

中国工程科技论坛

我国干旱半干旱地区农业 现状与发展前景

Woguo Ganhan Banganhan Diqu Nongye
Xianzhuang Yu Fazhan Qianjing



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书系中国工程科技论坛系列丛书之一,是中国工程院中国工程科技论坛第146场《我国干旱半干旱地区农业现状与发展前景论坛》综合资料的集成。全书以参会的国内外17位院士和专家的文字报告为核心内容,综合反映了各位院士和专家对我国干旱半干旱地区生态环境建设、粮食生产、水资源高效利用、农业可持续发展等方面问题的认识与建议。是一部内容丰富、观点新颖、高层次、高水平的编著。该书可供国家和地方政府决策、规划时参考,亦可供相关方面的科研人员 and 高等院校师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

我国干旱半干旱地区农业现状与发展前景 / 中国工程院编著. -- 北京:高等教育出版社,2013.6

(工程科技论坛)

ISBN 978-7-04-037359-2

I. ①我… II. ①中… III. ①干旱区-农业技术-研究-中国 IV. ①S

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第096945号

总策划 樊代明

策划编辑 王国祥 黄慧靖

责任编辑 朱丽虹

封面设计 顾斌

责任印制

出版发行 高等教育出版社

社址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

印刷

开本 850mm × 1168mm

印张

字数 千字

插页 1

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

版次 2013年 月第 版

印次 2013年 月第 次印刷

定价 60.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 37359-00

编辑委员会

主任：山 仑 李佩成

副主任：吴普特

委员：程 序 王 浩 南志标

康绍忠 王 涛 李凤民

王立祥 李生秀 梅旭荣

段爱旺 杨金忠 邓铭江

史志诚

秘书：冯 浩 赵勇钢

目 录

第一部分

综述	3
----------	---

第二部分 主题报告及报告人简介

我国半干旱地区农业发展的几个问题	山 仓	13
建基地、抓科研,推进农业可持续发展	李佩成	25
应对我国农业水资源严重不足的战略思考	王 浩	30
北方农牧交错带以开发能源作物促生态重建的前景	程 序	41
开发建设“陕北旱地粮仓”已刻不容缓	史志诚	49
发展旱地农业的思考	李生秀	55
科学审视干旱的双重属性 高度警觉干旱发展态势 持续增进 水分生产能力——旱区农业永续发展的依托	王立祥	72
中国北方沙漠化土地的治理	王 涛	80
新疆灌溉农业发展与调控及若干问题的讨论	邓铭江	86
内蒙古河套灌区节水农业发展过程中几个问题的思考	杨金忠	106
科学发展旱作农业保障我国粮食安全	梅旭荣	121
当前节水灌溉发展要处理好的几个问题	段爱旺	128
论黄土高原半干旱地区农草牧协调发展途径	李凤民	139
黄土高原农果牧复合循环农业的构建	吴发启	150
附录 参会人员名单		157
后记		161

第一部分

综述

综述

一、会议背景

我国干旱半干旱地区占国土面积的 52.5%，生态环境脆弱，农业生产力低而不稳。该地区不仅是我国的生态屏障，也属我国农业后备基地，发展潜力很大，具有重要的战略地位。但当前主要由于干旱缺水，该地区的农业面临许多困难，今后如何加速发展，需及早确定整体方略，并付诸实施。我国政府和专家学者对此十分重视，先后提出应实行农业综合发展，建成草地畜牧业基地，水地旱地并重，发展“沙产业”等要求或主张，同时建立了针对干旱半干旱地区的农业产业示范区。2010 年国务院 2 号文件中再次强调了加强我国干旱半干旱地区现代农业示范与发展的重要性，2011 年 11 月国务院常务会议通过的“全国抗旱规划”中进一步关注到“占全国 60% 县区的易旱地区”。西方发达大国（美国、加拿大、澳大利亚）以及以色列、俄罗斯、巴西等在发展干旱半干旱地区农业方面已取得许多成功经验，如寻求生态修复与提高土地生产力的结合点，推行有利于持续发展的保护性耕作技术，以及有效实行农业与牧业的紧密结合等，从而建成了一批较大规模的商品性农畜产品基地。我国干旱半干旱地区情况与他们不同（主要是人口密度大、自然条件多样等），需探索适合自己的农业发展道路。

因此，本次论坛针对我国干旱半干旱地区农业发展现状及其战略地位等问题，邀请政府有关部门领导，相关领域的院士、专家、学者一起就该区域的热点和前沿问题进行交流与研讨，通过总结已有研究成果和实践经验，探讨该地区农业发展的前景与对策，为推动我国干旱半干旱地区的现代农业发展提供科学思路和技术支撑，将我国干旱半干旱地区农业研究提升到一个新的水平。

二、会议整体情况

论坛于 2012 年 9 月 20 日~21 日在陕西省杨凌农业高新技术产业示范区举办，主办单位为中国工程院，承办单位为中国工程院农业学部、西北农林科技大学、长安大学。论坛主席为山仑院士和李佩成院士。论坛共邀请五名院士参加会议，分别为山仑院士、李佩成院士、王浩院士、南志标院士和康绍忠院士。另还邀请国内外专家 13 人做大会报告。来自国内外 24 家院、校、所，共计约 120 人参加了会议。

论坛分三部分进行。第一部分为论坛开幕式,来自中国工程院、水利部和陕西省水利厅的领导对大会致辞;第二部分为大会报告,包括4位院士在内的17名国内外专家学者做论坛报告;第三部分为讨论总结会和闭幕式,所有与会专家学者及研究生共同参与讨论。

论坛圆满成功举办,大家反映热烈,经充分研讨和交流,总体取得了一些有价值的结论和意见。

三、与会院士专家主要学术观点或结论

南志标

院士,兰州大学,报告题目为“草地农业与黄土高原农业资源高效利用”。报告包括黄土高原发展草地农业的紧迫性、黄土高原发展草地农业的途径、黄土高原草地农业面临的挑战等三个方面的内容。

以庆阳黄土高原试验站的科研成果为例,在黄土高原地区发展草地农业的途径包括:① 实行草田轮作;② 推行保护性耕作;③ 开发小麦和小谷物的饲用性;④ 草原恢复与保护性利用;⑤ 建立草畜耦合系统。未来黄土高原地区发展草地农业面临的挑战和建议:① 在全球变化的情况下,如何建立低排放的草畜系统;② 能源基地大开发也伴随着对生态环境的大破坏,从生态环境的角度考虑,要加速培育速生耐旱的乡土草种,恢复受损的生态系统,尽快建立生态保障系统;③ 建立中国的“肉牛带”,利用蒙古高原、青藏高原的家畜和河西走廊、华北平原的精料,在黄土高原建立巨型畜牧业基地;④ 建立面向未来的草地农业系统,这应该是具有一定规模,对环境友好,天然草原和栽培草地放养相结合,技术比较集约,政府在技术服务上有高度保障的系统,这样才能推动整体的生产和环境的保护。

王浩

院士,中国水利水电科学研究院,报告题目为“应对我国农业水资源严重不足的战略思考”。报告主要包括农业水土资源情势和管理现状、农业水资源调控策略、调控意义与调控方向等三个方面的内容。报告认为,面对粮食生产的两大刚性约束——土地资源和水资源,处于双紧的情势,和当前我国农业水资源管理粗放现状,要从根本上缓解农业水资源短缺的现实,有必要立足于农业水循环过程,从“开源”(重视径流性水资源)和“节流”(加强农业水循环过程的耗水管理)两方面全面思考提高水资源的利用率的调控策略。提出农业水资源管理的基本策略为:① 要在保障基本农业供水的同时,加强土壤水资源的合理利用;② 要加强农业水循环全过程中的“耗水”管理。综合二者,可合理利用土壤水资源,并全面提高水资源的利用效率。

李佩成

院士,长安大学,报告题目为“再论治水的哲学思考”。报告认为,战略决策的失误是最大的失误。要防止重大失误,做出正确的决策,就要从哲学的层面上研究和认识问题,包括治水问题。报告提出:① 水的同一性和循环转化规律是治水应当遵循的基本规律,要与时俱进,实现“多维治水”;② 坚持辩证法,运用“三水统观统管”的思想正确处理天上水、地表水、地下水(包括土壤水)的关系;③ 开源节流是辩证的统一,要做到节水与养水相结合,提高水资源综合效益;④ 水质问题已上升为当今治水的主要矛盾,应认真对待,应当建立以防为主的保护水质体系,建立良好的水文生态系统;⑤ 正确处理大与小、堵与疏的关系,在重视大江大河的同时也要关心小河小水的命运;⑥ 灌溉农业与旱作农业是对立的统一,要相互渗透共同促进;⑦ 矛盾是可以转化的,人与水的矛盾可能转化为人与人的矛盾,要重视解决跨界水资源问题和农村的水安全问题;⑧ 事物是不断发展的,要与时俱进,用科学的发展观从战略上认真审视水事活动规划及其科学研究的正确性,要用革命的乐观主义对待水的问题。

康绍忠

院士,中国农业大学,报告题目为“干旱内陆区流域水资源转化规律及其节水调控模式研究——以甘肃石羊河流域为例”。报告分为研究背景、研究方法、研究成果、几点启示等四部分内容。报告以甘肃石羊河流域为例,从旱区流域水资源转化理论与水资源系统模拟方法、流域不同作物的耗水量测算方法及其时空演变规律、基于生态需水的流域水资源配置与调控、作物节水优质高效灌溉综合技术体系与模式集成、流域水资源调控与农业高效用水保障设备研制、建立了流域水资源合理配置与高效利用综合试验示范区等六个方面展示了研究成果。提出五点启示,包括:① 水地平衡,合理控制农业开发与灌溉规模;② 水资源配置要考虑生态用水的要求;③ 发展节水高效农业是干旱区农业发展的战略选择;④ 必须实施严格的水资源管理,实现总量控制与定额管理;⑤ 加强农业用水的监测评估和农业节水科学研究等基础性工作。

杨金忠

教授,武汉大学,报告题目为“河套灌区农业水资源开发利用中的几个问题”。报告分为河套灌区基本状况、河套灌区农业水资源利用、河套灌区近几年来取得的主要成就及河套灌区水资源利用中几个问题的思考四部分内容。报告在总结河套灌区自1957年以来的规划情况及规划完成情况基础上,提出河套灌区所面临的几个问题。报告分析了河套灌区水资源及利用情况,认为农业节水的關鍵在灌区,并针对河套灌区的具体特点提出五项节水措施、四个农业节水方案及污水处理再利用、排水回用、凌汛期引水等开源节流方式。报告在认同河套

灌区节水改造效益明显的同时提出了六个问题:① 水土资源平衡问题:河套灌区到底可以承受多大的灌溉面积?② 作物种植结构问题:何种种植结构符合灌区的水资源条件?③ 地下水开发利用问题;④ 秋浇灌问题;⑤ 微咸水和再生水的利用问题;⑥ 土壤盐碱化问题。

吴发启

教授,西北农林科技大学,报告题目为“黄土高原农果牧复合循环农业的构建”。报告分为循环农业的概念、黄土高原农果牧复合循环农业实现的基础、复合种植模式筛选与规范、基地建设、成果转化等八部分内容。报告从关中平原秸秆直接还田综合技术模式、复合种植模式筛选与规范、农牧循环模式与技术、基地建设等方面展示了研究及推广成果,包括:① 秸秆还田下的化肥配比及平衡施肥技术;② 粮经、果菜、果药、果草复合高效种植模式;③ 玉米秸秆青贮饲料的技术及推广应用、微生物发酵剂的研制、畜禽粪便无害化和肥料化技术等技术、专利、技术标准和规范;④ 农田秸秆直接还田技术体系、农田复合种植循环技术体系、农牧循环生产技术体系的建立及在周边地区的大量推广。

王涛

教授,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,报告题目为“中国沙漠化土地的治理”。报告分为引言、北方沙漠化土地的时空变化、沙漠化过程对农牧业的危害、沙漠化治理的战略、指导方针和基本原则、沙漠化治理的基本途径六个部分。报告在综合分析我国北方沙漠化对农牧业的危害、沙漠化土地治理的迫切性基础上,通过分析沙漠化形成的途径提出中国北方沙漠化综合防治的战略、指导方针及基本原则,具体总结出调整土地利用结构、推动退耕还林还草、控制人口增长、依靠科技防治等具体沙漠化防治的基本途径;以科尔沁沙地农林牧发展新模式为例,展示了沙区雨养型植被建设模式与技术、绿洲节水型防护体系建设的模式和技术、防治和利用为一体的治理开发模式、优良防沙治沙植物的筛选、快速扩繁、优化栽培技术、沙区植被快速恢复技术体系等成果。

王立祥

教授,西北农林科技大学,报告题目为“科学审视干旱的双重属性、高度警觉干旱发展态势 持续增进水分生产能力——旱区农业永续发展的依托”。报告分为旱情在加剧旱区在扩大、中国旱区有多大及如何划分、关注我国旱区农业发展、水分生产能力持续增进、加强水分生产潜力研究的若干建议五部分内容。报告分析了近六十年我国人均水资源占有量、农田受旱面积的严重态势,指出我国旱区农业的重要性,认为水分生产能力的增进是旱区农业永续发展的路径,并针对加强水分生产潜力研究提出四点建议:① 突破北方气候干旱区的范围局限,扩大到南北旱区研究的全方位;② 突破农田降水生产潜力的研究局限,涵盖灌

溉水降水生产潜力研究的全方位;③ 长期定位系统研究的项目保障及研究网点的布设;④ 设置水资源承载力区划的研究专项。

梅旭荣

教授,中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,报告题目为“旱作农业与我国粮食安全”。报告分为水与粮食安全:短缺资源替代战略、旱作农业:定位与重大技术策略、现代旱作农业科学发展及建议三部分内容。报告从我国粮食安全形势、农业水土资源短缺态势、气候变化对农业的影响三方面说明我国的粮食安全状况,提出以耕地质量代替数量、以水肥利用效率代替规模、以农业废弃碳再利用替代浪费的资源替代战略,主张集水、保水、用水、节水的节水农业。认为旱作农业是粮食安全的“稳压器”,应重视旱作农业的战略地位,发展高效现代旱作农业技术,并提出旱作农业科学发展建议:① 合力推进现代旱作农业发展;② 建立旱作农业粮食持续稳定发展的长效机制;③ 加快制定生产和生态双赢的政策机制;④ 加强区域性旱作农业技术的集成与示范;⑤ 加强旱作农业的宣传。

李生秀

教授,西北农林科技大学,报告题目为“发展旱地农业的思考”。报告分为旱地农业的潜力与问题、水资源与农业用水、提高土壤蓄水能力是增加绿水的根本、防止蒸发是保护绿水的根本出路、田间保持作物是防止水分无效蒸发的关键、合理投入营养物质是提高水分利用效率的重点等七部分内容。报告提出降水少蒸发量大、降水分布不均、植被覆盖度差、易遭侵蚀及由此造成的土壤贫瘠等问题是旱地的主要问题;认为绿水——进入土壤中的水对农业最重要,而提高土壤持水能力则是增加绿水的关键所在,覆膜、覆草等措施可以防止水分的无效蒸发保护绿水,合理投入营养物质可以调节作物的蒸腾蒸发从而达到合理利用绿水的目的,田内集水则是将无效绿水转化为有效绿水的重要措施。报告认为,绿水是农业最宝贵的水资源,更是旱地农业的命脉,绿水有相当大的潜力。在具有较高生产能力的平地上蒸发是绿水损失的主要途径。采用培肥土壤、覆盖耕作、田间保持作物生长、合理施用肥料、田内集水是保蓄和充分发挥绿水作用的重要环节。

李凤民

教授,兰州大学,报告题目为“论黄土高原半干旱地区农草牧协调发展途径”。报告分为旱地农业发展主导技术和潜力、苜蓿草地的生产与生态功能、畜牧业发展的途径三部分内容。报告以甘肃兰州、榆中县等地的地膜、沟垄地膜对玉米的产量为例,分析说明了旱地农业技术进一步促进生产力的提升以及旱作农业技术对土壤微生物等指标所产生的负面效应所带来的挑战;认为常规苜蓿

地难以恢复地力,不宜草田轮作,但有利于保持水土,可作为生态恢复性植被,同时需要严谨有效的管理政策和措施;以榆中县北山、宁南山区、长武地区为例,分析说明降水量对苜蓿长期性产草量影响不大,通过榆中县为苜蓿草地面积与舍饲养羊呈现负相关趋势说明苜蓿尚不足以支撑畜牧业发展,应重视旱地农业作为支撑舍饲畜牧业发展的主导作用,苜蓿草地的生态价值优于生产价值。报告最终认为:旱地农业是畜牧业发展的主要饲草料支撑,苜蓿草地处于辅助性地位,可考虑建立混合型畜牧业发展体系。

段爱旺

研究员,中国农业科学院农田灌溉研究所,报告题目为“当前节水灌溉发展要处理好的几个问题”。报告分为节水农业发展的背景与目标、用水总量控制问题、适宜节水技术的选择问题、节水的投入产出问题、节水技术的推广应用问题、相关的政策法规问题六部分内容。报告针对我国水资源供需矛盾不断加剧,社会各阶层对水资源短缺及节水问题的关注日益激烈的情况提出四个急需明确的问题:① 什么地方需要发展节水灌溉;② 应当采用什么样的节水灌溉模式;③ 如何保证节水的持续发展;④ 有哪些政策需要配套制定或完善。报告提出三个发展节水灌溉要实现的目标,并对实现节水目标的可行性及保障措施进行了分析,认为在提高灌溉适时性的基础上大幅度提高用水效率,减少灌溉水资源消耗量;节水技术不能简单划分优劣,最适合的技术就是最好的技术;搞好节水工作要选好技术,建设好,大面积应用且长期坚持节水技术的实际应用;实行总量控制,严格水资源取用管理、加强总体规划、制定适宜的扶持与补偿措施、多方协调。

邓铭江

教授级高级工程师,新疆水利厅,报告题目为“新疆灌溉农业发展与调控及若干问题讨论”。报告分为灌溉农业与生态环境特征、水资源利用存在的主要问题与演变趋势、问题与挑战引发的思考、用水总量及供用水结构调整、问题讨论五个部分。报告介绍了新疆山盆构型与河流廊道的景观生态特征、绿洲经济与灌溉农业的区域经济特征、人工绿洲与自然绿洲的竞争性用水特征,认为人工绿洲与自然绿洲两大竞争性用水户的矛盾,是干旱区可持续发展的重大命题。报告分析总结了新疆水资源利用情况,提出新疆水资源利用存在的五个问题:① 用水规模超过总量要求;② 用水结构不合理,用水效率和效益低;③ 生态用水得不到保障,生态问题日益严重;④ 水利基础设施建设滞后;⑤ 水管理体制、机制不完善,农业水价偏低。报告同时对用水总量及用水结构调控面临的挑战进行了思考并提出四个亟待研究解决的四大科学命题;报告讨论了干旱区生态环境演变的适宜度与可控性、干旱农业灌溉设计保证率、农业高效节水发展规模

的适度性、地下水开发利用与保护在水资源系统中的定位等问题。报告认为实现严格水资源管理目标任重道远,并提出两点建议:① 控制各地开荒势头,控制地下水开发的增长态势;② 干旱内陆河灌区农业高效节水规模适度性问题当引起高度关注。

程序

教授,中国农业大学,报告题目为“北方农牧交错带以开发能源作物促生态重建的前景”,报告包括五个方面的内容:① 退耕还林是北方农牧交错带生态重建的起点。报告认为该地带是我国中、东部极其重要的生态屏障,自然条件相对较为严酷,生态重建的任务相当艰巨,位于该地带的黄土高原,大部分是不宜种植作物的边际土地。世界多国的实践表明,将大部分边际土地退耕还林、还草,已成为大范围生态重建的普遍模式。② 退耕还林、还草政策的推广由于国家“粮田红线”及退耕补贴等问题受到严重制约。要解决退耕“稳得住,能致富,不反弹”的问题,必须建立支柱性的“后续产业”,生物能源恰好是能避免多种制约因子的一种新型农产品。③ 充分发挥半干旱农牧交错带“系统生产力”的优势,选择适应的能源作物,走出一条“生态重建和支柱产业协调发展、经济效益和生态效益“双赢”的新路。④ 通过对比分析中国与美国等的自然气候条件,提出能源作物在中国半干旱地区的种植具备可能性。⑤ 黄土高原丘陵沟壑区试种柳枝稷等能源牧草的结果。指出如果在黄土高原上成功地种植能源牧草,既能使其成为我国最重要的生物能源基地之一,又能经济上确保退耕方案的可持续性。

四、会上提出的有关建议

干旱半干旱地区既是我国重要的生态屏障,又是我国正在形成的农业发展“战略基地”,地位越来越重要。经过多年的整治和发展,该地区的生态环境得到了明显改善,经济有了快速提高,农业生产力得到了快速提升,部分县(市)已有较好的发展模式。但从全局来看,受干旱缺水的限制,该地区的农业发展仍较缓慢,面临环境和人口的双重压力,问题复杂,矛盾尖锐,农业发展具有许多不确定性。因此,亟需将发展我国干旱半干旱地区农业提高到新的战略高度,并尽快提出系统解决方案,切实回答面临的一些重大科技问题,加快实施,未来将该地区建成我国新兴的现代农业基地。提出以下建议:

1) 将干旱半干旱地区农业发展纳入国家整体规划,尽快设立重大科技专项,加强系统集成研究。长久以来我国在干旱半干旱地区农业发展中的科技成果非常丰富,但是缺乏系统的总结。建议国家对干旱半干旱地区农业的发展进行整体的规划设计,对未来的干旱半干旱地区农业发展进行系统性的顶层设计,尽快设立干旱半干旱地区农业发展重大科技专项,加强系统集成研究。

2) 尽快启动南水北调西线工程。解决我国干旱半干旱地区问题主要靠挖掘本区域的自然和经济潜力,但区域内外的统筹协调也是重要一环。黄河流域大部位于干旱半干旱地区,缺水是限制该区域发展的最大瓶颈。南水北调西线工程实施后可缓解青、甘、宁、陕、晋及内蒙古6省(自治区)的缺水问题,再结合大柳树、古贤水利枢纽工程建设,可使本区面貌发生剧变。这也是抵御黄河上中游地区干旱灾害的一项重大举措。除调水外,本区域还应根据自身情况充分、合理利用黄河水源,以缓解该地区农业与能源工业用水紧张的局面。

3) 进一步发挥杨凌农业高新技术产业示范区的作用。杨凌农业高新技术产业示范区承担着国家所赋予“支撑和引领干旱半干旱地区现代农业发展”的光荣使命,为进一步充分发挥杨凌农业高新技术产业示范区的作用,强化其工作区域的针对性及系统回答或集成解决旱区重大农业科技问题的能力。建议国家当前重点支持两个方面,一是在项目方面,针对我国旱区农业发展需求设立国家重大科技专项;二是在政策方面,在人才引进和培养上给予更优惠的办法。

4) 杨凌农业高新技术产业示范区进一步发挥整体科技优势,加强对干旱半干旱地区农业问题的研究。示范区更好地把人才、项目、示范点、平台等统筹起来,将干旱半干旱地区农业技术和成果进行梳理,通过技术集成,建立示范工程,寻求解决该地区农业持续发展的突破口。建议示范区与西北农林科技大学等区内科研单位密切配合,加强顶层设计和系统集成,突出重点,把杨凌地区农业科技的整体优势充分发挥出来,组织力量系统解决或回答我国干旱半干旱地区农业发展面临的重大科技问题,强化干旱半干旱地区农业的针对性。

第二部分

主题报告及报告人简介

我国半干旱地区农业发展的几个问题

山 仑

西北农林科技大学,中国科学院水利部水土保持研究所

摘要:旱区包括干旱地区、半干旱地区,以及干燥的半湿润地区。旱区范围与联合国组织确定的易荒漠化地区基本吻合。半干旱地区由于严重的水土流失和频繁的干旱同时发生,盲目开垦造成土地利用不合理,当属我国目前生态环境最为脆弱的地方,但发展潜力很大。本文介绍了以黄土高原为中心的我国半干旱地区农田生产和综合治理的成就与经验,探讨了发展过程中出现的若干新问题,包括建立自然条件与社会经济因素紧密结合的土地合理利用评价体系及适应新形势的利用模式,发展稳定的人工草地与实行农牧业紧密结合的可行性与有效实施,以及农田持续增产的技术途径及新的突破口等。为促进该地区今后的快速发展,提出了三点具体建议:① 国家设立科技专项,集中研究解决我国干旱半干旱地区农业发展中提出的新问题;② 尽快启动南水北调西线工程,以缓解该地区水资源严重紧缺的局面;③ 充分发挥杨凌农业高新技术产业示范区的作用,强化其工作区域的针对性及系统回答或集成解决旱区重大农业科技问题的能力。

一、关于旱区的范围

世界任何一个地方都可能出现干旱,但干旱经常发生在“旱区”(Dry regions)。旱区是一个通称,主要包含干旱地区和半干旱地区,同时也将干燥的半湿润地区(Dry sub-humid area)或称半湿润易旱地区划归其内。1994年联合国大会通过的《联合国防治荒漠化公约》则规定,干旱、半干旱和半湿润易旱地区属于土地易退化地区,即旱区与易荒漠化地区的范围基本吻合。

据联合国教科文组织1977年公布的数字,世界干旱半干旱地区的面积占到陆地总面积的34.9%,其中干旱地区占24.0%,半干旱地区占10.9%,也出现过干旱、半干旱地区面积占陆地面积41%这一数字(联合国环境规划署,1991),可能由于划分标准的不同。

我国干旱半干旱地区面积通常用占国土面积52.5%这一数据,其中干旱区

占 30.8%,半干旱区占 21.7%。2011 年 11 月国务院常务会议通过的《全国抗旱规划》中则指出“目前全国 60% 以上的县区为易旱地区”。

通常认为,我国旱区属中纬度温带干旱半干旱类型,包括昆仑山—秦岭—淮河一线以北 16 个省(自治区、直辖市)965 个县,但并非这一区域全属旱区类型,如黄淮海平原的大部属于典型半湿润地区,再如新疆塔城、伊犁河谷,西藏东南边缘,青海三江源区,宁夏六盘山区,以及东北北部等地均处于较湿润气候条件之下。故今后拟进一步细化旱区范围,并明确面积比例与县区比例的关系。

目前一般以年降水量和干燥度差异进行旱区的划分,但具体标准不一。据 20 世纪 50 年代以来陆续公布的中国气候区划、中国综合自然区划、中国农业区划、中国地理总论、中国气象区划以及中国北方旱农类型及分区评价等划分标准看,对半干旱地区的上限就有 400 mm、450 mm、550 mm,甚至 600 mm 等多种,定在 400 ~ 500 mm 者居多。根据多数专家的分析与说明,特别是黄秉维(1999)、K G Brengle(1982)等学者的意见,以及长期从事旱区农业工作的实践,我们认为,将我国年降水量处于 250 ~ 500 mm、干燥度 1.5 ~ 4.0 的区域认定为半干旱地区较为适当,而降水量处于 500 ~ 600 mm 之间的地带可视为半湿润易旱地区,也拟纳入旱区范畴。旱区面临缺水和土地荒漠化的直接威胁,而切实解决好生态保护和生产发展之间的关系,则是该区域一项长期艰巨的任务。

旱区既属我国重要的生态屏障,又是我国农业发展的后备战略基地,地位十分重要。如地处青藏高原腹地的河源区是我国多条重要河流的发源地,影响到整个中原大地的兴衰;黄土高原的水土流失既制约了当地的经济社会发展,又影响到黄河下游地区的安危。另外,旱区又多属我国重要的草地畜牧业基地,以及有发展前景的沙产业基地,一旦粮食安全出现问题,旱区仍有扩大耕地或其他回旋余地。国际经验也证明,一定条件下在这里建成商品性农畜产品供应基地是可能的。因此,对旱区的发展应给予更多的重视。

二、关于半干旱地区农业的地位

在整个旱区中半干旱地区具有特殊的地位。有统计表明,半干旱地区的耕地面积占到世界总耕地面积的约 1/3。如美国中西部大平原、澳大利亚的南部与西部、加拿大草原地区、印度的海德拉地区,以及中亚地区等属重要的粮畜供应地区,其农业生产状况影响全球。我国半干旱地区主要分布于三个区域,其中黄河中游的黄土高原居于中心地位,总面积 64 万 km²,年平均降水量 429 mm,包括约占 60% 的典型半干旱区、33% 的半湿润易旱区,以及 7% 的干旱地区。另外东北半干旱地区,包括东北三省的一部分以及内蒙古中东部、河北的承德等地区,共约 30 万 km²;再一个大片则是总面积约 200 万 km² 的青藏高原的大部。

我国半干旱地区以旱作农业为主,灌溉面积总体不到农田面积的 20%,典型地区如黄土丘陵区则低于 10%。下面将以黄土高原地区为重点进行论述。

半干旱地区是一个特定的生态类型和重要的农业区域。以黄土高原为中心的半干旱地区是我国生态环境最为脆弱的地方,主要原因在于:①严重的水土流失和频繁的干旱同时发生,致使生态更加脆弱;②降水量处于可进行正常旱作农田生产的下限,为解决粮食问题往往盲目耕作与开垦,造成土地利用不合理,引发恶性循环。与国外半干旱地区相比的不利之处:①坡耕地比例高,耕层土壤肥力低;②人口密度大。多数地方每平方公里 50~200 人。有利的地方则是:地形地貌复杂多样,黄土土层深厚,光热条件较好,适于农林牧果业综合发展与多种经营。

我们通常习惯将干旱地区和半干旱地区并论,其实它们虽有一些共同之处,但更多的则是差别。我国半干旱地区面临环境和人口的双重压力,问题复杂,矛盾尖锐,在发展上还存在一些不确定性。开发这一地区农业同样是全球性的一个重大问题,一个探索中的难题。2010 年 8 月在巴西召开的第二届国际半干旱地区会议发表声明,呼吁国际社会对半干旱地区给予更大关注,以应对荒漠化和土地退化带来的新挑战。故应将发展我国旱区农业、特别是半干旱地区农业提高到一个新的战略高度,尽快提出一个系统解决方案,切实回答面临的一些重大科技问题。在此基础上加快实施,有希望将这一地区建成我国新兴的现代农业基地。

建国以来我国半干旱地区农田生产力有了明显提高,但提高幅度低于其他地区,总体上仍处于不稳定的低水平状态。以黄土丘陵半干旱地区为例,针对单位面积产量提升,旱作农田生产主要经历了以下几个发展阶段:旱坡种植→修建水平梯田→深耕改土与农家品种更新→投入化肥、培肥地力→优化种植新阶段(覆盖栽培、集雨补灌、遗传改良等)。从技术原理上看,经历了:保土蓄水→提高降水利用率→提高降水利用效率。从单产变化上看,以小麦为例,从亩产 35 kg 左右→50 kg→100 kg→150 kg。按当前技术水平,在年降水量 450 mm 以下地区大田旱作小麦亩产很难超过 180 kg。上面所说的“新阶段”,多数地方尚未实现。

单位面积产量提升状况能较好代表一个地区的生产水平与科技水平。黄土高原所设 10 个实验区从 1985 年开始连续科技攻关 15 年,到 2000 年时平均亩产达到 198 kg(地跨半干旱—半湿润易旱不同类型,产量变化在 150~300 kg 之间),达到可实现潜势 250 kg 的 77%,其中,地处典型半干旱地区的宁夏固原上黄试区为 158 kg。另据有关报道,甘肃定西高泉沟 1986—1990 年期间平均亩产 119 kg,1991—1995 年达到 130 kg,1996—2000 年提高到 167 kg,2001—2005 年

保持在 159 kg,说明在无新技术注入的情况下继续提高大面积旱作单产已有困难。据有关报道,近年来我国粮食作物平均亩产在 330 kg 左右,从北方地区看,山东约 400 kg,河南 350 kg,陕西 240 kg,山西 220 kg,甘肃 160 kg,旱区范围大、灌溉面积比例低的省份产量明显的要低。

努力提高农田单产的同时,在综合治理方面也取得了明显进展。1999 年以来在全国生态脆弱地区通过实施退耕还林(草)工程,使黄土高原初步实现了土地合理利用。该工程的全面内容包括:建设基本农田,实施退耕还林(草)及禁牧政策,进行产业结构调整,发展农村经济。工程的实施地区取得显著成效。以年均降水量 437 mm 典型半干旱地区的榆林市为例,该市林木覆盖率达到 30.7%,饲草业较发达,畜牧业产值已占到大农业的 42%,入黄泥沙量减少了 45.2%,全市农民人均纯收入达到全国平均的 70% 以上。近年准备实施从黄河干线调水计划,争取灌溉面积达到 130 万亩,占农田总面积的 15%,并提出建设陕西新粮仓的目标。榆林市北部有一定的资源条件,但各地都可因地制宜地寻求适宜自身的出路。

三、我国半干旱地区农业的发展经验、问题与前景

(一) 关于提高土地生产力与改善生态环境的结合

发展半干旱地区农业的国际成功经验,集中到一点就是:基于综合治理原则,寻求改善生态环境与提高土地生产力的结合点,采取使两者同时受益的关键技术。这一关键技术,因地制宜,在美国中西部大平原可归结为“少耕覆盖”,在澳大利亚南部倡导“粮草轮作”,在印度推行“农林间混耕作制”,在以色列实行“节水栽培”。在我国西北黄土丘陵地区,以水平梯田为主的基本农田既控制了水土流失,又促进了增产,在一定发展阶段起到了关键技术作用。但是,结合点和关键技术是在不断发展的。如澳大利亚,近年来除粮草轮作外,加强了对保护性耕作的推行,同时强调增种豆科作物和增施氮肥的重要性。近 15 年来全世界保护性耕作(少耕覆盖)面积扩大了约 10 倍,一些国家达到旱区耕地面积的 40%~70%,而我国尚仅占到耕地的 1.5%,除潜力有待挖掘外,也与我国具体国情有关,如经营范围小,复种指数高,机械化水平较低,一定条件下传统耕作有其优势,以及不断要求实现更高产量等。下一步,提高生产力与改善生态新的结合点和突破口在哪里?比如,如何做到治沟造地与防止水土流失的有效结合,如何处理好天然草地封育保护与利用的关系,以及如何有效发挥经济林的生态功能等都需不断加强实践与探索。

(二) 关于土地合理利用与农林牧业综合发展

长期以来,土地合理利用一直是黄土高原综合治理的首要原则。什么是土地合理利用?从世界范围看,天然植被、人工改良草地和旱作农田并存是典型半干旱地区土地利用的基本特征,其成功的农业发展模式一般都是农牧业结合型的,农牧业产值约各占一半。我国在该类型区,如黄土高原地区,虽20世纪80年代初就大力倡导“种草种树,发展畜牧”,“建设商品性畜牧业基地”,取得一定进展,如榆林市、盐池县等畜牧业产值占到了农业总产值的40%以上,但多数地方仍发展不快,牧业产值不足农业总产值的1/3,低于全国平均水平,关键因素之一是草畜不平衡,特别是人工草地未大规模地发展起来。据估测,十年退耕还林(草)过程中还草面积仅占整个退耕面积的5%左右,“种草易反弹”已是不争的事实。发展人工草地缓慢的主要原因有:①政策因素,种草补助少,配套措施不够;②经济因素,一些地方种草比较效益不高,或难以形成产业,有专家认为,人口密度50人/km²以上地区不宜大力发展种草;③技术因素,如缺乏优良、抗逆性强、适应性广的新草种(苜蓿虽优良,但属高耗水、低水效类型,在较好水分条件下效益高),以及未将牧草纳入正式种植制度之中等。面向未来,黄土高原地区畜牧业发展具备了一些有利条件。首先是有了退耕还林(草)和自然修复的治理基础;另外在全球气候变暖的背景下,为应对日趋干燥的多变环境条件,加快发展安全性较强的草地畜牧业是一种必然选择。但在建设稳定人工草地的同时,还应通过建立严格的轮封轮牧制,科学利用天然草场,同时发展高产饲料作物,推动整个畜牧业向半舍饲方向转变。最终建立起适合本地区情况的畜牧业生产体系。

应当指出的是,黄土高原与其他国家半干旱地区的情况有所不同,主要是人口密度大,地形地貌复杂多样,在治理上必须强调因地制宜。比如在植被恢复重建过程中,既要根据植被分布的地带性规律,又需要重视非地带性特征。总体上中北部丘陵区不宜大量营造乔木林,但在许多地方阳坡不能造,阴坡则有条件造,峁顶不能造,沟谷中则应提倡造,而且不必过分强调生态林与经济林的区别,两者结合可能更有益于可持续发展。

另外,过去土地合理利用的原则和标准主要以自然状况为依据,长期所倡导的“宜农则农,宜林则林,宜牧则牧”即很好地体现了这一原则。但随着农产品商品化程度和科技水平的提高,不断出现的一些与土地利用有关的新情况应引起我们的重视,例如:①优势产业发展可能打破原有的某些传统土地利用观念,如果业发展占用了部分耕地或替代了生态林地;②新技术的应用,“以工补农”力度的加强将加速人为改造土地的进程;③社会需求和资源状况改变也对土地

利用提出了新的要求。因此,在已有工作基础上,通过系统调研建立起一种自然条件和社会经济因素紧密结合的土地利用评价体系和适应新情况的土地利用模式是十分必要的,以此促使农林牧各业在更高层次上的优化。

(三) 关于持续提高粮食作物单位面积产量问题

世界发达大国,如美国、澳大利亚、加拿大,以及俄罗斯等国的半干旱地区多属粮食生产的供应基地,单产提升并不快。就我国半干旱地区的主体—黄土高原而言,多数专家都将其定位于“粮食基本自给”。今后该地区粮食仍有较大增产潜力,但主要靠提高单位面积产量这一途径。

