
基于 CLUE-S 模型的杭嘉湖平原区 土地利用生态环境影响情景模拟研究

朱晓婷

（浙江财经大学 工商管理学院，浙江 杭州 310018）

[摘要] 选择新型城镇化发展和小城市培育工作推进较快的典型自然地理区域——杭嘉湖平原地区，开展区域土地利用生态环境影响评价，拟通过构建土地利用生态环境影响CLUE-S 动态模型分析杭嘉湖平原地区近10 年来土地利用变化引发的生态环境效应，并用来开展今后5 ～ 10 年杭嘉湖平原地区土地利用变化环境效应的预测与评估。其预测结果可为该地区政府制定有关土地利用方面的政策提供理论支撑，从而促进杭嘉湖平原区社会、人口、经济和生态环境之间的和谐与可持续发展。

[关键词] 杭嘉湖平原区；土地利用；生态环境；CLUE-S 模型

[中图分类号] F293.2；F224

[文献标识码] A

当前，我国进入工业化、城镇化快速推进阶段，有限的国土空间面临承载规模更大、强度更高的经济社会活动。城镇化在促进产业发展、改善居民生活质量的同时，也增加了自然生态环境的负荷，特别带来人居、生态、人文环境的破坏。

随着社会经济的快速发展，杭嘉湖地区城市化脚步越来越快，该区域经济呈现出一体化发展的态势。同时也面临着发展的瓶颈，诸如水质型缺水和水环境恶化问题日趋严重、地面沉降等地质灾害普遍存在、道路等交通基础设施不足等。当前人地关系矛盾主要体现在城镇人口过度集中，居住环境恶化，产业配置不当，从而影响了城镇化的健康发展。因此开展区域土地利用生态环境影响评价，拟通过构建土地利用生态环境影响CLUE-S 动态模型分析杭嘉湖平原地区近年来土地利用变化引发的生态环境效应，明确土地生态环境影响程度、制约因素，探索提高土地利用率的有效措施就成为一项尤为重要的任务。

新型城镇化发展是以构建生态文明为背景的，这就要求对不同区域土地合理地进行利用，因此区域土地利用环境影响变化分析及情景仿真就尤为重要。在现有的研究中，国内外学者对土地利用生态环境影响测算方法收到了丰硕的研究成果，但是尚未形成系统的理论体系，指标值主观性强，难以精确确定，缺少定量分析；分析仅侧重某个时空的单方面影响因素；研究区域视作一个封闭系统而未考虑流动因素。本论文杭嘉湖平原区为对象，利用CLUE-S 模型分析法分析杭嘉湖平原地区近10年来土地利用变化引发的生态环境效应，并对未来5 ～ 10 年杭嘉湖平原区土地规划环境影响进行预测，从而为该地区土地利用，土地规划政策决策提供理论支撑和信息支持，实现地区社会、人口、经济和生态环境之间的和谐与可持续发展。

1 杭嘉湖地区的土地利用现状

[收稿日期] 2016-10-25

[基金项目] 浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划（编号：2016R414045）。

[作者简介] 朱晓婷（1991—），女，浙江诸暨人，浙江财经大学工商管理学院硕士研究生，研究方向：土地环境评价。

在土地资源数量上，杭嘉湖平原地区土地总面积为1003122hm²，分为耕地，园地、林地、草地、城镇及工矿用地、交通运输用地、水域及水利设施用地和其他用地。各用地的数量和比例详见表1。

根据表1 土地利用现状数据，计算得到杭嘉湖地区的总体土地开发强度为28.10%，其中杭州市土地开发强度最高，为33.00%，嘉兴市次之，为28.65%，湖州市开发强度最低，为20.62%；林地、草地、水域、滩涂、沼泽等生态用地比例为26.22%，其中湖州市生态用地比例最高，为39.19%，杭州市次之，32.61%，嘉兴市最低，仅为14.53%；生态公益林面积上，杭州市生态公益林面积最大，占当地生态用地比例为28.32%；嘉兴市生态公益林面积最小，仅占当地生态用地比例的4.59%。杭嘉湖平原的大部分地区的光、热、水条件较好，能满足一年三熟制之需，但耕地质量在空间分布上差异较明显。

