

流域水土资源优化配置的几种方法比较

耿艳辉^{1,2}, 闵庆文¹, 成升魁¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 目前关于流域水土资源优化配置研究的特点表现为:对单项的水、土资源优化配置研究较多,把两者结合起来的研究较少;分别从宏观和微观两个尺度研究的较多,将两种尺度结合起来研究的较少;越来越重视资源配置模式下的生态系统服务功能状况及其能否满足特定区域可持续发展的需要;研究方法逐渐由定性向定量化转变,在定量研究中,较多使用一般线性规划、灰色线性规划、动态规划、多目标决策和系统动力学等方法;越来越重视以 3S 技术为基础,结合专业模型进行模拟,为水土资源配置和管理提供高质量的科学决策支持,但目前还没有建立完善的区域性的支持系统。通过重点对水土资源优化配置的定量化方法进行比较分析,今后的研究应当重视:进一步完善流域水土资源优化配置的理论与方法,特别是与区域特点相结合,利用系统科学等多种学科的理论和方法实现宏观尺度上的优化配置;加强 GIS 技术与定量模型的契合;着力解决若干重要的科学和实践问题,如:特定地区生态效益的量化、生态效益与经济效益比例的确定、生态需水量的理论与方法、森林植被的水文效应、农业节水与水资源管理关键技术等;开发建立流域水土资源优化的决策支持系统。

关键词: 流域; 水土资源; 优化配置; 比较分析

1 引言

对于资源配置,一个首要的问题就是要看配置客体是否具有稀缺性和多用(途)性,显然土地和水都具有这两种特性。在以往的相关研究工作中,多是将水资源和土地资源分别进行研究。土地资源的配置研究,是为了达到一定的生态经济最优目标,依据土地特性和土地系统原理,依靠一定的技术和管理手段,对区域有限的土地资源的利用结构、方向,在时空尺度上,分层次进行安排、设计、组合和布局,以提高土地利用效率和效益,维持土地生态系统的相对平衡,实现土地资源的可持续利用^[1]。水资源优化配置是一定时期内,在有效、公平和可持续的原则基础上,对特定区域内有限的、不同形式和质量的水资源,通过工程措施与非工程措施在各用水对象之间进行科学分配^[2]。比较而言,土地资源优化配置研究较多,水资源优化配置的研究则始于 20 世纪 60 年代初期,随着水资源供需矛盾日益突出,逐渐引起人们的重视^[3-7]。

从某种意义上说,流域经济发展,是包括农业生产在内的水、土资源利用过程,其中尤以水、土资源的组合最为重要。与其它产业相比,农业生产活动

需水更多。农业用水大约占总需水量的 69%^[8],从而使水资源成为土地利用的主要制约因素,甚至决定着流域的土地利用方向与格局的变化,因此,将水土资源进行综合研究非常重要^[9]。在微观尺度上,水土资源优化配置包括农作物结构优化、农业灌溉用水规划等。在宏观尺度上,根据配置目标的侧重点不同,有经济主导型配置和生态恢复与建设主导型配置;根据配置原则、目标和主导因素的差异,有结构平衡型、产业次序型、政策导向型和市场调节型等类型^[10]。尽管人们已经在水土资源调查、评价、规划,以及以水土资源综合利用为核心的区域经济、社会、生态环境协调发展等方面开展了大量工作,但总体而言,目前将两类资源结合起来所做的研究还比较少,已有研究也多偏重于水资源的配置,与土地资源的结合不够。其中,水土资源配置方法上的探索一直是研究与实践的重点。

2 流域水土资源优化配置的几种定量化方法

2.1 水土资源优化配置模型

水土资源优化配置模型研究一直是配置研究的重点。从数学方法上看,可分为基于系统工程的方法

收稿日期:2006-02-02;修订日期:2006-10-13

基金项目:国家“973”项目(编号:2002CB111506)。

作者简介:耿艳辉,女,山东人,博士生,主要研究方向为资源生态与区域发展。

E-mail: yanhuig@163.com

法和基于系统动力学的方法;从模型应用目的上看,主要分为针对提高灌溉效率的模型、针对农业结构调整的模型,以及针对水土资源开发利用系统的模型。

2.1.1 基于系统工程的水土资源优化配置模型

这类模型包括线性规划、动态规划和多目标决策模型等 3 种。

(1) 线性规划。从 1874 年利昂·沃尔拉发表的《经济学原理》,到 1974 年丹捷格提出单纯形法,经过 100 多年的发展,其理论和方法日趋成熟,是应用最早、也最广泛的一种优化决策模型。线性规划研究的是线性目标函数在线性约束条件下取最大值或最小值问题,包括一般线性规划方法和灰色线性规划方法。

