

doi: 10.6046/zrzyyg.2021102

引用格式: 武艺杰,孔雪松. 江苏省“生态-农业-建设”用地空间格局模拟及发展模式选择[J]. 自然资源遥感,2022,34(1): 238-248. (Wu Y J, Kong X S. Simulation and development mode suggestions of the spatial pattern of “ecology-agriculture-construction” land in Jiangsu Province[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2022, 34(1): 238-248.)

江苏省“生态-农业-建设”用地空间格局模拟及发展模式选择

武艺杰^{1,2}, 孔雪松¹

(1. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079; 2. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058)

摘要:为因地制宜地选择适合江苏省的区域发展模式,综合运用 Logistic, Auto-Logistic 和 SBS-Logistic 这3种回归方法,识别江苏省土地利用格局演化的驱动力,进而运用 Markov-CLUES 模型模拟了江苏省 2030 年4种情景下的“生态-农业-建设”用地空间格局。结果表明:①3种回归方法精度优劣顺序为 Auto-Logistic > SBS-Logistic > Logistic, Auto-Logistic 回归下3种土地利用类型的接收者操作特性检验值均大于 0.75; Markov-CLUES 模型在 2005—2018 年江苏省土地利用格局验证模拟中效果较好,精度评定 Kappa 值为 0.758。②自然增长情景保障了“三圈”“四沿”地区的快速发展,但是部分河流缩窄,粮食安全受到威胁,发展可持续性较弱;生态保护情景通过大力开展河渠及环湖地区生态环境整治,使得流域环境得到明显改善;耕地保护情景下粮食主产区的优质耕地得到有效保护,苏北和苏中地区的耕地面积增长明显;生态与耕地双保护情景下的发展可持续性较强,建设用地的无序扩张受到了明显限制,但短期内建设用地需求与供给矛盾较为突出。③太湖与淮河流域、长江湿地保护区域和沿海区域所属县区宜采取生态保护情景发展模式;苏北、苏中平原宜采取耕地保护情景发展模式;苏南五市宜采取生态与耕地双保护情景发展模式;苏中地区的扬州市和泰州市由于沿江开发战略的进一步实施,可采取自然增长情景发展模式。研究揭示了江苏省“生态-农业-建设”用地空间格局演化的时空规律,不同情景下的用地格局模拟可为江苏省实现因地制宜的区域发展模式提供决策支持,有助于推进江苏省形成生态、农业和建设用地耦合协调发展的国土空间格局。

关键词: SBS-Logistic 回归; Auto-Logistic 回归; CLUE-S 模型; 区域发展模式; “生态-农业-建设”用地; 江苏省

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2022)01-0238-11

0 引言

土地是国土空间中最重要的重要组成部分,也是至关重要的物质资源^[1]。区域发展模式是一定地域历史背景下,结合其发展基础和本底条件,在内外因素驱动下,长期积淀和不断优化而形成的综合发展状态^[2]。不同区域发展模式下的土地利用导致的土地覆被变化对生物多样性、生态环境承载力和各级生态系统的生产力都有着深刻的影响^[3-4]。快速城镇化在带来社会经济文化等快速发展的同时,还造成了诸多生态环境问题^[5]。因此,研究合理的土地利用格局,因地制宜地选择区域发展模式,

是推动区域可持续发展与空间有序协调的必然要求^[6],也成为近年来土地利用/覆被变化(land use/cover change, LUCC)研究的热点^[7]。

顾及区域发展状态的变化,综合考虑自然和社会经济发展因素,寻求一个既能体现区域发展视角下的政策安排,又能充分反映空间因素对区域发展影响的模型,进而对未来的发展趋势进行多情景模拟,可以为区域发展模式的选择提供决策支持^[8]。土地利用演变模型是 LUCC 研究的一个重要组成部分^[9],主要包括 Markov 模型、系统动力学(system dynamics, SD)模型、元胞自动机(cellular automaton, CA)模型、小区域土地利用转换及其效应(conversion of land use and its effects at small region extent,

收稿日期: 2021-04-08; 修订日期: 2021-08-03

基金项目: 国家重点研发计划项目“县域村镇发展潜力评价关键技术”(编号: 2018YFD1100801)资助。

第一作者: 武艺杰(1998-),男,硕士研究生,主要从事土地管理与资源规划相关研究。Email: 2780296299@qq.com。

通信作者: 孔雪松(1979-),男,博士,副教授,硕士生导师,主要从事国土空间利用规划与管理相关研究。Email: xuesongk@whu.edu.cn。

CLUE－S)模型等数量或空间模拟模型^[10-12]。本研究采用的 CLUE－S 模型由非空间分析和空间分析 2 个模块构成^[13],综合考虑了经验统计模型和动态过程模型^[14-17],且其改进的模型^[18-20]能与多种模型如 Markov 模型和 SD 模型等进行优势结合^[21-23],在指导区域发展模式的选择上具有明显的优势和较好的应用价值。党的十九大报告将优化国土空间格局作为生态文明建设的首要举措,参照国土空间规划体系对土地利用类型主导功能的划分,由此构成的“生态－农业－建设”用地空间格局是落实区域可持续发展的重要基础^[24],然而现有研究缺少在省域宏观尺度上对区域“生态－农业－建设”用地空间耦合格局的模拟与优化支持^[25]。此外,本研究在 CLUE－S 模型的回归分析部分,引入一种新的回归方法结构化平衡抽样(structured balanced sampling, SBS)－Logistic 回归,通过对比其与 Logistic 以及 Auto－Logistic 回归的优劣,为模型参数的选择提供一种新的思路。

作为东部沿海地区和长江经济带的交汇地带,江苏省地域特色明显。快速的城镇化导致各类建设用地逐渐取代了原有的耕地、林地、草地等自然景观^[26],带来了诸多自然生态问题^[27-28],如何有效地解决这些问题是江苏省社会经济可持续发展的关键。因此,本文以江苏省为例,综合运用 Logistic, Auto－Logistic 和 SBS－Logistic 这 3 种回归方法,识别江苏省“生态－农业－建设”用地空间格局演化的驱动力,并结合对未来年份不同情景下用地需求的合理预测和限制因素分析,运用 Markov－CLUES 模型对江苏省“生态－农业－建设”用地空间格局进行多情景模拟,将为江苏省实现因地制宜的区域发展模式提供决策支持,有助于推进江苏省形成生态、农业和建设用地耦合协调发展的国土空间格局。

1 数据源及预处理

本研究使用的数据包括：①基于 1995 年、2005 年和 2018 年 3 期 Landsat 遥感影像解译出的 30 m × 30 m 江苏省土地利用栅格数据(土地利用一级类型综合解译精度达到 93% 以上,二级类型综合解译精度达到 90% 以上)；②1 km × 1 km 中国人口密度和国内生产总值(gross domestic product, GDP)密度栅格数据,来源于中国科学院资源环境科学数据中心；③基础地理数据来源于江苏省 2018 年土地变更调查数据库和开源地图(open street map, OSM)数据集；④江苏省 30 m × 30 m 的数字高程模型(digital elevation model, DEM) (ASTER GDEM V2) 栅格数

