

基于土地利用的水资源承载力评价方法研究

程彦培, 宋乐

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061)

摘要: 不同的土地利用方式对水资源的需求存在巨大的差异, 以河北省黑龙港流域为例, 进行了水资源承载力评价。为了使评价结果更加具有现实性和科学性, 采用系统动力学建立仿真模型, 构建了基于土地利用的水资源承载力评价系统。通过主要变量仿真数据与历史数据的对比可以看出, 模型仿真数据与历史数据的偏差在 10% 以内。对于一个复杂的基于土地利用的水资源承载力评价系统来说, 这样的拟合结果说明所建模型能够较真实地反映实际的自然-社会复合系统。

关键词: 水资源承载力; 土地合理开发利用; 系统; 仿真模型

中图分类号: TV211.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)01-0041-04

Evaluation method of water resource carrying capacity based on land use

CHENG Yan pei, SONG Le

(The Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: There is a big difference in the water resources demand due to different land uses. In this paper, water resources carrying capacity in the Heilonggang Basin of Hebei Province was assessed. In order to make the evaluation results more realistic and scientific, a simulation model was developed using the system dynamics and an evaluation system of water resources carrying capacity was constructed based on land use. The comparison between the simulated and historical data showed that the difference is less than 10%. For a complex water resources carrying capacity evaluation system based on land resource utilization, the fitting results demonstrated that the model is capable to reflect the actual nature society system.

Key words: water resources carrying capacity; land use; system; simulation model

水资源承载力(Water Resources Carrying Capacity - WRCC)是指在一定时期、一定区域内,能够支撑最大规模社会经济发展和维系良好生态环境所需要的水资源下限目标^[1,2],其大小随空间、时间和条件变化而变化,具有动态性、地区性、相对极限性、模糊性等特点^[3]。区域水资源承载力评价是开展区域水资源保护规划工作和实现人水和谐发展的基础,是区域综合承载力评价的一个重要方面。水资源承载力的研究在一定程度上是土地资源承载力研究的进步^[4],研究方法已经由过去单一指标、静态分析发展到系统多目标、动态综合分析。目前研究水资源承载力的方法很多,代表性研究方法主要有常规趋势法、综合评价法、系统动力学法及多目标分析法等^[5]。

为了提高土地和水资源的合理配置水平,使水资源承载力评价结果更加符合现实同时具有科学性,本文以黑龙港流

域为例,采用系统动力学建立仿真模型进行评价。仿真模型法主要是通过一阶微分方程组来反映系统各个模块变量之间的因果反馈关系,是目前应用比较广泛的一种环境承载力评价的量化方法。其基本步骤是:选择合理的决策变量,通过调控变量的值,增加土地利用方式对水资源利用的影响;设计出多种水资源、土地资源和水土资源利用的模式,通过仿真模拟,定量研究黑龙港地区水土资源利用与社会经济发展、生态环境的相互关系;通过对比分析仿真结果,分别筛选出该地区水资源、土地资源和水土资源可持续利用的优化模式,为地区制定经济发展战略、区域发展规划、水土保持生态建设等提供依据。

1 基于土地利用的水资源承载力评价系统

自然-社会复合总系统包括人口、经济、水资源、土地资

收稿日期: 2014-02-17 修回日期: 2014-05-19 网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1450.039.html>

基金项目: 国土资源公益行业专项“华北平原典型地区水资源约束下的土地合理利用与管制技术研究”(200811072); 地质调查项目“中国及周边地下水资源与环境地质编图”(12120113014200)

作者简介: 程彦培(1965-),男,河南新乡人,研究员,主要从事地下水资源与环境方面的研究。E-mail: yanpeicheng@tom.com

通讯作者: 宋乐(1989-),男,河北深州人,主要从事地下水及环境水文地质方面研究。E-mail: songle17@163.com

源、环境等子系统,总系统的层次之间和影响因素之间存在着复杂的制约关系,任何一个环节处理不好都会影响总系统的发展动态,甚至导致整个系统崩溃。因此,要使自然-社会复合系统始终处于相对稳定的动态变化过程,就需要找到其反馈机制进行调控。