表 1 2015 年土地利用现状表 单位：hm²、%

地区	总计	耕地	园地	林地	草地	城镇及工矿用地	交通运输用地	水域及水利设施用地	其他用地
杭州市	334889	95204	14490	67219	679	89479	19790	45400	2628
嘉兴市	418208	208243	23442	2690	0	97174	22983	62631	1045
湖州市	250025	72892	28015	54659	0	41560	9654	41486	1759
总计	1003122	376339	65947	124567	679	228213	52427	149517	5432
比重	100.00	37.52	6.57	12.42	0.07	22.75	5.23	14.91	0.54

2 CLUE-S 模型与CLUE-S 模型研究进展

2.1 土地利用变化预测模型的研究进展

土地利用变化模型受到越来越多的重视，出现了许多应用于不同目的的模型来预测土地利用会发生的变化，其中影响较大的有Markov 模型，GEOMOD 模型，GTR 模型，IMAGE 模型，IIASA 模型，CA 模型（宋蔚，2010）。

2.2 CLUE-S 模型

CLUE-S 模型分为非空间模块与空间模块。其中非空间模块体现受土地利用变化驱动因子影响的土地利用类型需求面积的变化，而空间模块体现在土地需求与土地利用变化驱动因子空间分布的影响下，每年土地利用类型的空间变化状况。模型结构如图1 所示。

