

湖北省土地利用减碳增效系统仿真 及结构优化研究

徐磊 董捷 张安录

(华中农业大学公共管理学院, 湖北武汉 430070)

【摘要】土地利用变化是引起碳排放的重要原因之一, 土地经济效益是利用土地的 U 标之一, 如何通过优化土地利用结构实现土地利用减碳增效是值得研究的重要问题。基于系统结构与功能相互作用的视角, 梳理复杂系统内变 5: 间的反馈关系, 运用系统动力学 (SD) 进行建模. 将约束条件纳入到多目标规划 (MOP) 中, 实现 MOP 与 SD 模型整合, 进行系统仿真并得出优化后 2020 年湖北省土地利用结构。结果显示, 利用 SD-MOP 模型能够实现减碳增效目标下土地利用结构优化, 与 2008 年真实值相比, 耕地、林地、牧草地及建设用地分别增加了 0.33×10^4 、 30.17×10^4 、 0.08×10^4 和 $16.37 \times 10^4 \text{hm}^2$, 其他农用地及未利用地分别减少 7.23×10^4 、 $33.15 \times 10^4 \text{hm}^2$; 与无约束 SD 单模型仿真相比, 土地利用碳排放量减少了 $58 \times 10^4 \text{t}$, 经济效益年增长率维持在 3.58%, 优化方案具有可行性。SD-MOP 模型优化的土地利用结构符合区域可持续发展要求, 兼顾了土地利用碳减排和经济效益增长的双重目标, 能为区域土地资源优化配界提供参考。

【关键词】 低碳; 土地利用; SD-MOP 模型; 仿真; 优化

【中图分类号】 F301.2 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1004-8227(2016)10-1528-09

【DOI】 10.11870/cjlyzyyhj201610007

人类在土地上的生产生活以及土地自身利用状态的保持与转变是陆地碳排放的主要来源。碳排放导致的全球气候变化成为各个国家普遍关注的热点问题, 土地作为人类社会活动和经济活动的载体, 人类活动及其引起的碳排放与土地利用有着重要关联, 土地利用方式和结构是引起碳排放的重要原因之一, 不同土地利用方式导致的碳排放差异明显。区域经济发展是碳排放增加的重要因素, 不同的土地利用方式决定了经济发展形式, 经济活动对土地利用具有反馈作用, 由于每种地类对碳排放的作用和功能不同, 土地利用结构的调整在一定程度上影响碳源和碳汇的分布格局, 从土地利用角度对碳排放进行调控研究, 对于构建低碳型土地利用格局, 推动经济社会的低碳发展有着重要意义。

目前, 国内外学者对土地利用碳排放领域的研究成果越来越丰富, 现有研究成果主要集中于土地利用碳排放机理、土地利用与碳排放相互关系以及低碳目标下土地利用优化等方面。Ali 等以巴基斯坦 Lahore Metropolitan Area 为实证, 利用多学科方法集成评估能源消耗、碳排放与土地利用之间的相互

关系,其研究显示土地利用变化对碳排放和能源消耗有着重要影响;BAC等以汉城森林公园为研究区域,研究发现不同土地覆盖类型对于城市碳储存具有显著影响,为城市公园低碳规划和布局提供依据;CHUAI等在对江苏省沿海城市土地利用碳排放测算的基础上,详细剖析了土地利用变化对碳排放影响的内部机制;王桂波等、俞超等、吴仕海等从不同的视角和层次对土地利用碳排放效应进行时空分析,进一步阐述了土地利用碳排放效应的产生机理;许恒周等、张俊峰等、张苗等从土地集约利用与土地利用碳排放关系入手,分析了土地集约利用水平与碳排放之间的作用关系;赵荣钦等、刘海猛等、曾永年等以低碳为目标导向,基于线性规划的方法,从碳积蓄、碳排放及碳汇等方面进行约束,提出土地利用结构优化方案,为土地利用规划编制及调整提供了科学依据。

已有研究多将低碳作为单一目标进行土地利用结构优化,并集中于静态线性规划分析,对多目标约束下土地利用结构动态变化的成果较少,以系统论的视角,兼顾土地利用低碳与经济效益双重目标下系统仿真及优化的研究还比较鲜见。本文基于此,借鉴已有研究,通过引入系统动力学(SD)与多目标规划(MOP)整合模型,在综合考虑土地利用碳排放最小化与土地经济效益最大化目标下,实现土地资源的优化配置,以期为区域低碳土地利用规划与管理提供依据和参考。