结合黑龙江地区发展特点,对应于自然-社会复合系统,在水土资源有限、人口经济在地域空间高度聚集的前提下,把基于土地利用的水资源承载力评价系统分为人口、经济、水资源、土地资源、环境等子评价系统,各子系统相互作用、相互影响、相互促进共同实现评价总系统的整体功能(图 1)。

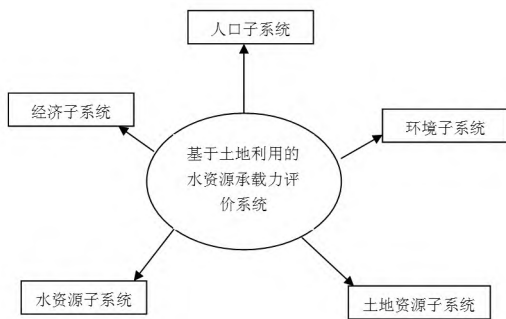


图 1 基于土地利用的水资源承载力评价系统组成

Fig. 1 Constitution of water resources carrying capacity evaluation system based on land use

2 子系统的设计

基于土地利用的水资源承载力评价系统设计,最大的特点是子系统相互联系和互为变量,子系统将其它子系统的输出作为外部变量输入到本系统,而自身内部的变量也不断输出给其他子系统。以人口子系统为例,人口增长受政策因素影响较大,同时也受经济人口容量的影响,经济产值越大,经济人口容量越多,对人口数量约束越小;与此同时,人口数量的增加,需要更多的淡水资源和耕地,为满足生存需要,会进一步开垦耕地、开发地下淡水资源。在区域经济人口承载力一定的情况下,人口饱和度可影响人口自然增长率,人口饱和度越高,人口自然增长率越小;而随着人口数量的增加,生活污染物排放不断增加,环境污染加大,当环境污染指数达到一定程度,威胁其生存环境,影响身体健康,从而导致死亡率增高,最终影响人口增长量^[9]。通过对初步建立的模型不断调试,最终确定子系统间因果关系,这是建立模型最重要的一步,直接影响总评价系统的模拟结果和结论。本研究设计的土地资源系统中变量及方程较以往水资源承载力评价做了较大调整。

子系统设计内容如下。

(1) 人口子系统。主要预测在人口控制政策及其它限制条件下人口的变化趋势及其对水资源、土地资源需求和经济、环境的影响。在人口子系统中,设定总人口、人口自然增长率、人口自然增长率、经济人口容量、人口饱和度等变量。

(2) 经济子系统。主要研究在不同经济发展水平条件下经济的产出与水资源、土地资源和环境的关系,探索在水土资源有限、环境污染的约束条件下如何更好地发展经济的同时保持水资源和土地资源总量的动态平衡。在经济子系统

中,设定经济总量、工业增加值、环保投资、土地整理投资、水土流失经济损失、环境污染经济损失、水土流失治理经济效益等变量。

(3) 水资源子系统。主要研究在不同社会经济条件下供水量和需水量的变化趋势及其对经济和环境的影响,探索在发展经济和保护环境的同时如何保障水资源的供需平衡。总供水量和总需水量差额的大小代表缺水程度,在一定程度上影响 GDP 增长率和人口增长率,进而影响经济产值和人口总量。在水资源子系统中,设定总供水量、总需水量、耕地面积、园地面积、林地面积、绿地面积、污水总量、GDP、净 GDP、工业增加值、总人口、城镇化率等变量。

(4) 环境子系统。主要关注环境污染,在一定的环保投资比水平和经济发展速度下,预测环境质量的变化趋势,并探讨在不同的环保投资水平和经济发展速度下环境质量水平及环境污染对经济的影响。在环境子系统中,设定污染量、排放量、治理量、污染存量、环保投资、环境污染经济损失等变量。

