

丹江口库区土地利用及其生态系统服务价值情景模拟

李亦秋^{1,2}, 邓欧^{2,3}, 张冬有^{3,4}, 韩德梁⁵, 冯仲科^{3*}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 绵阳师范学院资源环境工程学院, 绵阳 621000;
3. 北京林业大学测绘与 3S 技术中心, 北京 100083; 4. 哈尔滨师范大学生命与环境科学学院, 哈尔滨 150000;
5. 北京林业大学草坪研究所, 北京 100083)

摘要: 丹江口库区是南水北调中线工程的水源地, 2015 年大坝加高正常蓄水后不仅将新增淹没面积, 也会引起土地利用的变化。本文以灰色预测为基础, 设计了生态安全、经济发展和综合发展 3 种目标情景, 并借助于 CLUE-S 模型对库区土地利用及其生态系统服务价值进行时空模拟, 结果表明: 水位提高前后土地利用变化引起各生态系统类型、面积及空间分布格局的变化, 直接影响生态系统所提供服务的种类和强度。生态安全目标情景的总价值最大, 水位提高前后分别为 161.9 和 167.2 亿元; 经济发展目标情景的总价值最小, 水位提高前后分别为 153.73 和 159.03 亿元。在各情景模式下, 库区生态系统服务总价值均有所提高, 灰色预测结果提高 5.25 亿元, 生态安全和经济发展目标情景均提高 5.3 亿元, 综合发展目标情景提高 5.42 亿元。

关键词: 土地利用, 生态系统服务价值, 情景模拟, 丹江口库区

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.05.057

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-05-0329-07

李亦秋, 邓欧, 张冬有, 等. 丹江口库区土地利用及其生态系统服务价值情景模拟[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 329-335.

Li Yiqiu, Deng Ou, Zhang Dongyou, et al. Land use and ecosystem service value scenarios simulation in Danjiangkou reservoir area [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 329-335. (in Chinese with English abstract)

0 引言

土地利用/覆被变化过程对维持生态系统服务功能起着决定性的作用。土地利用结构变化引起各类生态系统类型、面积以及空间分布格局的变化, 直接影响生态系统所提供服务的种类和强度。研究由于人类活动对不同地域土地利用的改变所导致的生态系统服务功能价值变化具有重要意义^[1-2]。丹江口库区是南水北调中线工程的水源地, 南水北调中线主体水源工程——“丹江口水库大坝加高”, 正常蓄水位从 157 m 提高到 170 m, 将造成库区新增淹没面积 302.5 km², 主要涉及河南淅川县、湖北丹江口市、郧县、武当山特区、郧西县、十堰张湾区等 5 个县市区。2015 年大坝加高正常蓄水后对于库区生态系统服务的影响, 一方面体现在大坝加高后淹没高程变化对库区生态系统服务价值的直接影响, 另一方面由于南水北调中线主体水源工程的实施, 库区及其周围地区的区域政策、区域经济和区域环境条件都会变化, 区

域土地利用也会受其影响而发生变化, 进而影响库区生态系统服务价值。情景分析是对系统未来发展的可能性和导致系统从现状向未来发展的一系列事件的描述和分析, 其在定量分析中嵌入了大量的定性分析, 是一种融定性分析与定量分析于一体的新预测方法^[3]。本文将 CLUE-S 模型应用到库区的土地利用变化情景模拟研究中, 以各生态系统类型、面积以及空间分布格局的变化作为基础数据, 对库区生态系统服务价值进行估算, 为库区资源管理、生态安全保障和土地利用优化调控提供依据, 为库区生态补偿标准的制定提供参考。

1 研究区概况

根据南水北调中线一期工程大坝加工至 176.6 m, 蓄水位至 170 m 高程时, 理论上直接淹没的行政区、市、区及汉江、丹江两大水系因回水淹没的行政区, 综合起来主要包括十堰市市辖区、丹江口市、郧西县、郧县及河南南阳市淅川县共 5 县市, 土地总面积 1.45 万 km²。丹江口库区辖 68 个乡(镇), 1 502 个行政村, 86.25 万户, 总人口 289.52 万人, 其中, 农业人口 202 万人, 占总人口的 69.77%, 农业劳动力 57.53 万人, 农业人口密度 139 人/km²。人口主要分布在丹江口库周、汉江、丹江干流沿岸、盆地和坝地。库区以农业生产为主, 粮食生产基本实现自给; 大部分县的经果林开发较为成功, 成为当地的主导产业和农民收入的主要来源; 畜产品数量相对较多, 但质量不高, 远不能满足当地群众的需求。库区各县市是南水北调中线工程的核心水源区, 是我国