据,来源于地理空间数据云平台；⑤江苏省国家级生态保护红线和基本农田保护区矢量数据,由江苏省国土资源研究中心提供。

数据处理步骤为：首先把所需数据导入 Arc-Map10.5 软件中,转化为统一的投影坐标系 Krasovsky_1940_Albers；其次,兼顾栅格信息表达有效性与模型数据量的限制,将江苏省国家级生态保护红线和基本农田保护区数据、江苏省铁路与主要道路数据以及 30 m × 30 m 的 1995 年、2005 年和 2018 年 3 期土地利用现状图转化为 150 m × 150 m 的栅格数据；最后,参照国土空间规划体系对土地利用主导功能的划分,按照表 1 的分类准则通过“重分类”功能将江苏省 3 期现状图的土地利用类型合并为生态、农业和建设用地 3 大类主导功能用地^[29]。

表 1 主导功能用地分类体系

Tab. 1 Dominant functional land classification system	
主导功能用地	LUCC 分类体系中的用地类型及其序号
生态用地	21 有林地；22 灌木林；23 疏林地；24 其他林地
	31 高覆盖度草地；32 中覆盖度草地；33 低覆盖度草地
	41 河渠；42 湖泊；43 水库坑塘；44 永久性冰川雪
农业用地	地；45 滩涂；46 滩地
	62 戈壁；63 盐碱地；64 沼泽地；65 裸土地；66 裸
	岩石质地；67 其他
建设用地	99 海洋
农业用地	11 水田；12 旱地
建设用地	51 城镇用地；52 农村居民点；53 其他建设用地

2 研究方法

2.1 Logistic 回归

Logistic 回归分析是将区域划分为若干栅格单元,对一个因变量和多个自变量进行线性回归,对某一事件发生的概率进行预测^[30]。本研究中,Logistic 回归分析模型的因变量代表研究区的土地利用类型,自变量代表导致研究区土地利用格局演化的驱动力,公式为：

$$\ln\left(\frac{P_i}{1 - P_i}\right) = \beta_{0i} + \beta_{1i}X_1 + \beta_{2i}X_2 + \cdots + \beta_{mi}X_m, (1)$$

式中： P_i 为*i*地类在各栅格单元上可能出现的概率； X_m 为第*m*个驱动力； β_{0i} 为*i*地类回归方程的回归常数项； β_{mi} 为*i*地类回归方程中对应第*m*个驱动力的回归参数项。

2.2 Auto－Logistic 回归

不同土地利用类型在各栅格单元上可能出现的概率不仅受到所选驱动力的影响,也受到其自身空间分布规律的影响。因此,在 Logistic 回归的基础上

引入空间自相关因子 Auto - Value 构建 Auto - Logistic 回归模型^[31], 即

$$\ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_{0i} + \beta_{1i}X_1 + \beta_{2i}X_2 + \cdots + \beta_{ni}X_n + \beta_{AUi}X_{(Auto-Value)_i}, \quad (2)$$

式中: $X_{(Auto-Value)_i}$ 为影响 i 地类的空间自相关因子; β_{AUi} 为 i 地类回归方程中对应 $X_{(Auto-Value)_i}$ 的回归参数项。

2.3 SBS - Logistic 回归

SBS - Logistic 回归是在 Logistic 回归的基础上,

通过设定最小栅格抽样间隔和计算抽样比例,并在容许范围内使得各种土地利用类型的面积达到平衡,以此来抽取回归样本进行回归分析,从而降低空间自相关性的影响。SBS - Logistic 回归分析的栅格抽样公式为:

$$r = i \left[\frac{100}{(k+1) i_{\max}} \right] \%, k = 1, 2, 3, \cdots, 5, i = 1, 2, 3, \cdots, 5, \quad (3)$$

式中: k 为以栅格像元为单位的最小抽样间隔; $i_{\max}$ 为设置的抽样比例等级,本研究设置为 5 级,即 $i_{\max} = 5$; i 为抽样比例乘积系数,取值为: 1, 2, 3, 4, 5; r 为抽样比例,%; $[\cdot]$ 代表对其中的参量进行取整函数运算。

2.4 Markov 模型

土地利用变化过程一般都符合 Markov 过程无后效性的特点,当研究区土地政策平稳时,可以利用 Markov 模型来对当地的土地利用面积进行预测^[32], 公式为:

$$X_{t+1} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} X_t, \quad (4)$$

$$P_{ij} = \frac{A_{ij}}{LU_i}, \quad (5)$$

式中: X_t 与 X_{t+1} 分别为前一时刻与后一时刻的土地利用需求面积矩阵; P_{ij} 为土地利用状态由 i 转移到 j 的概率 ($i, j = 1, 2, 3, \cdots, n$); n 为土地利用类型的数量; A_{ij} 为土地利用类型由 i 转换成 j 的面积; LU_i 表示模拟初期 i 地类的总面积。

2.5 CLUE - S 模型

CLUE - S 模型是在研究区土地利用需求始终驱动其土地利用格局演化,且和该地区的自然环境、社会经济状况及其土地利用格局处于动态平衡中这个假设条件下,计算栅格单元上各类土地利用类型出现的综合概率大小,从而完成对该区域土地利用格局的模拟^[33]。

3 结果与分析

3.1 2005—2018 年江苏省“生态 - 农业 - 建设”用地空间格局验证模拟

3.1.1 驱动力分析

选取高程、坡度、GDP 密度、人口密度、到主要城镇的距离、到农村居民点的距离、到河渠的距离、到湖泊和水库坑塘的距离、到铁路的距离、到公路的距离、生态用地的空间自相关变量、农业用地的空间自相关变量和建设用地的空间自相关变量,共 13 个驱动因子构建影响江苏省土地利用格局演化的驱动因子体系,进而对 2005 年江苏省土地利用格局及其驱动因子进行 Logistic 和 Auto - Logistic 回归分析,结果见表 2。

表 2 Logistic 与 Auto - Logistic 回归分析结果
Tab. 2 Results of Logistic and Auto - Logistic regression analysis

驱动因子	Logistic 回归			Auto - Logistic 回归		
	生态用地	农业用地	建设用地	生态用地	农业用地	建设用地
高程	0.017 210	-0.012 720	0.000 434	0.014 525	-0.009 122	—
坡度	0.154 952	-0.102 597	-0.007 944	0.147 442	-0.086 576	-0.006 688
GDP 密度	0.000 102	-0.000 113	0.000 063	0.000 124	-0.000 064	0.000 047
人口密度	-0.000 420	-0.000 169	0.000 380	-0.000 437	-0.000 227	0.000 342
到主要城镇的距离	-0.000 017	0.000 006	-0.000 008	-0.000 004	-0.000 006	0.000 002
到农村居民点的距离	0.000 924	-0.000 475	-0.000 384	0.000 957	-0.000 489	-0.000 025
到河渠的距离	-0.000 021	0.000 014	-0.000 015	-0.000 018	0.000 017	-0.000 015
到湖泊和水库坑塘的距离	-0.000 651	0.000 148	0.000 043	-0.000 647	0.000 110	0.000 036
到铁路的距离	0.000 007	-0.000 006	—	0.000 002	-0.000 007	-0.000 001
到公路的距离	0.000 231	-0.000 141	-0.000 066	0.000 201	-0.000 114	-0.000 076
空间自相关变量	—	—	—	0.796 555	-0.973 794	3.397 070
常量	-2.095 766	1.608 611	-1.748 867	-1.818 763	1.347 638	0.147 740
ROC 检验值	0.873	0.692	0.721	0.887	0.773	0.856