一般线性规划方法多与其他规划方法相结合,用于灌溉制度和农业结构优化的确定。例如,在灌溉制度的研究方面,利用线性规划和动态规划解决灌溉系统缺水状态下各种作物之间水资源的配置^[11],利用随机规划模型进行农业灌溉用水规划^[12],根据水边际效益最大化原则建立作物系统、灌溉地区、整个流域等不同层次的水资源优化配置模型^[13];在农业结构优化研究方面,利用线性规划方法构造特定地区种植结构优化模型^[14],以水土资源利用系统最大经济效益为目标函数逐步建立农业内部结构优化模型和农、林、牧结构优化模型^[15]等。

水土资源系统中有很多不确定因素,是一类典型的灰色系统,因此,灰色线性规划模型可以有效解决水土资源优化配置问题。例如,在对土地利用现状和土地资源评价的基础上,通过各土地利用类型的适宜性等级的计算和分析,并考虑水资源、社会经济需求等条件,利用灰色线性规划模型对水土资源进行优化配置,最后获得在不同投入水平、不同经济技术条件下的一簇水土资源优化配置方案^[10]。

(2) 动态规划(DP 模型)。动态规划是解决多阶段规划决策问题的一种数学方法,多用于单一作物^[16~19]和多种作物^[20]最优灌溉制度的确定。例如,依据稻田灌溉的特点,针对水稻灌区建立两层分解协调模型(DP-SDP 迭代法),其中第一层用 SDP 模型求解单一作物非充分灌溉条件下最优灌溉制度,第二层用 DP 模型将有限水土资源在多种作物之间进行最优分配^[19];对于多种作物优化需要,以水量分配和经济效益为决策目标,建立多种作物间灌溉水资源最优化分配的双层动态规划(DDP),其中第

一层为单项作物在生长季节的水量分配,第二层为多种作物间水量的分配^[20]。

(3) 多目标规划。又称多目标决策,是为了解决资源管理中经常出现的对多个相互冲突目标进行权衡选择的复杂问题,而在单目标决策的基础上发展起来的最优化决策技术^[21]。目前在国内外应用较多的主要包括多目标规划、目的规划、均衡规划和替代价值权衡法等。例如,以追求效率与公平为目标,以土地、水、人口、粮食作物、牲畜、劳动力为约束条件,建立得厄瓜多尔 Sierra 地区灌溉水资源优化配置方案就属于多目标综合测度模型^[22];又如,以区域净效益最大为主目标,以资金投入最少为分目标,以可耕地面积、分区可供水量、总可利用水量、资金及作物种植面积等为约束条件,可以采用多目标线性规划进行水土资源的优化分析^[23]。

2.1.2 基于系统动力学(System Dynamic,简称 SD)的水土资源优化配置模型 系统动力学是模拟社会经济、生态系统动态行为的计算机仿真技术,自上世纪 80 年代以来,已经逐渐成为现代科学决策和预测的有效工具^[24]。在对区域水资源系统、供需各要素的相互关系及其反馈信息分析的基础上,通过建立水土资源协调开发的 SD 模型,可以获得一定水资源利用状况下最大可利用土地面积以及相应作物种植结构和农、林、牧结构^[25];还可以将水土资源开发利用系统分为人口、水土资源开发利用、粮食、环境子系统,建立可以模拟调试多种方案的仿真实验 SD 模型,有利于提高区域水土资源开发利用的经济、社会和环境效益^[26]。显然,SD 以仿真实际系统的结构与功能为目标,适合于研究复杂的非线性动态系统的时间响应^[27]。

