

农业水管理面临的问题及发展策略

许迪, 龚时宏, 李益农, 刘钰

(国家节水灌溉北京工程技术研究中心, 中国水利水电科学研究院水利研究所, 北京 100048)

摘要: 当今农业水管理所面临的问题和挑战与 50 年前有着显著差别。当前发展农业水管理的目的是在水资源稀缺状况下, 在满足全球不断增长的食物需求的同时, 达到增加农民收入、发展农村经济、减少贫困、应对气候变化、保护生态环境等。为此, 应从跨学科、跨部门的角度出发, 审视和改善与农业水管理发展相关的策略与对策, 其中包括加快发展节水农业、维系生态系统服务功能、加大灌溉投入、提升雨养农业、提高农业水分生产率、减少农业贫困人口、减轻或预防土地和水环境质量下降、降低废水灌溉风险、加强政策和制度建设等。改善农业水管理、增加农业生产力的各种努力取决于对上述发展策略与对策的合理选择及其彼此间的利益权衡。

关键词: 灌溉, 农业, 管理, 策略, 雨养农业, 生态系统

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.11.001

中图分类号: S27, TV93

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-11-0001-07

许迪, 龚时宏, 李益农, 等. 农业水管理面临的问题及发展策略[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 1-7.

Xu Di, Gong Shihong, Li Yinong, et al. Problems and strategies on development of agricultural water management[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(11): 1-7. (in Chinese with English abstract)

0 引言

农业水管理是对农业生产和农业可持续发展提供关键投入的水资源的管理过程, 涉及的内容主要包括灌溉排水、雨养农业水管理、水资源开发与保护、循环水再利用、农田和区域水管理等。包含的主要对象和范围有复杂多变的农业气候条件以及为数众多的生产系统和水管理内容, 横跨的主要政策范畴与水资源管理、农业、农村发展、环境等有关。此外, 农业水管理还与其他用水部门、主导经济制度、宏观经济政策等密切相关^[1]。

尽管全球农业水管理已取得了明显成就, 但也存在诸多问题, 面临严峻挑战。发展灌溉农业对满足快速增长的食物需求至关重要, 但引起的环境和社会问题却不断增加; 以往灌溉得到持续扩展, 但目前的发展速度有所下降, 灌溉水资源可利用量逐渐受到制约; 各国政府主导了大规模的灌溉系统开发建设, 但获得的系统性能并不令人满意; 农业水分生产率增长迅速, 但尚存在着较大改善空间; 农业水管理为灌溉区域减贫做出了贡献, 但在雨养农业区的作用却仍然有限^[2]。与此同时, 全球及各国社会经济现状的改变也为现代农业水管理发展提供了难得的机遇。水资源管理和食物安全的全球性争辩有助于改善农业水管理, 改变贸易环境和国家市场策略对农业水管理产生非技术要素的影响, 水资源管理方式正日益关注其对环境和社会带来的影响作用, 政府在农业

水管理中的作用发生变化、个体用水户的决策影响力逐步得到加强^[3]。本文在描述当前农业水管理面临的问题及挑战基础上, 系统阐述与当代农业水管理发展相关的策略与对策。

1 农业水管理面临的问题和挑战

以往发展农业水管理的主要目的是通过增强农业生产能力, 应对饥饿和贫困, 如今则是在水资源稀缺状况下, 在满足全球不断增长的食物需求同时, 达到增加农民收入、发展农村经济、减少贫困、应对气候变化、保护生态环境等目的^[4], 面临的问题和挑战主要涉及经济、社会、环境等要素。

1.1 经济要素

1.1.1 饮食结构变化与食物需求增长

随着人们收入的不断增长, 居民饮食习惯正朝着更加注重营养水平和饮食多样化的趋势转变, 食物消费模式正在从谷类食品向畜产品和水果、蔬菜、糖、食用油等高价作物改变。与 2000 年相比, 预计 2050 年全球谷类食物需求量 28~32 亿 t, 增长 55%~80%; 肉类需求量 3.75~5.7 亿 t, 增长 70%~155%; 糖、油、蔬菜、水果需求量将增长 70%~110%^[5], 未来驱动食物需求增长的一些主要影响因素仍将具有较大不确定性。

1.1.2 经济结构改变

全球市场和贸易政策的改变以及全球化进程决定着未来的农业收益率。在一些非农经济部门具备较大竞争优势的国家和地区, 农业对国民经济的整体贡献率有所下降, 这势必明显影响小农户和自给自足型农民的经济利益。为了确保许多发展中国家农业发展的可持续性, 迫切需要加大在技术和能力建设方面的投资, 制定受惠于农业发展的相关政策与法规^[6]。

