DOI: 10.5846/stxb201503030409
许小亮,李鑫,肖长江,欧名豪.基于 CLUE-S 模型的不同情景下区域土地利用布局优化研究.生态学报,2016,36(17): - .
Xu X L, Li X, Xiao C J, Ou M H.Land use layout optimization under different scenarios by using the CLUE-S model.Acta Ecologica Sinica,2016,36(17): - .

基于 CLUE-S 模型的不同情景下区域土地利用布局优化研究

许小亮[1],李 鑫[2,3],肖长江[1],欧名豪[1,*]
1 南京农业大学 土地管理学院,南京 210095
2 江苏师范大学 测绘学院,徐州 221116
3 英属哥伦比亚大学 地球与环境科学系,基劳纳 V1V1V7

摘要:土地利用规划要求把土地资源最终配置在空间上,而现有文献更多是对土地利用结构的优化,很少对全局土地利用布局优化,鉴于此,为减轻土地利用规划的多目标冲突,同时为提高资源配置效率,释放空间效应,论文对不同情景下的土地利用布局优化进行研究。首先用非线性优化模型中的理想点法求取了不同情景下最优土地利用结构,之后用 Logistic 回归提取了不同用地的优化布局规则,最后以不同情景下的土地优化结构为数量约束,借助 CLUE-S 模型的全局配置能力对各情景下的用地布局作优化,并以扬州市为实例进行阐述。结果表明:(1)优先发展经济情景下,2025 年扬州土地利用经济产值是 10.4×10^7万元,优先保护生态情景下,目标年生态服务价值是 9.7×10^5万元,保障公众福利情景下,公众福利大小是 351271 hm^2;(2)经济增长目标对土地利用结构的情景变化最为敏感,而公众福利目标的敏感性最小;(3)与基期年比,发展经济与保育生态情景下的土地优化布局变化最大,前者主要是市区城镇工矿用地向东部及西北扩张,后者则是在西南丘陵及南部长江岸边配置了大量园地、林地。提出的不同情景下土地利用布局的优化方法可为土地利用规划及生态规划提供有力技术支持。

关键词:CLUE-S 模型;情景;土地利用布局优化;理想点法;优化布局规则

Land use layout optimization under different scenarios by using the CLUE-S model

XU Xiaoliang[1], LI XIN[2,3], XIAO Changjiang[1], OU Minghao[1,*]
1 *College of Land Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing* 210095, *China*
2 *School of Geodesy and Geomatics, Jiangsu Normal University, Xuzhou* 221116, *China*
3 *Department of Earth and Environmental Sciences, UBC Okanagan Campus, Kelowna V1V1V7, Canada*

Abstract: Land use planning involves categorizing spatial units on the basis of land use type to yield optimum productivity. While the planning is known to have two approaches—land use proportion optimization and land use layout optimization,—studies have mostly focused on the former quantitative approach, rarely attending to the latter. The existing literature applies some time-consuming heuristic methods to optimize land use layout, and therefore, this study attempts to solve this using the CLUE-S model with a reference point approach. While this model has been widely used to simulate future land use layout, there exist great differences between optimization and simulation, as optimization aims to achieve better benefits from land use layout, while simulation is used to deduce a layout with rules involving historical changes. In order to realize the multiple objectives of land use and to optimize land use layout for spatial welfare, thus increasing land resource allocation

基金项目:国家自然科学基金项目(41401627);江苏省自然科学基金项目(BK20140236);江苏省高校哲学社会科学项目(2014SJB373)
收稿日期:2015-03-03; **网络出版日期**:2015-00-00
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: mhou@ njau.edu.cn

efficiency, this study focuses on the regional land use layout optimization under different scenarios. First, a reference point programming approach is formulated to optimize land use structures in the different scenarios. Then, optimal distribution rules for different land use types are extracted from current land use map through logistic regression. Finally, using optimal land use structure as the quantity constraint, the CLUE-S model embedded with optimized layout rules is applied to optimize overall land use layout in the different scenarios. The results of this study show the following: the economic value of land use is 1040 billion RMB under the economic priority scenario, the ecological value is 9.7 billion RMB under the ecology priority scenario, and the area of land that represents human well-being is 351271 hectares under the scenario of public well-being priority. The goal of economic growth is the most sensitive to scenario variation of land use structure, while the public well-being goal is the most insensitive to scenario variation. Compared with the existing layout, there are drastic differences in the land use optimal layout under the economic priority scenario, where urban land expands towards east and northwest as well as in the ecology priority scenario, where the amount of garden and forest land was allocated to the hilly area in the southwest and the Yangtze River side in the south of downtown of Yangzhou city. The method of optimizing land use layout under different scenarios as proposed in this study could supply effective technical assistance for land use plan and ecological plan.

Key Words: CLUE-S model; land use scenario; land use layout optimization; reference point method; optimal land layout rules