收稿日期: 2010-06-01 修订日期: 2011-05-10

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2006BAC18B04); 国家自然科学基金(30872038); 国家社科基金(10XJY0021); 绵阳师范学院博士启动基金

作者简介: 李亦秋, (1973-), 女, 四川达县人, 博士, 副教授, 主要研究方向: 3S 技术应用、农村发展、自然资源开发与利用。北京 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。Email: yqiu.li@163.com

*通信作者: 冯仲科(1963-), 男, 甘肃灵台人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 精准林业, 林业 3S 技术应用。北京 北京林业大学 111#, 100083。Email: fengzhongke@126.com

内陆腹地重要的生态功能区,也是国家重点贫困山区。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

根据模型运行的数据需要、库区自身的实际情况及数据的可得性,本文所使用的数据主要包括库区 2000 年和 2008 年 TM 影像解译得到的土地利用数据,库区海拔、水系、道路交通体系、城镇和居民点等基础地理数据,库区 2000 年和 2008 年人口和国内生产总值等社会经济数据。

2.2 研究方法

1) 土地利用需求预测。采用 GM(1,1) 灰色预测模型^[4-6]对库区 2009—2015 年的土地利用需求进行预测,并在定量分析中嵌入定性分析,给出生态安全目标、经济发展目标和综合发展目标情景假设条件下库区 2009—2015 年的土地利用需求数据。

2) 土地利用时空动态变化情景模拟。借助于 CLUE-S 模型^[7-10]和 SPSS18.0,在建立各土地利用格局及其驱动因子 logistic 回归方程的基础上,依据不同目标情景条件下的土地利用需求数据,运用 CLUE-S 模型空间分配模块对库区土地利用变化空间格局进行模拟。

3) 生态系统服务价值估算。针对每一种生态系统各自的特点,结合库区地理环境,综合已有生态系统服务各类参数^[11],分别对库区单位面积的生态服务价值进行修正,并参照 Costanza 等人^[12]的生态系统服务价值计算

公式 $ESV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_i \times CV_{ij}$ 计算库区生态系统服务总价值。

式中: ESV 为生态系统服务总价值, A_i 为第 i 种土地利用类型的分布面积, CV_{ij} 为第 i 类生态系统第 j 项生态服务单位面积的价值。

3 数据处理及结果分析

3.1 空间驱动力 logistic 回归分析

在 CLUE-S 模型中进行土地利用空间分配模拟,首先要根据土地利用格局和备选驱动因素数据,运用 logistic 逐步回归对每一栅格可能出现某一土地利用类型的概率进行诊断

$$\text{Log} \left\{ \frac{p_i}{1-p_i} \right\} = \beta_0 + \beta_1 x_{1,i} + \beta_2 x_{2,i} + \dots + \beta_n x_{n,i}$$

式中, p_i 表示每个栅格可能出现某一土地利用类型 i 的概率, x 表示各备选驱动因素, β 值是 Logistic 方程的解释变量系数。logistic 回归分析的结果,可以利用 Pontius R.G. 提出的 ROC (relative operating characteristics) 方法对驱动因素的解释能力进行检验,该值介于 0.5 到 1 之间,一般认为当 ROC 值大于 0.7 时,所确定的驱动因素具有较好的解释能力,地类的概率分布和真实的地类分布之间越具有较好的一致性,若该值越等于 0.5,说明回归方程对地类分布的解释没有任何意义^[13]。

3.1.1 驱动因子选取

由于区域土地利用变化是一个极其复杂的现象,所

以找出所有影响因子是不现实的,本文中主要遵循科学性、数据的可获取性、数据资料的一致性、因子能量化、因子与研究区土地利用相关性较大等原则,共选取了 13 个土地利用变化驱动因子(表 1)。

表 1 土地利用变化驱动因子
Table 1 Driving factors of land use change

驱动因子	因子描述	对应的回归方程变量
库区土壤类型	库区土壤亚类分布	X_0
库区土壤侵蚀类型	库区土壤侵蚀强度分布	X_1
库区海拔	采用黄海高程面,高程间隔 10m	X_2
库区坡度	库区坡度等级分布	X_3
库区坡向	库区坡度分布	X_4
距主要河流的距离	量算每一个像元的中心距最近的主要河流的距离	X_5
距铁路的距离	量算每一个像元的中心距最近的铁路的距离	X_6
距国道的距离	量算每一个像元的中心距最近的国道的距离	X_7
距省道的距离	量算每一个像元的中心距最近的省道的距离	X_8
距县道的距离	量算每一个像元的中心距最近的县道的距离	X_9
距建制镇的距离	量算每一个像元的中心距最近的建制镇的距离	X_{10}
库区人口密度	以县级行政区划为单元单位面积上的人口数量	X_{11}
库区产值密度	以县级行政区划为单元单位面积上的国内生产总值	X_{12}