建国以后该地区的粮食亩产由 35 kg 提高到 75 kg,从技术上分析主要依靠的是坡改梯和增施有机肥;从亩产 75 kg 增加到 150 kg 靠的是综合栽培技术的改进与品种更新,其中起关键技术作用的是增施化肥。我们 20 世纪 80 年代在宁夏固原上黄实验区的系统研究结果表明,小麦每亩增施 8 kg 氮素的条件下,产量增加了 57%,水分利用效率提高了 49%,而蒸腾蒸发量(ET)仅增加了 8%,类似的结果 Gregory(1997)也作过报道。旱地增施化肥促进高效用水与增产的原因有三:①增加了 T/ET;②提高了对土壤深层储水的利用,即“以肥调水”;③增强了作物的生理耐旱性和水分利用效率。据此提出了半干旱地区旱作农田作物低产的主要原因不是降水不足(年降水量与产量的相关性仅 0.17),而是对降水未能充分有效利用,产量提高 1 倍(75 ~ 150 kg/亩)的主要限制因子是肥而不是水的论断。20 世纪 80 年代到 90 年代我国北方旱作区粮食单产提高约 1 倍,经分析认为,约 50% 的增产因素是增施化肥的作用。在旱作小麦亩产接近 200 kg 后,产量再要提升,就水肥关系而言,水又成为主要限制因素了。据此,甘肃等地倡导,以“全膜双垄沟播”为代表的抑蒸、微集水技术得以在一些地区推行,结合农业结构调整(扩种马铃薯、玉米等)使亩产达到 500 kg 左右,降水利用率达到了 70% 以上,已接近高限。

发展至今,从技术角度上看,半干旱地区粮食产量的提升主要依靠的是调控环境以适应作物,即提高降水率的途径,而通过生物改良适应干旱环境以提高作物水分利用效率和抗旱性的途径发展相对滞后,如我国干旱山区农家小麦品种直至 20 世纪 80 年代后才被逐步替代,至今仍然缺少理想品种。

当前为持续提高半干旱地区粮食单位面积产量应强调两点,一是将环境调控(包括生态环境改善与栽培条件改进)和生物改良(包括品种培育、种植结构调整及化学调控等)放在同等重要位置,更加重视挖掘作物自身的抗旱节水潜力;二是在综合运用已有抗旱节水技术的基础上应更加重视土壤基础肥力的提高。

最后,为应对气候的多变性和降水的不稳定性,还应树立“以丰补歉区域调节”的策略思想,积极发展适应性农业。在当前科技水平下,严重干旱年份导致大幅度减产的情况世界各国都还不可避免,因此对产量的要求不宜以单一年度为标准,而应着眼于一个周期年内的平衡,做到因地制宜,因时制宜,将难以避免的干旱灾害所造成的损失降至最低。

(四) 充分挖掘植物自身抗旱节水潜力,实现旱区农业增产的新突破

在挖掘植物自身抗旱节水潜力的技术途径方面,当前有两个相互联系的突破口:一是在阐明植物抗旱机制的同时,运用生物技术、特别是转基因技术选育抗旱节水新类型;二是在搞清作物需水规律的基础上,运用信息技术及新的工程与农艺技术,实施少量水的精确补灌以发展半旱地农业。前者的前景更为广阔,后者更为现实可行。近年来国内外有关植物抗旱分子机制与基因组研究十分活跃,全世界已有数百个干旱胁迫响应基因被鉴定出来,并获得一定数量的转基因植株。有报道称,孟山都公司开发的世界第一例耐旱转基因玉米 2012 年前后进入田间,但至今尚未出现大面积种植的商业用品种。2005 年在罗马举行的第二届国际干旱大会纪要中指出,“基因组研究信息如此之多,但这些信息在缺水条件下的田间应用又如此之少”,据此建议不可忽视对常规抗旱育种工作的支持。2009 年在我国上海召开的第三届国际干旱大会所反映出的情况类似。这是因为植物抗旱性是一个十分复杂的特性,不仅由多基因控制,而且通过不同途径实现,加之当前抗旱转基因研究多限于机理尚不清晰且与高产性状存在一定矛盾的耐旱性范畴,目前基本上处于实验阶段。该领域国际领军人物之一朱健康认为,“实际上,不论是抗旱,还是抗盐,比人们想象的要复杂得多,其复杂性不亚于癌症研究”。故当前在加强抗旱转基因技术研发的同时,应将抗旱资源与机理研究放在更加重要的位置,例如:① 应用现有的品种资源难以培育出超过种间差异的强抗旱品种,故应扩大对野生抗旱资源的利用;② 在加强抗旱分子机理研究的同时,要重视植物整体抗旱性——个体抗旱生理机制的阐明,如此才能确立主效基因及其互作网络,并实现与田间应用的衔接;③ 基因型研究要和生长环境紧密结合,干旱不仅作为研究条件,更应视为研究内容。最近有研究者提出了“作物耐旱的新策略”,指出区分不同干旱程度对抗旱育种工作具有重要意义。总之,作物抗旱转基因技术育种前景广阔,一旦突破效果不可估量,但不应声称或承诺马上可以实现,而与常规育种技术紧密结合则是必然的发展趋势。

另一重要的技术途径是发展半旱地农业。半旱地农业系指运用旱作技术,在充分利用自然降水的基础上,在作物生长关键期实施少量水精确补灌的一种农业类型,在半干旱地区农业实践中已有存在。理论上的主要依据则是:通常意

义上的干旱缺水并不必一定导致产量下降,许多作物在一定生育阶段经受适度水分亏缺可能对节水和增产都有利,其机理可以解释为:缺水对作物有一个从“适应”到“伤害”的过程,不超过适应范围的缺水,往往复水后可在生理、生长和产量形成上产生补偿效应,在节约大量用水的同时,最终产量受影响较小。大面积推行半旱地农业,还有许多科学问题和实际问题需要解决,在理论上搞清补偿效应机制的一些细节,应用上实现多学科的有效配合,从而取得机动性补水的最大效益。面向未来,在我国半干旱地区和其他缺水地区,随着社会需求的增长和科学技术的进步,灌溉农业、旱地农业和半旱地农业三者并存的农业用水格局必将逐步形成。

如果经努力,我们从改造环境和改良生物体本身两个方面,取得科技上的突破,缓解了农业用水问题,那么,将我国半干旱地区建成新的粮畜业生产供应地是完全有可能的。

四、几点建议

(一) 积极探索我国半干旱地区实现生态恢复与提高土地生产力的新的结合点与关键技术

例如,能否通过建立稳定的人工草地大力发展草地畜牧业,以促进农业与牧业的进一步结合;封禁十年以上的天然草场能否通过实行轮封轮牧加以科学利用以实现良性循环;半干旱丘陵山区高标准基本农田建设方向及实施半旱地农业问题,有无可能在生态脆弱地区建成“第二粮仓”;果业发展前景,经济林与生态林能否进一步结合,做到既利于生态修复又利于增加经济收益;设施农业的未来地位,农业土地资源、水资源可利用潜力的挖掘等,都需要通过实验与示范用事实和科学作出回答。建议国家或有关省(自治区)设立科技专项开展上述研究,提出系统解决方案。

(二) 尽快启动南水北调西线工程

解决我国干旱半干旱地区问题主要靠挖掘本区域的自然和经济潜力,但区域内的统筹协调也是重要一环。黄河流域大部位于干旱半干旱地区。作为我国西北和华北最大供水水源,黄河以占全国 2% 的河川径流量承担全国 15% 的耕地灌溉任务和 12% 人口的供水任务,每年还向流域外供水约 100 亿 m^3 ,缺水是限制该区域发展的最大瓶颈。南水北调西线工程论证工作始于 1952 年,2002 年纳入国家规划并由国务院正式批复,确定总调水规模为 170 亿 m^3 ,分三期设施,第一期调水 80 亿 m^3 。实施后可缓解青、甘、宁、陕、晋及内蒙古 6 省(自治

区)的缺水问题,再结合大柳树、古贤水利枢纽工程建设,可使本区面貌发生剧变。这是抵御黄河上中游地区干旱灾害的一项重大举措。2008年全国“两会”上,六省(自治区)政协主席曾联名提交一份提案,建议国家加快推进南水北调西线工程,支持六省(自治区)经济社会可持续发展。除调水外,本区域还应根据自身情况充分、合理利用黄河水源。当前黄河上下游都建有大型水利枢纽工程,中游则缺少,故应尽快兴建已论证多年的古贤水库,加大陕、晋等省直接对黄河干流水资源利用程度,以缓解我国半干旱地区农业与能源工业用水紧张的局面。

(三) 充分发挥杨凌农业高新技术产业示范区的作用

国务院2010年的批复文件(国函【2010】2号)中,确定杨凌示范区的主要任务是“开展干旱半干旱地区现代农业示范,以科技创新、科技创业推广服务、产业化示范、国际合作为重点、加快推动传统农业向现代化农业转变”,并要求,通过5到10年努力,使杨凌示范区发展成为干旱半干旱地区现代农业科技创新的重要中心,支持和引领干旱半干旱地区现代农业发展的重要力量。使命光荣,目标明确,任务艰巨。为此对示范区的工作提出以下建议。

(1) 进一步体现国家需求,建议近期内组织系统调研,提出一个我国干旱半干旱地区农业科技的长期发展规划意见,供有关部门决策参考。

(2) 搞好顶层设计,发挥整体科技优势。为此要更好地依靠专家、企业家,建立有关咨询组织,建设网络平台,加强国内外交流,实现数据与成果共享,办成一个开放型的实验示范区。

(3) 农业高新技术产业示范区的建立是一个新事物,需要不断探索新的管理运行体制与机制。比如科技创新、产业示范与地区行政管理工作如何更好地协同起来,从而达到既能充分调动各方面积极性,又能实现高效统一的目的,推动干旱半干旱地区农业发展。可在实践中继续总结这方面的经验,并不断作出调整。

(4) 加大对杨凌农业高新技术产业示范区的支持。建议当前的支持着重在两个方面,一是在项目方面,能否针对我国旱区农业发展需求设立国家重大科技专项;二是在政策方面,如在人才引进和培养上能否给予更优惠的办法。

参考文献

1. 西北农业大学. 旱农学. 北京:农业出版社,1991.
2. 李锋瑞. 干旱农业生态系统研究. 西安:陕西科技出版社,1998.
3. 中国农业科学院. 中国北方旱农区域治理与发展. 北京:中国农业科技出

版社.

4. 山仑,等.旱地农业增产技术途径研究总论.中科院水利部西北水土保持研究所集刊,11集.1990.

5. 水利建设,旱作农业和节约用水问题——赵总理在陕西省和一些同志的座谈纪要.水土保持通报,1983(5):1-3.

6. 关于北方干旱地区农业改革的一些看法——胡耀邦同志在北方旱地农业工作会议上的讲话.水土保持通报,1983(6):1-9.

7. 姜春云.关于陕北地区治理水土流失建设生态农业的调查报告;江泽民总书记、李鹏总理在姜春云副总理调查报告上的批示//陕西黄土高原粮食开发研究.陕西省农业厅陕西省农学会,1988.1-5.

8. 李生秀,等.中国旱地农业.北京:中国农业出版社,2004.

9. 王立祥,等.中国旱区农业.南京:江苏科学技术出版社,2009.

10. 刘作新,等.东北半干旱区节水农业应用基础与节水技术.北京:科学技术出版社,2009.

11. 山仑,等.黄土高原旱地农业的理论与实践.北京:科学出版社,1993.

12. 赵松岭.集水农业引论.西安:陕西科学技术出版社,1996.

13. 《北方旱地农业研究》课题组.北方旱地农业考察研究报告.山西省农村发展研究中心,1988.

14. 山西省旱作农业学术讨论会论文选集.山西省科协,1981.

15. 旱作节水农业实践与发展.北京:全国农业技术推广服务中心,1999.

16. 香山科学会议第267次学术讨论会论文集;生物节水技术及发展前景.北京.2005.

17. 中国干旱半干旱农业科技资料选集编辑出版委员会.中国干旱半干旱农业科技资料选集(1-4集).杨陵:陕西省科学技术情报研究所,1983.

18. 中科院自然资源综合考察委员会.干旱地区土地利用问题译丛.北京:农业出版社,1981.

19. 中国农业遗产研究室.地方干旱农业.北京:中国农业科技出版社,1985.

20. 农业部农业机械化管理局.中国保护性耕作.北京:中国农业出版社,2008.

21. 姜成后,等.作物产量形成的生理学基础.北京:中国农业出版社,2001.

22. 山仑,等.2006.生物节水研究现状与发展展望.中国科学基金,2006,20(2):66-71.

23. 山仑.科学应对农业干旱.干旱地区农业研究,2011,29(2):1-5.

24. 山仑. 水土保持与可持续发展. 中国科学院院刊, 2012, 27(3): 246 - 351.
25. 张军涛, 等. 中国半湿润/半干旱类型及区域划分指标研究. 地理科学进展, 1999(3): 230 - 237.
26. 王煜, 等. 南水北调西线工程建设的必要性与紧迫性研究. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2012, 4(2): 150 - 156.
27. Brengle K G. Principles and practices of dryland farming. Colorado Associated University Press, 1982.
28. Hall A E, Cannell G H, Lavton H W, Agriculture in Semi-Arid Environments. New York: Springer-Verlag, Berlin delberg, 1979
29. Arnon I. 1972. Crop Production in Dry Regions. London: Leonard Hill, 1979.
30. Victor Souires, Phiup Tow. Dry Land Farming-An Analysis of Dryland Agriculture in Australia. Sydney University Press, 1991.
31. Proceedings of the international conference on dryland farming, Challenges in dryland agriculture. Amarillo/Bushland, Texas U S A, 1988.
32. Steward B A. Water management for dryland and irrigated cropping systems in semiarid environment//国际节水农业研讨会论文集. 杨凌, 2001.
33. Inter Drought - II, The 2nd International Conference on Integrated Approaches to Sustain and Improve Plant Production under Drought Stress. September 24 to 28, 2005, University of Rome "La Sapienza", Rome, Italy.



山仑 1933年1月生于山东龙口, 1954年毕业于山东农学院, 1962年获苏联科学院植物生理研究所生物学副博士学位。现任西北农林科技大学与中国科学院水利部水土保持研究所研究员, 河南大学、山东农业大学等高校兼职教授, <旱区作物逆境生物学国家重点实验室>学术委员会主任, 《干旱地区农业研究》编委会主任, 《Pedosphere》名誉主编。1995年当选中国工程院院士, 九届全国人大代表。

山仑长期从事作物抗旱生理和旱地农业研究,

开辟了旱地农业生理生态研究新领域,在提高半干旱地区农田降水利用效率综合技术途径,有限水高效利用的生理生态基础等方面做了系统的研究工作,取得了多项成果,产生了显著的经济与社会效益。他从植物需水与半干旱地区农业水环境之间的关系出发,提出了作物对多变低水环境适应性的科学概念,证实多种作物一定生育阶段适度水分亏缺可产生生长、生理和产量形成上的补偿效应,节水与增产目标可以同时实现,为推行节水农业提供了有力根据。

山仑发表学术论文 300 余篇,代表著作有《黄土高原旱地农业的理论与实践》、《旱地农业生理生态基础》、《节水农业》等,培养研究生 30 多名,主持或参与提交的多份咨询报告得到有关部门的重视与采纳,作为第一主持人获国家科技进步奖二、三等奖各 1 项,省(部)科技奖励 8 项,并获中国科学院竺可桢野外科学工作奖,何梁何利科学与技术进步奖等奖项。现致力于植物整体抗旱性、节水农业生物学和我国半干旱地区农业发展战略方面的研究。

建基地、抓科研,推进农业可持续发展

李佩成

长安大学

摘要:农业是国民经济的基础,农业的持续发展直接关系到国民经济的发展和人民生活的不改善。但农业生产直接面对复杂的自然条件,脱离实际的研究,很难得到理想的成果。而建设野外基地有可能克服这方面的缺陷,从而为农业科学研究更好地服务发展创造条件。

一、引言

在本文中作者据自己参与创办基地的体验和对国内外建设农科基地的分析,总结出对农业科研基地的形成、功能及定位的认识,并对怎样建设基地作了论述。

二、问题的提出

民以食为天,农业是国民经济的基础!2012年中央一号文件《关于加快推进农业科技创新持续增强农产品供给保障能力的若干意见》中指出:“稳定发展农业生产,确保农产品有效供给,对推动全局工作,赢得战略主动至关重要”;“全党要始终保持清醒认识……必须再接再厉,迎难而上,开拓进取,努力在高起点上实现新突破,再创新佳绩”。文件明确指出“实现农业持续稳定发展、长期确保农产品有效供给,根本出路在科技”。这些论断无疑是正确的,因为科技是第一生产力!

问题的关键在于如何开展科学技术研究?如何组织跨学科的科学技术研究?如何实现前期研究对接续研究的铺垫?如何做到研究成果、研究方法的及时推广?如何把研究过程和教学过程以及基层科技人才的培养相结合,从而实现教学、科研与生产实践的高效率可持续发展。作者在经历了长期实践和体验之后认为:建设产学研多功能基地——简称农科基地,是解决上述问题,推进农业科学发展的最佳形式。

三、农科基地的形成、功能及定位

农科基地其实是已经存在的农业科学研究组织形式,有大有小,常常是高等学校或科研院所,根据科研任务的需要,在野外有针对性地购置一定面积的土地,或借用当地合作者,或服务对象的一定数量的土地(山林、草场、水体、库塘等)就地建设实验室(场),安设气象、水文、土壤等观测站点,形成研究场所和推广中心。

农科基地的优点是针对性强、资料积累性强、有助于认识自然,科研人员在原形上开展研究真实可信,显示度高,易于推广,而且其成果便于检验,便于多学科开展联合攻关。

四、怎样建设基地

(一) 作好地址的选择,要具代表性、多功能性和长期使用价值

一个大学或研究院所,选择的基地可以不是一个,但也不能太多,具体选择要作细致的勘察,包括地质、地貌、气象、水文、农业生产条件、交通运输和供水条件等,但不能距离村镇太近,以避免人为干扰和搬迁损坏。

基地选建要代表院校所在的地域特色,要注意为当地经济建设服务,总体安排要符合院校的定位。例如,西北农林科技大学,原来学校的定位是立足陕西,侧重西北,服务全国,面向世界。陕西的区位特点是黄土高原、秦岭巴山和风沙滩地,西北的最大涉农特点是干旱缺水,沙漠戈壁广布。因此,便决定了西北农大应在黄土地区、秦巴山区,有关旱区和草原牧区选建基地,开展适地条件的科技攻关,包括水土保持、旱地农业、小麦、玉米、黄牛、山羊、中药材、名特产品和山区保护的研究等。

我国现在每个省区都有农业大学和研究院所,完全有条件分工合作、分区建立基地,覆盖全国。

理论项目也可结合基地建设进行。

(二) 安排上试验、示范、推广三结合,加速潜在生产力向现实生产力的转化,使科学研究直接为经济建设服务

建设基地有利于做到试验、示范和推广三结合。例如,我们在基地上开展攻关研究,在理论探索的同时,也开展相应的推广工作,这将有助于科研工作的深入,促进理论课题的完成,因为推广工作,可以检验研究成果,并为发现新问题、新苗头提供条件,而且会尽早地产生直接经济效益、社会效益和生态效益,从而

激发群众和当地政府的合作积极性,也使科研人员增强信心。

为了把攻关与推广更好地结合,可以采取“中心开花”、“多点辐射”的办法,也就是说,以试区为核心,强化研究工作,与此同时,围绕试区在较大范围扶持若干试验点和示范户,以便群众就近受带动,就近学习切合实际的科学技术,也有利于畅通信息反馈渠道。

以黄土高原治理枣子沟试区为例。从1989年开始,试区与乾县人民政府组成综合技术承包集团,对乾县全县的农业进行技术承包,由于试区的工作基础,全县喜获丰收,获得了陕西省人民政府粮食丰产奖,并受到国务院的嘉奖。乾县基地的研究工作也向台原阶地的更大范围伸展。

(三) 目标上立足近期,放眼长远;方法路线上长短结合,逐步发展

改造自然,发展农业需要一个过程,例如,黄土高原的治理开发,通过科技的应用,最终要把黄土高原变成农牧基地和林果基地,成为商品粮油基地,从而为陕西的发展,为能源重化工事业提供物质保证,以便全面实现这一广大地区的现代化。这当然不是一蹴而就的事,也许需要三个五年计划及至半个世纪的时间。安排太急促,则可能欲速不达;如果不出阶段成果,又会使群众丧失信心,衰减前进的动力。

因此,在进度安排上要长短结合,例如小麦研究,长远目标是培育出旱地小麦新品种。谢惠民教授经过20多年的努力,在乾县基地培育出几个有希望的小麦品种。我们建基地不能让群众等20年,要使当地群众近期受益,所以当初采取了“先选后育”的技术路线,先从省内外引进百多个品种在当地作小区试验,进行适地优选,2~3年内选出良种4个,配合先进的栽培技术,在不到5年的时间内,使当地小麦产量翻了一番还多,科研人员和群众皆大欢喜,取得了近期推进长远的效果。

在果树方面提出“边改造(旧果园),边新建(果园)”;在牧业上提出“先抓小(兔、鸡),后抓大(牛、羊)”等方针,都是基于上述指导思想。

(四) 研究队伍专、兼结合,专职巩固阵地,兼职扩大成果

组织一支专兼结合、学科齐全、配套合理、能吃苦、乐于献身的研究队伍,是建成校外基地的关键所在。总结高校建设基地的经验教训,与专门的科研单位相比,其不足之处大都在于缺乏必要的专职人员——包括研究人员和管理人员,表现出忽聚忽散,不仅严重影响研究成果,而且给地方配合协作带来很大困难。对此,院校领导要给予足够重视,给予基地一定数量的专门编制。专职人员常驻基地,以基地为工作单位,在校内也应有所归宿,他(她)们应成为实验研究的正

规军指战员。

作为高等院校和一些大的科研院所的一大优势,是有大量的研究生、大学生,他们是一支不可忽视的科研力量,基地也是他(她)们在实践中锻炼的有利场所,应当有计划地安排,发挥他们的积极作用。

(五) 对基地建设,特别是人员待遇,要有相应的政策

对于基地的队伍组织,存在一些政策方面的干扰,必须予以排除,有几点特别值得重视。

1) 对在基地工作的专职教师,在评定职称时,应考虑他们的全面水平,在论文的要求上应考虑他(她)们“把论文写在大地上”的实际水平,适当减少论文数量的要求;

2) 要考虑长期在基地工作的辛劳,在奖金发放上予以适当关照,并允许基地同志自己动手种菜、养殖、改善生活;

3) 在基地条件建设上应考虑洗浴、文体等现代基本生活条件;

4) 要建立基本的实验室和交通运输条件。

(六) 试验研究与技术培训相结合,以多种形式就地培养“二传手”,使研究成果在当地生根开花

回顾往昔,我们国家组织过不少攻关研究或重大项目研究,也建立过众多样板,花钱不少,但流传至今的却不多,不少科研成果的鉴定之日,常常成为终结之时,“人一走,茶就凉”,不少样板和试验点一旦科研人员离开,样板也不复存在。究其原因,是缺乏继承安排,经费终结,无以为续;另一原因便是在科研过程中忽视了对当地农民的培训,使科研成果缺失“二传手”,缺乏接替人,缺少在当地使科研成果变为持久生产力的智力要素。这是今后重大科研活动应当吸取的教训。因此,在今后组织科研,特别是大型项目时,应当把培训农村技术人才,提倡群众参与,提高农民科技水平作为重要工作之一,使科技扎根农村。

要做到资源开发与智力开发密切结合,以资源开发促进智力开发,以智力开发推动资源开发,通过多种形式普及农业科技知识,培养地方科技力量,提高农民对科学技术的吸收能力,为农村造就不走不散的科技队伍。通过组织观摩,举办培训班,科技示范,先进教后进等多种形式提高农民科技知识和技能,并从中发现科技能手,重点培养,包括保送到学院深造,使其成为“永久牌”农村科技能人。通过建设多功能农业科研基地或试验示范区,便能实现这些目标,并为科研潜在生产力转化为现实生产力创造条件。



李佩成 陕西省乾县人,1956年毕业于西北农学院水利系并留校任教,先后曾在西安交通大学、陕西工业大学工作,并曾在苏联莫斯科地质勘探学院留学。1972年重返西北农业大学。期间曾任西北农大教授、博导、副校长、干旱半干旱地区农业研究培训中心主任等职。1992年被调入原西安地质学院,2000年并入长安大学,任教授、博导、国际干旱半干旱地区水资源与环境研究培训中心(中德合作)主任、水与发展研究院院长等职。

李佩成长期从事农业水土工程、地下水渗流、国土整治、水资源与环境等领域的教学、科研与工程实践。至今共获国家科技进步奖一等奖等省部级以上奖11项,著书11部,发表论文百余篇。1991年被农业部授予有突出贡献的中青年专家称号;1991年获国务院特殊津贴;1996被评为西安市劳模;1997年、1998年被评为陕西省师德标兵、陕西省优秀博导;2001年被评为全国优秀科技工作者;2003年被选为中国工程院院士;2004年他被评为全国师德先进个人;2006年获全国科协授予的西部开发突出贡献奖。

应对我国农业水资源严重不足的战略思考

王 浩 等

中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与
调控国家重点实验室

摘要:随着近年来国内外粮食供需矛盾的日益尖锐,如何保障我国粮食安全越来越成为政府和普通群众关注的焦点。本文立足于影响粮食生产的两大刚性约束——水资源和土地资源,系统阐述了我国农业水土资源状况及其对粮食生产的影响,充分说明了我国农业水土资源所面临的挑战;面对如此严峻情势,文中通过剖析农业水循环机理,立足农业水循环过程,提出了从“开源”上在重视径流性水资源的同时,加强土壤水资源的利用,在“节流”上加强农业耗水管理的根本策略。唯其如此,才能从根本上提高我国粮食生产的保障能力。

一、引言

我国是一个农业大国也是个农业古国,在众多人口对粮食需求的刚性驱动下,农业在国民经济发展中始终占有极为重要的地位。然而,随着经济迅速发展,工业化、城镇化进程的推进,近年来耕地资源、水资源农转非现象严重,农业水土资源短缺成为制约我国粮食生产的两大刚性约束。面对日益严峻的水土资源状况,我国的粮食安全问题成为世界各国关注的重大问题。美国世界观察研究所所长莱斯特·布朗曾先后发表文章对我国的粮食生产提出了质疑^[1,2]。尽管这些文章在一定程度上夸大了问题的严重性,但是他们所提出的问题值得我们深思。如何立足于我国农业水土资源现状发展农业,保障我国的粮食生产成为中央政府和人们关心的焦点问题之一。

水资源作为经济社会发展不可替代的基础支撑,是现代农业建设不可或缺的首要条件。由于我国水资源本底条件较差,其天然分布又与耕地及农作物生长季节极不匹配,加之经济社会高速发展条件下农转非等现象,水资源不足已经严重地影响了区域的粮食生产和农业发展,而且随着粮食主产区持续向缺水和

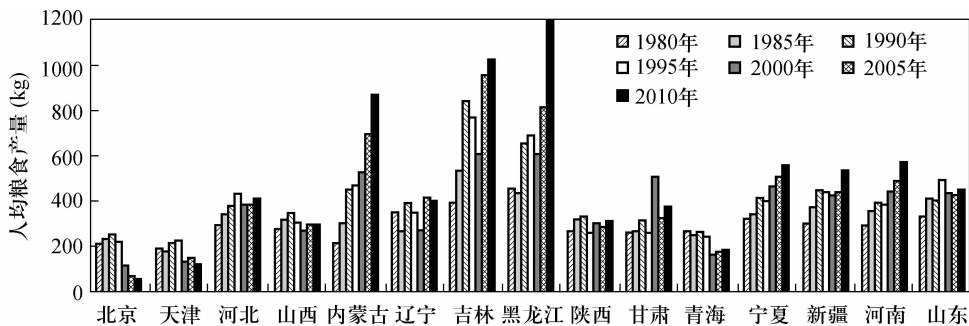
生态脆弱的北方地区转移,水土资源之间的耦合关系更加不相匹配,水资源匮乏对粮食生产的影响更加凸显。俗话说“民以食为天,食以水为先”。在经济高速发展的条件下,如何立足于我国的水土资源现状,保障未来农业基本水资源需求,成为我们亟待解决的问题。

为此,本文通过系统阐述我国农业水土资源状况及其对粮食生产的影响,全面剖析了我国农业水资源所面临的挑战;为从根本上缓解此严峻态势,文章立足于农业水循环过程,剖析了现代环境下的农业水循环机理,并从“开源”和“节流”两方面提出了保障我国农业水资源的基本策略。

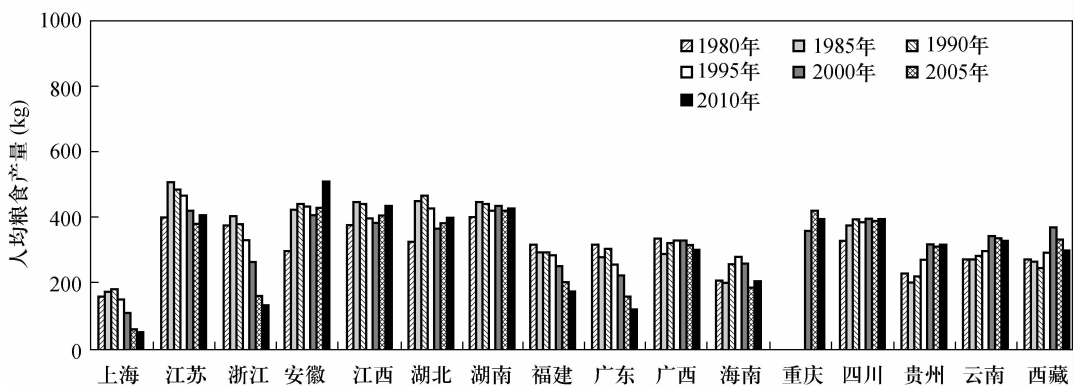
二、我国的农业水土资源状况

我国地处北半球,跨越了从北温带到热带三个气候区,在东西方向上又具有东部湿润气候区的滨海平原、中部半湿润半干旱气候的平原丘陵、西北部的干旱气候区的丘陵、山地过渡的地形地貌特点。特殊的地理位置、变化的地貌特点使得地区间气候及天然来水在时空分布上极不均匀,水土(耕地)资源的开发利用区域间差异较大。

耕地资源方面:我国可利用耕地面积较少,人均占有量仅为 933.3 m^2 ,不足世界人均水平的一半^[3],全国 666 个县人均耕地低于联合国粮农组织(FAO)确定的 0.8 亩的警戒线。再加上城镇化及工业用地挤占耕地和生态环境保护的需要,使得我国本已十分有限的耕地资源进一步减少;同时,目前占优补劣的耕地开发利用形式,又使得有限耕地的质量在总体上呈现下降趋势。据国土资源部统计,1996—2005 年全国耕地面积净减少量约占耕地总面积的 6.6%,尽管到 2005 年耕地面积锐减的势头得到控制,但是减少的趋势并没有得到根本性扭转,尤以我国东部和长江流域及其以南地区最为明显。据统计,从 1998—2003 年,农业生产条件较好的长江下游五省,冀、鲁、豫三省和东南四省粮食作物种植面积的减少量分别占全国总减少量的 22.3%、22.7% 和 18.9%,相应粮食减产量分别占全国总减产量的 26.8%、22.0% 和 17.3%^[4]。目前,全国 13 个粮食主产省中 7 个分布在北方,其粮食生产量占全国的 60%,较 20 世纪 90 年代初提高了 10 个百分点,6 个南方省的粮食生产仅占全国的 15%;即使非粮食主产省的粮食主产区,也绝大部分分布于山西、陕西等北方地区。另外,我国耕地的后备区也主要分布于东北和西部干旱半干旱地区^[5]。由此可见,有限耕地资源的变化严重影响着我国粮食的生产,同时其空间变化使得农业水资源短缺的情势更加严峻。图 1 给出了我国 31 个省(自治区)1985 年以来人均粮食产量变化。



(a) 北方地区人均粮食产量



(b) 南方地区人均粮食产量

图1 我国31个省(自治区)人均粮食产量变化

水资源方面:我国水资源总量较少,时空分布极不均匀,且降水与耕地在空间分布上差异较大,使得我国耕地上亩均水资源占有量较少,只有世界平均水平的50%,且区域间变异性较大。据统计,1956—2010年全国年均降水总量为60 670.5亿 m^3 ,平均径流量仅为26 519.1亿 m^3 ,约有70%集中于汛期的6~9月份,且81%分布在长江流域及其以南地区;又由于南北方耕地资源分布的差异,导致每公顷耕地上的水资源占有量南北差异极大,长江以南地区为28 695 m^3 ,长江以北地区仅为9 465 m^3 [6];而且随着我国粮食主产区持续向缺水和生态脆弱的北方地区转移,单位耕地面积上水资源的占有量还将进一步减少。加之近年来全球气候变化,南北方水资源分布的不均性加剧(图2),同时干旱缺水等极端气候事件频发,进一步加剧了农业水资源的紧张态势。

与此同时,随着工业化、城镇化进程的推进,工农业用水激烈竞争,用于农业灌溉的水量锐减(图3),这进一步加剧了本已十分紧张的农业水资源态势。据统计,我国粮食产量的2/3来自于占总耕地面积1/2的灌溉面积上,其他许多农



图 2 1956—2005 年前后 25 年南北方水资源占有量(左:25 年前,右:25 年后)

产品也相当多地产自于灌溉耕地^[7]。然而,在 1980—2010 年的 30 年间,用于农田灌溉的水资源量持续减少,由 3509 亿 m^3 下降到 3294 亿 m^3 (图 4),减少了 215 亿 m^3 ,2000 年以来全国农业灌溉用水缺口维持在 300 亿~400 亿 m^3 ,近 1 亿亩灌溉农田面积因缺水得不到有效灌溉,造成的粮食减产达 350 亿~400 亿 kg ^[8]。即使在目前大力推广节水技术的情况下,未来我国农业水资源状况仍不容乐观,按照《全国水资源综合规划》预测,到 2030 年,即使在强化节水方案条件下,我国农业缺水仍将达 400 亿 m^3 左右。由此可见,我国农业受制于水的状况将长期存在。

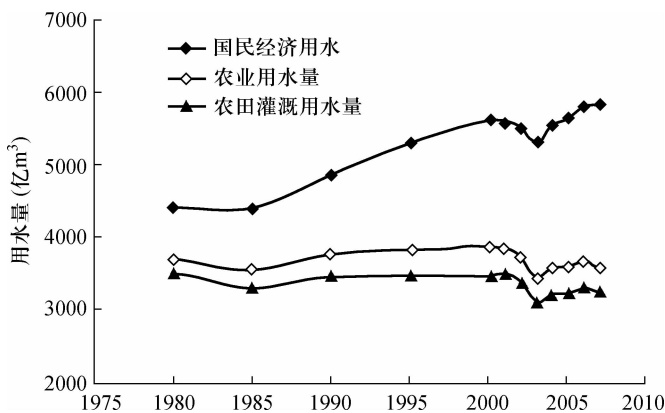


图 3 不同产业用水量演变趋势

总之,面对我国人增地减水资源短缺的现实情势,如何在有限的农业水资源条件下保障我国农业和粮食生产,是关系到国家粮食安全的关键问题。鉴于我国水资源“总量严重不足,时空分布不均”的基本特征,立足于农业水循环全过程大规模提高农业用水效率、发展节水高效农业成为缓解农业用水紧张态势的根本,也是保障我国粮食安全的关键。目前我国农业用水效率整体比较低。据统计,2007 年我国灌溉水的利用率只有 47%,在 5 780 万 hm^2 的有效灌溉面积上仅有 2 350 万 hm^2 实行了节水灌溉^[9];水的粮食生产平均利用率为 0.8 kg/m^3 ,即生产 1 t 粮食的耗水量达 1250 m^3 ,在节水发达的国家生产 1 t 粮食的用水量则在 1000 m^3 以下^[10]。同时,对可直接用于农作物生长的土壤水资源又重视不够。

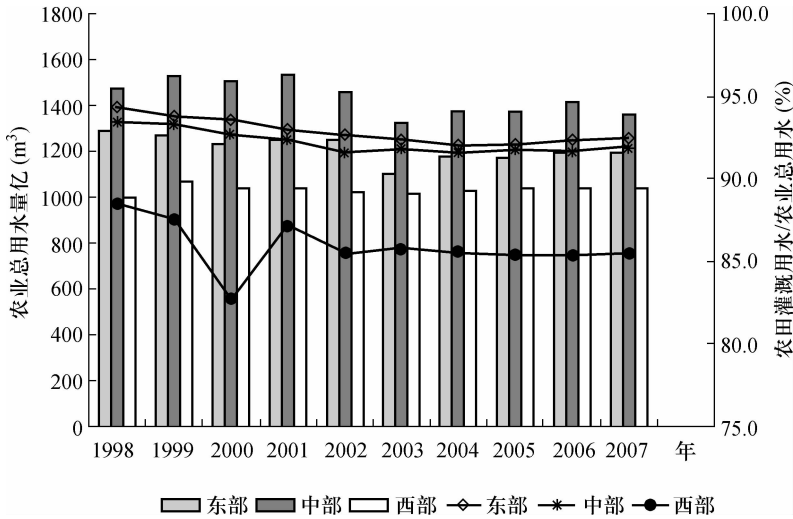


图4 不同区域农业用水量及灌溉用水所占比例

三、农业水循环原理

由于农业生产中一切形式的水均需通过农业水循环系统的动态转化来实现其资源价值,有必要立足于农业水循环原理深入剖析农业水循环过程及其水资源的循环转化特点,从而为全面提高农业水资源利用效率,缓解农业用水的紧张态势提供支撑。

农业水循环系统是一个在人类活动作用下,从取、输水到用耗水再到排水以及与此相联系的包括粮食生产和农业产业结构调整的人工干预过程;就水的足迹而言,其实质是伴随自然水循环过程的农业人工侧支循环,是“自然—社会”二元水循环大系统中社会水循环子系统的重要组成部分。其构成不仅体现为“实体水”的循环过程,而且也出现了伴随农产品流通的“虚拟水”的循环。

对于农业“实体水”的循环,集中的表现为通过农业种植业代替自然植被以间接方式影响并参与自然水循环的过程,和伴随“供(取)—用—耗—排”水等环节以直接方式影响并参与自然水循环的过程。随着农业种植结构的调整,各种灌溉制度和灌溉节水措施的实施,农业“实体水”的循环过程变得更加复杂。

对于“虚拟水”的循环,随着区域经济的快速发展,粮食等农产品的流通增强,附着在农产品上的水循环链条进一步延长,即“虚拟水”循环过程在农业水循环系统中变得愈加重要,且随着与“实体水”的转化及自然水循环的相互作

