

东北地区农业用水安全预警研究

刘 强¹, 严登华¹, 何 岩^{1,2}, 邓 伟¹, 章光新¹

(1. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院, 北京 100864)

摘 要: 农业用水安全预警可分为水量预警和水质预警 2 方面。在区域农业用水供水量以及需水量调查研究基础上, 结合供、需水发展趋势, 对东北区农业用水进行了预测研究, 并依据农业用水保证率对东北区农业用水发展趋势给出了相应的警戒等级。结果表明, 在现状供水条件下, 如采取耗水发展模式东北区缺水将最为严重, 现状供水与节水和潜状供水与耗水发展模式相对于现状供水与耗水发展模式农业用水的缺水状况有所缓解, 但是均有不同程度的缺水现象, 潜状供水与节水模式耦合分析表明东北区在 2030 年以前农业用水基本得到保障, 仅在 2030 年缺水 $1.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 但是水资源保证率为 0.83 属无警戒状态。针对东北区农业用水安全问题, 提出了保障东北农业用水安全的建议。

关键词: 农业用水; 预警; 灰色预测; 节水

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)05-0053-05

中图分类号: TV211.1

Early Warning for Agricultural Water Security in Northeast Region of China

LIU Qiang¹, YAN Deng-hua¹, HE Yan^{1,2}, DENG Wei¹, ZHANG Guang-xin¹

(1. Northeast Institute of Geography and Agriculture Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, Jilin Province, China; 2. Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China)

Abstract: Early warning for agricultural water security can be divided into water quantity and water quality early warning. Based on agricultural water supply and water requirement analyses, and trends in water supply and water requirement, agricultural water security in the northeast region of China is forecasted. According to the ratio of agricultural water supply and requirement, trends in agricultural water are ranked in different classes. In the current water supply and water-consuming mode, the northeast region water resource is scarce. The water resource situation is better in the current water supply and water-saving mode or potential water supply and water-consuming mode compared with the current water supply and water consuming mode; however water supply is inadequate for development. Before 2030, agricultural water could be secured by the potential water supply and water-saving mode, but currently up to 2030 in the no warning situation, there is a $1.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$ water shortage. To address the problem of the agricultural water, suggestions are presented to ensure agricultural water security.

Keywords: agricultural water; early warning; gray predication; water saving

水问题是半湿润、半干旱和干旱地区重要的生态环境问题。在上述地区农业发展水平依赖于水资源保障体系的完善。水资源是 21 世纪全球关注的重大资源问题之一^[1], 对区域农业用水资源调查和农业需水量发展趋势预测的基础上, 进行区域农业用水安全预警研究不但完善了水资源安全理论框架, 还可对区域水资源合理配置提供依据。

东北区行政区域上包括黑龙江、吉林、辽宁 3 省, 总面积 $7.89 \times 10^7 \text{ km}^2$, 总人口 1.06×10^8 人, 耕地面积 $1.74 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (2000 年), 同时也是我国后备土地

资源最为丰富的区域。东北区作为我国重要的商品粮生产基地, 粮食商品化率达 50% 以上, 粮食供应在我国举足轻重。但是由于东北区的水资源时空分布的不均, 水土资源匹配不协调, 出现资源型缺水; 水资源污染严重, 部分地区污染型缺水; 伴随着经济、城市化的发展, 部门、产业间争水现象严重, 大量农业用水遭到挤占。东北区农业用水安全问题面临极大的挑战。通过东北区农业用水安全预警研究, 为东北区用水安全提供理论上的支持, 保证我国农业用水供应的稳定性, 在发展中求得持续。

收稿日期: 2003-03-29

修回日期: 2003-06-14

资助项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KZCX1-SW-19-2-01)

作者简介: 刘强 (1978-), 男 (汉族), 山东胶南市人, 博士生, 主要从事水资源与水环境研究, E-mail: luqiang@mail.neigae.ac.cn.