(5) 土地资源子系统。是本次研究和设计的重点,主要研究在不同社会经济条件下耕地面积总量的变化趋势及其对经济和生态环境的影响,探索在发展经济和保护环境的同时如何保障耕地资源总量的动态平衡。在土地资源子系统中,选择耕地面积作为表征土地资源可持续利用的指标,设定耕地面积、园地面积、林地面积、农用地面积、建设用地面积、用地面积、土地总面积、土地开发利用程度、水土流失面积、水土流失治理量、水土流失增加量、退耕还林面积、森林覆盖率、GDP、净 GDP、水土保持投资、水土流失经济损失、水土流失治理增加经济效益、总人口、城镇化率等变量。针对不同土地利用特点方式设计了每一个变量的方程式(表 1),还对方程式进行了结构适合性和行为适合性检验。

3 评价系统的模型检验

在对所建模型进行结构适合性和行为适合性检验,以及模型结构与实际的自然-社会复合系统一致性检验的前提下,进行了模型行为与实际系统一致性检验,为模型的可靠性和准确性作出判断提供依据。根据建模目的和统计资料数据,本次选取总人口、GDP、总供水量、总需水量、耕地面积、建设用地面积七项指标进行历史检验。检验时间以 2001 年起,到 2008 年止,验证时间为 8 年(表 2)。

通过主要变量仿真数据与历史数据的对比可以看出,模型仿真数据与历史数据的偏差在 10% 以内,系统拟合程度较好(系统动力学模型的误差允许范围一般在 10% 以内),对于一个复杂的基于土地资源利用的水资源承载力评价系统来说,这样的拟合结果可以说明模型能够较真实地反映实际系统。

4 结论

土地利用方式对水资源承载力评价起着很大的影响作用,水资源是整个生态环境系统中的重要组成部分。本文以黑龙江地区为例,采用系统动力学方法,量化综合研究基于土地利用的水资源承载力。根据黑龙江地区发展特点将黑龙江地区评价模型划分为人口子系统、经济子系统、水