用、相互影响,使得农业水循环系统的复杂性进一步增加。图 5 给出了有关农业水循环结构的示意图,可见,在整个用水过程中,农业水资源转化的通量表现以下两方面。

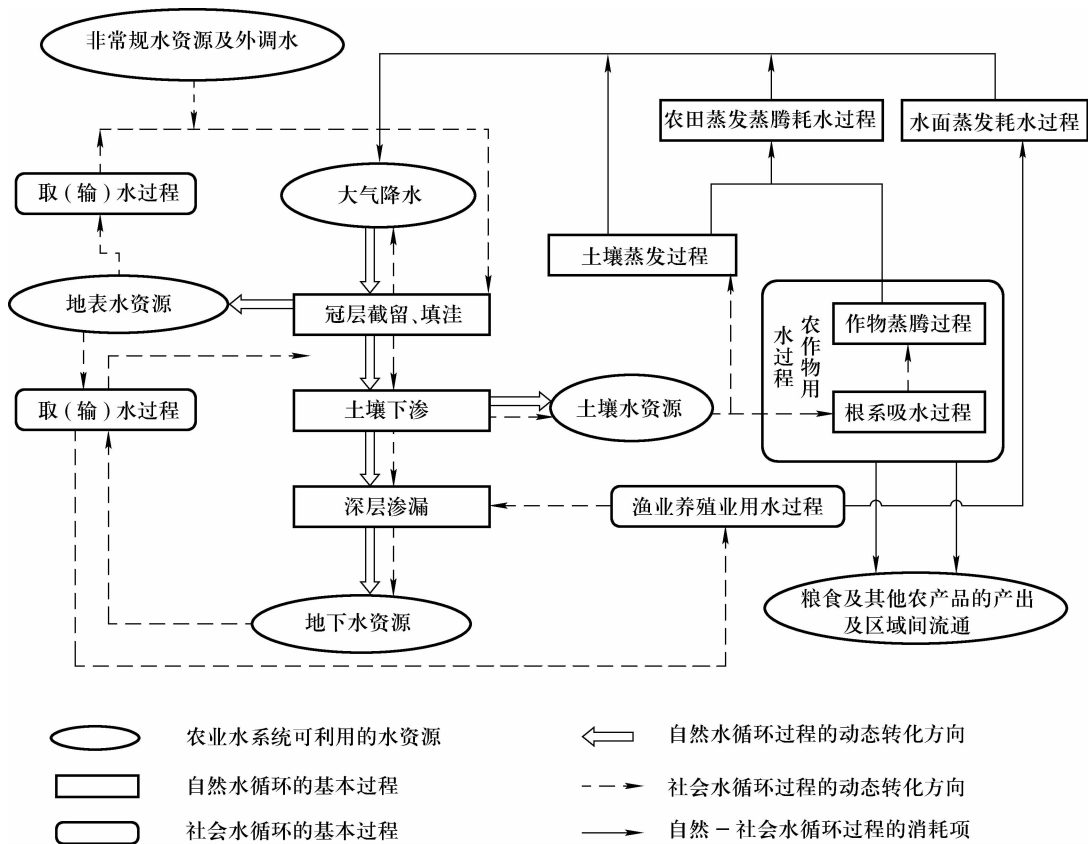


图 5 农业水循环系统示意图

在供给方面,主要体现为常规水资源和非常规水资源以及土壤水资源的供给,而且一切形式的水只有转化为土壤水才能被农作物吸收利用,土壤水的存在转化形式直接关系着径流性水资源的补给和消耗。

在消耗方面,集中的体现为蒸发蒸腾和深层渗漏。蒸发蒸腾发生在农业水循环的各阶段,包括取(输)水、排水过程的渠系土壤蒸发和水面蒸发,以及农田用水过程的土壤蒸发和作物植被蒸腾;深层渗漏亦发生在水循环的各环节^①。其中,土壤水资源的蒸发蒸腾消耗占农业水资源消耗的极大比例。

^① 深层渗漏,就资源的转化而言,其不属于水资源消耗范畴;但就农业系统,其渗漏量流出农业水循环系统,不能被农作物利用,因而属于水量消耗范畴

由此可见,在农业生产中,立足于农业水循环全过程,在保障基本农业供水的同时,应加强土壤水资源的合理利用,这不仅可以缓解径流性水资源不足,而且也可以避免由于水资源的闲置而被无效消耗;另外,在农业水资源的管理中,以蒸发蒸腾为对象,加强水循环全过程的“耗水”管理,不仅有利于径流性水资源利用效率的提高,而且也有利于土壤水资源的合理利用。

四、土壤水资源在农业生产中的作用及调控方向

土壤水资源作为农业生产最直接的水分源泉,一切形式的水只有转化为土壤水才能被农作物吸收利用。然而,由于土壤水资源不能直接提取、运输的特点,使得人们对其认识不足,也没有系统地结合区域气候特点、农作物的生理特性进行管理。这一方面造成了土壤水资源的严重浪费,另一方面又使得我国农业生产受到径流性水资源短缺的约束。

对于农业生产,土壤水资源不仅使用方便,更为重要的在于其数量极为可观。据统计,土壤水资源量约占区域降水量的50%以上,全球土壤水储存量为 $16.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$,为河川径流量的7.8倍^[11];整个华北地区降水量的55%以上转化为土壤水资源^[12],黄河流域的土壤水资源量达到2078.9亿 m^3 ,且尤以干旱半干旱缺水地区降水转化为土壤水资源的比例较大^[13];大量的实验研究也表明:黄淮海区域的大部分地区其冬小麦全生育期需水量的50%~70%,夏玉米全生育期需水量的80%以上均可由土壤水提供^[14]。此外,在我国,旱作农田占全部耕地的一半,土壤水资源是其唯一的水分源泉。因此,在农业生产中,加强土壤水资源的合理利用,是缓解灌溉区域径流性水资源短缺的有效途径;加强土壤水资源的合理利用,亦是保障雨养农业的重要水源。

又土壤水资源在多年平均尺度上最终被全部消耗(在多年平均时间尺度上,土壤水资源蓄变量趋于零),且绝大部分以蒸发蒸腾的形式散失,只有极少部分被产品带走。对于其中的主要消耗项蒸发蒸腾,又由植被蒸腾和裸间土壤蒸发构成。由于土壤水资源消耗形式的差异,使得其消耗效用明显不同。对于植被蒸腾,是指通过植物根系吸收到植物体,除少量存储于植物体内,绝大部分通过植物叶面扩散到大气中参与湍流交换过程的土壤水资源量;其消耗效率由环境因素所决定,主要取决于农作物叶片周围的水汽压、根系影响层土壤含水量。据有关研究分析,在农作物的蒸腾水量中,仅有极少部分参与光合作用(不足1%^[15]),绝大部分以叶片气孔蒸腾的形式散失,被认为是奢侈蒸腾。若以参与农作物干物质生产的蒸腾为生产性高效消耗,则奢侈蒸腾部分即可被认为是生产性低效消耗。因此,在农业用水过程中,合理调控土壤水分,维持合适的冠层阻力和冠层附近湿度,通过直接或间接的方式调节植被气孔开度,减少低效消

耗,提高蒸腾转化效率,可改善农业水循环系统用(耗)水效率。这是农业耗水管理的一个重要方面。

棵间土壤蒸发,是农业水系统中水资源消耗的又一个主要方面,是在土壤水势与大气水势梯度的作用下,土壤水分由土壤非饱和带液态直接转化为气态,并散失到大气中的自然水循环过程;其消耗量与土壤水分状况密切相关,一方面通过土壤水库提供用于消耗的水量,另一方面通过土壤水分的变化影响植被冠层的能量,进而影响蒸发量。由此可见,农田棵间土壤蒸发在农田生态系统中发挥着重要的作用,通过调节农田微气候间接影响农作物生长发育。然而,就其相对于农业系统的生产而言,棵间土壤蒸发所发挥的作用较小,且几乎没有发挥直接作用,常被认为是生产性低效消耗。因此,在生产实践中,若能够结合土壤水分蒸发的基本原理,一方面采用中耕松土使毛细管断裂,减少棵间土壤水分蒸发的供给量;另一方面,结合农作物冠层能量原理,采用地膜覆盖、秸秆覆盖等技术,控制土壤蒸发过程中的温度和水势梯度等方法,控制其合适的棵间土壤水分消耗比例,也是改善农田用水效率的主要方向。

此外,蒸发蒸腾发生在农业水循环的各阶段,不仅包括 SPAC 系统中的农田蒸发蒸腾,而且也包括发生在取(输)水、排水过程的渠系土壤蒸发和水面蒸发等过程中。对于农业生产系统中输配水过程的消耗,尽管对生态环境发挥着积极作用,但是其消耗与农业生产的初衷相悖,可被认为是非生产性消耗。因此,在生产实践中,在适当考虑生态环境的同时,应加强渠系等输配水系统的耗水管理,亦可提高农业水资源的利用率,减少非生产性消耗。

与此同时,结合土壤水资源在降水中所占的比例,尤其是北方地区,由于其降水转化为土壤水资源的比例较大,通过工程和非工程措施提高降水资源的土壤水转化率,充分发挥土壤水库的调节作用,是缓解农业用水中径流性水资源不足的另一方面。

因此,立足于农业水循环过程,加强一切可利用水资源的利用和不同环节水资源的消耗管理,将有利于农业水资源利用效率的提高,进而缓解农业水资源的不足。有关土壤水资源的消耗结构和消耗效率见图 6。

总之,通过对农业水循环全过程剖析可见,在保障基本农业用水的同时,加强土壤水资源合理利用,加强农业水循环环节的耗水管理,必将有助于提高土壤水资源的利用效率,进而缓解径流性水资源的不足。这也是节水农业发展的根本。

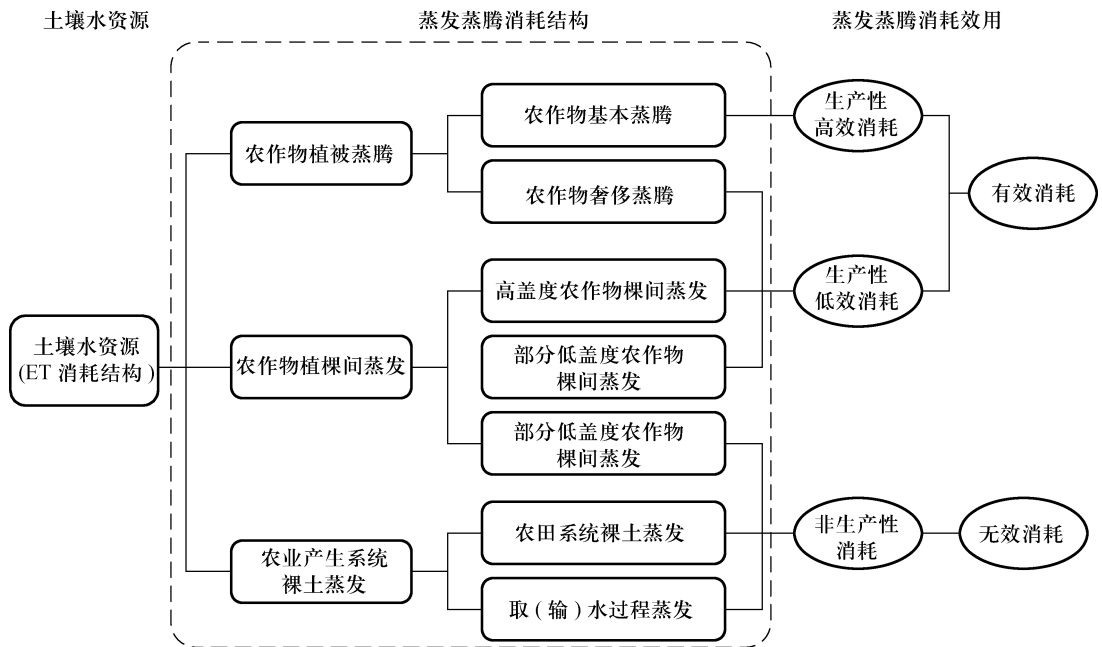


图6 农田土壤水资源消耗结构和消耗效用关系

五、结论

本文通过对影响我国粮食生产的两大刚性约束——土地资源和水资源,系统阐述了我国保障农业生产和粮食安全所面临的挑战。面对这一严峻情势,为从根本上缓解我国农业水资源匮乏的困境,文章在剖析农业水循环机理后,立足于农业水循环过程,提出了从“开源”上在重视径流性水资源的同时,加强土壤水资源的利用,在“节流”上加强水循环过程的农业耗水管理的根本策略。唯其如此,才能从根本上缓解农业水资源不足,提高粮食生产的保障能力。这也是我国政府提出的执行最严格水资源管理的重要组成和世界银行提出的加强基于耗水(ET)理念的水资源管理的重要组成。

参考文献

1. Lesler Brown R. Who will feed China? Wake up call for a small planet. New York: W. W. Norton & Company, 1995.
2. Lesler Brown R, Brian Hailweil. China's water shortage could shake world food security[R]. World Water, July, 2009.
3. 中华人民共和国国务院. 全国土地利用总体规划纲要(2006 - 2020 年)

[R]. 2008.

4. 中国农学耕作制度分会. 现代农业于耕作制度建设[M]. 东南大学出版社, 2006, 4: 186 - 188.

5. 科学新闻. <http://www.aweb.com.cn>, 2007 - 12 - 28.

6. 苏人琼. 中国农业可持续发展对水资源的依赖性[C] // 沈振荣, 苏人琼. 中国农业水危机对策研究. 北京: 中国农业科技出版社, 1998, 39 - 47.

7. 中华人民共和国国务院. 中国粮食安全中长期规划纲要(2008—2020年)[R]. 2008.

8. 贾大林. 农业用水危机与粮食安全对策[J]. 农业技术经济, 1999, (2): 1 - 5.

9. 中华人民共和国水利部. 水利统计年鉴(2008).

10. 薛亮. 农业节水理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 85.

11. USSR. National committee for the international hydrological decade. In: world water resource balance and water resources of the earth. Printed in the USSR, Leningrad, 1978: 49.

12. 刘昌明. 水文水资源研究理论与实践——刘昌明文选. 北京: 科学出版社, 2004: 432.

13. 王浩, 等. 基于区域 ET 结构的黄河流域土壤水资源消耗效用研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37(12): 1643 - 1652.

14. 沈振荣, 等. 用好土壤水. 见: 沈振荣, 苏人琼. 中国农业水危机对策研究. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 235 - 242.

15. 康绍忠, 等. 农业水管理学. 北京: 中国农业出版社, 1996: 73.



王浩 1953年8月生, 博士, 教高, 博导, 中国工程院院士, 中国水科院水资源所所长。

长期从事水文水资源研究, 曾主持完成国家项目以及其他部门和地方项目数十项, 世行、亚行以及其他国际合作项目多项。创立并发展了我国水资源合理配置理论方法体系, 提出了流域水循环二元演变模式和水资源全口径层次化动态评价方法, 并在流域水循环模拟、水资源调度、节水型社会建设、水

价、生态需水等方面取得重大突破,积极推动了水资源学科的新发展。至今,获国家科学技术进步奖二等奖6项,省部级奖励17项;获全国“先进工作者”、中央国家机关“五一”劳动奖章等多项荣誉。

北方农牧交错带以开发能源作物促生态重建的前景

程 序 等

中国农业大学生物质工程中心

摘要:退耕还林、还草已被证明是防止沙化、土壤侵蚀及恢复生态的有效途径。但当前我国执行的退耕补贴政策难以持久,接续产业的开发也很困难。农牧交错带的气候条件对粮、油作物而言相当严酷,却相对有利于以取得植株营养体——生物量多而非籽粒产出高为目标的多年生作物的生长,实现相对较高的系统生产力。中国耕地面积虽非常有限,但草地和林地的面积却分别是耕地的4倍和3倍。像北方农牧交错带就拥有大面积的不宜继续农耕的农地和退化草地。近年在发达国家新出现的在边际土地和部分农地种植“专用能源作物”,正是能适应我们对土地资源条件扬长避短的要求、可为生物能源提供可靠原料供应的特殊农作方式。初步的试验表明,在北方农牧交错带内的黄土高原地区种植柳枝稷、芒草等能源作物,能实现经济效益与生态效益的“双赢”。在该地区种植能源作物,面积可达2000万 hm^2 ,有望使它年产4亿吨(干重)以上的生物质,从而成为我国最重要的生物能源原料基地之一。

一、引言

北方农牧交错带是位于我国东部农区与西部草原牧区之间,在几千年农、牧史演变过程中形成的生态过渡带。年均温 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$,年降雨量仅 $250\sim 500\text{mm}$,且年际变异剧烈,是传统种植业的边际地区。其中,西段恰与黄土高原中北部重合。该地带是对我国中、东部极其重要的生态屏障。自然条件相对较为严酷,区域经济,特别是农村经济发展十分滞后,水土流失非常严重,生态重建的任务相当艰巨。

二、退耕是北方农牧交错带生态重建的起点

黄土高原虽然土层深厚,但由于受降水量少,特别是春旱频繁的制约,加上

生长期偏短,除具天然集水之利的沟谷地,大部分是不宜种植一年生粮、棉、油作物的边际土地。中国北方农牧交错带的形成,是汉族的农耕文化向草原牧区过度扩展的典型表现。其后果是严重破坏植被和表土结构,埋下水土侵蚀的祸根。

世界多国的实践表明,对部分条件相对较好的土地集约化地耕种,而将大部分边际性土地退耕还林、还草,是自然条件不利地区农业可持续发展的有效途径,已成为大范围生态重建的普遍模式。

由我国的国情所决定,我们不得不在北方农牧交错带这类外国大多弃耕甚至移民的半干旱偏旱区,在相当部分土地退耕的背景下,对一部分土地仍进行有一定集约度的农业生产,而不能像如美国和欧盟等发达国家那样,推行国家高额补贴下的连年大面积休耕,或完全转为自然保护区。

三、退耕还林、还草面临重大的制约

美国 1985 年出台了“土地保护计划”(Conservation Reserve Program, CRP),对折合 2.5 亿亩的农田实施补贴性休耕,面积占到总农地面积的 8%。欧盟的 CAP(共同农业政策)计划,也是为了保护土地和景观,并抑制部分农产品的生产过剩,面积(2004 年成员国为 15 个时)为 3000 万 hm^2 ,折合 4.5 亿亩。

中国的国情一是人多地少,二是粮食要求须有很高的自给率,三是整个国家特别是退耕任务地区人均收入尚低,国家的财力有限。要像美国和欧盟那样大规模地补贴退耕几乎是不可能的。即便是一定规模,也是勉为其难,问题很多。

1999 年至“十五”末,全国共计退耕 900 万 hm^2 (1.35 亿亩),国家投入了 1300 亿元。到 2007 年,原定“十一五”期间再增加 140 万 hm^2 的退耕,但后因考虑到要保 16 亿亩粮田的“红线”而未实行;对已退耕的土地,由于绝大部分自我维持和发展能力未达理想,国家不得不决定将补贴年限再展延 5~8 年。在物价比十几年前已涨了若干倍和国家扶贫标准调高为 2300 元的背景下,每亩每年 50~160 元的退耕补贴对农民也已不可能有什么吸引力。

此外,实践已经反复证明,“经果林”也罢,草地畜牧业也罢,最终都会受到产品(苹果、杏、梨、牛奶、牛羊肉等)销路有限的致命性制约。多年来中国农业的经验教训是,最难最难的事,莫过于为农民提供一种或几种能够长期占领“卖方市场”的农产品。生物能源恰恰是能避免这么多制约因子的新型农产品(商品)。

显然,在农牧交错带通过退耕还林(草)实施生态重建,方向虽然对头,但必须解决“稳得住,能致富,不反弹”的问题,建立起支柱性的“后续产业”。

四、除林和饲用草外,退耕地的农作“双赢”优选方案

(一) 能源作物在欧美等国兴起

“专用能源作物”(Dedicated energy crops)是近年来在欧美出现的一个新的专业词汇,指专门驯化、选择和培育的、种植后用于转化生物能源的作(植)物。草本的有芒草、柳枝稷、苏丹草;包括禾本科的玉米、甜高粱与黑麦(整株青贮)。灌木类及木本的有短轮伐期蒿柳、杨等。除将原强制休闲的地转种能源作物外,甚至还用一部分在耕种农田改种能源作物。

柳枝稷(*Switchgrass, Panicum virgatum*)系多年生禾本科黍属(*Panicgrass*)。是北美大草原的原生建群种。20世纪30年代中叶美国“大尘暴”(Dust Bowl)之后,作为一种水土保持牧草开始被研究。作为一种C4植物,柳枝稷能生长在纬度达40~42°N的温带,这是很难得的(绝大多数C4植物如百慕大草均分布在亚热带以南,在温带不能越冬)。且柳枝稷茎、叶的纤维素、半纤维素含量高,每吨干草可转化为330L燃料乙醇,12t/hm²的平均单产相当于亩产264L。其对降雨量的要求为500~600mm/a。低于此值仍能良好生长,但干草单产水平会有所降低(美中西部地区生长期降雨量为560~610mm)。柳枝稷的根系发达,固碳作用大:根重达23~58.7g/(cm²·a),相当于296~454mg/cm²土壤有机碳(SOC)。相比之下,玉米仅分别为0.01~2.17g/(cm²·a)和2.5~18.5mg/(cm²·a)。

(二) 农牧交错带的“系统生产力”

北方农牧交错带黄土高原以粮食作物单产为代表的初级生产力低下,同其在该地带的生态学适应性很差直接相关。强行进行粮食作物生产,不适应总体上较严酷的气候条件。首先,由于温度条件决定了只能种植一季,然而春播期间发生严重干旱、影响及时出苗和全苗的几率非常大。其次,春一初夏连旱的几率亦高达60%,而以一年生粮食作物对生长期要求十分严格,久旱遇雨后的迅速补偿生长能力又很差,因而经常失收或严重减产。再其次,一年生粮食作物如玉米、春麦等,形成有效的植被覆盖时间晚,植被层保持的时间更只有90天至100天,土表裸露时间过长,水分蒸散量过多;加上大量山坡地种植更加大了土表裸露的比例。使农业生产长期以来低而严重不稳,而且异常不利于水土保持。

由于气候条件在总体意义上较为严酷,加上土壤肥力很低等原因,黄土高原粮食作物的生产潜力相对很低。山仑等(1999)总结多年的研究结论认为,在雨养条件下,该地粮食大面积平均单产很难突破目前已达到的4500kg/hm²的上

限。即以粮食生产的平均经济系数 0.4 计,每公顷的生物量(干重)产量上限为 $11\ 250\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。

笔者在对黄土高原的研究中发现,如就作物生长盛期(6~8月)计而非以全年而言,黄土高原农牧交错带在全球所有同纬度(39°N 至 41°N)地区中,是光、温及降水条件组合最好的地带之一:6~8月气候生产潜力在全球同纬度 10 个国家(朝鲜资料缺,未计入)中,与日本并列第一,达 $3600\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。光辐射、温度、降水及昼夜温差条件匹配最好,有利于同化产物的合成,减少呼吸消耗;7月气温日较差在 $10\sim 13^\circ\text{C}$,而同期我国绝大部分农区仅有 9°C 上下。黄土高原 6~8月的降水量占全年降水量的 60% 左右,而且变率(25.4%~32.0%)是全年各时段中最低的。可以说是土壤水分供给最有保障的时期。

据此,任继周与我们先后提出了,在该区域通过开发能很好地适应自然条件、特别是能扬长避短地和充分利用总体上虽较严酷、而局部却具有优势的气候资源的“(农业生态)系统生产力”概念。即在特定的半干旱($400\ \text{mm}/\text{a}$ 上下)、生长期长度不能较好满足禾谷类作物的要求且年际间波动大、作物生长期降水量变异率很高(C. V. 值 ≥ 0.4)的条件下,以单位面积土地表现为生物量物质形式的太阳能同化量最大化为特征,单位降水资源的最终的经济价值产出量远大于常规农业生产力的一种特殊的生产力。核心是选择和应用生物量高、水分效率高、植被覆盖作用好、经济价值高的新作物和相应的种植制度。

(三) “营养体农业”思路主导下的能源作物种植

围绕生物量(Biomass)最大化、以“营养体农业”的技术路线主导,实行农、牧、能结合;重“生物质”于草、于粮,相应改变传统农业的格局,大幅度地提高黄土高原地区的系统生产力,有可能走出一条对北方农牧交错带自然条件能扬长避短的、生态重建和支柱产业协调发展的新路。

能源作物是生物能源产业的基础。“生物质能”或“生物能源”一词系英文 Biomass energy (简称 Bioenergy)的中译,Biomass 意即生物量,原是一个生态学术语。由此也可看出,生物质的数量是生物能源的核心。“营养体农业”的优势,恰恰在于强调了整株生物质而非籽粒的产出数量高。

基于这样的思路,多年生(能有效避免频度很高的春旱的致命打击)、水分和植物养分利用率高、光能转换率高、生物量产量高和产品不愁卖也不愁价贱的能源作物,可认为是除了某些灌木和饲用草以外,退耕地的理想农作“双赢”方案。

五、能源作物在半干旱地区的种植可行性

(一) 柳枝稷在美国的种植

2006年1月,布什总统在国情咨文中,提出了到2020年将中东石油进口的依赖率降低75%。为此提出的措施之一是:不但要从玉米中制取乙醇,今后更主要从柳枝稷、林木下脚料等木质纤维素类原料提取乙醇。相应地,美国能源部制定了年利用10亿t生物质的规划目标。如全部实现,则从纤维类生物质原料中可提取相当于全国燃油年消费总量的40%。而年产10亿t生物质的4~5成,要来自多年生能源作物和牧草(其余的则为农作物秸秆和林木下脚料)。

据美国农业部(USDA)和能源部(DOE)的联合研究,为达到上述目标的一项关键措施,便是大幅度增加多年生草本能源作物的种植,面积要达到6000万英亩;收获的生物量要达到1.6亿~3.8亿t,分别占到10亿t可用生物质目标的27%~38%。

美国有被列入“水土保持退耕休闲计划”(CRP)的边际性土地3500万英亩(2.1亿亩),土地侵蚀模数为3~100t/(英亩·年)。每年需联邦政府提供17亿~30亿美元的补贴。将这些土地改种柳枝稷等草本能源作物,可收到一举两得的效果。

据美国McLaughlin等(2002)的测算,参加“水土保持退耕休闲计划”(CRP)土地改种柳枝稷,其发达的根系能有效地阻隔 NO_3-N 和 P_2O_5 的淋失;土壤碳封存率可达 1.7 t/hm^2 ,而CRP土地只有 1.1 t/hm^2 。以全美种植1690万 hm^2 柳枝稷(包括CRP土地1400万 hm^2)和平均每公顷生物量(干重)10t计,约可产出1.58亿t/a的第二代纤维类乙醇。农场主增收60亿美元/a,政府减少休耕补贴18.6亿美元/a,减排的温室气体价值400亿美元/a。

(二) 巨芒在欧、美的崛起

美国一度主要集中于对柳枝稷的研发。但近年来,对芒的重视程度显著加大。L. Stephen等2008年报道,种植的天然三倍体巨芒(*Miscanthus × giganteus*),平均年产量高达 30 t/hm^2 ,比柳枝稷长得更高大,生物量大出3倍。研究发现,芒的光能转化率达1%,是一般农作物的10倍。他们撰文称,如果用美国一半的休耕地(约700万 hm^2)来种植芒草,以上述单产计,能够取代2008年美国汽油用量的20%,并能减少30%因使用汽油导致的 CO_2 排放。

Lewandowski等(2000)、Jogensen和K. Schelde在欧洲的研究发现,三倍体巨芒能从年均温 17.5°C 的南欧到年均温只有 7.5°C 的北欧国家(年降水量500~

1000 mm)广泛分布。株高可达7~10 m,干重生物量单产范围为2~14 t/hm²。即便在年均温只有7.5℃的丹麦,最高单产亦可达25 t/hm²。由于热值高(18.2 MJ/kg),因此在欧洲,十几年前就用于发电或制燃气。芒的水分利用率(WUE)高达9~10.7 g/kg,甚至还高于玉米(8.5 g/kg),更大大高于C3作物,如大麦(4.2~4.8 g/kg)。

(三) 黄土丘陵沟壑区试种柳枝稷的结果

早在1992年,中科院水土保持研究所就开始在半干旱黄土丘陵沟壑区陕西安塞引种柳枝稷。徐炳成和山仑等(2005)的引种试验发现,柳枝稷的地下生物量多于地方草种白羊草,在梯田根系最深可达1.75 m。但柳枝稷的水分利用效率在川地和坡地相差悬殊,前者达32~38 kg/(hm²·mm),而后者(含梯田)仅有3.6~8.232 38 kg/(hm²·mm)。

根据我们在当地的多年田间调查,其生物量产量不甚高。自然维持状态下,川地多年生柳枝稷生物质产量平均在10 t/(hm²·a)以下,山地只有0.2 t/(hm²·a)。调查还发现,在山地自然维持生长格局下,柳枝稷潜在水土保持效益并不很理想。

(四) 半干旱的黄土高原种植芒属植物的尝试

芒属植物起源于东亚和中国。美国San等(2010)和中科院武汉植物园合作,在中国试种4种本地起源的芒属植物以及作对比试验。3年的结果表明,芒属植物的综合性状显著优于作为引进种的柳枝稷,生物量单产平均为30 t/(hm²·a),是柳枝稷的约3倍。其中最突出的一种——南荻(*Miscanthus sacchariflorus*),株高可达7 m,是其他3种芒属植物的两倍多。特别值得注意的是,南荻和普通芒(*Miscanthus sinensis*)能在甘肃省的庆阳、环县一带安全越冬。而相比之下,欧洲普遍用的三倍体巨芒,一年生植被的越冬率低,是造成育苗成本高的主要原因。在甘肃庆阳的南荻的生物量甚至高过其原生地武汉江夏地区。San等还估算了中国温带约3亿hm²天然草地种植芒属能源植物的潜力。认为黄土高原有6000万hm²的退化、沙化土地,加上东北的毁林开荒林地,共有约1亿hm²的边际土地适于种植。以每公顷平均10 t/(hm²·a)(干物重)的生物量单产计,可年产10亿t生物质原料。相当于每年可获1.46亿kW·h的电量,年减排CO₂17亿t,分别相当于2007年全国发电总量的45%和CO₂排放总量的28%。

(五) 其他具可行性的能源植物

除种植能源作物芒等以外,近年来还有在黄土高原试种包括生物能源在内

的多用途菌草获得初步成功的实验。据福建省菌草生物工程中心林占熿的报告,从成千种野草中精选出近 60 种可取代木质材料培育食用菌等的草种——其中巨菌草(*Puelia*,又名 Jujun Grass)属禾本科狼尾草属,原产地在北非。巨菌草高达 6~7 m,直径 3 cm,一年可收割两至多次。鲜草的年单产量高达 105.5 t/hm²(长江流域)。一亩地所产的巨菌草燃烧发电量可相当于 4 t 左右煤炭。在沙地、坡地等都可种植。种植一次,可以利用多年。生长期间对 CO₂ 的吸收量可高达 90~150 t/hm²。在宁夏银川永宁镇等多点试种的结果表明,巨菌草几乎不抽穗开花,个别情况下产生的种子在自然条件下萌发率极低,不会发生生物入侵问题。对水土保持、荒漠化治理、保护生态、减灾防灾和开发生物质能源均有意义。

五、结语

在土地面积多达 6000 万 hm²(9 亿亩)的黄土高原地区种植能源作物,理论上年产 6 亿 t(干重)以上的生物质,从而成为我国最重要的生物能源原料基地。同时,从经济上确保退耕方针的可持续性。

进一步测算,如果在全国建设 3000 万 hm² 芒草、木薯、甘蔗、甜高粱等的能源植物生产基地,每年可产生 12 亿 t 生物质,相当于 6.5 亿 t 标准煤。同时,与退耕还林和“三北”防护林建设结合起来,可再发展 2000 万 hm² 的能源植物,每年可产生 4 亿 t 生物质,相当于 2 亿 t 标准煤。合计可有 8.5 亿 t 标准煤,相当于 2010 年全国一次能源总消费量的 30%,可年减排 CO₂ 约 4 亿 t。是不亚于“森林碳汇”的重大“能源生物质碳汇”。



程序 1944 年 6 月 27 日生,汉族,江苏无锡人。1965 年毕业于北京农业大学农学专业。曾为美国佛罗里达大学资源经济系访问学者。1991 年初任教授,副校长。曾调任农业部科技司司长 3 年半(后辞职回校)。先后主持农业现代化规律/实验基地建设及生态农业两项目,获北京市科技进步奖一等奖及国家星火科技奖(等同国家科技进步奖)一等奖(第一完成人);累计获省部级科技进步奖二、三等奖 7 项。1988 年被批准为国家级有突出贡献的中青年专

家。2008年获中国农业工程学会特别贡献奖。著有《可持续农业导论》和《中国可持续发展总纲第13卷:中国农业与可持续发展》。曾向中共中央政治局集体学习作中外现代农业发展比较研究讲解。1985年和2011年分别建成国内首个大型沼气工程和日供1万 m^3 生物天然气项目。2004年与石元春院士起草国家中长期科技发展规划(农业专题),提出大力研究开发生物质能源/材料的建议。此后一直从事生物能源主要是生物天然气的研发。是中国农业工程学会名誉理事长之一。

开发建设“陕北旱地粮仓”已刻不容缓

史志诚 等

陕西省决策咨询委员会农业组

摘要:陕西是全国 11 个粮食产销平衡省份之一,承担着国家新增 1000 亿斤粮食生产能力的 50 亿斤增产任务。近十年来,随着国际国内粮食产需状况发生的重大变化,直接和间接影响了陕西省的粮食产需平衡,因此陕西省的粮食生产正在面临一次新的战略性选择,即以玉米为主的粮食生产需采取“灌溉区与旱作区并重”战略,尽快开发建设“陕北旱地粮仓”已刻不容缓。作者指出,陕北干旱地区具备土地资源丰富、气候优势明显、技术条件成熟、经济基础较好、政策环境优越等发展“旱地粮仓”得天独厚的条件。为此,提出将开发建设“陕北旱地粮仓”纳入国家、省级重大项目工程规划实施;建设高标准基本农田,提高耕地质量和粮食产出水平;推广以地膜全覆盖为核心的现代旱作农业新技术,提高天然降水有效利用率;充分发挥农业机械在粮食生产中的装备支撑作用,提高土地产出率和农业综合生产能力等若干建议。

一、引言

陕西是全国 11 个粮食产销平衡省份之一,承担着国家新增 1000 亿斤粮食生产能力规划中新增 50 亿斤粮食的增产任务。然而,近 8 年来,陕西省粮食总产一直徘徊在 200 亿~230 亿斤之间,2011 年达到 239 亿斤。这与 1998 年粮食总产 260.6 亿斤相比,低 20 亿斤,与全国粮食亩产和人均占有粮食平均水平比较还有较大差距。2011 年全国粮食亩产达到 688 斤,而我省只有 508 斤,相差 180 斤;全国人均占有粮食 852 斤,而我省只有 640 斤,相差 210 多斤。如果人均占有粮食达到 800 斤安全警戒线,按 3740 万常住人口计算,则在 2011 年粮食产量的基础上,还需增产粮食 60 多亿斤。由此可见,实现粮食基本自给,供需平衡是今后陕西粮食安全的一项重大任务。

二、陕西省粮食生产需采取“灌溉区与旱作区并重”战略

近十年来,随着国际国内粮食产需状况发生了重大变化,直接和间接影响我

省粮食供应。2011年全国粮食总产11424亿斤,进口粮食1160亿斤,超过粮食产量的10%。2010年以来陕西省粮食生产也从过去的“三缺一余,余缺调剂”(小麦、大米、大豆短缺,玉米有余)变为目前的净进口省。这标志着陕西省主要粮食品种进入“四缺”时期,失去品种调剂的主动权。2011年玉米产量110亿斤,缺口20多亿斤。因此,要解决玉米缺口和粮食供需平衡问题,就必须调整玉米主产区的发展思路,采取“灌溉区与旱作区并重”战略,开发“陕北旱地粮仓”将成为未来陕西粮食生产发展的必然趋势和面临的一次新的战略选择。

其主要原因是:

(一) 粮食播种面积减少,粮食生产形势严峻

陕西省粮食播种面积由2005年的5043万亩下降为2011年的4739万亩。2012年小麦播种面积1691万亩,较2011年减少0.8%。从保证粮食安全的战略高度看,随着人口的不断增长、耕地和水资源的减少以及人们生活水平提高对粮食增长的需求,粮食生产形势将十分严峻。我省现有人口3735多万,要达到目前全国人均占有粮食800斤的标准,共需要300多亿斤粮食,缺口达60多亿斤,按85%的自给率算,至少也需要255亿斤,若按2010年全省生产粮食233亿斤的能力,缺口仍达20亿斤。

(二) 我省主要粮食品种进入“四缺”时期,玉米产量将决定未来粮食形势

2004年,国家从宏观上将各省(区、市)分为粮食主产省、粮食主销省和产需基本平衡省三种类型,将我省确定为粮食产需“自求平衡”的省份。当时,我省粮食供应状况是“三缺一余”。2010年以来,玉米开始购进。2011年玉米产量110亿斤,缺口20多亿斤。玉米除了食用之外,主要作为食用动物的饲料,配合饲料中80%是玉米。随着肉奶禽蛋的需求不断增加,玉米的地位和价格也将提高,过去玉米价格是小麦的一半,现在已经高于小麦。因此,从品种结构看玉米产量将决定未来粮食形势,绝不可忽视。

(三) 单一依靠关中灌区实现粮食增产难度增大

重视水地和水浇地的生产能力建设,对稳定和提高我省粮食产量非常必要,功不可没。但随着工业化、城镇化的快速推进和水资源的过度开发利用,全省灌溉面积不仅减少7%,而且关中灌区面积的扩大和单产水平的提升已接近极限,要新增几十亿斤粮食,主要依靠关中灌区显然是不可能的,需要发挥陕北旱地粮食增产潜力。

