

农业水资源利用效用评价研究进展

雷 波^{1,2}, 刘 钰², 许 迪², 姜文来¹

(1. 中国农业科学研究院自然资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2 国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 北京 100048)

摘要: 效用问题是农业水资源利用的关键和核心。构建科学合理的指标体系评价农业水资源利用效用对于实现农业水资源持续高效利用有着重要的意义。国内外对水资源利用效用评价的理论和研究方法经历了由单一的用水效率评价向以效率和效益有机结合为特征的效用评价的发展历程, 其评价尺度也从最初的作物或田间等微观尺度向灌区、流域、国家乃至全球等中观和宏观尺度发展。未来农业水资源利用效用评价研究发展的重点, 将集中在建立基于不同尺度水平衡观点上的农业水资源利用效用评价指标体系以及不同尺度指标的尺度效应及转换等方面。

关键词: 农业水资源; 效用; 评价; 进展

中图分类号: S271; TV213.9; G353.11

文献标识码: A

文章编号: 1001-6791(2009)05-0732-07

效用问题一直是农业水资源利用相关领域研究的焦点和重点。随着水资源短缺的加剧和全球人口的增长, 农业水资源利用不仅要实现节水目标, 更重要的是在节水的前提下实现产出的高效益。研究农业水资源利用的效用就是研究如何实现节水和高产的统一问题。构建合理的农业水资源利用效用评价理论和方法对于正确评价农业水资源利用效用, 提高农业水资源管理利用水平具有重要的意义。国内外对农业水资源利用效用评价研究最初是以作物或田间等小尺度为重点, 其核心主要放在用水效率的评价上。但是随着水资源问题的逐渐加剧, 尤其是行业之间和区域之间的用水问题逐渐突出, 以效率为核心的小尺度效用评价已经无法满足农业水资源利用和配置在更大空间尺度和时间跨度上的需求。为了适应新的需要, 相关研究开始关注用水的效益评价, 并且评价尺度也向灌区甚至流域乃至全球等更大尺度延伸, 同时也提出了许多新的评价指标。本文基于国内外相关研究成果, 比较分析农业水资源利用效用评价的研究进展与发展趋势, 探讨未来农业水资源利用效用评价的主要研究方向和相关内容。

1 农业水资源利用效率评价

早期的农业水资源利用效率评价主要是基于田间尺度或作物尺度等微观尺度来开展。农业水资源利用效率被定义为产出与投入的比率^[1]。由于灌溉用水在农业用水中的重要地位和作用, 研究灌溉水的利用效率问题也很早就开展。Israelsen 将灌溉效率(Irrigation Efficiency)定义为作物生长季节过程中通过作物蒸发的田间灌溉用水与实际引进的灌溉水量的比值^[2]。几十年来, 尽管许多研究者提出了不同的灌溉效率评价公式和方法, 但其基本的定义并没有发生实质性的变化。某种作物的灌溉效率可用式(1)表示:

$$E_i = \frac{ET_i - P_e}{W_g} \quad (1)$$

式中 E_i 为作物 i 的灌溉效率; ET_i 为作物 i 的蒸腾蒸发量; W_g 为总灌溉引水量; P_e 为有效降水量。

收稿日期: 2008-08-27

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2006CB403405);“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11B08-4)

作者简介: 雷 波(1976—), 男, 四川成都人, 博士研究生, 主要从事农业水资源与农业经济方面的研究。

Wolters 在总结这些指标的时候, 把它们划分为 3 种类型: 基于水量的评价指标, 基于水深度的评价标准, 其它标准(大多情况下为产量)的评价指标^[2-8]。