收稿日期: 2010-11-01

基金项目: 国家 973 计划重点项目课题 (2006CB403405); 国家 863 计划重点项目课题 (2006AA100210); 国家科技支撑计划重点项目课题 (2006BAD11B02)

作者简介: 许迪 (1957-), 男, 北京人, 教授级高级工程师, 主要从事农业节水应用基础与技术研究。Email: xudi@iwhr.com

1.1.3 能源价格波动

易于波动的能源价格经常以不同的方式影响农业水管理。对水电和生物质能源需要的增长必然加大对水的需求,进而影响水量在不同用水部门间的配置现状。此外,能源价格上涨不仅增大抽取地下水灌溉的成本,还导致化肥及其他石油产品价格的增加,加大农业生产成本。尽管生物燃料目前对全世界能源供给的贡献率仍然有限,但能源价格上涨、温室气体排放增加、地缘政治问题等诸多因素,都可能加剧食物与燃料生产之间对水土资源占有的激烈竞争^[7]。

1.1.4 食物价格上涨

食物价格上涨正成为当今全球许多国家面临的重要问题,对严重依赖食物进口以及食物消耗占日常支出比例较高的发展中国家尤为如此。引起食物价格上涨的主要原因包括较高的石油和能源价格、食物需求增长、农业生产投资减少、频繁发生的旱涝灾害、不稳定的市场投机行为等^[8]。其中加大农业生产投入对维系农业水管理在满足食物供给需求上扮演的重要角色至关重要。

1.2 社会要素

1.2.1 缺水程度加剧

目前全球约有12亿人口生活在自然性缺水地区,约15亿人口居住在经济性缺水区域,此外,还有数以百万计的贫穷农户处于自然性和经济性缺水并存的地区^[6]。水资源禀赋是造成自然性缺水的主要缘由,而对蓄水和管理的投入则是引起经济性缺水的典型原因。对许多干旱和半干旱地区,应加大改进灌溉用水技术、增强农业生产力的投资和政策力度,而对一些湿润地区,也需采用新的投资和政策确保水资源在不同用水部门间的合理配置。

1.2.2 持续性贫困

全球约有17亿人口且其中多为贫困人口生活在南亚和撒哈拉以南的非洲地区,其中5.1亿人处于食物不安全状况。在撒哈拉以南的非洲地区,食物不安全人口已从1980年的1.25亿增长到2000年的2亿,且70%的贫困人口生活在农村,短期内面临的主要问题是改进农业经济结构,缓解贫困和食物不安全状况^[9]。不适宜的农业水管理措施常直接影响作物的潜在产量和效益,进而影响到发展中国家为减贫所做的各种努力。

1.2.3 城市化及移民

20世纪60年代全球约2/3的人口居住在农村,务农人口达到60%。随着城市化的快速发展,而今只有1/2的人口还生活在农村,不到40%的人口直接从事农业经济活动^[10]。预期2050年,全球约2/3的人口居住在城市,迅猛发展的城市化进程势必加剧城市与农业间的用水竞争,导致改变农业生产结构。

1.3 环境要素

1.3.1 气候变化

平均气温改变、降雨模式变化、极端气候事件发生频率加剧正在以不可预见的方式影响着农业生产状况。为此,应在农业水管理工程规划以及与农业基础设施建

设相关的公共政策和投资、工程和资源公共管理、影响人类习性的政策制定过程中,充分考虑气候变化可能带来的潜在影响及其应对策略。在制定减少温室气体排放或调节气候变化的政策法规时,关注其可能引起的有意或无意影响,如投资发展生物燃料虽可缓解气候变化的速度,但将显著影响水土资源的可持续利用^[11]。

1.3.2 生态系统修复

全球大规模调水工程都会不同程度的对生态系统产生负面影响。2000年世界淡水物种指数已下降到1970年的50%,对生态系统产生的威胁最终将危害到农业赖以发展的水土资源上^[12]。为了改变当前生态系统恶化的趋势,一些国家正在制定和执行有利于增加环境生态流量、减少农业面源污染、增强生态系统服务农业供给的相关政策和策略,并适当减少农业用水量配置。

2 农业水管理发展策略与对策

现代农业水管理对保障食品安全、发展农村经济、维系家庭生计、减少贫困人口、维护生态系统等至关重要。为此,应从跨越不同学科、不同部门的角度出发,审视和改善与农业水管理发展相关的策略与对策。人们不能将目光仅局限在地表水和地下水等蓝水资源上,还应把雨水作为灌溉和雨养地区的最基本水源,不应将农业视为相对独立的系统,而应作为整个农业生态系统的组成部分加以看待^[13]。

