

农业经济用水量与我国农业战略节水潜力

吴普特, 赵西宁, 冯浩, 王玉宝

(西北农林科技大学, 中国科学院水利部水土保持研究所, 国家节水灌溉
杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 在分析我国农业水资源利用现状基础上, 从保障粮食安全和最大用水综合效益出发, 提出了“农业经济用水量”的概念, 分析了其内涵, 提出了基于宏观水资源合理配置的“农业经济用水量”研究的理论基础及其相应技术基础, 并从战略层面对我国未来可实现的农业经济用水量及其节水潜力进行了初步分析, 为缓解我国农业用水与工业用水、生态用水之间的矛盾提供了有益的探索。

关键词: 农业经济用水量; 节水潜力; 灌溉水利用率; 降水利用率; 水分利用效率

中图分类号: S27, S274 文献标识码: A 文章编号: 100820864(2007)0620013205

Agricultural Economic Rational Water Consumption and Strategy Analysis for Water Saving Potential in China

WU Pu-te, ZHAO Xi-ning, FENG Hao, WANG Yu-bao

(Northwest A & F University, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, National Engineering
Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Shaanxi Yangling 712100, China)

Abstract On the basis of analyzing the present status of water resources utilization in agriculture and starting from the view point of safeguarding grain security and assuring macro comprehensive efficiency of water utilization, this paper puts forward the concept of agricultural economic rational water consumption, analyzes its connotation, raises its theoretical basis and relevant technological foundation based on rational disposition of macroscopical water resource. It also makes a preliminary analyses on realizable agricultural economic rational water consumption and the water saving potential in the future, so as to provide a beneficial exploration for relaxing the conflict between agriculture water utilization, industrial water utilization and ecological water utilization.

Key words agricultural economic rational water consumption, water saving potential, irrigation water utilization efficiency, rainfall resources utilization efficiency, water utilization efficiency

我国是世界上人口最多、粮食消耗量最大的国家, 又是世界上人均水资源量最贫乏的国家之一, 人均占有水资源量仅为世界平均水平的 1/4。我国也是一个农业用水大国, 目前, 农业用水量约占水资源总量的 65%。随着人口的增长、城镇化和经济社会的快速发展, 我国用水矛盾日益尖锐, 缺水问题势必更加突出。农业是节水潜力最大的行业, 农业节水是关系到我国经济社会健康发展的全局性战略, 发展现代节水农业技术是确保我国粮食安全、水安全和生态安全的重大战略举措, 已经成为共识^[1-3]。在有限的水资源总量中农业用水应占多大比例? 农业用水的节水潜力究竟有

多大? 如何从综合效益最大出发, 合理配置有限水资源, 有效缓解农业用水与工业用水和生态用水之间的矛盾? 如何在经济社会不同的发展阶段, 寻求经济合理的农业用水量是目前迫切需要探讨的问题。本文在分析我国农业水资源利用现状的基础上, 提出了“农业经济用水量”的概念, 从战略层面分析了我国农业用水可实现的节水潜力, 探索了我国农业战略节水途径。

1 我国农业水资源利用现状

我国自 20 世纪 50 年代就开始大力开发水资

收稿日期: 2007207231; 修回日期: 2007209202

基金项目: 国家 863 计划节水农业重点项目 (2006AA100217, 2006AA100204), 国家科技基础性工作专项 (2006FY210300), 陕西省自然科学基金项目 (2006D15), 教育部新世纪优秀人才支持计划, 西北农林科技大学青年学术骨干支持计划资助。

作者简介: 吴普特, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事节水农业研究。E-mail: G_jwp@vip.sina.com

源,发展农田灌溉,尤其是近 20年来发展的农业节水灌溉技术,已取得了举世瞩目的成就。全国有效灌溉面积已从 1952年的 1 995.9万 hm^2 增加到 2005年的 5 656.2万 hm^2 ,占全国耕地面积的 43.9%。700 hm^2 以上的灌区有 5 860处,有效灌溉面积达 2 641.9万 hm^2 ; 2万 hm^2 以上的大型灌区有 287处,有效灌溉面积达 1 431万 hm^2 。全国工程节水灌溉面积已达到 2 133.8万 hm^2 ,灌溉面积节水灌溉覆盖率为 34.9%。在全部节水灌溉中,渠道防渗节水灌溉面积 913.3万 hm^2 ,低压管灌面积 499.2万 hm^2 ,喷滴灌和微灌面积 336.8万 hm^2 ,田间节水地面灌溉、集雨节灌等工程节水灌溉面积 384.5万 hm^2 。农业灌溉水有效利用系数达到 0.45。全国用水总量从 1952年的 1 031亿 m^3 增加到 2005年的 5 573亿 m^3 ,其中农业用水占 65%,人均综合用水量从不足 200 m^3 增加到