国内学者在研究水资源利用效率的时候, 为了区分这 3 类指标, 通常将第 1 类和第 2 类指标称为水分利用率, 对于第 3 类评价指标, 大多将其称为水分利用效率(Water Use Efficiency, WUE)。刘文兆把水分利用效率定义为单位水量消耗所生产的经济产品数量^[9]。段爱旺将 WUE 划分了 4 个类型: ① 农田总供水利用效率, 即农田供水包括农作物生长期间的灌溉水量和降水量之和; ② 田间水分利用效率, 即田间消耗的总水量计为整个作物生育期内实际消耗利用的水量之和, 这些水包括灌溉、降水、土壤贮水和地下水补给; ③ 灌溉水利用效率, 即单位灌溉水量消耗所增加的经济产品产量, 消耗的灌溉水量为调用的灌溉水总量, 而相应的经济产品产量则定义为由于补充灌溉而增加的经济产品产量; ④ 降水利用效率, 即单位降水产出的经济产品数^[10]。国外也对灌溉水利用效率的评价指标体系研究较为重视^[11]。1977 年国际灌排委员会提出了一个灌溉效率标准, 该标准将总灌溉效率划分为输水效率、配水效率和田间灌水效率, 总灌溉效率为三者之积^[12]。这些从工程角度出发, 以作物和农田尺度为评价对象的农业水资源利用效用评价指标通常被称为经典效率指标^[8]。这些经典效率指标在早期灌溉工程设计和评价中发挥过重要的作用^[8, 13-14]。

2 农业水资源利用效用评价

尽管传统的农业水资源效率评价, 尤其是灌溉效率的评价对于灌溉工程设计和管管理仍然具有重要的地位和作用, 随着人口的增加和全球经济的不断增长, 各行业、各区域之间的水资源需求竞争关系愈来愈激烈^[8]。David Molden 认为尽管利用效率是描述农业水资源利用最常用的术语, 但是如果就更大尺度而言, 田间水资源利用效率的提高并不能总是与整个流域生产能力提高相一致^[14]。Bagley 指出, 在描述灌溉效率的时候, 如果不能正确地看待灌溉效率的边界特征, 会导致错误的结论, 由于低效率而产生的水资源损失对于大系统而言或许并不存在^[15]。Bos 界定了几个水资源进入和流出灌溉项目的流程, 并且还清楚地界定了返回本流域的水资源以及可供下游使用的水资源^[16]。Willardson 指出单个田间灌溉系统的效率对于流域水文系统而言并不是很重要, 除了考率水质外, 增加灌溉效率对流域会产生好的或坏的影响^[17]。Bos 和 Wolters 指出就整个流域而言, 用于灌溉的水中没有被消费的部分并没用实质性的损失, 因为绝大部分都会在下流被重新利用, 重复利用实际上增加了总的利用效率^[1, 16]。

为了克服水资源利用效率的不足, 许多学者开始提出基于水平衡观点的农业水资源利用效用评价理论和方法。基于水平衡的农业水资源利用效用评价理论和方法有两个基本特征, 一是评价是基于水平衡的观点, 二是评价的范围由田间尺度向灌区、乃至流域尺度延伸。

水平衡的观点指对某个特定研究对象而言, 流入水量应该等于流出量加上存贮量的变化。按照水平衡的观点, 水平衡方程定义应该为

$$Q_{in} - Q_{out} = \Delta Q_s \quad (2)$$

式中 Q_{in} 和 Q_{out} 分别为水资源流入量和流出量, ΔQ_s 为存贮量的变化。

水平衡观点的一个基础就是在进行水资源效用评价之前必须进行水资源核算。而进行水资源核算的重要前提就是研究对象的水资源组成要素划分。具有代表性的也是国内应用比较广泛的是国际水资源管理研究院提出的核算方法^[14, 17-18]。在国际水资源管理研究院提出的水资源核算定义中, 将研究对象的水资源组成要素划分为 4 个大部分: 流入量、流出量、贮存量和消耗量。净流入量为毛流入量加上研究对象内地下水、土壤水等储水层内储水量的变化。消耗水量指研究对象的水被使用或排出后不可再利用或不适合利用的部分, 并且指出水的消耗有 4 种途径: 作物蒸腾和水分蒸发; 水流入海洋、沼泽、咸水体或者其它无法利用或不易利用的区域; 被污染后不能利用的部门; 合成植物体, 形成产量。流出量则包括调配水和非调配水两部分。水量平衡的观点及对水资源构成的划分不仅对评价水资源利用效用有用, 对于水资源配置以及研究生态需水等方面也有重要的

作用和意义^[19-21]。

随着水资源核算概念的提出,一些研究者相继在水平衡观点的基础上,提出了新的灌溉效率的概念。Jensen 提出了灌溉水净利用系数概念^[22], Willardson 提出了消耗比例概念, Perry 与 Burt 提出了收益性和非收益性消耗比例概念^[7, 18]。这些新概念的提出被应用到田间尺度以上的较大尺度来评价农业用水效率,在一定的程度上解决了农业用水利用效率评价尺度问题。但从根本上讲还是一种工程学上的效率概念。Seckler 把这些基于水平衡观点提出的从较大尺度评价灌溉效率的概念称为新经典灌水利用系数^[23]。

