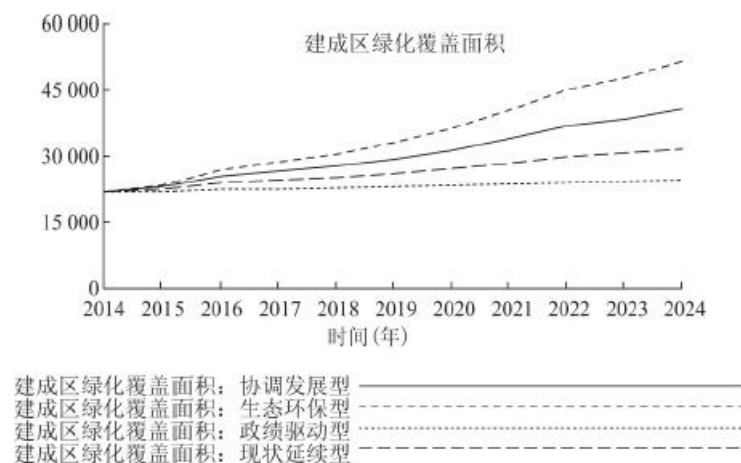


图7 建成区绿化覆盖面积仿真值

Fig. 7 Simulation Value of Built Area Green Coverage

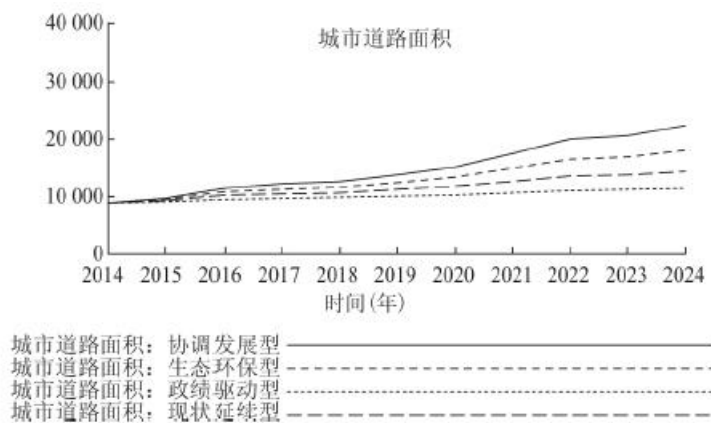


图8 城市道路面积仿真值

Fig. 8 Simulation Value of Urban Road Area



图9 二氧化硫排放量仿真值

Fig. 9 Simulation Value of Emissions of SO_2



图 10 综合用水量仿真值
Fig. 10 Simulation Value of Water Consumption

4 不同情景下承载能力分析

根据《武汉市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》和《武汉市城市总体规划(2010 ~2020 年)》等规划预期,2020 年武汉市域城镇建设用地面积应控制在 1 030 km² 以内; 耕地保有量必须控制在 33. 8×10⁴ hm² 以内; 常住人口预测增长至 1 180 万人左右,其中城镇人口 991. 2 万人左右; 地区生产总值保持在 19 000 亿元规模左右; 建成区绿化面积覆盖率预计达到 45%; 人均道路面积增至 15. 3 m²; 全市万元 GDP 用水量比 2013 年(44 m³/万元)下降 35%至 28. 6 m³/万元。《国家环境保护十三五规划纲要全文》指出我国二氧化硫环境容量为 1 363×10⁴ t, 各地级市二氧化硫最大允许排放量约为 4. 093 t。以上述数据为基准推算出 2020 年武汉市资源环境承载力各指标合理承载值(表 3)。

表 3 2020 年各主要变量合理承载值及不同情景仿真值

	合理承载值	现状延续型	政绩驱动型	生态环保型	协调发展型
建成区土地面积 (10 ⁴ m ²)	103 000	68 009.1	104 054	60 600.5	89 895
耕地面积 (10 ⁴ m ²)	338 000	193 206	142 215	339 850	287 307
GDP (10 ⁸ 元)	19 000	19 022.4	22 296.8	17 542.1	20 605.5
常住人口 (10 ⁴ 人)	1 180	1 085.22	1 228.41	1 018.52	1 155.15
建成区绿化覆盖面积 (10 ⁴ m ²)	36 874	26 999.2	23 245	36 005.5	31 236.8
城市道路面积 (10 ⁴ m ²)	15 165.36	11 742.2	10 291.8	13 350	15 227.9
二氧化硫排放量 (t)	40 930	48 415.9	57 363.4	33 910.7	40 639.5
综合用水量 (10 ⁴ m ³)	543 400	593 785	680 252	458 529	554 986