1 农业用水安全预警的内涵

1.1 农业用水安全提出

水对于人类社会以及生态环境的作用至关重要,一方面促进了人类社会的发展,生态环境的改良;另一方面由于水量、水质以及水的存储空间的变异对人类以及周围生态环境产生负影响。水安全问题可以说是个由来已久的问题。水资源安全问题主要是指水资源(包括水量和水质 2 个方面)供需矛盾产生的对社会经济发展、人类生存环境的危害问题^[1-3]。2000 年 3 月,在荷兰海牙(Hague)召开的“第二届世界水论坛及部长级会议”上提出了 21 世纪水安全面临的 7 个主要挑战,即满足基本需求(meeting basic needs)、保护生态(protecting ecosystems)、食品安全(securing the food supply)、水资源共享(sharing water resources)、处理灾害(dealing with hazards)、水的价值(valuing water)和科学管水(governing water wisely)^[4]。

农业用水是水资源开发利用的重要方面,大农业用水包括农田灌溉、农村生活、农村工业和林牧渔业用水,狭义的农业用水仅包括农田灌溉及农村生活用水。农业用水对于维持农业生态环境健康、农村生活以及国家粮食供应意义深远。作者认为农业用水安全应当归属于水资源安全框架中,其基本含义为一定的经济技术条件之下,由于水资源量与质供需矛盾产生的对农业生产、农村生活乃至社会稳定的危害问题。由此可见农田灌溉用水及农村生活用水作为基本农业用水,其安全性应是首要考虑的问题,本文将着重探讨狭义农业用水安全预警问题。

1.2 农业用水安全预警的内涵

农业用水是指在一定水质要求下所需的一定量的水,用以维持正常的农业生产和生活。农业用水安全预警旨在保证农业用水功能的正常发挥,因而农业用水安全预警也将围绕农业用水水量和水质两方面内容展开。主要体现在以下几方面:(1) 根据人口变动趋势、耕地面积以及作物种植结构变化等预测未来农业用水量,并确定警戒等级;(2) 根据区域水环境质量的变动趋势对未来农业用水水质进行预测,确定警限;(3) 农业用水受作物生长发育阶段需水量影响,具有明显的季节性变化趋势,应依据作物需水要求,确定水资源的警级,合理供水。

农业用水的水质问题是一个值得深入探讨的问题,在 GB5084-89(农田灌溉水质标准)中对农业灌溉用水中的水质标准做了较为详细的量化,但是该指标过于庞杂,实际操作时具有一定的难度,同时由于

水质评价中各地缺乏统一的评价方法^[4],难以有效的对农业用水水质进行监测和评价。加之在东北区属半湿润、半干旱性季风气候区,农业用水的季节性缺水及资源性缺水较为严重,对于农业用水水量的保证是应当优先考虑的问题。考虑作物需水对于农业用水影响的复杂性以及研究尺度,在本文研究中将忽略作物因子影响。本文将着重在农业用水水量预警方面进行探讨,农业水资源的水量预警即对现有水资源调查监测的基础之上,依据用水量的发展趋势,对未来的需水量进行预警,进而提出相应的对策,实现农业水资源量的优化配置,合理调度。农业用水水量安全预警的概念模型如图 1。

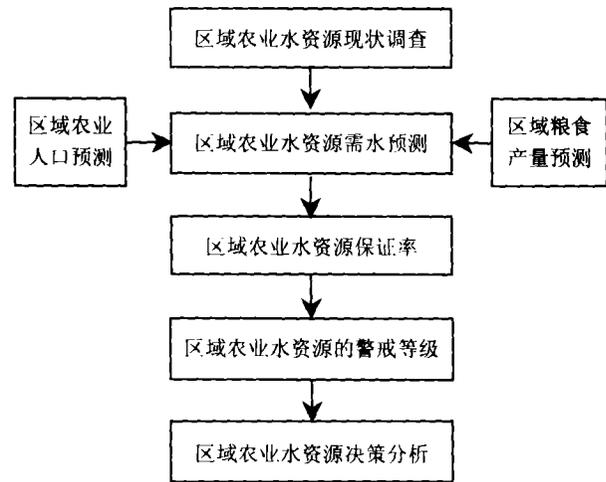


图 1 农业用水水量安全预警的概念模型

2 农业用水水量安全预警方法体系

2.1 农业供水量的计算方法

农业供水量一方面受水资源开发利用条件限制,另一方面受潜在水资源限制,基于这种认识可以将农业水资源可供水量分为潜状农业与现状农业供水。潜状农业供水指在区域水资源承载力基础之上,随水资源开发利用技术提高可分配到农业用水中的水量。中国目前是一个农业大国,农业用水占我国开发利用水资源量的 75.3%^[5],区域水资源总量在一定的时空尺度上是一个相对的稳定值,主要受大气候背景的影响,而区域水资源合理开发利用的限度目前国际公认为 40%^[5]。据此得到潜状农业供水公式为:

$$Q_p = Q \times 0.400 \times 0.753 \quad (1)$$

式中: Q_p ——潜状农业可供水量; Q ——地区水资源总量。

现状农业供水量在潜状农业供水的基础上与地区水资源开发利用方式和农业技术条件等因素有关。

其计算公式为:

$$W_t = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W_{t-i} \quad (2)$$

式中: W_t ——现状可供水量; W_{t-i} ——近年农业用水量(本文中取近 10 a 农业用水量)。

2.2 农业需水量的计算方法

农业需水量的增加源于人口增加及经济发展导致人均用水量的增加;另一方面由于耕地面积、灌溉及种植制度等因素变动造成的需水量增加。前者可据人口及人均需水量变动进行预测;后者可用粮食总产量及粮食单产耗水量的变动反推其需水量变动并预测研究。东北区农业人口与粮食产量历年变化如图 2^[1], 据其变化趋势运用灰色预测理论预测农业人口增长和粮食产量的增长, 同时依据不同时期人均用水与粮食生产用水相关关系可得出在未来的农业需水量。运用灰色预测中的 GM(1,1)模型, 对东北区农业人口及粮食产量进行模拟的模拟方程式见表 1。

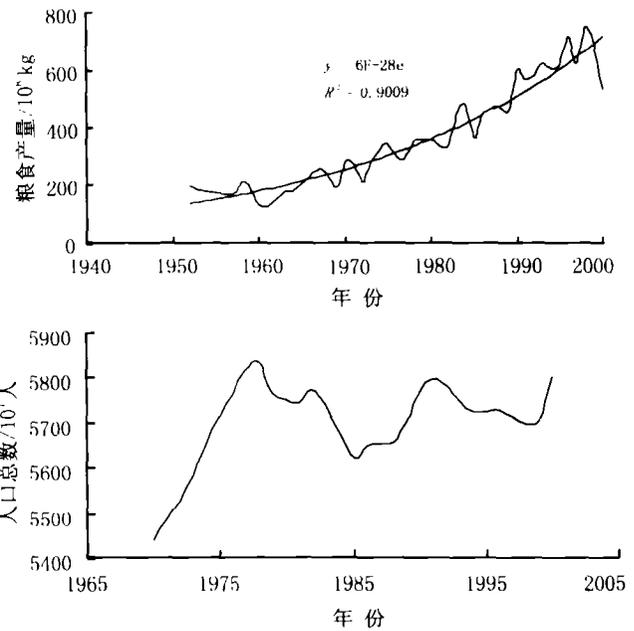


图 2 东北 3 省历年的人口数量和粮食总产量

表 1 东北区农业人口和粮食产量灰色预测方程

地 区	农业人口的预测方程(1970 年, $k = 1, 10^5$ 人)	粮食产量的预测方程(1960 年, $k = 1, 10^5$ kg)
黑龙江省	$\hat{y}(k+1) = 364511.1862x \times e^{0.00515k} - 362534.8062$	$\hat{y}(k+1) = 615.0072 \times e^{0.14808k} - 561.6772$
吉林省	$\hat{y}(k+1) = 399019.4393x \times e^{0.00363k} - 397714.1393$	$\hat{y}(k+1) = 381.8473 \times e^{0.163703k} - 342.3973$
辽宁省	$\hat{y}(k+1) = 4037990.2460x \times e^{-0.000555k} + 404147.2460$	$\hat{y}(k+1) = 1265.4783 \times e^{0.0066746k} - 1229.4783$
东北区	$\hat{y}(k+1) = 821247.8734x \times e^{0.05782077k} - 815809.1934$	$\hat{y}(k+1) = 1803.9401 \times e^{0.130433k} - 1674.6201$