2.2 基于 3S 技术的水土资源优化配置决策支持系统

决策支持系统(DSS)是以数据库、模型库和知识库为基础,把计算机强大的数据存储、逻辑运算能力和管理人员所独有的实践经验结合在一起,有助于将管理信息系统与运筹学、统计学等数学方法、计算机模型技术等联结在一起,辅助支持各级管理人员进行决策^[7]。各种信息获取技术、信息处理技术和信息表达技术共同构建了水土资源优化配置的决策支持系统,遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS) (“3S”)是其中最主要的技术。

人们已经在这方面开展了比较多的研究。如利用多时相卫星和航空遥感图像及地面实测数据和水

文气象资料,分析黄河下游土壤水分的时空分布及变化情况,建立了黄河流域典型地区水土资源定量、半定量动态分析方法,从而为进一步的水土资源配置提供辅助决策支持^[28];提出基于 GIS、RS 和地学模型集成的流域水土资源信息系统开发的思路和技术路线^[29];尝试建立土地利用和水土资源管理的包括水资源因子、土壤环境因子、社会经济因子、观测数据和数字化图件的 GIS 系统^[30];采用宏观与微观、定位观测试验与数值模拟相结合的方法,建立农田水土资源配置辅助决策系统,并根据特定区域的土壤养分、土壤水分、土体构型、土地等级、作物类型等,实现农业技术体系与水土资源环境的优化配置^[31];将 DSSAT3.0 结合地理信息系统(ArcView)集成农业环境地理信息系统,建立决策支持系统 AEGIS^[32];建立可以指导水资源合理利用、种植结构调整策略的县域尺度农业决策支持系统^[33];应用 GIS 空间分析和地统计技术,通过研究作物发育过程对水土资源的需求规律,分析区域水资源与土地资源的组合与匹配状况^[34]。

3 几种方法的比较分析与讨论

总起来说,在系统科学理论和系统工程技术基础上发展起来的流域水土资源优化配置,仍有许多地方需要完善。

3.1 几种优化方法的比较

水土资源优化配置模型采用的数学方法主要有—般线性规划模型、灰色线性规划模型、动态规划模型、多目标规划模型和 SD 模型,这些模型各有优缺点和应用范围。—般的线性规划是静止的,不能反映约束条件随时间变化的情况,动用了大量人力所作的规划,往往因条件改变而失效。如果数学模型中,特别是约束方程中出现灰数,—般线性规划方法不便于处理,常常会出现无解的情形,使计算无法继续下去。灰色线性规划具有动态性、有解性和规划解的多值性的优点,它将约束条件作为灰数,可以在一定范围内反映约束条件发展变化的情况,在某些方面更符合客观情况,灵活性更大,有解的可能性更大。相对于线性规划研究—阶段的水土资源配置,动态规划是一种有助于解决多阶段配置的数学方法。在配置中,常常会出现多个相互冲突的目标,如经济发展、劳动力就业、生态环境保护等,多目标决策模型在进行权衡时具有一定优势。SD 模型通过较好地把握实际系统的各种反馈关系来仿真系统的结构与功能,适合于进行具有高阶次、非线性、多

重反馈、机理复杂和时变特征的系统问题^[27],但由于对长期发展情况进行模拟时参变量不好掌握,易导致不合理的结论。

3.2 水土资源优化配置的尺度问题以及相关的配置方法

宏观尺度上的水土资源优化配置可以提高区域水土资源配置效率,微观尺度上的配置可以提高区域水土资源利用效率。详细解剖配置模型的哪一种方法更优固然重要,而寻求改进的方法及各种方法之间的互补对接也是需要重视的,因为这种改进和对接对于宏观尺度和微观尺度的成果转化和结合非常必要。另外,要实现 GIS 与定量模型的契合,即为弥补 GIS 在目标驱动、定量分析,特别是决策支持方面的不足与缺陷,通过开发、改建数据流程以及相应的软件技术,将 GIS 与在实践中应用较多且技术成熟的定量模型有效联结起来形成一种具有较强空间支持能力的综合集成技术^[35]。例如,将 GIS 与系统动力学模型有效的联结起来,可以显著增强水土资源配置的空间精确性、真实性、合理性与可视性。