2.1 加快发展节水农业,满足未来农业用水需求

未来驱动全球农业用水需求的主要动力来自因人口增长和饮食结构变化引起的食物需求增加与改变。目前全球作物年耗水总量6800~7500 km³,平均为7150 km³,其中饲料作物年耗水量2152 km³,占作物年耗水总量均值的30%^[14]。约78%的作物年耗水总量(5570 km³)直接来自降雨入渗后蓄存的土壤水,主要供给雨养农业,其余22%(1573 km³)则来自地表水和地下水,主要用于灌溉农业。若灌溉系统输水效率为60%,就需要2622 km³的地表水和地下水量才能满足作物年耗水总量。若不对现有农业水土资源生产率加以改善并改变当前的农业生产模式,预计2050年全球作物年耗水总量将增加70%~90%,达到12155~13585 km³,比现有增加5750 km³^[15]。

满足未来农业用水需求的水管理发展策略与对策主要应包括:发展灌溉农业,加强雨养农业,开展农产品国际贸易,限制食物需求潜在增长等。灌溉农业在粮食增产、维系贫困农民生计等方面起到重要作用,全世界约40%的农产品毛产值来自占农田面积20%的灌溉农业,在多数发展中国家高达60%^[16]。为此,需增加灌溉农业投资,通过改革灌溉系统管理、开发新的地面蓄水设施、增加地下水利用量、废水灌溉再利用等途径,增加灌溉供水量,提升作物水分生产率和单方水的产值。尽管雨养农业面临一定风险,但约60%~70%的作物产量仍来自占农田面积70%~80%的雨养农业,且发展中国家数以百万计的贫困农民主要靠雨养农业维持生计^[17]。故应增加

雨养农业投入，通过加强土壤水管理、采用补灌措施等手段，改善雨养农业生产率，尽可能扩大雨养农业区的作物播种面积。开展基于虚拟水战略的农产品国际贸易为缺水国家和地区应对干旱提供了选择，通过贸易手段将在北美、拉美等水土资源丰富地区集约化生产的农产品交易到中东、北非等缺水地区，可弥补不同国家水资源禀赋上的差异，缓解缺水国家食物增长对农业用水需求产生的压力。基于粮饲家畜肉类结构的食物对水资源消费数量比素食结构需水翻番，适当改变食物消费模式可减少对水资源的潜在压力。此外，农业生产和食物消费过程中产生的粮食损失约为 40%~50%，有效减少食物生产过程和产后市场链条上的损失对减少农业用水亦十分重要^[18]。

2.2 改善农业水土管理活动，维系生态系统服务功能

生态系统服务功能常包括产品提供（食品和纤维、燃料、木材等）、调节（气候调节、水资源和空气质量调节、病害控制和授粉等）、文化（娱乐、精神、美学价值等）和支持（初级生产、土壤形成、水和氮循环等）4 大类服务功能^[19]。对农业生态系统而言，以往总强调其具有的产品提供功能，而忽视其余服务功能。农业发展在增强产品提供服务功能的同时，将不可避免地改变许多生态系统过程的结构和效能，进而减少调节、文化等其他服务功能的价值。农业水管理对生态系统服务功能产生的潜在负面影响主要反映在水生系统、沿海地带和湿地以及陆地系统上，前者包括河道水量减少、湿地萎缩、水质恶化、物种多样性下降等问题，后者则包含地下水位下降、盐碱地面积增加、缺水造成的土地植被改变等弊端。农业水管理通常将改变流域水文循环规律，明显增加水生系统和陆地系统中植物-土壤-大气连续体循环机制改变的风险，生态系统服务功能的减弱不仅将影响农业生产力，还会严重阻碍整个社会为减贫做出的各种努力^[20]。

维系生态系统服务功能的农业水管理发展策略与对策主要是：改善农业水土管理活动，统筹考虑上下游农业用水管理措施，建立多功能的农业生态系统等。改善农业水土管理活动，尤其是加强田间用水管理、增加作物水分生产率、减少土壤养分淋失及其对地表和地下水体的危害等，可减少农业需水 50% 以上，有效缓解上游粮食生产用水对下游生态系统的压力^[5]。处理好上游粮食生产可能对下游水生系统和湿地造成的负面影响至关重要，应统筹考虑上下游的农业水管理活动，在保持上游粮食生产能力与维持下游生态系统服务功能之间，寻找可被各方接纳的利益权衡点。建立能够提供多种服务功能的农业生态系统水管理，可达到增强不同服务功能间协调性的目的，这取决于人们对生态景观过程的深入了解以及充分意识到生态系统服务功能的价值所在。对发展中国家以往 150 个项目从多目标角度考虑资源节约型农业投资效果的分析表明，借助提高用水效率、改善水质、增加碳固存等手段，可达到农业增产与减少环境影响并行的目标，基于生态系统保护的农业水管理需求方式并不会约束农业发展^[21]。

