

政策、农业保护政策,农业扶持政策对推进创新特色农产品具有非常重要的影响。在农业财政政策中拿出专项资金进行特色农产品创新,对特色农产品创新成果进行奖励;对采用或者推广特色农产品新技术、新管理模式的个人、企业进行补贴和奖励;对特色农产品创新主体实施优惠的税收政策,建议实行低税收政策;加强对特色农产品创新的保护,保护特色农产品品牌和特色农产品专利,使特色农产品创新者得到真正的实惠,保护、促进其创新的积极性。

5.3 创新科技投入方式

增加科技投入,是保证特色农产品创新的必要条件。逐步建立以政府投入为主、多渠道并存的特色农产品科技投入机制。支持特色农产品科技创新体系的建立,努力保证基础研究、高新技术研究、重大科学技术的联合攻关以及新技术转化推广的资金需要;充分发挥市场和社会需求对特色农产品科技进步的导向和推动作用,鼓励企业向农业科研和成果开发进行投入,鼓励农业科研机构以自己的科研成果通过股份制或利用信贷资金等形式和方式兴办科技企业,促进科技成果产业化;积极吸引外资,争取国际科技合作与援助,建立起多渠道、多元化的科技投入体系。

5.4 创新产品营销体系

营销是产品从制造商向消费者转移过程中形成的体系通道。营销通道的通畅与否直接影响着产品价值的实现。在激烈的市场竞争环境中,山西省特色农产品要想处于不败之地,必须消除“各自定级、各自定价、各行销路”的做法,必须创新营销渠道和促销战略。逐步建立以合作组织为核心的营销主体系统,以连锁超市为核心的零售终端系统,以批发市场和统一配送为核心的产品分销系统,以品牌战略和绿色营销等为核心的营销战略与策略体系,逐步实现山西省特色农产的营销主体组织化、连锁超市常态化、批发市场功能化、物流配送高效化、交易方式现代化、营销策略规范化。

参考文献:

- [1] 梁俊花,冯旭芳,刘敏.山西省特色农产品比较优势研究[J].农业技术经济,2005(1):70-73.
 - [2] 殷海善,郭芳华,郭忠.山西省特色农产品发展现状与对策研究[J].山西农业科学,2007,35(1):8-10.
 - [3] 毕莹.山西特色农产品品牌发展研究[D].太原:山西财经大学,2008.
 - [4] 王华.山西省特色农产品营销对策研究[D].太原:山西财经大学,2008.
 - [5] 刘俊生.山西特色农产品营销存在的问题及其对策研究[J].管理观察,2009(5):245-246.
 - [6] 孟宪文,张丽珍,薛占金,等.基于SWOT分析的山西省特色农产品发展研究[J].山西师范大学学报(自然科学版),2010,24(2):96-99.
 - [7] 陈亮亮,刘养浩.基于钻石模型的山西特色农产品竞争力分析[J].山西农业大学学报(社会科学版),2010,9(3):346-349.
 - [8] 杨波.名特优农产品转型引领农业经济增长[J].山西农经,2010(3):6-8.
 - [9] 马海龙,何三林,李兆华.湖北省特色农产品布局规划与发展措施研究[J].中国农业资源与区划,2006,27(4):44-48.
 - [10] 郭强.山西特色农产品在崛起[N].山西经济日报,2009-10-21(1).
 - [11] 山西省统计局,国家统计局山西调查总队.山西统计年鉴(2011)[M].北京:中国统计出版社,2011.
 - [12] 周柏翔,丁永波,任春梅.区域创新体系的结构模式及运行机制研究[J].中国软科学,2007(3):135-138.
- 作者简介:孟宪文(1969-),女,山西太原人,硕士,研究方向:农业经济与水土资源管理。
通信作者:薛占金(1971-),男,山西广灵人,副教授,博士。

(2012-06-23 收稿 袁海峰编辑)

文章编号:1003-7853(2013)01-0037-04

基金项目:国家社会科学基金项目(08CJY050);上海海事大学校科研基金项目(2009150)

基于系统仿真的 崇明岛水安全研究

刘志国¹,李华²

(1.国家海洋局东海环境监测中心,上海 200137;

2.上海海事大学经济管理学院,上海 200135)