实际上,宏观尺度上的流域水土资源优化配置所涉及的不仅仅是两种自然资源,而是一个由经济、社会、生态、环境、资源、人口组成的复杂系统,系统内的各要素是相互关联、相互影响的,因此需要综合地理学、系统科学、资源学、信息科学、经济学、社会科学、生态学、管理科学等多门学科的有关理论与方法(图 1)。该优化配置过程,可以看作是一种结构的调整,即通过用水结构、土地利用结构、产业结构之间的互相优化,促进区域水资源与土地资源的耦合(图 2)。流域有其自身特点要求,上、中、下游水资源的合理分配在配置时要给予充分的考虑。

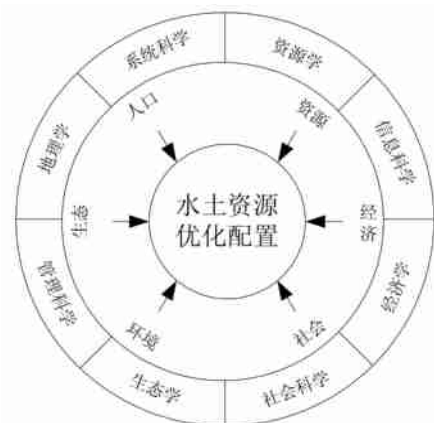


图 1 水土资源优化配置系统

Fig. 1 Water and land resources optimal allocation system

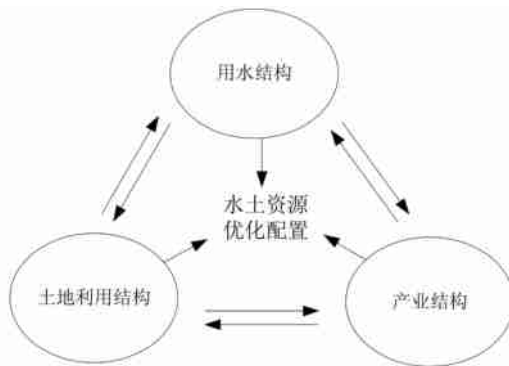


图 2 水土资源优化配置与结构调整

Fig. 2 Water and land resources optimal allocation and structures adjustment

3.3 流域水土资源优化配置的其他相关问题

流域合理的配置还需要建立在若干涉及的科学问题和现实问题的解决上,前者如森林对径流影响、生态需水,后者如节约用水,只有这样配置才更合理有效、更具有现实指导意义。多数研究结果显示,去除森林可以使径流量增加,但森林与水的关系极其复杂,森林对径流量的影响因地域、森林类型以及森林管理方式等因素的不同而存在差异;在评价森林对流域径流量的影响时应全面考虑,分析各地区之间的差别,一个地区所得的结果不能作为森林生态系统水文功能的普遍规律而在其它条件不同的地区加以应用^[36]。配置可能引起林地面积变化,进而引起径流的变化、流域水资源总量的变化以及其他需水部门的可供水量,这是不容忽视的问题。有水或无水是生态环境恶化与改善的症结所在,因此应充分考虑生态需水,保证最低生态需水量,以保证配置模式具有一定的生态效益和可持续发展潜力,一些配置研究已经开始对此有所考虑^[10,37]。然而,生态需水的研究目前尚处于起步阶段,很大一部分研究还集中在对生态需水概念和内涵的探讨方面^[38]。另外还有一些相关的问题也迫切需要深入研究,包括流域经济效益和生态效益比例的确定,生态效益的科学量化,上、中、下游的利益的协调等。当流域为我国西部干旱半干旱区同时又属于贫困地区时,农业节约用水需要建立在国家政策倾斜、良好的水土资源运营和管理机制的基础上,因此水土资源配置要与水资源管理模式的探讨有效的结合起来才能真正有效的解决流域水土资源利用问题。

参考文献 (References):

[1] 刘彦彦. 区域土地利用优化配置[M]. 北京: 学苑出版社,

1999. 6. [LIU Yan-sui. Optimal Regional Allocation of Land Use [M]. Beijing: Academy Press, 1999.]

[2] 冯耀龙, 韩文秀, 王宏江, 等. 面向可持续发展的区域水资源优化配置研究[J]. 系统工程理论与实践, 2003, (3): 133 ~ 138. [FENG Yao-long, HAN Wen-xiu, WANG Hong-jiang, et al. Study on the sustainable development oriented optimal allocation to region water resources[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2003, (3): 133 ~ 138.]