1 区域概况及研究方法

1.1 区域概况

湖北省位于我国中部,居长江中游,东邻安徽,北接河南,南与江西、湖南毗邻,西靠重庆市,西北与陕西接壤。湖北省作为“中部崛起”战略实施的重点省份之一,拥有得天独厚的区位优势,担负着区域经济拉动的任务。2014年,经济和人口方面,全省GDP总值为27367.04亿元,常住人口5816万人,城镇化率达到55.67%;根据第二次土地调查的结果,全省土地总面积 $1859 \times 10^4 \text{hm}^2$,耕地面积 $532.3 \times 10^4 \text{hm}^2$,主要分布于鄂中江汉平原、鄂东北和鄂西北地区,是全国重要的粮食主产区之一。随着经济的快速发展,社会生产及生活消费等活动势必会增加碳排放量,湖北省是我国最先开展低碳发展试验的“5省8市”之一,碳减排压力和责任重大,实现区域节能减排和低碳发展不仅是我国控制温室气体排放的重要目标,也是经济新常态发展的必经之路。

1.2 研究方法

系统动力学(system dynamics,简称SD)是一门研究信息反馈系统的学科,利用变量之间反馈关系对未来趋势进行预测,并且多重反馈环的存在使得系统对于大多数参数是不敏感的,由于系统动力学重视结构和功能的描述,模型中敏感性变量参数值的确定并未考虑土地利用目标约束,而多目标规划(MOP)能够兼顾多个目标决策,优化决策变量的值,求出敏感变量最优解。SD与MOP相结合组成的整合模型,能够取长补短,功能互补,实现多目标下的土地利用结构优化。

(1)从系统论的角度出发,构建SD仿真模型。首先,根据研究目标来确定系统边界,分析土地利用减碳与增效系统内的变量关系,然后利用仿真软件Vensimplus构建因果关系图和系统流程图。

(2)模型的调试、运行及敏感性因素识别。采用多种方法确定系统参数及变量间函数关系，运行模型并不断调试，直到符合研究要求；通过软件参数灵敏度测试功能辨析出敏感性因子。

(3)MOP 模型构建及求解。利用敏感性因子与各地类的回归关系，结合各用地类型面积的约束函数，进行 MOP 建模，求出敏感性因子参数值。

(4)系统仿真与结构优化。将敏感性因子最优解重新写入 SD 模型进行模拟，得到目标年土地利用减碳与增效目标下土地利用结构方案。

2 SD 仿真模型的构建

2.1 建模目的

依据土地利用、碳排放、社会及经济系统之间因果和反馈关系，构建土地利用减碳与增效的系统动力学仿真模型，揭示各子系统之间作用机制；通过系统仿真功能，对系统中各个变量的发展趋势进行预测，分析确定出敏感性因子，通过无约束条件与多目标约束条件下进行情景仿真，实现土地利用结构优化配置。

2.2 系统边界及数据来源

系统动力学建模首先要确定所研究系统的边界，本研究是以湖北省的行政界线作为空间研究边界；时间以 2000~2020 年作为研究时间跨度，研究的目标年设为 2020 年，仿真预测的年限为 2009~2020 年，仿真时间步长设定为 1a。

模型所需的数据来源主要为《中国能源统计年鉴》(2001-2013)，《中国国土资源年鉴》(2001-2013)，《湖北省统计年鉴》(2001-2013)，《湖北农村统计年鉴》(2001-2012)，《湖北省土地利用总体规划》(2006-2020)，湖北省土地利用变更调查数据 2000~2008 以及 2001~2013 年湖北省国民经济和社会发展统计公报等。

2.3 系统结构分析

依据土地利用碳排放的发生机理和动力机制，主要从土地利用及经济社会发展对碳排放的影响综合考虑，结合系统边界和建模目的，将土地利用减碳增效系统划分为社会经济子系统、土地利用子系统以及碳排放子系统，3 个子系统之间相互作用决定着复杂系统的结构和行为。

社会经济子系统中主要涉及人口与 GDP 两个水平变量，人口不仅为经济发展提供劳动力，还通过对建设用地的需求影响土地利用系统，而且生活性能源和其他碳排放也是影响碳排放子系统的重要因素；经济发展所产生的能源碳排放是碳排放总量的主要来源之一，经济增长对工业产品的需求

也刺激工业碳排放的发生，影响建设用地碳排放量，此外经济建设投资增加了建设用地的需求，进而对土地利用系统产生作用，如图 1 所示。



图 1 社会经济子系统因果关系图

Fig.1 Causal Relationship Loop Diagram of the Social and Economic Subsystem

土地利用子系统是经济社会活动的重要载体，对土地利用系统主要从农业生产和碳汇方面进行考虑，林地、园地、牧草地等是碳排放系统主要的碳汇来源，种植业和畜牧养殖业发展都离不开农用地，农业生产过程中产生的碳排放也是农业碳排放的重要部分之一。碳排放子系统是与社会经济、土地利用子系统相互联系的核心系统，其受到其他子系统的直接影响，其包含建设用地碳排放、农用地碳排放、其他碳排放及土地碳排放等变量，并通过减排目标进行碳排放约束，利用碳减排成本对社会经济子系统产生作用来实现系统反馈循环，如图 2 所示。