对比 2 种回归方法中生态用地、农业用地和建设用地与驱动因子间的接受者操作特性 (receiver operating characteristic , ROC) 检验值 , 可知 Auto - Logistic 回归较 Logistic 回归精度在每种土地利用类型上均有明显提升 , 分别从 0.873 , 0.692 和 0.721 提升到了 0.887 , 0.773 和 0.856 。

由于 CLUE - S 模型分析的一般是高于 1 km × 1 km 精度的栅格数据^[22] , 本研究采取的栅格分析基本尺度是 150 m × 150 m , 而在 SBS - Logistic 回归抽样间隔的限制下 , 其等价最高精度栅格分析尺度为 150 (k + 1) m , 应满足 150 (k + 1) m < 1 000 m , 求得 k 的最大值为 5 。 进而按式 (3) 计算在 $i_{\max} = 5$ 的条件下 , 对应每个抽样间隔的抽样比例 , 依次对 2005 年江苏省土地利用格局及驱动因子体系中非空间自相关变量的 10 个驱动因子进行 SBS - Logistic 回归分析 , 结果见表 3 。

表 3 SBS - Logistic 回归分析结果

Tab. 3 Results of SBS - Logistic regression analysis

SBS - Logistic 回归分析		ROC 检验值			$\sum ROC$	$\overline{\sum ROC}$
抽样间 隔 (像元)	抽样比 例 / %	生态 用地	农业 用地	建设 用地		
1	50	0.872	0.810	0.784	2.466	2.468 4
	40	0.872	0.810	0.789	2.471	
	30	0.872	0.810	0.786	2.468	
	20	0.872	0.810	0.786	2.468	
	10	0.872	0.809	0.788	2.469	
2	30	0.871	0.809	0.787	2.467	2.470 8
	24	0.872	0.811	0.785	2.468	
	18	0.873	0.810	0.793	2.476	
	12	0.872	0.812	0.789	2.473	
	6	0.871	0.810	0.789	2.470	
3	25	0.872	0.810	0.784	2.466	2.467 8
	20	0.872	0.812	0.783	2.467	
	15	0.872	0.812	0.781	2.465	
	10	0.872	0.810	0.790	2.472	
	5	0.872	0.811	0.786	2.469	
4	20	0.872	0.811	0.788	2.471	2.468 0
	16	0.871	0.810	0.784	2.465	
	12	0.872	0.809	0.788	2.469	
	8	0.871	0.811	0.783	2.465	
	4	0.872	0.809	0.789	2.470	
5	15	0.869	0.809	0.774	2.452	2.453 6
	12	0.870	0.806	0.783	2.459	
	9	0.869	0.810	0.766	2.445	
	6	0.871	0.808	0.773	2.452	
	3	0.871	0.809	0.780	2.460	

以每个抽样间隔为一个组 , 组内共包含 5 个回归个案。 总体来看 , 个案间每个地类的 ROC 值差距并不大且较连续 , 故采用 3 类用地的 ROC 值总和来评定 SBS - Logistic 回归分析的精度。 由表 3 中

$\sum ROC$ 和 $\overline{\sum ROC}$ 可知 , 回归分析精度 ROC 值组内差距小 , 组间差距大 , 组间平均 ROC 值先增大后减小 , 在抽样间隔为 2 像元处取极大值 2.470 8 , 表明在本研究的数据背景下 , 抽样间隔为 2 像元的 SBS - Logistic 回归总体效果最好。 进一步对比后发现其 ROC 精度最大值出现在第二组的第三个案 , 即在抽样间隔为 2 像元 , 抽样比例为 18% 时拟合精度最高 , $\sum ROC$ 值为 2.476 , 此时生态用地、农业用地和建设用地的回归精度值依次为 0.873 , 0.810 和 0.793 , 并以此作为本次 SBS - Logistic 回归分析的最优解。

对比 SBS - Logistic 和 Logistic 回归可知 , 除生态用地的回归精度不变外 , 农业用地和建设用地的回归精度均有明显提升 , 分别从 0.692 和 0.721 提升到了 0.810 和 0.793 。 对比 SBS - Logistic 和 Auto - Logistic 回归可知 , 除农业用地回归精度 SBS - Logistic 明显高于 Auto - Logistic 回归外 , 其他 2 类用地的回归精度与 ROC 值总和均明显低于 Auto - Logistic 回归。 综上 , 3 种回归方法的精度优劣顺序为 : Auto - Logistic > SBS - Logistic > Logistic , 故采用 Auto - Logistic 回归分析计算出的回归参数代入 CLUE - S 模型 , 进行 2005—2018 年江苏省土地利用格局的验证模拟。

3.1.2 验证模拟

2005—2018 年江苏省土地利用需求量是通过 TerrSet18 软件中的 Markov 模型预测的。 在江苏省土地利用格局驱动力分析和 2005—2018 年江苏省土地利用需求量预测的基础上 , 运用 CLUE - S 模型进行 2005—2018 年江苏省土地利用格局验证模拟 , 并将预测 2018 年的土地利用格局模拟图和现状图进行对比 (图 1) , 运用 Kappa 系数检验模拟精度 , 即

$$Kappa = (P_o - P_c) / (P_p - P_c) , \tag{6}$$

式中 : 正确模拟栅格总数为 3 731 123 个 , 占比 83.88% , 即 $P_o = 0.838 8$; P_c 为随机模拟情况下正确的比例 , 本研究共有 3 种土地利用类型 , 故 $P_c = 1/3$; P_p 为理想情况下完全正确模拟的比例 , 故 $P_p = 1$ 。 计算得总体 Kappa 值为 0.758 , 同理计算生态、农业和建设用地模拟精度 Kappa 值分别为 0.757 , 0.780 和 0.703 。 图域不一致像元分布特征为 : 高估了无锡市和苏州市的城市建设用地扩张速度 ; 低估了苏中和苏北地区乡镇建设用地的扩张速度 ; 盐城市和连云港市北部的生态用地基本保留 , 未转化为预测的建设用地 ; 以上不一致像元分布较为集中 , 其余地区不一致像元呈均匀分布。 综上 , 模型总体模拟精度较好 , 故可使用相关参数对 2018—2030 年江苏省土地利用格局进行多情景模拟。