土地利用规划的一个重要议题就是其多目标决策,由于有限的土地资源既要用于发展经济、又要用于粮食生产及生态保护,因此如何处理土地利用规划的多目标性一直是该领域的研究热点[1]。土地利用优化是土地利用规划的核心内容,目前国内把土地利用优化分为土地利用结构优化与土地利用布局优化两部分[2],对土地利用结构优化已进行了广泛深入研究,运用常规的优化模型、启发式算法、不确定数学模型等进行了多目标求解[3-5],为土地利用规划提供了一定借鉴,但土地规划不仅仅是土地数量的分配,更重要的是把土地资源配置在空间上,释放空间效应,同时为土地利用活动提供空间管制依据,因此对土地利用布局进行优化就显得尤其重要。目前来看,由于土地利用的空间特性、多目标性及土地利用类型的多样性,国内对土地利用布局优化研究还较少[6-8];国外为了对土地利用规划提供技术支持及建立交互式规划的编制工具,已对土地利用的空间布局优化作了一定研究[9],Stewart et al 与 Cao et al 用遗传算法对土地资源进行了空间优化配置,并且用理想点法处理了多目标决策问题[10-12];Liu et al 用粒子群算法对土地资源进行了空间优化配置,但其用一般加权法处理了多目标决策[13-14],Aert 较早的运用模拟退火算法及线性优化模型对土地利用空间布局进行了优化[15-16]。可见,国内外对土地利用布局的优化研究主要是用启发式算法求取综合效益最大化时布局状况,同时用一定方法处理了其中的多目标决策问题,但是这些方法的一个重要问题是模型运行时间相对较长,而与此同时 CLUE-S 模型表现出很好的空间配置能力,因此可以考虑用 CLUE-S 模型对土地资源作进行化配置以提高其效率。鉴于此,论文用 CLUE-S 模型对多目标背景下的土地利用布局优化进行研究,求取不同情景下的土地利用优化布局状况。首先用非线性优化模型中的理想点法求取了优先发展经济、优先保护环境、优先保障公众福利三种情景下的土地利用优化结构;其次对土地利用现状布局进行优化,以保证用地的分布规则是优化水平,之后用 Logistic 回归方式提取了处在优化状态时的各用地类型的分布规则;再次利用 CLUE-S 模型的全局配置能力把上述三种情景下的土地利用优化结构配置在空间上,形成土地利用优化布局,并以江苏扬州市进行实例分析,以期为土地利用规划及生态规划编制提供切实技术支持。

1 研究方法

本文总体上可分为数量结构求取与空间优化配置两部分,总体思路是:一是用理想点法求取优先发展经济、优先保护生态、优先保障公众福利三种情景下的土地利用优化结构,二是对现状土地利用布局进行优化,

并从其中提取不同用地的分布;三是选择可能影响不同用地空间分布的因子,并把其空间化;四是把不同情景下的土地利用优化结构作为数量约束,及提取的不同用地分布规则纳入 CLUE-S 模型来对不同情景下土地资源进行空间优化配置,得到其优化布局,具体流程见图 1。

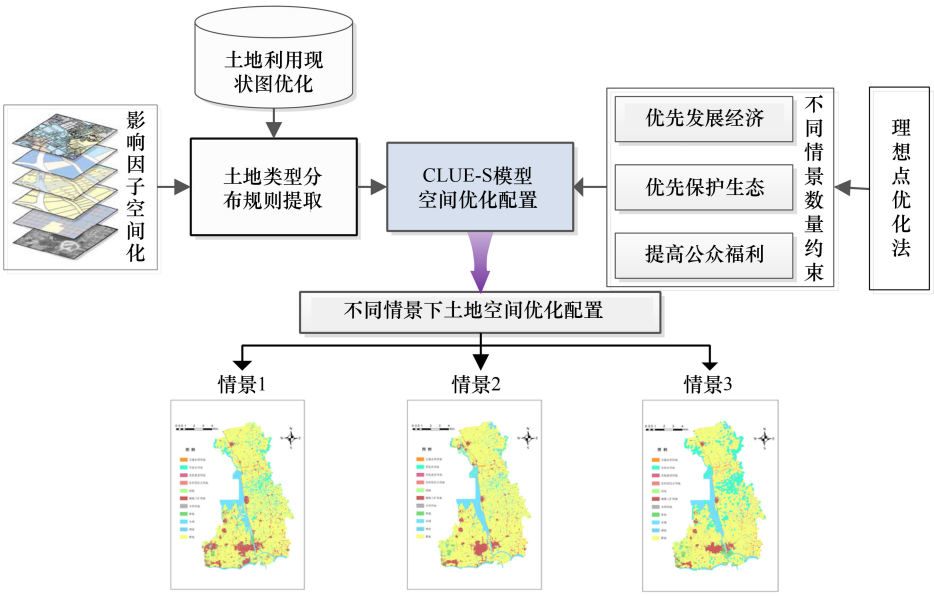

图 1　论文方法流程图

Fig.1　Flow chart of methods applied in this study

1.1　理想点法

多目标土地利用结构优化求解的方法主要有线性加权法与基于启发式算法的线性模型,前者容易产生“极解”,即某一目标值很大,而另一目标值又极小,这与现实情况并不相符,后者虽然有很强的运算搜索能力,可是在多目标决策方面显得不足,即不能对多情景下土地利用结构进行优化。土地利用具有诸多利益相关者,不同主体对土地利用有不同诉求,因此在对土地利用结构优化时,应构建一种交互式优化模型,可以使决策主体看到不同目标与其最优值的差异,并可以根据决策主体对不同目标的偏好,调整模型参数,于是,论文采用非线性优化模型中的理想法,其可求取任一规划愿景下的优化结构,见下式[7,10]。

$$F(z) = Min\left[\left(\frac{f_e(z) - U_e}{L_e - U_e}\right)^{\gamma} + \left(\frac{f_s(z) - U_s}{L_s - U_s}\right)^{\gamma} + \left(\frac{f_g(z) - U_g}{L_g - U_g}\right)^{\gamma}\right]$$

$$s.t: \quad \begin{cases} Ax_i \leqslant b \\ \sum_{i=1}^{n} x_i = N \end{cases} \tag{1}$$

式中 $F(z)$ 表示土地利用结构 z 对应的综合收益,$f_e(z)$ 、$f_s(z)$ 、$f_g(z)$ 则是其经济收益、公众社会福利、生态利益的大小,分别用各土地类型对应的不同目标系数来求取;U 则表示某一目标理想值,即决策者认为优化目标应达到的水平,L 则是其最小值,γ 是用来调整偏差的指数,文献证明 $\gamma = 4$ 较合适[10]。x_i 是某用地类型面积,$Ax_i \leqslant b$ 是对某一用地数量的限制,N 是研究区总面积。实际上,向量 $[U_e, U_s, U_g]$ 是决策者的理想点,可通过调整 U 的大小求取不同情景下土地利用优化结构,调整的前提依据是目标 f 的最优值已知,以最优值百分比作为参照。如在优先发展经济情景下,可设置 U_e 为其最优值的 90%,而 U_s 、U_g 为其最优值 20%,此时求取的用地结构为优先发展经济情景下的土地利用优化结构,保障公众福利、保护生态环境下情景下最优土地结构求取亦类似设置。