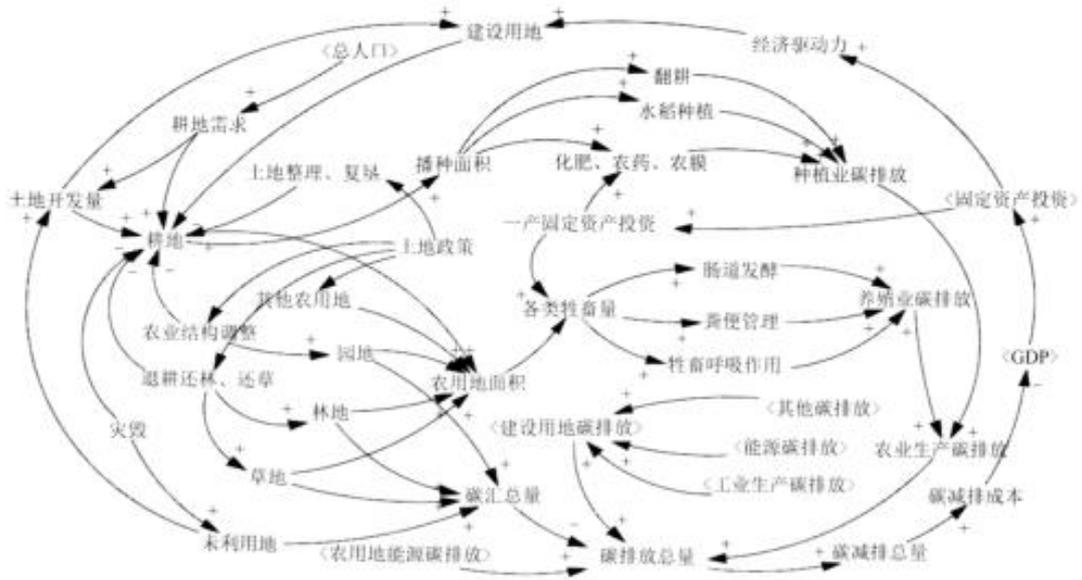


图2 土地利用子系统与碳排放子系统因果关系图

Fig.2 Causal Relationship Loop Diagram of Land Use and Carbon Mission Subsystem

2.4 参数设定及模型检验

2.4.1 参数设定

依据各子系统因果关系运用 VensimPlus 软件构建系统流程图，正确设置模型变量关系和参数是建模的关键。模型中状态变量初始值采用 2000 年的统计数据，其他参数及方程的确定主要运用几何平均值法、趋势外推法、经验公式法、计量回归分析以及表函数法等方法，模型确定好之后需要进行检验。

2.4.2 历史性检验

以 2000 年作仿真起始年，选择系统中的 5 个状态变量及一个辅助变量进行历史性检验，考察模型运行的真实性和拟合度。通过对各子系统状态变量及辅助变量的真实值与仿真值比较，见表 1，只有 2008 年的 GDP 与 2001 年、2002 年碳排放总量两个变量的真实值与仿真值略大于 10%，其余均在 5% 左右，考虑到社会经济政策、系统变量关系的复杂性与随机性，可以判断模型具有较好的仿真性和预测性。

表 1 SD模型主要变量历史性检验表

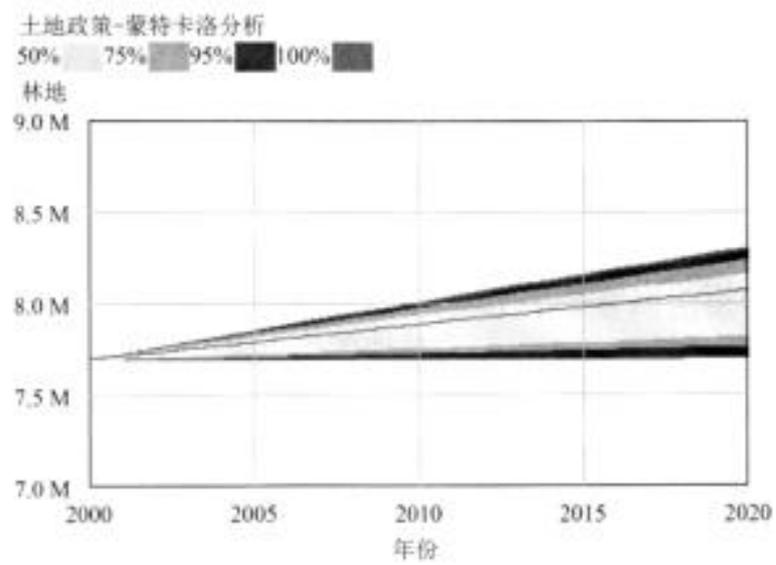
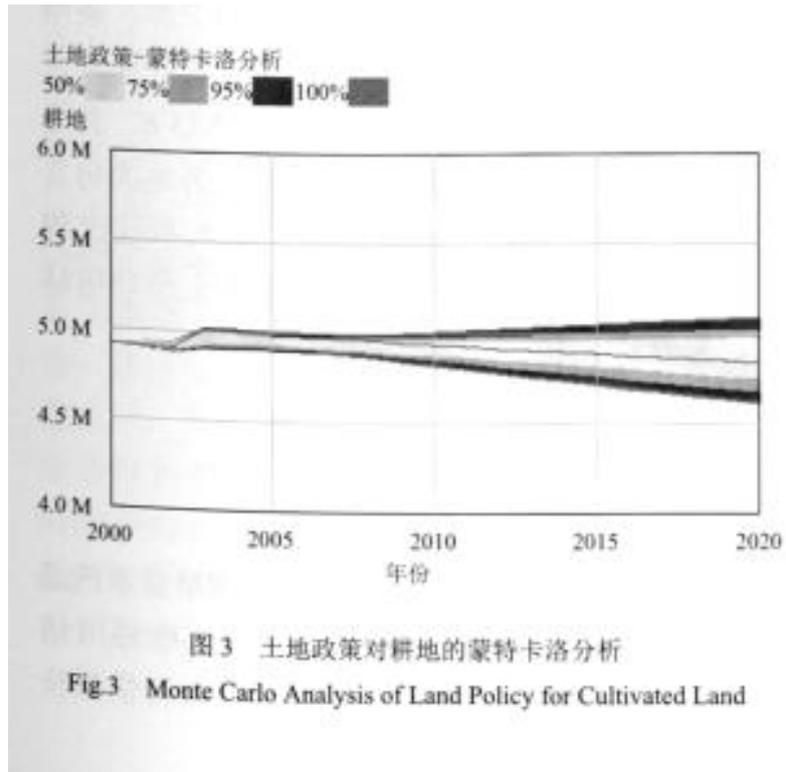
Tab.1 Historical Text Table of the Major Variable in SD Model