3.1.2 logistic 回归系数及模型检验

将以上驱动力文件和 TM 解译的土地利用数据导入 ArcGIS,转化为栅格格式,并在 ArcToolbox 中将数据转化为 ASCII 文件。在 CLUE-S 模型安装目录下建立 names.txt 文件,通过 CLUE-S 模型的 File convert 模块将上述文件转化为单列显示的文本文件,然后在统计分析软件 SPSS18.0 下对每一土地利用类型和备选驱动因子,运用 Binary logistic 回归进行统计分析,并对所得结果进行 ROC 检验。库区 CLUE-S 模型回归系数及其 ROC 检验值如表 2 所示。

表 2 CLUE-S 模型回归系数及其 ROC 检验值

Table 2 CLUE-S model regression coefficients and the ROC test value

回归变量	林地	草地	水域及滩地	建筑用地	水田	旱地
X_0	-0.018	-	0.048	-0.040	-0.007	-0.014
X_1	-0.310	0.471	-0.867	-0.439	-0.465	0.467
X_2	0.012	0.016	-0.099	-0.092	-0.031	-0.028
X_3	0.036	0.014	-	-0.141	-0.056	-0.029
X_4	0.033	0.061	-0.164	-	-0.024	-
X_5	0.010	-0.015	-0.101	-0.014	-	0.011
X_6	0.001	0.001	-0.006	0.003	0.008	0.005
X_7	-0.007	-0.002	-	-	-0.002	0.010
X_8	-0.001	-0.002	0.009	-0.013	-	0.002
X_9	-0.005	-0.007	0.015	-0.018	-0.050	-0.004
X_{10}	0.005	-0.002	0.007	-0.011	-0.007	-0.005
X_{11}	-0.018	0.014	-0.007	0.011	-0.037	0.014
X_{12}	0.005	-0.004	0.001	-	0.010	-0.004
常数项	2.819	-5.354	1.163	-2.307	5.478	-4.373
ROC 值	0.786	0.686	0.955	0.917	0.826	0.798

注:“-”表示所得的方程中不存在该回归变量

二元 Logistic 回归结果 ROC 值检验表明：所选驱动因子可以较好地解释土地利用格局的分布情况，水域及滩地、建筑用地的 ROC 值分别为 0.955 和 0.917，说明驱动因子对其解释能力较强；草地的 ROC 值最低，为 0.686，表明驱动因子对其解释能力较差；其它各地类的 ROC 值均大于 0.7，说明各地类的概率分布和真实的地类分布之间具有较好的一致性，回归方程能较好的解释地类的空间分布，模型运行能够较精确地分配土地利用类型。

3.2 CLUE-S 模型预模拟分析

3.2.1 CLUE-S 模型预模拟

本文预先对 CLUE-S 模型在丹江口库区的预测能力进行初步分析，以 2000 年的数据为基础，运用 CLUE-S

模型模拟 2008 年的土地利用图，并用 2008 年遥感解译的实际土地利用图进行对照，以评价模拟的效果是否理想。在 CLUE-S 中输入模型运行需要的参数文件，运行 CLUE-S 模型，并经转换生成土地利用模拟图。2008 年库区土地利用现状图及其 CLUE-S 模型土地利用模拟图对比如图 1 所示。