1.2　CLUE-S 模型的优化配置应用

CLUE-S 模型是全局土地利用变化的模拟模型,其前身是 CLUE 模型,之后 Peter Verburg 团队进行了改

进,使之能适应区域层面的土地利用布局模拟,并消除了土地利用类型数量及其他各方面的限制,最终形成了2009 版的 Dyna-CLUE 模型。自 1996 年 CLUE 模型问世以来,已对欧洲大陆、中国、菲律宾等地区的土地布局变化进行了模拟,取得了良好效果[17-19]。国内也有大量文献用 CLUE-S 模型对土地利用布局进行模拟[20-22],有些还进行了多情景模拟[23-24]。而模拟是指根据以往土地利用布局变化规律推演未来土地利用布局状况,其假设前提是未来土地利用格局会根据以往的空间变化规律进行变化,而多数情况下该假设前提并不成立,因此模拟结果只是显示如果继续以这样的趋势下去,目标年土地利用布局之状况。编制土地利用规划时,规划师更想得到的是目标年区域最优土地利用布局,即能够取得最大综合收益时的土地利用布局,以此作为未来的规划方案,可见布局优化比布局模拟对规划的借鉴意义更大。因此下面在保证 CLUE-S 模型的配置规则是优化水平前提下,运用其全局配置能力对研究区土地资源进行优化配置。

1.2.1 CLUE-S 模型

CLUE-S 模型可分为两块,一是非空间的土地需求模块,即求取不同类型用地数量以作为空间配置的约束,该部分工作用上述理想点法完成,第二个模块是空间配置模块。CLUE-S 模型的独特优势是可对全局土地利用类型进行空间配置,一般元胞自动机(CA)、多智能体(Multi-agent)模型只能对单一用地类型进行空间配置。CLUE-S 模型的空间配置过程可描述为:从第一个栅格开始,查看该栅格对不同用地的总体适宜度,把栅格属性改变为适宜度最高的用地类型;并同步计算各用地的实时面积,当某一用地面积达到其约束时,则该用地类型配置完毕,继续第二种类型用地的配置,直到配置完毕为止。CLUE-S 模型空间配置关键是总体适宜度的量化,其由三部分组成,见下式:

$$\mathrm{TPROP}_{u,i} = P_{u,i} + \mathrm{ELAU}_i + \mathrm{ITER}_i \tag{2}$$

式中 $\mathrm{TPROP}_{u,i}$ 是栅格 u 对于土地类型 i 的总体适宜度, $ELAU_i$ 是土地类型 i 的转移参数,根据栅格的现状属性确定,表示土地利用类型的转换成本,比如现状是建设用地,则转换为农用地的成本较大,那么在进行农用地配置时 $ELAU_i$ 值设置较大。$ITER_i$ 是土地利用类型 i 的竞争因子,迭代过程中自动设置,且不断改变其大小,目的是为了加快配置速度。$P_{u,i}$ 是栅格 u 对于土地利用类型 i 的“吸引”概率,是土地利用现状图对不同空间因子的 Logistic 回归结果,即土地利用现状的空间分布规则,CLUE-S 模型就是根据该规则推演未来用地布局状况,因此更多的是对未来布局的模拟。可见, $P_{u,i}$ 只表示现状分布规则,若现状分布是优化的,则 $P_{u,i}$ 表示的规则就是优化的,进而 CLUE-S 模型空间配置结果就是优化的,同理,若现状分布不合理,则未来模拟结果亦不合理。于是为得到未来土地利用优化布局,本文先对现状布局进行优化调整,确保不同用地类型的分布规则是优化水平,再提取分布规则,并以此推演未来用地的优化布局。

1.2.2 土地布局优化调整

现状土地利用布局是人们根据自然、经济与社会条件,在对土地资源进行开发、保护与利用基础上形成的空间格局结果,由于一定的历史政策原因,加之土地利用过程中个体的有限理性,土地利用布局在空间上可能有不合理之处。本文结合研究区的实际情况及布局优化调整的可行性,对土地利用现状布局做以下几方面调整:①为了防止水土流失,治理生态环境,响应国家退耕还林政策,把坡度 25°C 之上的耕地变为林地;②为保持湖泊生态平衡,提高湖泊防洪能力,减少洪涝灾害,把湖泊周围 500 m 以内土地变为草地;③把地质塌陷区、生态保护区内的农村居民点变为林地或生态用地;④为防止水土流失,提高土地集约利用水平,把地形起伏度在 70 m 以上的居民点整理为林地;⑤把离城镇及交通干线较远的农村居民点与独立工矿用地复垦为耕地[8]。具体操作可在 Arcgis 平台下用选择、叠加等功能来改变地类属性,由此,可完成对土地利用现状布局的优化调整,之后 CLUE-S 模型可在其中提取不同用地分布的规则。

