

文章编号: 1004-4574(2005)06-0100-05

吉林省城市干旱缺水风险评价体系与模型研究

金冬梅¹, 张继权¹, 韩俊山²

(1. 东北师范大学 城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024; 2 水利部 松辽水利委员会, 吉林 长春 130021)

摘要:以吉林省地级城市为研究对象,从造成城市干旱缺水的致灾因子危险性,承灾体的暴露性、脆弱性和防旱抗旱能力四个方面着手,利用自然灾害指数法、加权综合评价法和层次分析法,建立了城市干旱缺水风险评价模型,引用城市干旱缺水风险指数(UDRI),对城市干旱缺水风险程度进行了评价,并借助GIS技术绘制了吉林省城市干旱缺水风险分布图,以期为实现吉林省水资源可持续利用、保障区域经济可持续发展和老工业基地改造战略实施提供科学依据。

关键词:城市干旱缺水; 风险指数; 风险评价; 吉林省

中图分类号: X43

文献标识码: A

Risk assessment system and model research on urban drought and water shortage in Jilin Province

J N Dongmei¹, ZHANG Ji-quan¹, HAN Jun-shan²

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;

2. Songliao Water Resources Commission, Ministry of Water Resources, Changchun 130021, China)

Abstract: The water shortage, especially for city seriously affects the social and economic development of city and becomes a world-wide problem. Jilin Province is one of the major provinces with drought and water shortage in the Northern China. Drought and water shortage are characterized by their high frequency, broad range and great loss. This study presents a model of risk assessment of urban drought and water shortage which integrates hazard, exposure, vulnerability and emergency response and recovery capability in Jilin Province, China by using natural disaster risk index method, weighted comprehensive analysis and analytic hierarchy process and the technology of natural disaster risk assessment. The degree of the water shortage is assessed by the risk assessment model, the risk map of urban drought and water shortage is drawn based on GIS. This study can be expected to provide solid theories and technological supports for taking comprehensive and active measurements to fight drought in Jilin Province.

Key words: urban drought and water shortage; risk index; risk assessment; Jilin Province

水是保障人类社会经济持续发展不可缺少的基础,随着人类生活水平的不断提高,对水的需求也在不断增加。近年来,水资源短缺已经成为许多国家和地区经济发展的制约因素,城市与农村争水的现象尤为严重,水资源短缺风险威胁着人类生活和城市发展。水资源是否短缺,短缺情况如何,简单来讲是受用水和供水两个因素影响决定的。由于径流、降雨等的随机性,供水和需水都存在不确定的因素,因此,水资源的短缺

收稿日期: 2005 - 11 - 18; 修订日期: 2005 - 11 - 28

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2004BA528B - 3 - 1)、教育部留学回国人员科研启动基金和省部共建国家重点实验室(吉林省生态恢复与生态系统管理实验室)开放课题

作者简介: 金冬梅(1979 -),女,吉林柳河人,硕士研究生,主要从事干旱缺水风险评价研究。

具有随机性,即缺水存在着一定的风险。

目前研究城市缺水问题,已经由单纯的通过供需水分析做定性分析的阶段发展为定量分析的阶段,常用多指标模糊决策法评价城市缺水。关于城市缺水问题的研究,大多只是从供水、用水等水资源系统的角度考虑缺水程度以及缺水类型,尚无与风险管理理论及方法相结合的成熟例子^[1~5]。

按照国际通用的指标来衡量^[6],吉林省属于中度缺水,长春市属于极度缺水,四平、辽源、松原等地区为重度缺水地区。根据收集数据资料的难易程度和城市化的代表性,本文选取了吉林省的9个城市化较典型的地级城市为研究对象。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 自然灾害指数法

自然灾害风险指未来若干年内可能达到的灾害程度及其发生的可能性。一般而言,自然灾害风险是危险性、暴露性和脆弱性相互综合作用的结果^[7~9]。但防灾减灾能力对于自然灾害风险度大小的作用也是比较大的,因此在区域自然灾害风险形成过程中,危险性(H)、暴露性(E)、脆弱性(V)和防灾减灾能力(C)是缺一不可的,是四者综合作用的结果,自然灾害风险数学公式表示为^[10]:

$$\text{自然灾害风险度} = \text{危险性}(H) \times \text{暴露性}(E) \times \text{脆弱性}(V) \times \text{防灾减灾能力}(C) \quad (1)$$