年份	人口总量(10^4 人)			GDP(10^5 元)			碳排放总量(10^4 t)		
	真实值	仿真值	误差率	真实值	仿真值	误差率	真实值	仿真值	误差率
2000	5 646.00	5 646.00	0.00%	4 276.00	4 276.32	-0.01%	5 687.68	5 980.70	-5.15%
2001	5 658.00	5 655.25	0.05%	4 662.00	4 715.68	-1.15%	5 642.76	6 367.21	-12.84%
2002	5 672.00	5 664.44	0.13%	4 976.00	5 136.80	-3.23%	6 026.40	6 671.90	-10.71%
2003	5 685.00	5 673.56	0.20%	5 402.00	5 479.61	-1.44%	6 580.60	6 927.45	-5.27%
2004	5 698.00	5 682.63	0.27%	5 633.00	5 946.97	-5.57%	6 882.51	7 280.10	-5.78%
2005	5 710.00	5 691.62	0.32%	6 520.00	6 198.02	4.94%	7 826.94	7 417.30	5.23%
2006	5 693.00	5 700.59	-0.13%	7 581.00	7 174.21	5.37%	8 491.01	7 973.78	6.09%
2007	5 699.00	5 709.40	-0.18%	9 231.00	8 342.17	9.63%	9 213.11	8 559.75	7.09%
2008	5 711.00	5 718.03	-0.12%	11 330.00	10 153.40	10.38%	9 996.95	9 428.56	5.69%

年份	耕地(10^4 hm ²)			林地(10^4 hm ²)			建设用地(10^4 hm ²)		
	真实值	仿真值	误差率	真实值	仿真值	误差率	真实值	仿真值	误差率
2000	492.16	492.16	0.00%	769.08	769.08	0.00%	132.55	132.55	0.00%
2001	490.55	491.24	-0.14%	770.42	770.97	-0.07%	133.20	133.40	-0.15%
2002	482.05	490.32	-1.72%	777.97	772.85	0.66%	133.82	134.24	-0.31%
2003	471.81	500.68	-6.12%	790.31	774.74	1.97%	134.44	143.25	-6.56%
2004	469.10	499.66	-6.52%	791.89	776.66	1.92%	135.54	144.05	-6.28%
2005	467.52	498.65	-6.66%	793.89	778.58	1.93%	136.76	144.85	-5.92%
2006	466.54	497.63	-6.67%	794.16	780.49	1.72%	137.83	145.65	-5.67%
2007	466.34	496.62	-6.49%	793.93	782.40	1.45%	139.02	146.45	-5.34%
2008	466.41	495.60	-6.26%	793.69	784.31	1.18%	140.04	147.24	-5.14%

2.5 敏感性因子分析

通过系统的参数敏感性分析找出模型中对系统影响较大的敏感性因子,是SD-MOP整合模型构建的重要一步。运用Vensimplus软件进行蒙特卡洛模拟,定性分析参数的敏感性,以土地政策敏感性分析为例,当进行200次的模拟中,所有的结果都落在灰色区域(黄色+蓝色+绿色+灰色)内,当灰色区域越大,说明该变量越敏感,见图3和4,图中灰色区域越来越大,可认为土地政策为敏感性因素。本文在SD模型中选取了固定资产投资比、建设用地占用耕地比、粮食单产、农业结构调整率、人口出生率等12个参数进行敏感性分析,得出系统敏感性因子为固定资产投资比和土地政策变量,设为X1、X2。