实际上,在评价不同尺度的农业水资源用水效用的时候,研究者采用的水平衡公式有很大差别。而差别则主要体现在尺度效应上,尺度不同,水平衡公式的表达方式也不同。例如在评价作物尺度或田间尺度的农业用水效用时,通常要考虑水资源的渗漏问题,在评价较大尺度时,则往往不考虑^[14]。有些水平衡核算公式在考虑大尺度效应时,往往忽视土壤含水量的变化^[24]。也有一些以灌域为对象的中观尺度评价考虑了土壤含水量的变化情况^[13]。与此同时,农业用水效用的评价由作物尺度和田间尺度向灌区、流域乃至更大尺度的转变也引出了该领域一个新的概念,即尺度转换问题。尺度的概念广泛存在于水文学、生态学、气象学、土壤学、生物学等诸多学科中,通常指某过程或观测及模拟的特征时间和特征长度(空间),一般称之为空间尺度^[25]。David Molden 等认为农业水资源的利用效用不仅仅关系到农业生产,还影响到生活、工业以及生态用水等多个方面^[14]。对农业、灌溉以及水资源利用的研究在空间尺度上具有很大变化。国际水资源管理研究院提出的水量平衡计算框架就将水资源的利用划分了3个尺度:①宏观尺度,即流域或次流域层次,包括几个不同行业之间的水资源利用;②中观尺度,即水资源服务层次,例如灌溉或市政水资源服务;③微观尺度,水资源利用层次,例如农业田间,农户或环境用水等。尽管尺度的划分不是唯一的,但人们总试图给尺度划分出确切的长度^[14]。Wallender、许迪等认为,灌溉水文学研究的空间尺度变化是从微观尺度($10^{-5} \sim 10^{-2}$ m)、中观尺度($10^{-2} \sim 10^0$ m)、宏观尺度($10^0 \sim 10^4$ m)至全球尺度^[25]。

3 农业水资源生产力评价的发展

早期的灌溉效率研究把作物消耗水资源生产的产量也看作一种效率。随着水平衡观点的引入以及农业水资源利用效用评价尺度的不断拓展,这种划分显然具有明显的不足。为此,有关研究者开始注重农业水资源消耗的经济产量评价。国际水资源管理研究院提出了水分生产率(Water Productivity, WP)的概念^[23, 26]。在国际水资源管理研究院的定义中,水分生产率即单位(体积或价值)水量所生产出的产品数量或价值。实际上,从概念上来看,WP与WUE比较相似,二者在本质上体现在尺度的差别上。水分利用效率更多的是衡量作物尺度或田间尺度农业水资源的利用效率,而水分生产率则是强调较大尺度上水资源利用所产生的价值。例如,对于单株作物或农田而言,提高WUE意味着让每一滴灌溉水生产更多的粮食。但对社会来说,考虑到一个流域或国家的水资源,提高WP就是获得所利用单位水量的更大价值。David Molden 等认为,从更大尺度或者更宏观的角度而言,用WP表示消耗水量的产出比率更精确^[15]。Randolph 和 Baker 等提出,通常的灌溉效率可以划分为灌溉水传输效率(灌溉水在干、支渠内输送效率)和田间利用效率(农田实际利用灌溉水的效率)^[27-28]。一个较高水平的经典灌溉效率也许并不能反映好的管理水平,而仅仅是因为水资源的缺乏。此外,Barker 等还认为,如果把对灌溉效率的评价由田间向灌区乃至更大尺度应用的话,一个较高的灌溉效率的获取可能仅仅是因为降低了无益消耗部分。因此,高效率并不意味着高的生产力或者高的经济回报。Seckler 甚至认为“效率”这个词在水资源政策与管理方面已经失去了作用^[23]。此外,比较小尺度的WUE和WP的评价区别时,人们也注意到WUE的评价对象一般仅限于作物蒸腾(作物尺度)或者再加上田间蒸发(田间尺度)。而在评价WP时,对象是区域内整个农业水资源,不仅包括生产性消耗,也包括非生产性消耗部分。在水平衡观点的前提下,WP具有比WUE更广的适应范围。在水资源单一使用的情况下,如农业灌溉,水资源生产力可以用单位水量生产的粮食产量或其价值来表示;在水资源多用途的条件下,如农业灌溉、工业和城市供水、渔业和环境等,水资源生产力可用