摘要:崇明特殊的地理区位条件决定其生态系统演变的复杂性,伴随着陆海隧桥的建成与通车,新一轮社会经济快速发展的背景下,崇明的水安全成为影响区域可持续发展的首要问题。基于河口岛屿复合生态系统的特征和系统动力学在解决系统本质行为和机理方面的优势,将针对崇明的特点,建立系统动力学模型,通过不同情景方案下的仿真,实现对崇明水资源、水环境和咸水入侵为例的水灾害等水安全问题的动态模拟,仿真结果表明了崇明水安全的特征和发展趋势,可以作为水安全预案的规划和水资源的管理的重要依据。

关键词:水安全;系统仿真;崇明

中图分类号:X43 文献标识码:A

A study of Chongming Island's water security based on system dynamics

LIU Zhi-guo et al

(East China Sea Monitoring Center, State Oceanic Administration, Shanghai 200137, China)

Abstract: The unique geographical features of Chongming and the regional conditions render the issues of ecological evolution of Chongming Island quite complex. With the completion of the tunnel and bridge project, and with a new round of social and economic development, Chongming's water security has become a major problem affecting the regional sustainable development. On the basis of the characteristics of Island composite ecosystem and the advantages of system dynamics in solving the essential behavior and mechanism of the system, this paper will establish the system dynamics model and conduct a dynamic simulation of Changing's water security issues like water resources, water environment and salt water intrusion through different simulation scenarios. The simulation results reflect the characteristics of Chongming water security and the developmental trends, which Provide the basis for water safety planning and water resources management.

Key words: Water Security; System Simulation; Chongming Island

引言

水是区域经济社会持续快速健康协调发展的战略性基础资源,也是区域自然生态系统持续良性循环的控制性要素,水安全危机是人类生存、生产及发展正面临的最严重挑战之一。综合国内外关于水安全的概念的论述,水安全的内涵主要包括因水资源短缺而产生的水资源安全问题、因水环境恶化而产生的水环境安全问题和因水旱灾害而产生的水灾害防治安全问题^[1]。

在世界范围水资源和水环境问题凸显的背景下,水安全研究引起了广泛的关注^[2,3]。目前,国际上主要采用水资源紧缺指

标与水贫穷指数来衡量水安全状况,同时以水功能为基准开展的研究也较多,方法主要有:传统的流量算法、基于水力学基础的水力学法、基于生物学基础的栖息地法、基于水污染控制的预算法^[4],量化手段则以主成分分析运用较多^[5,6]。国内用于评价水安全的方法主要有:多目标决策分析方法、系统动力学方法、模糊综合评判方法等等^[7],其中系统动力学动态仿真是通过动态系统反馈模拟来评价水安全的方法,它为区域水安全战略的分析研究提供了一种较好的选择。如张巧显等^[8]认为该方法在水安全系统模拟中具有明显优势;惠泱河^[9]也采用了该方法对陕西关中地区的水资源承载力进行研究;于书霞^[10]采用该法对长春市水资源供需系统进行趋势模拟分析。

我国河口冲积岛屿多达 400 多个,岛内水资源系统复杂,工程型缺水 and 季节性缺水并存,水资源安全问题突出,但以往此类河口岛屿型地区水安全问题却未受到足够关注^[11]。本研究将运用系统动力学建模和不同情景方案下的仿真,实现对崇明岛水资源、水环境和咸水入侵为例的水灾害等水安全问题的动态模拟,研究的结果将为区域水安全预案的规划提供依据。

1 崇明岛的水安全问题分析

崇明岛位于上海市西北长江入海口,属长江河口冲积岛,地势低平,岛屿面积 1267km²,是我国第三大岛。岛内各级河道约 1119 条,河网密度 1.95km/km²。崇明岛多年平均补给地表水资源总量为 33.6×10⁹m³,地表水资源量主要取决于可引潮水量的年际变化^[12]。随着崇明的开发与开放,崇明的水安全问题将更为突出,包括水资源、水环境和水灾害等三方面。

1.1 在水资源方面,崇明的建设和发展面临着淡水资源短缺的严峻问题,虽然崇明地表水总量虽然丰富,可利用水资源总量约为 33.60×10⁹m³,但本地径流量仅为 10%左右,崇明岛水资源和利用状况却不容乐观。随着长江沿岸耗水量的不断增加和南水北调工程的实施,长江口咸潮入侵使崇明淡水资源的季节性短缺水更加突出;同时,由于水资源利用率低、浪费现象比较突出,也导致崇明可利用水资源出现不断减少的趋势。