3 MOP 模型的构建

以湖北省土地利用总体规划(2006~2020年)的土地分类为依据,目标年定为2020年,将7种土地利用类型面积作为决策变量,将耕地、园地、林地、牧草地、其他农用地、建设用地及未利用地分别设置为Y1、Y2、Y3、Y4、Y5、Y6、Y7。

3.1 目标函数

(1) 土地利用碳排放目标函数

以土地利用碳排放最小化为模型的优化目标,林地、园地、草地及未利用碳排放系数参考已有研究,耕地、其他农用地及建设用地碳排放系数由2000~2008年测算后,进行SPSS时间序列预测得出,利用系数可知土地利用碳排放目标函数为:

$$\begin{aligned} \text{Min} f_1(Y) = & 1.73 * Y_1 - 0.21 * Y_2 - 0.644 * Y_3 - 0.021 * Y_4 \\ & + 3.05 * Y_5 + 124.42 * Y_6 - 0.005 * Y_7 \end{aligned} \quad (1)$$

(2) 土地经济效益目标函数以土地经济效益最大化为优化目标,利用2000~2008年数据计算各地类经济效益系数,将未利用地的经济效益设为0,通过预测得出目标年系数值,构建土地经济效益目标函数:

$$\begin{aligned} \text{Max} f_2(Y) = & 4.9 * Y_1 + 5.21 * Y_2 + 0.06 * Y_3 + \\ & 29.96 * Y_4 + 35.82 * Y_5 + 208.47 * Y_6 \end{aligned} \quad (2)$$

(3) 各决策变量与敏感性因子关系通过回归分析得到,所求关系方程见表2。

表2 MOP模型决策变量约束条件及与敏感性因子回归方程

决策变量	约束条件	回归方程
耕地(Y ₁)	463.13 < Y ₁ < 466.41	Y ₁ = 473.25 + 99.59 * X ₁ - 61.94 * X ₂
园地(Y ₂)	42.45 < Y ₂	Y ₂ = 28.45 + 0.02 * X ₁ + 15.83 * X ₂
林地(Y ₃)	Y ₃ > 743.552	Y ₃ = 772.21 + 0.067 * X ₁ + 58.41 * X ₂
草地(Y ₄)	Y ₄ > 4.46	Y ₄ = 4.51 - 0.007 * X ₂
其他农用地(Y ₅)	Y ₅ < 158.19	Y ₅ = 156.29 - 6.03 * X ₂
建设用地(Y ₆)	140.04 < Y ₆	Y ₆ = 122.34 + 70 * X ₁
未利用地(Y ₇)	219.21 < Y ₇ < 253.67	Y ₇ = 301.83 - 167.14 * X ₁
非负约束	Y ₁ , Y ₂ , Y ₃ , Y ₄ , Y ₅ , Y ₆ , Y ₇ > 0	

3.2 约束函数

约束条件是对目标函数中决策变量进行限制，主要包含对各类土地利用面积的约束。参照湖北省土地利用变更数据与《湖北省土地利用总体规划（2006-2020）》的要求，以下简称《总规》，并结合湖北省经济发展的实际情况，约束规则主要包括：①遵循《总规》，将规划期内耕地面积作为下限，2008年为上限；适度扩大园地面积，以规划期面积为下限；到2020年森林覆盖率达到40%以上，作为林地面积下限；②考虑退耕还草以及低碳、生态发展，以规划期草地面积作为下限；③依据大农业规模经营、开展土地整治等要求，其他农用地面积以2008年为上限；④根据经济发展对建设用地的需求，以2008年建设用地量为下限约束；⑤建设用地需求与农田开垦等会占用未利用地，以规划期末利用地面积为下限，以可开发未利用地面积为上限，详见表2。

3.3 SD-MOP 模型仿真

利用 LINGO 软件进行多目标规划求解，采用基于目标偏离容忍水平的多目标交互式决策方法进行计算，求出 $X1=0.4810; X2=0.8838$ 。首先运行无约束条件下 SD 模型仿真，得出各地类仿真值；然后将优化后的敏感性参数写入系统流程图，得出 SD-MOP 低碳高效目标下的土地利用结构，见表3。

表3 SD无约束与SD-MOP多目标下仿真值对比表(10^4hm^2)

Tab.3 Comparing Form of Simulation Value Between SD in Unconstrained and SD-MOP in Multiple Target

地类	基准年 (2008年)	规划值 (2020年)	SD仿真值			SD-MOP仿真值		
			2005	2010	2020	2005	2010	2020
耕地	466.41	463.13	498.65	493.56	483.38	494.30	484.97	466.74
园地	42.45	46.40	40.28	39.42	37.84	41.68	42.05	42.45
林地	793.69	819.05	778.58	788.11	806.89	783.02	796.90	823.86
牧草地	4.44	4.51	4.45	4.45	4.51	4.45	4.45	4.51
其他农用地	158.19	150.87	155.46	154.53	152.69	155.02	153.65	150.96
建设用地	140.04	155.71	144.85	148.81	156.50	144.85	148.79	156.41
未利用地	253.67	219.21	237.37	231.62	220.52	237.37	231.62	220.51