426 m^3 [4-6]。

农业节水技术的大力推广与应用已取得显著的节水增产效益。根据统计[7], 1980- 2005年的 25年间,我国农田灌溉用水量由 3 580亿 m^3 减少到 3 263亿 m^3 ,减少了 317亿 m^3 ,而全国有效灌溉面积却由 4 437.5万 hm^2 增加到 5 656.2万 hm^2 ,净增加灌溉面积 1 218.7万 hm^2 ,粮食产量由 32 056万 t增加到 48 402万 t,净增加 16 346万 t,人均粮食产量由 325 kg提高到 372 kg(见表 1)。近 20年以来,全国以 1.27% 年供水增长速度支撑了每年约 10% 以上的国民生产总值(GDP)增长,在占全国耕地面积 43.9% 的灌溉土地上生产了约占全国总产量 79% 的粮食、80% 的经济作物,使用全球 9% 的耕地和不足全球 8% 的水资源总量,生产了全球 24% 的粮食,养活了全球 22% 的人口。

表 1 我国灌溉用水量、灌溉面积与粮食产量变化

Table 1 Comparisons of irrigation water quantity, irrigation areas and grain production in China

水平年 Level years	灌溉用水量 Irrigation water quantity (10^9 m^3)	有效灌溉面积 Effective irrigation areas (10^4 hm^2)	粮食产量 Grain production (10^4 t)	人均粮食 Grain per capita (kg)
1980	3 580	4 437.5	32 056	325
2005	3 263	5 656.2	48 402	372
2005- 1980	- 317	+ 1 218.7	+ 16 346	+ 47

我国农业水资源利用在取得巨大成就的同时,也面临着一系列严峻的挑战。一是人口增长导致人均水资源锐减。据统计,我国人口由 1949年的 5.42亿人增加到 2005年的 13.75亿人,人均水资源量已由 5 066 m^3 减少到 2 100 m^3 ,仅为 1949年的 42%,且人均占有量的分布极不平衡,天津、宁夏、上海等省市的人均水资源占有量已低于 170 m^3 ,达不到起码的人均需求标准[8]。二是我国工业和城市用水需求的不断增加,也加重了粮食生产用水的短缺程度。根据有关部门预测,我国工业需水量的年平均递增率为 1.2% ~ 1.7%,按照目前我国工业总用水量 1 220亿 m^3 估算,到“十一五”期末,我国工业总需水量将达到 1 290亿 m^3 ,用水差额为 70亿 m^3 [9]。三是生态用水与农业用水矛盾较为突出。据水利部和中国工程院预测,到“十一五”期末,黄河流域生态用水量为 225亿 m^3 ,淮河流域生态用水量为 100亿 m^3 ,海河流域生态用水量为 90亿 m^3 ,西北内陆河流

域生态用水量为 415亿 m^3 ,全国地下水回补量为 20亿 m^3 ,全国总生态需水量将达到 910亿 m^3 ,而目前我国生态总供水量在 840亿 m^3 左右,用水差额为 70亿 m^3 ,生态用水短缺严重[9]。四是我国北方地区水资源短缺日益严重,水资源利用已超过其承载能力[10]。五是农业水资源利用效率低下,浪费严重。2005年全国水利发展统计公报数据显示,我国目前农业灌溉水有效利用系数仅为 0.45,远远低于国外节水先进国家 0.7~ 0.8的水平。

2 农业经济用水量

2.1 农业经济用水量的概念

农业用水量有狭义用水量和广义用水量之分。狭义农业用水量与《中国水资源公报》中的农业用水量基本一致,主要包括农田灌溉用水和林牧渔用水,其中农田灌溉用水包括水田和水浇地;林牧渔业用水包括林果灌溉、草场灌溉和鱼塘

补水^[4];广义的农业用水量不仅包括狭义农业用水量中的农田灌溉用水与林牧渔业用水,而且还包括生活用水中的农村居民与牲畜用水以及工业用水中的农村乡镇企业用水量。本文提出的/农业经济用水量0是相对于目前狭义农业用水量所占比重过大,浪费严重的现实所提出的,可理解为/经济合理的农业用水量0。

