

21 世纪中国西北旱区可持续农业发展的水问题及其对策

Water Problem of the Agricultural Sustainable Development in Arid Northwest China in the 21st Century and Its Solutions

康绍忠

(西北农业大学农业水土工程研究所, 教授

陕西杨陵 712100)

李永杰

(陕西省水利厅 西安 710001)

一、21 世纪中国西北旱区可持续农业发展面临的水问题

21 世纪中国西北旱区可持续农业发展将面临更严峻的水资源供需矛盾的挑战。为了缓解耕地面积不断减少与要求粮食等农产品有较大幅度增加的矛盾,在努力提高粮食单产的同时,新开垦一些宜开垦的荒地也是一条重要途径。内蒙“第二河套”、陕西“两北三区”、新疆和宁夏等西部地区将是进一步开发的重点。这些都必须有足够的供水作保证。同时,西北是我国的能源与重化工基地,随着煤炭、石油、天然气和矿产资源的进一步开发,城市及工业和乡镇企业的发展,用水量会迅速增加。可以预见,21 世纪我国西北旱区将出现历史上水危机最严峻的时刻,水资源将是制约我国西部旱区可持续发展的最关键的因素。

1. 水资源总量有限,且开发利用率已经很高

西北黄土高原(包括河套)土地面积占全国的 6.9%,耕地面积占全国的 12.2%,而水资源量仅占 1.8%,单位耕地面积平均水量 $3720\text{m}^3/\text{hm}^2$,人均水量 654m^3 ,两者分别仅为全国平均水平的 14%和 24.1%;西北内陆区土地面积占全国的 3.54%,耕地占全国的 5.6%,水资源量仅为全国的 4.6%。西北旱区水资源开发利用率已高于全国平均水平,特别是某些局部地区的水资源已严重超用。如河西石羊河流域地下水资源引用率达到 132.6%,严重超采,因水资源不足,农田保灌率很低;河西石羊河流域的民勤绿洲虽严重超采地下水,但保灌率仍只有 63.36%,大量农田因缺水而弃耕。

2. 区域农业生产力总体水平提高,径流量将逐年减少,可供水保证率下降

在一定范围内,作物耗水量随产量提高而增加。目前,西北旱区的农业产量水平还较低,随着产量提高,其蒸发蒸腾量必将有所增加,这样会使降

水在下垫面的分配关系发生变化,必然会使降水入渗蓄存,蒸发蒸腾等小的水文循环过程增强,同时会削弱进入大循环的地表径流和地下径流。特别是在黄土高原水土保持与农业综合开发过程中,植被增加、作物高产、梯田建设等都具有增强水分小循环的功能,从而削弱水分大循环,使黄河中游沿岸的许多提水工程的供水保证率下降。

3. 强烈的土壤侵蚀致使河流含沙量大,使水资源利用的难度增加,同时河流和水源的污染愈来愈严重,缺水危机进一步加剧

黄土高原地区强烈的土壤侵蚀不仅使生态环境恶化,更由于大量泥沙注入黄河,使其成为世界上一条多泥沙的河流。陕北、陇东、定西等地是黄河中游水土流失最严重的地区,河流洪水含沙量高达 $900\text{kg}/\text{m}^3$,土壤侵蚀模数达 $6\,000\sim 10\,000\text{t}/\text{km}^2$,个别强烈侵蚀地带达 $20\,000\text{t}/\text{km}^2$ 以上。这将进一步造成河流、水库的淤积和提水机具的磨损等问题。

西北旱区河流水质的状况是超 V 类水的河段已占相当比重。虽然内陆河流域的污染状况低于全国平均水平,但近年来的污染也日趋严重。例如新疆水磨沟河沿岸 27 家工厂向该河排放废污水量每年约 $1\,222\text{万 m}^3$,而该河年径流仅 $3\,150\text{万 m}^3$,污径比达 0.388;河西武威市的地下水抽样检验结果显示,汞超标 30 倍,6 价铬超标 9.6~51.2 倍,大肠杆菌超标 13 倍;青海湟水流域干流西宁平安段,挥发性酚超标约 5.1~48.2 倍;陕西西安市的皂河延秋门段,化学耗氧量、酚、氰、汞均严重超标,其中酚年均值超标 25.3 倍,年极值超标 40 倍;渭南的游河园林段,酚年均值超标 850 倍,年极值超标 1 340 倍。这些均给可持续农业发展和人类赖以生存的水环境造成了重大威胁。