3.2.2 结果检验

本文运用 Kappa 指数对 CLUE-S 模型模拟结果进行检验，Kappa 指数可以定量地反映模拟效果^[14-16]。

$$kappa = (p_o - p_c) / (p_p - p_c)$$

式中， p_o 为正确模拟的比例； p_c 为随机情况下期望的正确模拟比例； p_p 为理想分类情况下正确模拟的比例。用

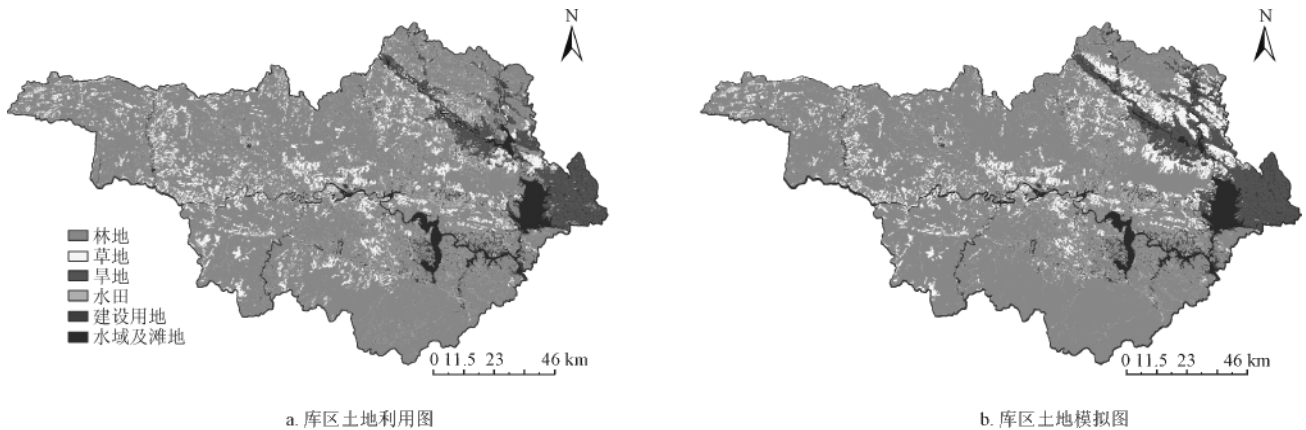


图 1 2008 年库区土地利用图及其模拟图对比
Fig.1 Contrast between reservoir area land use map in 2008 and simulated map

ArcVIEW 的 Map Calculator 命令把 2008 年模拟图和 2008 年实际土地利用图作相减运算，提取出 0 值栅格个数，即正确模拟的栅格数，得到模拟正确栅格 321 097 个，占总栅格数 362 085 的 88.68%，所以 $p_o=0.8868$ 。由于共有 6 个土地利用类型，每个栅格随机模拟情况下的正确率 $p_c=1/6$ 。理想分类情况下的正确模拟率 $p_p=1$ 。由此计算出 Kappa 指数为 0.8 585，模拟效果比较理想，说明 CLUE-S 模型可以很好地模拟丹江口库区的土地利用变化，可将其应用于丹江口库区在不同土地利用情景模式下的土地利用/覆被变化模拟。

3.3 土地利用情景模拟及其生态系统服务价值估算

3.3.1 目标情景内涵

1) 生态安全目标情景。它是为了保护水源区水质和人民生命财产安全，确保库区生态安全和一库清水送京津条件下的土地利用情景。为保护并逐步改善地域生态环境，库区加强退耕还林、退牧还草、天然林保护、生态公益林、长江防护林、水土流失治理、湿地保护和石漠化荒山造林体系建设等生态工程；大力建设生态屏障，在丹江口水库周边建立生态保护区，有效保护生物多样性，促进生态自然恢复；保护河道及库周的湿地，积极开展小流域治理，加强滑坡、泥石流等地质灾害和高切坡整治，确保库区生态安全。在此模式下，林地显著上升；草地呈下降趋势，但较灰色预测有所上升；水域及滩地呈上升趋势，但较灰色预测有所下降；旱地、水田、

建设用地都不同程度的下降。

2) 经济发展目标情景。它是充分保证库区经济发展建设用地需要下的土地利用模式。经济发展过程中，因建设需要势必会占用部分旱地和水田，使旱地和水田面积减少，但不如生态安全模式下减少明显；林地由于远离城镇，通过封禁管护等保护措施，面积将略有所增加，但较灰色预测有所下降；部分人工草地因为建设占用将有所减少，但因不是主要的占用对象，减幅不大，草地面积整体上明显大于灰色预测面积；在经济充分发展的条件下，因水产养殖业发展，库区内的水域面积将出现一定程度的增加。

3) 综合发展目标情景。它是综合考虑库区生态安全及经济发展条件下的土地利用情景。在综合考虑库区生态环境及经济发展对土地需要的情景下，库区的耕地因为退耕还林还草等严格生态保护措施会出现较明显的减少，林地面积增加；草地面积呈减小趋势，但较灰色预测有明显上升；水域及滩地面积较之经济发展情景明显减少，较之灰色预测略有减少；经济发展对建设用地的需求将会得到较好的满足，但占用量不如经济发展目标情景下那么多。

在对 2000—2008 年土地利用类型数据线性内插的基础上，建立各地类的 GM(1,1) 预测模型，以灰色预测结果为基础，估算库区 2015 年不同土地利用目标情景下用地需求数据（表 3）。

表3 不同土地利用目标情景下的用地需求
Table 3 Possible scenarios of future land use

情景	hm ²					
	林地	草地	水域及滩地	建设用地	水田	旱地
2008年土地利用	925 281	161 206	63 606	13 899	69 791	218 317
灰色预测情景	955 458	139 128	62 626	14 654	70 374	209 859
生态安全目标情景	1 034 599	140 684	56 173	12 300	50 479	157 865
经济发展目标情景	927 313	158 984	66 905	22 342	67 423	209 134
综合发展目标情景	967 549	157 154	61 845	14 690	71 005	179 857