农业经济用水量是指在一定的时空范围内,在可利用水资源总量有限、农业用水和工业用水、生活用水、生态用水存在矛盾的情况下,综合考虑区域经济社会发展水平、经济社会发展对水资源的用水需求、水资源的总体状况、农业用水现状与发展目标、粮食生产所需要的农业用水、农业用水对未来经济社会的影响等基础条件,在确保未来粮食安全的前提下,兼顾经济效益、社会效益、生态效益等综合效益最大时所需要的农业用水量。其内涵可从以下几个方面理解,其一是/农业经济用水量0必须满足未来我国人口增加所需要的粮食,即保障粮食生产安全;其二是大于理想状态的农业用水量(未来可实现的最优农业用水量);其三是在当前社会经济条件下,确保区域经济、社会、生态的综合效益最大;其四是经济合理的农业用水量是暂时的农业用水量,随着现代节水农业技术的发展和大规模推广应用,是不断减少的动态水量。

2.2 农业经济用水量的理论基础

本文所提出的/农业经济用水量0是指借助现代科学与技术,不断提高农业用水的利用率和利用效率,在确保粮食安全基础上,使经济、社会与生态效益达到最优时所需要的农业用水量。要使经济、社会与生态等综合效益达到最优,必须从战略层面上对我国水资源的合理配置及其供需平衡进行研究。

有限水资源合理配置理论是促进农业节水高效利用,实现农业经济用水的重要措施之一。宏观水资源合理配置以促进我国经济社会和生态环境和谐发展为目标,实现有限水资源在不同经济层面、不同需水部门之间的合理配置^[11]。配置内容上更加丰富,不仅对传统的地表水和地下水进行配置,还可对非传统的水资源,如天然降水和土壤水进行配置;配置对象上更加全面,既考虑传统农业用水、工业用水及生活用水,也考虑到生态用水;配置指标上更加广泛,不仅研究农业、工业、生

活和生态用水需求与传统水资源供给量之间的平衡,而且研究包括非传统的天然降水和土壤水在内的广义水资源供给之间的平衡。现有系统动力学、模糊综合评判、线性多目标规划、人工神经网络方法、遗传算法等的最新研究成果,都为农业经济用水量的定量研究提供了一定的借鉴手段。

2.3 农业经济用水量可实现的技术基础

我国/九五0期间所实施的/节水农业技术研究与示范0国家科技攻关项目,以及在/十五0期间所实施的/现代节水农业技术体系及新产品研究与开发0重大科技专项(863计划),已在现代节水农业应用基础及前沿,关键技术创新,关键设备与重大产品研发及产业化,以及相应的技术集成与示范方面取得了一些在生产实际中发挥重要作用的创新性科技成果^[12-13]。筛选出的抗旱节水新品种在中等干旱条件下较对照产量提高10%,作物水分利用效率提高20%~40%^[14];建立的激光控制平地自动作业技术,使土地平整精度达到2~3 cm,农田灌溉水利用率提高了20%~30%;提出的基于作物生命需水信号的控制性分根交替灌溉技术,使作物水分利用效率达2 kg# m⁻³;提出北方干旱内陆河灌区、半干旱平原井灌区、半干旱平原渠灌区、半干旱平原抗旱灌溉区、集雨补灌旱作区、半湿润井渠结合灌溉区、半干旱生态植被建设区、半干旱都市绿地灌溉区和南方季节性缺水地区等9个现代节水农业区域发展模式,并以此模式在我国西北、华北、东北,以及华东与南方季节性缺水地区建立了17个示范区,面积达16 667 hm²,技术辐射范围达24.5万hm²,在节水约24亿m³的情况下,粮食增产仍达25亿kg^[15]。上述技术与产品以及国际上的成功经验和先进农业节水技术都为经济合理的农业用水量的实现提供了重要的技术支撑。

3 我国农业战略节水潜力

从国家战略水安全角度考虑,未来我国农业用水只能维持零增长或负增长,也就是说,我国农业用水量在未来将不能超过目前用水量或小于目前用水量。同时,从我国粮食安全战略角度考虑,到2020年,我国粮食总产量需达到6.0亿t,即在目前基础上需增加1.2亿t粮食。按照目前约

1.0 kg# m⁻³作物水分利用效率,尚需增加农业用水约1200亿 m³。根据多年平均降水量大小和农作物对灌溉用水的需求,可将全国分成干旱区常年灌溉地带(多年平均降水量小于400 mm的地区),半干旱半湿润区不稳定灌溉地带(多年平均降水量在400~800 mm的地区)和湿润区补充灌溉地带(多年平均降水量大于800 mm的地区)^[16]。据统计,2005年,我国的耕地面积约为13003.9万 hm²,有效灌溉面积达5502.9万 hm²,旱涝保收面积为4023.6万 hm²,其中北方17个省(市、区)的耕地面积约为8485.7万 hm²,有效灌溉面积为3557.5万 hm²,平均灌溉定额为6750 m³# hm⁻²,灌溉水利用系数为0.45^[7]。从战略角度思考,面对我国现阶段农田灌溉水利用率仅为0.45左右,旱作雨水利用率较低,有效利用率仅为0.30的现实,我们应该在充分利用自然降水基础上,尽量减少农业用水过程中的水浪费现象,大幅度提高农田灌溉用水的利用率和利用效率,大力挖掘农业节水潜力,以保障农业经济合理用水。