[3] 吴泽宁, 索丽生. 水资源优化配置研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2004, 23(2): 1 ~ 5. [WU Ze-ning, SUO Li-sheng. Advance about study of water resources optimal distribution[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2004, 23(2): 1 ~ 5.]

[4] S. Yu. Schreider. Integrative modelling for sustainable water allocation: Editorial notes on the special issue [J]. *Journal of Environmental Management*, 2005, 77(4): 267 ~ 268.

[5] A. Z. Salman, E. K. Al-Karablieh, F. M. Fisher. An inter-seasonal agricultural water allocation system (SAWAS) [J]. *Agricultural Systems*, 2001, 68(3): 233 ~ 252.

[6] Frank Messner, Oliver Zwirner, Matthias Karkuschke. Participation in multi-criteria decision support for the resolution of a water allocation problem in the Spree River basin[J]. *Land Use Policy*, 2006, 23(1): 63 ~ 75.

[7] 左其亭, 陈曦. 面向可持续发展的水资源规划与管理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003. [ZUO Qi-ting, CHEN Xi. Water Resource Planning and Management Facing on Sustainable Development. Beijing: China Water Power Press, 2003.]

[8] Holden, Paul, Thobani, et al. Tradable Water Rights: A Property Rights Approach to Resolving Water Shortages and Promoting Investment[M]. Policy Research Working Paper, The World Bank, Washington, D. C., 1996.

[9] 姚华荣, 吴绍洪, 曹明明. GIS 支持下的区域水土资源优化配置研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 31 ~ 35. [YAO Hua-rong, WU Shao-hong, CAO Ming-ming. Optimum allocation of regional land and water resources based on GIS[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(2): 31 ~ 35.]

[10] 姚华荣. 生态建设中的水土资源优化配置研究——以首都圈为例[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2004. [YAO Hua-rong. Optimal Allocation of Land and Water Resources in Eco-Environmental Recovering and Rebuilding-A Case Study in Region Around Beijing[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2004.]

[11] 沈允武. 尼罗河流域地表水资源及其开发利用[A]. 见: 世界地理集刊(第七集)[C]. 北京: 商务印书馆, 1984. [SHEN Yun-wu. The surface water resource and its exploitation in the Nile Valley [A]. In: *Journals of World Geography (Seven)* [C]. Beijing: Commercial Press, 1984.]

[12] B. R. Feiring, T. Sastril, S. M. Sim. A stochastic programming model for water resource planning[J]. *Mathematical and Computer Modelling*, 1998, 27(3): 1 ~ 7.

[13] Juan Reca, Jos éRold án, Miguel Alcaide, et al. Optimization model for water allocation in deficit irrigation system: I. Description of the model[J]. *Agricultural Water Management*, 2001, 48(2): 103 ~ 116.