1.2 在水环境方面,由于近年来长江流域高度密集的人口和产业的快速扩展,造成崇明岛沿岸水质持续下降。岛内每年约有 4292.62×10⁴m³的废污水产生。长期以来被忽视的农村生活污水就近排入河道,农业畜禽养殖的粪尿、农业生产的农药和化肥的面源污染使得对崇明岛的河道水环境污染负荷很重,据统计 2006 年水环境 COD 贡献比例为:生活污染占 29.2%、畜禽污染 31.8%、农业面源污染占 38.4%,且部分河道的淤积、堵塞和断流,这些都加重了水体的净化分解负担,是造成河道水质恶化的重要原因之一^[13]。

1.3 水灾害方面。崇明地处副热带的湿润区,降水的季节分配不均和年际变化较大,加之崇明濒江临海,水网交错,受水涝的威胁甚大。发生内涝概率大于 20%^[14]。同时,整个崇明岛东侧和北侧每潮均受海水入侵之虞,西侧和南侧上段还要遭受北支盐水倒灌之害。特别在枯水季节,严重的盐水入侵可能会使崇明岛被咸水围困,给日常生活和工农业生产带来重大危害。咸水入侵还会使土壤盐碱化从而降低土地尤其是农业用地的生态承载力。

2 系统动力学模型和仿真方案

2.1 模型的建立和检验

系统动力学由美国麻省理工学院的福瑞斯特 (Jay W. Forrester) 教授于 1956 年创立,是以反馈控制理论为基础,以仿真技术为手段的研究复杂社会经济系统的定量方法^[15]。系统动力学模型能够反映复杂系统结构功能与动态行为之间的相互作用关系,作为现代科学决策和预测的有效工具,被广泛用于区域宏观发展战略的决策研究,被誉为政策和策略研究的“实

验室”。本研究使用系统动力学的专业软件 Vensim_PLE 建模,模型运行时间为 2007~2020 年,仿真步长为 1 年。主要数据来源于《崇明统计年鉴》、《上海市统计年鉴》。根据崇明复合生态系统的特征建立动力学仿真模型,其系统流图(图 1)。

分别运用相对误差和线性回归拟和两种方法对所建立的 SD 模型的运行结果进行检验。表 1 是 GDP 和人口总量两个变量的检验结果,从中可以看出,2001~2007 年 GDP 和人口总量的仿真值和历史值的相对误差均不超过 0.1,相对误差检验结果较为理想;同时,运用数据分析软件 Origin Pro 7.5 进行线性回归拟和检验,可得到如下结果:

GDP $R=0.99624, SD=2.27797, P<0.0001$

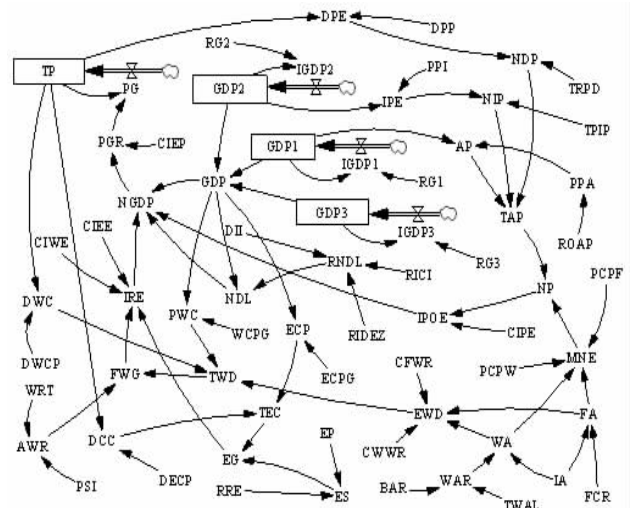
人口总量 $R=0.71797, SD=0.71169, P=0.04489$

历史值和仿真值的拟和系数 R 值比较高,差异显著性系数 P 值较小,因此,综合两种方法认为, GDP 值通过历史检验;其他变量的历史检验也与此相似,通过历史检验。

