

松嫩平原农业水资源优化管理模型

章光新 邓 伟 李取生

(中国科学院长春地理研究所,吉林 长春,130021)

摘 要 松嫩平原是我国重要的商品粮生产基地,水资源短缺和不合理利用严重制约着农业的可持续发展。研究中选择国家“九五”农业重点科技攻关吉林省大安试验区作为研究区,针对农业发展状况和目标、次生盐碱化形成机理和水资源开发利用现状及其存在的问题等多种自然和人为条件,建立区域农业水资源优化管理模型,确定水资源最优利用方案,为农业发展规划提供理论依据和科学指导。同时,拟把此套模型技术推广和应用到整个松嫩平原地区,保证农业安全生产,促进生态环境稳定健康发展。

关键词 农业水资源 优化管理模型 松嫩平原

Optimal Management Model of Agricultural Water Resources in Songnen Plain

ZHANG Guangxin DENG Wei LI Qüsheng

(Changchun Institute of Geography, CAS, Changchun, Jilin, 130021)

Abstract Songnen Plain is an important commodity grain in China, nevertheless, shortage and irrational utilization of water resources severely restricts agricultural sustainable development. In this paper, the Daan trial region in Jilin Province postulated in the National Program for Agricultural Key Science and Technology Commission Project under the Ninth Five-year plan is adopted as the research area. Considering the present situation and the goal of agricultural development, the fomative mechanism of the secondary saline-alkalinized land and the problems existent in water resources utilization, the authors have established an optimal management model of water resources for agriculture, which can offer theoretical basis and scientific guidance to agicultural development and programming. At the same time, these technologies are to be applied to Songnen Plain so as to guarantee safe agricultural production and promote the development of regional stable and healthy eco-environment.

Key words agricultural water resources optimal management model Songnen Plain

松嫩平原位于半干旱-半湿润生态脆弱带,属生态压力缺水区,总面积为 $18.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,是我国重要的商品粮生产基地,具有巨大的开发和增产潜力。境内江河纵横,主要江河有松花江、嫩江、第二松花江、拉林河等,但缺乏大型控制性水利工程,地表水利用程度较低,可利用资源 $29.86 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。地下水是本区主要供水水源,可利用资源 $119.51 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,占水资源利用总量的 65.21%^①。由此可见,地下水资源在国民经济发展中发挥着重要作用。近年来,由于农业迅速发展,对水的需求量日益增长,加上人类不合理开发利用水资源,导致区域地下水

位持续下降、局部地区形成季节性漏斗和次生盐碱化加重等一系列问题,严重制约着农业发展和生态环境建设。因此,开展和加强松嫩平原农业水资源科学管理研究,协调水资源与农业安全生产和生态环境建设之间的关系,保证农业可持续发展,促进生态环境稳定健康发展,使本区有限的水资源发挥最佳社会、经济和生态效益,已刻不容缓。

1 研究区概况

选择国家“九五”农业重点科技攻关吉林省大安试验区作为研究区,该区位于松嫩平原的腹部,是低

本文由国家“九五”农业重点科技攻关项目(96-004-02-09)资助。

改回日期:2001-7-3;责任编辑:宫月萱。

第一作者:章光新,男,1971年生,副研究员,在职博士生,从事水资源与水环境研究。

①吉林省、黑龙江省地质矿产局主编.1985.松嫩平原水文地质与工程地质综合评价报告。

洼易涝盐碱地典型代表区。多年平均降水量仅为 400 mm,而多年平均蒸发量则高达 1 600 mm,降水量只能满足作物蒸发蒸腾量的 57%~74%,亏损的 26%~43%靠消耗土壤水、地下水、湿地水等进行补充(朱景武等,2000)。农业水资源主要利用大气降水和地下水,大气降水和湿地水资源均可看成是地下水系统的补给源。

1.1 地下水系统特征

地下水为本区农业主要供水水源,地下水系统主要由 5 层含水层组成:第一层潜水含水层,含水层上部接受降水入渗、湿地渗漏、灌溉回渗等垂向补给,同时通过蒸发蒸腾和人工开采等向外界环境垂向排泄;第二层和第四层均为越流含水层;第三层承压含水层,为地下水主要赋存区,水质较好,是本区主要开采含水层,通过越流垂向补给和人工开采来完成水量均衡;第五层为层间承压水系统,由于补给源较差,当地政府限制开采利用该层地下水。