[14] 刘春平, 罗焕炎. 咸淡水地区种植结构优化模型[J]. 自然资

- 源学报, 1992, 7(1): 80~90. [LIU Chun-ping, LUO Huan-yan. The planting structure optimization model in the salt-fresh water region [J]. *Journal of Natural Resources*, 1992, 7(1): 80~90.]
- [15] 张正栋. 榆中县灌溉型水土资源利用系统模型的调控与优化 [J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 1995, 31(2): 73~79. [ZHANG Zheng-dong. Control and optimization of utilization system model of irrigational water-land resources in Yuzhong County [J]. *Journal of Northwest Normal University (Natural Science Edition)*, 1995, 31(2): 73~79.]
- [16] Dudley N, Howell D, Musgraves W. Optimal intraseasonal water allocation[J]. *Water Resource Research*, 1971, 7(4): 770~788.
- [17] Bras R L, Cordov J R. Intraseasonal water allocation in deficient irrigation[J]. *Water Resource Research*, 1981, 17(4): 866~874.
- [18] 崔远来, 袁宏源, 李远华. 考虑随机降雨时稻田高效节水灌溉制度[J]. 水利学报, 1999, (7): 40~45. [CUI Yuan-lai, YUAN Hong-yuan, LI Yuan-hua. The optimum irrigation scheduling for rice with stochastic rainfall under limited water supply [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1999, (7): 40~45.]
- [19] 崔远来. 缺水条件下水稻灌区有限水土资源最优分配[J]. 武汉大学学报(工学版), 2002, 35(4): 18~21. [CUI Yuan-lai. Optimal allocation of water and land in rice irrigation area under limited irrigation water supply [J]. *Journal of Wuhan University of Hydraulic and Electric Engineering*, 2002, 35(4): 18~21.]
- [20] 马金珠, 高前兆. 西北干旱区农业灌溉水资源优化分配的 DDP 模型[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1998, 34(3): 145~150. [MA Jiu-zhu, GAO Qian-zhao. A DDP model of optimal multicrop allocation of agricultural irrigation water in arid Northwest China [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Science Edition)*, 1998, 34(3): 145~150.]
- [21] 冯尚友. 多目标决策理论方法与应用[M]. 武昌: 华中理工大学出版社, 1990. [FENG Shang-you. Theory and Application on Multi-Objective Decision-Making [M]. Wuchang: Huazhong University of Technology Press, 1990.]
- [22] Elizabeth M. Evans, David R. Lee, Richard N. Boisvert, et al. Achieving efficiency and equity in irrigation management: An optimization model of the El Angel watershed, Carchi, Ecuador [J]. *Agricultural Systems*, 2003, 77(1): 1~22.
- [23] 王昕, 刘建强, 贾永政. 黄泛平原中低产田水土资源优化利用模式研究[J]. 中国农村水利水电, 2004, (6): 45~47. [WANG Xin, LIU Jian-qiang, JIA Yong-zheng. Study on optimal utilization modes of water and land resources in middle-and-lower yield fields in Yellow River flood plain [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2004, (6): 45~47.]
- [24] 张汉雄. 系统动力学在水土保持规划中的应用[J]. 水土保持通报, 1996, 16(1): 124~129. [ZHANG Han-xiong. Application of system dynamics in soil and water conservation program [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, 16(1): 124~129.]
- [25] 任望兵, 李爱玲. 绿洲水土资源协调开发的 SD 模型—以哈密为例[J]. 干旱区研究, 1998, 15(2): 51~54. [REN Wang-bing, LI Ai-ling. SD Model of coordinated development for water resource and land resource in Oasis-Taking Hami City as an example [J]. *Arid Zone Research*, 1998, 15(2): 51~54.]
- [26] 何洪林, 彭补拙, 王良健, 等. 吐鲁番水土资源开发利用动态分析[J]. 山地研究, 1998, 16(3): 198~204. [HE Hong-lin, PENG Bu-zhuo, WANG Liang-jian, et al. The studies on the dynamic imitation for utilization of water land resources in Turpan City [J]. *Journal of Mountain Research*, 1998, 16(3): 198~204.]
- [27] 余卫东, 闵庆文, 李湘阁. 水资源承载力研究的进展与展望 [J]. 干旱区研究, 2003, 20(1): 60~66. [YU Wei-dong, MIN Qing-wen, LI Xiang-ge. Some progresses and perspectives in study on the carrying capability of water resources [J]. *Arid Zone Research*, 2003, 20(1): 60~66.]
- [28] 田国良. 黄河流域典型地区遥感的动态研究(一) [J]. 遥感技术动态, 1990, (2): 25~32. [TIAN Guo-liang. The dynamic study through remote sensing technology in typical region of the Yellow River basin (one) [J]. *Remote Sensing Technology Development*, 1990, (2): 25~32.]
- [29] 杨群, 李硕, 李伟. 流域水土资源信息系统的构建[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(3): 42~44. [YANG Qun, LI Shuo, LI Wei. Design of water and soil resource information system of valley [J]. *Geography and Territorial Research*, 2002, 18(3): 42~44.]
- [30] 赵军, 朱宁, 张久明. 海门市水土资源 GIS 的建设与应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(3): 223~230. [ZHAO Jun, ZHU Ning, ZHANG Jiu-ming. Establishment and application of GIS for land and water resources of Hailun county [J]. *System Science and Comprehensive Studies in Agriculture*, 2005, 21(3): 223~230.]
- [31] 徐东瑞, 朱建军. 河北低平原农业技术体系与水土资源的空间配置研究[J]. 河南农业科学, 2003, (8): 45~47. [XU Dong-rui, ZHU Jian-jun. Studies on spatial collocation of agricultural technology system and the water and soil resources in Hebei low plain [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2003, (8): 45~47.]
- [32] BSNAT. Documentation for IBSNAT crop model input and output files, Version 1.1: for the decision support system for agrotechnology transfer (DSSATV. 2.1) [R]. Technical Report Dept of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Ag and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, HI, 1989.
- [33] 赵千钧, 谢高地, 李军. 县域尺度农业资源管理决策支持系统研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 123~126. [ZHAO Qian-jun, XIE Gao-di, LI Jun. Design of management decision support system for agricultural resources on a county scale [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(4): 123~126.]
- [34] 杨艳昭. 基于 GIS 的西北地区水土资源平衡研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005. [YANG Yan-zhao. The Balance Between Land Use and Water Resource based on GIS in Northwest [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2005.]
- [35] 张红旗. 南方红壤丘陵典型区域农业资源优化配置研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2001. [ZHANG Hong-qi. Optimal Allocation of Agricultural Resources in the Typical Red Soil Hilly Region in South China [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2001.]
- [36] 李文华, 何永涛, 杨丽韞. 森林对径流影响研究的回顾与展望 [J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 398~406. [LI Wen-hua, HE Yong-tao, YANG Li-yun. A summary and perspective of forest vegetation impact on water yield [J]. *Journal of Natural Resources*, 2001, 16(5): 398~406.]
- [37] 雷志栋, 苏立宁, 杨诗秀, 等. 青铜峡灌区水土资源平衡分析的探讨[J]. 水利学报, 2002, (6): 9~14. [LEI Zhi-dong, SU Li-ning, YANG Shi-xiu, et al. Balance analysis of water resources in