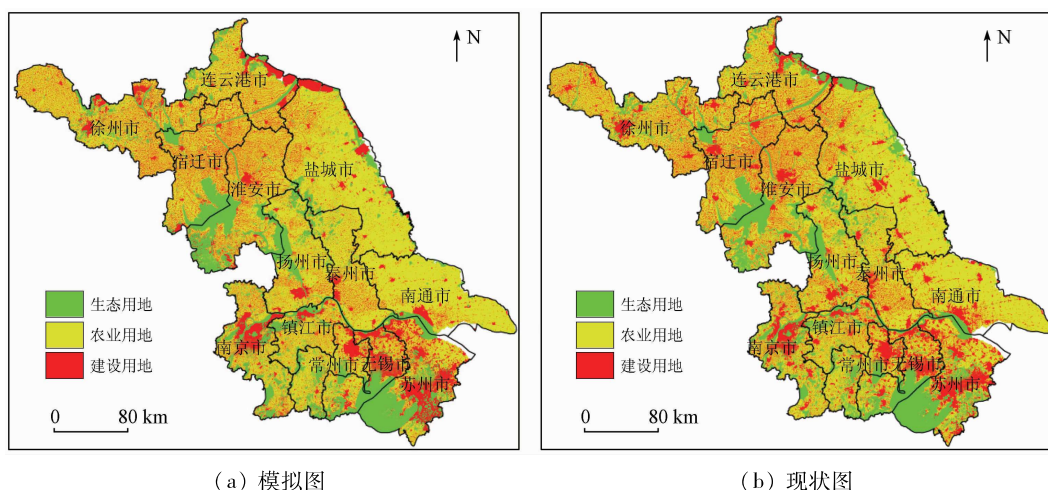


图 1 2018 年江苏省“生态—农业—建设”用地空间格局模拟图与现状图

Fig. 1 Simulation map and current map of Jiangsu Province's land use pattern in 2018

3.2 2018—2030 年江苏省“生态—农业—建设”用地空间格局多情景模拟

基于江苏省发展现状和未来规划发展需求,本研究构建了自然增长、生态保护、耕地保护、生态与

耕地双保护 4 种不同的土地利用格局演化情景,通过设定 4 种情景下的土地利用需求量和限制区域等相关参数,进而模拟 4 种情景下 2030 年江苏省的土地利用格局,多情景模拟结果见图 2。

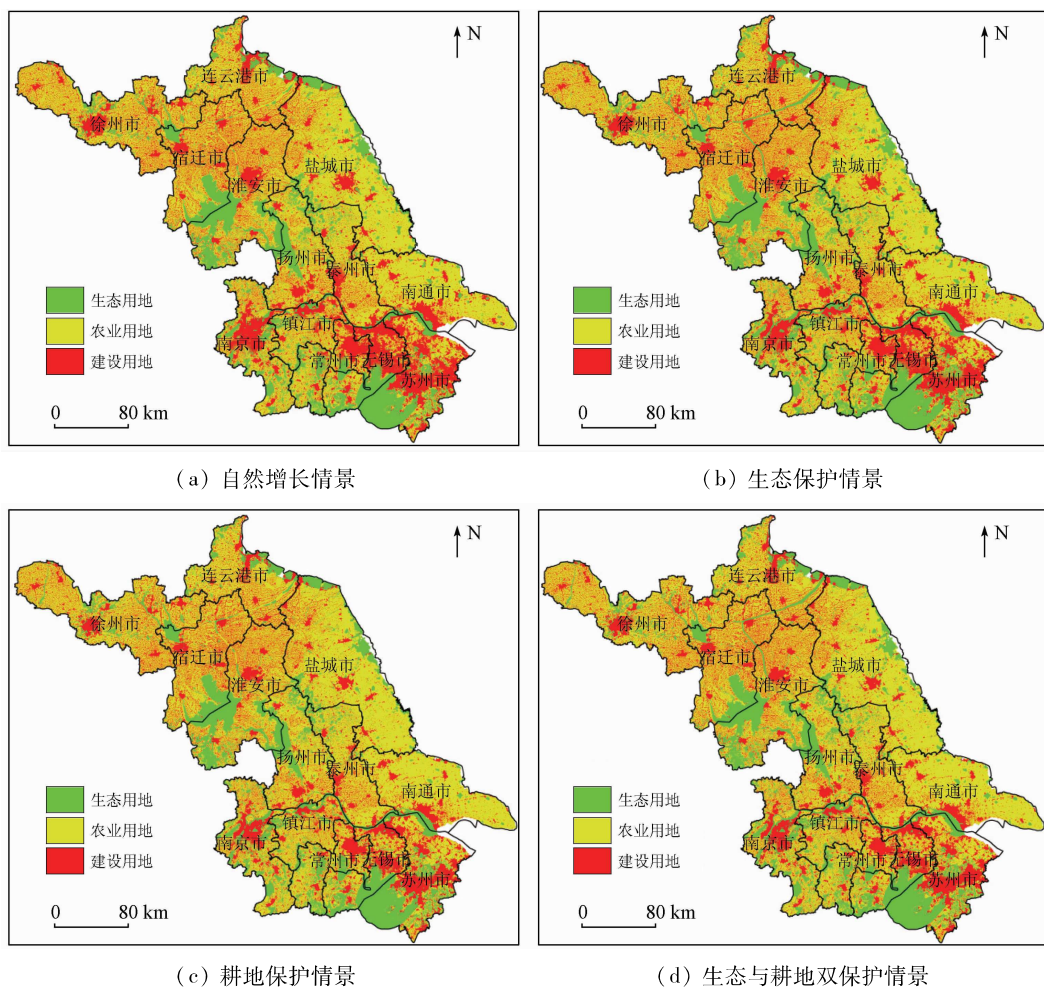


图 2 4 种情景下江苏省土地利用格局演化模拟结果

Fig. 2 Simulation results of land use pattern evolution of Jiangsu Province under four scenarios

3.2.1 情景一：自然增长情景

自然增长情景下,假定 2018—2030 年江苏省土地利用需求量的演化依然按照 2005—2018 年 Markov 土地利用需求量的演化趋势进行自然增长,并将江苏

省内有重要战略发展意义的地类图斑如人工开辟的重要水利工程和延续沂河入海的新沂河道等设置为发展限制区域。2018—2030 年,江苏省生态用地减少了 32 807.25 hm^2 ,农业用地减少了 422 545.50 hm^2 ,

建设用地增加了 455 352.75 hm^2 。

生态用地转出方面,114 151.50 hm^2 的生态用地转化为农业用地,占比 6.74%,主要发生在徐州市的丰县、沛县、贾汪区、新沂市和邳州市,连云港市的东海县和南北偏泓流域,宿迁市内的淮沐河流域,淮安市南部的盱眙县和金湖县,扬州市南部的长江支流流域,苏州市和无锡市内的太湖地区,苏北灌溉总渠以及长江干流沿江段。111 116.25 hm^2 的生态用地转化为建设用地,占比 6.56%,主要发生在徐州市的主城区,苏州市的金鸡湖景区、虎丘湿地公园、西京湾和昆山市,无锡市的惠山国家森林公园、华西村风景区和惠山区,以及大部分位于长江干流沿江段。