2.3 注重灌溉与农业生产系统的紧密结合，加大灌溉投入

尽管驱动灌溉发展的许多传统因素依然存在，但其又同时担负起应对气候变化下的农业生产影响、减轻对生态系统和公众健康产生负面作用等新的职责。推动灌溉发展的首要因素在于需要更多的食物满足未来人口增长，受新开发水资源量和灌溉面积的边际效益制约，人们必须持续地改善灌溉农业水分生产率才能满足对食物的需求。其次食物需求的结构变化加剧了农业用水的紧张局面，生产较高价值的肉、蛋、奶产品要比直接生产谷类耗水更多，故只有加大灌溉投资，增强农田管理投入力度，才能使作物产量和用水效率达到所预期的效果^[22]，增加灌溉投入可为集约化的农业生产提供更为安全可靠的风险环境。最后全球及局部气候变化也是驱动灌溉投入增加的因素，气温升高和二氧化碳增加将增大作物腾发量、快速消耗土壤水分、增加灌溉需水、促进生物质形成速度，并明显影响融雪型河流的径流过程分布，而降雨模式的改变将加剧干旱地区的缺水程度或增加湿润地区的降水量。

需对灌溉管理和投入重点做出实质性转变，才能满足人们对发展灌溉所寄予的期望和要求。与以往相比，未来灌溉投入应更为关注灌溉与农业生产系统的紧密结合，重点基于先进的信息、节水、管理等技术和方法对现有灌溉基础设施进行更新改造，大力推进灌区的现代化建设，因地制宜的在有条件的地区适度扩大灌溉面积^[23]。作为当前全球灌溉管理制度改革的重要内容，应将参与式灌溉管理、灌溉管理转移等方式继续作为灌溉投入的主体，积极探索具有当地特色的灌溉管理范式以及可持续性支撑灌溉管理模式运行的财政来源与途径。以往大多数参与式灌溉管理工作多集中在示范层次，以建立小型农民用水户协会为主，与灌溉管理配水改善、维护灌溉工程服务定位相关的改革却少见尝试也鲜见成功。为了应对气候变化对农业生产带来的影响，在灌溉基础设施建设上的投入重点应包括：建设新的蓄水库容以弥补失去的冰雪融蓄水量，为用水户采用更为灵活的配水方案提供必要的设施和装备，修建地下水补给工程和废水灌溉再利用处理设施等；在灌溉管理和制度措施方面的投入重点有：通过改善技术和管理活动增加灌溉用水效率，建立用户间的水交易市场及规则，构建用于改善农业用水整体效益的综合水资源规划等^[24]。

2.4 创新流域水资源综合管理模式，提升雨养农业

农业灌溉已对世界主要江河流域的供水和生态环境造成较大压力。面对全球水危机形势，大规模发展灌溉的空间已较为有限，雨养农业在提供食物和维系生计方面起到重要的支配作用。全球雨养农业的生产力常低于灌溉农业，发展中国家的雨养粮食平均产量 1.5 t/hm²，而灌溉农业 3.1 t/hm²，在气候温和的热带商品粮农业区，主要作物的雨养产量可高于 5~6 t/hm²^[6]。在半干旱和半湿润地区，并非雨量而是降雨的极端变异性是制约农业生产的主要影响因子。在作物关键生育期间发生的短期干旱几乎存在于每个雨季，而气象干旱则平均每 10 a 才发

生1~2次,通过水管理技术虽可在一定程度上减轻短期干旱带来的影响,但气象干旱对作物减产的影响明显^[25]。在干旱和半干旱地区,降雨已成为超出农民控制能力的最为突出的随机因素,水既是农业生产的关键投入要素也是农业风险及不确定性的主要来源,提升雨养农业对维系生计起到支配性作用。

提升雨养农业的水管理发展策略与对策应建立在生态水文学观点基础上,人们应将降雨作为淡水资源的重要组成部分加以看待^[26]。尽管在现有的流域水资源综合管理模式(IWRM)中,已意识到为保护河流、湖泊、湿地、河口等水生生态系统功能应考虑环境生态水流的问题,但该管理模式的焦点仍集中在灌溉、工业和城市供水的蓝水资源规划、配置与管理上。向农业生产这类关键的产品提供服务功能仍主要取决于陆地生态系统中的绿水,为此应该对蓝水和绿水进行统一的综合规划与管理,形成用途广泛的IWRM新策略。在该新策略中,就地集雨应被视为生产性用水,水资源控制与管理中应包含与雨养农业系统相关的当地尺度及其流域尺度,更为关注从流域到当地的降尺度水资源管理,并基于跨尺度间的水资源综合分析结果,系统阐述对上游绿水投入(如集雨)与下游用水影响(如减少泥沙)间的双赢机遇^[27]。从作为淡水资源的降雨出发,对IWRM新策略的准确定位就是要淡化灌溉农业与雨养农业间的人为划分,其实灌溉农业通常部分的依赖绿水的贡献,并且采用保护性耕作、土壤培肥、地表覆盖等旱农方法,而提升雨养农业稳定性的最佳途径则是利用补灌等蓝水管理措施。为此,打破灌溉农业与雨养农业间的管理划分无疑是提高雨养农业投资优先性的重要策略,可提供多组范围从雨养到灌溉系统的管理选择方案。