2.3 农业用水保证率的计算方法

农业用水保证率(P)与农业可供水量(潜状供水或现状供水量)(W_s)以及农业需水量(W_d)有关, 因而其公式可表示为:

$$P = W_s / W_d \quad (3)$$

农业用水保证率的确定等级如表 2。

表 2 农业用水预警警级划分

农业用水保证率(P)	警级	农村生活及农业生产水分条件描述
>0.8	无警	农村生活用水及作物需水得到满足, 大多数耗水作物产量可达优产。
$0.6 \sim 0.8$	微警	农村生活用水及作物需水基本得到满足, 作物长势良好, 但是作物生长期内有水分胁迫现象。
$0.4 \sim 0.6$	警戒	农村生活用水基本满足, 但作物生长期作物阶段性缺水, 作物长势一般, 产量不稳定。
$0.2 \sim 0.4$	重警	农业生活用水及作物需水出现冲突, 作物生长期内阶段性严重缺水, 产量不能保证。
<0.2	超重警	农业生活用水及作物需水冲突, 作物处于严重缺水状态, 土壤趋于干旱化, 作物不能正常生长。

3 结果分析

(1) 东北区的现状农业供水量为 $5.88 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。东北区地表水、地下水水资源总量为 $2.51 \times 10^{11} \text{ m}^3$ (1998 年), 经计算潜状农业供水量为 $7.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。

(2) 根据东北区的农业人口的灰色预测方程及粮食产量的灰色预测方程得出该区 2010, 2020 和 2030 年农业人口及粮食产量如表 3, 并据不同时期农业人均耗水量和每 1 kg 粮食在耗水、节水状态下耗水量得 2010, 2020 和 2030 年农业需水量分别为 7.84×10^{10} (542.09), 9.60×10^{10} (703.66) 和 1.24×10^{11} (913.39) m^3 (括弧中为节水状态下农业需水量)。数据分析表明该区农业需水总量呈增长趋势。2000 年在现状或潜状的供水水平下, 农业生产在节水和耗水发展模式下可满足农业需水要求, 总体上缺水趋势不会显现。但区域间存在一定差异性: 黑龙江省农业人口、耕地面积及粮食产量在东北区中比重较大, 因而农业需水额也较大; 辽宁省农业人口、耕地面积等在 3 省中所占比重较小, 需水量也最小, 农业人口呈现一定下降趋势, 与辽宁省经济发展程度较高, 人口在各产业结构中的流动分配有关。

(3) 农业用水在现状、潜状供水条件与耗水、节水条件耦合状况分析。表 4 为不同用水类型下农业用水警戒等级。由表 4 可见,在现状农业供水条件下东北区的水资源形式不容乐观,2000 年,耗水、节水发展模式下东北区农业用水供求状况稳定,农业用水基本上得到满足,粮食产量得到稳步提高。在耗水农业发展模式东北区在 2010 年缺水 $1.51 \times 10^{10} \text{ m}^3$,处于微警状态;2020 年缺水达 $3.71 \times 10^{10} \text{ m}^3$,供水保证率

仅为 0.61,接近警戒线水平;2030 年缺水 $6.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$,农业用水保证率仅为 0.47,处于警戒水平,届时东北区的农业用水将面临严峻的考验。在节水发展模式下,东北区农业用水相对于耗水模式下农业水资源状况有所缓解,2010 年以前满足农业用水需求,2010 后会呈现出农业水资源需大于供的状况,2020 年缺水 $1.16 \times 10^{10} \text{ m}^3$,2030 年缺水 $3.27 \times 10^{10} \text{ m}^3$,也处于资源性缺水状态。