1.1.2 加权综合评价法

加权综合评价法是根据评价指标对于评价总目标所影响的重要程度的不同,预先分配一个相应的权重系数,然后再与相应的被评价对象的各指标的量化值相乘后再相加。计算公式为^[11~12]

$$P = \sum_{i=1}^n A_i W_i \quad (2)$$

且有 $A_i > 0$, $\sum_{i=1}^n A_i = 1$ 。式中, P 为被评价对象所得的总分; A_i 为该系统第 i 项指标的量化值; W_i 为该系统第 i 项指标的权重系数; n 为该系统评价指标个数。

1.1.3 层次分析法

层次分析法(AHP)是计算复杂系统各指标权重系数的最为合适的方法之一。一般分为6个步骤:(1)画指标体系的层次图;(2)确定计算各层次权重系数顺序;(3)构造判断矩阵;(4)各层次单排序指标权重计算;(5)各层次判断矩阵一致性检验;(6)计算组合权重系数。具体算法参照参考文献^[11],在本文中不再列出。

1.2 数据来源

本文的数据中,社会统计数据是从吉林省统计局编写的《吉林统计年鉴 2004》^[13]中获取的,水文数据和部分气象数据是从吉林省水利厅的吉林省水资源综合规划水资源调查评价成果概要中获取的,干旱指数等数据是从吉林省水利厅编写的《吉林省水旱灾害》^[14]中获取的。

2 城市干旱缺水风险评价指标体系的建立

2.1 自然灾害风险形成的机制

风险(risk)一词最早于19世纪末由西方学者在经济学领域中提出。后来,逐步被引入到自然灾害这一研究领域。中国自然灾害研究中通常认为灾害风险指的是灾害活动及其对人类生命财产破坏的可能^[15]。

自然灾害风险的形成及其大小,是由致灾因子的危险性(H)、承灾体的暴露性(E)和脆弱性(V)、防灾减灾能力(C)来综合影响决定的。所谓致灾因子的危险性是指可能造成灾害的变异程度,一般灾变强度越大,频次越高,灾害所造成的破坏损失越严重;承灾体的暴露性是指可能受到危险因素威胁的所有人和财产,如人员、牲畜、房屋、农作物生命线等,一个地区暴露于危险因素的人和财产越多即受灾财产价值密度越大,可能遭受的潜在损失就越大;脆弱性是指在给定的危险地区存在的财产由于潜在的危险因素而造成伤害或损失的容易程度,脆弱性越大损失也越大,灾害风险也越大;防灾减灾能力是指政府及个人为了防止和减小

风险而采取一系列措施的能力,能力越强,受到灾害的风险就越小。

2.2 城市干旱缺水风险评价的概念框架

城市干旱缺水,就是城市供水量满足不了城市的需求要求^[16]。城市干旱缺水风险,是指在特定的时空环境条件下,由于城市供水和用水两方面存在不确定性,使得城市水资源系统发生供水短缺事件及其发生的概率并由此产生的损失程度^[17]。