2 实证研究

2.1 研究区概况与数据来源

扬州位于江苏省中部,长江下游北岸,江淮平原南端,现辖范围介于 119°01′—119°54′E,31°56′—33°25′N

之间。2012 年末扬州市土地总面积 65.91 万 hm^2,其中耕地 33.03 万 hm^2,占土地总面积 50.13%,建设用地 13.11 万 hm^2,占土地总面积 19.89%,水域及水利设施用地 18.32 万 hm^2,占土地总面积 27.8%。近年来扬州经济增长迅速,在全省经济增长放缓背景下,依然保持年均 10%以上增长率,未来 10 年更是扬州市城镇化与工业化发展的关键时期,有大量农村人口迁至城镇居住,经济总量将达到 8000—9000 亿,这必将带来作为生产生活载体的建设用地的大量扩张,可扬州市由于水域众多,耕地后备资源不足,因此经济增长与耕地保护的矛盾愈加尖锐;同时一直来扬州市以生态建设为立足点,境内自然保护区、历史名胜古迹、风景名胜古迹众多,生态资本已成为其发展的核心竞争力,且打造出宜居的品牌优势,可建设用地扩张必然会压缩生态用地空间。综上所述,未来扬州市土地利用面临着既要发展经济,又要保护耕地与生态环境的多重矛盾,土地利用规划编制时如何处理各方面矛盾,以实现土地资源的多目标优化配置是一个很大挑战。鉴于此,论文用理想点法与 CLUE-S 模型对保障经济发展、保障公众福利、保护生态环境三种情景下的土地利用进行优化,求取每种情景下的最优土地利用结构与布局,考察不同目标对土地利用变化的敏感性,并把各种可能多目标组合对应的土地利用结构与布局呈现给决策者。本文提出的理想点法与 CLUE-S 模型可对任意多目标组合下的土地利用布局进行优化,而这里我们只对三种极端情景下的土地资源进行了优化配置,为土地规划决策提供充分参考借鉴,有利于决策者解决规划的多目标冲突。

DEM 经重采样其精度变为 150 m×150 m,利用 DEM 数据可生成坡度数据与起伏度数据;2005 与 2010 两期土地利用现状矢量图由扬州市国土资源局提供,比例尺为 1:30 万;社会经济数据来自历年《扬州统计年鉴》、《江苏省年鉴》、《扬州市国土资源公报》。文中 CLUE-S 模型的栅格单元大小是 150 m×150 m。2010 年数据较全,社会经济数据、矢量数据及土地数据能够相互对应,因此本文基期年设为 2010 年,目标年是 2025 年,需要说明的是基期年对目标年的优化结果影响有限,更多的起到与优化结果对比的作用。

2.2　不同情景下土地利用结构优化

本文土地利用结构优化的三个目标是经济利益、公众福利与生态利益最大化。不同用地类型对应不同经济产出,各用地类型数量乘以相应经济产出系数后加和,便得到土地利用结构的经济利益。公众福利是一个相对概念,因个体不同其内容会有差异,论文认为城市绿地、耕地面积、居住用地面积越大,则代表公众福利越高。生态利益大小以全球陆地系统生态服务价值为计算标准。从扬州市 2025 年人口数量、经济数量、土地集约利用要求、粮食安全与生态需求、资源环境承载阈值等方面构造约束条件,关于经济利益、生态利益及约束条件的有关参数具体见文献 3[3]。先计算单目标优化时各目标的最大值与最小值,把其代入目标函数式 1, L 即是最小值, U 则据不同情景来设置,当优先保障经济发展时 U_e 为其最大值的 90%,其余为各自最大值的 20%,情景 2、情景 3 下 U_s 、U_g 的设置具体见表 1。各项参数设置完毕后,式 1 是一个非线性优化模型,论文在软件 Lingo 中求解不同情景下的土地利用优化结构,具体见表 2。

表 1　不同情景设置及对应目标值大小—单位:万元、公顷

Table 1　The three land use scenarios and its targets values—Measurement Unit: Million Yuan、hm^2

情景类型 Scenario type	U_e /占最优比重 Ration to the optimal economical benefit	U_s /占最优比重 Ration to the optimal social benefit	U_g /占最优比重 Ration to the optimal ecological benefit	目标 1 Goal 1	目标 2 Goal 2	目标 3 Goal 3
情景 1 Scenario 1	0.9	0.2	0.2	10.4×10^7	330848	8.4×10^5
情景 2 Scenario 2	0.2	0.9	0.2	9.1×10^7	351271	8.3×10^5
情景 3 Scenario 3	0.2	0.2	0.9	6.5×10^7	330848	9.7×10^5

(1) 优先发展经济情景。研究结果发现当土地利用情景为优先发展经济时,可产生经济利益 10.4×10^7万元,同时代表公众福利的用地面积是 330848 hm^2,生态利益为 8.4×10^5万元,其土地利用结构中,城镇工矿用地是 40157.97 hm^2,增长 8.86%,交通水利用地增长了 100%,林地数量是 16478.03 hm^2,与基期年比增长了近 2 倍,这是因为这些用地的经济产出系数较高,在经济利益最大化目标下,数量会趋向于其约束区间的上限,而

其他农用地、农村居民点及滩涂沼泽则出现了较大幅度减小,这因为该些用地经济产出系数小,因此需要把其整治而补充耕地或用于城镇建设。

表 2 不同情景下土地利用结构—单位:公顷

Table 2 land use structure of different scenarios—Measurement Unit: hm^2

变 量 Variables	土地利用类型 Land use type	现状 Current structure	情景 1 Structure of Scenario 1	情景 2 Structure of Scenario 2	情景 3 Structure of Scenario 3
x_1	耕地	284064.89	314391.00	314391.00	314391
x_2	园地	13082.81	9157.96	11120.385	18158.86
x_3	林地	5129.22	16478.03	8478.03	16478.03
x_4	牧草地	0	0.00	0	0
x_5	其它农用地	49261.06	30297.90	40054.88	54057.61
x_6	城镇工矿用地	36889.42	40157.97	37083.35	30157.97
x_7	农村居民点用地	64405.22	15200.64	34290.03	15200.64
x_8	交通水利用地	20127.01	41499.69	25093.67	17739.98
x_9	其它建设用地	1867.06	1256.58	2590.77	1256.582
x_{10}	水域	172366.25	180984.60	174320.91	180984.6
x_{11}	滩涂沼泽	11157.78	8926.40	11157.78	9926.4
x_{12}	未利用土地	770.31	770.31	540.23	770.31