各种用途所产生的总效益与总支出的差值除以不同流入量来求得; 同时, 不同灌区之间以及同一灌区不同时期均可用水资源生产力指标来进行比较^[29]。例如, IWMI 就提出了净流入水量生产率、总消耗水量生产率和生产性消耗水量生产率等 3 个指标^[14]。

4 农业水资源利用效益评价

农业水资源利用效用评价由最初的经典效率到新经典效率, 再到后来的水资源生产力评价, 经历了由工程效率评价向经济效率评价转变, 评价尺度也逐渐向大尺度延伸。近年来, 一些新的研究开始致力于将水资源生产率评价与水资源经济效益评估相结合, 利用经济学资源配置的方法开展新的农业水资源利用效用评价研究。经济效益考虑产出的价值, 投入的机会成本和外部效应, 通过配置稀缺资源获得最大的经济价值, 是确保资源投入能获得最大净收益的衡量标准^[5]。经济效益往往涉及技术和配置两个部分, 如果水资源的利用同时在技术上和配置上都有效的话, 它的利用肯定是高效的。Molden 和 Fraiture 在描述灌溉效率的缺点和经济效益的重要性时指出“灌溉效率, 即便是流域尺度的灌溉效率, 这个概念仅仅涉及到水量, 而不能表述水资源在不同利用之间的价值问题”^[30]。农业水资源利用经济效益概念的提出也促使灌溉管理的基础由过去的满足作物需水量向灌溉经济效益最大化转变^[31], Perry 将这种观点定义为灌溉最优化^[18]。Dennis 和 Rosegrant 都在探讨灌溉最优化的本质时分析了水资源短缺和充足两个条件下灌溉净收入的最大化问题^[32-33]。在此基础上, Demis 还将灌溉最优化的观点扩展, 考虑了食物安全问题、区域和国家灌溉政策问题、灌溉效率和环境影响问题以及可持续性问题。Rosegrant 还探讨了灌溉的社会净收益最大化问题、水资源稀缺的价值问题以及放弃农业的影响问题^[32-33]。国际食物与政策研究所(IFPRI)在原有的(International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade, IMPACT)模型中增加了以流域为单位的水资源限制模块, 发展成了 IMPACT-WATER 模型^[24, 34]。该模型在流域水资源平衡的基础上分析和评价了全球农产品生产和贸易均衡问题。此外, 廖永松将中国农业政策分析与预测模型(China's Agricultural Policy Simulation and Projection Model, CAPSIM)和水资源情景分析对话模型(The Policy Interactive Dialogue Model, PODIUM)链接起来, 开发了一个可供水资源管理和农业发展政策制定和研究使用的 CAPSIM-PODIUM 模型^[35]。国际灌排委员会(ICID)也开发了 BHIWA(Basin Wide Holistic Integrated Water Assessment Model)模型, 以流域为单位评价农业水资源的利用效用^[36]。这些与水资源有关的模型的一个重要特点就是不仅考虑到了水资源利用量的限制和工程技术问题, 还考虑到了水价、水权以及国家和地区水资源政策等因素, 以及水资源的环境功能等方面对水资源利用和开发的影响, 从更广泛的角度对水资源利用效用进行了评价。

5 结论与展望

当前, 农业水资源利用效用评价的核心和重点已由经典的效率向用水效益转变, 注重效率和效益的结合; 以水资源平衡理论为基础, 由作物和田间等微观尺度向灌区、流域(区域)等宏观尺度转变, 尺度之间转换的效应问题也成为当前研究的重点。基于对国内外农业水资源利用效用评价理论和方法的比较研究, 未来的研究重点在以下几个方面。

(1) 农业水资源利用效用评价理论与方法 水平衡的观点明确了水资源在农业生产过程中的转换关系, 使我们能够更加系统和有机地了解水资源的利用效用问题。尽管对于水平衡的表述还存在着各种限制和不足, 相关研究经验已经证明, 即便是比较粗略的水平衡估算, 对于用水管理、研究也有很大的帮助。完善水平衡的观点重点在于界定清晰不同尺度的水平衡表达方式, 以及水资源利用类型的划分问题。