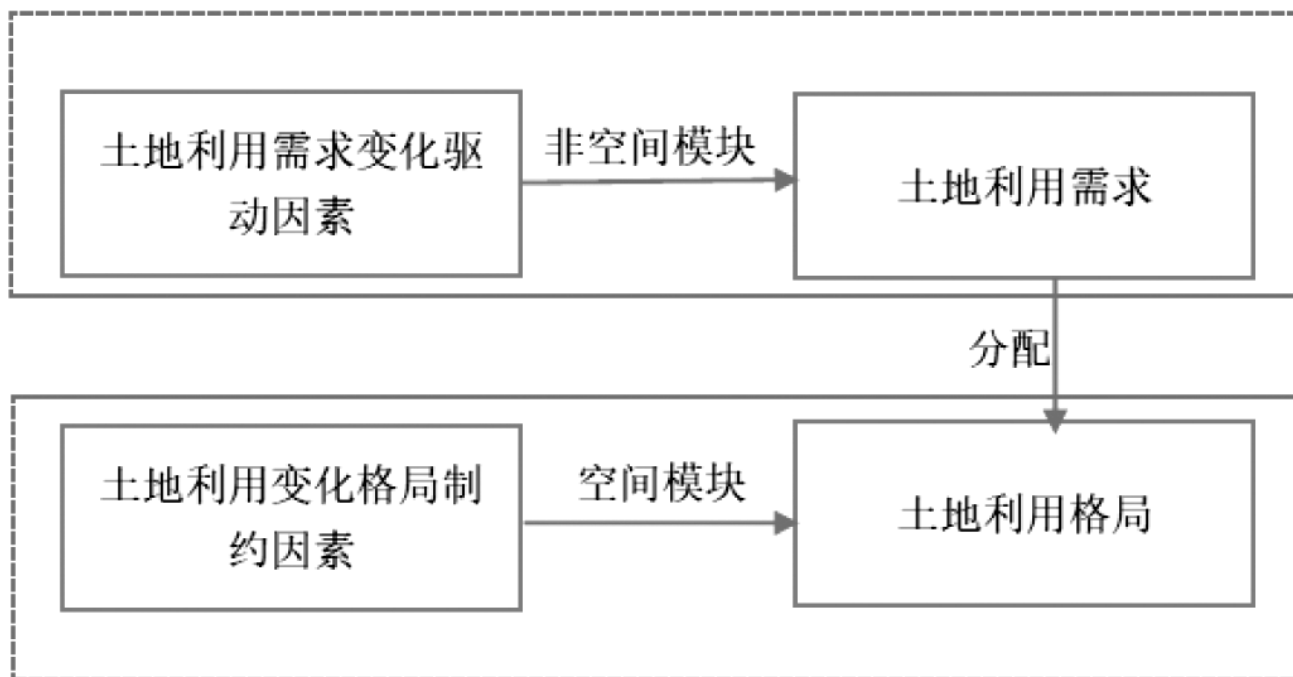


图 1 CLUE-S 模型结构图

2.3 CLUE-S 模型的研究进展

在综合模型中，基于系统理论的CLUE 及其衍生模型CLUE-S 模型，在国内国外都已经有了了一定的应用，且研究结果较为丰硕。从模型的应用区域来看，在国外，CLUE 模型主要运用于滨海、热带雨林等环境较为特殊的地区来模拟土地利用的变化，如菲律宾（Verburg P H et, 2006），越南（JCCastella et, 2007），泰国（Trisurat Y et, 2010）等地。CLUE-S 模型主要应用于空间尺度较小的研究地区。在国内，蔡玉梅、刘彦随（2004）介绍了CLUE-S 模型的基本原理并将其运用在对邯郸地区的土地利用空间分配问题的解决上。段增强（2004）则以北京为研究区域，深入对CLUE-S 进行改进，得到了CLUE-S II 模型，运用CLUE-S II 模型对北京土地利用变化进行探究，实现了邻域分析和自组织过程的模拟。此外，在国内的研究中，一个研究热点是CLUE-S 模型中土地利用变化驱动因子的选择。驱动因子因研究区域自身的特征而异，是CLUE-S 模型中的重要参数，对CLUE-S 模型最后的模拟效果起到决定性作用。宋蔚（2010）利用CLUE-S 模型对长江沿岸城市进行土地利用变化模拟时，依据长江沿岸城市的地理特征，将距长江岸线的距离纳入到驱动因子体系中；张丁轩、付梅臣等（2013）利用CLUE-S 模型对矿业城市的土地利用变化进行模拟的研究中，基于矿业城市自身的特色，将空间可达性以及空间约束纳入到驱动因子体系中。

在应用CLUE-S 模型进行土地利用变化情景模拟的研究方面，郑江坤、余新晓（2010）基于灰色线性规划和CLUE-S 模型对潮白河上游2008 年的土地利用状况以生态服务价值为目标进行了结构优化与空间格局配置。曾永年（2014）对青海高原东部地区的土地利用进行了情景模拟，并用采用景观格局指数和景观生态风险指数比较了自然情景、耕地保护情景和土地规划情景这3 种情景模拟结果，并认为在土地规划情景下的模拟布局结果较为合理。因此通过以上研究，可以认为CLUE-S 模型可以较好的模拟杭嘉湖平原区土地利用对生态环境的情景模拟。

3 基于Clue-s 模型的研究路线

基于CLUE-S 模型来研究杭嘉湖平原区土地利用生态环境影响情景模拟，主要分为驱动因子设置，模型参数设置，空间分析

(Logistic 回归分析)，动态模拟与模型检验等过程。

3.1 驱动因子的设置

驱动因子的选取要遵循以下几个原则：①数据的可获取性；②驱动因子能定量化；③在研究区域内存在空间差异性；④在研究区域土地利用变化有较大的关联性；⑤数据资料的一致性；⑥自然和社会经济因子兼顾。驱动因子分为静态因子与动态因子。以年为单位逐年进行设置。

静态驱动因子主要包括各栅格距离线状地物（如道路）的距离，距离面状地物（水源地）和距点状地物（行政中心）的距离，还包括该栅格的地貌特征。

动态因子主要为社会、经济因素，将其分类后主要可分类为人口数据（总人口与农业人口）和产值数据（GDP）。这类因子须逐年进行设置，以便进入 CLUE-S 模型以后进行逐年模拟。依据杭嘉湖平原地区的实际情况和上述原则，本研究可提取 11 种驱动因子见表 2。