表1 土地资源子系统主要变量方程式

Tab. 1 Equation of the main variables in the land subsystem

变量名称	变量含义	类型	单位	方程式
GDP	经济总量	L	亿元	$GDP.K = GDP.J + DT * GDP.NZL.K$
GDPNZL	GDP 年增长率	R	亿元	$GDPNZL.KL = GDP.K * GDPZZL.K$
GDPZZL	GDP 增长率	T	无量纲	$GDPZZL.K = TABLE(Time)$
JGDP	净 GDP	A	亿元	$JGDP.K = GDP.K - STJJS - HWJJS + ZLJXY$
STLSMJ	水土流失面积	L	万 hm^2	$STLSMJ.K = STLSMJ.J + DT * (STLSZ.JK - STZZL.JK)$
ZLJXY	土地治理经济效益	A	亿元	$ZLJXY.K = STZZL.K * DWJXY$
SBTZ	土地治理投资	A	亿元	$SBTZ.K = GDP.K * SBTZB.K$
SBTZB	土地治理投资占 GDP 比例	T	无量纲	$SBTZB.K = TABLE(Time)$
STLSZ	水土流失增加量	R	万 hm^2	$STLSZ.KL = STLSMJ.K * STLSZL * LMFGYX.K$
ZRK	总人口	L	万人	$ZRK.K = ZRK.J + DT * KZRZ.JK$
RKZRZ	人口自然增长率	R	$1/(万人 \cdot a^{-1})$	$RKZRZ.KL = ZRK.K * RKZRZR.K$
RKZRZR	人口自然增长率	T	无量纲	$RKZRZR.K = TABLE(Time)$
CRK	城镇人口	A	万人	$CRK.K = ZRK.K * UR.K$
UR	城镇化率	T	无量纲	$UR.K = TABLE(Time)$
NRK	农村人口	A	万人	$NRK.K = ZRK.K - CRK.K$
GDXQL	耕地需求量	A	万 hm^2	$GDXQL.K = ZRK.K * RJGDMJ$
RJGDMJ	人均耕地面积	C	hm^2	$RJLXQL = Const$
GDXC	耕地供需差	A	万 hm^2	$GDXC.K = GDMJ.K - GDXQL.K$
GDMJ	耕地面积	L	万 hm^2	$GDMJ.K = GDMJ.J + DT * (GDMJZ.JK - GDMJS.JK)$
GDMJZ	耕地面积增加量	R	$1/(万 \text{ } hm^2 \cdot a^{-1})$	$GDMJZ.KL = KFGDL.K$
KFGDL	开发耕地量	A	$1/(万 \text{ } hm^2 \cdot a^{-1})$	$KFGDL.K = GDGXC.K * TKFYXG.K$
GDMJS	耕地面积减少量	R	$1/(万 \text{ } hm^2 \cdot a^{-1})$	$GDMJS.KL = XJSZGD.K + TGHLMJ.K + GDGYD.K$
YDMJ	园地面积	L	万 hm^2	$YDMJ.K = YDMJ.J + DT * YDMJZ.JK$
YDMJZ	园地面积增长量	R	$1/(万 \text{ } hm^2 \cdot a^{-1})$	$YDMJZ.KL = YDMJ.K * YDMJZR.K$
GDGYD	耕改园面积	A	$1/(万 \text{ } hm^2 \cdot a^{-1})$	$GDGYD.K = YDMJZ.KL * GDGYB$
GDGYB	耕改园面积比例	C	无量纲	$GDGYB = Const$
LDMJ	林地面积	L	万 hm^2	$LDMJ.K = LDMJ.J + DT * LDMJZ.JK$
LDMJZ	林地面积增长量	R	$1/(万 \text{ } hm^2 \cdot a^{-1})$	$LDMJZ.KL = LDMJ.K * LDMJZR.K$
LDMJZR	林地面积增长率	T	无量纲	$LDMJZR.K = TABLE(Time)$
JSYDMJ	建设用地面积	L	万 hm^2	$JSYDMJ.K = JSYDMJ.L + DT * XZJSYD.KL$
XZJSYD	新增建设用地面积	R	$1/(万 \text{ } hm^2 \cdot a^{-1})$	$XZJSYD.KL = JSYDMJ.K * JSYDZL$
JSYDZL	建设用地增长率	C	无量纲	$JSYDZL = Const$
XJSZGD	新增建设用地占用耕地	A	$1/(万 \text{ } hm^2 \cdot a^{-1})$	$XJSZGD.K = XZJSYD.KL * XJSZGB * TKFYXJ.K * URYX.K$
XJSZGB	新增建设用地占用耕地比例	C	无量纲	$XJSZGB = Const$
TKFYXJ	土地开发利用程度对新增建设用地影响	T	无量纲	$TKFYXJ.K = TABLE(TDKFLY)$
URYXJ	城镇化率对新增建设用地影响	T	无量纲	$URYXJ.K = TABLE(UR)$
NYDMJ	农用地面积	A	$1/万 \text{ } hm^2$	$NYDMJ.K = GDMJ.K + YDMJ.K + LDMJ.K$
YDZMJ	用地总面积	A	$1/万 \text{ } hm^2$	$YDZMJ.K = NYDMJ.K + JSYDMJ.K$
TDZMJ	土地总面积	C	$1/万 \text{ } hm^2$	$TDZMJ = Const$

注: 变量类型中 L 为状态变量, R 为速率变量, C 为常数变量, A 为辅助变量, T 为表函数。

资源子系统、土地资源子系统和环境子系统。对所建模型进行结构适合性和行为合适性检验,以及模型结构与实际系统一致性检验的前提下,进行了模型行为与实际系统一致性检验。检验结果偏差在 10% 以内,可以看出其结果真实可靠,

较真实地反映了实际情况。

本研究设计的基于土地利用的水资源承载力评价系统可以为制定区域土地利用规划,地区经济发展战略、区域发展规划、水土保持生态建设规划等提供技术支持。

表 2 基于土地利用的水资源承载力评价系统主要变量仿真数据与历史数据对比

Tab. 2 Comparison of simulation with historical data of the main variables through the water resources carrying capacity evaluation system based on land use