2.5 基于各种途径与措施,提高农业水分生产率

农业水分生产率来自种植业、畜牧业、水产业等部门的净收益与产出该收益耗用的水资源量之比,反映出以较小社会环境成本为代价获取单位耗水最大收益的目标。改善农业水分生产率的优先地区应包括:过于贫穷且水分生产率较低的地区,用水竞争激烈的自然性缺水地区,水资源开发程度较低且用水回报相对较高的地区,因地下水位下降和河道断流等致使农业生态系统严重退化的地区等。改善农业水分生产率的水管理活动与措施主要有集雨、补灌、非充分灌溉、精准灌溉、水土保持等,与这些措施无直接关联的一些活动也会间接影响到农业水分生产率,如改善土壤肥力、防治病虫害、选择作物良种等。改善农业水分生产率有赖于深入了解和掌握植(动)物生理学、作物学、农学、农田水利学、土壤学等相关知识,以及横跨田间、农田、流域等不同空间尺度下的经济、社会和环境条件^[28]。

提高农业水分生产率的主要途径与措施有:增加植物、田间、农田等不同尺度上的单位腾发量生产率,极小化农业用水过程中的非生产性水量消耗,改善现有灌溉设施管理与运行维护,循环利用回归水和农田排水,在不同用户间合理重新配置水量并共同管理用水,将种植业、畜牧业、水产业等用水在流域尺度上加以综合管

理等。作物水分生产率为消耗单位腾发量获得的作物产量(值),对应的改善途径与方法在生物节水方面有作物品种遗传改良、作物生理学特性调节等,在农艺节水方面包括增加土壤肥力和有机质、保护性耕作、病虫害防治等,在工程节水方面包含田间节水灌溉方法、非充分灌溉制度、集雨补灌等^[29]。畜牧业用水约占农业腾发量20%左右,主要来自生产牲畜消费食物所需的水量^[5],相应的改善策略包括改进动物饲料来源、增加畜产品(肉、蛋、奶)产量、完善兽医服务条件、采用避免土地退化和减少土壤侵蚀的放牧活动等。水产业用水主要来自生产饲料的用水和养殖用水,其水分生产率是水产品产量(值)与饲料生产用水和养殖用水蒸发量之和的比值。采用农业与水产业相结合的综合措施可循环利用水分和养分,用于灌溉和养殖业的多功能农田池塘已成为改善家庭营养状况、增加经济收入的有效手段^[30]。

2.6 确保用水安全与公平,减少农业贫困人口

水对维系全球日收入低于1美元的10多亿人和低于2美元的28亿人的生存与生计至关重要,已成为制约全球农业产出和乡村穷人收入的主要因素之一^[31]。实际上贫困与水未必一定相关,多数贫困地区的水资源禀赋可能好于富裕地区,影响贫困的范围和程度取决于人们对水资源的控制和管理水平。以往对贫困的理解仅关注收入、消费和财富,而忽略了引起贫困的多元化因素及彼此间的复杂交互作用。在评价农业水管理对减贫的作用中,必须考虑贫困的多元性及其复杂交互作用的影响。通过改进农业水管理活动,首先可改善农业生产和生产力,增加就业,稳定农业产出和收入,其次可鼓励农民采用各种促进农业增产的投入措施,生产多样化的高附加值产品,增加非农产品,满足家庭对多样化物质的需求,第三将对贫困人口的营养和健康状况改善、社会公平待遇、生态环境保护等产生积极的作用^[32]。

对大多数低收入国家而言,食物安全和减贫所面临的关键挑战在于改善农业生产条件和提高作物产量,以便减少全球以小农经济为生的8.5亿农业人口的贫困程度^[33]。为了确保穷人用水的安全性与公平性,首先应建立完善的水权制度并增加蓄引水基础设施投资,其次是开发适宜的用水管理技术并选择恰当的资金筹措方式,使人们更为有效的用水,第三是改善现有大型灌溉系统的生产力和配水的公平性,提高农业水分生产率,改进农业水资源管理,最后是密切农民与投入-产出市场间的关系,促使农民谋生手段的多样性,达到减贫和改善水土生产力的目的。在自然性缺水地区,当减贫困进一步开发水资源而受到限制时,改善现有农业用水管理系统无疑就成为首选策略,这对发展中国家尤为重要。