通过对 2020 年 4 种情景下各主要变量仿真值与合理承载值进行对比分析发现,现状延续型情景下武汉市建成区土地面积将处于承载限度之内且尚有 34%的承载空间,但耕地面积与规划耕地保有量相差 43%,反映出武汉市土地扩张空间较大,且耕地保护问题极为严重;经济发展将基本完成十三五规划的增长目标,常住人口数量也控制在合理承载阈值之内,但是建成区绿化覆盖面积和城市道路面积均未完成规划预期目标,难以满足城市发展和市民生活的需求; 二氧化硫排放量将超过环境容量的 18%,

水资源消耗量超出预期用水量的 9%，武汉市环境子系统和水资源子系统都将出现超载现象。

政绩驱动型情景下武汉市建成区土地面积以超高的速度扩张，将稍稍超出合理承载值；在政府政绩工程和部分官员寻租意识的驱使下，土地城市化的推进常以耕地减少为代价，因此耕地面积大幅减少，与十三五规划的耕地保有量之间存在 58% 的缺口；经济生产总值将比预期增长 17%，但是在经济快速发展的同时武汉市建成区绿化覆盖面积仅完成计划的 63%，城市道路建设仅完成预期目标的 68%；该情景下武汉市常住人口将超出承载容量，且伴随着农村人口向城市集聚，城市水、电、气等资源消耗负担加重，废气、废水和生活垃圾排放增加等环境问题也随之而来，仿真结果显示，水资源消耗量比预期用水量增加了 25%，二氧化硫排放量则超出最大允许排放量的 40%，水资源和环境子系统超载现象严重。

生态环保型情景下武汉市建成区土地面积以低速扩张，因此至 2020 年尚有 41% 的承载空间，耕地保有量超额完成规划目标，且后期将平稳增长；常住人口数量将控制在合理承载值内，建成区绿化覆盖面积和城市道路面积基本完成规划目标；二氧化硫排放量和水资源消耗量分别比规划预期多降低 17% 和 16%，水资源承载力和环境承载力得到提升；然而该情景对生态环保的过度重视导致武汉市土地城市化进程放缓，土地利用结构不合理且土地利用效率低下，经济发展缓慢，至 2020 年未能完成十三五规划的经济规模增长要求，因此并非科学合理的发展模式。

协调发展型情景下武汉市建成区土地面积将以较高速度扩张且尚有 14% 的承载空间，在快速推进土地城市化的同时使得耕地面积持续增长；在经济生产总值超额完成计划的同时，将常住人口控制在合理承载限度以内，注重城市绿化和公共基础设施建设，二氧化硫排放量和水资源消耗量也基本降低到规划要求；虽然该情景下耕地面积与规划耕地保有量仍有 15% 的缺口，但是后期呈现稳定增长的趋势，总体来看是最优的发展模式。

5 结论与讨论

维持 2014 年武汉市资源环境承载系统运行状况，武汉市土地城市化也保持中速推进，到 2020 年建成区土地面积、经济生产总值和常住人口数量将控制在承载阈值以内，且建设用地剩余承载空间较大；耕地面积、建成区绿化覆盖面积和城市道路面积均未达到预期规划要求，将难以维持系统的正常运转；二氧化硫排放量和水资源消耗量将超出合理承载限度；武汉市资源环境承载力将出现子系统发展失衡和超载现象。

(2) 对不同情景下武汉市资源环境承载力模拟仿真发现，现状延续型、政绩驱动型和生态环保型情景下土地城市化推进速度有较大差异，但武汉市资源环境承载力都将面临不同程度的超载压力，表明以上 3 种发展模式均有一定局限性。整体来看，协调发展型情景下武汉市资源环境承载力各子系统运行均衡平稳且发展形势良好，是适合武汉市发展的理想模式。

(3) 依据以上结论，武汉市未来推进土地城市化时可在承载限度以内适当加快建设用地面积扩张速度，提高土地利用经济效率，为城市产业发展和经济增长提供支撑，同时应该调整农业用地结构，并结合生态退耕和土地整理等措施提高耕地保有量^[12]。此外，推进工业化和城市化的同时应注重生态优先和绿色发展，加强基础设施建设，摒弃高排放和高消耗的经济增长方式^[13]，将环保意识和节约意识根植于经济发展理念之中，从而提升资源环境承载力，实现区域可持续发展。诚然，由于数据限制和参数设置误差使模拟结果与现实有些许差距，但本文为现实社会背景下资源环境承载力发展趋势研究提供了较为完善的新思路，具有较强的可操作性和灵活性。

参考文献:

[1] 国家发展和改革委员会经济体制与管理研究所. 资源环境承载力监测预警机制研究 [EB/OL]. http://www.chinareform.org/?content_545.html.