2.2 仿真方案的参数值

自提出崇明生态岛建设的基本方向以来,各有关部门已经完成了大量相关研究,如 2007 年 6 月完成的《崇明生态县建设规划》(简称方案一)、2008 年 9 月完成的《崇明生态岛建设指标体系研究》(简称方案二)、2006 年 1 月完成的《崇明十一五发展规划》(简称方案三)等,这些研究并对崇明近年来的发展

图 1 崇明复合生态系统的系统动力学模型流图



注:GDP:经济增加值;GDP1:第一产业经济增加值;GDP2:第二产业经济增加值;GDP3:第三产业经济增加值;NGDP:净GDP;IRE:资源对经济的影响;IGDP1:增加值1;RG1:增加率1;IGDP2:增加值2;RG2:增加率2;IGDP3:增加值3;RG3:增加率3;RBEI:基础设施建设投资比;LD:自然灾害损失;RLD:自然灾害的损失率;QPE:污染对经济的作用系数;QNP:NGDP对人口作用系数;PI:人口增加;RPI:人口增加率;PG:人口总量;QNP:经济对人口的影响系数;UQLP:人均生活污染排放量;UQAP:农业单产污染物产量;QAP:农业污染量;IPE:污染对经济的影响;NP:净污染量;GP:污染物总量;UQIP:工业单产污染物产量;RIPD:工业污染处理率;QIP:工业污染排放量;NQIP:工业污染量;NQLP:生活污染量;RLPD:生活污染处理率;QLP:生活污染排放量;RGFP:有机/绿色农产品比重;QPE:污染对经济的作用系数;UQGE:单位GDP能耗;RSA:咸水入侵面积比例;RRE:可再生能源比;UQIGW:工业单位GDP水耗;GEC:总耗能;ECP:生产耗能;ECL:生活耗能;AQFW:淡水供应量;GQFW:淡水缺口;CQFW:用水量;WCP:生产用水;WCL:生活用水;UWCL:人均生活用水量;UECL:人均生活耗能;AQE:能源供应量;GQE:能源缺口;TF:淡水生产能力;TE:能源生产能力;QEE:能源对经济的作用系数;QWE:水资源对经济作用系数;IRE:资源对经济的影响;QEM:自然生态系统代谢量;UQFM:单位林地环境吸纳污量;UQWM:单位湿地的环境纳污量;AI:岛屿面积;RF:森林覆盖率;AF:森林面积;AW:湿地面积;RW:湿地面积比;RB:滩涂面积比;RWAL:陆域水面积比例。

表 1 GDP 和人口总量的历史检验结果

年份	GDP(亿元)			人口总量(万人)		
	历史值	仿真值	相对误差	历史值	仿真值	相对误差
2000	54	53.9937	-0.08572	65.37	65.37	-
2001	57.83	60.3977	-0.04440	64.72	65.7459	-0.01585
2002	62.48	67.7125	-0.08375	64.01	66.1247	-0.03303
2003	70.07	76.0767	-0.08572	63.54	66.5066	-0.04668
2004	85.31	85.6503	-0.00399	63.26	66.8922	-0.05741
2005	95.72	96.6188	-0.00939	70.12	67.2819	0.04047
2006	108.26	109.1966	-0.00865	69.98	67.6766	0.03291
2007	122.79	123.6321	-0.00686	69.71	68.0770	0.02342

发挥了一定的积极意义。本研究将运用系统模型对崇明主要的建设规划方案进行趋势模拟。

由于崇明各项发展规划的目的不同,规划或研究部门或专家的倾向性的差异,其侧重点和主要解决的矛盾也不同,为了方案模拟结果的可比性,选择模拟变量首先尽可能遵循共有性原则,即变量尽可能的在各项规划指标中可以找到,或可通过推算间接获得。最终得到各方案模拟变量数值如表 2。

3 崇明水安全的系统仿真结果与分析

3.1 水资源仿真结果与分析

以 2007 年单位用水量值为模拟常量,在假定单位用水量不变的情况下,总需水量和生产用水随经济的增长而快速增加,2020 年分别将达到 111806 万吨和 105366 万吨;生活用水也随人口总量的增长而增加,2020 年将达到和 763 万吨。可以看出,如按照目前的资源利用模式,水资源的需求量会大大增加,即社会和经济增长所带来的资源压力将会反过来会成为影响未来崇明发展重要的制约因素。