4. 农业用水将更进一步被工业和城镇生活用水挤占,大农业内部争水的矛盾将加剧

农业用水占总用水量的比重在发达国家一般为 50%左右,我国的平均水平为 74.3%,长江流域

为 65.9%，珠江流域为 68.2%。随着我国经济的发展，此比例有逐年减少的趋势。但目前西北内陆河区此比例高达 96.1%，黄土高原区高达 87.3%。随着西部地区的开发和经济发展，农业用水比例将会减少，将进一步被工业和城镇生活用水所挤占，更进一步加剧可持续农业发展的水危机。

在大农业内部，近十几年来农田灌溉用水量呈下降趋势，而农业与农村生活的其它用水量猛增，预计 21 世纪这种现象还要继续发展。

5. 环境与农业争水的矛盾比以往任何时期都突出

西北旱区的许多生态环境问题，诸如土地沙化、草场退化、河流湖泊萎缩和消失、地下水降落漏斗和地面沉降等，均与超限度利用水资源有关。如河西石羊河流域，因上游用水增加，进入下游民勤盆地的水量由 50 年代的 5 亿 m^3 减少到 90 年代以来的 1.5 亿 m^3 。下游地下水严重超采，民勤盆地已形成了总面积达 22km² 的 3 个大漏斗区，直接导致沙生植物的枯萎死亡、防风固沙体系急剧衰败、沙丘活化，特别是数千年来“碧波荡漾、野鸭成群、游鱼无数”的流域终端的青土湖地区，因无法得到水量补给而于 60 年代干涸，并逐渐演变成了一片浩大的盐碱化荒漠。目前该处沙漠正以每年 10m 的速度向绿洲推进，绿洲北部的天然防沙屏障变成了沙漠大举入侵绿洲的通途。黑河流域下游额济纳绿洲生态环境也因上游用水增加而不断遭到破坏，草场退化、农田弃耕、土地沙化，且酿成内蒙阿盟和宁夏春夏之际沙暴灾害不断加剧，90 年代以来愈来愈烈之势。

二、解决西北旱区可持续农业水问题的根本出路在于大力发展高效节水的规模化农业

为了解决西北旱区可持续发展的水危机，国家有关部门曾组织制定了“南水北调”西线方案，最大可能调水量 200 亿 m^3 ，主要用抬抽结合的引水方式，即需建 200~300m 的高坝和扬程 300~500m 的巨型泵站 3 处，穿越分水岭巴颜喀拉山的隧洞长度约 30km，但由于投资问题、地势高寒陡峻、人烟稀少、技术和施工困难，预计在我国人口高峰期时该工程还难以实施和见效。解决 21 世纪西北旱区可持续农业水危机的根本出路还在于大力发展高效节水的规模化农业，在大范围内努力提高农业用水效率，即以最少的水量投入获得最大的农产品产出量。

西北旱区现有农业水资源的利用率还较低。一些灌区长期以来习惯于大水漫灌、大块灌，土地不平整，田间工程不配套，渠系未衬砌或补砌不全，农

业管理粗放，灌溉定额过高（有的高达 15 000~22 500 m^3/hm^2 以上），以致浪费严重，同时造成了土壤养分流失，局部地区还引起地下水位上升，加速了土壤次生盐碱化。目前一般灌溉水的有效利用率仅 30~40%，而一些发达国家的农业用水有效利用率可达到 80% 以上。另一方面西北旱区的灌水利用效率也较低，每立方米水生产的粮食一般仅 0.5~1.0kg，而以色列已达到 2.32kg，一些发达国家大体均在 2.0kg 以上。此外，广大旱作地区的降水利用效率相当低下。因此，要解决西北旱区可持续农业的水问题，必须大范围提高降水和灌溉水的利用效率，通过节水来满足“生态用水”的需求。发展节水农业是缓解西北旱区农业供水危机和促进农业持续发展的根本出路。