农业用地转出方面,179 658.00 hm^2 的农业用地转化为生态用地,占比 2.89%,主要发生在连云港市的西部地区,洪泽湖南部沿岸地区,淮安市南部的盱眙县,高邮湖北部沿岸,盐城市和南通市的东部沿海地区,常州市金坛区的西部地区和溧阳市。361 827.00 hm^2 的农业用地转化为建设用地,占比 5.82%,主要发生在各市区城区建设区域,发展趋势为城市建设用地向内填充与向外扩张侵占农业用地,其中以苏南地区的苏州市和无锡市建设用地面积变化最大,其余市区建设用地的面积变化也较明显。

3.2.2 情景二:生态保护情景

生态保护情景基于自然增长情景 2018—2030 年的土地利用转移矩阵,在江苏省土地利用总体规划的约束条件下,将生态用地转变为建设用地的面积减少 50%,同时将江苏省国家级生态保护红线内的划定区域(包括国家级和省级重点生态功能区以及各类大型水域、湿地公园等禁止开发区和自然保护地)设定为发展限制区域。2018—2030 年,生态用地增加了 87 556.50 hm^2 ,农业用地减少了 395 563.50 hm^2 ,建设用地增加了 308 007.00 hm^2 ,相比自然增长情景,生态用地增加了 120 363.75 hm^2 。

72 841.50 hm^2 的生态用地转化为农业用地,占比 4.30%,主要发生在徐州市的丰县、沛县和邳州市,连云港市的东海县,淮安市南部的盱眙县和金湖县,苏北灌溉总渠,无锡市南部的太湖沿岸地区、云湖风景区和宜兴国家森林公园,以及长江干流沿江段的少部分地区。

农业用地转出方面,203 616.00 hm^2 的农业用地转化为生态用地,占比 3.28%,主要发生在连云港市的西部地区,淮安市盱眙县斗湖和南部地区,高邮湖北部沿岸,盐城市和南通市的东部沿海地区,镇江市的“馒头山—南山”连线区域附近,溧阳市的西

部市界沿线,以及长江干流沿江段的少部分地区。264 789.00 hm^2 的农业用地转化为建设用地,占比 4.26%,主要发生在各市区城区建设区域,其中以苏南地区的南京市、苏州市和无锡市以及苏北地区的连云港市和徐州市面积变化最大。

3.2.3 情景三:耕地保护情景

耕地保护情景基于自然增长情景 2018—2030 年的土地利用转移矩阵,在江苏省土地利用总体规划的约束条件下,将农业用地转变为建设用地的面积减少 30%,同时将江苏省基本农田保护区设定为发展限制区域。2018—2030 年,生态用地增加了 37 298.25 hm^2 ,农业用地减少了 118 525.50 hm^2 ,建设用地增加了 81 227.25 hm^2 ,相比自然增长情景,农业用地增加了 304 020.00 hm^2 。

71 363.25 hm^2 的生态用地转化为农业用地,占比 4.22%,主要发生在徐州市的邳州市,连云港市内的南北偏泓流域,淮安市内的淮沐河流域,以及长江干流沿江段的少部分地区。

农业用地转出方面,113 116.50 hm^2 的农业用地转化为生态用地,占比 1.82%,主要发生在连云港市的西南部地区,淮安市南部的盱眙县,高邮湖北部沿岸,盐城市和南通市的东部沿海地区,溧阳市和宜兴市的南部地区,常州市金坛区西部地区,以及长江干流沿江段的少部分地区。90 801.00 hm^2 的农业用地转化为建设用地,占比 1.46%,主要发生在各城市的主城区建设用地区域,其中以无锡市、苏州市、南京市、连云港市、徐州市和南通市的建设用地面积变化相对较大,其他市区农业用地向建设用地的转变面积较小。

3.2.4 情景四:生态与耕地双保护情景

生态与耕地双保护情景下基于自然增长情景 2018—2030 年的土地利用转移矩阵,在江苏省土地利用总体规划的约束条件下,将生态用地转变为建设用地的面积减少 50%、农业用地转变为建设用地的面积减少 30%,同时将江苏省国家级生态保护红线内的划定区域及江苏省基本农田保护区设定为发展限制区域。2018—2030 年,生态用地增加了 101 081.25 hm^2 ,农业用地减少了 206 835.75 hm^2 ,建设用地增加了 105 754.50 hm^2 ,相比自然增长情景,生态用地增加了 133 888.50 hm^2 ,农业用地增加了 215 709.75 hm^2 ,建设用地增量减少了 349 598.25 hm^2 。

51 522.75 hm^2 的生态用地转化为农业用地,占比 3.04%,主要发生在徐州市的邳州市,连云港市的东海县和南偏泓流域,淮安市的金湖县,苏北灌溉总渠,常州市金坛区的钱资荡,镇江市内的夹江支

流,以及长江干流沿江段的少部分地区。

农业用地转出方面,154 998.00 hm²的农业用地转化为生态用地,占比 2.49%,主要发生在连云港市的西部地区,洪泽湖在宿迁市泗洪县境内部分的沿岸地区,淮安市盱眙县的西南部地区,高邮湖北部沿岸,盐城市射阳县、大丰区和经济开发区的部分地区,南通市的如东县,海门市和启东市的北部区域,以及长江干流沿江段的少部分地区。128 373.75 hm²的农业用地转化为建设用地,占比 2.07%,主要发生在江苏省主要城市的主城区建设用地区域,其中以无锡市、苏州市、南京市、连云港市和徐州市的建设用地面积变化相对较大,其他市县区农业用地向建设用地的转变面积较小。

3.2.5 不同情景模拟结果比较

为思考未来江苏省各地区的区域发展模式,研究进行了 4 种情景下江苏省 2030 年的土地利用格局预测,不同情景下 3 种用地类型的面积见表 4,面积转移情况见图 3。

表 4 4 种发展情景下 3 类用地的面积

Tab. 4 Area of three types of land use under four development scenarios (hm²)

发展情景	生态用地面积	农业用地面积	建设用地面积
自然增长情景	1 659 861.00	5 791 450.50	2 541 411.00
生态保护情景	1 780 224.75	5 818 432.50	2 394 065.25
耕地保护情景	1 729 966.50	6 095 470.50	2 167 285.50
生态与耕地双保护情景	1 793 749.50	6 007 160.25	2 191 812.75