(四) 陕北旱地粮食增产潜力远远没有发挥出来

多年来,陕西省把粮食生产的重点主要放在关中水地和水浇地上,而忽视了挖掘旱地尤其是陕北粮食生产的潜力。根据中国工程院卢良恕、沈国舫院士和省内专家 1997—1999 年的调查,认为渭北和陕北干旱地区具有很大的增产潜力。甘肃省陇东地区与陕北地区具有类似的生态条件。陇东地区年降水量仅 302 毫米,全膜玉米和马铃薯从 2006 年的 12 万亩,扩大到 2011 年的 1071 万亩,其中全膜玉米 878 万亩,亩产 610 公斤,以占粮食总面积 25% 的全膜玉米和马铃薯生产了占粮食总产 56% 的产量,增加效益 25.3 亿元。省财政每年拨专项经费 2 亿多元,2012 年专项经费达到 3 亿元,市县财政配套达到 3.2 亿元,中央财政支持 1.2 亿元。全省粮食总产由 2004 年的 160 亿斤提高到 2011 年的 203 亿斤,7 年净增粮食 43 亿斤,人均粮食由 2004 年的 615 斤提高到 2011 年的 793 斤。如果到“十二五”末,陕北旱地新增 10 亿~15 亿斤粮食,保证陕西省粮食总产超过 260 亿斤,实现和“甘肃陇东粮仓”连成一片,建成国家西部新粮仓的目标将对全国和陕西省的粮食安全产生重大影响。

三、陕北干旱地区具备发展“旱地粮仓”得天独厚的条件

一是区位优势环境优越。2009 年,国家发改委曾以旱作节水农业示范县的名义给予子洲县一次性建设资金扶持。榆林市成立扶持南部地区办公室,增加资金投入。去年,国家批准实施的《陕甘宁革命老区振兴规划》中,把发展现代旱作农业作为该区域战略定位之一。《全国主体功能区规划》和陕甘宁经济区规划要求陕北干旱地区推行节水灌溉和雨水积蓄利用,发展旱作节水农业。《陕西省国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出,“挖掘陕北粮食生产潜力,建设陕西第二粮仓”。陕西省省级财政每年给榆林市扶持 1 亿元发展现代农业。农业部将延安市确定为现代农业示范区,也将给予新的扶持。此外,子洲县省级现代旱作农业示范园也提供了可资借鉴的成功经验。因此,政策环境优越是陕北干旱地区发展粮食生产的重要条件。

二是土地资源丰富。延安、榆林两市常用耕地面积 1210 多万亩,人均 2.2 亩,高出全省平均近一倍。其中旱地面积占到 87% 以上,地广人稀,土地平坦,特别适宜机械化作业和集约化经营。

三是气候优势明显。陕北光照资源属全国高值区,延安年平均日照时数为 2300~2700 小时,榆林为 2600~2900 小时,远远高于全省 2100 小时平均数,且雨热同季,昼夜温差大,非常适宜农作物生长;近十年平均降雨量榆林为 417 毫米,延安为 510 毫米。一般年份,依靠天然降雨,采取旱作节水技术,就能基本满

足粮食作物生长的需要,加上新品种新技术的推广应用,每毫米降雨量生产的粮食由目前0.5公斤左右可以提高到2公斤。特别有利于玉米、大豆、马铃薯等粮食作物的增产。

四是技术条件成熟。陕北农业技术力量雄厚,在科研、开发、示范、推广领域都有比较成熟的经验,粮食生产方面取得了多项科技成果,高产创建成效显著,如榆林市连续四年5类作物累计创造39项全国高产纪录;以地膜覆盖为核心技术和以优良品种、配方施肥、病虫害统防为主要内容的其他旱作技术集成组装、综合配套,为发展陕北旱作区粮食生产提供了有力的技术支持。

五是经济基础较好。陕北能源化工基地的崛起为公共财政和民间资本积极投入粮食生产夯实了基础。如榆林市2010年财政总收入达到400多亿元,其中地方财政收入达到200多亿元,完全具备了工业反哺农业的经济基础。特别是今年陕北能源化工基地煤炭库存攀升,价格深跌,煤炭市场疲软,陕北“后能源时代”正在来临,一些民营企业家和民间资金正在转向农业和农村的开发与建设,是一个难得的好机遇。

四、开发建设“陕北旱地粮仓”已刻不容缓

(一) 将开发建设“陕北旱地粮仓”纳入国家、省级重大项目和省长“米袋子”工程

开发建设“陕北旱地粮仓”要有专门的班子负责,科学规划,有序实施。一是在工程项目实施区,凡涉及粮食生产方面的资金,如农业四项补贴资金、农业综合开发资金、扶贫资金及其他专项资金等应统一协调,捆绑使用,以提高其使用效果。二是改变资金投放方式。部分粮食直补资金可由原来直接投放给每个农户转向投放给粮食专业合作社,既可保证专款专用,又便于检查监督。三是出台新的扶持“陕北旱地粮仓”建设的特殊政策,增加粮食生产补贴范围和标准,提高主要粮食最低收购价标准,设立财政粮食保险补贴专项给予支持。四是作为国家“生态功能区”,这一地区同时作为非转基因粮食作物保护区,提高市场竞争力。五是坚持农牧结合,把粮食生产、畜牧业和退耕还林紧密结合起来,形成农、林、牧三者同步发展的新格局。六是组建“陕北旱地农业发展研究所”,把科技与管理两种生产力紧密结合起来,既解决当地粮食生产中遇到的科技难点,又将现代农业发展的管理技术推而广之。省科技主管部门在陕北旱地粮食品种、地膜回收、适用农机具以及粮食加工产品、加工工艺和质量保证等方面的技术研发和推广上给予专项支持。

（二）建设高标准基本农田，提高耕地质量和粮食产出水平

结合退耕还林(草)规划,一是搞好土地整理和复(新)垦开发,挖掘利用耕地后备资源,修田造地,确保耕地占补平衡,确保农田面积不下滑。二是在黄土高原丘陵沟壑区以坡地改梯田为突破口,大力新修宽幅梯田。同时加大淤地坝建设力度,扩大粮食种植面积,提高单位面积产量,增加粮食总产。三是在长城沿线风沙区以防沙治沙为突破口,减缓沙蚀速度。大规模改造中低产田,建设旱涝保收高标准农田;实施配方施肥,提高粮田质量和产出率;积极发展玉米和马铃薯为主的高产作物,为国家提供更多的商品粮。

（三）推广以地膜覆盖为核心的现代旱作农业新技术,提高天然降水有效利用率

实践证明,解决干旱半干旱地区粮食增产最有效、最直接的途径就是开展地膜覆盖,既可聚集天然降雨,变无效降雨为有效降雨,又可抑制土壤水分蒸腾,提高单位降水粮食生产水平。借鉴甘肃省的经验,实施“全膜双垄沟播玉米”新技术,亩产一般可达600公斤以上,最高亩产可达800~900公斤。若陕北两市玉米种植全部采用这项技术,仅此一项即可增产20亿斤以上粮食。因此,各级农业、财政、科技等部门应协作配合,集中人力、物力、财力,坚持数年,重点扶持地膜覆盖技术的推广工作,并充分发挥现有示范园区的引导带动作用,逐步扩大规模,力争到“十二五”末,使这项技术的普及面达到50%以上,到2020年达到100%。

（四）扶持建设“陕北旱地粮仓”的生产经营主体

大力发展粮食加工销售企业和农村粮食专业合作社,形成“企社加盟”模式,走产加销一体化路子,实现粮食转化增值,提升种粮比较效益,促进地方抓粮和农民种粮积极性不断提高。各级财政、农业、农机、粮食主管部门,用于专业合作社建设的专项资金要向陕北粮食企业和专业合作社倾斜。

（五）充分发挥农业机械在粮食生产中的装备支撑作用,提高土地产出率和农业综合生产能力

在陕北,依靠地、水、肥等资源要素投入增产受到约束增强的情况下,发展农业机械化是挖掘粮食增产潜力的现实选择。随着现代农业的深入发展和农村强壮劳动力的刚性转移,机械化水平的高低,已成为农民决定种植意愿进而影响到粮食等大宗农产品有效供给的重要因素。因此,各级政府应加强对农业机械化工作的领导,充分发挥国家对农机具购置补贴的政策效应,增加农机具数量,推

广旱作粮食生产机械化技术,尤其是在节水灌溉、精量播种、地膜覆盖、高效植保、化肥深施、保护性耕作等方面的先进技术,使农业机械化在建设陕北旱地粮仓、保障我省粮食安全中发挥更大作用。



史志诚 教授,博士生导师。原陕西省农业厅厅长,曾任中国农学会第八届副会长;中国畜牧兽医学学会第八届和第九届副理事长,中国毒理学会第四届副理事长,原陕西省第九届、第十届人大常委会委员,农业和农村工作委员会副主任。现任陕西省决策咨询委员会委员、农业专家组组长;陕西省老科技教育工作者协会副会长;陕西省农学会名誉会长;西北农林科技大学农业法与环境法研究中心名誉主任;西北大学生态毒理研究所所长。主要研究“三

农”问题;农业产业经济;发表论文 160 余篇。编著出版《陕西农业五十年》、《畜产经济概论》、《毒物简史》等十多部著作。获得农业部、陕西省科技成果一等奖两项、二等奖六项。

发展旱地农业的思考

李生秀

西北农林科技大学

摘要:旱地农业源远流长,是未来农业发展的前沿阵地。土地面积大,光热资源丰富,土地负荷量小,污染轻微,是农业发展的潜力所在;而干旱少雨,降水季节变率大,降水分布与作物生长不同步,植被稀少加上人为破坏严重,又引起了严重的风蚀和水蚀,导致了土地退化和生态环境脆弱。贮存于土壤根层中、能被作物直接利用的水称为绿水,占农业用水 85% 的份额(灌溉水仅占 15%),没有灌溉条件的旱地完全依靠这部分水进行生产。绿水有巨大生产潜力,提高绿水效率的途径是增加根层土壤贮水和防止地面蒸发。土壤有机质持水能力比矿物质高 10~1000 倍;施用有机肥料(物料)是增加土壤绿水保持的根本途径。夏季休闲效率只有降水的 10%~15%,其余降水全部由地面蒸发。蒸发严重时期是 7、8 两月高温季节。采用覆膜和覆草可使休闲效率分别提高到 46% 和 35%。保持田内作物种植能充分发挥绿水效能:种植加覆膜,蒸发失水只 6% 左右,种植加覆草为 24.5%,种植不覆盖 30%。合理投入氮素可有力地提高蒸腾用水,使蒸发水降低到 14.8%。采用田内集水、控制密度和合理施氮,在半湿润区的干旱年份仍获得了每公顷近 8 吨的小麦产量。本文以研究和实践事例对这几方面进行了论证。

一、发展旱地农业是保证我国粮食安全的需求

人口增长和食品结构改变对世界各国农业生产造成巨大压力;农用土地日益减少对农业发展产生了严重威胁;水资源短缺、地下水消耗多而补充困难,使灌溉土地面积增加无望甚至减少,这些原因迫使人们把注意力投向旱地农业。发展旱地农业,保证旱地农业的可持续性发展是全世界农业发展的趋势,也是我国农业发展的需求。很多科学家预测,旱地农业是今后农业发展的前沿阵地。专家估计,在水资源和土地资源日益减少的情况下,旱地农业将是未来农业发展的前沿阵地。专家又估计,绿色革命的第二阶段是要和比之灌溉农业来说很少注意的农业生产体系联系在一起,是要与水分供应不足为主要生产问题的旱地

农业生产体系联系在一起。旱地农业在未来农业中的重要地位由此可见端倪。

按国际一般看法,旱地农业主要指在半干旱和干旱半湿润地区无灌溉条件下、依靠天然降水进行的农业生产。这一定义界定了旱地农业的地域范围(半干旱和干旱半湿润地区);指出了旱地农业的生产特点(无灌溉条件);肯定了旱地农业生产的问题所在(依靠降水进行生产)。半干旱及干旱半湿润区降水少,甚至稀少,由降水滋养的地面水和地下水资源也相应短缺,局部地区虽可灌溉,但无灌溉是主要特征,这就构成了旱地农业的基本条件;依靠不足的降水进行农业生产,必然有水分不足的胁迫,这就产生了旱地农业的主要问题。由于依靠降水维持生产,旱地农业经常与雨养农业(Rainfed agriculture)相提并论。其实,这是有区别的。严格地说,两者都是单纯依靠天然降水从事的农业生产,都是非灌溉农业的同义语。但不进行灌溉的雨养农业体系既包括着降水合适地区的农业生产体系,也包括着水分胁迫(有效水分不足是最主要限制因子)、强调水分保持的农业生产体系,还包括着降水偏多、强调排除过多水分的农业生产体系。由此观之,旱地农业仅是雨养农业之一部。旱地农业一般仅指种植业,不包括草地和畜牧业;后者在一些干旱区(Arid area)也可存在。我国干旱地区有一定的水资源,灌溉农业得到了一定发展,一直包括在旱地之内。

从牧猎过渡到定居的农业生产以后,人类就在不同地区开垦种植,从事种植业活动。考古资料证明,几千年甚至几万年前,位于中国的黄河流域,位于美索不达米亚的幼发拉底河和底斯里格河流域,位于印度的印度河流域,以及墨西哥高地和秘鲁,就开始了农耕。这几个地区农业生产对世界经济和文化发展做出了巨大贡献,既形成了世界农业起源中心,也形成了古代文明的发源中心。这些地区多属干旱、半干旱和半湿润易旱地区,因而最初进行的农业生产都是雨养旱地农业生产。不过,人类首先定居和从事农业生产的这些地区都是自然条件优越、水足土肥之处。以后,随着人口增加,才逐渐由坡塬转到河谷平原,采用灌溉,出现了灌溉农业;也逐渐向其他地区迁移,包括着生态环境脆弱的有水分不足胁迫的地区,这样就出现了旱地农业。因此旱地农业源远流长,几乎和农业发展有着同样长的历史^[1]。

旱地农业之所以引起人们重视有其客观原因,土地面积广大是主要因素。Dregne(1982)应用气候作基础划分出了世界上的旱地农业地区,计算其面积有40亿公顷,相当于整个陆地面积27%^[2]。其中,约有30亿公顷适于作物生产;其余土层太薄,多石,太陡,或有盐化、渍水问题而不适于种植作物。又有人估计,世界适于旱农发展的地区还约有可耕地面积7亿公顷,主要分布在热带、亚热带和温带。目前全世界用于农业生产的土地仅15亿公顷!如果Dregne的估计是可靠的,则没有利用的、适于发展旱地农业的土地几乎是现有耕地的两倍;

而按照其他人保守估计,也几乎是现有耕地的一半。这些广阔的旱农土地给人们提出了巨大的希望与寄托。我国干旱和半干旱地区总面积约占国土总面积的52.5%,其中干旱地区为30.8%,半干旱地区为21.7%。如果把半湿润易旱地区包括在内,旱地所占面积更大。我国旱地主要分布在西北地区,包括陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、内蒙古6省和自治区,总面积400多万平方公里,占全国面积42%,人口8%。虽然局部地区有灌溉条件,但大部分地区仍以雨养农业为主,因而它的农业主要是旱地农业。

除过土地面积之外,旱地光热资源丰富,有发展多种作物的有利条件;人口稀少,土地没有超载负荷,污染不严重;土壤瘠薄,有抚育培肥和开发利用的巨大潜力。这些条件更进一步增加了旱地的重要地位。

著名的黄土高原主要位于这一地区。历史上,这一地区曾是森林郁蔽、绿草遍野、牛羊成群、五谷丰登之处。大约6000年前,中华民族开始在这一地区的汾、渭河谷的肥沃土地上定居。西周和春秋战国时代,黄河流域已经成了全国农业中心,以后再扩展到长江流域,东南海岸,长城北部。公元前121年,霍去病领导的十万多士兵在河西走廊建署兴陞,发展农业。当时所有河流的中、下游地区都发展了灌溉农业,黑河中下游灌溉农业闻名当时,曾有金张掖、银武威之称。联结东西方的有名的丝绸之路,象征着中国古代文化第二次高峰的敦煌石窟穿过或位于这一地区。因此,这个地区不仅是中国农业发展的源地,也是中国文化的摇篮。在过去许多世纪与自然斗争中,这一地区的人民积累了管理旱地的丰富经验。多年以前,新疆人民就创造了坎儿井地下灌溉系统,至今仍灌溉着新疆广大地区。几千年来,中国人民有效地利用了旱区的水土资源,创造了大量的肥沃土壤。沙漠中的绿洲,像古代创造的塔里木河中、下游像珍珠串一样排列着的绿洲,河西走廊的绿洲以及近代创造的马拉斯河谷绿洲,就是这种肥沃土壤的典型代表。旱地土壤管理既创造了生产力高的绿洲,也从整体改善了一些生态环境。敦煌的绿洲土壤经过2000多年灌水和施肥的农业实践,耕层土壤加厚到2 m以上;黄土高原地区,由于几千年施用有机肥料,形成了20~30 cm,甚至50 cm的人造表层土壤,反映了这一方面的成就。现在,西北旱农地区是我国小麦、棉花的集中产区,也是重要的工业基地和外贸集散地,又是全国贫困人口较集中的地区之一。发展这一地区的旱地农业,对于增加粮油产品,提高人民生活水平,满足新世纪需要,减少中国东部人口高密的压力,促进整个农业发展和国家经济都有重大的作用。随着我国经济建设向西部地区转移,这一地区的农业持续发展越来越显得突出和重要。

旱地也存在着严重的天然缺陷。降水少是发展农业的主要障碍;有限的供水难以造成茂密的植物生长,植被覆盖度差是其导致的必然结果。旱地又多是

风区和风暴中心,强烈的风力侵蚀是造成农业生产的严重灾害。旱地降水虽少,但季节分布不匀,降水集中、多暴雨的气候条件加上裸露的地面又使水蚀相应成患。因此旱地有两大特点,一是降水少,二是侵蚀严重。由此而来的必然是表土不断损失,土壤贫瘠。居住在这一地区的农民又多较贫困,无力投资培肥土壤,更加重了这一趋势。发展旱地农业应明确这些特点。

二、发展旱地农业的核心是充分利用天然降水

淡水在人文、社会、经济上的重要和宝贵可由其被称为蓝金(blue gold)而知之。天然降水是一切淡水资源的源泉,也是农业生产的基础。据估计,全球水资源为 $1\ 362\ 412\ 000\ \text{km}^3$ (十三亿六千二百四十多万立方公里)。将其视作100,则盐水占97.5%,淡水只占2.5%。淡水资源中,68.9%存在于冰川之中,29.9%存在于地下水,0.3%存在于淡水湖泊和河流,0.9%存在于土壤、土壤永久冻层和永久湿地中^[3]。这些存在于冰川和地下水的淡水资源,是亿万年累积的结果,因而被称为“化石水”。每年用于农业生产和人类活动所需的淡水主要靠自然界的水循环。循环来自蒸发到大气的水汽向海洋和陆地的转运。海洋年蒸发量 $436.5\ \text{km}^3$,陆地蒸散量 $65.5\ \text{km}^3$,合计 $502\ \text{km}^3$ 。这些蒸发的水量以降水形式重返海洋和陆地,但在重返过程中分配发生了变化:分配到海洋的降水量 $391\ \text{km}^3$,陆地 $111\ \text{km}^3$ (合计仍 $502\ \text{km}^3$)。到达陆地的 $111\ \text{km}^3$ 降水中, $65.5\ \text{km}^3$ 渗入土壤成为蒸发和蒸腾之源, $45.5\ \text{km}^3$ 进入河流和地下水^[4]。雨养农业完全靠进入土壤的这部分降水,灌溉农业的水资源,如果不开发业已累积的“化石水”,除依靠进入到土壤的降水外,也同时利用进入河流和地下水的降水。

一些科学家把用于农业生产的水分为三部分,一部分是蓄于土壤、可直接被植物利用的绿水(Green water)或功效水(Virtual water)^[5,6],既可能来自雨水,也可能来自用于灌溉的地表水或地下水;一部分是存在于河水和地下水的蓝水(Blue water);一部分则是被化学物质(如农药)污染或城市、工厂排泄的灰水(Gray water)^[7]。绿水可使土地直接绿化,蓝水只有进入土壤才能起到这个作用;灰水则是需要经过处理才可变为绿水或蓝水的水源。在这些水资源中,进入土壤的绿水对农业生产起着决定作用。不但是雨养农业的先决条件,也是灌溉农业的“奠基水”。

从全世界来看,灌溉地面积约占耕地20%,生产40%的农产品;灌溉农业又是用水大户,消耗了世界上约70%的蓝水资源^[8]。这一现象使一些人误认为灌溉水是农业水资源的主要部分。其实,这种看法是不正确的。如果不过度开发,不过度利用“化石水”,则每年用于农业生产的灌溉蓝水资源非常有限。Rost等(2008)认为,把农业水的消耗看作主要来自灌溉的蓝水是概念上的错误^[9]。事

实上,地球上 80% 的农田是雨养农田,60% ~ 70% 的农产品来自进入土壤的绿水^[10]。同时,农田蓄积的绿水又是灌溉农田的基础。任何灌溉农业都不是纯粹的、完全依靠灌溉的农业,而是在降水基础上的补充;灌溉蓝水仅仅用于补充土壤降水不足、保证最好的生长和产量。即使像干旱地区降水 300 mm 的地区,如果不考虑蒸发,每公顷也有 3000 m³ 的垫底水;至少可使灌溉水量减少二分之一到三分之一。另一方面,灌溉水并不是作物直接能利用的水源,要让其能为作物利用,必需进入作物生长介质—土壤中,才能发挥作用。而要把河水或地下水转变成土壤水或则有大量损失,或则要消耗能量,比起能直接被作物利用的土壤蓄水就逊色多了。Molden (2007) 估计,可用于灌溉的蓝水资源到 2050 年最多只能增加 13%,而非农业部门对蓝水的需求会使用于灌溉的这部分水资源面临着严重竞争^[11]。采用不同的模型计算,Rost 等(2008)估计,从全世界农田考虑,绿水在供应农田水分上占有 85% 的份额^[9]。Hoff 等(2010)进一步强调,综合水分管理中蓝水绝不可能是解决农业持续发展的途径^[12]。其他研究者也认为,增加视而不见的绿水资源潜力、获得更多的农业产品将是未来研究者的兴趣所在。绿水是农业生产最重要的水源,农业将越来越强烈地依靠改进绿水资源的利用而提高生产水平^[13]。

三、提高土壤蓄水能力是增加绿水的关键

土壤具有极强的蓄水能力。早在 20 世纪 30 年代人们就认识到土壤这一特点,并将土壤称为水库(Water reservoir)。但这一自然水库并非人们理想的贮水器,从下面可以渗漏,从上部可以流走(径流)和蒸发。理想的土壤水库应是遇水能就地入渗。入渗后能不脱离根层而保蓄。这样入渗的降水或灌水才能保蓄起来,成为真正的绿水。土壤的物理性质和生物性质影响着土壤的水文性质,特别是持水能力(Soil water - holding capacity)。从物理性质来看,质地具有典型意义。黏粒组成的土壤是土壤质地的一种极端:颗粒细,表面积大,能强有力地吸水 and 保水;但过细的颗粒也容易黏结,形成结皮(Crusting);机器耕后又容易使表土紧实(Compaction),对水分入渗有严重影响。黏细土壤中的水分又容易沿毛管上升,蒸发失水强烈。砂土是土壤颗粒中的又一极端,透水甚易,漏水更突出,很难保水。从生物性质来说,由生物过程形成的稳定团聚体是结构的核心部分,团聚体间的空隙是入渗的通道,颗粒内的空隙是蓄水水池,能协调水气矛盾,对蓄水保水都有良好作用。

要改良土壤这些性质,关键是施用有机物料和有机肥料,培肥土壤。培肥土壤的重要性可由过去农民的自留地中看得出来。20 世纪 60 年代的三年自然灾害(旱灾)中,渭北旱原生产队一般亩产小麦几十斤,甚至一些田块颗粒无收,但

农民的自留地却可亩产 600 斤以上。这对保证当时渭北旱原没有发生“饿死人”现象起了关键作用。高产稳产自留地的特点是施用有机肥多(当时几乎没有什么化肥),土壤肥力高。“地肥了耐旱”,“地里多上粪,旱涝都撑劲”是广泛流传的农谚,也是农民生产的宝贵经验。现代科学研究表明,土壤有机质有极高的持水能力,比矿物质高 10 ~ 1000 倍^[14]。增加土壤有机质就能增强持水能力,减少水分的渗失和蒸发。土壤有机质还能够促使土壤颗粒的团聚,从而减少砂土的渗漏性和黏土的黏结性^[15,16]。

人工合成或天然的土壤调理剂(Soil conditioners)对增加土壤的持水能力也有重要作用。例如,施入生物聚合物(Biopolymers),如琼脂(Agar)、海藻酸胶(Alginate)、果阿胶(Guar gum)、细菌聚合物(Bacterial polymer)、纤维素、车前草(Psyllium)能增加砂壤土的最大持水容量。在强烈蒸发干旱地区的砂土中加入水凝胶(hydrogel),不但能增大持水容量,还能延迟永久凋萎点的出现,减少不同作物灌水需求^[17,18]。

四、防止水分的无效蒸发是保护绿水的根本出路

入渗在土壤内的水分依然存在着非生产性损失。旱地通过地下径流的损失难以发生,但通过蒸发损失却严重而注目。西北旱地广泛采用夏季休闲耕作制度。如果休闲期降水 400 mm,全部渗入土壤,没有发生径流,休闲期末所保留的水分仅是降水的 10% ~ 15%。如果降水 300 mm,则只有 30 ~ 45 mm 的降水保持在土壤之中。休闲效益之所以不高,就在于就地入渗的水分大量蒸发损失。蒸发量大于降水量是旱农地区的特征,而采用有效的措施降低蒸发量,才能使更多的水分用于生产性消耗,也才能提高降水的生产效益。因而防止蒸发等无效损失是提高降水生产效益的一条重要途径。

不管从增加土壤的入渗或防止土壤蒸发来说,覆盖耕作是一条重要途径。覆盖可以减少雨滴对地面的打击和对结构的破坏,防止土粒分散后对表层透水空隙的密封,从而增加土壤水分的入渗。覆盖也可防止土—气界面的水分交换,防止或减少土壤水分向空气逸散,从而减少或防止蒸发。大量的试验证明,采用覆盖耕作可以明显地降低土壤水分的无效损失,有力地提高作物产量。正由于这一原因,覆盖耕作近年受到人们特别关注。因地制宜地采用不同覆盖物质,保蓄土壤水分是发展旱地农业生产的一条重要出路。用作覆盖的物质有砂砾、秸秆、作物残茬、塑料薄膜等,其中最有应用价值的是秸秆和塑料薄膜。美国采用免耕和秸秆覆盖措施,使休闲效率由过去的 15% ~ 20% 提高到 40% ~ 45%。我国的研究也表明了这一措施突出的蓄水保水作用。每公顷覆盖 6000 kg 秸秆,可使 0 ~ 200 cm 土层的蓄水量提高 41 mm,使小麦增产 18%。

塑料薄膜覆盖保水效果更为突出。这项被誉为白色工程的覆盖措施过去仅用于一些经济作物的生产,如棉花、烤烟和蔬菜,近来的生产实践已扩大了它的应用范围,从农作物中的大株作物(如玉米)发展到小株作物(如小麦、谷子)。大量的实践和科学研究证明,塑料薄膜覆盖有着保水、增温、改善作物生育状况等多种功能,而保水的效果更注目。

但覆盖也并不能百分之百的保水,即使在覆盖良好的情况下,仍有大量水分蒸发。

多年前我们在澄县进行了一个春玉米试验。试验包括种植与休闲 2 个因素,种植玉米者采用不覆盖、覆膜、覆草,不种玉米者采用覆膜与覆草等 5 个组合,每一组合均施用 0,30,60,90 和 120 kg 氮素,共 25 个处理。玉米 4 月 22 日播种,5 月 5 日出苗后立即覆盖。5 月 25 日开始第一次采样,以后覆膜与不覆盖者每隔 10 天、覆草者每隔 1 月采样一次,测定生物量和 0~200 cm 土壤水分含量(土样分 10 层,每层 20 cm)。

这一研究证明,在不种植作物情况下,覆草和覆膜虽然保蓄了不少水分,但土壤蒸发仍然非常严重。蒸发最严重的时期是 7、8 月份高温季节(图 1)。

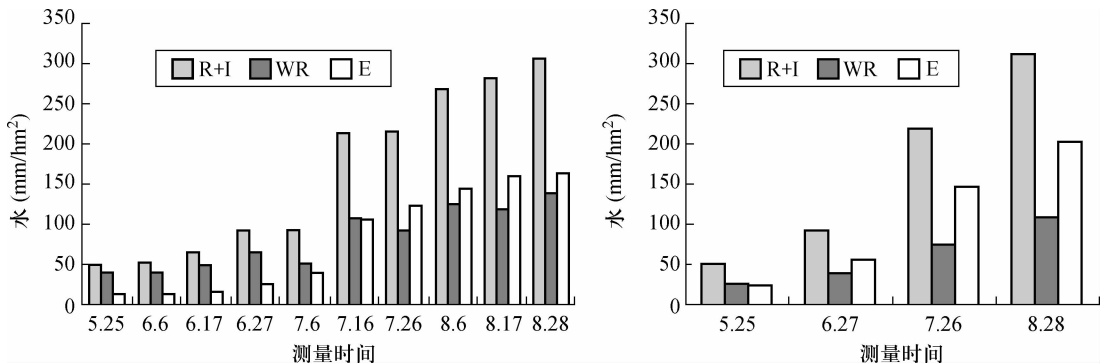


图 1 覆盖对土壤水分蒸发的影响

(R + I 为测定期降水与灌水总量,WR 保有存在 0~200 cm 的水量, E 蒸发量,水分均以 mm 表示)

整个生长期,降水加灌水 305.1 mm,覆膜保持了 140.6 mm 水分,休闲效率为 46.1%;覆草保持了 106.9 mm 水,休闲效率为 35%。失水严重时期是 7、8 两月的高温季节。覆草前两月(由 4 月 22 日到 6 月 27 日)失水 27%,而后两月(由 6 月 27 日到 8 月 28 日)失水 773%;覆膜相应损失 15% 和 85% 的全部水分。因此 7、8 两月是失水的关键时期,在这一期间很难保有水^[19]。

五、田间保持作物、加强作物吸水是防止水分无效蒸发的关键

植物生长是减少水分无效蒸发的关键。生长的作物可从两方面减少蒸发,作物对土壤水分的不断吸收可以减少蒸发的有效水源。存在于土壤的水分如若不能被作物吸收就会成为直接蒸发的自由水;巨大的植物冠层又能覆盖土表,减少阳光辐射,降低土温,因而能突出的减少蒸发^[20]。

我们的试验表明,玉米生长强烈地影响土壤水分行为。覆膜种植玉米的处理,收获时 0 ~ 200 cm 土壤保持 309.4 mm/hm²,而未种玉米者 461.2 mm/hm²;覆草种植玉米者 310.8 mm/hm²,而未种者 427.5 mm/hm²;未覆盖种玉米者持有 312.5 mm/hm²。种植与休闲土壤的失水动态基本相同,都是 7,8 两月温度最高时失水最多。种植玉米的各处理收获时土壤存水无明显差别,但覆盖与否的生物量却有成倍之差,说明了水分分配发生了突出变化。休闲的失水主要(完全)由蒸发造成,而种植玉米者主要由蒸腾造成。

为了说明这一问题,就要区分蒸发失水与蒸腾失水。但现在尚无可行的田间方法^[19]。在我们进行的玉米试验中,玉米生长期的降水和灌水均未超过土壤持水容量,所有水分损失均可看作由蒸发或蒸发加蒸腾所致。在覆膜种植玉米条件下,前期未覆膜时期和玉米幼苗很小,蒸腾失水微不足道,可视为由蒸发造成;后期作物与薄膜双重覆盖效应已不会产生蒸发损失,失水完全看作蒸腾所致。由此估计,蒸发量只有 20 mm,不到总损失量的 6%,而蒸腾量耗水占 94%。

但是,这一方法只能估计覆盖时的蒸腾量,而不能估计不覆膜和覆草时的蒸腾量。考虑到蒸腾是作物的行为,蒸腾的多少必然与作物的叶面积,因而与生物量密切相关。从此出发,我们建立了覆膜条件下的蒸腾量与作物生物量的方程,然后代入不覆膜或覆草时的生物量就可计算后两种情况下的蒸腾量。

建立的方程如图 2,决定系数为 0.9695,显著性小于 $P < 0.01$ 。但这一方程并未过原点,理论上,蒸腾是植物行为,没有植物,就无蒸腾,因而直线方程应过原点。

上述方程虽未过原点,但截距甚小,在计算蒸腾量上不起作用。因此可用强制方法使其过原点而产生新的方程。后者显示于图 3。

用这一方程计算,每生产 1 kg 地上部分干物质需要蒸腾 256 kg 水分。Sinclair and Weiss (2010) 发现^[21],对于 C4 植物如玉米、高粱,在 2 kPa 的平均气候条件下,每生产 1 单位干物量需要蒸腾 220 单位水分,但有很大变动,由湿润地区的 160 到干旱地区的 280 单位^[22]。Sinclair 和 Weiss (2010) 的发现对我们的试验结果提供了有力支持。不仅是由于计算的结果在其范围之内,更重要的是

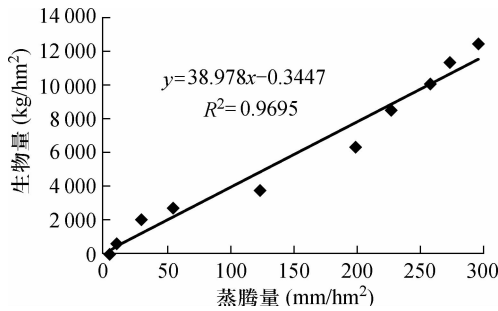


图2 玉米生物量与蒸腾量的关系

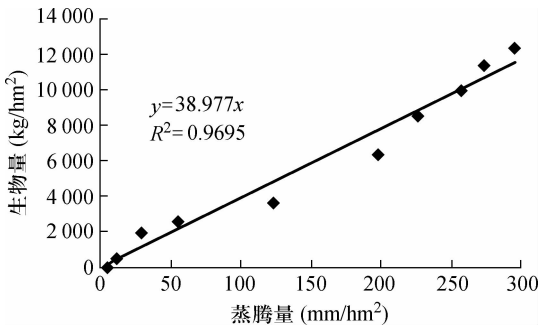


图3 玉米生物量与蒸腾量的关系

符合实际情况。试验区虽属半湿润地区,但试验当年玉米生长期间只有265.1 mm降水,系干旱少雨年份;春末夏初,风大风多;7、8二月平均气温25℃左右,因而这种结果是符合实际的。采用这一方法计算,种植玉米条件下,不覆盖时,总耗水量为312.5 mm,其中蒸腾耗水218.7 mm,蒸发耗水仅占总耗水量的30%。覆草时,总耗水量314.9 mm,蒸腾耗水237.6 mm,蒸发耗水77.3 mm,仅占总耗水量的24.5%。

由此可见,保存作物生长比覆膜覆草更能减少水分无效蒸发;更重要的是把无效的蒸发水转变成了有效的蒸腾水,实现了绿水的充分利用。但是如何将这一发现应用于旱地的休闲实践却有很大困难。夏季休闲是旱地广泛应用的措施。根据前人研究,即使休闲效率不高,保蓄的水分对后作小麦有重大作用。改休闲期种植短期作物,带来的是后作物小麦减产,得不偿失。如何选用一种作物,使其生长期能充分利用土壤不能保蓄的水分而又不消耗小麦所需要用的水分,保证小麦高产稳产是研究者面临的挑战。

六、合理投入营养物质是提高旱地水分利用效率的重点所在

合理施肥、改善作物的营养状况是提高水分利用效率的关键。西北地区既

有水分胁迫,也有养分胁迫。造成西北地区养分胁迫的主要原因是:有限的供水难以造成茂密的植物生长,使土壤累积的有机物质和营养物质数量很少;严重的水蚀和风蚀,造成了表层土壤的损失,导致了土壤营养物质缺乏;旱农地区农民又相对贫困,培肥土壤不力直接影响了土壤肥力提高。营养物质的缺乏严重限制了水分作用的发挥和水分利用效率的提高,是当前水分利用效益不高的主要矛盾。通过施肥来补充土壤的营养物质能调节植物的生理过程,有力地提高水分利用效率。

养分对决定根系发育和产量有着重要作用^[23]。光合作用是根系生长的基质(Substrate)之源,而光合作用又取决于叶面积大小和单位面积上的叶面积比率(系数),这两方面又均依赖养分和植物年龄(生育阶段)。叶面积直接影响蒸腾水分,蒸腾和作物所产生的生物量之间有直线关系(图5,6),其斜率由养分供应能而定^[24]。在健康土壤上,适量而平衡的养分供应是根系和地上部分生长的前提,因而也是产量、水分利用效率(WUE)、水分生产力(Water productivity)的前提^[25-27]。

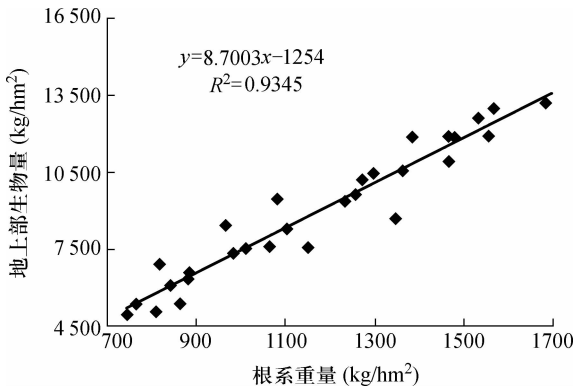


图4 地上部生物量与根系重量的关系(李生秀等未发表资料)

施肥的主要作用在于提高蒸腾量、减少蒸发量,因而提高了水分利用效率。我们在澄县进行的典型试验说明了这一问题。试验期间降水和灌溉水量 305.1 mm,未覆盖时,5种施氮水平的平均耗水量为 313.2 mm。不施氮肥,蒸腾耗水 126.7 mm,蒸发耗水 186.5 mm,蒸发失水占总耗水量的 59.5%,占受水量(生长期降水加灌水)61.2%;蒸腾只有耗水量的 40.5%,降水量的 38.8%。施用 120 kg/hm² 氮素,蒸腾耗水 266.9 mm;蒸发耗水 46.3 mm,仅占全部耗水的 14.8%,占受水量的 15.2%。图6和图7清楚地表明了这种差别。