(2) 保障公众福利情景。当土地利用情景为保障公众福利时,更多用地被安排为居住用地,城市用地及耕地,因此,经济利益减小为 9.1×10^7 万元,降低了 12.5%,生态利益变为 8.3×10^5 万元,代表公众福利的用地面积提高至 351271 hm^2,比情景 1 提高了 6.17%,此时,经济利益降低可看作对目标 2 的妥协,即以降低 12.5% 的经济产出为代价换取了公众福利 6.17%的提高,但这并不能说明情景 1 土地利用结构好于情景 2 的土地利用结构,因为不同群体对经济利益、公众福利有自身价值判断,不能因经济利益降低幅度大于公众福利提高幅度断定情景 1 优于情景 2。情景 2 的土地利用结构中,农村居民点用地只减少了 46.75%,论文潜在假设是认为农村居民点减少过快,农民可能得不到妥善安置因此影响福利水平,风景旅游用地、垃圾掩埋用地等其他建设用地有一定幅度提高,而由于可开垦后备资源有限,耕地数量只维持在 314391 hm^2,并没有大幅度提高,城镇工矿用地只有小幅增加,考虑了集约利用要求及忽视经济增长需求外,可满足目标年城镇人口居住需求。

(3) 保护生态环境情景下。该情景下生态利益提高至 9.7×10^5 万元,比情景 1 提高了 15.48%,经济利益变为 6.5×10^7 万元,降低了 37.5%,这是不同优化目标相互协调之结果,情景 3 的土地利用结构中,生态利益产出能力较强的土地利用类型面积有较大提高,比如林地、园地、其它农用地,其中其它农用地面积变为 54057.61 hm^2,比基期提高了 9.74%,这是因为其它农用地主要是一些坑塘、沟渠,在生态系统中具有重要作用,赋予其的生态服务价值系数较大,水域面积亦有一定提高,可滩涂沼泽面积反而有下降,是因在土地利用过程中必须进行土地整治以补充耕地资源,而相对来说,赋予滩涂沼泽的生态利益系数小,因此会把部分滩涂沼泽转化为其他用地。

表 1 中可以看出不同利益目标对于不同情景设置会有变化,论文把这种变化定义为敏感性,比如经济利益变化区间是[6.5×10^7,10.4×10^7],变化幅度是 37.5%,敏感性较高;而公众福利目标变化区间是[330848,351271],变化幅度只有 6.17%,敏感性较小,即在现有约束条件下对土地利用结构优化时,社会公众福利目标总是处在一个较高水平;生态利益目标的变化区间是[8.3×10^5,9.7×10^5],敏感性居中。同时可发现,表 2 中各情景土地优化结构的一个总体趋势是耕地面积增加,农村居民点与滩涂面积减少,即不管未来是发展经济还是生态保护情景,扬州市土地利用管理的一项重要任务是土地综合整治以补充耕地面积。

2.3 基于优化布局的各用地分布规则提取

已求取了不同情景下最优土地利用结构,可土地利用规划的最终成果不仅停留在各用地数量指标的分配

上,还需要形成最终的用地布局,以作为未来土地利用活动空间管制的依据,且同一土地利用结构若其空间布局不同,则产生的效果与作用大不相同,由于土地资源的空间特性,必须对土地利用布局进行优化,才能取得最大综合利益。下面首先用 Logistic 回归方式提取不同用地类型的优化布局规则,再以该些规则为指导,借助 CLUE-S 模型的空间配置能力把不同情景下的土地优化结构配置在空间上。

CLUE-S 模型认为土地利用现状布局是人类根据各种自然经济因素经一定时期土地利用而形成的空间结果,那么现状布局可认为是因变量,而相关空间因素则自变量。于是论文选择高程、坡度、地形起伏度、与城市距离、与镇中心距离、与水体距离、与县级以上道路距离、与乡级道路距离等 8 个因子作为自变量,并把因子空间化。用 DEM 文件产生坡度与起伏度,用欧式距离(Euclidean Distance)产生其他因子的空间化文件;提取不同用地类型的栅格图,每一个栅格对某用地类型都有是—1 与否—0 两种可能,这正是 Logistic 回归的因变量。把上述空间化文件放至 dyna_clue 文件夹,再用 File Converter 工具做变换,具体是随机选择一些栅格,且把该些栅格对应的因变量与自变量输出至 stat.txt 文件,再导入计量软件中,设置好因变量与自变量,选择逐步回归法进行 Logistic 回归以求取不同用地分布相对于各驱动因子的回归系数,即各用地类型的分布规则,具体见表 3。表中可看出,耕地分布与城市距离呈正相关,即与城市距离越大,耕地分布的可能性越高;与高程、坡度呈负相关,即某栅格坡度越大、高程越高,则该栅格的土地利用类型为耕地的可能性越小;与乡级道路距离呈负相关,离乡级道路越近,则耕地分布数量越多,这可能是因为受耕作半径影响,乡级道路周围耕作便利的土地更宜于变为耕地。园地分布与城市距离呈负相关,且负相关程度是 4.5×10^{-5},超过了耕地的 1.16×10^{-5},与高程呈正相关,即海拔越高,空间单元为园地的可能性越大,与水体距离呈负相关,即离水域越近,则更宜于变成园地。林地分布规则中,与水体距离越小,则越有利于林地分布,且林地更多分布在离城镇较远地区。城镇工矿用地分布的可能性与城市距离呈负相关,离城市越近,则其分布可能性越大,与坡度、高程呈负相关,坡度越大,高程越高,则不宜于城镇工矿用地分布,与县级以上道路距离呈显著负相关,表明其更多分布在主要交通干线周围。上述不同用地分布规则表现出很大合理性,论文认为这些规则已处于优化水平,于是以这些规则为标准推演的未来用地布局也是优化的。