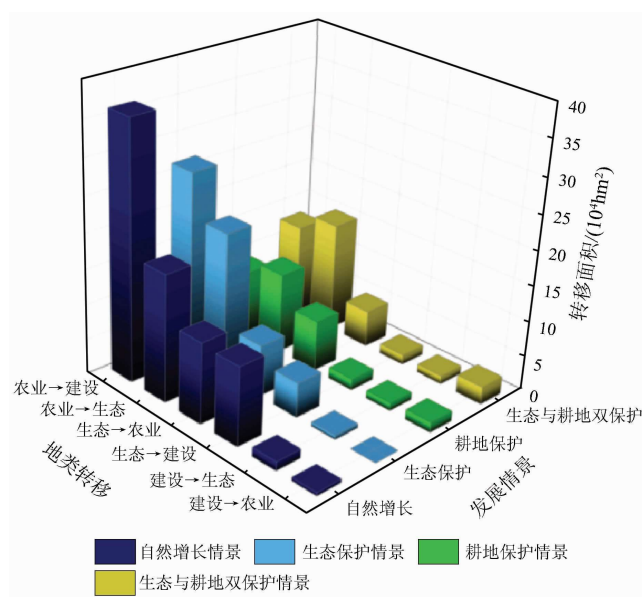


图 3 4 种情景下 3 类用地之间的面积转移

Fig. 3 Area transfer between three types of land under four scenarios

自然增长情景下,建设用地增加导致生态用地与农业用地大量减少。建设用地增加主要发生在江

苏省各市区城区建设区域,其中以苏南地区的苏州市和无锡市面积变化最大,其余市县区面积变化也比较明显。自然增长情景保障了全省范围内建设用地的充分布局,重点保障了“三圈”(即南京都市圈、徐州都市圈和苏锡常都市圈)、“四沿”地区(即沿江基础产业带、沿沪宁线高新技术产业带、沿东陇海线产业带和沿海经济带)建设用地的合理分配,同时苏北地区各县乡均积极规划村庄布局,推进合村并居,采用多种建设模式积极进行农村居民点改造,合理布局了基础设施建设用地和旅游设施用地,探索出了成熟的农民集中居住区建设发展方案,乡镇经济得以快速发展^[34-35]。但同时生态用地大量减少导致生态环境遭到破坏,部分河流出现缩窄现象;农业用地大量减少导致粮食安全受到威胁。自然增长情景下江苏省全城市县区虽然城镇化进程较快,但是发展的可持续性较弱。

生态保护情景下,生态用地面积较自然增长情景增加 7.25%,建设用地面积减少 5.80%,生态用地受到保护几乎不转化为建设用地,面积出现正增长。生态保护情景下有利于江苏省大力加强生态文明建设,加强废弃土地转化为生态用地,2007 年太湖蓝藻事件后以苏州市、无锡市为代表的沿江沿湖高强度开发城市均大力开展河渠及环湖地区土地生态环境整治,解决了自然增长情景下部分河流缩窄以及湖泊面积减少的问题,流域环境得到明显改善,但是农业用地的大量减少仍将会威胁区域粮食安全。生态保护情景下江苏省全城市县区具有一定的发展可持续性。

耕地保护情景下,农业用地面积较自然增长情景增加 5.25%,建设用地面积减少 14.72%,农业用地转化量大大减少,存量增加,优化了耕地的空间布局,稳定了耕地数量和质量。耕地保护情景适度增加了苏北和苏中地区的耕地保护面积,苏南地区的耕地减少量也得到了控制,重点保护里下河平原、黄淮平原、江淮平原和太湖平原等粮食主产区的优质耕地,稳定了粮食安全;同时生态用地面积有所增加,较自然增长情景增加 4.22%,在一定程度上缓解了省内部分河流缩窄以及湖泊面积减少的问题。耕地保护情景下江苏省全城市县区具有一定的发展可持续性。

生态与耕地双保护情景下,生态用地面积较自然增长情景增加 8.07%,农业用地面积增加 3.72%,建设用地面积减少 13.76%,生态用地面积出现显著正增长的同时,农业用地也得到了充分的保护,建设用地的无序扩张受到了明显限制。除苏州市、南京市等一些大城市的主城区建设用地面积明显增加

外,大多数县区建设用地面积增量不明显,江苏省经济发展速度相对放缓,居民的粮食安全得到保障,生态福利提升,经济福利下降。生态与耕地双保护情景下江苏省全域市县区可持续发展性较强,但经济发展速度相对较慢。

4 讨论

江苏省在经历快速城镇化的同时,也出现了一系列生态环境问题。新时代的国土空间规划要求江苏省按照建设生态环境友好型社会的要求,加快转变土地利用模式,优先保护生态环境空间,加强生态环境良好的宜居城乡环境建设。针对不同的主体用地功能区和环境功能定位,制定差别化用地调控政策。太湖与淮河流域、长江湿地保护区域和沿海区域所属县区宜采取生态保护情景发展模式,建立生态用地保护区,按照生态保护重点区域的保护要求,加强管辖区内重点工程的生态文明建设,保障生态安全。

耕地等主要农业用地的减少严重威胁着江苏省的粮食安全。以盐城市、徐州市、淮安市、南通市和宿迁市为代表的苏北、苏中平原和滨海地区,是江苏省耕地面积及占比最大的地区,宜采取耕地保护情景发展模式,按照最严格的耕地保护制度的要求,从保证粮食安全、经济安全、生态安全和社会稳定出发,以稳定提高粮食综合生产能力、实现粮食自给为核心,优化耕地的空间布局,确保耕地保有量尤其是基本农田保有量不减少、用途不改变、质量有提高,提高粮食生产能力,确保经济社会长治久安。

城镇化的快速发展导致建设用地大量扩张,江苏省多地市县区存在“摊大饼”式的粗放发展现象。苏南地区已经成为城镇与工业密集区,城镇工矿用地比重大,宜采取生态与耕地双保护情景发展模式,在严格控制建设用地总量和新增建设用地规模的前提下,按照各类各行业用地准入标准,合理配置各类各业建设用地,鼓励建设用地的内涵挖潜,部分地区实施存量规划甚至减量规划,充分利用闲置和低效建设用地,切实提高用地效率。建立高标准土地利用节约集约利用评价指标体系,完善企业、园区、区域等多层次土地集约利用激励约束机制,促进经济快速增长与质量提升间的良性互动。与此同时,苏中地区的扬州市和泰州市现仍以传统的农业产业为主,由于沿江开发战略的进一步实施,可采取自然增长情景发展模式,适当引入新兴产业以及承接苏南地区产业转移,未来将形成农业用地和建设用地并重之势。

5 结论

本研究以江苏省为例,运用 Markov - CLUES 模型模拟了4种情景下江苏省2030年的“生态-农业-建设”用地空间格局。主要结论如下:

1) Markov - CLUES 模型对江苏省土地利用格局演化具有良好的模拟能力和应用价值,将为江苏省实现因地制宜的区域发展模式提供决策支持,有助于推进江苏省形成生态、农业和建设用地耦合协调发展的国土空间格局。

2) 研究采用的3种回归方法精度优劣顺序为: Auto - Logistic > SBS - Logistic > Logistic, Auto - Logistic 回归下3种土地利用类型的 ROC 值均大于0.75,回归精度较好;运用 Markov - CLUES 模型对2005—2018年江苏省土地利用格局进行验证模拟,精度评定 Kappa 值为0.758,模拟精度较好。