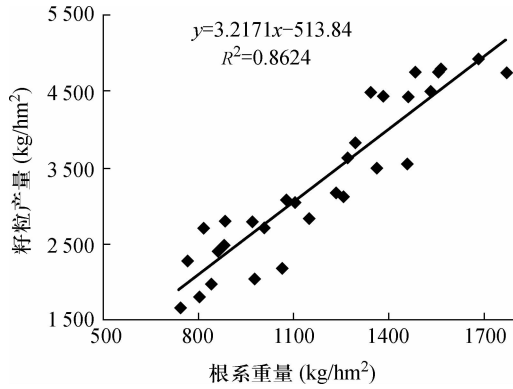


图5 小麦根系重量与产量的关系(李生秀等未发表资料)

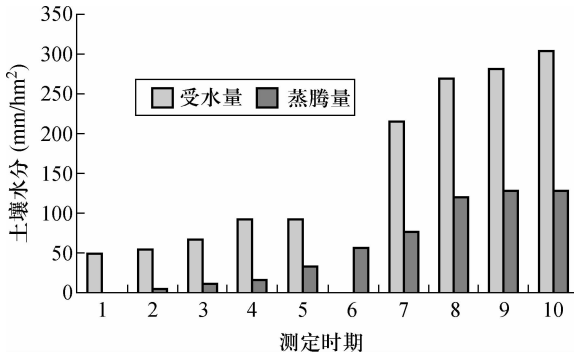


图6 未施氮时作物的蒸腾量

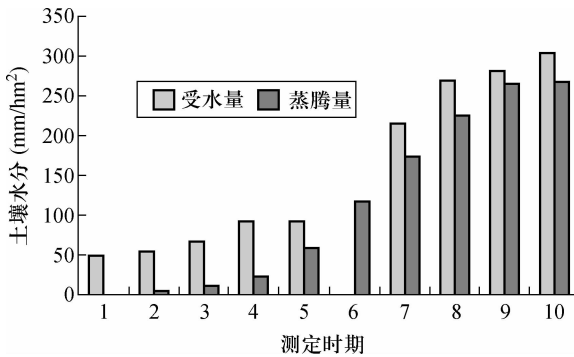


图7 施用 120 kg/hm² N 时作物的蒸腾量

(图 6.7 中横轴数字分别表示 5 月 26 日, 6 月 6 日, 6 月 17 日, 6 月 27 日, 7 月 6 日, 7 月 16 日, 7 月 26 日, 8 月 6 日, 8 月 17 日, 8 月 28 日)

七、集水种植是将无效绿水转化为有效绿水的重要措施

我国西北旱地地表水资源不足、地下水资源短缺,年降水量 250 ~ 550 mm,主要依靠天然降水进行农业生产。由于年降水量低而变率大,发展旱地农业有着较大的不稳定性。只有集存降雨径流才能保证农业的稳产与高产。在降水量 250 mm 以下的干旱地区,种植业难以发展,没有灌溉则没有农业。这些地区尽管降水不多,径流很少,如果将有限的降水径流收集起来,可以促进农业在一定程度上发展。例如降水 50 mm 的地方,1 hm² 地面就可获得 500 m³ 降水,用于一亩地则可保证一定的农业生产。采用降水径流集存的方法,世界许多国家,如以色列、印度、巴基斯坦、墨西哥、阿富汗、澳大利亚等,使农业在年降水量不足 200 mm 的地区发展了起来,并取得了较好收成。干旱胁迫使人们更加重视研究和应用这一古老方法,现在许多国家和地区运用现代科学技术集水,取得了显著的成就。在降水量不足 400 mm 或接近 400 mm 的半干旱地区,农业的水分保证率很低,生产有着较大的风险性和不稳定性。通过降雨径流的集存,可使该地区的降水超过 400 mm,保证稳产高产。在半湿润地区,年降雨量虽然超过 400 mm,但这些地区在季风气候条件下,存在着季节性干旱,需要集存降雨径流,补充干旱季节水分的不足。因此,集存降雨径流不但对干旱地区,而且对半干旱和半湿润地区的农业发展都有重要意义。许多国家重视径流集水农业,视其为发展旱地农业,特别是干旱地区农业最重要的,甚至是唯一的途径,原因就在这里。

径流集水按集水面可分为小范围内的就地集水和大范围的区域集水;按方式来说,可分为土壤集水和库、窖集水。

就地集水或土壤集水就是把收集的雨水汇集在某一田块的土壤之中,供给当季或下季作物之用。如我国一直采用的隔坡梯田、区田、带田、埝地等。世界各国对这一方法也特别重视,为了增大径流量,不少国家对集水面(径流面)采取了特殊处理。印度沙漠地区把径流区的地面用塑料薄膜覆盖或利用沥青涂封,使降雨滴水不渗,以便汇集到种植区内,供给作物利用^[28]。美国把耕地分成条带,一些条带撒施食盐,使土壤胶体分散,然后碾实,以便产生径流,供种植带收集。集水和覆盖耕作结合起来,效果更好。田内集水是实现绿水生产力转化的有效途径。蓄积于土壤的绿水并不一定都具有生产力。蓄积太少,不能满足作物生产周期的需要,则不能产生人们需要的农产品,因而是无效水。采用田内集水就可使无效降水变成有效生产资源或产生更大的经济效果。

2000—2001 年我们在杨陵小麦上进行了一个有意义的试验^[29]。试验前 2 m 深土层蓄水 519.2 mm,小麦生育期总降雨量 120.9 mm,需水关键期(4 ~ 5 月)

降水 50 mm;而关中地区冬小麦生育期多年平均降水量310 mm,需水关键期降水 65 mm。因而试验年是较为严重的缺水年份。试验包括覆膜与不覆、高氮(225 kg/hm²)与低氮(75 kg/hm²或无氮)、高密(280 万株)与低密(230 万株)三种因素,8 个处理。试验采用垄沟栽培,沟内播种;垄宽根据密度而变,覆膜或不覆膜。不覆膜者,垄面踩实,减少入渗,使产生径流,进入作物种植沟内;覆膜者,垄面全部覆膜,使降水全部入沟。

试验结果见表 1。可以预期,覆膜者产量一定高于未覆膜产量。本试验又表明,在有水分胁迫条件下,控制密度有重要意义。密度过高,会过多地消耗前期水分,生物量增长多,而到籽粒形成和灌浆时会严重缺水,籽粒反而减产。本试验的低密产量均高于高密(虽然有的并无统计学上的显著差异)说明了这一问题。未覆膜条件下,水分胁迫突出,低氮效果优于高氮;而在覆膜保水条件下,高氮的效果明显优于低氮。低密高氮覆膜,集水较多,土壤水分相对充分;前期耗水又较少,籽粒产量近 8 t,水分利用效率 22 kg/(mm·hm²),在当前生产中颇为少见。

表 1 不同处理籽粒的水分利用效率比较

处理	籽粒产量 (kg/hm ²)	收获时土壤水分 (mm)	总耗水量 (mm)	水分利用效率 [kg/(mm·hm ²)]
覆膜				
低氮 - 高密	5876	287.5	352.6	16.7
低氮 - 低密	6085	281.6	358.5	17.0
高氮 - 高密	6761	269.2	370.9	18.2
高氮 - 低密	7898	280.9	359.2	22.0
未覆膜				
低氮 - 低密	5317	320.1	320.0	16.6
高氮 - 高密	5244	338.4	301.7	17.4
无氮 - 高密	4695	313.2	326.7	14.4
无氮 - 低密	4710	313.1	327.0	14.4

田内集水是一种抗旱减灾种植制度。这种制度能在丰水年高产、干旱年不

减产、甚或高产。在这里,调整种植密度特别值得重视。Stewart 采用稀植丛植高粱,减少分蘖办法,在半干旱区的干旱年份,获得了每公顷 3500 kg 的产量,而正常种植高粱颗粒无收。这项措施的核心是减少了营养生长期对水分的消耗,保证形成籽粒产量有足够水分。我们上述试验,采用垄沟种植,垄覆膜形成产流,沟施肥、种植、集水,在当年比较干旱而未灌水条件下,小麦产量近 8 t,而当年的未灌水田块产量都在 5 t 以下,说明这方面有较大潜力。

除了上述的蓄水保水途径外,要特别强调的是少耕、免耕、覆盖耕作对防止侵蚀的作用。这一耕作制度虽未被视作水土保持制度,但其所起的作用绝不亚于一些水保措施的效果。论述这一方面需要较多的篇幅,本文在此只能附笔强调而不能详述。

参考文献

1. Cannell G H, Dregne H E. Regional setting. In: Dregne H E, Willis W O Dryland Agriculture, 1983:6 - 17. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Publishers. Madison, Wisconsin, USA.
2. Dregne H E. Dryland soil resources. Mimeograph report. Agency for International Development, Washington, D. C. 1982.
3. Shiklomanov I. World fresh water resources. In: Water in Crisis: A Guide to World Fresh Water Resources, 473. Oxford University Press, Oxford, UK, 1993.
4. Oki T, Kanae S. Global hydrological cycles and world water resources. Science, 2006, 313: 1068 - 1072.
5. Allan J A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro - political future would be impossible. In Priorities for water resources allocation and management. ODA. London, 1993: 13 - 26.
6. Allan J A. Virtual water: A strategic resource global solutions to regional deficits. Ground Water, 1998, 36: 545 - 546.
7. Chapagain A K, Hoekstra A Y. Water footprints of nations. Volume 1: main report. UNESCO_IHE, Delft, the Netherlands, 2004.
8. Green S, Dewrer M. Green, blue and gray waters: minimizing the footprint using soil physics production footprints. Plant & Food Research, Palmerstone, New Zealand, 2010.

9. Rost S, Gerton D, Bondeau A, et al. Agricultural green and blue water consumption and its influence on the global water system. *Water Resource Research*, 2008,44(9): 17.

10. Falkenmark M, Rockstrom J. *Balancing water for humans and nature*. London: Earthscan, 2004.

11. Molden D. *Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management of in agriculture*. London, Colombo, Earthscan, International Water Management Institute, 2007.

12. Hoff H, Falkenmark M, Gerten D, et al. Greening the global water system. *Journal of Hydrology*, 2010,384(3-4):177-186.

13. Rickstrom J, Falkenmark M, Karlberg L, et al. Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change. *Water Resource Research*, 2009,45:16.

14. USDA (United States Department of Agriculture). *Managing soil organic matter: the key to air, and water quality*. Soil quality technical note 5. 2003. http://soils.usda.gov/sqi/concepts/soil_organic_matter/files/sq_tn_5.pdf (accessed Sept, 18, 2001).

15. Khaleel R, Reddy K R, Ovecash M R. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: A review. *J Environ Qual*, 1981,10:133-141.

16. Metzger L, Yaron B. Influence of sludge organic matter on soil physical properties. *Adv Soil Sci*, 1987,7:141-163.

17. Taylor K C, Halfacre R G. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. *Hort Sci*, 1986,21:1159-1161.

18. Taban M, Naeini S A R. Effect of aquasorb and organic compost amendments on soil water retention and evaporation with different evaporation potentials and soil texture. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 2006,37:2031-2055.

19. Li S X, Wang Z H, Malhi S S, et al. Nutrient and water management effects on crop production, and nutrient and water use efficiency in dryland areas of China. *Adv Agron*, 2009,102:223-265.

20. Cooper P M J, Gregory P J, Tully D, et al. Improving water-use efficiency of annual crops in the rainfed farming systems of west Asia and north Africa. *Exp Agric*, 1987,23:113-158.

21. Sinclair T R, Weise A. *Principles of Ecology in Plant Production*. 2nd edn.

CAB International, Cambridge, MA, 2010.

22. Stewart B A, Lal R. Manipulating crop geometrics to increase yields in dryland areas. In: Lal R, Stewart B A. Soil Water and Agronomic Productivity (Advances in Soil Science). CRC Press. Taylor & Francis Group, New York, 2012:409-426.

23. Rockstrom J, Barran J. Water productivity in rainfed systems: overview of challenges and analysis of opportunity in water scarcity prone savannahs. Irrigation Science, 2007, 25(3): 299-311.

24. Doorenbos J, Kassam A H. Yield response to to water. In FAO irrigation and drainage paper, 33 edited by FAO, Rome: FAO, 1979.

25. Ali M H, Talukder M S U. Increasing water productivity in crop production—A synthesis. Agricultural Water Management, 2008, 95(11): 1245-1261.

26. Hatfield J L, Sauer T J, Prueger J H. Managing soil to achieve greater water use efficiency: A review. Agronomy Journal, 2001, 93(2): 271-280.

27. Ryan J. Plant nutrient management under pressured irrigation systems in the Mediterranean region. In: Proceedings of the IMPHOS International Workshop Organized by the World Phosphate Institute. Aleppo, ICARDA, 2000.

28. 茹明定,等. 秘鲁的农业生产和农业科学研究. 干旱地区农业研究, 1994, 12(4): 120-126.

29. 王彩绒,等. 沟垄覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响. 中国农业科学, 2004, 37(2): 208-214.



李生秀 西北农林科技大学教授,曾任系主任、西北农业大学学报主编;中国土壤学会常务理事、土壤-植物营养专业委员会主任;中国植物营养与肥料学会常务理事、矿质营养与化肥专业委员会主任。培养博、硕士生 67 名,主持过 2 项国际合作,9 项国家自然科学基金和多项部省级项目。自撰和合作发表论文 482 篇,SCI 收录 46 篇,被他引 8105 次。编著两部中文专著,270 万字;撰写一部英文专著,150 万字。参加过美国农学会、作物学会和土壤学会三

会组织编写的“旱地农业”一书。近年分别在 *Advances in Agronomy* 和 *Advances in Soil Science* 发表多篇总结研究成果长文,最长者 200 多页,有一定影响。获国家四部委“国外智力引进先进个人”,省劳动模范,何梁何利科学技术进步奖,全国优秀农业科技工作者称号;获省科学技术进步奖二等奖 5 项,一等奖 1 项,国家科技进步奖二等奖 1 项。

科学审视干旱的双重属性 高度警觉干旱 发展态势 持续增进水分生产能力 ——旱区农业永续发展的依托

王立祥 等

西北农林科技大学

摘要:基于旱区扩大,旱情加剧的干旱发展态势,融干旱自然与社会的双重属性为一体的旱区划属及类型分区,确立与各类型旱区水资源存在状况相适应的发展方略,持续地增进水资源生产潜力,应视为旱区农业永续发展的一项基础工作。

一、引言

干旱半干旱位居我国北方气候干旱区,地域广袤,生态脆弱,农牧交错,以牧为主。除少量绿洲等灌溉农业区外,应着力生态维护,重在草地畜牧业;连同北方湿润气候区在内的半湿润和半湿润偏旱区,是北方农业精华之地,粮食主产区。深度的农业开发,已使水资源捉襟见肘,致力于水资源生产潜力增进和利用效率的提高,势在必行;面对愈益严峻的南方湿润气候的季节性干旱的旱情发展,把452个农业干旱县悉数包容于旱区,应是情理之举并予高度关注。

水分生产潜力提升的技术途径;①提高植物种群内在生产力;②强化植物生活要素调控力度;③优化作物种植结构;④控制农田水分非目标性输出等,应是农田水分生产潜力增进利用效率提高的基本途径。建议:①突破北方旱区研究之范围局限,扩大为南北旱区全方位;②突破降水生产潜力局限,覆盖灌溉降水的水资源全方位;③国家立项,长期定位,系统研究;④尽早开展水资源承载力及全国类型分区研究。

干旱是一种复杂的自然和人类社会的综合现象,因降水不足缘起,又与人类生产活动密切相关。正确地认识干旱,并予科学应对,是农业社会发展的必需。

二、应予警觉的“旱情加剧,旱区扩大”的干旱发展态势

(一) 气候“干暖化”与“暖湿论”

依照水文循环规律,以水汽为给源的大气降水,原则地视为“纯净水”。降水一经降落,在其与土壤密接的滞留过程中,使土壤中可溶性盐类成为盐的水溶液,逐步而又不可逆转地汇聚于海洋,年复一年地富集确能使海水浓度趋势性升高,水汽蒸发及大气降水趋势性减少。与此相应的水的汽化热留存量逐步累积,使气候缓慢地呈现“干暖化”,这是“旱情加剧,旱区扩大”见识的一个论点所在。

近半个世纪,全球工业化和社会发展增速,化石能耗量前所未有地增长,导致大气温室气体浓度上升,全球气候变暖已成不争事实。缘此,极地冰川快速消融使海水淡化,水汽蒸发量加大,降水相应增加,气候趋于暖湿。然这一认识真正的气候效益,远未定论。

“干暖化”与“暖湿论”都相当程度停留在推理阶段,尚待进一步验证。然而近半个世纪,可以感受到的是全球干旱发生频率的上升。美国航天局的一份报告称:从20世纪50~80年代,干旱发生频率不到1/300,迅速提升到近10年间的1/10。航天局的汉森认为,今年席卷全美的高温酷旱,更是“旱情加剧,旱区扩大”的佐证。诸如沙漠化在有增无减、冰川退缩、雪线上升、湿地干涸、河川断流、地下水沉降、海水内渗等,都准确无误地展示着干旱发展的态势。

(二) 干旱益发严峻地危及世界粮食安全

受全球气候变化和人口增长的影响,世界旱区国家(地区)已从50年前的53个扩增至102个。世界气象组织认为,自1861年有仪器记录以来,全球平均气温已上升0.6℃,高温与干旱相伴而行。继上世纪50年代非洲百年不遇的大旱之后,全球范围的旱灾此起彼伏。粮农组织的统计表明,干旱使全球粮食生产计划严重受挫。虽然近50年间世界粮食增幅高过人口增长,人均占有数量有所提高,近10年间三次全球粮食危机,可谓明证。

统计表明,饱受旱灾饥饿之苦的非洲,近60年间粮食供给从未宽松,1956年、1988年、1995年以及近10年间的北美、欧洲乃至澳大利亚旱灾减产,出口减少,粮价轮番暴涨。全球饱受缺粮之苦的人口数以亿计,导致许多国家社会动乱,政局不稳。今年持续近半年的美国大旱,已使60%的美国本土范围的29个州、1297个县约80%面积的玉米、大豆受到严重影响,旱情之重前所未有,国际粮食期货价格大幅上扬,加上西欧酷暑难消,乌克兰、俄罗斯以及印度粮食产量大幅下降,预期明年的全球粮食危机重现在所难免。

干旱,也使西方粮食大国产量受损,然而凭借他们的资源优势 and 足量的储备,趁干旱减产之机,控制粮食出口,大力炒作、哄抬粮价,使危机转嫁到粮食进口国家身上,维护他们的粮食垄断地位,推行他们的粮食战略,以制于人。

(三) 我国的气候干暖化

世界气象组织研究认为:未来半个世纪中国降水有增有减,但减幅高过增幅。国家气象局估算,未来 20 年间,全国气温将升高 1.7°C ,除沿海地区降水有所增加外,长江中下游将出现变干迹象,华北和东北将继续变干。近 20 年间逾 15 个暖冬,使我国冰川不断收缩,预计未来 50 年将减少 27.2%。冰川退缩,雪线上升必将危及江河水源,进而影响我国农业精华之区。

经对全国 22 个省会城市 50 年间降水、气温的统计分析,① 气温无一例外地呈现上升趋势,增量范围 $0.1 \sim 0.9^{\circ}\text{C}$,增幅为 $0.6\% \sim 33.3\%$;② 有 16 个城市降水量减少,减量为 $24 \sim 240 \text{ mm}$,减幅为 $3.2\% \sim 17.6\%$;有 6 个城市降水增多,增量为 $1.8 \sim 117.0 \text{ mm}$,增幅为 $1.7\% \sim 10.4\%$ 。总体而言,降水减量多于增量,减幅高过增幅。

近半个世纪间,我国农业受旱面积呈现持续扩大趋势:从 20 世纪 50 年代的 1750 万 hm^2 ,到新世纪近 10 年的 2785 万 hm^2 。其中,2000 年全国受旱农田面积 4054 万 hm^2 ,为历史最多。新世纪不多的 10 年间,全国高温酷旱接二连三,继 2000 年南北大旱之后,2002 年江淮伏旱,2003 年秋冬连旱和三季度连旱覆盖南方大部分地区;2005 年珠江流域降水奇少,河川径流难以烘托海潮,致使咸潮压境,港、澳、穗、深城市用水告急;2006 年川、渝高温酷旱历史仅见;2009 年西南大旱触目惊心,今春云南及周边旱情之重,前所未有。

三、干旱的理念及其双重属性

(一) 不同视角的干旱理念

干旱是水分收支或供需失衡形成的水分短缺。气象工作者从大气系统着眼,把降水不足蒸散之需视为干旱;水文学家把水资源的短缺与干旱等同;植物生理学家把水分不足植物生长发育之需说成干旱;农业工作者把土壤供水不足植物生产之需认为是干旱;社会经济学家认为的干旱,是供水不足以保障社会经济发展和生活需要。由于视角的差别,迄今尚难形成为各方认可的干旱定义。

(二) 干旱的自然属性

干旱气候和湿润气候的空间分布及其差异属自然规律,大气环流引起的地

域差异是不足以人类意志为转移的自然属性。通常把降水数量不足蒸散所需呈现的水分亏缺之地视为干旱区或旱农地区;降水超过蒸散所呈现的水分盈余之地,视为气候湿润地区。照理,气候干旱区理应干旱,气候湿润区理应不旱,但并不尽然。

(三) 干旱的社会属性

农业,人类社会发展的基础产业,是社会基本的经济活动。确立与各气候类型区水资源存在状况相适应的生产规模及开发强度,可以使旱区不旱,比如干旱区的绿洲规模与冰川融水量相适应,绿洲生机盎然赛江南;若逾越水资源载荷力扩大规模,则将“沙进人退”危及绿洲安全。即使在湿润气候区,不顾可能地提高复种程度,并与旱季重叠,仍将遭遇干旱之苦。

一个国家乃至地区,在特定的时段内水资源的存量较为稳定,而人口增长,社会发展对水资源的耗用与日俱增,这是“旱情加剧,旱区扩大”的主导因素,更是湿润气候区旱情发展的助推动力。融干旱的自然属性和社会属性为一体的干旱发展观,应是科学认识干旱,应对干旱的理念基础。

四、突破气候干旱的旱区划属传统,科学界定我国旱区范围

1983年8月,胡耀邦同志在“北方旱地农业工作会议”上指出,“中国旱区究竟有多大?以什么标准划分?……至于怎样划分更科学,究竟分几类几级为好,我没有研究,还要请你们仔细考虑。”农业部以此作为重点项目,完成《北方旱区农业分类分区及评价》工作任务。

(一) “秦岭—淮河”南北气候分界线——我国旱区划属的传统依据

国外旱农地区界定多局限在:①无灌溉条件的半干旱—半湿润地区;②不采用灌溉的年降水量少于500 mm的地区;③有少量补充灌溉条件的降水稀缺地区。显而易见,这种旱区的划属仅只考虑干旱的自然属性,较少顾及干旱的社会属性,甚而连绿洲农业区也被排除在外。

我国学者对此有所扩展,认为旱区理应涵盖“干旱、半干旱偏旱、半干旱、半湿润偏旱和半湿润”等5个类型区。经过拓展的我国旱区的南界,基本与“秦岭—淮河”我国南北气候分界线相吻合。虽然学界也曾注意到:①气候干旱应涉及终年干旱和短期干旱两个方面;②短期干旱可能发生在气候干旱区,也可能发生在湿润气候区的任一季节。然而在我国旱区划属范围上,依然突出干旱的自然属性,固守“秦岭—淮河”南北气候分界线,甚少顾及南方湿润气候区的季节性干旱,习惯地把北方气候干旱区视同为中国旱区。

(二) 我国北方并非全部属于气候干旱区

依照北方旱区划属指标,我国北方气候干旱区涉及 18 个省、市、自治区的 762 个县(市),占全国 2012 个县(市)总量的 37.7%,其中有 439 个县(市)欠缺灌溉保障,属农业干旱县,占全国 953 个农业干旱县数的 46%。

“秦岭—淮河”作为我国南北气候分界线,无可厚非。我国北方气候干旱区虽然位居北方气候区,但其范围并不等同于整个北方气候区:大小兴安岭及其毗邻的松嫩平原的一部,长白山系西侧相邻的三江平原之一部,以及山东省的胶东半岛的年降水量 ≥ 600 mm、干燥度(K) ≤ 1.0 ,属典型的温带湿润气候区,其面积约占北方 7% 的份额,共涉及 5 个省(自治区)的 62 个县(市):内蒙古 6 个,黑龙江 24 个,吉林 16 个,辽宁 8 个,山东 8 个。

我国北方气候干旱区约占北方气候区 90% 多的面积:① 干旱区占北方气候干旱区近 50.8% 的面积;② 半干旱偏旱区和半干旱区占有逾 25% 的面积;③ 半湿润偏旱和半湿润区约占 16.7% 的面积;④ 湿润区面积占约 7% 多的份额。干旱半干旱总共占北方气候干旱区 76% 面积,属我国农牧交错带的生态脆弱区,其中的干旱区除少量绿洲及灌溉农业区外,广布沙漠、戈壁、荒漠草原,以牧为主;半干旱偏旱区虽可勉力旱作,产量低而不稳。整个干旱半干旱区均应着力生态维护,重在草地畜牧业。连同北方湿润气候区在内的半湿润易旱及半湿润区农耕条件好,属北方农业精华之地,粮食主产区,因为开发强度大,水资源已捉襟见肘,极力增进有限量的水分生产潜力已迫在眉睫。

(三) 应予着重包容的南方湿润气候的季节性干旱区

“秦岭—淮河”及向西延伸到昆仑山系一线南侧,均为湿润气候区,共涉及 24 个(市自治区、直辖市)的 1130 个县(市)。其中山地丘陵多,水利设施难以到位,复种指数高,开发力度大,经常受季节性干旱影响的农业干旱县多达 452 个,占全国农业干旱县总量的 47.4%。我国南方农业干旱县山地丘陵土壤发育晚近,土层浅薄,理化性状差,持水能力弱,稍一遇旱,极易成灾,一季减产不亚于北方一熟区全年损失,甚而有过之而无不及。

我国南方季节性农业干旱县集中分布在云贵高原及其周边的渝、川、黔、滇、藏、桂 6 个省区共约 334 个县(市),占南方农业干旱县(市)总量的 73.9%,以贵州 89.5% 为最(68/76),依次为重庆的 85.7% (18/21),西藏的 79.6% (35/44),云南的 71.8% (84/117),四川的 68.9% (95/138),广西的 45.3% (34/75);少量分布于陕南(22 个)、甘南(16 个)、豫南(24 个),以及海南(10 个),台湾(8 个);零星分布在鄂西北、湘西南、粤北、大别山区、武夷山区以及江淮平原、苏北滨海地区。

五、水分生产能力持续增进,旱区农业永续发展的依托

(一) 我国旱区农业发展的战略地位

我国南北旱区占有全国 70% 的陆地疆土,过半的人口,60% 多的耕地,以及 70% 左右的森林、草原。改革开放的 30 年间,旱区农业长足发展,全国 65% 的粮食、近 80% 的棉花、约 60% 的油料;65% 的肉类、近 90% 的奶类和 75% 的禽蛋;以及 2/3 的热作农业产品均产自我国旱区。是我国难以替代的商品农业生产基地,为维护国家粮食安全做出贡献。

然而,受制于自然、社会等的多重因素制约,现阶段旱区农业生产、农村经济和社会发展与发达地区相比,差距仍大。旱区的农业基础设施、现代化水平以及抗御灾害能力仍较薄弱,致使旱区应能实现的生产能力远未成为现实生产力。可以认为,没有旱区农业的发展,难有我国农业综合生产能力提升,着力旱区农业生产能力全面提升,对全面建设小康社会至关重要。

我国旱区贫困人口多,贫困面广,旱区贫困人口占全国贫困总量的 80%;旱区是我国多民族聚居地,全国 637 个民族县的 466 个位于旱区;全国 129 个陆边县的 121 个位于旱区。足见,加快旱区农业生产、农村经济和社会发展步伐,是增进民族团结、稳固边疆和国家安全的重要基础。

(二) 持续增进的水分生产潜力,旱区农业发展能力储备的必备

有关农业资源生产能力及其人口承载力的研究,以往多局限在土地方面,甚少水资源生产能力及其人口承载力的研究。然而,土地并非植物基础的生活要素,仅只是作为水分和矿质营养的载体,诸如:干旱区的绿洲农业区,有水是绿洲、无水成荒漠;旱地改水地,一季成两季,低产变高产。只要植物生长发育的光、热、水、气、矿质营养同时具备,无土栽培也成事实。可以认为,土地生产能力实质应是水资源生产能力。面对人口峰值的逼近,以及更高水平小康社会对农产品与日俱增的需求,持续增进有限水资源的生产潜力十分紧要。

水资源的生产潜力,应视为特定历史时段科学技术应能实现的最大生产力,随着科学技术进步,有限量的水资源的潜在生产必将不断提升。那种认为水资源生产潜力的高不可攀和永难实现的论点,不符合人类对自然渐进地认识规律。经过举荐,从“七五”起,旱区农田降水生产潜力及开发正式纳入北方旱区农业攻关项目。通过近 20 年的“降水生产潜力探查,障碍因素揭示和开发途径确定”,为我国北方旱区农业发展提供决策依据。北方 8 省区的农田降水利用效率整体地从 28.5%,提高到 42.8%;项目示范区农田降水利用效率达到 52.3%,高

产示范田达 65.7%,高产记录田高达 91.3%。可以预见,随着旱作技术的进步和普及,北方旱区农田降水利用效率,必将逐步逼近攻关时段所显现的降水生产潜力值。对此,不停顿地依靠科学技术的进步,未雨绸缪地持续提升水分生产潜力,应是旱区农业永续发展的基础。

(三) 旱区农田水分生产潜力增进的根本

(1) 多种途径加大旱区生物种质资源研发力度和创新能力,不断提升旱区农田作物种群的内在生产力,极尽可能地使有限水资源应能实现的潜在生产力化为现实生产力。

(2) 强化植物生活要素调控力度,最大限度地使植物生长发育置于可控的环境之中,使水分生产潜力持续增进和水分利用效率的不断提升成为可能。

(3) 确立与水资源存在现状相适应的农田作物种群结构,不断提高作物阶段需水与降水季节分配吻合度,借以整体地增进水分生产能力和利用效率。

(4) 借助于生物的、化学的、物理等途径,控制水分蒸发、渗漏、径流等非目标性输出,使有限水分最大限度地化作有效的植物蒸腾。

六、关于加强水分生产潜力研究的若干建议

农田降水生产潜力及开发研究起始于 1983 年农业部《黄土高原农业生态系统及控制》,1987 年正式纳入国家《北方旱农区域治理与综合发展研究》攻关项目,直到“十五”末。先后在半干旱偏旱区、半干旱区、半湿润偏旱区和半湿润区,对 13 个农作物的降水生产潜力进行研究。研究范围之广、持续时间之长、涉及作物之多,为国内外仅见。通过旱作农田降水生产潜力探查,障碍因素揭示,以及开发途径的确立,为北方旱区农业发展提供决策和技术依据,促进了北方旱区一个时段的农业发展。面对旱情加剧,旱区扩大,旱情发展势态,借助科学技术进步,不断提升有限水资源生产潜力十分紧要。特建议:

(一) 扩大水分生产潜力研究范围

突破以往北方旱区的局限,把水分生产潜力的研究扩大到整个南北旱区。在北方旱区已有的半干旱偏旱、半干旱、半湿润偏旱和半湿润 4 个类型区研究基础上,增扩干旱区和北方湿润气候季节性干旱区 2 个类型;南方湿润气候季节性干旱区的夏早伏旱区、冬旱区、冬春连旱区以及高寒农业干旱区等全部 4 个季节性干旱区均应全部涵盖。

与此同时,还要突破旱作农田降水生产潜力的局限,增加水田、水浇地的灌溉水生产潜力研究,实现水资源生产潜力研究的全方位。

(二) 长期定位系统研究

水分生产潜力的持续增进及开发,属于农业生产领域带有长期性的基础研究工作。1983—2005年虽曾持续18年的旱作农田降水生产潜力研究,由于项目任务的时段性的限制,以及承担单位及研究基点的变动,迄今为止还没有一个长期定位研究基点。面对气候的变化、降水及热量的年际变动,持之以恒地定位系统研究实属必要。

水分生产潜力持续增进的长期定位,应覆盖南北旱区的各个类型区,此项研究应选择预有工作积累和条件具备的科教单位承担,由科技部委以长期工作任务,并予经费支持。

(三) 设置启动水资源人口承载力及全国区划研究专项

水是生命之本。确立与各类型区水资源存在状况相适应的社会经济结构,可以使旱区不旱。超越水资源负荷能力的发展,将会危及生态安全和社会经济发展。以往注重的土地人口承载力的研究,实质上应是水资源生产能力的人口承载量。在全国各类型区水资源潜力研究基础上,不失时机地开展水资源人口承载力的研究,将能为今后的区域调水、生态移民、农业区域资源优势发挥、城市群的布局及发展规模,乃至整个社会经济格局的调整,提供重要的抉择依据。



王立祥 1935年生。1957年西北农学院毕业留校任教,现为西北农林科技大学教授、博导。曾任西北农业大学科研处长,干旱半干旱研究中心副主任。享有农业部属高校“优秀教师”、“陕西省优秀博士生导师”及“突贡”专家等荣誉称号。他长期致力于旱区农业发展和高效耕作制度研究,以水分生产力工作见长。近30年间主持北方旱区农业发展攻关及省部级重大项目研究多项,并获国家自然科学基金和UNDP项目资助。获国家科技二等奖及省部级10

多个奖项,所著《中国北方旱区农业》、《中国旱区农业》双获国家图书奖。曾就全国和区域农业发展、粮食生产格局、南方季节性干旱、区域调水及移民、南水北调中线水源区与惠及区协调发展互补机制构建,以及提振农田复种指数增进粮食生产能力等,向中央建议或作为人大提案,受到重视或采纳。

中国北方沙漠化土地的治理

王 涛

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所

中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室

一、引言

沙漠化(Aeolian desertification)是荒漠化(Desertification)的主要类型之一,也是当今世界面临的 最大环境—社会—经济问题之一 。由于沙漠化土地面积的迅速扩展,使大范围农牧土地退化,引发局部区域的贫困加剧、经济损失乃至政局动荡和社会安定问题。上世纪后期由于沙漠化在干旱地区,尤其是在非洲的加速发展,导致的社会经济和政治问题,引起全世界的警惕。1977年“联合国荒漠化大会”(UN Conference on Desertification)的召开和1992年根据联合国的决议,通过政府间的谈判,形成的《联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》(简称《防治荒漠化公约(UNCCD)》),都说明了国际社会的重视和与荒漠化作斗争方面的共识。我国积极参与了《防治荒漠化公约》政府间谈判,是第一批签署公约的国家,并提出生态环境建设是“西部大开发”战略的首要任务,其中沙漠化防治(防沙治沙)就是其最重要的组成部分。

我国是世界上受沙漠化危害最严重的国家之一,沙漠化土地主要分布于包括内蒙古、宁夏、甘肃、新疆、青海、西藏、陕西、山西、河北、吉林、辽宁、黑龙江等部分地区在内的北方干旱半干旱地区和部分半湿润地区,尤以贺兰山以东的半干旱区分布更为集中。根据近30年来的研究与实践,我们认为:沙漠化是干旱、半干旱及部分半湿润地区由于人地关系不相协调所造成的以风沙活动为主要标志的土地退化。也可以说,沙漠化主要是发生在人类历史时期,特别是最近一个多世纪以来;强调人地关系及其相互作用,即:只有人类活动对自然环境和资源的不利影响与以风为主导外营力的相互作用下造成的土地退化才是沙漠化。

沙漠化给生态环境和社会经济带来极大危害:一是破坏生态平衡,使环境恶化和土地生产力严重衰退,危及当地人民的生存发展,加重了贫困程度;二是导

致大面积可利用农牧业土地资源的丧失；三是严重威胁村镇、交通、水利、工矿设施及国防基地的安全，严重制约社会经济的持续发展。

二、北方沙漠化土地的时空变化

遥感监测和评价结果表明，我国北方沙漠化土地自 20 世纪 50 年代后期以来一直处于加速发展的态势，沙漠化土地年均发展速率 20 世纪 50 年代到 70 年代中期为 1560 km^2 ，1976 年到 1988 年提高到 2100 km^2 ，1988 年到 2000 年之间达到 3600 km^2 。到 2000 年沙漠化土地已达到 38.57 万 km^2 ，其中潜在和轻度沙漠化土地 13.93 万 km^2 ，中度沙漠化土地 9.977 万 km^2 ，重度沙漠化土地 7.909 万 km^2 ，严重沙漠化土地面积 6.756 万 km^2 ，它们主要分布在农牧交错带及其以北的草原牧业带、半干旱雨养农业带和绿洲灌溉农业与荒漠过渡带。“整体恶化，局部治理”是近 1950—2000 年间北方沙漠化土地变化的基本趋势。沙漠化土地的迅速发展不仅使中国北方的生态环境面临严峻的挑战，而且严重影响中国整个区域国民经济的发展以及人民生活水平的提高。

国家对沙漠化治理非常重视。自 1978 年“三北”防护林建设工程以来，还重点实施了“京津风沙源治理过程”、“退耕还林工程”和“天然林保护工程”等，并且逐渐获得了较好的成果。如 2010 年中国北方沙漠化土地为 37.59 万 km^2 ，较 2000 年减少了 0.98 万 km^2 。其中轻度沙漠化土地占 33.80%，中度沙漠化土地占 22.84%，重度沙漠化土地占 22.16%，严重沙漠化土地面积占 21.21%。沙漠化土地年平均变化为：2000 年至 2005 年减少 $1635 \text{ km}^2/\text{年}$ ，净逆转 $10\,071 \text{ km}^2/\text{年}$ ；2005 年至 2010 年减少 $1114 \text{ km}^2/\text{年}$ ，净逆转 $7552 \text{ km}^2/\text{年}$ 。空间上沙漠化发展和逆转发生的区域主要为半干旱地区的农牧交错带。