2.7 改进农田排水和土地利用管理,减轻或预防土地和水环境质量下降

全球近50%的灌溉土地存在排水问题,约有2500万 hm^2 的农田因灌溉引起的涝渍盐碱灾害而丧失生产力,有2.5亿 hm^2 的雨养土地亟待改善排水状况^[34]。目前,包括土壤盐渍化在内的农田土地退化(土壤侵蚀、土地沙化、土地污染等)影响着非洲65%的农田,在拉美和亚

洲则分别达到 51% 和 38%。草地退化面积在非洲、亚洲和拉美分别占总量的 31%、20% 和 14%，林地退化面积则分别为 19%、27% 和 14%。全世界约 40% 的农业土地处于中等退化程度，约 9% 为严重退化，全球作物减产 13% 左右，且每年约有 500~1 000 万 hm^2 的土地丧失农业生产能力^[35]。土地退化不仅对农田水循环和农业水分生产率具有严重的负效应，还明显影响农业用水的数量和质量。土地退化过程与农业用水管理关系密切，改进和加强农田排水和土地利用管理，可达到减轻或预防土地和水环境质量下降的目的。

当前改善农田排水的目标已从单一地促进农业生产逐步转向同时避免其对水环境产生负面影响的双重目的。在保持除涝、治渍、排盐等功效同时，利用各种技术和管理控制措施尽可能减少因采用农田排水措施带来的环境负效应，这些措施与方法包括：适当减少排水量和污染物排放量的控制排水运行模式，基于灌排措施与人工湿地相结合降解污染物的灌溉-排水-湿地系统，具有水肥高效利用特点的农田排水再利用措施等^[36]。人类活动尤其是农业生产活动是造成土地退化的主要因素，减少和防治土地退化的主要措施应包括：制止乱垦、滥伐和过牧，合理开发利用土地，合理施肥和灌溉；投资于退化土地的修复工作，采用增加土壤肥力、改善土壤入渗和蓄水能力、减少土面蒸发的资源保护型耕作与土管理技术，改善雨养和灌溉农业系统的农田水分生产率；从农田多样性和生态系统服务功能等观念出发，增强农业景观多功能性，基于工程、生物、农业等技术措施，对退化的土地进行综合治理^[37]。

2.8 选择不同措施及其组合，降低废水灌溉风险

工业和城市生活废水随着人口增长、城市化加剧、生活条件改善、经济高速发展而不断增加，与此同时，对废水的生产性再利用也在增长。尽管在世界卫生组织发布的废水灌溉利用指南中要求，废水只能用于灌溉非食用的作物，但在实际中却难以强制执行，许多发展中国家的农民在无淡水可用的窘况下，只能利用废水灌溉可食用的作物。目前发展中国家近 80% 的污水未经处理直接排放，约有 50% 的人口使用污水进行灌溉^[38]。全球至少有 350 万 hm^2 的农田采用未加处理或部分处理的废水进行灌溉，直接利用废水灌溉的面积大致为处理后灌溉面积的 10 倍以上^[39]。利用废水灌溉的农民要比使用淡水灌溉的农民具有较高的寄生虫传染机率，且金属离子通过废水灌溉的作物进入人体，直接影响身体健康状况，这已成为负责维护公众健康和环境质量的政府部门所关注的热点问题。

由于各种原因，许多发展中国家在未来一段时间内尚不具备实施复杂废水处理计划的能力与财力，为此应借助废水来源控制、污水处理与非处理选择及其组合方式等措施，尽力降低废水灌溉的风险，保护农民和消费者的利益^[40]。借助不同程度的污水处理措施与方法可改善灌溉废水质量，采用劳动保护性措施可降低废水施灌过程中操作人员的人体裸露程度、减少被病原体侵害的可能，利用作物选择与多样化、灌溉管理、土壤特性考

虑等非处理措施加强农田废水灌溉管理，采用清洗、烹饪、消毒等各种措施减少废水灌溉作物带来的健康风险。此外，通过改善政策与对策、促进机构间对话、加强财务机制等手段，可为改善废水灌溉管理提供机遇，而采用与激励或强制执行相结合的废水排放标准，可促进点源排放的家庭和工业部门的水管理改善，通过在输水部门与卫生部门之间建立有效的联系，有助于推动更为有效的废水灌溉管理模式。