3.3.2 土地利用空间分布情景模拟

土地利用空间分布模拟在 CLUE-S 模型空间分配模块中实现, 以上估算的土地利用需求数据作为情景假设条件输入模型, 模拟过程中道路交通状况、人口密度以及农业产值密度等驱动因子根据库区实际情况加以更新。首先模拟出库区及其周围地区区域政策、区域经济和区域环境变化条件下, 各种情景模式正常蓄水位没有提高的库区土地利用分布图, 再进一步模拟出大坝加高淹没范围加大后库区的土地利用分布(图2—图5), 并进行土地利用面积统计(表4)。

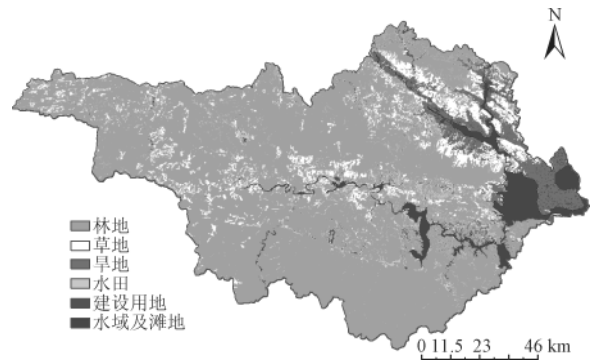


图3 生态发展目标土地利用分布图

Fig.3 Distribution map of land use in eco-development goals

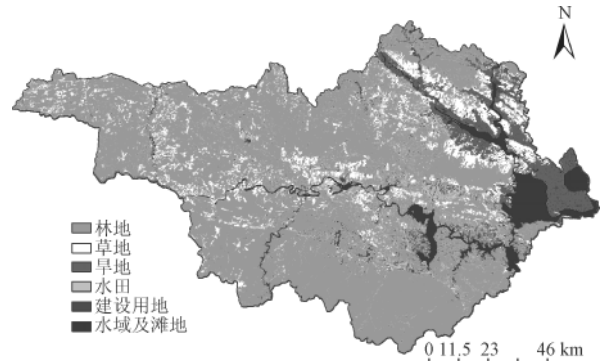


图4 经济发展目标土地利用分布图

Fig.4 Distribution map of land use in economic development goals

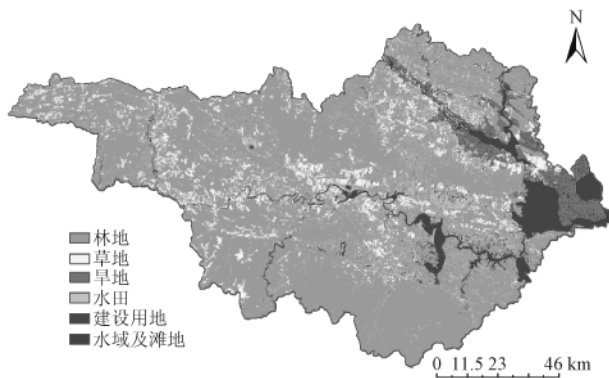


图2 灰色预测土地利用分布图

Fig.2 Distribution map of land use under grey forecast

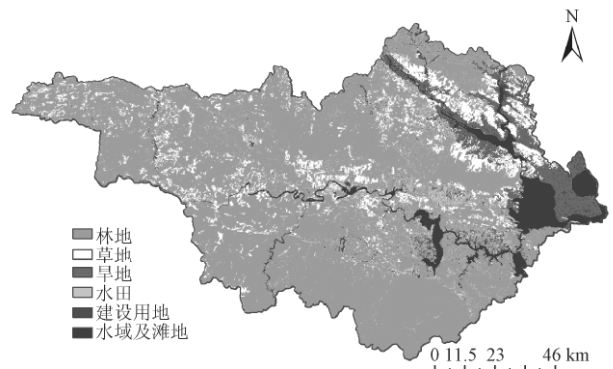


图5 综合发展目标土地利用分布图

Fig.5 Distribution map of land use in comprehensive development goals

表4 各情景模式下土地利用面积统计
Table 4 Land use area statistics under various scenarios

情景模式		hm ²					
		林地	草地	水域及滩地	建设用地	水田	旱地
灰色预测情景	水位提高前	955 458	139 128	62 626	14 654	70 374	209 859
	水位提高后	954 078	137 139	90 354	12 204	70 106	188 219
	变化	-1 380	-1 989	27 728	-2 450	-269	-21 640
生态发展目标情景	水位提高前	1 034 599	140 684	56 173	12 300	50 479	157 865
	水位提高后	1 032 249	139 056	84 691	10 471	50 358	135 274
	变化	-2 350	-1 628	28 518	-1 829	-120	-22 591
经济发展目标情景	水位提高前	927 313	158 984	66 905	22 342	67 423	209 134
	水位提高后	926 655	157 500	94 416	19 567	67 278	186 683
	变化	-658	-1 484	27 511	-2 775	-144	-22 450
综合发展目标情景	水位提高前	967 549	157 154	61 845	14 690	71 005	179 857
	水位提高后	966 475	155 583	90 153	11 911	70 896	157 083
	变化	-1 075	-1 571	28 308	-2 779	-109	-22 774

由表 4 可知：各情景模式下，淹没前后的用地结构发生了明显的变化，水位提高后林地、草地、建设用地、水田和旱地减少的面积合计，实际上就是水域及滩地增加的面积。库区土地利用结构变化引起各类生态系统类型、面积以及空间分布格局的变化，直接影响着生态系统所提供服务的种类和强度。