三、沙漠化过程对农牧业的危害

对科尔沁地区典型沙漠化过程的分析研究结果表明，沙漠化对农牧业方面的主要危害体现在土壤养分、生物多样性、初级生产力和生物量都呈减少趋势，其主要的试验和分析结果如下。

（一）土壤养分的下降

旱作农田的沙漠化发展过程中土壤养分含量均明显下降。如轻度沙漠化土地和非沙漠化土地相比，土壤有机质、全氮、速效氮含量已分别下降了 58.8% ~ 66.2%、43.9% ~ 62.1% 和 31.4% ~ 33.3%；严重沙漠化土地和非沙漠化土地相比，上述三项指征分别下降了 65.5% ~ 89%、72.8% ~ 92.8%、69.0% ~ 74.3%。土壤养分是作物赖以生长、繁殖的物质保障，其含量的多少直接关系到

其生物量的高低。显然,土地沙漠化后,土壤养分环境的恶化是植物(作物)生长、发育和繁殖受阻的重要原因之一。随着沙漠化土地程度的加剧,草地有机质含量与非沙漠化草地相比,分别减少了2.96、4.69和9.07倍,耕地分别减少了2.43、2.51和2.90倍;全氮:草地减少了1.75、2.33和14.00倍,耕地减少了2.64、2.64和3.68倍;速效氮:草地减少了1.46、2.33和3.89倍,耕地减少了1.50、2.33和3.23倍。

由于沙漠化过程,使得耕地和草地土壤养分含量相对于非沙漠化土地减少了1.5~10倍之多。

(二) 生物多样性的减少

植物多样性是度量植被发育进程和稳定性的重要指标。由于我国北方半干旱农牧交错区既处于气候的过渡区,又是风沙区,相当一部分植物处于其生存和竞争能力的下限。一旦土地出现沙漠化使之生态条件急剧恶化时,其生物多样性相应就会急剧下降。在科尔沁沙地草地植被的生物多样性要高于沙地植被,发生轻度沙漠化时多样性指数下降幅度较小,草地为1.8%,沙地为11.1%;从中度沙漠化发展到严重沙漠化时其下降幅度很大,分别为80.5%和85.3%。其主要原因是草地水土条件一般要好于沙地,前者种植饱和度为30~40种/m²,后者为20~30种/m²;发生轻度沙漠化时土壤和小气候环境尚未发生本质变化,对生物多样性影响较小,严重沙漠化时不仅土壤环境恶化,而且风沙流危害严重,使植被退化进程加快。

随着沙漠化土地程度的加剧,草地和沙地草本植物多样性变化分别减少了1~6倍和1~8倍。

(三) 初级生产力的下降

沙漠化过程对生态系统初级生产力的影响非常明显,无论草地还是沙地,轻度沙漠化时生产力水平即下降41.1%~50.6%,严重沙漠化时其生产力已只有非沙漠化的3.3%~10.4%。虽然农田生产力在实施耕作管理措施下,下降幅度小于天然植被,但下降总幅度也在57.4%,这对于农业生产来说,危害也是极其严重的。沙漠化所导致的这种生产力的急剧下降,使生态系统的次级生产力失去了物质基础,人类从系统中所能获得的农产品产量锐减。但在一些沙地植被中,由于存在喜适度沙埋植物如差巴嘎蒿等,在半流动沙地其生长旺盛,生物量反而高于固定半固定沙地,但喜沙埋植物的出现同时也说明,环境恶化已经到了很严重的程度。

随着沙漠化土地程度的加剧,旱作农田、放牧草地和沙地植被的地上生物量

分别下降了 1~2 倍、2~30 倍和 1~9 倍。

在科尔沁地区奈曼旗沙质草地进行为期 5 年的放牧试验结果也表明,过度放牧对草地生态系统的危害很大。连续 5 年的过度放牧啃食和践踏,使草地生物多样性、植被盖度、高度和初级生产力分别较禁牧区低 87.9% (-7.3 倍)、82.1% (-4.8 倍)、94.0% (-15.7 倍)和 57.0% (-1.3 倍),草地现存生物量仅为禁牧区的 2.1% (相差近 50 倍)。特别是次级生产力从第 3 年开始转为负增长,使草地终极产出功能完全受到破坏。5 年时间内,过度放牧就使沙质草地受到如此严重破坏,这是周边毗邻的地带性草地所不及的。

(四) 沙漠化过程生物量损失的评估

以上分析表明,随着土地沙漠化程度的加剧,土壤养分恶化的趋势明显,严重地影响了植物(作物)生长、发育和繁殖;伴随沙漠化的发展和生态条件的急剧恶化,生物多样性相应也会急剧下降。这些土壤的物理化学性质恶化和植物群落退化,最终都反映到了生物量的下降。根据 2000 年科尔沁地区沙漠化土地的分布状况,结合不同类型和程度沙漠化土地地上生物量下降的监测结果,我们评估的结果是:2000 年度旱作农田由于沙漠化过程所造成的地上生物量损失量约为 68.6 万 t,放牧草地的地上生物量损失量约为 1008.2 万 t,总的损失量为 1076.8 万 t。再根据 1959 年至 2000 年科尔沁地区土地沙漠化动态变化的数据,我们若以年均分布 50 000 km² 左右的沙漠化土地为计,那么在这 41 年间该地区由于沙漠化过程所造成的地上生物量损失约为 44 150 万 t。

四、沙漠化治理的战略、指导方针和基本原则

沙漠化发展和逆转的过程都是人类活动与自然环境和资源相互影响和协调的结果。朱震达先生根据野外调查及遥感技术的应用,从土地利用的角度分析发现:由于过度农垦而导致土地退化的占沙漠化土地面积的 25.4%,由于过度放牧的占 28.3%,由于过度樵采的占 31.8%,水资源利用不当及工矿建设破坏植被所引起的占 9%,而单纯由风力作用的沙丘前移所形成的沙漠化土地仅占 5.5%。由此可见,人为因素应当是沙漠化过程中最为活跃和主要的因素。以土壤风蚀为例,通过野外和沙漠环境风洞实验发现,人类活动对沙漠化土地发展的加速度可以是自然条件下的 4~10 倍;而且,随着沙漠化程度的加剧,所产生的在土壤养分、生物多样性和生产量等方面退化的加速也与自然条件下的情况相差 3~10 倍以上。沙漠化实际上就是由于人类不合理的经济活动破坏了干旱、半干旱及半湿润地区人地系统的平衡,又无法通过内部的自我组织和反馈机制使系统迅速得到恢复,从而导致了系统内诸自然环境要素的退化,使得原有的疏

林沙质草原地理景观演替为以风沙活动为主要形式的沙漠景观。因此,可以说,沙漠化的整个发展过程就是干旱和半干旱区的人地系统内部各要素之间以及各要素同外部环境之间通过物质、能量、信息的流动而使其结构和功能发生变化的动态演化过程。要治理沙漠化,只有通过人类主动地调节自身活动及自我适应性,建立一个互为调适、协同进化的人地关系,优化区内人地系统的结构和功能,系统才能在新的条件下达到新的平衡,并且向良好方向发展。所以,在讨论沙漠化防治的战略时,要充分考虑到人地关系的相互作用及其协调。总体而言,应该根据我国北方沙漠化地区自然环境与资源、社会经济特点及沙漠化发展趋势、开发利用中存在的问题和治理的典型经验,沙漠化土地防治必须本着生态效益、经济效益和社会效益统一的目标来进行。据此,我们提出以下我国沙漠化防治的战略、方针和基本原则,供讨论。

我国沙漠化防治的战略:把握西部大开发的有利时机,以全面建设小康社会为目标,协调沙漠化地区自然资源环境与人类活动的关系,建立既能防治沙漠化土地又能保障可持续发展的生态、社会和经济体系。

沙漠化防治的指导方针:保护优先,重点治理,合理利用,协调发展。

沙漠化防治的基本原则:一是“以防为主,防治并举,突出重点,先易后难”的原则;二是“因地制宜,扬长避短,统筹规划、综合治理”的原则;三是“沙漠化防治与脱贫致富相结合”的原则;四是“宣传教育、政策引导与农民自愿相结合”的原则。

五、沙漠化防治的基本途径

沙漠化是人与自然相互作用的结果。在沙漠化的防治中,既要充分考虑减轻人类对生态环境的压力,又要符合其自然发展规律和提高资源的生产潜力,注重必要的财力和物力投入以提高单位面积土地的承载力,在防治过程中逐步改善人与自然的关系,使之逐步融洽和协调。在这方面,经过政府部门、科研人员和地方干部与农牧民多年的实践和摸索,针对不同地带的自然环境与资源、社会经济等实际情况,已经总结出了主要的基本途径。主要有:① 调整土地利用结构,坚持以林牧为主,多种经营;② 增加投入,积极推动退耕还林还草工程,使沙漠化土地得以休养生息,提高土地的生产力;③ 有效地控制人口增长,减少对沙漠化区域环境和资源的压力;④ 依靠科技进步,推进沙漠化防治实践科学性和有效性;⑤ 采取切实有力的保证措施,确保沙漠化防治的顺利进行,主要包括:深入宣传发动,提高环境认识;固定土地使用权,实行生产与环境保护双承包;贯彻《防沙治沙法》,真正将沙漠化防治纳入法制化轨道。

在防治的具体部署上,采取科研机构以实验区进行治理实验为主;科研部门

与生产部门相结合,以具有一定的面积范围的示范区为主;和科研机构、生产部门与地方群众相结合,以推广区为主的三个层次的形式。在防治的具体措施上,对于农牧交错区,以生态户为基础,采取天然封育、调整以旱作农业为主的土地利用结构、扩大林草比重和集约经营水土条件较好的土地,并与营造护田林网相结合,丘间营造片林(灌丛)与封育相结合的措施;在北方草原牧区,除了合理确定载畜量、合理轮牧、舍饲、建立人工草地及饲料基地外,还应与合理配置水井、确定放牧点密度、修建固定道路结合起来;在干旱地带以流域为生态单元进行全面规划,合理分配用水计划,以绿洲为中心建立绿洲内部护田林网与绿洲边缘、乔灌结合的防沙林带以及绿洲外围机械沙障与障内栽植固沙植物等措施相结合形成一个完整的防治体系。另外,通过密集流沙地区的交通沿线可采用沙障与固沙植物相结合的固阻结合、以固为主的防护体系。



王涛 1988年毕业于中国科学院兰州沙漠研究所,获理学博士学位,主要研究沙漠环境、沙漠化过程与防治。20多年来,先后主持的科研项目和课题主要包括:国家“八五”重点科技攻关专题、中国科学院重点项目、国家自然科学基金课题、国家973项目和若干国际合作项目。科研成果:完善了沙漠化概念及内涵;对沙漠化的环境背景、物理过程、人为过程、环境过程、逆转过程等方面的研究都有一定程度的进展;建立了沙漠化动态监测与评价方法,定量地提

出了我国北方近50年来沙漠化土地评价结果,论证其发展原因和时空分布,完成了综合评价和沙漠化防治区划。成果获得国内同行的认可。

现任中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室主任;兼任中国治沙暨沙产业学会副理事长、中国地理学会副理事长兼沙漠分会理事长、国际沙漠研究学会(IDRA)主席等职。

新疆灌溉农业发展与调控及若干问题的讨论

邓铭江

新疆水利厅

摘要:新疆地处干旱内陆地区,水资源总量不足,且区域分布相差悬殊,生态环境脆弱,经济系统与生态系统用水的竞争性矛盾十分突出。本文在深刻剖析干旱地区内陆河流域灌溉农业与生态环境特征、水资源利用近期演变趋势及其存在的主要问题的基础上,结合实施最严格水资源管理制度,对未来新疆各业用水总量、用水结构调控及区域平衡问题进行了探索分析,特别对未来灌溉农业水资源高效利用的调控方向、用水模式、人工绿洲内生态环境保护等问题进行了系统分析。并针对干旱生态脆弱区天然绿洲保护目标的适宜度与可控性、灌溉设计保证率、人工绿洲高效节水强度的适宜度与人工绿洲内的生态环境保护、地下水开发在农业灌溉系统和生态环境保护中的定位等问题,开展了分析讨论,以期为全疆水资源可持续利用与生态环境保护决策提供参考。

一、引言

新疆受“绿洲经济,灌溉农业”经济结构的制约,农业用水长期占国民经济用水总量的95%以上,经济系统与生态系统用水竞争矛盾十分突出,天然绿洲生态环境严重恶化。随着新型工业化、新型城镇化的加速推进,水资源供需矛盾将进一步加剧。在实施最严格的水资源管理制度的过程中,迫切要求采取有力措施,破解当前水资源开发利用中,用水结构与方式不合理、效率效益低、生态用水被挤占、地下水超采、农业用水不断增长等一系列问题。如何解决好水资源的瓶颈制约,在人工绿洲发展与天然绿洲保护的博弈中,寻求一条和谐与共的坦途,合理调控新疆灌溉农业的发展规模,是社会各界广泛关注的焦点与核心。围

绕这一核心,本文将深刻剖析干旱区内陆河流域灌溉农业与生态环境特征、水资源利用近期演变趋势及其存在的主要问题,阐述用水总量及用水结构调整面临的挑战与问题,探索灌溉农业发展方向与思路,并对干旱区生态环境演变的适宜度与可控性、地下水开发利用与保护定位、高效节水发展规模的适度性、灌溉保证率等问题进行探讨,以期为今后水资源开发利用与生态环境保护决策提供参考。

二、干旱地区内陆河流域灌溉农业与生态环境特征

(一) 山盆构型与河流廊道的景观生态特征

新疆国土面积 166 万 km^2 ,区内地貌轮廓鲜明,高耸宽大的山脉与广阔平坦的盆地相间排列,形成“昆仑山、塔里木盆地、天山、准噶尔盆地、阿尔泰山—‘三山夹两盆’”的山盆构型,把新疆分割成东疆、北疆和南疆 3 个区域。在远离海洋和高山环抱的综合地理因素影响下,形成典型干旱气候。年平均降水深 154.5 mm,为全国平均值的 23.8%。东疆位于吐哈盆地,盆地边缘降水深 30 ~ 50 mm,盆地中心约 15 mm。北疆位于准噶尔盆地,盆地边缘降水深 150 ~ 200 mm,盆地中心约 100 mm。南疆位于塔里木盆地,盆地边缘 30 ~ 80 mm,盆地中心为 10 ~ 20 mm。气候干燥,蒸发强烈,平原区蒸发能力为 1600 ~ 2200 $\text{mm}^{[1]}$ 。

新疆水资源十分贫乏的广袤区域,荒漠—绿洲—河渠廊道的景观模式明显^[2]。按水资源的形成、转化和消耗规律,结合地貌和植被景观特征,可将流域的生态系统划分为山地、河流水域、人工绿洲、自然绿洲以及戈壁荒漠五大类型,各生态系统类型的作用关系和相互影响是:① 山地生态系统是基础,在干旱区发挥“湿岛”作用,是径流的形成、水源涵养区;② 河流水域生态系统是主导,包括湖泊、湿地,对径流起传输和积蓄作用,是绿洲生态建立和改善的载体;③ 人工绿洲生态系统是核心,是地表径流的强烈转化和消耗区,支撑着干旱区人类的生存和发展;④ 自然绿洲生态系统是屏障,为径流的排泄和散失区,没有自然绿洲作为天然屏障,人工绿洲将难以存在;⑤ 戈壁荒漠生态系统是无流和缺水区,其蔓延和扩大对人类生存和发展会带来巨大危害(参见图 1)。

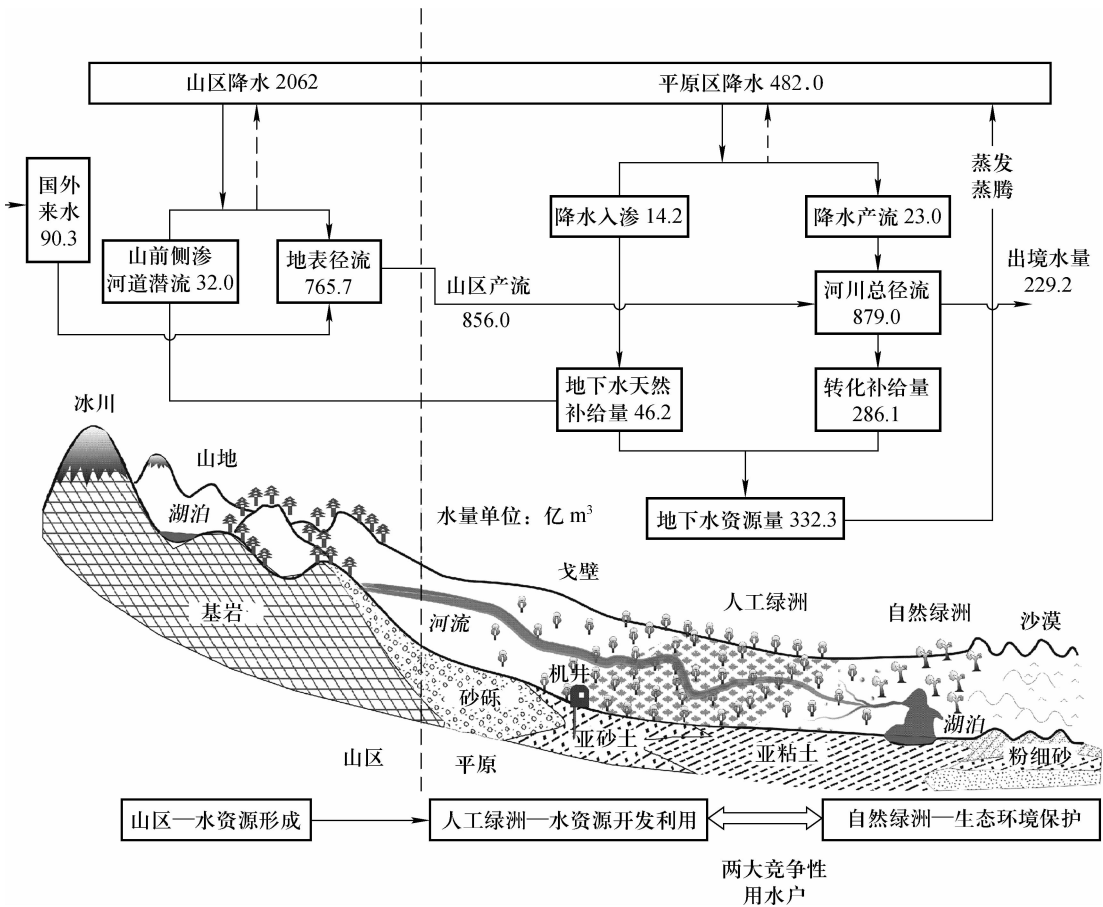


图1 新疆河流廊道景观生态分区示意图

(二) 绿洲经济与灌溉农业的区域经济特征

新疆共有大小河流 570 余条,有约 800 个相对独立的绿洲,国土面积虽大,但 90% 以上的区域为渺无人烟的瀚海荒漠和高山,现有绿洲面积仅为 12.90 万 km²,其中,天然绿洲的面积为 3.83 万 km²,占现有绿洲总面积的 29.7%^[3]。“绿洲经济,灌溉农业”是新疆区域经济的显著特征,其主要表现在以下 3 个方面:

① 光热资源丰富,灌溉农业发达。人类引水灌溉农耕形成的绿洲农业生态系统是干旱荒漠区的典型特征之一,水不仅是农业的命脉,也是整个国民经济的命脉。由于光热水土资源的特殊组合,具备建立优质、高产、高效农业的优越条件,自古以来农业经济即为新疆经济的主体,随着水土资源开发利用规模的不断扩展,灌溉面积已由解放前的 1800 万亩,发展到了现状的 8663 万亩,形成了规模庞大、独具特色的绿洲农业,而且绿洲区域内的工业经济与城市建设也得以迅速

发展;② 绿洲人口稠密,社会财富聚集。按总面积计算,新疆人口密度为 13 人/ km^2 ,按绿洲面积计算则为 149 人/ km^2 ,但是,若扣除天然绿洲面积,人工绿洲人口密度则达到 240 人/ km^2 。喀什噶尔绿洲、吐鲁番绿洲和石河子绿洲的人口密度与国内人口稠密地区不相上下。占土地面积不到 6% 的人工绿洲却聚集着 95% 的人口与 80% 的社会财富^[4],可见绿洲的兴衰与绿洲人民的生活息息相关;③ 维水性与脆弱性特征。由于水资源匮乏,使得大部分地区生态环境十分脆弱,主要依靠灌溉形成的人工绿洲,其生态环境和经济社会体系受水资源禀赋条件的强烈制约,自然绿洲系统的极度脆弱性使其对水土资源开发响应强烈,反过来制约水资源过度开发利用和人工绿洲经济社会系统的发展。

(三) 人工绿洲与自然绿洲的竞争性用水特征

灌溉农业的迅猛发展,把大量的水截流在位于上游的人工绿洲内,一方面造成“渠库结构”组成的人工水系不断膨胀,另一方面造成“河湖结构”组成的天然水系急剧萎缩。人工绿洲建立和发展是通过:人工渠道代替天然河流—人工水库代替自然湖泊—人工耕作土壤代替自然土壤—人工栽培植被代替自然植被—人工生态代替自然生态,最后形成以人工水系为支撑,以栽培植物为主体,包括由农田、人工林、人工饲养畜禽和乡村聚落耦合在一起的人工绿洲生态系统。荒漠化扩大和发展是经由:地表径流减少、河流断流、湖泊干涸、地下水位下降、丧失河流健康生命—耕地次生盐碱化、过度放牧、樵采开垦—荒漠植被衰败枯死,土地荒漠化加剧—地面失去保护,风力蚀积加强,造成荒漠化扩大。由此可见,水资源是联系各生态系统之间的关键和限制性因子,人类开发利用水资源,必然改变水资源的时空分布,从而使生态环境发生相应变化。在干旱区内陆河流域,人工绿洲建立和发展与荒漠化扩大和发展,呈现两种相反方向的环境演变模式,绿洲化和荒漠化是两大并存的环境变化趋势。科学把控,合理协调,人工绿洲与自然绿洲两大竞争性用水户的矛盾,是干旱区可持续发展的重大命题。

三、水资源开发利用现状、主要问题与近期演变态势

(一) 水资源利用情况

(1) 社会经济概况 2010 年全疆总人口 2181.3 万,城镇化率 40.6%。国内生产总值达 6208 亿元,人均 GDP 近 2.9 万元,相比 2007 年经济有了突飞猛进的发展,农业总灌溉面积为 8 663 万亩^①,人均灌溉面积 3.97 亩/人,粮食产量比

① 资料来源于《新疆农业节水建设规划》(新疆维吾尔自治区水利厅,2011 年 12 月)。

2007年增加了66.4%,人均粮食产量达693 kg(详见表1)。

表1 2010年新疆经济社会发展主要指标统计表^[5,6]

分区	人口			农业发展指标						
	总人口 (万人)	城镇化率 (%)	GDP (亿元)	人均GDP (元)	工业 增加值 (亿元)	农作物 播种面积 (万亩)	粮食播	棉花播	粮食总	棉花总
							种面积 (万亩)	种面积 (万亩)	产量 (万t)	产量 (万t)
东疆	115.1	41.2	358.9	31193	191.9	194	53.4	65.0	18.0	7.1
北疆	1043.6	55.3	4170.2	39961	2011.3	3676	1806.2	777.9	866.4	106.2
南疆	1022.7	25.6	1679.0	16417	651.3	3532	1411.5	1325.0	627.8	160.6
全疆	2181.3	40.6	6208.1	28460	2854.4	7402	3272.3	2167.9	1512.2	273.8
2007年 全疆	2095	39.2	3523	16950	1405	6304	2061	2070	909	272.5

(2) 水资源利用现状新疆多年平均河川径流量为879亿 m^3 ,2010年总供水量为535.08亿 m^3 ,扣除生态环境用水17.18亿 m^3 后,国民经济总用水量为517.90亿 m^3 ,各业用水情况参见表2。在总供水量中,地表水439.18亿 m^3 ,地下水95.15亿 m^3 ,中水回用0.74亿 m^3 ^[7](参见表3)。从多年平均河川径流量中扣除地表水引用水量 and 多年平均流出境外水量(879-439.18-229.2)后,天然生态直接耗用水量>208亿 m^3 ,满足《新疆水资源综合规划》生态需水要求。2010年地表水资源总量为1063亿 m^3 ,属丰水年景,实际出境水量和生态耗用水量,多于多年平均水平。

表2 2010年新疆分行业用水量统计表

分区	用水总量(亿 m^3)				用水结构(%)		
	农业	工业	城镇生活	合计	农业	工业	城镇生活
东疆地区	21.09	0.68	0.70	22.47	93.9	3.0	3.1
北疆地区	168.51	8.92	5.59	183.02	92.1	4.9	3.0
南疆地区	306.75	2.60	3.06	312.41	98.2	0.8	1.0
全疆	496.35	12.20	9.35	517.90	95.8	2.4	1.8

注:本表用水总量已扣除河湖生态补水量,2010年不含生态补水量的经济社会总用水量为517.90亿 m^3 。

表 3 2010 年新疆分区供水量 (单位:亿 m³)

行政区	地表水供水量				地下水供水量	其他水源	总供水量	地表水比例(%)	地下水比例(%)	其他水源比例(%)
	蓄水	引水	提水	合计						
东疆地区	2.4	7.32	0.36	10.08	13.61	0.02	23.71	42.51	57.40	0.08
北疆地区	28.32	24.09	2.12	154.53	39.79	0.67	194.99	79.25	20.41	0.34
南疆地区	35.98	35.06	3.53	274.57	41.75	0.05	316.37	86.79	13.20	0.02
全疆	66.7	366.47	6.01	439.18	95.15	0.74	535.07	82.08	17.78	0.14

3. 水资源利用评价① 以地表水供水为主,尤以引水工程为主,已建的 500 余座大中小型水库中,平原水库占 90% 左右,调蓄能力明显不足。② 农业用水占国民经济总用水量的 95.8%,35.38 万 km² 的农田四级渠道防渗率为 39.7%,灌溉水利用系数为 0.48,农业综合亩均用水量 704m³/亩(扣除旱地),农业用水效率低,节水潜力较大^[7]。③ 工业和居民生活用水增幅平稳,但污水处理回用量小,用水比重仍很低。万元 GDP 用水量平均为 834m³/万元,是全国平均水平的 5.6 倍。④ 地下水开发利用规模迅速扩大,占总供水量的比重已超过 30%,天山北麓东段、中段和吐鲁番、哈密、塔城地区地下水超采现象严重。纯井灌区的大规模发展,沙漠边缘大量开采深层地下水,因发展高效节水而大量开发地下水等不合理现象,已严重威胁到水资源持续利用和生态环境安全。

(二) 存在的主要问题

(1) 用水规模超过总量要求,且仍在持续增长。当前,在用水总量确定的前提下,水资源利用凸现出 3 个问题:① 2010 年,全疆用水总量(517.9 亿 m³)已超过用水总量控制指标(515 亿 m³)^[8],未来用水总量增加的空间十分有限(526 亿 m³)。② 工业和城镇生活用水增长平稳,农业用水依然呈持续快速增长趋势,短期内实现用水结构调控目标(农业用水占 93% 以下)难度较大。③ 现状地下水开发总量(95 亿 m³)已超过用水总量控制指标(75 亿 m³),在超采区没有得到有效治理的情况下,地下水开发增长迅猛,且多利用于农业开发。

(2) 用水结构不合理,用水效率和效益低。新疆人均用水量是全国人均用水量的 5.5 倍,农业用水长期占全疆经济社会总用水量的 95% 以上,单方水 GDP 产出约为 12 元,万元 GDP 用水量是全国平均值的 5.6 倍。农业单方水产出效益仅 2.73 元。与我国西北地区其他省(自治区)、同为我国农业大省的山

东、河南、黑龙江及同处干旱地区其他国家相比,新疆农业用水比例最高^[9]。

(3) 生态用水得不到保障,生态问题日益严峻。由于农业灌溉面积与以游牧为主的草原畜牧业的不断扩大趋势难以有效遏制,造成全区生态用水被大量挤占,生态环境问题日趋恶化:天然绿洲植被减少,荒漠化加剧;河流流程缩短,河道断流、河湖生态环境质量下降严重;水盐平衡失调,土壤次生盐碱化加重;山区与平原荒漠区草地生态系统退化。

(4) 水利基础设施建设滞后,先进的高效节水与落后的灌溉方式并存。河道天然径流年内分配极不均匀,使得春旱和夏洪是实现水资源合理配置、高效利用应解决的首要问题。但因水利投入前期欠账较多,水利基础设施总体还比较薄弱,尚不适应经济社会发展的要求。普遍缺乏控制性山区水库,农田水利设施配套不完善且老化失修,长期“重灌溉、轻排水”的做法,不仅使农业灌溉定额高,而且导致大面积的土壤盐碱化,新疆盐碱化耕地占灌区耕地面积的 32.1%。大部分地区农业用水普遍表现出“大水大引、小水大旱”的现象,浪费严重,保证率低。另一方面,近年来新疆高效节水发展迅速,已成为全国高效节水规模最大的省区,2011 年底新疆高效节水灌溉面积已达 2870 万亩。

(5) 水管理体制、机制不完善,农业水价偏低。除国内其他区域普遍存在的流域管理与区域管理相结合的体制问题外,新疆水资源管理还存在地方与兵团的统一协调问题。地方与兵团地域上交叉分布,绝大多数河流为共同开发利用,地下水资源交叉分布、难以分割,有关水管理制度、开发利用综合规划难以统一落实。兵地竞相开发现象长期存在,水事矛盾和纠纷不断。主要大河上水利水电工程主体多元化,上下游、发电与灌溉防洪、流域内与向外流域调水之间矛盾突出,水库群水量统一调度手段不足、实施困难,流域管理职能尚未充分发挥,用水总量控制和定额管理尚未取得预期效果,制度亟待健全。在水价改革方面,目前全区平均农业水价不到供水成本的 40%,南疆三地州不足供水成本的 30%,没有充分体现水资源的稀缺性和商品价值,严重影响了供水工程的良性运行和农户节水的积极性。

(三) 近十年新疆水资源开发利用演变态势分析

(1) 经济社会系统用水继续呈快速增长态势。近 10 年^[7],新疆经济社会总用水量呈年均 0.63% 的持续增长态势,其中农业用水仍然呈快速增长态势,年均增长 0.43%;工业用水平稳增长,年均增长为 2.7%;相比 2001 年,2010 年全区经济社会总用水量增长近 30 亿 m^3 。尽管农业用水增长率远不如工业,但由于农业用水量基数较大,导致近 10 年全区农业用水比例并未下降(参见表 4)。

表4 新疆2001~2010年各业用水情况统计分析表^[7] (单位:亿 m³)

年份	总用水量	生态用水	社会经济用水	社会经济用水结构			农业用水占 社会经济用 水比例(%)
				农业	工业	城镇生活	
2001	487.17		487.17	467.06	9.64	10.45	95.9
2002	474.76		474.76	452.52	10.19	12.07	95.3
2003	494.43	18.13	476.30	457.66	8.28	10.36	96.1
2004	496.38	19.71	476.67	459.71	8.01	8.94	96.4
2005	508.33	21.73	486.60	469.62	8.20	8.78	96.5
2006	513.73	24.20	489.53	471.44	8.91	9.18	96.3
2007	517.74	20.45	497.29	478.44	9.23	9.62	96.2
2008	528.22	20.10	508.12	487.78	9.78	10.56	96.0
2009	530.90	16.52	514.38	492.79	10.06	11.54	95.8
2010	535.08	17.18	517.90	496.35	12.20	9.35	95.8

注:城镇生活用水包括居民生活、绿化等生态用水,第三产业、建筑业用水等。

(2) 在超采现象仍未得到有效遏制的情况下,地下水开发快速增长,而且多用于农业灌溉。由表5可看出:农业和工业用水中,地下水的利用量显著增加。特别是农业用水,虽然地表水利用量稳中略有小降,但各区地下水开发利用量呈现越来越快的增长态势:①东疆哈密盆地、吐鲁番盆地,在地下水严重超采局面仍未得到有效遏制情况下,其开采利用量继续呈有增无减的增长态势,地下水供水量已超过总供水量的57%。②北疆地区近3年地下水开发总量虽基本维持稳定,但天山北坡、塔额盆地地下水超采局面仍未得到有效遏制,特别是在灌区或沙漠边缘开发深层地下水的无序状态仍未得到有效控制。③南疆地区自2008年实施“南疆地下水开发利用机电井建设工程”以来,地下水开采量急剧增加,局部区域地下水位呈现逐年下降趋势,如不及时加以监控管理,必将会重蹈“先超采,后治理”的覆辙(参见表6)。

表5 新疆2001—2010年各业用水水源构成统计表^[7] (单位:亿 m³)

年份	合计		农业		工业		城镇生活	
	地表水	地下水	地表水	地下水	地表水	地下水	地表水	地下水
2001	432.74	54.41	423.33	43.73	4.32	5.32	5.09	5.36
2002	422.33	52.45	410.68	41.84	4.27	5.92	7.38	4.69
2003	424.94	51.35	415.13	42.52	4.39	3.89	5.42	4.94
2004	420.33	56.33	412.82	46.89	3.31	4.70	4.20	4.74
2005	429.46	57.14	421.82	47.80	3.87	4.33	3.77	5.01
2006	434.2	55.33	425.63	45.81	4.41	4.50	4.16	5.02
2007	431.58	65.71	422.03	56.41	5.35	3.88	4.20	5.42
2008	430.64	77.48	421.89	65.89	4.61	5.17	4.14	6.42
2009	427.03	87.36	417.24	75.55	5.69	4.37	4.10	7.44
2010	425.19	92.71	418.41	77.94	4.44	7.76	2.34	7.01

表6 新疆2001—2010年各分区用水水源构成统计表^[7] (单位:亿 m³)

年份	北疆			南疆			东疆		
	合计	地表水	地下水	合计	地表水	地下水	合计	地表水	地下水
2001	179.29	152.91	26.38	285.89	267.30	18.59	21.99	12.56	9.43
2002	174.73	149.29	25.43	278.60	260.68	17.92	21.43	12.34	9.09
2003	181.97	156.23	25.73	290.15	272.02	18.13	22.32	13.12	9.20
2004	183.17	152.08	31.09	290.36	275.07	15.29	22.86	11.72	11.14
2005	183.49	153.23	30.26	302.14	285.86	16.28	22.70	10.60	12.10
2006	194.58	163.14	31.44	296.88	282.75	14.13	22.27	10.74	11.53
2007	192.92	159.71	33.21	301.51	278.09	23.42	23.31	12.16	11.15
2008	189.10	151.84	37.26	315.30	285.52	29.78	23.82	11.21	12.61
2009	197.75	160.74	37.01	307.95	268.14	39.81	25.20	12.06	13.14
2010	194.97	155.18	39.79	316.39	274.64	41.75	23.72	10.11	13.61

四、用水总量及供用水结构调控

未来水资源开发利用调控的总体方向是,通过调整产业结构,转变经济增长方式,全面推进节水型社会建设,不断提高用水效率和效益,并通过水资源的合理开发、优化配置、高效利用、科学管理,以水资源的可持续利用保障和支撑经济社会可持续跨越式发展^[10]。严格控制灌溉面积的盲目扩张,维持合理的用水总量规模,是当前及今后一段时间内新疆水—生态—经济协调发展的关键。

(一) 用水总量及用水结构调控面临的挑战

1. 用水总量调控面临的问题与挑战

根据新疆水资源综合规划^[8],2020年、2030年全疆社会经济系统总用水量分别为520亿 m^3 ,526亿 m^3 。在进行分行业用水量和分水源用水量调控分解中,将面临以下几个难点。

(1) 北疆、东疆与南疆地区用水总量调控与平衡问题。根据新疆水资源总体配置和已批复的重点流域综合规划,2030年可从重点河流净增70亿 m^3 的地表水可开发利用量(扣除输水损失)。其中,62亿 m^3 用于经济系统用水,8亿 m^3 用于艾比湖生态补水。届时中水回用量还将增加6亿 m^3 。北疆和东疆地区在进一步加大节水力度、压采地下水的同时,北疆地表水可利用量将大幅增加。这样一来,在社会经济总用水量一定且未来增加空间十分有限的情况下,南疆少数民族聚居的贫困地区的总用水量则要做大幅度压减,其“北疆增水与南疆减水”的矛盾将显得尤为突出,这将会引发一系列的社会问题。为了缓解矛盾,2030年全疆总用水量按540亿 m^3 控制比较现实可行。

(2) 地方与兵团用水总量分解与调控问题。地方与兵团在一些河流上的分水协议,多形成于20世纪50~60年代,有的缺乏科学性和合理性,有的责任和权属关系不清,有许多河流甚至根本就没有分水协议。在目前绝大多数河流均出现水资源开发利用过度、生态环境用水得不到保障的情况下,科学定量地分解与调控地方与兵团之间的用水总量,绝非易事。

(3) 高效节水强度问题。在控制用水总量、控制灌溉面积、工业和城镇生活用水增加的情况下,对农业节水提出了过高的要求。根据农业节水发展规划,2020年以喷、滴灌为主的高效节水面积将分别达到5900万亩,占总灌溉面积比例为70%,在干旱区实施如此高强度的农田节水,其科学性、必要性和可行性需慎重考虑。

(4) 地下水超采区治理和监控管理问题。当前,灌溉面积继续扩大,盲目发展纯井灌溉,地下水超采区治理和监控管理等,给用水总量调控管理带来了严峻

挑战,各地借发展高效节水的“契机”,大规模开发机电井、推广滴灌技术。在某种程度上,大规模的高效节水建设为开荒及灌溉面积扩大提供了一定的“支持”。

2. 问题与挑战引发的思考

基于上述问题与挑战,干旱区灌溉农业的调整与发展正面临3大亟待研究解决的问题:① 干旱区生态环境演变过程中人工绿洲发展的适宜度与可控性研究,探索人工绿洲发展规模与天然绿洲保护目标的内在适宜性,提出自然生态环境保护目标及其工程措施与非工程措施,提高环境演变过程中的预见性和可控性。② 干旱生态脆弱区高效节水强度的适宜度研究,探索未来灌溉农业对水资源高效利用的调控方向和用水模式、各种科学适宜的节水控制性指标,正确处理好高效节水、灌水方式与人工绿洲内生态环境保护的关系。③ 地下水开发利用在干旱区内陆河流域水资源合理配置、生态环境保护中的作用与定位研究。探索地下水与地表水联合调度对灌溉水源的补充调节作用,研究提出减少潜水无效蒸发、保证植被蒸腾、防治盐碱化发生的最佳地下水位控制标准。