Qingtongxia Irrigation Area [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2002, (6): 9~14.]
 [38] 何永涛, 闵庆文, 李文华. 植被生态需水研究进展及展望[J]. 资源科学, 2005, 27(4): 8~13. [HE Yong-tao, MIN Qing-wen,

LI Wei-hua. Progress and perspective on ecological water requirement of vegetation[J]. *Resources Science*, 2005, 27(4): 8~13.]

Discussion on Optimal Allocation Methods of Water and Land Resources at the Watershed Scale

GENG Yan-hui^{1,2}, MIN Qing-wen¹, CHENG Sheng-kui¹

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: Although there are lots of researches on optimal allocation of water or land resource at present, few have combined the two factors with each other both in macro- and micro-scale. The study in macro-scale would help to promote regional allocation efficiency and, in contrast, the study in microscopic scale would help to raise resources utilization efficiency. In general, the researches on macro-scale focus on adjusting crops structure, making master plan of irrigation for irrigated agriculture in arid and semi-arid areas. But the researches in micro-scale allocation all more emphasize to achieve high economic benefits. Now people pay more and more attention to the study on establishing models and adjusting parameters in order to improve degraded ecosystems and ecosystem services to meet the increasing needs to regional sustainable development. However, many researchers pay more attentions to single elements than the couple system with water and land resources, especially their interaction. The mathematical methods to realize optimal allocation have transformed from qualitative to quantitative, and lots of models have been used in the process, such as general linear programming, grey linear programming, dynamic programming, multi-objective decision-making and system dynamics model. These methods have different merits and application scales. It is no doubt that the dissection and comparison for the models are very important, but we should not ignore to improve their operational efficiency and to find the port to connect different methods. And, it is necessary to transform and combine the results referring to both of macro- and micro-scales. Currently, scholars pay lots of attentions on Decision Support System, which combine Remote Sensing, Geographic Information System and Global Position System (3 "S") techniques with special models, so as to provide enough supports to water and land resources optimal allocation and management. Through analyzing these methods for optimal allocation, the in-depth studies were suggested as following: 1) to further perfect the theories and techniques of optimization allocation viewing from the systematical point combining with the nature of watershed; 2) to strengthen the integration between GIS and quantitative models; 3) to reinforce the study on some related problems liking the quantification of regional ecological benefits, the determination of ratio of ecological and economic benefits, the theories and methods of ecological water requirement, the hydrological effects of forest vegetation, the key techniques of agricultural water-saving and water resource management; and 4) to develop the decision support systems for water and land resources optimal allocation in watershed scale.

Key words: Watershed; Water and land resources; Optimal allocation; Comparison and analysis