从图 2 中也可以看出,用水结构中,2007 年生产性水耗的比重占到了和 49%,而到 2020 年这一比重值将达到 94%,远远高于生活水耗的比重。因此,减少资源的压力的主要对策应当是提高生产资源利用效率。

各情景方案及现状趋势的淡水缺口的模拟结果(图 3)显示,各规划方案模拟值均小于现状趋势的模拟值,这归功于各规划方案在提高资源利用效率,节约和循环利用资源等方面的关注。而且,方案一在这一环节也体现出较大的优势。

3.2 水环境仿真结果与分析

以 2007 年的单位污染(COD)排放值和污染处理率为模拟常量,可以得到未来 13 年(2007-2020)环境染物的基本情况,污染物总量和各类污染物都呈现增长的态势,其中又尤以工业污染物的增长最为突出,这与图 4 所表达出的较快的工业增长呈正相关。但从整体污染物来源的结构分析,可以看出,崇明主要污染物 COD 的来源是农业和生活,来自农业的面源污染和畜禽污染,以及未经处理的生活污水的排放是崇明环境污染的主要根源,如不加强管理,对未来崇明的生态安全将产生更大的压力。可以说,崇明控制和减少污染的主要措施应该是在加强控制和治理污染的同时,转变农业生产模式,以绿色的生态型农业替代传统农业,全岛域完善生活污水的处理机制。

在所建立的系统动力学模型中,体现了以自然生态系统

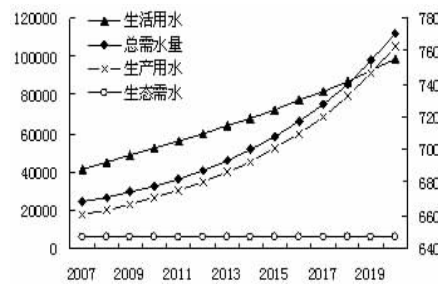
(森林和湿地)在自身新陈代谢的过程中吸纳和分解污染的生态服务功能,对于自然生态系统保护和控制的各规划方案的目标有所差异,因此势必造成其污染代谢量的功能差异。崇明生态岛的定位为各规划在保障和恢复自然生态系统方面的工作提出了不同的目标。模型定义系统产生的净污染物等于污染物总量减去自然生态系统的代谢量,而且污染物总量也由于污染处理率的差异有所不同。综合上述因子,系统模拟出的净污染物总量如图 5,可以看出,方案二的优势较为明显,正如前述,主要应归功于其较高的自然生态系统面积比和污染处理率,以及优化产业生产模式,降低单位产值排污量等原因。

3.3 水灾害仿真结果与分析

鉴于在崇明岛的水灾害中,咸水入侵对区域水安全影响范围较大,程度较深,因而本研究以咸水入侵为例,设定不同的情景方案,分别对不同咸水入侵影响率(0、25%、50%、75%、100%)下,未来 13 年进行仿真,图 6 是 2007、2010、2015、2020 年等主要年份的变量淡水缺口的仿真结果。

随着咸水入侵影响率的增加,淡水缺口逐渐增大;而且由

图 2 用水量基本行为模拟图(单位:万吨,万吨/亿元/万人)



注:总需水量、生产用水量 and 生态需水量值为左纵坐标,生活用水量为右纵坐标。

图 3 各方案淡水缺口的模拟图(单位:万吨)

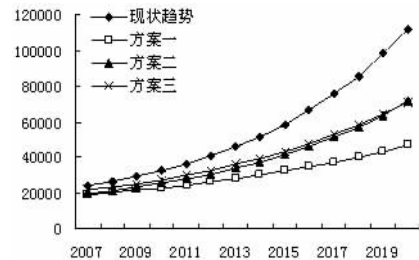
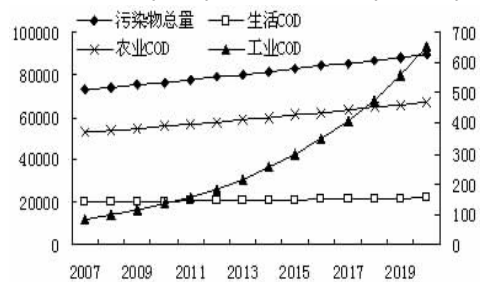