主要变量	比较	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
总人口	仿真值/万人	901.98	906.49	911.03	915.58	920.16	924.74	929.38	934.03
	历史值/万人	902.4	906.9	910.8	916.3	921.3	928.3	934.6	939.2
	偏差(%)	-0.05	-0.04	-0.03	-0.08	-0.12	-0.38	-0.56	-0.55
GDP	仿真值/亿元	917.12	1027.10	1212.07	1490.84	1803.92	2146.67	2554.53	3039.89
	历史值/亿元	919.50	1027.55	1207.82	1502.18	1851.67	2207.74	2596.60	3107.21
	偏差(%)	-0.26	-0.04	-0.35	-0.76	-2.58	-2.77	-1.62	-2.17
总供水量	仿真值/亿 m ³	2.47	2.46	2.16	2.16	2.16	2.16	2.17	2.19
	历史值/亿 m ³	2.51	2.52	2.19	2.14	2.11	2.25	2.19	2.14
	偏差(%)	-1.72	-2.22	-1.44	0.82	2.76	-3.93	-0.95	-0.02
总需水量	仿真值/亿 m ³	2.44	2.39	2.15	2.07	2.11	2.13	2.15	2.15
	历史值/亿 m ³	2.51	2.52	2.19	2.14	2.12	2.25	2.19	2.19
	偏差(%)	-2.82	-5.23	-1.96	-3.26	-0.05	-5.48	-1.79	-2.05
耕地面积	仿真值/万 hm ²	76.76	76.67	76.49	76.35	76.21	76.06	75.91	75.75
	历史值/万 hm ²	76.43	73.78	72.59	72.16	71.89	71.63	71.56	75.11
	偏差(%)	0.43	3.85	5.37	5.81	5.99	6.18	6.08	0.86
建设用地面积	仿真值/万 hm ²	22.22	22.45	22.68	22.91	23.15	23.41	23.66	23.92
	历史值/万 hm ²	22.24	22.89	23.35	23.83	24.22	24.62	24.89	25.09
	偏差(%)	-0.08	-1.93	-2.89	-3.86	-4.40	-4.95	-4.96	-4.67

参考文献(References):

- [1] Anon. Chengyanpei marenhui analysis of water resource demands [J]. Journal Groundwater Science and Engineering, 2013, 3(2): 48-59.
- [2] 程彦培, 易卿, 张健康, 等. 基于水文响应单元的高标准农田水资源供需分析——以黄骅市为例[J]. 南水北调与水利科技, 2013(1): 29-33, 43. (CHENG Yairpei, YI Qing, ZHANG Jiarkang, et al. Analysis of water resource supply and demand in high standard farmland based on hydrological response unit: a case study in huanghua city [J]. South to north Water Transfers and Water Science & Technology, 2013(1): 29-33, 43. (in Chinese))
- [3] 朱一中, 夏军, 谈戈. 关于水资源承载力理论与方法的研究[J]. 地理科学进展, 2002(2): 180-188. (ZHU Yizhong, XIA Jun, TAN Ge. Research on theory and method of water resources carrying capacity [J]. Progress in Geography, 2002(2): 180-188. (in Chinese))
- [4] 张保成, 孙林岩. 国内外水资源承载力的研究综述[J]. 当代经济科学, 2006(6): 97-101, 126. (ZHANG Baocheng, SUN Liryan. The review of water resources carrying capacity research both at home and abroad [J]. Modern Economic Science, 2006(6): 97-101, 126. (in Chinese))
- [5] 段春青, 刘昌明, 陈晓楠, 等. 区域水资源承载力概念及研究方法的探讨[J]. 地理学报, 2010(1): 82-90. (DUAN Chunqing, LIU Changming, CHEN Xiaonan, et al. Regional water resources carrying capacity and research methods [J]. ACTA Geographica Sinica, 2010(1): 82-90. (in Chinese))
- [6] 张健康, 程彦培, 张发旺, 等. 基于多时相遥感影像的作物种植信息提取[J]. 农业工程学报, 2012(2): 134-141. (ZHANG Jiarkang, CHENG Yairpei, ZHANG Fawang, et al. Crops planting information extraction based on multi-temporal remote sensing images [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012(2): 134-141. (in Chinese))