[2] 李磊, 贾磊, 赵晓雪, 等. 层次分析—熵值定权法在城市水环境承载力评价中的应用 [J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(4) : 456—460.

【LI L, JIA L, ZHAO X X, et al. Application of the APHand Entropy weight method in evaluation on city water environment carrying capacity [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(4) : 456—460. 】

[3] 侯小洁. 基于水足迹理论的水资源承载力研究 [D]. 华中师范大学, 2015.

【HOU X J. Study on water resources carrying capacity based on water Footprint theory: a case of Wuhan city [D]. Central China Normal University, 2015. 】

[4] 李悦, 成金华, 席晶. 基于 GRA-TOPSIS 的武汉市资源环境承载力评价分析 [J]. 统计与决策, 2014, 17:102—105.

【LI Y, CHENG J H, XI X. Evaluation and analysis of resources and environment carrying capacity in Wuhan based on GRA-TOPSIS [J]. Statistics&Decision, 2014, 17: 102 —105. 】

[5] 刘启君, 黄旻, 宋艺欣, 等. 基于灰色关联 TOPSIS 模型的武汉市环境承载力评价及障碍因子诊断 [J]. 生态经济, 2016(05) : 191—195.

【LIU Q J, HUANG M, SONG Y X, et al. Evaluation on environmental carrying capacity of Wuhan city based on the Gray Correlation TOPSIS method and diagnosis of its obstacle indicators [J]. Ecological Economy, 2016(05) : 191—195. 】

[6] 秦成, 王红旗, 田雅楠, 等. 资源环境承载力评价指标研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011(S2): 335—338.

【QIN C, WANG H Q, TIAN Y N, et al. Study on evaluation indexes of resources and environment carrying capability [J]. China Population, Resources and Environment, 2011 (S2) :335—338. 】

[7] 石忆邵, 尹昌应, 王贺封, 等. 城市综合承载力的研究进展及展望 [J]. 地理研究, 2013(01) : 133—145.

【SHI Y S, YIN C Y, WANG H F, et al. Research progress and prospect on urban comprehensive carrying capacity [J]. Research, 2013(01) : 133—145. 】

[8] 祝秀芝, 李宪文, 贾克敬, 等. 上海市土地综合承载力的系统动力学研究 [J]. 中国土地科学, 2014(02): 90—96.

【ZHU X Z, LI X W, JIA K J, et al. A study on system dynamic of land comprehensive carrying capacity in Shanghai city [J]. China Land Sciences, 2014(02) : 90—96. 】

[9] 吕萍, 周滔, 张正峰, 等. 土地城市化及其度量指标体系的构建与应用 [J]. 中国土地科学, 2008(08) : 24—28+42.

【LVP, ZHOU T, ZHANG Z F, et al. Construction and application of land urbanization and corresponding measurement index system [J]. China Land Sciences, 2008(08) : 24—28+42. 】

[10] 许德林. 农地非农化调控的市场机制与政府管制研究 [D]. 南京农业大学, 2011.

【XU D L. Research on market mechanism and government regulation of farmland conversion: an empirical study on Qingdao city [D]. Nanjing Agricultural University, 2011. 】

[11] 王洋, 王少剑, 秦静. 中国城市土地城市化水平与进程的空间评价 [J]. 地理研究, 2014, 12: 2228—2238.

【WANG Y, WANG S J, QIN J. Spatial evaluation of land urbanization level and process in Chinese cities [J]. Geographical Research, 2014, 12: 2228—2238. 】

[12] 谭术魁, 张路, 齐睿. 基于系统动力学的区域耕地压力指数研究 [J]. 自然资源学报, 2012, 5: 757—765.

【TAN S K, ZHANG L, QI R. Research on regional pressure index of cultivated land based on system dynamics—a case study of Hubei Province [J]. Journal of Natural Resources, 2012(5) : 757—765. 】

[13] 孙茜, 张捍卫, 张小虎. 河南省资源环境承载力测度及障碍因素诊断 [J]. 干旱区资源与环境, 2015(7) : 33—38.

【SUN Q, ZHANG H W, ZHANG X H. Resources and environment carrying capacity estimation and the obstacle factors diagnosis for Henan Province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015(7) : 33—38. 】