(2) 农业水资源利用效用评价尺度效应与转换 研究和分析作物—田间—灌区—流域(区域)—全球不同尺度之间用水效用的尺度效应以及尺度转换问题, 为构建完善的农业水资源利用效用评价指标体系奠定科学的基础。主要研究内容包括: 分析不同尺度、不同土地利用类型农业水资源利用效用关键指标的时空变化规律, 确

定不同类型灌区农业水资源高效利用的合理指标范围(如 ET 定额、灌溉用水定额、水分生产效率、灌溉水利用系数等);考虑尺度效应对用水的影响,不同尺度指标变化相互影响及转换关系。

(3) 农业水资源利用效用评价指标体系 构建和完善可持续发展条件下的农业用水效用评价指标体系和理论方法,可持续是利用水资源的基本观点,可持续发展的观点要求在评价水资源利用效用的时候应该以水资源平衡理论为基础,构建评价指标体系不仅要反映利用效率等传统的技术指标,更重要的是要反映利用效益等方面的经济效益指标,以及经济、技术效益的综合及其对社会产生的影响。因此,研究的内容包括:通过对不同尺度范围内用水量、耗水量、储水量、排水量、生物量和产量等要素的监测和分析,对比不同尺度下水资源的有效利用程度,构建农田尺度和区域尺度农业水资源利用效率的评价指标和方法。

参考文献:

- [1] WOUTER W. Influences on the efficiency of irrigation water use[D]. The Netherlands: Intertional Institute for Land Reclamation and Improvement, 1992: 31-41.
- [2] ISRAELSEN O W. Irrigation principles and practices[M]. New York : John Wiley, 1932.
- [3] HALL W A. Perfomance parameters of irrigation system [J]. Transactions of ASAE, 1960, 3(1): 75-76, 81.
- [4] JENSEN M E, SWARNER L R, PHELAN J T. Improving irrigation on efficiencies[C] // American Society of Agronomy. Irrigation of Agriculture Lands, Agronomy Series: 11. Wisconsin, USA, 1967: 1120-1148.
- [5] ERIC L J. Management: A key to irrigation efficiency[J]. J Irrigation and Drainage Engineering, 1968, 94(3): 285-293.
- [6] WELLR J A, PAYAWAL E B, SALANDANAN S. Perfomance assessment of the pomac river irrigation system[C] // Asian Regional Symposium on the Modernisation and Rehabilitation of Irrigation and Drinage Schemes. Wallingford: ODU/Hydraulics Research Ltd, UK, 1988.
- [7] BURF C M, CLEMMENS A J, STRELKOFF T S, et al. Irrigation perform measures: Efficiency and uniformity[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1997, 123(6): 423-442.
- [8] MARVIN E J. Water productivity: Science and practice-beyond irrigation efficiency[J]. Irrigation Science, 2007, 25(3): 213-245.
- [9] 刘文兆. 作物生产、水分消耗与水分利用效率间的动态联系[J]. 自然资源学报, 1998, 13(1): 21-23 (LIU Wen-zhao. Dynamic interrelation of crop production, water consumption and water use efficiency[J]. Journal of Natural Resources, 1998, 13(1): 21-23. (in Chinese))
- [10] 段爱旺. 水分利用效率的内涵及使用中需要注意的问题[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(1): 8-11. (DUAN Ai-wang. Connotation of water use efficiency and its application in water-saving practice[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2005, 24(1): 8-11. (in Chinese))
- [11] 蔡守华, 张展羽, 张德强. 修正灌溉水利用效率指标体系的研究[J]. 水利学报, 2004(5): 11-16 (CAI Shou-hua, ZHANG Zhan-yu, ZHANG De-qiang. Modified index system for utilization efficiency of irrigation water[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004 (5): 11-16 (in Chinese))
- [12] HART W E, SKOGERBOE G V, PERI G. Standards for irrigation performance: An evaluation[J]. J Irrigation and Drainage Engineering, 1979, 105(1): 37-43.
- [13] 雷志栋, 杨汉波, 倪广恒, 等. 干旱区绿洲耗水分析[J]. 水利水电技术, 2006, 37(1): 15-21. (LEI Zhi-dong, YANG Han-bo, NI Guang-heng, et al. Analysis on water consumption of oasis in arid area[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2006, 37(1): 15-21. (in Chinese))
- [14] DAVID M, Accounting for water use and productivity[EB/OL]. [2008-06-21]. <http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/SWIM-Papers/PDFs/SWIM01.PDF>
- [15] BAGLEY J M. Effects of competition on efficiency of water use[J]. Journal of Irrigation and Drainage Division of the American Society of Civil Engineers, 1965, 91(1): 69-77.
- [16] BOS M G. Der Einfluss der Grosse der Bewässerungs einheiten auf die verschiedenen Bewässerungs wirkungsgrade[J]. Zeitschrift Für Bewässerungs Wirtschaft, Bonn, 1979, 14(1): 139-155.