表 3　土地利用优化布局规则的 Logistic 表示

Table 3　Optimal criterion of land use layout with Logistic regression form

地类 Land use type	ROC 值 ROC value	常数 Constant	与城市距离 Distance to urban	高程 Altitude	坡度 Slope	与水体距离 Distance to water	与县道路距离 Distance to County rank road	与乡道路距离 Distance to town rank road	与镇中心距离 Distance to town center	起伏度 Relief
耕地 Cultivated land	0.723	9.16×10^{-1}	1.16×10^{-5}	-1.02×10^{-2}	-1.05×10^{-1}	-3.34×10^{-5}	1.41×10^{-4}	-1.18×10^{-4}	8.24×10^{-5}	-1.68×10^{-2}
园地 Garden land	0.819	7.70×10^{-1}	4.50×10^{-5}	1.45×10^{-2}	—	-1.36×10^{-4}	-5.25×10^{-5}	-2.11×10^{-4}	-1.08×10^{-4}	6.62×10^{-3}
林地 Forest land	0.761	-1.02	6.20×10^{-5}	—	—	-1.12×10^{-4}	9.72×10^{-5}	-1.05×10^{-4}	5.26×10^{-5}	1.40×10^{-2}
草地 Grass land	0.698	1.96×10^{-1}	7.21×10^{-6}	1.55×10^{-3}		-2.08×10^{-6}	7.88×10^{-6}	3.01×10^{-5}	—	$3.53\times10^{-}$
城镇工矿 Urban and mine land	0.757	6.88×10^{-1}	-1.11×10^{-4}	-1.99×10^{-2}	-6.99×10^{-2}	—	-8.08×10^{-5}	—	-2.47×10^{-5}	-1.26×10^{-2}
农村居民点 Rural residence	0.772	1.43	-8.93×10^{-5}	-3.35×10^{-3}	—	2.48×10^{-5}	-2.97×10^{-5}	-9.08×10^{-5}	-1.05×10^{-5}	-7.85×10^{-3}

2.4　不同情景下土地利用布局优化

表 3 已得到 6 种用地的优化布局规则,还有其它农用地、其它建设用地、交通水利用地、水域,未利用地等 6 类用地,该些用地很难找到一些影响因素与其分布相关,于是在配置时把其作为不参与空间配置部分,以现状为基础进行缓冲区分析,直到缓冲区面积等于其在不同情景下数量约束为止,把不参与空间配置部分写入 region.fil。把不同用地分布规则,即表 3 内容写入 alloc.reg 文件,把每一情景下的土地利用优化结构写入 demand.in 文件,每次只能对一种情景下的土地利用布局做优化。本文是以 2010 年为基础对 2025 年进行空

间优化配置,因此,最终空间配置结果在 cov_all.15 中。论文先是以 2005 年为基础,模拟扬州 2010 土地利用布局,与 2010 现状图比,其 Kappa 指数是 0.7568,大于 0.75,可以接受,表明两者有很大一致性,CLUE-S 模型对扬州土地利用布局模拟有很高精度,可用于未来土地资源空间配置。

(1) 优先发展经济情景。经济优先发展情景下土地利用布局优化图中城镇工矿用地扩张明显,市区城镇用地主要向东部与西北部扩张,是因为东部受市区及江都市的双重辐射影响,土地单元对城镇用地的适宜性更高,因此更宜于城镇扩张,且可把江都市与市区连为一体,优化城市空间格局,加快城市组团建设;向西北部扩张是因扬州市火车站及高速路口等在此交汇,交通区位优势明显,土地开发活跃,且邗江工业园坐落于此,其产业集聚效应亦带动了周围土地开发;仪征北部有大量城镇用地分布,可能是以镇为中心并结合主要交通干线形成的副县级城市;宝应县的城镇用地出现了缩减,而高邮市则是小规模扩张;经优化后另外一个变化是林地、园地数量增加,且主要分布在西南丘陵区,该地区地势较高不宜于耕作,从比较优势来看配置成园地、林地综合效益更高,见图 2、图 3。