表 3 东北区人口和粮食产量预测

地 区	项 目	用水类型	2000 年	2010 年	2020 年	2030 年
黑龙江省	农业人口/ 10^4 人		2 083.82	2 067.62	2 090.26	2 113.15
	粮食产量/ 10^8 kg		254.55	372.21	500.50	673.02
	农业需水量/ m^3	耗水模式	238.16	374.09	464.42	621.57
		节水模式	176.55	257.02	343.29	458.70
吉林省	农业人口/ 10^4 人		1 484.30	1 497.28	1 508.26	1 519.31
	粮食产量/ 10^8 kg		163.80	296.37	411.17	570.45
	农业需水量/ m^3	耗水模式	153.72	275.74	380.58	525.58
		节水模式	114.08	204.01	281.07	387.53
辽宁省	农业人口/ 10^4 人		2 233.10	2 232.81	2 230.33	2 227.86
	粮食产量/ 10^8 kg		113.78	159.27	182.02	208.02
	农业需水量/ m^3	耗水模式	110.68	154.23	175.55	199.42
		节水模式	83.16	115.68	131.50	149.08
东北区	农业人口/ 10^4 人		5 801.22	5 860.42	5 940.45	6 021.57
	粮食产量/ 10^8 kg		532.13	812.73	1 054.96	1 369.40
	农业需水量/ m^3	耗水模式	483.71	783.77	958.96	1 244.79
		节水模式	354.93	542.09	703.66	913.39

注:农村人均日生活需水 2000、2010、2020 和 2030 年分别为 0.089、0.116、0.124 和 0.127 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 预计粮食耗水现状水平为 0.909 m^3 , 节水条件为 0.667 m^3 。

表 4 不同用水类型下农业用水警戒等级

年份	现状供水条件下的缺水量		现状供水条件下的农业用水保证(P)		现状供水条件下的等级		潜状供水条件下的缺水量		潜状供水条件下的农业用水保证率(P)		潜状供水条件下的等级	
	耗水	节水	耗水	节水	耗水	节水	耗水	节水	耗水	节水	耗水	节水
2000	-104.01	-232.79	1.22	1.66	无警	无警	-273.12	-401.90	1.56	2.13	无警	无警
2010	151.05	-45.63	0.79	1.08	微警	无警	-18.06	-210.74	1.02	1.39	无警	无警
2020	371.24	115.94	0.61	0.84	微警	无警	202.13	-53.17	0.79	1.08	微警	无警
2030	657.06	325.67	0.47	0.64	警戒	微警	487.95	156.56	0.61	0.83	微警	无警

相对于现状供水条件,潜状供水状况下与耗水、节水发展模式下农业需水分析表明,东北区农业用水供需矛盾趋于缓和。

耗水发展模式下东北区的农业用水 2010 年处于供需平衡状态,农业供水有所冗余,2020 年与 2030 年缺水分别达 2.02×10^{10} 和 $4.88 \times 10^{10} \text{ m}^3$,2030 年处于微警状态。节水发展模式下仅在 2030 年缺水 $1.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$,农业用水保证率在 0.80 以上,处于无警戒水平。

4 结 论

(1) 农业用水安全预警包括农业用水水量预警和水质预警 2 部分。农业用水的水质预警是一个指标体系相对难以确定,难以掌握其警限。但是水质预警的重要程度相对而言,较之水量预警有过之,而无不及,水质预警有待进一步的深入探讨。

(2) 东北区农业用水水量预警模式在现状供水、潜状供水与农业耗水、节水发展模式耦合分析表明:

现状供水条件下如采取耗水发展模式东北区缺水最为严重,2030年农业用水预警级别为警戒水平,缺水达 $6.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$;现状供水与节水和潜状供水与耗水发展模式相对于现状供水与耗水发展模式农业用水的缺水状况有所缓解,但是均有不同程度的缺水现象,前者在2020年和2030年分别缺水 1.16×10^{10} 和 $3.26 \times 10^{10} \text{ m}^3$,后者缺水 2.02×10^{10} 和 $4.88 \times 10^{10} \text{ m}^3$;现状供水与节水耦合状况同潜状供水与耗水耦合状况同相比,农业用水保证率相对而言较高,说明东北区在当前的供水条件下应大力发展节水措施,以缓解东北区的农业用水的紧张局势;潜状供水与节水模式耦合分析表明东北区在2030年以前农业用水基本得到保障,仅在2030年缺水 $1.57 \times 10^{10} \text{ m}^3$,但是水资源保证率为0.83属无警戒状态。