基于自然灾害风险形成机制和城市干旱缺水的形成过程及原理,本文建立了城市干旱缺水风险概念框架图(图1)。

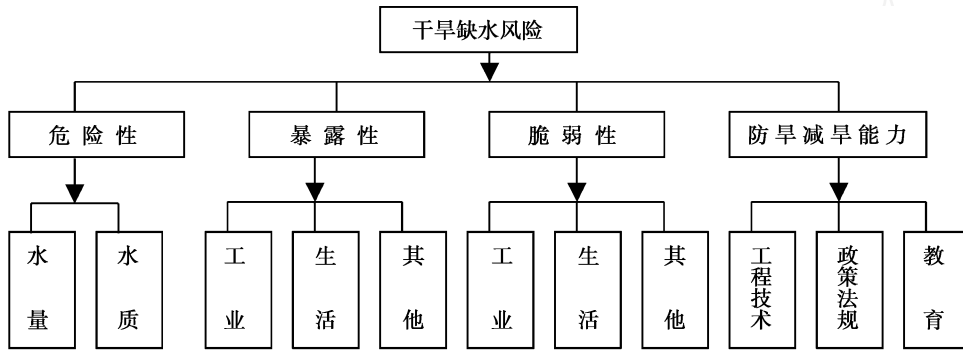


图1 城市干旱缺水风险概念框架图

Fig 1 Conceptual framework of urban drought and water shortage risk

2.3 城市干旱缺水风险指标体系的选择

选择干旱缺水风险指标是进行风险评价的前提和关键。根据城市干旱缺水风险概念框架,综合考虑指标体系确定的目的性、系统性、科学性、可比性和可操作性原则,结合吉林省各城市的实际情况和资料获取的难易程度,将城市干旱缺水风险评价指标体系分为因子层,副因子层和指标层,并选取了24个指标用来描述城市缺水风险(表1),其中权重系数为用AHP法计算出的。

表1 城市干旱缺水风险评价指标体系

Table 1 Assessment indices of city drought and water shortage risk

因子层	副因子层	指标层	权重	
危险性 (h)	水量	人均水资源占有量 (h_1)	0.32	
		年均降水量 (h_2)	0.20	
		年降水变差系数 (h_3)	0.18	
		地表水资源量变差系数 (h_4)	0.13	
		径流深 (h_5)	0.06	
		干旱指数 (h_6)	0.06	
		水质	污浊比 (h_7)	0.06
暴露性 (e)	工业	工业企业个数 (e_1)	0.11	
		工业产值模数 (e_2)	0.18	
	生活	城市人口密度 (e_3)	0.36	
		城市用水人口 (e_4)	0.26	
脆弱性 (v)	其他	耕地率 (e_5)	0.09	
		工业	单位GDP取水量 (v_1)	0.30
			生活	人均生活用水量 (v_2)
其他	灌溉率 (v_3)		0.31	
防旱抗旱能力 (c)	工程技术	水资源利用率 (c_1)	0.08	
		生活污水处理率 (c_2)	0.08	
		工业废水处理率 (c_3)	0.16	
		用水普及率 (c_4)	0.16	
	教育	供水管道长度 (c_5)	0.04	
		在校学生比例 (c_6)	0.08	
		节水政策	工业用水定额 (c_7)	0.08
			生活用水定额 (c_8)	0.08
			耗水率 (c_9)	0.08

3 城市干旱缺水风险评价模型的建立

3.1 评价模型的建立

根据上述干旱缺水风险评价指标体系和自然灾害风险计算公式,利用加权综合评分法和层次分析法,建立如下城市干旱缺水风险评价模型:

$$I_{DR} = D_H \cdot D_E \cdot D_V \cdot D_C \quad (3)$$

$$D_H = A_{h1}W_{h1} + A_{h2}W_{h2} + A_{h3}W_{h3} + A_{h4}W_{h4} + A_{h5}W_{h5} + A_{h6}W_{h6} + A_{h7}W_{h7}$$

$$D_E = A_{e1}W_{e1} + A_{e2}W_{e2} + A_{e3}W_{e3} + A_{e4}W_{e4} + A_{e5}W_{e5}$$

$$D_V = A_{v1}W_{v1} + A_{v2}W_{v2} + A_{v3}W_{v3}$$

$$D_C = A_{c1}W_{c1} + A_{c2}W_{c2} + A_{c3}W_{c3} + A_{c4}W_{c4} + A_{c5}W_{c5} + A_{c6}W_{c6} + A_{c7}W_{c7} + A_{c8}W_{c8} + A_{c9}W_{c9} \quad (3d)$$