3.3.3 不同情景生态系统服务价值估算

1) 单位面积生态系统服务价值修正

库区土地利用类型包括林地、草地、水田和旱地、水域及滩地、建设用地五种一级分类，其对应的生态系统可视为森林生态系统、草地生态系统、农田生态系统、湿地与河流湖泊生态系统及建筑与城乡居民用地及道路交通系统。针对每一种生态系统各自的特点，结合库区地理环境，分别对其单位面积的生态系统服务价值加以修正。

①单位面积森林生态系统服务价值。基于单位面积的生物量对其进行修正： $P_{ij} = (b_j / B) \times P_i$ ，式中 P_{ij} 为修正后单位面积森林生态系统的生态服务价值， $i=1, 2, \dots, 9$ ，分别代表森林生态系统的食物生产、原材料生产等单项生态服务价值， P_i 为全国森林生态系统单位面积的各单项生态服务价值^[11]， B 为全国森林生态系统单位面积平均生物量， b_j 为库区森林生态系统单位面积平均生物量。野外调查和遥感反演得到的库区森林生态系统平均

单位面积生物量为 80.21 t/hm²，全国森林生态系统单位面积平均生物量为 77.4 t/hm²^[16]。

②单位面积草地生态系统服务价值。基于单位面积的干草产量对中国草地生态系统单位面积生态系统服务价值^[11]进行修正，修正方法与森林生态系统相同。按照我国草地的地域分异规律，库区草地类型属于暖性草丛和暖性灌草丛类，单位面积干草产量分别为 1 991 kg/(hm²·a) 和 1 554 kg/(hm²·a)，修正时取其平均值 1 772.5 kg/(hm²·a)，全国草地单位面积干草产量为 1 322.37 kg/(hm²·a)^[17]。

③单位面积农田生态系统服务价值。以谢高地 2008 年调整的中国农田生态系统单位面积生态系统服务价值作为库区水田用地类型的生态系统服务价值。

④单位面积湿地与河流湖泊生态系统服务价值。库区的水域及滩地主要由河流、湖泊及其周围的滩地构成，本文按照中国湿地与河流湖泊生态系统单位面积生态服务价值^[11]进行修正，具体是对湿地和河流湖泊生态系统的各项生态服务价值取均值，作为库区湿地与河流湖泊生态系统的服务价值。

⑤参照 Costanza 提供的资料^[12]，建设用地没有生态价值，在此不予考虑。

修正后的库区不同生态系统单位面积服务价值如表 5。

表 5 不同生态系统单位面积生态服务价值
Table 5 Ecosystem services value of unit area of different ecosystem types

生态系统类型	食物生产	原材料生产	气体调节	气候调节	水源涵养	废物处理	土壤形成与保护	生物多样性	休闲娱乐	合计
森林	153.60	1 386.90	2 010.50	1 893.50	1 903.50	800.50	1 870.90	2 099.00	968.00	12 932.80
草地	265.50	44.20	707.90	796.40	707.90	1 159.20	1 725.50	964.50	35.40	6 406.50
农田	449.10	175.78	323.04	435.63	345.81	624.25	660.18	458.08	76.35	3 099.12
湿地/河湖	199.85	132.49	655.69	3 505.23	7 232.76	6 568.09	538.92	1 598.80	2 050.14	22 481.95

2) 生态系统服务价值估算

按照前述生态系统服务总价值计算公式，库区生态系统服务总价值正常蓄水位提高前后及其变化情况如表 6 所示：生态安全目标情景的总价值最大，水位提高前后分别为 161.90 亿元和 167.2 亿元；经济发展目标情景的