表 2 杭嘉湖平原地区土地利用变化的驱动因子

驱动因子	描述
GDP	每个栅格的中心的 GDP 总量
人口	每个栅格的中心的人口数量
距城镇距离	每个栅格的中心距城镇的距离
距公路距离	每个栅格的中心距公路距离
距铁路距离	每个栅格的中心距铁路距离
距河流距离	每个栅格的中心距河流距离
距机场距离	每个栅格的中心距机场距离
距湖库距离	每个栅格的中心距湖库距离
高程	每个栅格的中心的高程值
坡度	每个栅格切平面与水平地面的夹角
距各级政府的距离	每个栅格的中心距各级政府的距离

3.2 模型参数

Clue-s 模型相对比较复杂，各参数设置如表 3 所示。

表 3 CLUE-S 模型参数

文件名	说明
Mainl	对模型进行编辑的主要设置
Alloc.reg	回归方程参数设定
Allow.tx	土地利用转换矩阵
Region_park*.fi	区域约束文件（* 代表不同的约束文件）
Demand.in*	不同情景下地类需求输入文件（* 代表不同的情景假设文件）
Cov-all.0	模拟起始年份的土地利用类型图
Sclgr*.fil	驱动力文件空间分布（* 代表驱动力的序号）

3.3 空间分析

土地利用空间布局系统与区域的人口、资源、环境等方面条件具有很高的相关性，但是这一相关性一般不易被观察到，也不容易用一般的回归分析法来定量。那就需要借助地理信息系统（GIS）等相关工具来可以处理空间图形数据，并借助相应的数学方法将这些空间图形进行直接分析。

CLUE-S 模型采用 Logistic 逐步回归的方法定量分析了土地利用空间格局与各驱动因子之间的关系。Logistic 逐步回归法适用于因变量是 0 ~ 1 变量并且自变量是连续变量的数据。它可以解释各土地利用类型与各驱动因素之间的关系。Logistic 回归计算公式：

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_n X_i$$

式中，i（1、2、3……）表示地类号， β 表示每一个栅格中可能出现某一个地类i（1、2、3……）的概率，X 表示各备选驱动因素。Logistic 逐步回归的方法可以选择出土地利用空间布局中较为显著影响的因素，同时将不显著的影响因素剔除掉。

3.4 动态模拟和模型检验

利用CLUE-S 模型得到的结果是由驱动因子与空间制约因素之间的关系而生成的土地利用类型概率分布图，用来衡量不同土地利用类型在每一空间单元的分布的适用程度，以土地需求为迭代的目标，模拟出土地利用的变化状况。通过对2005 ~ 2015 年杭嘉湖土地利用的变化构建模型模拟，若检验值KAPPA 取得了预期的效果，将之用于该地区未来的土地利用变化模拟是可行的，那么我们可以用2005 年土地利用数据为基期年份分别模拟出杭嘉湖地区未来5 年的土地利用变化情况。将相关参数输入至模型中后，以一年为单位进行逐年回归，最后得出结果。结果可以用GIS 软件呈现出来。

4 杭嘉湖土地利用变化对生态环境的影响

土地利用变化对生态环境造成的影响可大致分为：土地利用规模和布局的变化对生态环境造成的影响及土地利用方式的改变对生态环境造成的影响两大类（钟云飞，2011）。由于经济发展和人口增加，土地利用方式呈现多样化趋势。人地矛盾也不断突出，通过调整土地利用结构来改善生态环境的空间较小。非农用面积不断增加，建筑用地相应增多，导致占用了大量草地，破坏大面积的植被，应建筑施工形成的大量废渣废气，易造成工程性水土流失。农业结构内部调整变化剧烈也会引发新的环境问题。但是，合理的土地利用方式也会改善生态环境。适度开发难度大的未利用土地，进行土地整理复垦，改良中低产田，治理盐碱化、沙化耕地，解决污染农田和水土流失等问题，集约利用土地，提高耕地利用率和产出率，改善农田水利条件和作物的生长环境，优化农业生态系统，促进了农业自然资源的合理利用，实现了农业生产的良性循环（马文娟等，2015）。