其中 I_{UDR} 为城市干旱缺水风险指数,它表示干旱缺水风险程度,其值越大,说明干旱缺水风险越大。 D_H, D_E, D_V, D_C 分别为城市干旱缺水危险性、暴露性、脆弱性和防旱抗旱能力的大小, W 为各评价指标的权重系数, A 为各评价指标的量化值。

3.2 城市干旱缺水风险指数 (UDR I) 计算结果

由于各指标的单位不同,为了计算的方便,本文采取分级赋值法将指标进行量化,评价指标的权重系数是用 AHP 法计算求得的,结果见表 1。

根据 4.1 中叙述的风险评价模型和计算方法,计算所得吉林省地级城市干旱缺水风险指数 (UDR I) 如表 2 所示。

表 2 吉林省城市干旱缺水风险指数
Table 2 Urban drought and water shortage risk indices for Jilin Province

	长春	吉林	四平	辽源	通化	白山	松原	白城	延边
I_{UDR}	3.417	2.991	2.877	2.765	2.305	2.338	3.215	3.237	2.880

4 吉林省各地级市城市干旱缺水风险评价对比分析

根据表 2 中的干旱缺水风险指数的大小和吉林省城市干旱缺水的现状,以及借鉴前人研究^[18],确定了城市干旱缺水风险评价基准(表 3),根据此标准将城市缺水风险程度分为低风险、中度风险和高风险三个等级。根据各评价指标在综合评价中的贡献率的大小,将城市干旱缺水风险分为 4 种类型:资源型,使用型,管理型和混合型——危险性、暴露性和脆弱性之和、防灾减灾能力,这 3 个因素中危险性大于 1 则定义为资源型,暴露性和脆弱性之和大于 1 则定义为使用型,防灾减灾能力大于 1 则定义为管理型,如有两项或两项以上大于 1 则定义为混合型,见表 4。

表 3 城市干旱缺水风险评价基准
Table 3 Standards of urban drought and water shortage risk assessment

UDRI	2.50	2.50~3.00	3.00
风险程度	低风险	中度风险	高风险

表 4 城市干旱缺水风险程度及类型
Table 4 Degree and types of urban drought and water shortage risk

	长春	吉林	四平	辽源	通化	白山	松原	白城	延边
风险程度	高	中	中	中	低	低	高	高	中
风险类型	混合型	管理型	资源型	资源型	管理型	管理型	资源型	资源型	管理型

基于以上分析,根据各城市干旱缺水风险指数的大小,结合吉林省的行政区划图,绘制出地级市的城市缺水风险图,以便判断风险大小,采取适当的风险管理措施之用,见图 2。图中颜色越深表明风险越大,最浅颜色部分为非研究区。可见,城市用水人口最大,工业企业分布最多的长春干旱缺水风险最大,其次为年降水量最少的白城。水资源量较丰富的通化和白山相对来说风险最小。此结果与《吉林省水旱灾害》的缺水程度分析基本吻合。本研究从干旱缺水风险形成的机制出发,根据自然科学、工程科学和社会经济科学的理论,综合了水资源状况以及用水的经济效益,同时考虑各种工程系统的合理运用、



图 2 吉林省地级市城市干旱缺水风险图
Fig 2 Risk map of urban drought and water shortage for municipalities and prefectures in Jilin Province

社会经济系统对干旱的反映,因而结果更加全面和合理,而且对制定风险管理对策可以提供具体参考。

为了比较说明干旱缺水因素对总体风险贡献程度及干旱缺水风险的形成原因,图 3 给出了吉林省城市干旱缺水风险评价指标的贡献率对比分析结果。

由图 3 可以看出,长春、四平、辽源、松原和白城等城市缺水,主要受危险性因素的制约;通化、白山和延边等城市则主要受防灾减灾能力因素的制约。由于每个城市缺水的原因各有不同,因此要根据各个市的各指标的贡献率的不同,因地制宜地通过技术手段、经济手段、管理体制、公众意识、政策引导、法制措施等整体推进,同时实施,相互结合,才能有效缓解城市干旱缺水风险,并保持水资源的可持续利用和发展。