- [17] WILLARDSON L S Basin-wide impacts of irrigation efficiency[J] . Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1985, 111(3): 522-529.
- [18] PERRY C J The IIMI water balance framework: A model for project level analysis[R] . Colombo: TWMI, 1996
- [19] 王浩, 王建华, 秦大庸. 流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J] . 水科学进展, 2004, 15(1): 123-128 (WANG Hao, WANG Jian-hua, QIN Da-yong Research advances and direction on the theory and practice of reasonable water resources allocation[J] . Advances in Water Science, 2004, 15(1): 123-128 (in Chinese))
- [20] 周丰, 刘永, 黄凯, 等. 流域水环境功能区划及关键问题[J] . 水科学进展, 2007, 18(2): 216-221. (ZHOU Feng, LIU Yong, HUANG Kai, et al Water environmental function zoning at watershed scale and its key problem[J] . Advances in Water Science, 2007, 18(2): 216-221. (in Chinese))
- [21] 高永胜, 王浩, 王芳. 河流健康生命评价指标体系的构建[J] . 水科学进展, 2007, 18(2): 252-258. (GAO Yong-sheng, WANG Hao, WANG Fang Construction of evaluation index system for river's healthy life[J] . Advances in Water Science, 2007, 18(2): 252-258 (in Chinese))
- [22] JENSEN M E Technical seminar proceedings[R] . Columbia: IWMI, 1977.
- [23] SECKLER D, MOLDEN D, SAKTHIVADIVEL R The concept of efficiency in water resource management and policy[R] . Columbia: IWMI, 1998
- [24] ROSEGRANT M W, MEJER M S, CLAUDIA R International model for policy analysis of agricultural commodities and Trade (IMPACT-Water): Model description[R] . Washington D C: International Food Policy Research Institute, 2008
- [25] 许迪. 灌溉水文学尺度转换问题研究综述[J] . 水利学报, 2006, 37(2): 141-149. (XU Di Review on scaling study in irrigation hydrology[J] . Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(2): 141-149. (in Chinese))
- [26] 刘鹤, 赵文智. 农业水生产力研究进展[J] . 地球科学进展, 2007, 22(1): 58-65. (LIU HU, ZHAO Wen-zhi Advance in researches of agriculture productivity[J] . Advance in Earth Science, 2007, 22(1): 58-95 (in Chinese))
- [27] RANDOLPH B, DAVID D, ARLENE I Economics of water productivity in managing water for agriculture[C] // KIJNE J W, BARKER R D Molden Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. Colomba: CAB International, 2003: 138-151.
- [28] BARKER, DAVID. Global water shortages, alternatives for increasing water productivity, and implications for China[R] . Columbia: IWMI, 2000.
- [29] 董斌, 崔远来, 黄汉生, 等. 国际水资源管理研究院水量平衡计算框架和相关评价指标[J] . 中国农村水利水电, 2003(1): 5-7. (DONG Bin, CHUI Yuan-lai, HUANG Han-sheng, et al An introduction of the framework for water accounting and performance indicators developed by IWMI[J] . China Rural Water and Hydropower 2003(1): 5-7. (in Chinese))
- [30] MOLDEN D, FRAITURE C Major paths to increase the productivity of irrigation water[C] // World water supply and demand: 1995 ~ 2025. Colombo: International Water Management Institute, 2000.
- [31] KIRDA C, KANBER R "Water, no longer a plentiful resource, should be used sparingly in irrigation agriculture"[C] // Crop yield response to deficit irrigation The Netherlands: [s n] , 1999.
- [32] DENNIS W. An economic perspective on the potential gains from improvements in irrigation water management[J] . Agriculture Water Management, 2002, 52: 233-248.
- [33] ROSEGRANT M W, TIMOTHY B Sulser international model for policy analysis of agricultural commodities and trade[EB/OL] . [2008-07-05] . <http://www.ifpri.org/themes/impact/impactddes.pdf>
- [34] FRAITURE C D, Cai Xi-ming, AMARASINGHE U, et al Does international cereal trade save water? The impact of virtual water trade on global water use, comprehensive assessment research report 4 [EB/OL] . [2008-07-05] . <http://www.iwmi.cgiar.org/Assessment/files/pdf/publications/ResearchReports/CARR4.pdf>.
- [35] 廖永松. 中国的灌溉用水与粮食安全[M] . 北京: 中国水利水电科学出版社, 2006: 108-114. (LIAO Yong-song China's irrigation for food security[M] . Beijing: China Water Power Press, 2006: 108-114. (in Chinese))
- [36] ICID. Basin wide holistic integrated water assessment (BHIWA) model [EB/OL] . [2008-07-05] . <http://www.icid.org/cpsp-link.html>