1.2 农业水资源开发利用现状及其存在问题

近年来,由于农业迅速发展,水田面积大量开发,对地下水的需求量日益增长,特别是最近几年(1995~1997年、2000年)特大干旱,人类不合理开发利用地下水(如农业井群布局不合理,规模过大,间距过小,据调查观测东大泡水田开发区 1992 年第三层承压含水层水位埋深不到 5 m,而 1996 年水位埋深达 8 m 多,迫使许多稻田井下卧,甚至报废,造成严重的经济损失),导致区域地下水位以 0.125 m/a 的速率持续下降、湿地水面和水量锐减、局部地区形成季节性漏斗、水田周围次生盐碱化加重和旱田、林地和草地供水不足等一系列生态环境恶化问题,严重制约着农业发展和生态环境建设(章光新等,2000;吕宪国,1998)。

从以上主要存在的问题可以看出,本区农业水资源开发利用必须重视经济效益、生态环境效益和社会效益,而建立优化管理模型正是发挥有限水资源最大的社会、经济、环境效益,使之更好地为农业生产和人民生活服务。

2 农业水资源优化管理模型的建立及求解

2.1 管理目标

该区农业水资源优化管理主要针对地下水资源、大气降水和湿地水资源,可看成是地下水系统的补给源。地下水资源管理面对的是整个水资源系

统,目的是规划、调整地下水系统的时空人为输入,使地下水输出趋近于既定目标,同时使地下水系统的天然输入朝着有利于实现系统功能的方向发展,以使有限的地下水资源发挥出最大的经济、环境和社会效益。针对本区地下水资源开发过程中所出现的主要问题和矛盾,拟定地下水资源管理的具体目标为:①在优化农业井开采布局的条件下,最大程度地满足农业需水量,为农业持续安全生产提供水量保证;②控制以“水田种稻”为中心的地下水降落漏斗扩大和加深,扼制地下水位不断下降的趋势;③调控潜水含水层水位埋深,防止次生盐碱化发生。

2.2 管理方案及管理期确定

针对农业水资源管理方案的设计,提出如下原则:①根据所设计的农业水资源管理方案,建立的管理模型应有较强的可操作性和实用性,也就是说,要充分考虑到水资源的社会属性和自然属性及其难以量化的模糊性和不确定性;②农业水资源管理方案在现有条件下能够易于实施,并能取得满意的效果。依据这两个原则,同时结合该区地下水系统的结构特征、开采布局、行政区划及用水规划,又考虑没有大的水源地,农业开采期为主要用水期。因此,将整个研究区划分为 5 个管理亚区(图 1),均为稻田区,优化管理期定为 6 个月,即 2000 年 5 月 15 日至 2000 年 9 月 15 日。

2.3 管理模型的建立与求解

优化管理模型建模方法上将有限差数值计算方法与最优化技术相结合,采用地下水分布参数系统数值模拟和线性规划方法耦合建模,耦合方式采用响应矩阵法,确定在有地下水位降深约束下各管理亚区总开采量最大为管理模型的目标函数;在水动力约束、资源约束、社会效益约束、生态环境约束等条件下建立该区地下水系统三维优化管理模型。

2.3.1 决策变量 决策变量是表示研究系统状态的一组输出变量。根据前述的管理目标,取管理亚区的开采量为模型的决策变量,即:

$Q(i, k)$ 为第 i 管理亚区在第 k 管理时段末地下水开采量 (m^3/d), $i=1, 2, 3, 4, 5$; $k=1, 2, \dots$ 。

2.3.2 目标函数 根据本管理区的目标规划问题,各管理亚区规划开采量之和最大。管理目标函数用下列数学公式表达:

$$Z_{\max} = \sum_{i=1}^{NQC} \sum_{k=1}^{NV} Q(i, k) \quad (1)$$

式中: NQC 为管理亚区总数; NV 为管理时段总数。

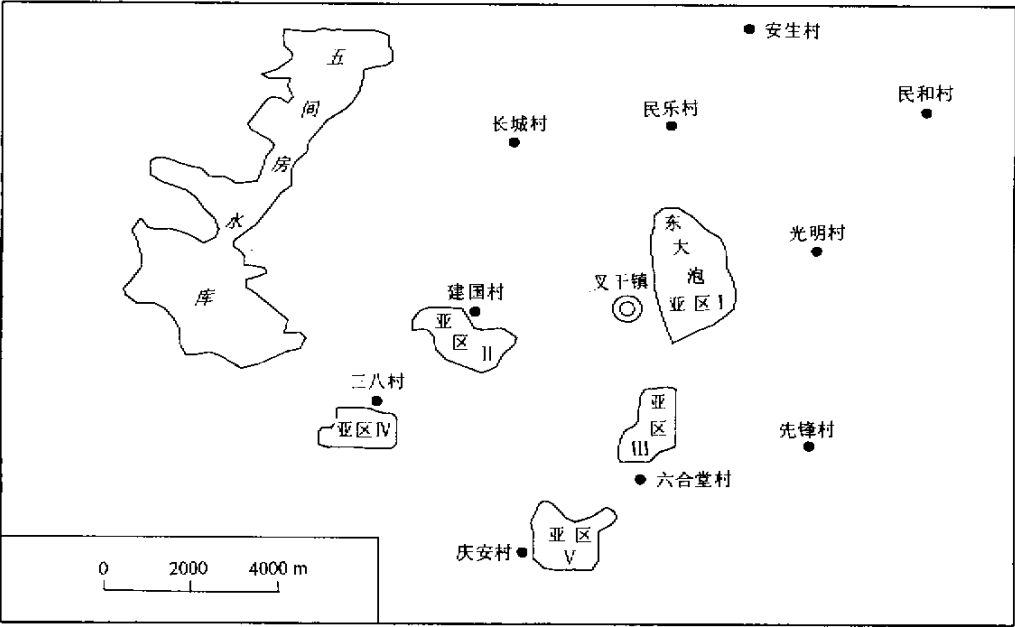


图 1 研究区管理亚区分布图

Fig. 1 Distribution of management subregion in the research area

2.3.3 约束条件 约束条件是指决策变量及相关变量的限制范围。也就是水资源科学管理的优化过程必须是在一定的约束条件下进行,研究中考虑到水位约束、生态环境约束以及水资源量约束。

(1) 水位约束:水位约束是保证管理亚区内各目标结点水位降深值不超过最大允许降深值 S_{\max} 。考虑到研究区含水层系统的出水能力和开采井的抽水能力,并经过长期调查观测确定,稻田井水位最大允许降深值为 6 m,潜水井水位最大允许降深值为 7 m,旱田机井水位最大允许降深值为 15 m。

$$S(j, m) \leq S_{\max}(j) \quad (2)$$

式中: $S(j, m)$ 表示 j 点,管理时段末的水位降深值(m); $S_{\max}(j)$ 表示 j 点水位最大允许降深值(m)。

对于线性含水层系统,水位降深和抽水量之间的关系可以通过响应矩阵线性来表示:

$$S(j, m) = \sum_{i=1}^{NOC} \sum_{k=1}^{NV} \beta(i, j, m-k+1) Q(i, k) \quad (3)$$

式中: $\beta(i, j, m-k+1)$ 表示在抽水时段 k 内,当 i 井(亚区)以单位脉冲时,在时段 $n-k+1$ 末,在 j 点处的水位降深,也称为响应系数。

于是(2)式可表示为:

$$\sum_{i=1}^{NOC} \sum_{k=1}^{NV} \beta(i, j, m-k+1) Q(i, k) \leq S_{\max}(j) \quad (4)$$

(2) 生态环境约束:生态环境约束主要将潜水含水层地下水位控制在产生次生盐碱化临界水位埋深 3 m 以下,以防止次生盐碱化发生,保护生态环境。研究区共有 143 个控制水位井点。

$$S_H(j, m) = \sum_{i=1}^{NOC} \sum_{k=1}^{NV} \beta(i, j, m-k+1) Q(i, k) \geq 3 \quad (5)$$

(3) 供水指标约束:为满足该区 5 片稻田区的需水要求,使各亚区的开采量之和达到供水指标。

$$\sum_{i=1}^{NOC} Q(i, k) \geq D(k) \quad (6)$$

式中: $D(k)$ 为不同管理期的规划供水指标(m^3/d)。

考虑到含水层的出水能力,所以各亚区的开采量之和不能超过含水层的极限开采量。

$$\sum_{i=1}^{NOC} Q(i, k) \leq D_{\max}(k) \quad (7)$$

式中: $D_{\max}(k)$ 为第 k 管理期地下水最大供水量(m^3/d),研究区取 $D_{\max}(k) = 15 \times 10^4 (m^3/d)$ 。

(4) 非负约束:即各亚区开采量为正:

$$Q(i, k) \geq 0 \quad (i=1, 2, 3, 4, 5; k=1, 2, \dots)$$

上述目标函数(1)式和约束条件(4)~(7)式构成线性规划模型。

2.3.4 管理模型求解 根据建立农业水资源三维优化管理模型,利用国际上功能最强大的水资源优化管理系统专业软件(简称 REMAX 软件)来进行

求解和优化管理。REMAX 软件是由国际灌溉中心和美国科学软件公司在国际上最新流行且被各国同行一致认可的地下水三维模拟软件(Modflow)基础上开发研制而成 ,其研究成果居国际先进水平。该系统共有四大模块 Simulation(模拟模块)、Pre-optimization(预优化模块)、Optimization(优化模块)和 Analysis(分析模块)组成 ,从建立模型→剖分网格→数据输入→数值模拟→优化管理→结果输出整个过程都系统化、规范化。可根据具体的管理方案来确定管理目标和约束条件 ,输入相应控制文件和参数 ,逐步运行上述四大模块 ,就会得到满意的结果 (Richard C. Peralta 等 , 2000)。