3) 自然增长情景保障了“三圈”“四沿”地区的快速发展,但是部分河流出现缩窄现象,粮食安全受到威胁,发展可持续性差;生态保护情景通过大力开展河渠及环湖地区土地生态环境整治,解决了部分河流缩窄以及湖泊面积减少的问题,有效改善了江苏省的流域环境;耕地保护情景适度增加了苏北和苏中地区的耕地保护面积,苏南地区的耕地减少量也得到了控制,重点保护里下河平原、黄淮平原、江淮平原和太湖平原等粮食主产区的优质耕地,保障了粮食安全;生态与耕地双保护情景下,江苏省发展可持续性较强,建设用地的无序扩张受到了明显限制,但短期内建设用地供需矛盾较为突出,将阻碍新兴产业和城镇化的纵深发展。

4) 太湖与淮河流域、长江湿地保护区域和沿海区域所属县区宜采取生态保护情景发展模式;苏北、苏中平原宜采取耕地保护情景发展模式;苏南地区宜采取生态与耕地双保护情景发展模式;苏中地区的扬州市和泰州市由于沿江开发战略的进一步实施,可采取自然增长情景发展模式。可持续的城市发展理念要求江苏省既要“金山银山”,也要“绿水青山”,在未来的发展中,应结合自身现状,分析区域土地利用的问题,因地制宜地选择最适合且可持续的生态、农业和建设用地耦合区域发展模式。

参考文献 (References):

- [1] 邱建军,唐华俊,陈佑启,等. 中国土地利用/土地覆被变化研究[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004.
Qiu J J, Tang H J, Chen Y Q, et al. Study on land use/land cover change in China [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2004.

- [2] 尚勇敏, 曾刚. 区域经济发展模式内涵、标准的再探讨[J]. 经济问题探索, 2015(1): 62-67.
Shang Y M, Zeng G. Re-discussion on the connotation and standard of regional economic development mode[J]. Inquiry into Economic Issues, 2015(1): 62-67.
- [3] 侯鹏, 王桥, 王昌佐, 等. 流域土地利用/土地覆被变化的生态效应[J]. 地理研究, 2011, 30(11): 2092-2098.
Hou P, Wang Q, Wang C Z, et al. Ecological effect of land-use and land-cover change in a watershed scope[J]. Geographical Research, 2011, 30(11): 2092-2098.
- [4] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. 地理学报, 1996(6): 553-558.
Li X B. A review of the international researches on land use/land cover change[J]. Acta Geographica Sinica, 1996(6): 553-558.
- [5] 郭燕燕. 基于 CLUE-S 模型的深圳市土地利用变化模拟[D]. 武汉: 武汉大学, 2017.
Guo Y Y. Simulation of land use change in Shenzhen based on CLUE-S model[D]. Wuhan: Wuhan University, 2017.
- [6] 曾刚, 尚勇敏, 司月芳. 中国区域经济发展模式的趋同演化——以中国 16 种典型模式为例[J]. 地理研究, 2015, 34(11): 2005-2020.
Zeng G, Shang Y M, Si Y F. The convergent evolution of China's regional economic development models[J]. Geographical Research, 2015, 34(11): 2005-2020.
- [7] 郑荣宝, 卢润开, 唐晓莲, 等. 1998—2016 年全球 LUCC 研究进展与热点分析[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2017, 38(5): 591-601.
Zheng R B, Lu R K, Tang X L, et al. Researches progress and hot spots analysis of global LUCC research during 1998 to 2016[J]. Journal of Huaqiao University (Natural Science), 2017, 38(5): 591-601.
- [8] 徐姗, 王开泳, 邓羽. 区域发展模式知识库的理论阐释与顶层设计[J]. 城市发展研究, 2016, 23(7): 13-17.
Xu S, Wang K Y, Deng Y. The theoretical interpretation and the top layer design of regional development model under the perspective of knowledge base[J]. Urban Development Studies, 2016, 23(7): 13-17.
- [9] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 456-468.
Tang H J, Wu W B, Yang P, et al. Recent progresses of land use and land cover change(LUCC) models[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 456-468.
- [10] 吴桂平. CLUE-S 模型的改进与区域土地利用变化模拟[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
Wu G P. Improvement of CLUE-S model and simulation of regional land use change[D]. Changsha: Central South University, 2008.
- [11] 杭云飞. 基于改进的 CLUE-S 模型的土地利用变化动态模拟与情景分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2014.
Hang Y F. Dynamic simulation and scenario analysis of land use change based on the improved CLUE-S model[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2014.
- [12] 刘甲红, 徐露洁, 潘骁骏, 等. 土地利用/土地覆盖变化情景模拟研究进展[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2017, 16(5): 551-560.
Liu J H, Xu L J, Pan X J, et al. Research progress on land-use and land-cover change scenario simulation[J]. Journal of Hangzhou Normal University (Natural Science Edition), 2017, 16(5): 551-560.
- [13] Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp A, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model[J]. Environmental Management, 2002, 30(3): 391-405.
- [14] 王丽艳, 张学儒, 张华, 等. CLUE-S 模型原理与结构及其应用进展[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(3): 73-77.
Wang L Y, Zhang X R, Zhang H, et al. Principle and structure of CLUE-S model and its progresses[J]. Geography and Geo-Information Science, 2010, 26(3): 73-77.
- [15] Verburg P H, Overmars K P. Dynamics simulation of land-use change trajectories with the CLUE-S model in Koomen[J]. The Geo-Journal Library, 2007, 90(5): 321-337.
- [16] 李鑫, 马晓冬, 肖长江, 等. 基于 CLUE-S 模型的区域土地利用布局优化[J]. 经济地理, 2018, 35(1): 162-167.
Li X, Ma X D, Xiao C J, et al. The regional land use layout optimization based on the CLUE-S model[J]. Economic Geography, 2018, 35(1): 162-167.
- [17] 张永民, 赵士洞, Verburg P H. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用[J]. 自然资源学报, 2003(3): 310-318.
Zhang Y M, Zhao S D, Verburg P H. CLUE-S and its application for simulating temporal and spatial change of land use in Naiman Banner[J]. Journal of Natural Resources, 2003(3): 310-318.
- [18] Chu H, Wu C, Lin Y. Incorporating spatial autocorrelation with neural networks in empirical land-use change models[J]. Environment and Planning, 2013, 40(3): 384-404.
- [19] 王祺, 蒙古军, 毛熙彦. 基于邻域相关的漓江流域土地利用多情景模拟与景观格局变化[J]. 地理研究, 2014, 33(6): 1073-1084.
Wang Q, Meng J J, Mao X Y. Scenario simulation and landscape pattern assessment of land use change based on neighborhood analysis and auto-logistic model: A case study of Lijiang River basin[J]. Geographical Research, 2014, 33(6): 1073-1084.
- [20] 吴桂平, 曾永年, 冯学智, 等. CLUE-S 模型的改进与土地利用变化动态模拟——以张家界市永定区为例[J]. 地理研究, 2010, 29(3): 460-470.
Wu G P, Zeng Y N, Feng X Z, et al. Dynamic simulation of land use change based on the improved CLUE-S model: A case study of Yongding County, Zhangjiajie[J]. Geographical Research, 2010, 29(3): 460-470.
- [21] Castella J C, Verburg P H. Combination of process-oriented and pattern-oriented models of land use change in a mountain area of Vietnam[J]. Ecological Modeling, 2007, 202(3-4): 410-420.
- [22] 田多松, 傅碧天, 吕永鹏, 等. 基于 SD 和 CLUE-S 模型的区域土地利用变化对土壤有机碳储量影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(4): 613-620.
Tian D S, Fu B T, Lyu Y P, et al. Effect of regional land use change on soil organic carbon storage based on SD and CLUE-S model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(4): 613-620.
- [23] 朱春娇, 田波, 周云轩, 等. 基于 Markov 和 CLUE-S 模型的浦东新区湿地演变遥感分析与预测[J]. 复旦学报(自然科学