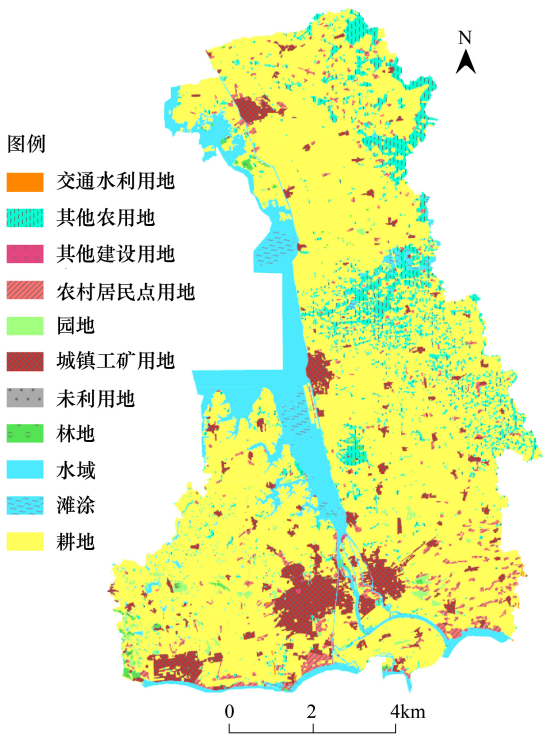

图 2 基期年土地利用现状图

Fig.2 Current spatial land use layout

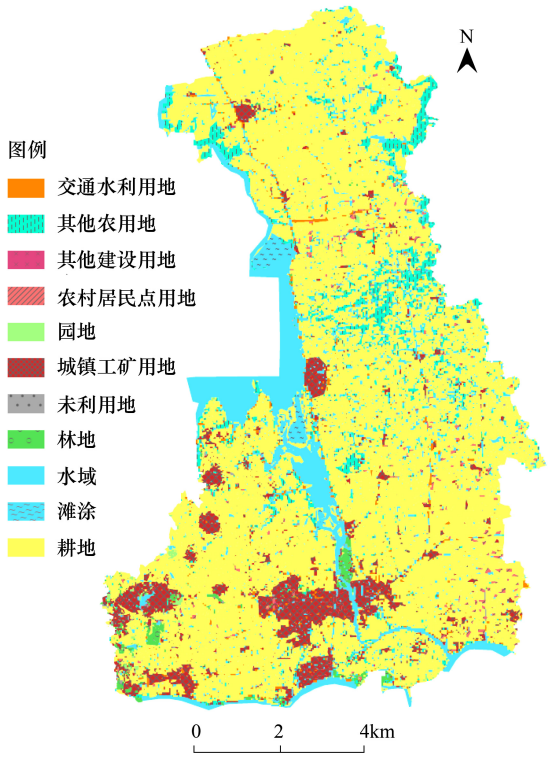

图 3 发展经济情景下土地利用优化布局

Fig.3 Optimal land use layout under the Economic priority scenario

(2) 优先保障福利情景。该情景下的土地利用优化布局中一个明显的变化是耕地资源分布增加,农村居民点、其他农用地分布相对减少,通过土地综合整治增加了耕地面积;此外城市周围或内部,风景旅游用地明显增加,民众休憩及康乐空间增加,因而社会福利增加;该情景下城镇土地扩张不明显,市区只是向西北部有小部分扩张,见图 4。

(3) 生态优先背景下。此情景下的土地利用优化布局中里下河中部的其他农用地增加明显,林地、园地等生态用地增加明显,主要分布在西南丘陵区、市区南部的长江岸边、市区东部的廖家沟,对市区形成了生态防护网络,可以吸纳市区排出的污染气体,同时起到水土保持作用,生态效果明显;然而生态优先背景下,城镇用地却出现了减少,一些城镇被缩减,同时市区西南部出现缩减,而在西北部却小部分增加;零散的农村居民点被整治为耕地,并且新增村庄用地不明显,见图 5。

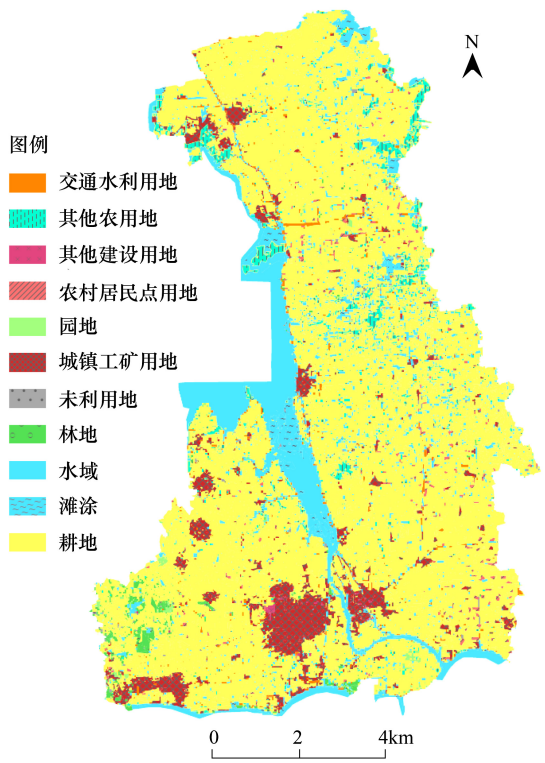

图 4　公众福利情景下土地利用优化布局

Fig.4　Optimal land use layout under the Well being priority scenario

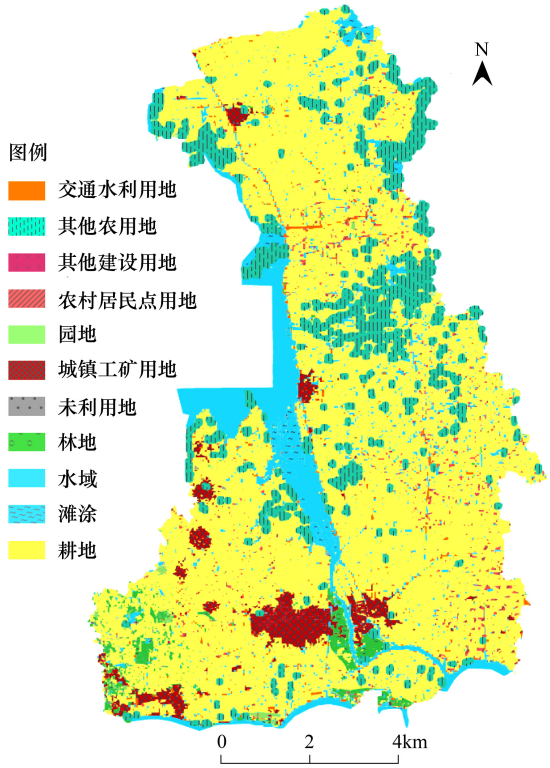

图 5　生态保护情景下土地利用优化布局

Fig.5　Optimal land use layout under the Ecology priority scenario

土地规划人员可根据扬州市未来发展战略,选择不同情景下的土地利用优化布局,当然上述三种情景只是三种极端情景,可表示为三个顶点的三角形,而未来土地利用决策必然是位于三角形内的某个点,其土地优化布局亦会介于图 3—图 5 之间,同时也可用本文提出的方法,根据决策者对不同目标的偏好,产生任一情景下的土地利用优化布局,这为复杂条件下扬州市土地空间规划编制提供了较好的参考借鉴。