总价值最小，水位提高前后分别为 153.73 亿元和 159.03 亿元。但不管在哪种情景模式下，由于水位提高，库区水域及滩地面积增加，与之相对应的湿地与河流湖泊生态系统单位面积生态服务价值较高，库区生态系统服务总价值均提高了，灰色预测情景提高 5.25 亿元，生态安全和经济发展目标情景均提高 5.30 亿元，综合发展目标情景提高 5.42 亿元。

表 6 各情景模式下的生态系统服务价值

情景模式		森林	草地	农田	湿地/河湖	合计
灰色预测情景	水位提高前	123.57	8.91	8.68	14.08	155.25
	水位提高后	123.39	8.79	8.01	20.31	160.49
	变化	-0.18	-0.13	-0.68	6.23	5.25
生态发展目标情景	水位提高前	133.80	9.01	6.46	12.63	161.90
	水位提高后	133.50	8.91	5.75	19.04	167.20
	变化	-0.30	-0.10	-0.70	6.41	5.30
经济发展目标情景	水位提高前	119.93	10.19	8.57	15.04	153.73
	水位提高后	119.84	10.09	7.87	21.23	159.03
	变化	-0.09	-0.10	-0.70	6.19	5.30
综合发展目标情景	水位提高前	125.13	10.07	7.77	13.90	156.88
	水位提高后	124.99	9.97	7.07	20.27	162.29
	变化	-0.14	-0.10	-0.71	6.36	5.42

4 结论与讨论

本文以 2000 年和 2008 年 TM 影像遥感解译的土地利用数据等为基础，借助于 CLUE-S 模型和 SPSS18.0 软件对丹江口库区土地利用及其生态系统服务价值进行情景模拟，结果表明：

1) CLUE-S 模型可以很好地模拟丹江口库区的土地利用变化，运用 Kappa 指数对 CLUE-S 模型模拟结果进行检验，Kappa 指数为 0.8585，能够将其应用于丹江口库区在不同土地利用情景模式下的土地利用/覆被变化模拟。

2) 以灰色预测结果为基础，采用情景分析法估测在生态安全目标情景、经济发展目标情景、综合发展目标

情景下库区 2015 年的土地利用需求数据, 将这种预测变化输入到 CLUE-S 模型中, 模拟出了各种情景模式下正常蓄水位没有提高的库区土地利用分布图, 再进一步模拟出了水位提高淹没范围加大后库区的土地利用分布图。通过土地利用模拟图属性数据, 计算出了各种情景模式下水位提高前后各土地利用类型面积的变化。

3) 水位提高前后库区土地利用结构变化引起各类生态系统类型、面积以及空间分布格局的变化, 直接影响着生态系统所提供服务的种类和强度。生态安全目标情景下库区生态系统服务总价值最大, 水位提高前后分别为 161.9 亿元和 167.2 亿元; 经济发展目标情景的总价值最小, 水位提高前后分别为 153.73 亿元和 159.03 亿元。在各情景模式下, 库区生态系统服务总价值均提高了, 灰色预测情景提高 5.25 亿元, 生态安全和经济发展目标情景均提高 5.3 亿元, 综合发展目标情景提高 5.42 亿元。

[参 考 文 献]