5 结语

随着我国工业化、城镇化的快速推进，人口、资源、环境之间的矛盾与冲突越来越凸显。按照人口资源环境相均衡、经济社会生态效益相统一的原则，开展区域土地生态环境影响研究，对实现区域社会经济协调稳定发展、促进国家“五位一体”战略目标顺利实现具有十分重要的意义。在新型城镇化快速推进期，开展土地生态环境影响研究，分析杭嘉湖平原地区近10年来土地利用变化引发的环境效应，构建土地利用环境影响动态模型，开展今后5~10年杭嘉湖平原地区土地利用变化环境效应的预测与评估不仅可以为国民经济发展规划、土地总体利用规划及制定相关土地政策提供决策依据，其成果还可以为土地承载力预警等其他土地研究提供参考依据。开展区域土地利用的生态环境影响评估，是生态文明建设的现实需要。基于CLUE-S模型，对今后不同社会经济发展态势的土地利用环境影响进行情景模拟。在此基础上，在将来的研究上可以通过构建土地利用生态环境评估指标体系，进而识别出区域土地利用与生态环境之间的关系，从而可以提出针对性的对不利环境影响的减缓措施，促进杭嘉湖平原区社会、人口、经济和生态环境之间的和谐与可持续发展。

【参考文献】

- [1] Verburg P.H., Overmars, K.P., Huigen, M.G.A., de Groot, W.T., Veldkamp A. Analysis of the effects of land use change on protected areas in the Philippines. *Applied Geography*, 2006, 26 (2): 153-173.
- [2] Castella, J.-C., Kam S.P., Quang D.D., Verburg, P.H., Hoanh, C.T., Combining top-down and bottom-up modelling approaches of Land Use/Cover Change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. *Land Use Policy*, 2007, 24 (3): 531-545.
- [3] Trisurat, Y, Alkemade, R, Verburg, P. Projecting Land-Use Change and Its Consequences for Biodiversity in Northern Thailand. *Environment Management*, 2010 (245): 626-639.
- [4] 蔡玉梅, 刘彦随, 等. 土地利用变化空间模拟的进展—CLUE-S 模型及其应用[J]. *地理科学进展*, 2004 (23): 63-71.
- [5] 段增强, P.H. Verburg, 等. 土地利用动态模拟模型的构建及其应用—以北京市海淀区为例[J]. *地理学报*, 2004 (6): 1037-1047.
- [6] 宋蔚. 基于CLUE-S 模型的南通市港闸区土地利用变化模拟[D]. 南京: 南京师范大学, 2010.
- [7] 张丁轩, 付梅臣, 等. 基于CLUE-S 模型的矿业城市土地利用变化情景模拟[J]. *农业工程学报*, 2013 (12): 246-256.

-
- [8] 郑江坤, 余新晓, 夏兵, 等. 基于生态服务价值的潮白河上游土地利用优化[J]. 农业工程学报, 2011 (12): 337-344.
- [9] 曾永年, 靳文凭, 王慧敏, 等. 青海高原东部土地利用变化模拟与景观生态风险评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30 (4): 185-194.
- [10] 宋蔚. 基于CLUE-S 模型的南通市港闸区土地利用变化模拟[D]. 南京: 南京师范大学, 2010.
- [11] 钟云飞. 东北黑土区小流域水土保持综合治理效益分析[D]. 长春: 吉林大学, 2011.
- [12] 马文娟, 蒲春玲, 苏丽丽, 等. 昌吉市土地利用变化对生态环境影响分析[J]. 天津农业科学, 2015 (12): 29-32, 36.