- 版), 2018, 54(4): 431-438.
- Zhu C J, Tian B, Zhou Y X, et al. Wetland change analysis and forecasting in Pudong new area using Markov and CLUE-S model [J]. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 2018, 54(4): 431-438.
- [24] 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展[J]. *地理科学进展*, 2017, 36(3): 378-391.
- Huang J C, Lin H X, Qi X X. A literature review on optimization of spatial development pattern based on ecological-production-living space [J]. *Progress in Geography*, 2017, 36(3): 378-391.
- [25] 吴健生, 冯喆, 高阳, 等. CLUE-S模型应用进展与改进研究[J]. *地理科学进展*, 2012, 31(1): 3-10.
- Wu J S, Feng Z, Gao Y, et al. Recent progresses on the application and improvement of the CLUE-S model [J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(1): 3-10.
- [26] 胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 流域景观结构的城市化影响与生态风险评价[J]. *生态学报*, 2011, 31(12): 3432-3440.
- Hu H B, Liu H Y, Hao J F, et al. The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(12): 3432-3440.
- [27] Fraser D G, Mabee W, Slaymaker O, et al. Mutual dependence: The reflexive relation between human society and the environment [J]. *Global Environmental Change*, 2003, 13(2): 137-144.
- [28] Kaleem A M, Rasool G. Effects of different land use types on soil quality in the hilly area of raw Alako Azad Jammu and Kashmir [J]. *Acta Agriculture Scandinavica*, 2005, 55(3): 221-228.
- [29] 崔家兴, 顾江, 孙建伟, 等. 湖北省三生空间格局演化特征分析[J]. *中国土地科学*, 2018, 32(8): 67-73.
- Cui J X, Gu J, Sun J W, et al. The spatial pattern and evolution characteristics of the production, living and ecological space in Hubei Province [J]. *China Land Science*, 2018, 32(8): 67-73.
- [30] 王芳, 陈芝聪, 谢小平. 太湖流域建设用地与耕地景观时空演变及驱动力[J]. *生态学报*, 2018, 38(9): 3300-3310.
- Wang F, Chen Z C, Xie X P. Analysis of spatial-temporal evolution and its driving forces of construction land and cultivated landscape in Taihu Lake basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(9): 3300-3310.
- [31] Besag J. Spatial interaction and statistical-analysis of lattice systems [J]. *Journal of the Royal Statistical Society Series B-Methodological*, 1974, 36(2): 192-236.
- [32] 朱文博, 张静静, 崔耀平, 等. 基于土地利用变化情景的生态系统碳储量评估——以太行山淇河流域为例[J]. *地理学报*, 2019, 74(3): 446-459.
- Zhu W B, Zhang J J, Cui Y P, et al. Assessment of territorial ecosystem carbon storage based on land use change scenario: A case study in Qihe River basin [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(3): 446-459.
- [33] 谭永忠. 县级尺度土地利用变化驱动机制及空间格局变化模拟研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- Tan Y Z. Simulation research on the driving mechanism of land use change and spatial pattern change at county level [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.
- [34] 孔雪松, 朱芷晴, 刘殿锋. 江苏省乡村聚落演化的多尺度特征与空间关联性分析[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(12): 247-256, 329.
- Kong X S, Zhu Z Q, Liu D F. Multi-scale evolution characteristics of rural settlements and spatial correlation in Jiangsu Province, China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(12): 247-256, 329.
- [35] 孔雪松, 王静, 金志丰, 等. 面向乡村振兴的农村土地整治转型与创新思考[J]. *中国土地科学*, 2019, 33(5): 95-102.
- Kong X S, Wang J, Jin Z F, et al. Transformation and innovation of rural land consolidation towards rural vitalization [J]. *China Land Science*, 2019, 33(5): 95-102.

Simulation and development mode suggestions of the spatial pattern of “ecology-agriculture-construction” land in Jiangsu Province

WU Yijie^{1,2}, KONG Xuesong¹

(1. School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: This study aims to assist Jiangsu Province in selecting the regional development modes suitable for its local conditions. To this end, this study identified the driving factors in the evolution of the land use pattern in Jiangsu Province by comprehensively using three regression methods (i. e., Logistic, Auto-Logistic, and SBS-Logistic). Then, this study simulated the spatial pattern of ecology-agriculture-construction land in Jiangsu Province in 2030 under four scenarios using the Markov-CLUES model. The results are as follows. ① The accuracy of the three regression methods was in the order of Auto-Logistic > SBS-Logistic > Logistic. The ROC values of the three land use types obtained using the Auto-Logistic regression method were all over 0.75. The Markov-CLUES model performed well in the verification simulation of the land use pattern in Jiangsu Province during 2005—2018, with a Kappa coefficient of 0.758 according to the accuracy evaluation. ② The rapid development in the “Three Circles” and “Four Lines” areas will be guaranteed under the scenario of natural growth

in 2030. However, some rivers will narrow, threatening food security and leading to weak development sustainability. For the scenario of ecological protection, the environment of river canals and areas surrounding lakes will be greatly improved by controlling and managing ecology. For the scenario of cultivated land protection, high – quality cultivated land in the main grain – producing areas will be effectively protected, and the cultivated land area in northern and central Jiangsu will obviously increase. The dual protection of both ecology and cultivated land will allow for strong sustainable development and the effective restriction of the disorderly expansion of construction land in 2030. However, the contradiction between demand and supply of construction land will be prominent in a short term. ③It is advisable to adopt the development mode of protecting ecology in the Taihu Lake, the Huai River basin, the conservation areas of Yangtze River wetland, and coastal areas, to adopt the development mode of protecting cultivated land in the Subei and Suzhong plains, and to adopt the development mode of protecting both ecology and cultivated land in the five cities in southern Jiangsu. Given the further implementation of the development strategy along the Yangtze River, the development mode of natural growth can be adopted in Yangzhou and Taizhou cities in central Jiangsu Province. This study revealed the spatio – temporal evolutionary laws of the spatial pattern of ecology – agriculture – construction land in Jiangsu Province. The simulation of the spatial pattern under various scenarios will provide decision support for Jiangsu Province to achieve regional development modes suitable for local conditions and assist Jiangsu Province in forming the spatial pattern of land where ecology – agriculture – construction land couples mutually and develops in a coordinated manner.

Keywords: SBS – Logistic regression; Auto – Logistic regression; CLUE – S model; regional development mode; “ecology – agriculture – construction” land; Jiangsu Province

(责任编辑: 陈 理)