4 结果分析

4.1 土地利用减碳与增效分析

通过 SD-MOP 模型对土地利用减碳增效系统进行仿真模拟，得到多目标优化后的土地利用结构。首先，按照 SD 模型无约束条件下进行情景分析，得出目标年期 2020 年各种地类面积预测值，根据公式(1)与公式(2)方法计算可得，土地经济效益为 40845 亿元，碳排放量为 $20245 \times 10^4 \text{t}$ ；其次，将多目标优化后的参数代入 SD 模型进行仿真模拟，得出 SD-MOP 模型优化后目标年各地类面积，并计算土地经济效益为 40706 亿元，碳排放量为 $20187 \times 10^4 \text{t}$ 。将两种情景进行对比分析，利用 SD-MOP 模型优化后的土地利用结构，土地经济效益有所降低，减少了 139 亿元，但经济效益增长率相比 2010 年仍增长 3.58%，在兼顾碳减排的目标和要求下，保证土地经济效益持续增长，实现净碳排放量减少 $58 \times 10^4 \text{t}$ ，符合土地利用减碳与增效双重目标和优化预期。

4.2 仿真方案对比分析

将土地利用多目标下的 SD-MOP 模型优化方案与无约束条件下 SD 模型仿真的 2020 年地类面积进行对比分析,耕地、其他农用地及建设用地分别减少 16.63×10^4 、 1.73×10^4 和 $0.1 \times 10^4 \text{hm}^2$,园地、林地分别增加 4.61×10^4 和 $16.97 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。从表 3 可以看出,优化前林地和园地作为碳汇的重要功能未得到体现,而优化后林地面积明显增加,不仅提高了林地的碳汇功能,还有益于区域生态文明建设;园地兼有经济效益和碳汇两种显著功能,优化后面积相比无约束条件下 SD 模型仿真值提高了 12.17%,提升了园地面积及碳汇效应,有利于土地利用减碳和增效;由于未利用的碳汇和经济效益功能都不显著,优化前后面积未发生明显变化;建设用地所承载的经济社会活动是主要的碳源之一,同时也是重要的基础生产要素,为保障经济持续增长,加入碳排放约束后,面积相比 SD 模型仿真值略微下降,并不明显。

4.3 方案可行性分析

通过表 3 的数据可以得出,多目标优化后仿真方案中耕地面积比基准年略有增加,比规划目标年多出 $3.61 \times 10^4 \text{hm}^2$,体现粮食安全、保护耕地及控制建设用地占用耕地的要求;园地相比基准年未发生明显变化,基本能够满足农业发展的需求,相比规划少了约 $4 \times 10^4 \text{hm}^2$,主要体现在耕地和林地的占用;由于减碳增汇的需要,林地面积相比基准年增加 $30 \times 10^4 \text{hm}^2$,符合森林覆盖率以及生态文明建设的要求;全省草地资源较少,草场退化加之土地整理、开发等活动,草地面积逐年减少,但随着草地生态系统恢复工程实施,下降的趋势得到控制,优化值与规划目标年草地面积基本一致,相比基准年草地面积增多 $0.08 \times 10^4 \text{hm}^2$;其他农用地面积优化后比基期减少 4.57%,与规划目标年期值相差不到 $0.1 \times 10^4 \text{hm}^2$,土地整治等活动减轻耕地细碎化程度,符合农业现代化、大农业和规模化农业发展的要求;建设用地实现稳步增长,优化后占总面积的 8.38%,能够保障经济社会发展需求,促进土地集约利用,其增长主要来源于未利用开发;未利用地开发是保证耕地和建设用地需求的重要来源,优化后未利用地面积比基准年少 $33.15 \times 10^4 \text{hm}^2$,适度开发未利用符合经济、生态建设的需要。

5 结论与启不

5.1 结论及讨论

本文以湖北省为研究区域进行实证研究,借助 SD-MOP 整合模型,以土地利用减碳增效为目标,探寻双重目标约束下土地利用结构优化方案。

(1)土地利用减碳与增效系统是一个涉及土地利用、社会经济及碳排放的复杂系统,单一的仿真模型和线性规划模型很难实现非线性系统的预测及功能优化,本文综合 SD 与 MOP 模型的优势进行仿真,能够直接判读变量及子系统之间的因果关系和反馈机制,并以动态角度掌握各子系统及变量的发展趋势及规律,克服了线性规划模型中缺乏趋势性、动态性描述的缺陷,摆脱了无法直接从线性模型中读出变量间作用关系的不足,发挥了系统科学与线性规划模型结合的优势。