根据现在的用水量分析，内陆河区平均毛灌溉定额为 1 3110 m^3/hm^2 ；引黄灌区一般在 12 000~15 000 m^3/hm^2 ，扬黄灌区 6 000~7 500 m^3/hm^2 。按目前先进灌区水平，内陆河区灌溉定额可降至 4 500~7 500 m^3/hm^2 ，引黄灌区 4 500~6 000 m^3/hm^2 ，扬黄灌区 3 750~4 500 m^3/hm^2 ，可见在灌溉上节水潜力很大。若增加农田水利建设的投入，从提高渠系水利用系数入手，在农田灌溉上可节约 10~15% 的用水量；若加强农田基本建设，平整土地，改大块灌为小块灌，改漫灌为畦灌等，节水潜力也可以达 10~15%。而且还可以采用喷灌、滴灌、渗灌和膜上灌等新的灌溉技术。因此，把目前农业水有效利用率提高 20~30% 是完全可能的。

另外，在黄土高原地区、西北内陆浅山区降水 250~500mm 的地区，发展雨水集蓄和高效用水技术，对解决未来粮食问题也将产生重要影响。

搞好农业节水的关键在于观念变革，主要包括以下几个方面：

(1) 由丰水高产灌溉转向节水优产灌溉，由仅用灌溉定额或灌溉水利用系数作为评价节水的指标，转变为以灌溉水生产效率为主来评价节水状况。

(2) 对用水管理部门的考核由以水费收入指标或管理机构内部效益指标转向于把管理机构内部效益指标和灌区灌溉用水效率有机地结合起来，建立有利于发挥水管理者和用水受益者双方积极性的节水管理体制。

(3) 高度认识水资源的有限性，并要有危机感。由单纯地引用地表水或地下水，转变为把地表水、地下水、土壤水、大气降水统一协调考虑。雨水资源、土壤水以及劣质水资源（微咸水和废污水）的利用是今后农业水资源开发利用的方向。

(4) 节水工程由过去单一的国家投入转变为由国家、集体、个人“三位一体”的投入机制，制定激励发展节水农业的投入政策，建立一种有利于节水农

业发展的投入机制。

(5)由单纯发展农业节水技术转变为把农业节水与区域水资源持续利用以及可持续农业发展统一协调考虑,做到资源利用由低效向高效、粮食由低产向高产、生态环境由恶性循环到良性循环、农村经济由贫困向富裕的转化。发展农业节水一定要促进农村经济的发展和农民的富裕,如通过发展节水型的雨水集流补充灌溉农业,发展高产值的庭院经济,提高投入产出比。这样才能给节水农业的持续发展带来新的活力。

(6)一定要把支撑节水农业发展的“投入、管理、科技”三要素紧密结合起来,从三方面下功夫。

三、西北旱区可持续农业的用水模式

由于西北旱区气候、地形、水源等各方面的条件变化较大,因此应分区确定可持续农业的用水模式,对与节水农业有关的各种自然因素、技术因素和社会经济因素进行综合的分析论证,对不同类型的地区分类指导,避免在发展上产生盲目性。应根据各地区不同的自然地理特征、水源条件,确定相应的农业高效节水技术措施,并以提高灌溉水的利用率、单方水的产粮数和单位降水量的生产力为中心,在节水机理、节水关键配套技术、成套节水技术的组装集成等方面进行突破,寻求多种节水技术(包括渠系和田间工程的配套与完善、土地平整与标准化田块建设、田间灌水技术改进、节水灌溉制度、田间保水技术、水肥耦合技术、农作物种植结构调整、节水抗旱品种选育、雨水利用、节水耕作与栽培技术等)的最优配置,形成一套综合的节水高效农业技术体系。西北旱区可持续农业的用水模式可分如下三种类型:

1. 西北旱区现有灌区以提高灌溉水利用率和单方水产粮数为目标的节水、高产、高效、集约型农业模式

(1)关中平原主要是对现有灌区进行以节水增产增益为目标的技术改造,推广综合的节水高产高效灌溉技术体系,重点是工程配套、土地平整、沟畦规格改进,适当考虑低压管道灌溉,采用节水灌溉制度和动态配水技术、节水型耕作栽培技术和蓄水保墒技术,加强节水管理,同时要用洪用沙相结合,抓好关中平原几大灌区的联网调度、调余补缺。在关中平原南端、秦岭北麓,可优先考虑利用自然落差发展自压喷微灌技术,抓好机电井的测改工作,有计划地利用城市污水灌溉,还要搞好渭河水系的水源保护工作,以利于水资源的可持续利用。