(二) 未来20年水资源需求发展趋势

1. 工业化和城镇化发展水资源需求

目前新疆工业和城镇总用水量约21.55亿 m^3 ,占全疆经济总用水量的4.2%。预计2030年全疆人口将达到2562万人,城镇化率达到60%,工业和城镇总用水量将达70亿 m^3 (见表7)。因此,应加强以城市和工业供水为主的多水源供水水网体系建设,确保工业化和城镇化发展的供水安全。

表7 新疆工业、城镇生活用水现状及需水量预测 (单位:亿 m^3)

分区	工业		城镇生活		合计		
	2010年	2030年	2010年	2030年	2010年	2030年	增量
全疆	12.20	48.17	9.35	22.01	21.55	70.18	48.63
东疆地区	0.68	5.33	0.70	1.45	1.38	6.78	5.40
北疆地区	8.92	33.12	5.59	12.02	14.51	45.14	30.63
南疆地区	2.60	9.72	3.06	8.54	5.66	18.26	12.60

2. 生态需水分析

根据规划确定的生态环境保护与恢复目标^[8],生态需水主要包括以下3部分:① 天然绿洲现状生态耗水。天然绿洲分天然植被和湖泊两大类,1999年国

家“九五”重点科技攻关项目成果^[11]、2003年新疆水资源评价成果^[12]以及新疆水资源综合规划^[8],采用不同的分析计算方法,估算得到现状天然绿洲耗水量为202~208亿 m^3 ;②生态补水量。考虑塔里木河流域、艾比湖流域等区域生态修复,需新增生态供水33亿 m^3 ;③人工绿洲内的生态系统耗水量。人工绿洲生态系统需水主要由绿洲防护林草、田间植被、水域和城市生态系统组成。基于遥感资料解译和水量计算,目前全疆人工绿洲内的生态系统耗水量为109亿 m^3 ,约占人工绿洲内总用水量的30%。

根据以上推算,新疆包括人工绿洲和天然绿洲在内的生态系统总需水量约为345亿 m^3 。

3. 农业灌溉面积及用水总量控制

(1) 调控原则。新疆灌溉农业发展与调控应坚持以下原则:①适度规模原则。即充分考虑新疆资源条件以及市场需求情况下,充分考虑农业耗水与周边生态耗水的竞争关系,合理确定农业灌溉发展规模与布局;②结构配置合理原则。即在满足区内粮食自给的前提下,大力发展优质棉花、特色林果业与特色经济作物,大力发展农区畜牧业和以牧民定居为目的的饲草料基地,建设节水、高效的现代绿洲农业生产体系;③地下水位合理调控原则:根据灌区及其周边生态环境与水资源的依赖关系,采取多样化的节水技术,管灌、喷微灌高效节水技术与常规节水技术有机结合,将灌区生态地下水位控制在合理的范围内,实现农业节水与生态环境保护“双赢”;④节水模式多样化原则。依据灌区及其周边生态环境与水资源的依赖关系,因地制宜,合理布局高效节水与常规节水面积,形成多样化的节水灌溉技术体系,促进水资源高效利用。

(2) 调控目标。①灌溉面积调控目标。依据相关规划^[13,14],2030年伊犁河、额尔齐斯河、北疆地区牧民定居饲草料地开发还将新增约450万亩灌溉面积,在地下水超采和地表水过度开发利用的地区,如吐鲁番、哈密、塔城地区、天山北坡诸河流域、塔里木河流域等,必须较大幅度地退减灌溉面积。在这种情况下,结合新疆实际,将灌溉面积压减到8500万亩,比现状减少163万亩,是比较现实可行的。即:南疆地区压减163万亩,北疆和东疆地区调整并压减450万亩,增地与减地分地区内部调整平衡;②水资源利用效率调控目标。2030年灌溉水利用系数由现状的0.48提高至0.59,农业总用水量由现状的496亿 m^3 减少到470亿 m^3 ,比现状减少26亿 m^3 ,农业灌溉用水占总用水量的比例下降至87%;③要彻底摒弃“大开发就是大开荒”的落后生产力发展观念,控制灌溉面积盲目扩大,将灌溉面积和用水总量“双控指标”作为灌溉农业发展与调控的硬约束,一方面防止农业发展过度挤占生态用水,另一方面为工业化和城镇化发展提供水资源保障。

4. 水资源供需平衡调控分析

2010 年新疆社会经济用水总量 517.9 亿 m^3 ,已接近 2020 年 520 亿 m^3 用水总量控制指标。其中地下水开采 95 亿 m^3 ,远远超过限采指标;工业及城镇生活污水处理达标率仅为 60%,中水回用量仅为 0.74 亿 m^3 。

根据全疆水资源承载力、未来经济社会发展、生态与环境保护要求与可供水量等综合分析,到 2030 年全疆社会经济系统用水总量宜按 540 亿 m^3 控制。其中,地下水方面,开采量控制在 72 亿 m^3 ,重点对东疆和北疆超采区实施大规模压采,南疆基本维持现状,但应合理调整布局;地表水方面,通过重点河流本流域的开发和跨流域调水工程,北疆和东疆的地表水可供水量大幅增加,南疆由于无客水调入,则会减少;总供水量方面,在考虑当地退耕节水、跨流域调水、地下水压采水量后,东疆增加 0.73 亿 m^3 ,北疆增加 34.91 亿 m^3 ,南疆减少 13.54 亿 m^3 ;预计工业和城镇污水排放量将达到 22 亿 m^3 ,污水处理率达到 95%,回用量将达到 6.22 亿 m^3 。未来全疆地表水可供水量基本维持在 460 亿 m^3 左右,详见表 8。

表 8 现状及 2030 年新疆分行业用水总量控制与供水量平衡分析

(单位:亿 m^3)

水平年	分区	需水总量				多年平均情形下可供水总量				
		农业	工业	生活	总计	地表水	地下水	外调水	其他水源	总计
2010 年	全疆	496.35	12.2	9.35	517.9	419.05	92.71	5.4	0.74	517.9
	东疆	21.09	0.68	0.7	22.47	9.51	12.94	0	0.02	22.47
	北疆	168.51	8.92	5.59	183.02	138.04	38.91	5.4	0.67	183.02
	南疆	306.75	2.6	3.06	312.41	271.5	40.86	0	0.05	312.41
2030 年	全疆	470	48.18	22.01	540.19	433.78	72.0	28.0	6.22	540.0
	东疆	17.42	5.33	1.45	24.2	10.82	6.52	5.0	0.86	23.2
	北疆	172.12	33.13	12.02	217.27	168.95	22.48	23.0	3.5	217.93
	南疆	280.46	9.72	8.54	298.72	254.01	43.0	0	1.86	298.87

注:外调水量指跨流域调水工程调水量扣除输水损失和艾比湖生态补水的水量

5. 供用水结构调控

(1) 经济社会用水结构调控。到 2030 年,随着新型工业化、农牧业现代化和新型城镇化进程的逐步推进,在保障河道内、外生态环境用水要求和地下水采补平衡的前提下,经济社会用水结构将得到较好的优化调控。但南疆地区农业

用水仍将为此维持较高的比例(参见表9)。

(2) 供水水源结构调控。到2030年,随着最严格的水资源管理等一系列制度的贯彻落实,一大批重点控制性水利工程和跨流域调水工程的建成运行,由地表水、地下水、跨流域调水、其他水源等组成的供水水源结构将得到较大的改善,地下水实现采补平衡,生态用水得到可靠保障。

表9 现状及2030年新疆供用水结构调控分析

(单位:%)

供用水结构		全疆	东疆	北疆	南疆
用水结构	2010年	95.8:2.4:1.8	93.9:3.0:3.1	92.1:4.9:3.1	98.2:0.8:1.0
农业:工业: 生活	2030年	87.0:8.9:4.1	72.0:22.0:6.0	79.2:15.2:5.5	93.9:3.3:2.9
供水水源结构	2010年	80.9:17.9: 1.0:0.2	42.3:57.6: 0:0.1	75.4:21.3: 3.0:0.4	86.9:13.1: 0:0
地表水:地下水: 调水:其他	2030年	80.3:13.3: 5.2:1.2	46.6:28.1: 21.6:3.7	77.5:10.3: 10.6:1.6	85.0:14.4: 0:0.6

五、问题与讨论

(一) 人类活动影响下的干旱区生态环境演变的适宜度与可控性问题

1. 适宜度与可控性的内涵

新疆灌溉农业的大规模发展,导致人工绿洲快速扩张,天然绿洲持续减少。解决经济社会与生态系统的竞争性用水矛盾,一方面必须要控制人工绿洲的过度膨胀,另一方面要合理、适度地确定生态环境保护的范围和目标。适宜度系指人工绿洲发展、天然绿洲保护及其相互间的适宜性。可控性强调的是在自然生态系统与人工生态系统调整变化过程中,通过科学的预判,采取必要的工程措施与非工程措施,使其不利影响能够得到有效减免或控制。适宜度是可控性的前提,只有科学合理地确定生态环境保护的目标,才能避免盲目性,实现可控性。适宜度与可控性是破解人工绿洲发展与天然绿洲保护这对“对立统一”矛盾的科学发展观。

2. 科学把握流域生态环境适宜度,促进资源环境与经济社会协调发展

在干旱区内陆河流域,人工绿洲扩大的同时,伴随的是天然绿洲因水源减少而自然萎缩,甚至部分沙漠化,因此水资源开发利用程度应当“适度”:一方面要防止无节制、掠夺性地开发利用,造成不可控、不可逆的毁灭性破坏;另一方面也

要防止把生态平衡看成静止不变的,平衡是相对的,而发展变化是绝对的;合理把控适宜度的情况下进行保护性开发,也是贫困地区经济社会发展之必需。在干旱区确定适宜度最关键的因子是水,其核心是社会经济与生态环境的耗水比例。钱正英等专家学者研究认为^[15]:“在西北内陆干旱区,生态环境和社会经济系统的耗水以各占 50% 为宜”、“按社会经济平均耗水率为用水量的 70% 折算,今后内陆河流的最高开发利用应不超过 70%”。这是衡量和控制干旱区水资源开发利用适宜度的一个重要指标。实践中,对于一些下游无重要生态环境保护目标的季节性小河流,其社会经济用水比例可适当提高一些。

3. 在干旱区生态环境变化的必然性中提高可控性

人工渠道代替自然河流,人工水库代替天然湖泊,人工绿洲代替自然生态;人为破坏地表植被所造成的土地沙漠化;内陆河流域上游山区水源涵养区的人为破坏,所引起的水土流失和出山口地表水资源不稳定;长期持续超采地下水所引起的地下水水位下降,破坏地下水资源,造成地表植被死亡、土地沙漠化;灌区过量引水和大水漫灌造成的土地次生盐碱化和沼泽化;对地表水系与水资源的不合理改造,引起一些有价值水域的盐化和污染等等一系列环境恶化,都是可以找出原因、提出对策和加以控制或防治的。在生态环境变化的必然性过程中,提高预见性,实现可控性,是未来流域科学管理的方向。

(二) 干旱区农业灌溉设计保证率问题

农业灌溉设计保证率是指在河道天然来水径流量中可引用水量(过程)以满足农业适时、充分灌溉用水的保障程度。按相关规范要求^[16],干旱半干旱地区农业灌溉设计保证率为 50% ~ 75%,采用高效节水的灌溉设计保证率取 85% ~ 95%。新疆平原农区常规地面灌溉设计保证率基本采用 75%,牧区饲草料地及部分丘陵地区补充灌溉采用 50% 灌溉设计保证率。

灌溉设计保证率是合理规划灌溉系统、科学防范风险、有效控制灌溉农业发展规模的重要理论基础。然而,新疆灌溉面积早已突破了设计保证率所控制的规模,这样一来就引发出两个问题,一是在常规地面灌溉设计保证率 75% 情况下,绝大多数灌区处于缺水状态,只有通过大量开采地下水、节水或修建山区水库增加地表水引用率来解决。二是在大面积采用高效节水技术、灌溉水利用率提高的前提下,仍采用设计灌溉保证率 75%,节出的水将会用于继续扩大灌溉面积。因此,随着高效节水技术的推广普及,目前部分高效节水灌区开始采用 85% 灌溉设计保证率。

地表水开发利用与灌溉设计保证率,其概念和内涵均不相同,但其间有着密切的关联。开展这一问题的研究,对于干旱区灌溉农业的发展与调控、生态环

境保护,具有现实且重要的意义。

(三) 农业高效节水发展规模的适度性问题

新疆生产建设兵团开展农业高效节水建设起步较早,2011年已达到1100万亩(占其灌溉面积的53%),计划2020年发展到1600万亩(占灌溉面积的77%)。目前,全疆已发展高效节水面积2870万亩,占总灌溉面积33%,计划每年新增300万亩,2020年将发展到5900万亩,占灌溉面积的70%。如果扣除农田防护林,其所占比例则高达77%。也就是说,绝大部分小麦和水稻也要实施高效节水灌溉。如此高强度、大规模的农业高效节水,即使在发达国家也不曾有过的。

发展农业高效节水灌溉目的在于通过应用先进节水技术,提高农业水资源利用效率,缓减水资源短缺问题,从而使有限水资源发挥其最大的功效,实现社会、经济、生态环境综合效益最大的目标。在干旱地区,地表水渗漏补给的减少、地下水位过低等将会改变原来的平衡状态,植物生长受到水分胁迫而生长不良,易发生荒漠化。阮本清等人选择宁夏青铜峡引黄灌区为研究对象,采用地下水埋深作为控制土壤盐渍化和荒漠化的评价指标,分析了生态脆弱地区的适宜节水规模,认为节水的程度并不是越大越好,而应根据各方面的信息综合确定合适的方案^[17]。事实上,对于干旱内陆河灌区而言,农业高效节水发展规模受到多种因素的影响,如当地水资源供需特征、气候特征、土壤特征、农业发展与生态环境状况,以及社会经济情况等,需要综合考虑各种因素;同时还与高效节水灌溉技术实施的可行度、农业种植结构、生态环境改善与保护对土壤水分及地下水位的要求等诸多因素有关。

灌区农业节水强度和规模适度性问题,是当前干旱区内陆河流域面临的一个重大课题。就新疆而言,在大多数河流无山区水库或未建成之前,农业节水效益和利益补偿机制尚未建立并良性运转之前,在水盐运移规律研究及盐碱地防治综合技术尚未成熟之前,在当地社会、经济、环境、技术条件尚不成熟且缺乏科学依据和实践成功的前提下,大规模、高强度地推进高效节水,应当慎重。本文认为,采取何种节水模式(高效还是常规节水或是其他),需综合考虑各节水模式的成本与效益比较,应当根据流域骨干工程调节能力的不断提高、灌排保障系统的逐步完善,稳步推进农田高效节水建设。

(四) 地下水开发利用与保护在水资源系统中的定位问题

根据地下水资源评价成果,考虑到远期规划水平年水资源利用效率大幅提高、地下水补给量减少、土壤盐渍化防治目标基本实现、地下水位得到有效控制、

重点河流地下水资源战略储备等多种因素,中远期地下水开采量宜按 75 亿 m^3 控制^[18]。

目前地下水开发利用的基本情况是:① 东疆地区和天山北坡东段地下水严重超采、资源枯竭、陷入绝境。② 天山北坡中段、塔额盆地不惜以牺牲环境为代价,打井开荒,大规模发展纯井灌区,大量开采深层地下水,地下水利用不可持续。③ 南疆地区地下水开采规模急剧扩大,局部地区开始出现超采现象。根据新疆“地表水和地下水同出一源,平原区 86% 的地下水可开采量由河道渗漏、渠系渗漏、田间入渗等转换补给”的水循环特点,在水资源系统及合理配置中应当科学合理地定位地下水的作用,即:

(1) 补充调节作用。地下水与地表水联合调度,实现春秋缺水季节的年内调节、丰枯年景年际调节,使地下水成为农业灌溉供水的重要补充水源。丰水年,地下水开采量相应减少,地表水大量补给地下水,地下水位上升;枯水年,则增加地下水开采量。这种“以补定采,多年平衡”的调蓄开采模式,充分体现了地下水的补充调节作用。

(2) 水位调控作用。在灌区内合理开采地下水,既可最大限度减少潜水的无效或低效蒸发,有利于土壤盐碱化的改良,又有利于发挥土壤水库的调节作用;有效调控地下水位,以保证灌区内依靠地下水生存的天然植被耗水,同时又可使盐分的运移积累不至于污染地下水。因此,研究提出减少潜水无效蒸发、保证植被蒸腾、防治盐碱化发生的最佳地下水位控制标准,是一项非常重要的关键技术。

(3) 生态保障作用。在干旱区内陆河流域,当地表水资源被过度开发利用而枯竭后,天然植被只能依靠地下水和微少的降雨维持生命。在南疆地区,远离地表水源的广大荒漠植被则完全依靠地下水生存。因此,地下水是天然植被保护的最后一道防线。据相关研究,适宜生态水位(埋深)为 2 ~ 4.5 m,胁迫水位 4.5 ~ 6 m,沙漠化水位 $> 8 \text{ m}$ ^[19]。

(4) 高效利用作用。水资源在循环和利用中,地表水转化为地下水是一个不可避免的自然过程,合理开发利用地下水可提高水资源的利用率,促进干旱区水资源的高效利用。

(5) 城镇生活供水水源。新疆地下水不宜持续、大量的用于工业和纯井灌区,特别是在沙漠边缘地带更不宜盲目打井开荒。地下水宜作为城镇生活的主要水源并加以有效保护。

六、结语

(一) 水资源开发利用近期发展演变的情势令人担忧

灌溉面积不断扩大,农业用水继续呈现快速增长态势,在地下水超采区仍未得到有效治理的情况下,地下水开发利用呈现越来越快的增长态势,特别在南疆塔里木河流域,“大户”开荒屡禁不止,机井打到哪里,滴灌带就铺设到哪里。2008年开始实施的南疆地下水开发利用机电井建设工程和近年来大规模的农田高效节水建设,一定程度上为各地的开荒提供了“支持”。这种势头和局面必须得到控制。

(二) 干旱内陆河灌区农业高效节水规模适度性问题应当引起高度关注

节水是干旱区永恒的主题,压减控制农业用水总量是可持续发展的必然选择。但农业高效节水是一项政策性、技术性、系统关联性很强的浩大工程,应密切结合实际,系统研究,科学规划,循序渐进,扎实推进。管灌、喷微灌等单项或多项灌区高效节水模式及其工程建设,总体仍属于技术性节水范畴的节水初级阶段;对新疆广大地区而言,要做到高效节水的实时适量,还需大力完善山区水库与灌区灌排系统功能建设,增强对水资源的统筹调配能力,实现供用水结构的合理调配,向技术与水利工程系统紧密结合的系统性节水阶段迈进;待相关水利工程趋于完善后,应进一步促进产业结构调整与合理布局,健全体制机制,形成水权转让和利益补偿的长效机制,实现经济社会发展中水资源的优化配置,从而实现结构性节水。结构性节水是资源性节水的“真实”节水,是节水的最高级阶段,是实现社会—经济—生态环境综合效益最大化与协调发展的保障。

(三) 实现最严格水资源管理目标任重道远

压减灌溉面积,抑制需求过度增长,控制农业用水总量,是实施最严格水资源管理制度的首要环节。而实施最严格的耕地管理制度,只要各级政府令行禁止,严禁开荒是可以做到的。但是,灌溉农业发展布局的调整和退耕问题,以及新型工业化、农牧业现代化、新型城镇化发展中的利益协调、效益补偿问题,则是十分复杂的社会问题。再加上重点河流水资源开发利用、南北东疆地区的发展平衡问题、地方与兵团用水总量分解与调控问题、诸多河流广域区域的地表水与地下水监控管理问题,等等,无疑都增加了实现最严格水资源管理目标的难度,针对这些问题应尽快开展深入研究。

参考文献

1. 邓铭江,等. 新疆水资源及可持续利用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
2. 周华荣. 干旱区河流廊道景观生态学研究——以新疆塔里木河中下游区域为例[M]. 北京:科学出版社,2007:9.
3. 中国工程院. 新疆可持续发展中有关水资源的战略研究——新疆人工绿洲建设、盐碱地改良与农林牧业可持续发展研究[R]. 2008:10.
4. 曹其芳. 循环发展:新疆绿洲经济可持续发展新视角[J]. 新疆农垦经济, 2009:(11).
5. 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴 2011[M]. 北京:中国统计出版社,2011:8.
6. 新疆生产建设兵团 2011 年统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2011:8.
7. 新疆水利厅. 2000 ~ 2010 年新疆水资源公报[R]. 乌鲁木齐:新疆水利厅,2001 ~ 2011,7.
8. 中国水利水电科学研究院. 新疆水资源综合规划报告[R]. 2008:6.
9. 中国水利水电科学研究院. 新疆水资源供需发展趋势、合理配置与可持续利用[R]. 北京:中国水利水电科学研究院,2009:10.
10. 邓铭江,李湘权,龙爱华,等. 支撑新疆经济社会跨越式发展的水资源供需结构调控分析[J]. 干旱区地理,2011,34(3):379 ~ 390.
11. 中国科学院新疆生态与地理所,中国水利水电科学研究院. 新疆国民经济与生态环境需水量预测研究(“九五”国家重点科技攻关项目)[R]. 1999:3.
12. 章曙明,等. 新疆地表水资源研究[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008:4.
13. 新疆水利厅,新疆水利水电勘测设计研究院. 伊犁河流域综合规划[R]. 2002.
14. 新疆水利厅,新疆水利水电勘测设计研究院. 额尔齐斯河流域综合规划[R]. 2004.
15. 钱正英,等. 西部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.
16. 中华人民共和国国家标准. 灌溉与排水工程设计规范(GB50288 - 99)[S]. 北京:中国计划出版社,1999.

17. 阮本清,等. 生态脆弱地区适宜节水强度研究[J]. 水利学报,2008,39(7):809-814.
18. 邓铭江. 新疆地下水资源开发利用现状及潜力分析[J]. 干旱区地理,2009,32(5):647-654.
19. 宋郁东,等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,2003.



邓铭江 1960年出生,工学博士,教授级高级工程师。现任新疆水利厅总工程师。主要从事水利水电工程建设管理和水资源规划研究工作,长期致力于干旱区治水理论研究和治水实践,主持完成了大批重要河流的流域规划、重点水利工程的前期立项工作,注重产学研相结合,主持完成了诸多重点课题的研究工作。获国家科技进步二等奖3项;省、部级科技进步一等奖2项、二等奖5项;自治区优秀工程勘察设计一等奖4项。出版专著5部,发表论文80余篇,取得发明、实用新型专利各1项。2004年获“开发建设新疆奖章”,2009荣获自治区科技进步特等奖,并荣获新疆(1960-2010年)十大优秀科技人物,2011年获何梁何利科学与技术创新奖。

内蒙古河套灌区节水农业发展中几个问题的思考

杨金忠 等

水资源与水电工程科学国家重点实验室(武汉大学)

摘要:根据河套灌区历年来种植、土壤、灌溉、排水和水资源的情况,分析了灌区灌溉发展的主要特征和演化过程,特别是分析了灌区实施节水改造与续建配套以来所取得的重要成果。根据目前灌区的主要实际观测数据,分析了灌区的水土资源平衡、作物种植结构调整、地下水开发利用、秋浇灌溉制度和灌区水盐平衡的一些问题和对这些问题的初步思考,提出了灌区需要进一步研究的问题。

一、河套灌区简介

内蒙古河套引黄灌区位于巴彦淖尔市南部,西与乌兰布和沙漠相接,东至包头市郊,南临黄河,北抵狼山、乌拉山洪积扇,东西长约 250 公里,东西宽 50 余公里,总土地面积 1784 万亩。灌区地处干旱荒漠平原,冬季严寒少雪,夏季高温干热,蒸发量大,降雨量小,封冻期长,为典型的大陆性气候。

河套引黄灌溉始于秦汉,至解放初灌溉面积发展到 300 万亩,1961 年建成三盛公枢纽和左岸总干渠后,结束了在黄河上无坝多口引水、进水量不能控制的历史,形成了统一的大型灌溉系统,使河套灌区引水有了保障,开创了河套灌区一首制引水灌溉的新纪元。

1967 年开始排水工程建设,通过疏通和扩建总排干沟,开挖、疏通、改建和配套各级排水系统,到 1980 年打通乌梁素海出口,灌区排水直接入黄河,结束了灌区有灌无排的历史。1989 年引进世行贷款,完成了骨干排水工程和项目区的田间配套工程,灌排条件得到很大的改善,灌区的灌排系统基本形成。到 1998 年,灌溉面积已发展到 861 万亩。

新中国成立后,河套灌区开展了 6 次比较重要的灌区规划,“57 规划”(即《黄河流域内蒙灌区规划》)提出了三盛公一首制引水,乌加河为总排干,奠定了目前河套灌区的总体布局。1964 年完成的《黄河内蒙古灌区修正规划》(称为

“64 规划”),突出了灌水系统的改建和扩建,采用两首引水,合理利用旧渠系。但是由于工程量大,难以在短期内完成。灌区用水仍沿用粗放灌溉方式,用水没有按计划控制,土壤盐碱化严重。1974 年提出《黄河内蒙古灌区近期 100 万亩,远景 1500 万亩规划报告》(称为“74 规划”)放弃“64 规划”中的昭君坟枢纽,新建红圪卜扬水站,总干扬水至乌梁素海,并提出灌区内井渠结合的方式。1978 年提出的《内蒙古黄河河套灌区商品粮基地建设水利规划报告》主要针对土壤盐碱化问题,提出能灌能排、全面配套的建设方针。1983 年提出了《黄河内蒙古河套灌区水利规划》(称为“83 规划”),该规划扩大了排水工程规模,规划了排水方式和排水控制深度,提出远景为竖井排水,引进世界银行贷款进行灌区配套建设,随着灌溉管理工作的改进及节约用水取得成效,以及农业耕作措施的进步,盐碱化不断发展的趋势已经得到扼制,并在部分地区开始向良性转化。

灌溉在河套地区农业发展中起到决定性的作用,但由于种种原因,一些规划的工程并没有按计划实现,工程老化失修,渠系水有效利用系数为 0.42,加之灌溉技术落后,灌溉水的有效利用系数仅为 0.3;骨干排水系统尚未达到标准,田间配套工程尚未建设,灌区次生盐碱化依然存在,灌区仍有一半耕地属中、低产田;国务院下达的黄河流域配水指标,对内蒙古自治区的引黄水量有大幅度消减,相应分配给河套灌区的水量也要大量减少,形势十分严峻。

1999 年内蒙古水利水电勘测设计院提出了《黄河内蒙古河套灌区续建配套与节水改造规划报告》(称为“99 规划”),在引水受到指标限制的条件下,提出规划面积 861 万亩,根据节水的要求,突出灌溉系统的续建、配套、防渗和节水,对秋浇灌溉、井渠结合、土壤盐碱化治理、作物种植结构提出具体的设计要求。几年来,在国家建设资金的大力支持下,到 2006 年灌区比 1999 年节水 1.46 亿 m^3 ,随着工程整体运行寿命的延长,全灌区工程完好率由 1998 年的 62% 提高到目前的 74%。

河套灌区干旱少雨,没有灌溉就没有农业,黄河是哺育这片土地并使之成为沃土的源泉,在新的形势下,如何充分有效地利用好黄河水资源,是灌区所面临的重要课题。由于特定的水文地质条件和气候条件,这里地下水的补给主要来源于引黄的灌溉,可以说,没有灌溉就没有地下水。要实行大幅度的节水,出路在哪里?这里由于原生土壤结构和多年重灌轻排的结果,始终经受着土壤盐碱化的威胁,如何在实行节水的同时改土防次,将大面积的中、低产田进行改造,使河套灌区的农业生产跃上新的台阶?在河套地区多年引黄灌溉所形成的生态环境会否因减少引黄水量而发生变化?这个变化趋势对灌区的长期发展是有利还是有害?若是有害,需要采取什么措施?这些原则性的重大问题摆在我们面前,必须作出认真的回答。

在过去几年里,我们有幸参加了河套灌区“99 规划”,随后又合作完成了《内蒙古巴彦淖尔市水资源综合规划》,在科技部支撑计划研究课题的资助下,在河

套灌区义长灌域开展了长期的水盐监测,对河套灌区的灌区发展和水资源利用有一些初步认识,在此和大家交流。

二、河套灌区水资源利用和灌溉需水

(一) 蒸发降雨

根据 1956—2000 年的降雨资料,求得不同频率年的降雨量(见表 1)。由表可见,降雨分布呈现从东向西递减的趋势,东部的乌拉特前旗多年平均降雨量最大,为 216.9 mm,西部的磴口县多年平均降雨量最小,为 127.8 mm;年际变化较大,变差系数 0.34~0.4。

表 1 各站不同频率年降水量分析成果

站名	代表灌域	年均降水量(mm)	Cv	Cs/Cv	不同频率年降水量(mm)			
					20%	50%	75%	95%
乌前旗	乌拉特	216.9	0.4	2	268.93	210.4	169.17	121.45
五原县	义长	169.2	0.34	2	215.21	162.8	127.91	89.6
临河县	永济	144.9	0.4	2	189.76	137.6	102.85	65.19
杭后旗	解放闸	136.4	0.37	2	176.99	130.4	100.09	66.27
磴口县	一千	127.8 (142.75)	0.35	2	192.71	135.6	101.35	64.24

从各站点多年平均及最大、最小年水面蒸发量(表 2)看出,各区年均蒸发量相差不大,相对来说,西南部的磴口和东部的乌拉特前旗蒸发量较大,而中部的临河、五原县和杭后旗的蒸发量相对较小。

表 2 代表站点蒸发量分析成果表

(单位:mm)

站点	资料系列	多年平均蒸发量	最大值		最小值		最大最小值之比	年均蒸发与降雨之比
			蒸发量	年份	蒸发量	年份		
乌前旗	1956—2000	2389.24	2755.2	1960	2069.3	1977	1.33	11
五原县	1956—2000	2046.10	2439.3	1972	1174.8	1956	2.08	12
临河县	1957—2000	2274.89	2699.4	1960	1975.6	1975	1.37	16
杭后旗	1956—2000	2043.15	2346.7	1957	1775.5	1964	1.32	15
磴口县	1954—2000	2397.87	2728.0	1999	2076.9	1967	1.31	16

干旱指数是反映气候干湿程度的综合指标,采用年水面蒸发能力 E_0 (年蒸发能力或可能年蒸发量) 和年降水量 P 的比值表示本地区的干旱指数,本区干旱指数介于 $6 \sim 10$ 之间,根据气候干湿程度分级标准,本区属干旱半干旱地区,且更偏重于干旱区。本区各站间最大干旱指数与最小干旱指数相差较大,说明满足不同年份农作物正常生长所需的灌溉补给水量相差较大,这为实现农业的旱涝保收增添了许多困难。

(二) 地表水

根据《内蒙古水文手册》,套区的径流深小于 5 mm ,地表水径流量很小,基本属于不产流地区。套区经过历史的水利开发和建设,已经形成了比较完善的灌溉排水系统,1980 年以来,灌区平均年净引水量 52 亿 m^3 ,平均灌溉面积 861 万亩 。黄河过境水是灌区的主要水源,渠道入渗和灌溉入渗是套区地下水补给的主要来源。狼山山前的地下径流侧向补给山前地下水,季节性的山区洪沟洪水补给山前冲洪积平原的地下水。地下水除少量通过灌区的排水系统向乌梁素海和局部的海子排泄外,主要通过潜水蒸发排泄,这也是河套地区土壤盐碱化发生、发展和演化的主导原因。

随着灌区灌溉面积的不断扩大,灌溉引水量在逐年增加。1960—1980 年引水量在年际间虽有变化,但平均引水量基本平稳,维持在 40 亿 m^3 左右。平均灌溉面积 650 万亩 。1980 年至 1987 年引水量逐年递增,从 1980 年的 45 亿 m^3 增加到 1987 年的 57 亿 m^3 。随后到 2002 年灌溉引水量稳中有降,平均灌溉引水量 51.5 亿 m^3 ,而灌溉面积逐年递增(见图 1)。

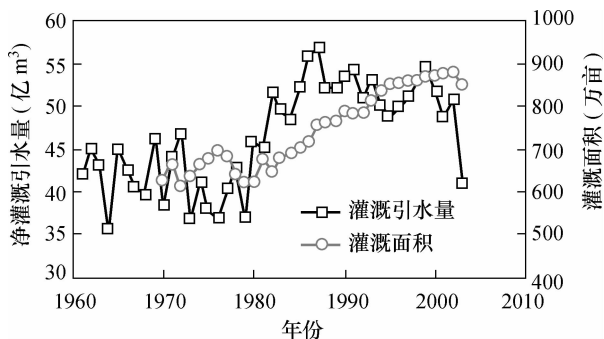


图 1 历年灌区净灌溉引水量及灌溉面积

1987 年以后,随着灌排工程的配套,并强化以节水灌溉为中心的灌溉管理,大搞农田水利基本建设,平地缩块,计划用水,采取了政策措施,实行用水指标包干,分段水价,利用经济杠杆引导用水,亩均毛灌溉用水量逐年减少(图 2),灌溉效益明显增高。

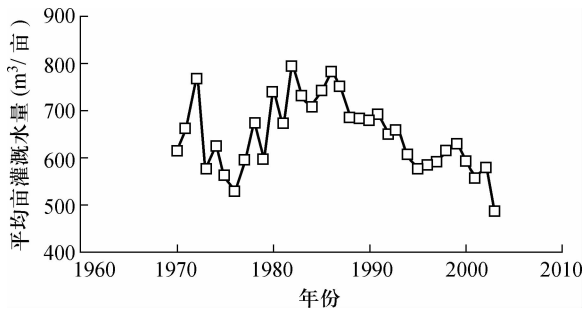


图 2 历年全灌区平均亩毛灌溉用水量

(三) 地下水

利用灌区 1980—2000 年的观测资料,采用水均衡法,得到灌区不同矿化度地下水的补给量和可开采量(表 3,表 4)。

表 3 河套灌区各灌域不同矿化度地下水的补给量 (单位:亿 m³)

灌域	>5 g/L	3~5 g/L	2~3 g/L	<2 g/L	合计
一干	0.00	0.02	0.15	2.95	3.12
解放闸	2.51	2.08	1.25	1.31	7.15
永济	0.46	1.21	1.57	2.07	5.31
义长	1.89	2.41	1.82	2.42	8.55
乌拉特	1.35	1.56	1.17	0.22	4.29
全灌区	6.21	7.28	5.95	8.97	28.42

表 4 套区各灌域地下水可开采量 (单位:亿 m³)

灌域	<3 g/L	3~5 g/L
一干	2.16	0.01
解放闸	1.67	1.04
永济	2.39	0.61
义长	2.79	1.20
乌拉特	0.85	0.78
套区合计	9.85	3.64

以上数据表明,区内地下水补给量达到 28 亿 m^3 ,在目前地下水位较高的情况下,这些水量绝大部分通过蒸发而消耗掉,是灌区土壤盐碱化的重要因素。在目前水资源短缺的条件下,应尽量合理开采地下水资源量,减少无效蒸发,实现灌区的持续发展。

(四) 再生水、凌汛水

城市污水的再生利用,是节水防污及合理利用水资源的有效途径。总排干沟是河套灌区的灌溉退水沟道。上游(三排干沟以上)水质较好,基本没有工业和生活污水的排入,可作为沿途农业灌溉和工业用水的水源;中下游水质较差的沟段,可通过污水处理系统,将处理后的中水用于沿途的工业园区。沿途向总排干沟排泄的工业尾、废水均要求达标后排入,以保证乌梁素海的生态水质需求。

总排干沟是河套灌区除黄河以外的常年过水水道,近几年排水量每年在 4 亿 m^3 左右,除了满足乌梁素海调蓄水量,排水水质较差,矿化度为 1.8 ~ 2.3 g/L ,COD 浓度为 45 ~ 60 mg/L 。每年有 1.5 亿 ~ 2.0 亿 m^3 的再生水可供利用。

乌梁素海是河套灌区灌排水系统的重要组成部分,承担着河套灌区退水、分洪、排盐三大任务,对灌区农业生产发挥着重要作用。借鉴其他缺水地区的经验,在充分发挥乌梁素海现有功能的基础上,每年利用黄河凌汛期向乌梁素海补水,一方面可以减轻黄河防凌的压力,另一方面可以缓解周边地区工业用水的矛盾,同时可以改善乌梁素海水质和生态环境。在乌梁素海目前的工程现状情况下,每年补水 1 亿 ~ 1.5 亿 m^3 是可行的。因此,将乌梁素海作为一个“平原水库”,蓄存一部分水资源来解决巴市工业用水的需要也是可行的。凌汛期引水,起到改善乌梁素海生态环境的效果,同时,减轻了凌汛期黄河的防洪压力。

(五) 灌溉制度

河套灌区粮食作物以春小麦、玉米为主,经济作物主要为向日葵、甜菜。根据当地的实验研究成果,并结合未来地下水较低可能对作物补给的减少,得到各灌域不同作物的灌溉制度(表 5)。

当地的气候条件决定了作物的耗水,根据已有研究成果,河套灌区小麦、玉米和葵花的耗水量分别为 500、535 和 515 mm ,这些数据为作物种植结构变化后区域的耗水量变化提供基础数据。

表 5 2020 水平年各灌域主要作物灌溉定额

作物种类	灌溉定额 (m ³ /亩)										灌水次数
	一干灌域		解放闸灌域		永济灌域		义长灌域		乌拉特灌域		
	黄灌	井灌	黄灌	井灌	黄灌	井灌	黄灌	井灌	黄灌	井灌	
小麦	211	221	189	204	189	219	184	204	198	223	4
套种	303	313	266	286	266	296	261	281	266	291	6
夏杂	125	135	101	121	101	131	96	121	85	131	2
秋杂	164	179	142	162	142	182	137	162	146	176	3
油料	193	203	161	181	157	187	166	186	142	167	4
甜菜	193	203	161	181	161	196	152	172	142	167	4
复种	193	203	139	154	139	169	134	154	134	159	3
籽瓜	162	172	137	157	137	172	134	154	134	159	3
林地	188	203	164	184	164	199	161	176	174	199	3
牧草	188	203	166	181	164	199	161	181	147	172	4
秋浇	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	1