3.1 提高农田灌溉水利用率

目前,我国农田灌溉水平均利用率约为0.45,按目前农田灌溉用水量3263亿 m³进行计算,实际有效用水量约为1468亿 m³。通过大力发展现代节水农业技术与示范,以灌溉用水量零增长为前提条件,在保障现有有效灌溉面积及其作物种植结构不变的情况下,将灌溉水利用率由目前的0.45提高到0.60即可实现农业节水600亿 m³。从我国农业水资源利用现状来看,通过国家/九五科技攻关、十五国家节水农业重大科技专项以及节水增产增效示范县的建设、大型灌区节水改造建设和商品粮基地县建设等一系列项目的有效实施,我国节水农业技术得到了较大的发展,农田灌溉水利用率已由十五初期的0.40左右提高到现在的0.45水平^[17-19]。同时从我国历年粮食总产量与有效灌溉面积的变化趋势也可以看出,1980-2005年间,在有效灌溉面积基本不增加的情况下,通过采取相应的节水农业先进技术,粮食总产量仍保持了一定的增长幅度。另外,国外大量实践已经证明(例如以色列的农业水利用率为0.75以上)^[10],通过节水灌溉,大幅度提高农业水利用率,节约大量水资源是可行的。

3.2 提高降水资源利用率

我国现有耕地面积约13003.9万 hm²,其中旱作面积约为7501万 hm²,主要分布在我国半干旱和半湿润偏旱地区,涉及东北、华北和西北地区,包括缺水严重的松嫩平原、黄土高原、内蒙古高原以及华北平原等地区,多依靠天然降水供给作物用水需求。根据前期相关研究,我国北方旱作区降水资源的利用率不高,有限的降水资源不能充分利用。在有限的降水资源中,因径流损失的水分占总降水的20%,而休闲期无效水分蒸发则占降水的24%,可被农业生产利用的降水只有总量的50%,其中,还有20%的降水由于田间蒸发而散失,作物真正利用的降水只有总量的30%,大部分以径流和无效蒸发的形式浪费损失^[15]。如果采取有效的措施,通过集雨工程、覆盖技术、使用化学保水剂以及对土壤水库进行增蓄扩容等技术措施,减少休闲期和生育期蒸发失水20%,降水资源利用率将达到50%。按平均400 mm降水进行计算,我国旱作地区耕地就可多利用降水约80 mm,即相当于新增600亿 m³农业水资源。

3.3 结合农业综合技术措施,大幅度提高作物水分利用效率

目前,我国粮食生产中作物的平均水分利用效率为1.0 kg# m⁻³,即生产1 t粮食的耗水量达到1000 m³以上,而节水农业发达国家的粮食生产水分利用效率已达到2.0 kg# m⁻³,即生产1 t粮食的用水量已经下降到500 m³以下^[20]。与发达国家相比,我国粮食生产的作物水分利用效率还存在着较大的差距,同时也蕴育着巨大的节水潜力。前期有关旱地农业和节水农业技术与实践表明^[21-23],在农田供水量相同的条件下,农作物应能实现的产量与实际产量之间的差距可以达到30%,也就是水的利用效率损失了30%,而这部分损失可以通过节水农业技术的应用而避免。按照这一试验结果来预测,只要抓住田间综合节水技术,在现有水资源供应和物质投入不变的条件下,可以使粮食总产达到6.5亿 t。另外,通过农艺和生物技术等综合措施,能大幅度降低单位农业产出的耗水量(主要是减少无效蒸发消耗),可使作物水分利用效率达到1.5 kg# m⁻³以上。如果达到这一水平,则在目前灌溉用水量不变情况下,即可生产粮食6亿 t,节水潜力显而易见。