(2)土地利用结构优化对于区域经济发展和碳减排有着重要意义,在低碳与高效双重目标约束下,

利用 SD-MOP 模型对土地利用结构进行优化, 不仅实现土地利用碳减排的目标, 也满足土地经济效益最大化的要求。本文在揭示土地利用碳排放效用机理的前提下, 从系统反馈角度出发构建仿真模型进行优化, 从土地结构优化后的结果来看, 优化后的土地利用碳排放比无约束条件下的碳排放减少 58 万吨, 而土地经济效益较 2010 年增长 3.58%, 并对结果进行分析和讨论, 验证优化结果符合预期。

(3) 本文探索性的运用 SD-MOP 模型对土地利用减碳增效系统进行仿真和结构优化, 其模型构建会受到主观性和参数设定的影响, 并且系统不确定性因素较多, 参数具有动态性、发展性等原因, 在内外条件改变后模型也要进行修正调试, 才能保证预测的准确性。因此, 本文试从动态性的角度提出一个土地利用结构优化的思路, 优化结果代表系统发展趋势, 由于模型在空间表达方面有所缺陷, 与空间模型相结合会有更好效果。

5.2 政策启示

以湖北省土地利用碳排放系统动力机制和优化目标入手, 从碳源与碳汇构成因素来进行政策调控, 以土地结构优化为手段实现土地利用减碳增效, 本文的政策启示主要有:

(1) 合理配置土地资源, 引导优化产业结构

湖北省正处于经济结构调整的关键时期, 利用土地结构优化来引导产业升级, 统筹产业发展规划与土地利用规划, 从土地资源配置和碳排放强度为门槛, 合理布局全省生产力, 限制高能耗、高排放产业进入; 以土地供给侧改革入手, 采用差别化土地供应政策, 引导承接东部沿海创新型、知识型产业转移, 促进省内产业转型及结构优化, 并通过引进高新技术实现省内工业、能源及交通等行业的技术改造, 减少工业生产与能源消耗产生的碳排放, 推动资源节约和环境友好型产业建设。

(2) 推进农业现代化发展, 实施土地利用规模经营

湖北省是我国粮食生产大省, 农业生产也是全省主要碳排放来源之一, 若要实现农用地低碳高效利用, 应当加快农业产业结构调整, 在保障粮食安全和生产的基础上, 通过土地结构优化和整治推动农业现代化、机械化及大农业的发展, 不断提高农业生产资料的利用效率, 降低农业碳排放强度; 切实推动全省新型城镇化建设, 促进农村劳动力转移流动, 加快农用地流转和土地规模经营, 不断完善完善养殖业和种植业低碳生产和管理制度, 依据地区特色发展绿色农业, 建立生态农业观光园, 以农业拉动地区农民收入, 降低单位农业产值能耗, 提高农地利用的经济效益。

(3) 构建生态安全格局, 推动区域绿色发展

结合长江经济带发展战略及湖北省主体功能区规划, 构建省域生态安全战略格局。林地、草地及园地是重要的碳汇, 以土地资源优化配置为基础, 设置生态用地保护红线, 保障碳汇型地类面积, 提倡植树造林活动, 严禁毁林开荒和乱砍滥伐, 保护和优化土地碳汇功能; 优化全省国土空间开发格局

，发挥湖北省低碳试点的示范作用，依托省内自然保护区、森林公园等区域，建立区域生态屏障和绿色廊道，强化林地、草地系统生态功能，提高土地利用碳积蓄和碳汇能力，提升自身碳吸收能力。

参考文献:

[1]游和远, 吴次芳. 土地利用的碳排放效率及其低碳优化-基于能源消耗的视角[J]. 自然资源学报, 2010, 25(11): 1875-1886.

【YOU H Y, WU C F. Carbon emission efficiency and low carbon optimization of land use: based on the perspective of energy consumption[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(11): 1875-1886.】

[2]赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋, 等. 区域土地利用结构的碳效应评估及低碳优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17): 220-229.

【ZHAO R Q, HUANG X J, ZHONG T Y, et al. Carbon effect evaluation and low-carbon optimization of regional land use[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(17): 220-229.】

[3]赵荣钦, 陈志刚, 黄贤金, 等. 南京大学土地利用碳排放研究进展 [J]. 地理科学, 2012, 32(12): 1473-1480.

【ZHAO R Q, CHEN Z G, HUANG X J, et al. Research progresses of land use carbon emission in Nanjing university[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(12): 1473-1480.】

[4]韩骥, 周翔, 象伟宁. 土地利用碳排放效应及低碳竹理研究进展 [J]. 生态学报, 2016, 36(4): 1152-1161.

【HAN J, ZHOU X, XIANG W L. Progress in research on land use effects on carbon emissions and low carbon management[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(4): 1152-1161.】

[5] aLI G, NITIVATTANANON V. Exercising multidisciplinary approach to assess interrelationship between energy use, carbon emission and land use change in a metropolitan city of Pakistan[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012, 16(1): 775-786.