3　结论

论文对不同情景下的土地利用布局进行优化,首先用非线性优化模型中的理想点法求取了不同情景下最优土地利用结构,再对现状用地布局进行优化,之后用 Logistic 回归提取了不同用地的优化布局规则,最后以不同情景下的土地利用优化结构为数量约束,以提取的优化布局规则为准则,借助 CLUE-S 模型的全局配置能力对各情景下的用地布局进行了优化,并以扬州市为实例进行了阐述。本文提出的基于理想点法与 CLUE-S 模型的土地利用布局优化法,可根据决策主体对不同目标的偏好设置不同情景,产生任一情景下的土地优化布局,因此可为土地利用规划及生态规划编制提供有力技术支持。本文的主要研究结论是:

(1)由于土地资源的空间特性,除了对土地利用结构优化外,还应对土地利用布局优化。相同的土地利用结构,由于空间布局不同,产生的综合效益可能迥异,因此为了提高土地利用综合利益,释放空间效应,应对空间布局进行优化,把土地资源配置到适宜度更高的单元。(2)本文提出的基于理想点法与 CLUE-S 模型的土地利用布局优化方法,可根据决策主体对不同目标的偏好设置不同情景,并对不同情景下土地利用布局作优化,因此可为规划编制提供有力技术支持。(3)三种情景下的土地利用优化布局只是复杂不确定环境下的三种特殊情况,未来土地利用优化布局很可能介于三者之间。区域土地利用战略应是多目标的,即包括经济发展、公众福利,又包括生态保育,三种情景下的土地利用布局优化,可使决策者了解不同情景下的各目标水平及变化,从而有利于决策者了解多目标耦合中的妥协过程,有助于减轻多目标冲突。

参考文献(References):

[1] Xiao N C, Bennett D A, Armstrong M P. Interactive evolutionary approaches to multiobjective spatial decision making: A synthetic review. Computers, Environment and Urban Systems, 2007, 31(3): 232-252.

[2] 王万茂. 土地利用规划学 (第七版). 北京: 中国大地出版社, 2008: 276-325.

[3] 李鑫, 欧名豪, 刘建生, 严思齐. 基于不确定性理论的区域土地利用结构优化. 农业工程学报, 2014, 30(4): 176-184.

[4] 刘艳芳, 李兴林, 龚红波. 基于遗传算法的土地利用结构优化研究. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30(4): 288-292.

[5] Campbell J C, Radke J, Gless J T, Wirtshafter R M. An application of linear programming and geographic information systems: cropland allocation in Antigua. Environment & Planning, 1992, 24(4): 535-549.

[6] 袁满, 刘耀林. 基于多智能体遗传算法的土地利用优化配置. 农业工程学报, 2014, 30(1): 191-199.

[7] 刘殿锋, 刘耀林, 刘艳芳, 赵翔. 多目标微粒群算法用于土地利用空间优化配置. 武汉大学学报: 信息科学版, 2013, 38(6): 751-755.

[8] 李鑫, 马晓冬, 肖长江, 欧名豪. 基于 CLUE-S 模型的区域土地利用布局优化. 经济地理, 2015, (1): 162-167, 172-172.

[9] Janssen R, van Herwijnen M, Stewart T J, Aerts J. Multiobjective decision support for land-use planning. Environment and Planning B-Planning & Design, 2008, 35(4): 740-756.

[10] Stewart T J, Janssen R, van Herwijnen M. A genetic algorithm approach to multiobjective land use planning. Computers & Operations Research, 2004, 31(14): 2293-2313.

[11] Stewart T J, Janssen R. A multiobjective GIS-based land use planning algorithm. Computers, Environment and Urban Systems, 2014, 46: 25-34.

[12] Cao K, Huang B, Wang S W, Lin H. Sustainable land use optimization using Boundary-based Fast Genetic Algorithm. Computers, Environment and Urban Systems, 2012, 36(3): 257-269.

[13] Liu Y L, Liu D F, Liu Y F, He J H, Jiao L M, Chen Y Y, Hong X F. Rural land use spatial allocation in the semiarid loess hilly area in China: Using a Particle Swarm Optimization model equipped with multi-objective optimization techniques. Science China Earth Sciences, 2012, 55(7): 1166-1177.

[14] Liu X P, Ou J P, Li X, Ai B. Combining system dynamics and hybrid particle swarm optimization for land use allocation. Ecological Modelling, 2013, 257: 11-24.

[15] Aerts J C J H, Eisinger E, Heuvelink G B M, Stewart T J. Using linear integer programming for multi-site land-use allocation. Geographical Analysis, 2003, 35(2): 148-169.

[16] Aerts J, Van Herwijnen M, Janssen R, Stewart T. Evaluating spatial design techniques for solving land-use allocation problems. Journal of Environmental Planning and Management, 2005, 48(1): 121-142.

[17] Verburg P H, Overmars K P. Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. Landscape Ecology, 2009, 24(9): 1167-1181.

[18] 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.

[19] Lesschen J P, Kok K, Verburg P H, Cammeraat L H. Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in Southeast Spain. Catena, 2007, 71(1): 110-121.

[20] 黄明, 张学霞, 张建军, 赵紫阳, 茹豪. 基于 CLUE-S 模型的罗玉沟流域多尺度土地利用变化模拟. 资源科学, 2012, 34(4): 769-776.

[21] 梁友嘉, 徐中民, 钟方雷. 基于 SD 和 CLUE-S 模型的张掖市甘州区土地利用情景分析. 地理研究, 2011, 30(3): 564-576.

[22] 冯仕超, 高小红, 顾娟, 亢健, 郭丽峰, 吴国良, 邹婵. 基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟. 生态学报, 2013, 33(3): 985-997.

[23] 许月卿, 罗鼎, 郭洪峰, 周东. 基于 CLUE-S 模型的土地利用空间布局多情景模拟研究——以甘肃省榆中县为例. 北京大学学报: 自然科学版, 2013, 49(3): 523-529.

[24] 张丁轩, 付梅臣, 陶金, 胡利哲, 杨晓丽. 基于 CLUE-S 模型的矿业城市土地利用变化情景模拟. 农业工程学报, 2013, 29(12): 246-256.