按照上述战略思考方案, 在总水资源分配方案不变的情况下, 通过节水灌溉技术, 提高农田灌溉水利用系数, 挖掘农业节水潜力, 实现农业用水经济合理; 采取集雨工程、覆盖技术及对土壤水库进行增蓄扩容等技术措施提高自然降水资源利用率, 可以新增农业用水量 $1\ 200\ \text{亿}\ \text{m}^3$ (将灌溉水利用率由目前的 0.45 提高到 0.60 即可实现农业节水 $600\ \text{亿}\ \text{m}^3$; 将降水利用率由目前 30% 提高到 50% , 即相当于新增 $600\ \text{亿}\ \text{m}^3$ 农业水资源)。满足未来农业用水需求, 这一战略方案还尚未考虑非传统水资源 (污水、微咸水等) 利用所节约的农业用水量。因此, 结合农业综合技术措施, 大幅度提高作物水分利用效率, 可生产粮食 $6\ \text{亿}\ \text{t}$ 实现粮食生产安全的战略目标。

4 结论

在对我国农业水资源利用现状分析的基础上, 从保障粮食生产安全和用水综合效益最大出发, 提出了 / 农业经济用水量 0 的概念, 并分析了其内涵, 探讨了基于宏观水资源合理配置的 / 农业经济用水量 / 研究的理论基础及其相应的技术基础。从战略层面对我国农业可实现的节水潜力进行分析, 通过提高灌溉水利用系数挖掘农业节水潜力, 可实现农业用水经济合理; 通过提高自然降水资源利用率, 可新增农业可用水量; 结合农业综合技术措施, 大幅度提高作物水分利用效率等途径, 在满足未来灌溉用水零增长前提下, 可以实现粮食生产安全的战略目标。

参 考 文 献

- [1] 吴普特, 冯 浩, 赵西宁. 现代节水农业理念与技术探索 [J]. 灌溉排水学报, 2006 25(4): 1- 5
- [2] 石玉林, 卢良恕. 中国可持续发展水资源战略研究综合报告 (第 4 卷) [C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001
- [3] 吴普特. 中国节水农业科技战略与区域发展模式 [A]. 见: 贾敬敦, 余 健主编. 中国节水农业发展战略研究与实践: 中国节水农业科技论坛文集 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006 18- 23
- [4] 中华人民共和国水利部水资源公报编写组. 中国水资源公报 2005 [C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006
- [5] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国县 (市) 社会经济统计年鉴 2006 [C]. 北京: 中国统计出版社, 2006
- [6] 国家统计局国民经济综合统计司. 新中国五十五年统计资料汇编 [C]. 北京: 中国统计出版社, 2006
- [7] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农业统计年鉴 2006 [C]. 北京: 中国统计出版社, 2007
- [8] 石玉林, 卢良恕. 中国农业需水与节水高效农业建设 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [9] 钱正英. 西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [10] 康绍宗. 农业节水与水资源领域的科技发展态势及重大热点问题 [A]. 见: 贾敬敦, 余 健主编. 中国节水农业发展战略研究与实践: 中国节水农业科技论坛文集 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006, 24- 32
- [11] 裴源生, 张金萍, 赵 勇. 宁夏灌区节水潜力的研究 [J]. 水利学报, 2007 38(2): 239- 243
- [12] 吴普特, 冯 浩, 牛文全. 中国节水农业战略思考与研发重点 [J]. 科技导报, 2006, 5 86- 88.
- [13] 吴普特, 冯 浩, 牛文全. 现代节水农业技术发展趋势与未来研发重点 [J]. 中国工程科学, 2007 9(2): 12- 18
- [14] 景蕊莲. 中国生物节水发展战略 [A]. 见: 贾敬敦, 余 健主编. 中国节水农业发展战略研究与实践: 中国节水农业科技论坛文集 [C]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006 56- 60.
- [15] 吴普特. 雨水资源化与现代节水农业 [J]. 中国农业科技导报, 2007 9(1): 15- 20.
- [16] 科学技术部农村科技司和中国农村技术开发中心. 中国现代节水高效农业节水发展战略 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2006
- [17] 钱蕴璧, 李英能, 杨 刚. 节水农业新技术 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002
- [18] 水利部农村水利司和中国灌溉排水技术发展中心. 农业节水发展战略研究 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006
- [19] 龚时宏, 高占义, 王晓玲. 全国 300 个节水重点县节水灌溉技术推广应用 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2003 1(4): 270- 274
- [20] 吴季松. 中国可以不缺水 [M]. 北京: 北京出版社, 2005
- [21] 崔文化, 辛亚军. 内蒙古东部区主要作物降水利用率与生产潜力研究 [J]. 土壤通报, 2004 35(5): 592- 595.
- [22] 廖允成, 王立祥, 温晓霞. 中国北方旱区农田十分生产潜力增进研究 [J]. 中国农学通报, 2002 18(6): 78- 80
- [23] 李 军, 王立祥, 邵明安. 宁南旱地作物降水生产潜力及其适度开发研究 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 125- 128.