(3)为保障东北区农业用水安全,促进区域生态环境及水资源开发利用的良性循环;东北区水资源开发利用应当建立在水资源承载力之上,形成水资源的自我更新体系,避免水资源过度开采造成东北区农业生态环境的恶化;东北区水资源时空分布极其不均,各地社会经济发展水平不同,水资源的开发利用应当依据系统观理论,因地制宜,形成地下水资源地表水资源统筹调动,同时针对东北区水资源北多南少的现象,北水南调,形成区域水资源开发利用网络,协调供

水,保证农业需水要求;针对东北区部分区域水资源污染严重的现象,加强污水防、治与管理,在末端治理向源头控制转变与加强点源、面源以及内源污染综合治理基础之上,充分利用水体自净能力,改善农业生态环境;东北区的农业用水资源应开源节流并举,以区域水资源有效的开发利用为依托,应当加大技术投入,走内涵式发展,积极发展农业节水新技术的探索与引进,实现东北农业用水的持续稳定的发展。

[参 考 文 献]

- [1] 邓伟,何岩.水资源:21世纪全球更加关注的重大资源问题之一[J].地理科学,1999,19(2):97-101.
- [2] 夏军,朱一中.水资源安全的度量,水资源承载力的研究与挑战[J].自然资源学报,2002,17(3):262-269.
- [3] 夏军.水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战[J].海河水利,2002(2):5-7.
- [4] 水利部农村水利司,中国灌溉技术开发培训中心.水土资源评价与节水灌溉规划[M].北京:中国水利水电出版社,1998.39-47.
- [5] 中国工程院“21世纪中国可持续发展水资源战略研究”项目组.中国可持续发展水资源战略研究综合报告[J].中国工程科学,2000,2(8):1-17.
- [6] 沈振荣,苏人琼.中国农业水资源危机对策研究[M].北京:中国农业科技出版社,1998.3-38.

(上接第5页)

陡坡开垦后土壤和养分迅速消失,耕地很快沦为荒地和废地,水土流失面积逐年增加。还有过度放牧会使山坡和草原植被遭到破坏,受到水、风等外营力作用时,造成严重水土流失。

3 结 论

(1)地理环境特征对滇西北地区水土流失强度、范围有重要影响;(2)自然地理环境中地形、植被、降雨是影响水土流失的3个最主要的因素。迪庆、怒江植被覆盖较好,人类活动较小,水土流失轻微,大理地区由于人类活动时间长,植被覆盖率底,水土流失点多、面广。丽江地区自然因子和人类作用强度介于迪庆和大理之间,水土流失的强度亦居于中间位置。(3)人为作用主要表现在基建工程、矿业开发和农耕习惯这几个方面。要改变区域面上的水土流失必须要改变广大农民的生活与耕作习惯,在多雨同时土层也较薄的地区,不一定顺等高线耕作,应与等高线有一定角度,以利排水,否则,暴雨时会把表土冲光。一方面必须因地制宜地进行坡改梯和退耕还林还草工程。

在基建、开矿事前、事中、事后必须与区域环境保护、生态系统恢复重建紧密结合起来。在基本建设等工程行为中必须树立生态优先的思想。导入生态设计施工理念,使此类工程尽可能变为生态工程。

[参 考 文 献]

- [1] 吴良镛.滇西北人居环境可持续发展规划研究[M].昆明:云南大学出版社,2000.56-300.
- [2] 陈育峰.环境地学分析方法及应用[M].北京:中国环境科学出版社,1994.90-99.
- [3] 王礼先.水土保持学[M].北京:中国林业出版社,1994.1-612.
- [4] 水利电力部农村水利水土保持司.水土保持实验规范[M].北京:水利电力出版社,1998.1-110.
- [5] 万晔,王建萍.滇西北自然文化板块诠释[J].热带地理,2000,20(2):130-133.
- [6] 刘燕华,李秀彬.脆弱生态环境与可持续发展[M].北京:商务印书馆,2001.87-107.
- [7] 尹绍亭.一个充满争议的文化生态体系——云南刀耕火种研究[M].昆明:云南人民出版社,1991.1-205.