(2)陕北长城沿线风沙滩地区地下水资源较丰富,且埋深浅,应采用中、深井结合,加强管理,搞好配套,提高机井效率。同时在林网方田内与井渠相

结合,在田间大力发展低压管道输水灌溉和膜上灌、滴灌等节水技术。要大力发展节水型耕作栽培技术,提高灌溉水的生产效率。要加强对中小型病险漏蓄水工程的改造,拦蓄径流,发展节水灌溉,同时为引水拉沙、沙地改造创造条件。要注意水资源的适度开发,避免盲目超采。要以水定地,控制农业综合开发的适度规模,避免因地下水超采产生新的生态环境问题。同时还要建好方田林网,改善局地气候条件,防止土壤沙漠化。

(3)黄河沿岸高扬程提水灌区应以节水、节能、增产、增益为中心,减少水泵的泥沙磨损,尽量降低单位提水量的能耗,同时要加强用水管理和水的优化调度,加强各级渠道的衬砌配套和标准化田块的建设,适当发展低压管道输水灌溉和喷灌,攻克灌溉防淤和喷滴灌灌水器防堵技术问题,提高水的利用率。并与其它节水高产耕作栽培技术相配套,提高水的生产效率。

(4)宁蒙河套灌区要严格控制引灌水量,实行科学用水,加强用水管理,降低灌溉定额,加强骨干渠道的衬砌和田间工程的配套,平整土地,改进地面灌水技术。同时,要加强排水系统的建设与管理,控制次生盐碱化发生。

(5)河西走廊的节水应以地面灌溉技术为主,切实搞好灌区“大改小”、“长改短”和“宽改窄”的标准畦田建设,加强土地平整、田间渠道的衬砌以及渠系量水、控水建筑物的配套;与地膜覆盖技术相配合,推广采用玉米控制性分根交替隔沟灌溉新技术和作物调亏灌溉技术,降低灌水定额、提高水的生产效率;适当考虑开发利用微咸水等其它水源。

(6)新疆内陆河流域盆地绿洲灌溉农业区的用水应把以节水增产增益为中心的灌区技术改造和配套放在突出的地位,以减少水源和输配水过程中的水量损失;节水和改土治碱并重,强化用水管理,严格控制灌溉定额;田间以平整土地,建设标准化畦田,大力推广和改进膜上灌水技术为中心;要注意调整作物布局,缓解春旱缺水矛盾;同时还可适当推广行走式喷灌等先进节水技术。

2. 旱作农业区以雨水集流补灌和抗旱保苗稳产为中心的农业用水模式

这类地区主要分布于渭北陇东黄土高原沟壑干旱水土流失区、蒙陕陇宁丘陵沟壑严重干旱水土流失区、海东山地丘陵半干旱区、西北内陆浅山区,主要应多搞坑塘,或利用坡面集水场与窑窖聚集雨水,发展高效用水技术;同时结合人饮工程,积极推广微灌等节水灌溉技术,发展果树地下渗灌;重点探索雨水集蓄的技术手段、集水方式、集水效率及其经济实用化,开发与集水配套的节水技术,发展雨水集流农业模式,开发旱地节水技术和移动式抗旱保苗节水技术与机具。旱作农业区以雨水集流补

灌为中心的用水模式,应与宽幅梯田、大垄沟种植、双覆盖等基本农田建设和先进的耕作技术相配套。

3. 以喷微灌等先进灌水技术应用为主的节水模式

这类模式主要在西北特缺水地区以及经济作物和小水源地区考虑,要强调投入产出比。在新疆内陆河流域下游缺水、东疆炎热干旱区、石羊河和黑河流域下游特缺水的大田粮食作物中亦可应用。宁南和内蒙古南部干旱风沙区和陕北等地的窑窖集水农业也可考虑以滴灌技术为主。该类用水模式可分为城郊设施农业中的滴灌、微喷,内陆河流域特缺水区的粮食作物喷、滴灌,黄土高原集水农业中的窑窖水滴灌等。