- [1] Turner II B L, Skole D, Sanderson H, et al. Land-use and land-cover change science/research plan[R]. IHDP report No.7, 1995.
- [2] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land-cover change (LUCC) implementation strategy[N]. IGBP report No.48 and IHDP report No.10, 1999.
- [3] 张欣, 贾红雨, 朱俊. 港口发展战略情景分析决策支持系统的研究[J]. 大连海事大学学报, 1997, 23(2): 14—17. Zhang Xin, Jia Hongyu, Zhu Jun. Research on scenario analysis in DSS for port development strategy[J]. Journal of Dalian Maritime University, 1997, 23(2): 14—17. (in Chinese with English abstract)
- [4] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1987: 12—14.
- [5] 王钟羨, 吴春笃, 史雪荣. 非等间距序列的灰色模型[J]. 数学的实践与认识, 2003, 33(10): 16—19. Wang Zhongxian, Wu Chundu, Shi Xuerong. A gray mold for non-equidistant sequence[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2003, 33(10): 16—19. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李亦秋, 冯仲科. 山东省森林资源动态变化的非等间距灰色预测[J]. 浙江林业学院学报, 2009, 26(1): 7—12. Li Yiqiu, Feng Zhongke. Non-equidistance gray mode forecast of forest resource dynamic changes in Shandong Province[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2009, 26(1): 7—12. (in Chinese with English abstract)
- [7] Verburg Peter, W Veldkamp, R Limpiada, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use:the CLUE-S model[J]. Environmental Management, 2002, 30(3): 391—405.
- [8] 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, 18(3): 310—318. Zhang Yongmin, Zhao Shidong, Verburg P H. CLUE-S and its application for simulating temporal and spatial change of land use in Naiman Banner[J]. Journal of Nature Resources, 2003, 18(3): 310—318. (in Chinese with English abstract)
- [9] 段增强, Verburg P H, 张凤荣, 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, 59(6): 1037—1047. Duan Zengqiang, Verburg P H, Zhang Fengrong, et al. Construction of a land-use change simulation model and its application in haidian district, Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2004, 59(6): 1037—1047. (in Chinese with English abstract)
- [10] 彭建, 蔡运龙, Verburg P H. 喀斯特山区土地利用/覆被变化情景模拟[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 64—70. Peng Jian, Cai Yunlong, Verbur P H. simulation of land use/cover change scenarios in karst mountain area[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(7): 64—70. (in Chinese with English abstract)
- [11] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911—919. Xie Gaodi, Zhen Lin, Lu Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Nature Resources, 2008, 23(5): 911—919. (in Chinese with English abstract)
- [12] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 386(6630): 253—260.
- [13] 摆万奇, 张永民, 阎建忠, 等. 大渡河上游地区土地利用动态模拟分析[J]. 地理研究, 2005, 24(2): 206—213. Bai Wanqi, Zhang Yongmin, Yan Jianzhong, et al. Simulation of land use dynamics in the upper reaches of the dadu river[J]. Geographical Research, 2005, 24(2): 206—213. (in Chinese with English abstract)
- [14] Congalton R, Green K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices[M]. New York: Lewis Publishers, 1999: 137.
- [15] Pontius J. Quantification error versus location error in comparison of categorical maps[J]. Photogram metric Engineering and Remote Sensing, 2000, 66(8): 1011—1016.
- [16] 布仁仓, 常禹, 胡远满, 等. 基于 Kappa 系数的景观变化测度—以辽宁省中部城市群为例[J]. 生态学报, 2005, 4(25): 778—784. Bu Rencang, Chang Yu, Hu Yuanman, et al. Measuring spatial information changes using Kappa coefficients:a case study of the city groups in central Liaoning Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 4(25): 778—784. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李海涛, 杨柳春, 严茂超, 等. 鸡公山自然保护区森林生物量动态模拟及其宏观价值评估[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 154—159. Li Haitao, Yang Liuchun, Yan Maochao, et al. Valuation and dynamic modeling of the biomass of forest vegetation in the jigongshan mountain natural reserve[J]. Resources Science, 2005, 27(4): 154—159. (in Chinese with English abstract)
- [18] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 等. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1101—1110. Zhao Tongqian, Ouyang Zhiyun, Jia Liangqing, et al. Ecosystem services and their valuation of China grassland[J]. Acta

Land use and ecosystem service value scenarios simulation in Danjiangkou reservoir area

Li Yiqiu^{1,2}, Deng Ou^{2,3}, Zhang Dongyou^{3,4}, Han Deliang⁵, Feng Zhongke^{3*}

(1. *Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;* 2. *Department of Resource and Environment, Mianyang Normal University, Mianyang 621000, China;* 3. *Institute of GIS, RS & GPS, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;* 4. *Department of Life and Environment, Harbin Normal University, Harbin 150000, China;* 5. *Institute of Turf Grass Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*)

Abstract: Danjiangkou Reservoir is the water source of the middle route of south-to-north water diversion project. Not only water flooded area will increase after the normal storage level in 2015, but also land-use will change. Based on the analysis of gray forecast, 3 target situations including ecological security, economic development and integrated development were designed. Meanwhile, temporal and spatial simulations were conducted on the land use and its value of ecosystem services in the reservoir area with CLUE-S model. The results indicate that: the change of each ecosystem type, size and spatial distribution pattern which caused by land use change before and after raising the water level can directly affect the type and intensity of services provided by ecosystem. The maximum total value is the objectives scenario of ecological security, which is 16.19 billion Yuan and 16.72 billion Yuan respectively before and after raising the water level. The minimum total value is the economic development target scenarios, which is 15.903 billion Yuan to 15.373 billion Yuan corresponding. The total values of ecosystem services are improved in all scenarios. The value raises 525 million Yuan, 530 million Yuan, 530 million Yuan and 542 million Yuan respectively in gray prediction, ecological security and economic development target scenarios and integrated development goals scenarios.

Key words: land use, ecosystem services value, scenarios simulation, Danjiangkou reservoir area