[6] bAE J, RYU Y. Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations

of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 136: 57-67.

[7]CHUAI X W, HUANG X J, WANG W J, et al. Land use, total carbon emissions change and low carbon land management in Coastal Jiangsu, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 103: 77-86.

[8]王桂波,南灵·陕西宵土地利用排放效应时空差异分析[J]. *资源与 产业*, 2012, 14(1):124-130.

【WANG G B, NAN L. Temporal-spatial variance of carbon emission effect in Shaanxi's land usc[J]. *Resources & Industries*, 2012, 14(1): 124-130.】

[9]俞超,张丽琴,讲殿明.基丁·清单算法的湖北土地利用碳排放效应 和趋势分析[J]. *水土保持研究*, 2014, 21 (4) : 168-172.

【YU C, ZHANG L Q, TANG D M. Analysis on effects of land use on carbon emission and the trend in Hubei province based on IPCC inventory[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2014, 21(4): 168-172.】

[10]吴仕海,张安明,曹伟,等.基于能源消费的®庆市土地利用碳排放 效应分析[J]. *西南师范大学学报((*1 然科学版)*, 2015, 40(1): 65-72.

【WU S H, ZHANG A M, CAO W, et al. On carbon emission effects of land use change based on energy consumption of Chongqing city[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*. 2015, 40(1): 65-72】

[11]许恒周,郭玉燕,陈宗祥.土地市场发育、城市土地集约利用与碳排放的关系-基于中闰省际面板数据的实证分析[J]. *中国土地科学*, 2013, 27(9): 26-29.

【XU H Z, GUO Y Y, CHEN Z X. The relationship between land market development, urban land intensive use and carbon emission: an empirical study based on provincial panel data in China[J]. *China Land Science*, 2013, 27(9): 26-29.】

[12]张俊峰,张安录,m捷.土地集约利用与土地利用碳排放的关系研究?以武汉城市阐为例[J]. *农业现代化研究*, 2013, 34(6): 717-721.

【ZHANG J F, ZHANG A L, DONG J. Study on relationship of intensive land use and carbon emission-a case study of Wuhan urban aggl0meration[J]. *Research of Agricultural*

Modernization, 2013, 34(6): 717-721.]

[13]张苗, 陈银蓉, 周浩. 佳于面板数据的土地集约利用水平与土地利用 碳排放关系研究•以 1996~2010 年湖北 ft 中心城数据为例[J]. 长江 流域资源与环境, 2015, 24(9): 1464-1470.

【ZHANG M, CHEN Y R, ZHOU H. Study on the relationship of the level of land intensive use and land use carbon emission based on panel data—a case study of central cities in Hubei province from 1996 to 2010[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(9): 1464-1470.】

[14]刘海猛, 6 培基, 王录仓, 等. 低碳目 t 小导向的兰州市土地利用结构 优化研究[J]. 中国土地科学, 2012, 26(6):55-61.

【LRJ H M, SHI P J, WANG L C, et al. Optimizing land use structure for low carbon target: a case study in Lanzhou of Gansu province[J]. China Land Science, 2012, 26(6): 55-61.】

[15] 王永年, 王慧敏. 以低碳为 n 标的海尔市土地利用结构优化方案 [J]•资源科学, 2015, 37(10): 2010-2017.

【ZENG Y N, WANG H M. Optimization of land use structure for low-carbon targets in Haidong city, Qinghai plateau[J]. Resources Science, 2015, 37(10): 2010-2017.】

[16]姜超, 程久苗. 基于 SD-MOP 整合模型的城市土地资源优化 fid 置方案 研究[J]. 科技信息, 2013(13): 136-137, 167.

【JIANG C, CHENG J M. The optimal allocation of urban land resources on SD-MOP integrated model[J]. Science & Technology Information, 2013(13): 136-137, 167.】

[17]3. 其藩. 系统动力学[M]•上海:上海财经大学出版社, 2009.

[18]李旭. 社会系统动力学:政策研究的原理、方法和应用[M]. 上海:复 FJ. 大学出版社 1t, 2009.

[19]MALLICK R B, RADZICKI M J, ZAUMANIS M, et al. Use of system dynamics for proper conservation and recycling of aggregates for sustainable road construction[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2014, 86: 61-73.

[20]黎孔清. 低碳经济 W*•向的区域土地利用评价与结构优化研究[D]. 武 汉:华中农业大学博 t 学位论文, 2013.

【LI K Q. Evaluation and structural optimization of low-carbon economy-oriented regional land-use[D]. Wuhan: Doctor Dissertation of Huazhong Agricultural University, 2013.】

[21] 邹锐, 郭怀成, 刘磊. 基于 H 标偏离容忍水平的多 B 标交互式决策方法[J]. 系统工程学报, 1998, 13(3): 41-47.

【ZOU R, GUO H C, LIU L. A new method based on the objective-deviation-tolerance-level for multi-objective decision making[J]. Journal of Systems Engineering, 1998, 13(3): 41-47.

】