四、应进一步研究的几个课题

1. 农业节水潜力评价与节水农业发展的宏观决策研究

包括现有水资源与灌溉用水状况的分析;农业节水效益评价的指标、节水潜力的分析计算方法与不同经济发展水平和投入条件下可能的节水潜力;各种节水技术的节水效果评价、经济效益和推广应用的可行性分析;作物灌溉用水标准和用水预测;区域内水源来水和需水预测,以及如何调配可用的灌溉水量,使受旱损失最小的灌溉抗旱决策;适合不同类型地区的农业综合节水技术体系的最优配置模式;从流域水资源转化和上下游水资源利用关系出发,探索发展旱地农业、集流补充灌溉农业的方略与宏观决策系统。

2. 节水农业应用基础问题研究

包括作物根系吸水模式与胁迫条件下的作物耗水规律与计算模型;土壤—植物—大气连续体水分动力学模式;灌溉方式、旱农措施及雨水集蓄对地表水量转化关系的影响机理与定量关系;不同类型农田和区域降水、地面水、地下水、土壤水及作物水间的“五水”转化关系与计算模型;降水(灌溉水)—土壤水—作物水—光合作用—干物质量—经济产量转化效率的计算模式;作物耗水与光合作用的耦合关系以及以节水增产增益为目标的田间最优节水调控机理与决策方法;土壤水分对作物有效性动态评价理论,作物缺水受旱的定量诊断指标体系,不同生育阶段缺水对作物产量的影响,作物缺水敏感指数的变化规律及作物水、肥、环境—产量综合模式;不充分灌溉条件下有限灌溉水量在作物生育期内的最优调配模型;充分利用当地降水资源,有利于农业持续发展目标的水资源联合调配的理论与优化模型。

3. 高效农业节水综合技术体系示范模式的建立

通过对各种措施的研究,形成一套综合的高效农业节水技术体系,建立示范区,以有利于节水农业技术的推广。

4. 农业水资源持续利用的理论与技术

大致包括:区域水资源的形成、演变规律及水资源的数量、质量、可利用量的评价技术研究;农业水资源持续利用的标准与定量化指标研究;农业可持续发展的水土肥资源优化配置技术研究;农业水资源开发利用与生态环境保护技术研究;农业水资源可持续利用管理政策与措施的研究;西北地区农业水资源持续利用战略对策研究等内容。

主要包括:地区水资源的形成规律、演变及变化趋势,地区水资源的需求预测方法以及开发程度与环境承受能力的关系,西北地区内陆河流域水体干涸萎缩演变及发展趋势,全球变化及人类活动对西北水资源的影响;资料短缺地区水资源评价新技术应用,水环境质量评价体系;西北地区可用水资源条件下农业发展的布局及合理化结构,保持良好的生态环境条件下流域或区域水资源最优分配模式;根据水土肥资源条件,与区域水调控理论、水肥耦合关系,确定农业水资源持续利用的发展模式和水土肥资源的优化配置。要进一步研究适合西北地区的水资源保护、水资源可持续利用的管理政策及其战略。应考虑整个流域或区域之间的水量调配和统一管理问题,做好水环境监测,建立西北地区农业水资源管理决策支持系统,协调农业水资源和农业用水之间的供需关系,作出水资源合理开发和利用的优化决策。

5. 与农业持续发展有关的灌溉后效性影响及灌区环境问题的研究

需要研究灌区水资源开发对生态环境的影响,上游雨水和径流集蓄对下游农业生产的影响;灌溉对土壤结构的影响,对土壤水盐运动的影响,农用化学物质在土壤中随灌溉水的输送及聚集,地下水中农药及污染物的吸附、解吸和传输,大定额灌溉引起的土壤养分淋失规律及数学模拟;苦咸水利用和深翻改土、生物改良盐碱地的技术;水质监测及水质变化的预测;劣质水的净化利用以及农村人畜饮水和水质改良问题;节水农业区的生态建设问题。通过这些研究,使水土资源能够高效地、长期地维持稳定的生产力,并提供优良的环境质量。

通过对以上问题的系统研究和解决,可为西北旱区提高降水(灌溉水)与经济产量间的转化效率,改变农作物的用水方式、农田节水增产的潜力评价提供依据和途径,进而为从整体上减少农业用水、合理高效利用水资源、创造有利于农业持续发展的生态环境作出贡献。建议国家有关部门加强对上述问题研究的投入。

(责任编辑 孙立明)