图 4 污染物(COD)基本行为模拟图(单位:吨)



注:污染物总量、农业 COD 和生活 COD 值为左纵坐标,工业 COD 值为右纵坐标。

表 2 崇明现有发展规划模拟主要参数值

参数	GDP1	GDP2	GDP3	WCPG	ECPG	TRIP	ROAP	TRDP	RRE	RICI	IRDEZ	WAR	FCR
现状趋势	1.88	17.11	13.46	145	1074.25	8.21	27.70	12	1	18	60*	17	18
方案一	8.32*	9.27*	10.03*	100	447.60	3.5	50	23.34*	5	30*	90*	17	25
方案二	10.79*	11.76*	16.11*	100	550.89	3.93*	60	80	5	30*	90*	19	30
方案三	10.86*	11.82*	12.61*	120*	859.40	4.10	35*	17.51*	-	25*	75*	17	24

注:带*的数值是根据统计资料推算的到的,其他值均为已有统计值。

于未来社会经济的发展对于淡水资源的压力所造成的,咸水入侵对于未来崇明岛的发展影响将愈加明显;2010年以前,50%以下的咸水入侵基本不会对系统造成太大的影响,可以通过少量流域引水满足所需。而且,在咸水入侵小于0.25时,目前淡水资源仍有不少剩余;但当咸水入侵影响率75%以上时,淡水缺口明显较大,如无有效防灾机制,将会严重影响生产和生活;从2015和2020年的淡水缺口模拟值图中可以看出,随咸水入侵影响率的增加,淡水需求的快速增长,淡水资源缺口非常明显。因此,大规模有效的防咸和减灾的措施势在必行,且非常紧迫,将会成为严重威胁系统生态安全得重要问题;在各方案中,不同咸水入侵比例下,淡水缺口由大到小排列分别是现状趋势、方案三、方案二、方案一,这一排序一方面由用水效率决定,另一方面也受经济和社会发展速度影响。方案一和方案二的用水效率参数设定值较高(即单位GDP水耗较低),所以淡水缺口相对较小。

3.4 崇明水安全的综合分析

根据仿真结果分析崇明水安全的总体状况和趋势,则可以归结为以水资源为表象特征的水环境和水灾害的问题。可以发现,水资源需求量仿真结果其至2020年各方案平均增加约148%,而同时作为反向特征,水环境(污染物)的仿真结果至2020年影响值增加约128%,水灾害的造成的潜在损失到2020年则会增加146%。因此,据上述各项仿真值的净增加率而言,水资源的需求的巨大压力叠加水灾害和水环境污染的影响将成为威胁崇明水安全问题最为重要的因素。

4 结论

海洋是人类21世纪发展重要的后备资源,随着全球性的海洋经济的发展及海洋资源的开发和利用,沿海地区和海岛作为重要的战略空间的地位日益显现,而水安全问题成为影响地区生态系统安全的重要问题。运用系统动力模型模拟水资源、水环境和水灾害等问题在区域复合生态系统中的动态特征,及不同情景方案下未来的发展趋势。这些仿真结果可以作为水安全预案的规划和水资源的管理的重要依据,对于区域可持续发展有着重要的现实价值。

研究区域崇明岛作为典型的河口岛屿,其水安全受到流域和海洋等外来因素的影响,而且作为区域生态系统安全的子系统,又受到区域生态景观类型与土地覆被变化等多重因素的影响。研究表明:崇明岛各规划方案的模拟的结果均优于现状趋势,主要是由于规划方案在基础设施建设、环境保护、节能减排和生态建设方面提出了较高的目标,因此以整体的系统视角,综合考虑各方面的要素,进行水安全问题的辨识和研究是尤为重要的。

保障区域水安全是一个综合性的长期的工程。根据崇明岛的实际,主要应推广节水新技术,增加水的重复利用率,向节水型经济转变,并有效利用海水资源;同时注重全流域综合治理,减少水土流失,改变流域小气候,涵养水分,逐渐恢复和增加淡水资源;建造兼具挡盐的闸桥工程或避咸蓄淡水库,尽可能减少长江流域的水库等人工截流等工程对下游的影响;加强对农业生产和农村生活污水污染源的控制和管理,提高对湿地等自然生态系统的保护力度,以增加系统自身的保障功能。

参考文献:

[1] 邱德华. 区域水安全战略的研究进展 [J]. 水科学进展, 2005, 16(2) :305-312.