2.9 加强政策和制度建设，促进农业水管理发展

促进农业水管理发展的公共政策范畴包含水资源管理、农业、农村发展、环境等^[41]。水资源管理政策涉及到可协调互为矛盾冲突的多目标综合流域规划、基于宏观经济等政策价格信号与资源配给等非价格因素结合的农业水分生产率激励机制、与非传统水资源再利用相关的政策及规章制度、水权制度尤其是可交易权的建立及完善等。农业政策包括改革国内市场并促进出口市场发展的机制、应对粮食安全的食物消费结构模式导向、基于市场运作促进技术开发应用的对策等。农村发展政策主要面向维系生计的可持续性改善，投资减贫措施的优先顺序是雨养农业、低成本灌溉技术、社会驱动型基金、小规模灌溉和水保、大规模灌溉工程、高产值灌溉作物多样化等。环境政策则与激励农民开展环境友好型社会建设、维系流域环境生态流量、地下水资源有效保护等相关。

影响全球尺度农业水管理发展的主要政策涉及到贸易改革、气候变化、技术研发应用等。通过打开外部市场和建立虚拟水战略，改革贸易政策正强烈地影响农业水分生产率和收益性，由于贸易驱动型增长需深入了解和掌握集约化灌溉农业的相关知识，故世界各国应加大对制度和技术的投资力度。气候变化带来较大的风险及不确定性，应将适应气候变化的因素在制定农业经济发展及减贫策略中加以充分考虑，并借助风险管理方法加以应对。技术研发应用对改善农业水管理十分重要，焦点正日益集中在水分生产率和雨养农业上^[42]。

[参 考 文 献]

- [1] World Bank. Reengaging in Agricultural Water Management: Challenges and Options[M]. Washington D C: The Office of the Publisher, 2006.
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Water for sustainable food production, poverty alleviation and rural development[R]. World Water Development Report, FAO, Rome, 2004.
- [3] World Bank. Shaping the future of water for agriculture: a sourcebook for investment in agricultural water management[R]. The World Bank, 2005, Washington, D C.
- [4] Barker R, Molle F. Evolution of irrigation in south and Southeast Asia[R]. Comprehensive Assessment Research Report 5, IWMI, Colombo, 2004.
- [5] De Fraiture C, Wichelns D, Rockstrom J, et al. Looking ahead to 2050: scenarios of alternative investment approaches[A]. In: Molden D (Ed.), Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water management

- in Agriculture[C]. Earthscan, London and IWMI, Colombo, 2007.
- [6] Molden D. Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture[C]. Earthscan, London and IWMI, Colombo, 2007.
- [7] De Fraiture C, Liao Y, Giordano M. Biofuels and agricultural water use: blue impacts of green energy[J]. *Water Policy*, 2008, 10 (S1):67—81.
- [8] Rosegrant M. Biofuels and grain prices: impacts and policy responses[R]. Washington D C, IFPRI, 2008.
- [9] Chen S, Ravallion M. Absolute poverty measures for the developing world, 1981—2004[R]. Washington D C: Policy Research Working Paper 4211, 2007, WB.
- [10] Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT database [http://faostat.fao.org/]. 2007, FAO, Rome.
- [11] Zomer R, Trabucco A, van Straaten O, et al. Carbon, land and water: a global analysis of the hydrologic dimensions of climate change mitigation through afforestation/ reforestation[R]. IWMI, Colombo, Research Report 101, 2006.
- [12] Falkenmark M, Finlayson M, Gordon L. Agriculture, water and ecosystems: avoiding the costs of going too far[C]// Molden D. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Colombo: Earthscan, London and IWMI, 2007.
- [13] De Fraiture C, Molden D, Wichelns D. Investing in water for food, ecosystems, and livelihoods: an overview of the comprehensive assessment of water management in agriculture[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 495-501.
- [14] Chapagain A. Globalization of Water: Opportunities and Threats of Virtual Water Trade[D]. Netherlands: Water and Environmental Resources Management, 2006.
- [15] Molden D, Frenken K, Barker R, et al. Trends in water and agricultural development[C]//Molden D. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Earthscan, London and IWMI, Colombo, 2007.
- [16] Turrall H, Svendsen M, Faures J M. Investing in irrigation: reviewing the past and looking to the future[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 551—560.
- [17] Sharma B R, Rao K V, Vittal K P R, et al. Estimating the potential of rainfed agriculture in India: prospects for water productivity improvements[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(1):23—30.
- [18] Lundqvist J, De Fraiture C, Molden D, et al. Saving water: from field to fork—curbing losses and wastage in the food chain[R]. SIWI Policy Brief, Swedish International Water Institute, Stockholm, 2008.
- [19] Daily G C. Natures services—human dependence on natural ecosystems[M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [20] Gordon L J, Peterson G D, Bennett E. Agricultural modifications of hydrological flows create ecological surprises[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2008, 23(4): 211—219.
- [21] Pretty J N, Noble A D, Bossio D, et al. Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries[J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, 40(6): 1114—1119.
- [22] Nangia V, Turrall H, Molden D. Increasing water productivity with improved N fertilizer management[J]. *Irrigation and Drainage Systems*, 2008, 22(3/4): 193—207.
- [23] Turrall H, Svendsen M, Faures J M. Investing in irrigation: reviewing the past and looking to the future[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 551—560.
- [24] Merrey D J, Meinzen D R, Mollinga P P, et al. Policy and institutional reform: the art of the possible[C]//Molden D. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Colombo: Earthscan, London and IWMI, 2007.
- [25] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2007[R]. Fourth Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, U K, 2007.
- [26] Falkenmark M, Rockstrom J. Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology[R]. Earthscan, London, 2004.
- [27] Rockström J, Karlberg L, Wanic S P, et al. Managing water in rainfed agriculture: The need for a paradigm shift[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 543—550.
- [28] Molden D, Oweis T, Steduto P. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 528—535.
- [29] 许迪, 龚时宏, 李益农, 等. 作物水分生产率改善途径与方法研究综述[J]. *水利学报*, 2010, 41(6): 631—639. Xu Di, Gong Shihong, Li Yinong, et al. Overview of recent study on improvement approaches and methods for crop water productivity[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2010, 41(6): 631—639. (in Chinese with English abstract)
- [30] Verdegem M C J, Bosma R H, Verreth J A J. Reducing water use for animal production through aquaculture[J]. *Water Resources Development*, 2006, 22(1): 101—113.
- [31] Organisation for Economic Co-operation and Development. Rising to the Global Challenge: Partnership for Reducing Poverty[M]. The Development Cooperation Directorate Guidelines, OECD, 2001.
- [32] Castillo G, Namara R, Ravnborg M, et al. Reversing the flow: agricultural water management pathways for poverty reduction[C]//Molden D. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Colombo: Earthscan, London and IWMI, 2007.
- [33] Namara R E, Hanjra M A, Castillo G E, et al. Agricultural water management and poverty linkages[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 520—527.
- [34] Smedema L K, Abdeldayem S, Ochs W J. Drainage and agricultural development[J]. *Irrigation and Drainage Systems*, 2000, 14(3): 223—235.
- [35] Wood S, Sebastian K, Scherr S J. Soil resource condition[C]// Wood S, et al. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems[C]. IFPRI and World Resources Institute, Washington, D C, 2000.
- [36] Ayem S A, Hoevenaars J, Mollinga P P, et al. Agricultural drainage: towards an integrated approach[J]. *Irrigation and Drainage Systems*, 2005, 19(1): 71—87.
- [37] Bossio D, Geheb K, Critchley W. Managing water by

- managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4): 536—542.
- [38] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. *Water for people, water for life*[R]. New York: United Nations/World Water Assessment Programme, UNESCO, Paris and Berghahn Books, 2003.
- [39] Scott C, Drechsel P, Raschid-Sally L, et al. Wastewater irrigation and health: challenges and outlook for mitigating risks in low-income countries[C]//Drechsel P, et al. *Wastewater irrigation and health: Assessing and mitigation risks in low-income countries*. U K: Earthscan- IDRC-IWMI, 2010.
- [40] Qadir M, Wichelns D, Raschid-Sally L, et al. The challenges of wastewater irrigation in developing countries[J]. *Agricultural Water Management*, 2010, 97(4):561—568.
- [41] World Bank. *Agricultural growth for the poor: an agenda for development*[R]. *Directions in Development Series*, The World Bank, Washington, D C, 2005.
- [42] Roe T, Dinar A, Tsur Y, et al. Feedback links between economy-wide and farm-level policies: application to irrigation water management in morocco[R]. Washington D C: Policy Research Working Paper No. 3550, The World Bank, 2004.

Problem and strategies on development of agricultural water management

Xu Di, Gong Shihong, Li Yinong, Liu Yu

*(National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research,
China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China)*

Abstract: The problems and challenges for agricultural water management are markedly different from 50 years ago. To meet the increasing global demand for food, new challenges have been coming: increasing farmers' income, boosting rural economy, reducing poverty, adapting climate change and protecting the ecological environment, under the conditions of the scare water resources. Therefore, the improvement of strategies and countermeasures relevant to the development of agricultural water management is necessary starting from the thinking of interdisciplinary and various sectors. The strategies include that developing water-saving agriculture, maintaining the service functions of the ecological system, increasing investment in irrigation, promoting rain-fed agriculture, improving and increasing water productivity, reducing poor population, preventing and alleviating the degradation of land and water environmental quality, reducing the risk in waste water irrigation, and strengthening policy and institution building. The efforts in improving agricultural water management and increasing agricultural productivity depend on the rational selection of the above strategies and the benefit tradeoffs.

Key words: irrigation, agriculture, management, strategy, rainfed agriculture, ecosystem