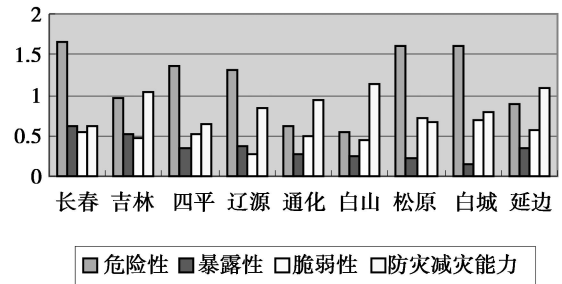


图 3 吉林省城市干旱缺水风险评价指标贡献率对比图
Fig 3 Comparison of contribution rate of assessment indices for urban drought and water shortage risk in Jilin Province

5 结论

目前为止,对于城市干旱缺水风险的研究尚无较完整可行的研究方法。引用城市干旱缺水风险指数来评价城市干旱缺水程度,是较科学、可行的方法。建立评价指标体系的科学性,直接影响城市干旱缺水风险模型的科学与准确性,因此,建立干旱缺水风险模型的关键在于建立科学完整的评价指标体系。根据评价指标对干旱缺水风险的贡献率的不同,因地制宜地采取防灾减灾措施,可以提高防旱抗旱的主动性和目的性,进而减少旱灾所造成的损失。

参考文献:

[1] 郝桂珍,麻宁,施晓辉. 城市缺水原因及其影响[J]. 河北建筑工程学院学报, 2002, 20(2): 29 - 31.

[2] 董洁,张华山,白清俊. 山东省九城市缺水度模糊评价分析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2002, 33(2): 189 - 192.

[3] 彭岳津,黄永基,郭孟卓. 全国主要缺水城市缺水程度和缺水类型的模糊多因素多层次综合评价法[J]. 水利规划, 1996, (4): 20 - 34.

[4] 李波. 多指标模糊决策方法在云南省城市缺水评价中的应用[J]. 人民珠江, 2001, (6): 1 - 7.

[5] 张世本,彭岳津,迟鹏超. 用模糊理论评价松辽流域城市缺水状况[J]. 东北水利水电, 1998, (162): 27 - 29.

[6] Falkenmark M. Water scarcity and population growth: a spiralling risk[J]. Ecodeision, 1992, 21(9): 498 - 502.

[7] 黄崇福. 自然灾害风险分析理论与实践[M]. 北京:科学出版社, 2005.

[8] Zhang Jiquan. Risk assessment of drought disaster in the maize - growing region of Songliao Plain, China[J], Agriculture Ecosystems & Environment, 2004, 102(2): 133 - 153.

[9] 张继权,赵万智,冈田宪夫,多多纳裕一. 综合自然灾害风险管理的理论、对策与途径[J]. 应用基础与工程科学学报, 2004, (增刊): 263 - 271.

[10] Davidson R A, Lamber K B. Comparing the hurricane disaster risk of U. S coastal counties[J]. Natural Hazards Review, 2001: 132 - 142.

[11] 韦纪远,王东胜. 科学研究的定量管理方法及其计算机程序设计[M]. 长春:吉林大学出版社, 1992.

[12] Zhang Jiquan, Okada Norio, Tatano Hirokazu, Hayakawa Seiji. Damage evaluation and regionalization of agro-meteorological disasters in the maize - growing region of Songliao Plain, China: case study of Lishu Area of Jilin Province[J]. Natural Hazards, 2004, 31(1): 209 - 232.

[13] 吉林省统计局. 吉林统计年鉴 2004[M]. 北京:中国统计出版社, 2004.

[14] 吉林省水利厅. 吉林省水旱灾害[M]. 长春:吉林科学技术出版社, 1996. 311.

[15] 自然灾害综合研究组. 中国自然灾害区划研究进展[M]. 北京:海洋出版社, 1998.

[16] 刘俊良. 城市节制用水规划原理与技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2003.

[17] 阮本清,魏传江. 首都圈水资源安全保障体系建设[M]. 北京:科学出版社, 2004.

[18] 大村平. 評価と数量化のはなし[M]. 京:科技出版社, 1983.