Advances in evaluation study on utility of agriculture water utilization^{*}

LEI Bo^{1, 2}, LIU Yu¹, XU Di¹, JIANG Wen-lai²

(1. National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, Beijing 100044, China;

2. Institution of Agricultural Resources and Agricultural Planning, CAAS, Beijing, 100081, China)

Abstract: The key issue of agricultural water resources utilization (AWRU) is utility. It is significant to establish target system to evaluate the utility of AWRU for realizing the efficient and sustainable utilization of agricultural water resources. The methods and theories for evaluating the utility of AWRU are in process from water use efficiency to the combination of water use efficiency and benefit. Therefore the scale of evaluating the utility of AWRU is being transformed from micro-level of crop and field to the medium and macro-level of irrigation district, watershed, nation and globalization. The research of the evaluation of AWRU in the future will be focused on the establishment of the target system of AWRU which is based on the different water balance and the transformation and the scale effect at different scale.

Key words: agricultural water resources; utility; evaluation; advance

水利大事记

1951年毛泽东发出了“一定要把淮河修好”的伟大号召，淮河成为中华人民共和国成立后第一条全面治理的大河。

1954年长江洪水，京广铁路中断100天，抗洪中3次启用荆江分洪区。

1957年三门峡水利枢纽工程开工兴建，成为黄河干流上第一座大型水利枢纽。浙江新安江水电站开工，是中国第一座自己勘测、设计、施工和制造设备的大型水电站。

1958年刘家峡水利枢纽开工建设，是中国自行设计和建设的第一座100万kW以上的大型水电站。

1960年河南林县引漳入林工程正式动工兴建，1965年建成人造天河——红旗渠。

1970年葛洲坝水利枢纽工程开工，成为长江干流上兴建的第一座水利枢纽工程。

1979年全国第一次水资源评价工作开始。

1982年引滦入津工程开工，是中国第一个远距离引水的城市供水工程。

1985年国务院发布《水利工程水费核订、计收和管理办法》，实行供水收费，水利工程从无偿供水转变为有偿供水。

1988年《中华人民共和国水法》颁布施行，全文共7章53条，正式提出“依法治水”一词。

1994年长江三峡水利枢纽工程开工，是迄今为止世界上规模最大的水利枢纽工程。黄河小浪底水利枢纽工程开工。

1998年长江流域发生了仅次于1954年的全流域型大洪水。

1999年黄河水量实施统一调度并取得显著成效，黄河连续10年不断流。

2000年浙江省义乌市和东阳市签订有偿转让水权协议，开创了我国水权交易的先河。

2002年南水北调工程，这一迄今为止规模最大的调水工程正式开工。

2008年汶川大地震中震损水库、水电站无一垮坝，震损堤防无一决口。唐家山堰塞湖成功排险，创造了世界上处理大型堰塞湖的奇迹。

(摘自《光明日报》)

^{*} The study is financially supported by the National Basic Research Program of China (No. 2006CB403405) and National Key Technology R&D Program of China during the 11th Five year Plan Period (No. 2006BAD11B08-4).