3 农业水资源优化结果及决策分析

农业水资源优化管理模型 ,在各种约束条件下 ,通过 REMAX 软件计算得出在管理期内 :管理区优化最大开采量为 $6.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,管理亚区优化开采总量达到 $4.3 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,最多可满足水田面积 625 hm^2 ,各管理亚区水资源优化开采量和优化水田面积(按每亩灌溉定额 550 m^3 计算)可知亚区 I、亚区 II 和亚区 III 水资源量满足目前水田农业生产(表 1) ,亚区 IV 有一定的水田开发潜力 ,亚区 V 水资源量不能满足现有条件下的水田面积开发 ,可发展部分旱田或退耕还草 ,以避免地下水超采造成水位大幅度下降 ,迫使稻田井下卧 ,甚至报废 ,带来严重的经济损失。区域地下水开采总量控制在 $1\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$,既能基本满足目前水田面积 625 hm^2 需水量 ,又可保证 $1\,200 \text{ hm}^2$ 旱田面积的灌溉用水量。此外 ,还计算出单个井群规模为 200 hm^2 为宜 ,通过水位控制求得井群合理间距应为 5 km 。

表 1 各管理亚区水田面积和农业水资源优化结果
Table 1 paddy field area of each management subregion and optimal outcomes of agricultural water resources

| 管理亚区 | 亚区 I | 亚区 II | 亚区 III | 亚区 IV | 亚区 V |
|---|--------|-------|--------|--------|-------|
| 现有水田面积/ hm^2 | 200 | 80 | 80 | 100 | 150 |
| 优化开采量/ $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ | 14 500 | 5 600 | 5 600 | 10 500 | 6 800 |
| 优化水田面积/ hm^2 | 211 | 81 | 81 | 153 | 99 |

通过农业水资源优化结果 ,针对该区水资源开发利用现状及其未来用水规划 ,不宜继续开发水田 ,在现有的水田面积上 ,开展节水灌溉技术 ,提高水资源利用效率 ,节约的水资源可用来植树种草 ,搞生态环境建设。合理布置井距和井群规模 ,优化配置水资源 ,最大限度地发挥水资源潜力和价值 ,更好地为

农业生产和生态环境建设服务。

4 结语

水是农业的命脉 ,水资源合理开发利用是关系到松嫩平原农业可持续发展战略的核心问题之一。因此 ,建立农业水资源优化管理模型 ,指导区域农业安全生产和生态环境建设 ,具有深远而重大的现实意义。希望政府及其有关部门(如水利和农业部门等)积极开展模型技术的应用和推广 ,为解决松嫩平原农业水资源短缺和防止次生盐碱化发生等诸多问题作贡献。同时 ,提出以下 3 点建议 :

(1)以资源水利与环境水利为导向 ,搞好供水工程建设 ,合理配置水资源 ,因地制宜地调整农作物结构 ,发展节水农业 ,实现水资源可持续开发利用。

(2)积极开展“ 四水”(大气降水、地表水、土壤水、地下水)循环转化规律、土壤-植物-大气系统(SPAS)的蒸发散等方面工作的研究 ,解决水资源短缺与农业可持续发展的关系 ,将是 21 世纪半干旱-半湿润地区水资源研究的重点领域和热点问题。

(3)开发研制出功能强大的具中国特色农业水资源优化管理专业系统软件 ,提高水资源管理水平 ,增强在国际市场的竞争力。

参 考 文 献

吕宪国 ,黄锡畴 . 1998. 我国湿地研究进展 . 地理科学 , 18(4) : 293 ~ 300.
朱景武 ,严明哲 ,王晓华 . 2000. 关于“ 我省西部荒漠化问题 ”的粗浅认识 . 吉林水利 (8) : 12 ~ 13.
章光新 ,赵志春 . 2000. 吉林省西部水资源可持续开发利用技术初步研究 . 国土与自然研究 (3) : 54 ~ 55.

References

Lu Xianguo , Huang Xichou . 1998. Advance in wetland research in China . Scientia Geographical Sinica , 18(4) : 293 ~ 300(in Chinese with English abstract).
Richard C. Peralta and Alaa H. Aly . 1998. REMAX of User ' s Manual . Peralta and Associates , Inc. Utah , USA.
Zhang Guangxin , Zhao Zhichun . 2000. The preliminary study on sustainable utilization of water resources in the west of Jilin province . Territory and Natural Resources Study , (3) : 55 ~ 55(in Chinese with English abstract).
Zhu Jingwu , Yan Mingzhe , Wang Xiaohua . 2000. Primary thoughts about the desertification problems of the western Jialin province . Jilin Water Resources . (8) : 12 ~ 13(in Chinese with English ab-