图5 各方案净污染量的模拟图(单位:吨)

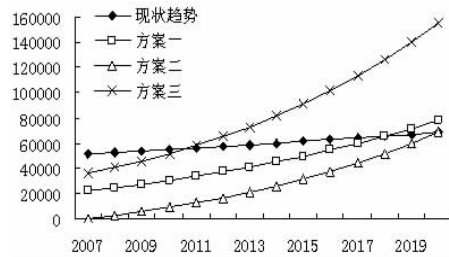
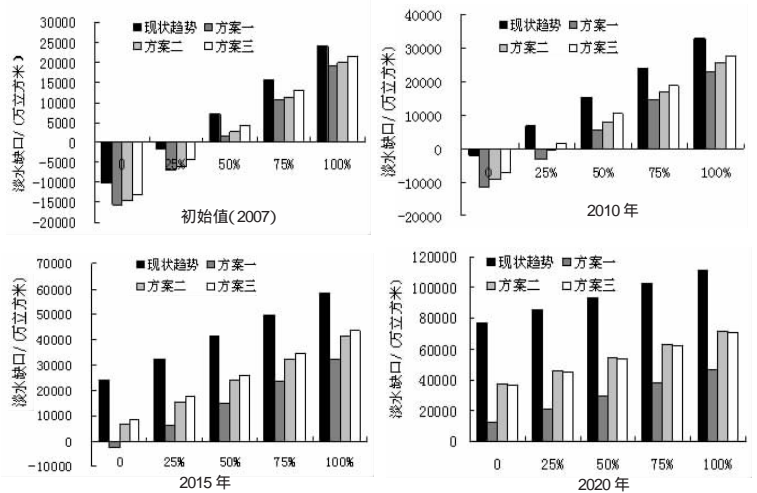


图6 不同咸水入侵影响率下各方案的淡水缺口模拟值



[2] Costanza R. Modeling ecological and economic systems with STELLA: Part III [J]. Ecological Modeling, 2001, (143):17

[3] Mark L S. Threat level green: Conceding ecology for security in Eastern Europe and the former Soviet Union [J]. Global Environmental Change, 2006, 16:400-422.

[4] 吴开亚, 金菊良, 魏一鸣, 等. 基于指标体系的流域水安全诊断评价模型 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(4) :105-113.

[5] Perona E., I. Bonilla, P. Mateo. Spatial and temporal changes in water quality in a Spanish river [J]. The Science of the Total Environment, 1999, 241:75-90.

[6] Karim B., F.M. Taha. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality [J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, 100:179-195.

[7] 史正涛, 黄英, 刘新有. 水安全及城市水安全研究进展与趋势 [J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(4) :20-27.

[8] 张巧显, 欧阳志云, 王如松, 等. 中国水安全系统模拟及对策比较研究 [J]. 水科学进展, 2002, 13(5) :569-577.

[9] 惠决河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 二元模式下水资源承载力系统动态仿真模型研究 [J]. 地理研究, 2001, 20(2) :191-194.

[10] 于书霞, 尚金城. 城市水资源供需系统优化分析 [J]. 自然资源学报, 2002, 17(2) :229-233.

[11] 车越, 张明成, 杨凯. 基于SD模型的崇明岛水资源承载力评价与预测 [J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2006, 6(6) :67-73.

[12] 马永亮. 基于系统动力学的崇明岛水资源承载力研究 [D]. 华东师范大学, 2008, 34-38.

[13] 王开运, 邹春静, 孔正红. 生态承载力与崇明岛生态建设 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(12) :2447-2453.

[14] 杨娟. 岛屿生态风险评价的理论与方法—崇明三岛实证研究 [D]. 华东师范大学, 2007, 5 :42-43.

[15] Sayal A K, Barlas Y, Yenig O. Environmental sustainability in an agricultural development project: a system dynamics approach [J]. Journal of Environmental Management, 2002, 6 (4):247-260.

作者简介: 刘志国(1982-), 男, 博士, 工程师。主要研究方向为生态风险评价与区域生态安全。

(2012-07-11 收稿 刘晓佳编辑)