(六) 农业需水

引黄水量从 2000 年的 52 亿 m³ 减少到国家分水要求的 40 亿 m³, 必须采取强化的节水措施, 包括工程节水和非工程节水措施, 以提高全灌区的渠系水和灌溉水利用系数。参照《河套灌区节水改造及续建配套》规划报告中渠道衬砌的工程措施, 并考虑井渠结合等各种因素, 若仅对干渠和分干渠进行衬砌, 得到不同年份的农业需水量(见表 6)。

表 6 河套灌区毛需水量

(单位: 亿 m³)

灌域	年份			
	2000 年	2010 年	2020 年	2030 年
一干	4.566	4.168	3.804	3.779
解放闸	12.213	11.734	11.046	11.071
永济	8.991	8.713	8.225	8.238
义长	17.174	15.885	14.641	14.514
乌拉特	9.174	8.459	7.789	7.731
合计	52.118	48.958	45.505	45.333

三、近年来灌区取得的主要成绩

灌区续建配套工程与节水改造工程,全灌区工程完好率提高到 74%,对总干渠分水枢纽的除险加固和控制性枢纽及分干渠上骨干建筑物的改造、重建,工程安全性及运行工况明显改善,给水量调度提供了极大的方便,灌溉保证率显著提高。改造之后的渠道,既能适应大流量时的续灌,也能适应小流量时的轮灌,同时也缩短轮期和行水时间,提高了灌水效率。如杨家河干渠渠段衬砌后,行水时间减少了 5~7 天,灌水效率明显提高。

开展节水改造与续建配套以来,灌溉面积不断扩大,套复种面积和灌溉亩次有所增加,但是总用水量呈下降的趋势,净引水量基本控制在 49 亿 m^3 左右。通过十多年连续实施骨干渠道节水改造工程建设,年节水量达到 1.5 亿 m^3 ,已实施的衬砌段落渠道水利用系数平均提高了 0.156。实施节水改造工程以来,灌区通过工程节水和管理节水,已累计节水达 30 多亿 m^3 。

按照“总量控制、指标到渠、以水定播、风险到户、区域配置、自求平衡”的原则,根据水量分配指标的办法,调整种植结构,优化水资源配置,提高水分利用效率。多年来,河套灌区农业种植以粮食为主,主要有小麦、玉米、糜黍等,经济作物主要是葵花、甜菜、番茄等,粮经比例为 61:39。2003 年开始,粮食面积逐步减少,经济作物面积不断扩大,2010 年粮经比例为 31:69。种植结构总的趋势是粮小麦面积所占比例逐年下降。其中 1997 年最高达 379 万亩,到 2010 年为 127 万亩。灌区油料、瓜类、蔬菜等高效节水农作物种植面积由 1998 年的 76 万亩扩大到 2009 年的 458 万亩,全市粮食总产量由 1998 年的 33 亿斤增加到 2010 年的 50 亿斤,农牧民纯收入增长 260%。

近年来,灌区引进推广了节水灌溉新技术和秸秆覆盖、管道输水、畦灌、喷灌、开沟覆膜暗灌等各种田间先进节水灌溉新技术,促进田间节水。栽培方式上在用开沟起垄覆膜栽培、地膜后茬免耕栽培、地膜覆盖栽培、宽覆膜栽培、深松深翻,取得很好的节水和增产效益。

秋浇灌溉是河套灌区特有的灌溉方式,秋浇灌溉,储墒压盐,利于翌年播种;秋浇为非生长期灌溉,用水量大,蒸发强烈,消耗河套的 1/3 灌溉用水,灌区人民对秋浇又爱又恨,是科技人员长期的研究重点。近年来灌区坚持“总量控制、计划管理、早浇保墒、预留干地、注重质量、均衡受益”的原则,有效地控制秋浇用水量,促进秋浇节水。但秋浇灌溉,问题复杂,有效改革,任重道远。

四、农业水资源利用的几个问题

(一) 水土资源平衡问题

河套平原干旱少雨,地面径流很少,地下水资源以灌溉补给为主,侧渗和降雨入渗仅为地下水资源量的 1/10。因此,河套灌区的可用水资源量完全决定于灌区在黄河的引水量。1986—2000 年的平均引水量为 52.4 亿 m^3 ,2000 年实施节水改造后,引水量有所减少,平均为 47.8 亿 m^3 ,其中 2003 年为特殊干旱年,除去该年,平均引水量为 48.5 亿 m^3 (图 3)。本区地下水位变化反映了水资源平衡的重要指标,在目前引水和用水的条件下,地下水位呈现逐年下降的趋势(图 4),说明灌区耗水量偏大,导致地下水位下降。



图 3 河套灌区灌溉引水量过程

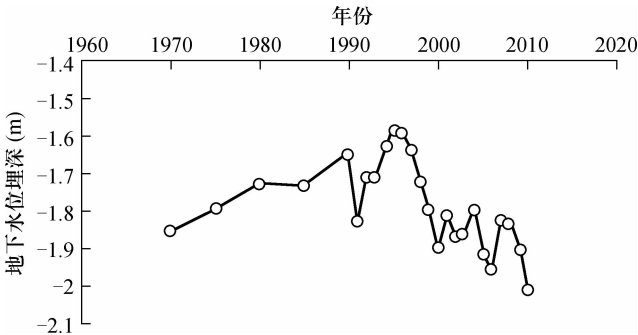


图 4 河套灌区地下水位埋深

根据巴彦淖尔市的国民经济发展规划和社会的发展,工业用水量和生活用水量将会大幅度增加,可用于农业灌溉的水量还会减少。另外,目前的引水量与内蒙古自治区分配给河套灌区的引水限额仍有差距。需要思考的问题是,根据

河套灌区未来的发展如何考虑水土平衡问题,也就是在充分考虑节水灌溉、作物种植结构调整和进一步开发利用水资源的条件下,河套灌区可以承载多大的灌溉面积。

(二) 作物种植结构

由于河套灌区的种植结构和灌溉方式与灌区可引用水资源之间严重的不匹配问题,考虑到灌区社会经济的发展,在“99 规划”中,农林牧比由 2000 年的 91:4:5 逐步调整到 2010 年的 69:19:2;粮经比由 7:3 调整到 6:4。根据《内蒙古自治区巴彦淖尔市水资源综合规划报告》,在已有节水改造与续建配套成果的基础上,农林牧比例由 2005 年的 93:4:3 调整为 2030 年的 85:8:7,粮经种植比例由 57:43 调整为 4:6。由于小麦是河套灌区的特色粮食品种,2000 年小麦的种植面积为 370 万亩,占灌区面积的 44%,是河套主要的用水作物,小麦的种植面积影响了灌溉引水量和水量分配,必须保证大面积的秋浇以满足小麦的种植。压缩小麦的种植面积是灌区合理用水量的水量配置的关键任务。

近年来由于政策的引导和区域商品经济的发展,灌区的种植结构产生了明显的变化。高用水的小麦种植面积从 2000 年之后迅速减低,种植面积从 2000 年的 370 万亩逐步减少到目前的 120 万亩,而灌区的中灌溉面积基本保持稳定(图 5)。同时葵花和瓜菜的经济作物种植面积逐年增加(图 6)。

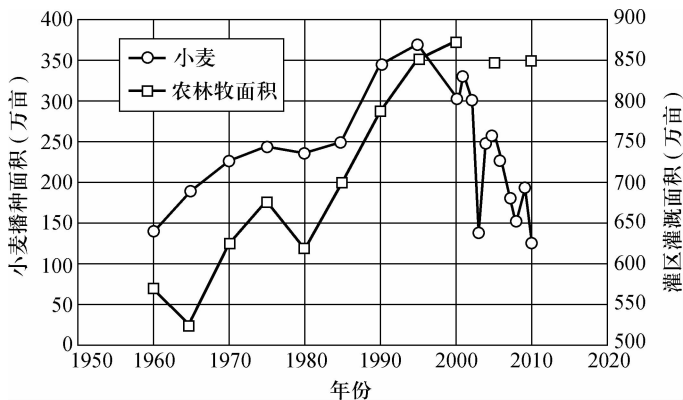


图 5 河套灌区的灌溉面积和小麦种植面积

由于高用水作物减少,低用水作物增加,根据初步估算,灌溉引水量将减少 3 亿 ~ 5 亿 m^3 。近 10 年来,虽然作物种植结构变化明显,但是引水量基本稳定,平均引水量维持在 49 亿 m^3 。主要是由于灌区近年套种、复种指数增加,不同作物分布零散,没有形成连片或种植规模,使得为满足不同作物的灌溉用水,供水损失增大,无效用水增加。

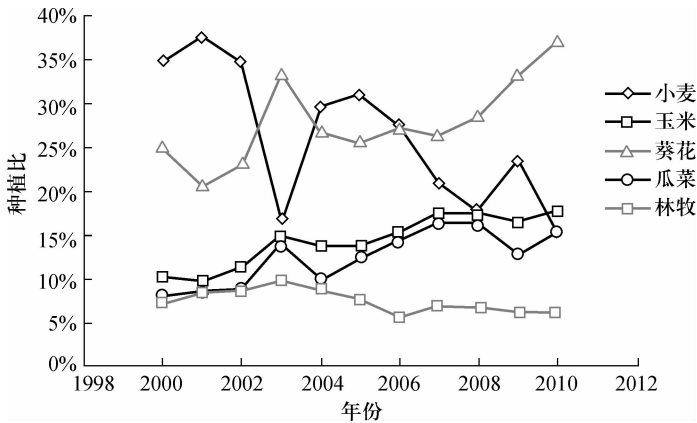


图6 2000年以来河套灌区种植面积的变化

从另一个方面看,灌区的地下水位逐年下降,说明消耗了区域的水资源量。虽然减少了高用水作物的比例,但由于小麦、玉米、瓜果和葵花的腾发量分别为500 mm,535 mm,375 mm和515 mm,作物种植结构的变化减少了作物灌溉用水量,但作物耗水量变化不大,并且作物种植结构的变化,增大了区域的耗水量,这也可能是导致区域水位降低的原因之一。

由此看来,需要根据地区水资源利用的角度,进一步分析区域耗水量的变化、区域地下水位下降的远景,以及由于地下水位变化将导致灌溉用水量的增加,将对确定合理的种植结构和高效利用区域水资源具有重要意义。

另外农作物集中连片和集约化种植,有利于输水配水,减少输水过程中的水量损失,提高灌溉水的利用率,也有利于集约化生产,使不同类型的农业建设和开发资金合理整合利用,建设一批高效节水型示范区。

(三) 地下水开发利用(井渠结合)

井渠结合的灌区水资源利用方式是黄河下游引黄灌区的成功经验,通过引黄灌溉补给地下水,利用井灌重复利用地下水,同时控制地下水位埋深,减少土壤蒸发,控制土壤盐碱化,节水控盐的效果明显。在河套灌区的“99规划”中,借鉴了大量专家的意见,同时考虑到河套水资源开发利用前景和排水现状,以插花分布的方式规划井灌区100万亩,井灌抽水量主要由渠灌渗漏量补给,在局部尺度上由3:1的面积比规划井灌地块和渠灌地块。由于国家下拨的节水改造与续建配套资金与规划的资金投入差别太大,另外国拨资金主要用于骨干工程的建设,井渠结合列入田间工程,在建设资金方面没有着落。另外根据灌区以往发展井渠结合的效果和当地农民长期的灌溉模式与经验,在灌区内大面积推广井渠

结合的灌溉模式困难很大。

在目前的灌溉用水量、灌溉面积、作物种植结构和灌排模式的条件下,灌区的平均地下水位仍有逐年下降的趋势。也就是说,目前的地下水补给已经少于地下水排泄,需要在进一步研究现状条件下地下水排泄方式的基础上,研究井渠结合的可能性和模式。

近年来,河套灌区小麦种植面积大幅减少,各种经济作物种植面积不断增加,群众具有集资打井的积极性,采取井渠结合,满足不同作物的用水需求。

井渠结合是个很复杂的问题,河套灌区地下水水质较差,咸水和微咸水在水平和垂直方向分布复杂,合理的开采利用具有挑战性。另外,河套地区干旱少雨,降雨淋滤不足,地下水灌溉的方式与华北地区有较大的不同,地下水灌溉和土壤盐碱化的关系需要研究。井渠结合,两套系统,如何进行管理,经济效益如何,都是影响井渠双灌能否在灌区实施的关键。因此,在发展井渠结合的大面积应用之前,需要开展详细的研究工作,选取典型的区域,研究不同的灌溉类型和结合模式,从土壤、作物、水量、水质、效益、经济、环境等方面研究井渠结合的可行性,如能成功,形成示范,逐步推广。

在河套灌区,地下水开发利用还需要关注以下两个问题:① 适宜地下水埋深。河套灌区,气候干旱,地表植被主要通过地下水维持生长,因此,本区的地下水位不能过低,需要研究既可以维持区域的生态环境,又可减少无效蒸发的适宜地下水埋深;② 不同地下水埋深条件下作物地下水利用量的变化。目前条件下,地下水埋深1~2 m,作物的地下水利用量较大。初步的研究表明,地下水利用量达到作物耗水量的1/5~1/3。地下水位持续下降,利用量将显著减少,势必增加灌溉水量,这将会影响整个灌区灌水量的大小。

(四) 秋浇灌溉

秋浇是河套人民根据长期的灌溉实践总结出来的行之有效的储水灌溉方法,在河套灌区的发展过程中起到重要作用。由于秋浇灌水量大,对土壤盐分和翌年作物的适时播种起到重要作用,不同的研究单位对秋浇进行了长期研究,但是由于问题太过复杂,目前仍未取得突破性的研究成果。河套灌区目前的种植模式与历史的种植状况有了很大不同,特别是近年来,市场化的影响和水资源的限制,小麦种植面积大幅度减少,蔬菜瓜果和青储饲料种植面积增加,秋浇用水和秋浇模式应该有所改变。

需要改革灌区传统的集中秋季后期一次性储墒的秋浇制度,探讨“早浇保墒、秋浇储墒、翌年春灌”的保墒模式及可行性。根据种植结构调整和作物的需水要求,秉承“总量控制、计划管理、预留干地、均衡受益”的原则,控制秋浇用水

量,遏制深浇、复浇等浪费水的现象发生,促进秋浇节水。

秋浇用水量较大,灌溉方式改变将影响全局,建议在典型区域进行试验研究。在大区域上分析不同灌溉方式条件下水分和土壤盐分的水平迁移过程;在小区域上研究田块大小、平整程度对灌溉用水量的影响,同时分析水分和盐分在土壤剖面的迁移特征。

目前秋浇的灌溉水量达到 $200 \sim 250 \text{ m}^3/\text{亩}$,已有的研究成果认为秋浇灌水量 $100 \sim 140 \text{ m}^3/\text{亩}$ 即可,但是目前很难全面实施。可能是这些研究成果研究时间较短,研究区域较小,大面积应用有难度。因此,由于问题的复杂,开展详细和持续的研究是必需的。

另外,需要进一步分析和研究秋浇和井渠结合的相互作用和关系,这对于把握河套灌区的灌水技术和灌溉模式的变革具有重要作用。

(五) 水盐平衡

从1960年开始,河套灌区就一直处于积盐状况(图7),1975年修建人工排水系统之前,灌区基本没有盐分排出。1975年之后,排盐能力大大增加,排出盐量一度达到引进盐量的50%,之后在37%左右波动。1990年以后由于世行贷款的田间排水工程修建,排盐能力又进一步提高到60%,但是没有持续很久,很快下降到2000年以后的30%左右,主要原因是由于2000年以后灌区开始实行节水,排水量大大减少,排水工程也逐渐疏于管理。整体而言,河套灌区平均每年大约有72%(约146万t)的引进盐量留在灌区内部,平均分布在耕地大约每亩每年积盐160kg。

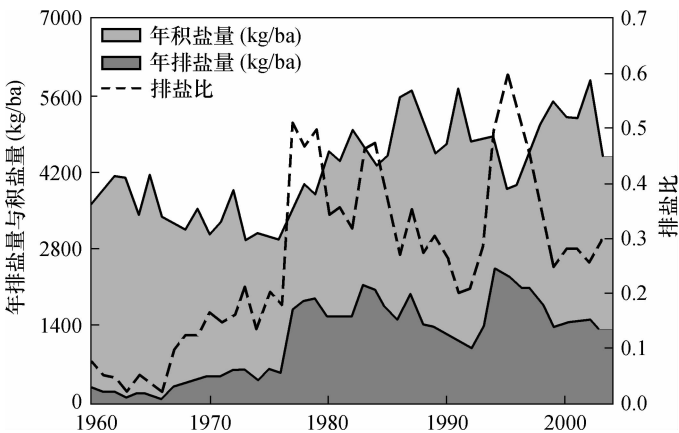


图7 河套灌区历年排盐量与积盐量

根据灌区及各灌域的盐分平衡分析,尽管灌区处于积盐过程,但是耕地基本

处于盐分均衡状态,根系层能够保持动态平衡,并免遭土壤重度盐碱化的危害,在这当中干排水起到了重要作用。

干排水在干旱地区可以作为一种有效的区域盐分平衡控制手段,但同时必须看到,由于节水导致地下水下降对干排水作用的发挥以及土壤盐碱化控制产生了复杂的影响,如何确定合适的地下水埋深以及如何结合干排水和人工排水措施,都是亟待解决的问题,需要开展深入细致的试验和理论研究。

我们在义长灌域由皂火渠,永什分干沟、乃永分干沟和六排干沟控制的约4万亩的土地上进行了长期水盐均衡观测,2007年的水盐均衡结果见表7。

表7 河套灌区4万亩水盐动态控制试验区盐分均衡表

平衡项	总量
干排水量	总量为 230 万 m ³ ,折算到荒地为 520 mm,折算到耕地为 128 mm
人工排水量	总量为 24 万 m ³ ,折算到耕地的人工排水量为 13 mm
灌溉水量	总量为 1158 万 m ³ ,折算到耕地的灌溉水量为 647 mm
灌溉引盐量	总量为 6372 t,折算到耕地的引盐量为 250 kg/亩
干排盐量	总量为 6017 t,算到耕地的干排盐量为 236 kg/亩
人工排盐量	总量为 353 t,折算到耕地的人工排盐量 14 kg/亩
耕地总积盐量 (t)	总量为 2 t,折算到耕地的积盐量为 0.05 kg/亩

结果表明,干排水量和干排盐量是灌溉土地水盐排放的主要途径,干排水模式在节水灌溉导致现有人工排水系统作用减弱条件下,能够维持耕地土壤的盐分平衡,可以作为人工排水系统缺乏但有盐荒地资源地区的排水模式。

干排盐是河套灌区很重要的排盐模式,但是随着灌区地下水位的逐渐下降,荒地面积的逐步减少,旱排盐的作用受到多大的影响是需要进一步研究的问题。



杨金忠 武汉大学教授,博士生导师。1953年生,1975年毕业于河北地质学院,1982年武汉水利电力学院获硕士学位,1986年武汉水利电力大学获工学博士学位。1991年被国家教委授予有突出贡献的博士学位获得者,同年获得国务院政府特殊津贴。在美国、澳大利亚进行多年合作研究。长期以来从事渗流理论、溶质运移理论、地下水资源评价、地下水污染防治、灌溉排水理论、农田水利、水利工程规划设计等领域的教学和科研工作。在饱和-非饱和介

质中水分运动、溶质运移、随机理论的研究颇具特色。已发表论文200余篇,主编和合作编写专著5部,主持和参加了30多项国家科技攻关课题、国家自然科学基金课题、国家教委基金等课题。

科学发展旱作农业保障我国粮食安全

梅旭荣

中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所

一、引言

新中国成立以来,党和政府高度重视农业发展,始终把农业作为保民生、安天下的大事,我国农业发展取得了巨大的成就。据统计,近年来我国以占世界9%的耕地和6%的可再生水资源养活了占世界20%的人口,谷物、肉类、水果蔬菜的产量分别占世界的19%、30%、38%。2004年以来粮食连续8年增产,目前粮食生产能力基本稳定在5亿吨水平,实现了粮食供求基本平衡,满足了日益增长的消费需求。

但我国农业发展也付出了沉重的资源环境代价,农业投入的化学肥料和农药总量均超过世界的30%降水资源化率和耕地灌溉率均超过45%,都高出世界平均水平的1倍以上,农业污染负荷居国内各行业之首。依赖资源开发和掠夺经营的粮食生产外延式增长方式遭遇资源枯竭和环境约束的双重挑战,必须转变为依靠科技驱动提高效率的内涵式增长道路。目前我国虽然在局部地区和个别作物的水资源利用率和利用效率已经达到和超过世界先进水平,但全国平均水的利用率和利用效率均低于发达国家,其中灌溉水利用系数0.5,降水利用率56%,吨粮耗水1100 m³左右(水分生产力0.9 kg/m³),提升的空间和潜力很大,也是在缺水少土的国情下持续解决粮食安全的出路所在。

二、我国农业用水态势

(一) 农业用水总量下降,缺口加大

我国是世界严重缺水的国家之一。在水资源严重匮乏的条件下,水权转换与交易总会向着高效益方向发展,农业面临“水减粮增”的困局。1999—2008年的10年间,我国农业用水净减少了300亿m³。目前我国粮食生产实际耗水约5700亿m³,其中1700亿m³来自灌溉水,其余约4000亿m³来自降水。到2030年前后满足15亿人口需求,按现状用水效率估算,农业和粮食生产实际耗水需

求将达到 6600 亿 m^3 , 增加 900 亿 m^3 。另一方面,我国粮食总产在 1949—1978 年的 30 年间增长了 169%, 同期灌溉面积增长 183%, 灌溉成为粮食增长的主要驱动因素。而在 1979—2008 年的 30 年间粮食总产增加 73%, 同期灌溉面积只增长了 26%, 灌溉对粮食的增产作用逐渐下降, 但保障作用上升。“水减粮增”的局面和农业用水占比逐年下降的趋势, 使农业缺水程度加剧, 粮食安全的资源基础受到威胁。

(二) 区域性和结构性缺水问题突出

我国秦岭淮河以北地区耕地占全国的 56%, 而水资源仅占全国的 20%, 许多地区人均水资源已大大低于 1700 m^3 的缺水警戒线, 区域性缺水十分严重。我国约 50% 的灌溉农田为水田, 主要集中在水资源丰富的南方地区, 这与目前粮食流通领域存在的“北粮南运”格局严重错位, 导致北方区域性缺水矛盾加剧。现阶段我国农业处于一个生产性低耗水而结构性高耗水的状态, 北方土多水少、南方水多土少, 结构性缺水问题突出, 严重制约了农业的可持续发展。按照现状水土资源生产力水平测算, 实现 2030 年粮食增产 1 亿 t 的目标(达到 6 亿 t), 需增加农业用水约 1200 亿 m^3 (目前缺水 300 亿 m^3), 增加耕地面积 3.5 亿亩。显然, 我们没有可增加的水土资源, 只能走提高单位资源产出效率的道路。

三、保障粮食安全的短缺资源替代战略

(一) 短缺资源替代战略

所谓短缺资源替代, 即是通过科技和人力资本的集约化投入, 提高农业资源的生产率, 大幅度缓解水土资源紧缺对农业增长的约束。我国农业缺水少土, 资源替代的核心是: 以质量替代数量(提高耕地质量), 以效率替代规模(提高水肥利用效率), 以循环替代浪费(农业有机废弃物再利用)。

(二) 短缺水资源的替代潜力

缺水条件下, 保障粮食安全的关键是提高降水和灌溉水的生产力, 在不增加粮食耗水的同时降低吨粮耗水 150 m^3 。未来我国农业缺水 1200 亿 m^3 的替代途径: 灌溉节水 15% 替代 450 亿 ~ 500 亿 m^3 , 提高雨水利用 10% 替代 350 亿 ~ 450 亿 m^3 , 提高水分利用效率的生物性节水 15% 替代 500 亿 ~ 600 亿 m^3 , 非常规水利用替代 80 亿 ~ 120 亿 m^3 , 粮食贸易替代 200 亿 m^3 。总计可以有 1580 亿 ~ 1870 亿 m^3 的替代潜力。由于我国降水的资源化率和耕地灌溉率已经超过世界平均的 1 倍且已接近极限, 直接利用降水的旱作农业是解决未来粮食生产用水

的关键,而以提高降水利用和水分利用效率为核心的旱作农业技术的替代潜力为 850 亿~1050 亿 m^3 ,在国家粮食安全水资源保障中的地位举足轻重。

四、旱作农业重大技术策略

高度重视旱作农业的战略地位。在我国当前和未来水情下,旱作农业是我国粮食安全的“稳压器”,生态安全的“大屏障”和消除贫困的“最前线”。据统计,2007 年我国旱作农业区生产了全国 45% 的粮食,是我国粮食生产稳定的来源之一。我国沙尘暴沙源的 51.8% 为旱农地区的退化草地,30.3% 为旱作农田,保护利用好旱作农田和草地就成为防治沙尘暴的第一道屏障。我国旱作农业区由于深居内陆,发展滞后,是贫困人口聚集的主要地区,而合理利用多样性的气候、生物等资源和相对丰富的土地资源,发展特色农产品生产是消除贫困的有效手段。

(一) 加快发展增水—抑蒸—提效的旱作农业技术

根据我国旱作农业科技进步与生产实践,重点抓好集水、保水、用水和节水四个基本环节,即:集雨增水(土壤水库、田间根域集雨、集雨补灌等),抑蒸保水(保护耕作、覆盖、制剂),高效用水(节水灌溉、水肥一体化、优化栽培)和生物节水(节水品种、适水种植、生理节水)。具体如下:

——培育农田和营造土壤水库,增加水的可利用量。土壤具有集雨、产水、保水的多重功能。我国农业对降水的利用量仅为降水资源总量的 14%,与耕地占国土的比例相当,表明土壤水库的作用还没有充分发挥。在系统查明碳氮水关系的基础上,通过秸秆还田和增施有机肥料等农艺措施,直接或间接提高土壤蓄水能力,增加耕作层涵养水分能力,尽可能使农田降水不产流,最大限度地入渗土壤。在此基础上,针对旱作区约 1/4 雨量少于 5 mm 的无效降水过程,通过沟垄种植等方式改变土壤下垫面结构和性质,创造降水产流条件,建设蓄水丰产沟,使降水的有效性提高,达到增加可用水量的目的。

——发展农田覆盖减少非生产性耗水,提高水的可利用性。全国而言,我国旱作农业降水的消耗结构中,30% 为生育期的作物蒸腾(生产性耗水),26% 为生育期的土壤蒸发(非生产性耗水),20% 为径流,24% 为休闲期蒸发(无效消耗)。可见,作物生育期和休闲期蒸发耗水占降水的 50%,这是可以利用的宝贵水资源。在科学分析不同区域降水总量、降水过程特点、作物种类等的基础上,因地制宜地发展全膜、半膜、秸秆、残茬覆盖,在有补充灌溉条件的地区采用分根交替灌溉、调亏灌溉等,优化有限水分消耗结构,大幅度减少非生产性消耗,增加作物蒸腾耗水,提高水的可利用性。

——强化水分养分精准化管理,实现水的高效利用。旱作农田碳氮水关系决定了有限水的生产力。在科学认识区域土壤基础地力、水资源状况和养分丰缺的基础上,根据作物种类和目标产量,以水定肥、以肥促水、以水调水,实现水分和养分的精准化控制,提高水的利用效率。在有条件的地区,因地制宜发展作物水分精细控制灌溉技术和水肥一体化灌溉技术,促进节水灌溉与农艺节水技术的有机集成,开发节水增效的适用模式。

——挖掘生物性节水潜力,发展真实节水农业。作物自耗水生产过程与遗传特性和对水分条件的适应性密切相关。利用现代生物技术挖掘植物抗旱节水基因和培育抗旱节水优良作物新品种,依据作物自身的需水规律和生理调节功能进行水分生理调控和作物群体结构优化,充分挖掘生物节水潜力,以最少的耗水实现最大的产出。

——加强土壤碳管理,发展适水种植,实现生产和生态多赢。土壤碳管理可以促进农业减排增汇以应对全球气候变化,提高土壤生物肥力以治理农田生态退化,改善土壤水文特性以培育农田土壤水库,减少化学肥料投入以削减农业氮磷污染负荷,因而是一项多赢的技术策略。同时,根据不同地区的水土资源承载力和水环境容量,以保障粮食安全和开发区域节水潜力为目标,逐步建立起兼顾生产和生态的适水种植结构和种植模式,通过农业结构的合理化调整和升级,实现节水增效与保障生态安全的“双赢”,以节水促进产业结构升级,以增收激活节水。

(二) 科学布局旱作农业技术应用

我国旱作作物主要包括玉米、小麦、大豆、薯类、杂粮、蔬菜、牧草等,以玉米、杂粮、薯类旱作比例最高,应根据不同区域特点重点抓好旱地作物生产技术的普及与应用。

——大力建设旱地土壤水库。在我国华北、东北和西北旱作区,以改善土壤蓄水保水能力和提高土壤生物肥力为核心,大力推广应用秸秆还田、增施有机肥、深耕深松轮耕、残茬覆盖等土壤水库培育和营造技术,提高降水入渗保蓄率。

——因地制宜发展旱地覆盖和保护性耕作。在年降水 250 ~ 400 mm 的半干旱和半干旱偏旱区,重点应用玉米、马铃薯等的全膜覆盖技术,部分坡耕地应采用沟垄种植结合覆盖的措施。在 400 ~ 600 mm 的半干旱和半湿润偏旱区,可重点发展玉米、薯类和旱地蔬菜等的沟植垄盖、宽膜双行垄作等集雨保墒技术,在年平均温度高于 8℃ 以上的地区,合理发展秸秆覆盖和保护性耕作。在有补充灌溉条件且温度较低的地区发展膜下滴灌,有效增加降水入渗,降低土壤蒸发和休闲期蒸发等非生产性耗水。

——适度发展集雨补充灌溉。在西北缺水地区、华北山区、西南丘陵水多土少的地区,适度发展窑窖集雨和补充灌溉,重点解决小面积粮食作物高产和适度规模经济作物与设施农业生产问题,实现增产增收双赢。

——积极发展节水补充灌溉。在黄淮海平原、汾渭平原、黄土高原等冬麦区,以及西北内陆棉区和玉米种植区,结合农作制度和水肥一体化技术,合理发展基于墒情调度的调亏灌溉、喷微灌、棉花膜下滴灌等节水补充灌溉技术,大幅度提高水的利用率和利用效率。

——大力推广节水抗旱品种和生化制剂。根据各地的自然条件,优化建立适雨种植结构和种植制度,选择适宜的作物和节水抗旱品种、栽培技术和合理的生化制剂,建立稳定应变型的旱作农业生产系统,有条件的地区推行间作套种等立体栽培技术,提高粮食生产效益。

五、科学发展的问题与建议

我国旱作农业历史悠久。传统农业的精华以土壤为核心,以循环为重点,以精耕细作为特征,以人与自然和谐为宗旨,创造了6000年黄河流域的农业文明。现代旱作农业发展进程中,以提高降水利用率和水分生产力为核心,土壤水库、集雨和集雨补充灌溉、覆盖和保护性耕作、生物性节水以及农牧结合、农林牧综合发展节水型农作制度等逐步在生产中应用。在缺水与粮食安全的矛盾博弈中,实现旱作农业的可持续发展也是当前和今后需要认真思考的问题。比如,目前在旱作区广泛应用的地膜覆盖技术,在扩大作物种植面积、提高产量和水分生产力(甘肃农科院的试验田最高达到 4 kg/m^3)的同时,由于地膜自然降解缓慢,现有地膜不易回收等问题,地膜残留的问题逐渐凸显,发展成为环境污染问题,对农田生态系统和作物生产造成影响。但由于地膜覆盖能够使50%的非生产性降水消耗的大部分变为有效的生产性耗水,节水增产的效果和效益是巨大的,如何解决好残膜回收,在节水增产的同时将负面影响降低到最低,是现阶段水与粮食博弈中的一个理智的选择。类似的问题还有西北和西南地区发展集雨补灌对流域水循环的影响,保护性耕作在不同地区效果完全不同等,均需要通过科学的认识和判断,选择合理的对策。

为此,建议:

——合力推进现代旱作农业发展。我国旱耕地面积占耕地面积的一半以上,粮食旱作面积占播种面积的56%,粮食总产占40%~45%。农业用水负增长的背景下,旱作农业不仅在我国粮食安全中具有基础性的地位,也是改善生态环境和消除贫困的现实选择,是一项大有可为的事业。因此,需要凝聚全社会共识,调动各部门积极性和主观能动性,动员社会各种资源和力量参与现代旱作农

业发展和建设,形成齐抓共管、合力推进现代旱作农业发展的良好局面。

——建立旱作农业粮食持续稳定发展的长效机制。对旱作粮食生产有重要作用的关键技术及设施,如土壤水库培育、集雨增水、覆盖保水、补充灌溉设施设备,应尽可能作为长期的技术策略予以确定,从政策、资金、技术等多渠道予以扶持,建立旱作粮食持续稳定发展的长效机制。

——加快制定生产和生态双赢的政策机制。针对地膜残留造成环境影响,尽快就地膜生产标准的制修订和实施、废旧地膜回收利用网络、传统地膜替代品开发和节约型地膜应用技术等开展研究和政策制定,并针对由此可能产生的地膜成本上升、技术研发等费用通过公共财政、社会资金和金融资本等多渠道予以筹措,以使覆盖技术在成为旱作区粮食增产革命性的技术同时,将可能的负面影响降低到最低。

——加强区域性旱作农业技术的集成与示范。我国旱作农业类型多样,自然资源状况和社会经济条件各异,生产和发展的目标差别,需要将旱作农业的发展从资源依赖转变为科技驱动,针对不同区域特点和发展目标,设立相应的技术专项,加强旱作农业技术的集成研究、示范和推广应用,以确立适合省情和地区特点的现代旱作农业发展道路和技术模式。

——加强旱作农业的宣传。引导舆论和公众了解旱作农业的发展历史和战略地位,正确解读旱作农业在国家粮食安全、生态安全和农民增收中发挥的重大作用,形成全社会关注和促进旱作农业持续发展的良好氛围。



梅旭荣 山东省莱州市人,中共党员,研究员,博士生导师。现任中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所所长,农业部农业环境重点实验室主任,青岛农业大学“泰山学者”特聘教授。是农业部“神农计划”人选,政府特殊津贴获得者,农业部有突出贡献的中青年专家,首批新世纪百千万人才工程国家级人选,全国优秀科技工作者,“十一五”国家科技计划执行突出贡献奖,全国农业科研杰出人才,中国农业科学院节水农业杰出岗位一级人才。国家 863 计

划现代农业技术领域主题专家、节水农业重大专项总体专家组成员,国家“水污染控制与治理”重大专项总体组专家,国家科技奖励评审专家,第一次水利普查咨询组专家。

长期从事我国干旱缺水地区农业水土资源利用和管理的科学研究,主要学科领域是农作物水分生理生态、旱作农业与节水农业,在农田 SPAC 土壤水分函数与水分生产潜力层析分析、农田边界层中的湍流扩散理论与冠气关系、土壤水热运动计算方法、旱作与节水高效农业理论与技术、粮食安全与水资源开发战略等重点学术领域有较深入的研究。

“七五”以来,先后主持完成了国家科技支撑(攻关)、863、973 计划课题(专题)十余项,农业部旱作节水农业技术创新与支撑能力建设与规划项目十余项,参加国家中长期科学和技术发展规划(2006~2020)战略研究并负责节水灌溉技术升级战略课题。现主持国家科技支撑计划旱作农业项目、国家水污染控制与治理重大科技专项项目等研究。工作以来,在旱作节水农业技术领域获得国家科技进步奖二等奖和三等奖各 1 项,农业部科技进步奖二等奖 2 项,山西省科技进步奖三等奖 1 项。在我国旱地农业、节水农业理论与技术等领域发表论文 100 多篇,编著和参编出版著作 11 部。

现任农业部专家咨询委员会委员,农业部防灾减灾专家指导组组长,中国农学会常务理事,农业气象分会理事长,农业资源环境分会副理事长,中国农业科学院第五、第六和第七届学术委员会常务委员。曾任农业部旱作节水农业技术专家组组长,旱作节水农业重点实验室主任。

当前节水灌溉发展要处理好的几个问题

段爱旺

中国农业科学院农田灌溉研究所

摘要:随着国家对农田水利建设投入的大幅增加,各地节水灌溉工程建设进入了快速发展阶段。在取得显著成绩的同时,也开始显现出一些问题。本文简要分析了农业节水的发展背景及面临的形势,对节水的目标与任务进行了讨论。根据新形势下农业及社会发展的需求,分析了可能影响高效节水灌溉良性发展的一些因素,提出要在水资源利用总量控制、适宜节水灌溉技术选择、节水的投入与产出、节水技术的推广应用、相关政策法规的制定与实施等方面处理好相关的问题,以确保节水农业的持续稳定发展。

一、引言

随着我国水资源供需矛盾的不断加剧,社会各阶层对水资源短缺及节水问题的关注日益强烈。党中央、国务院在2011年初以1号文件的形式,做出了“加快水利改革发展的决定”,是这种关注日益强烈的集中体现。“加快水利改革发展的决定”提出了要建立水资源开发利用的三条红线,即“建立用水总量控制制度”,“建立用水效率控制制度”和“建立水功能区限制纳污制度”,并要求“加大公共财政对水利的投入”。这些政策措施的提出,对节水灌溉的发展提出了更高的要求,也注入了更强的驱动力,使得我国节水灌溉发展进入了一个新的历史发展时期。

“加快水利改革发展的决定”提出一年多来,各级政府都予以了高度重视。随着“大幅度增加中央和地方财政专项水利资金。从土地出让收益中提取10%用于农田水利建设,充分发挥新增建设用地土地有偿使用费等土地整治资金的综合效益。”等政策的逐步落实,各地投入呈现出大幅度的增加。象中央财政支持的“中低产田改造”,“高标准基本农田建设”,“大中型灌区续建配套与节水改造”,“农业供水末级渠系改造”,“小型农田水利重点县建设”等项目的实施,特别是最近在东北四省区实施的“节水增粮行动”,要用四年时间投资380亿元,集中连片建设3800万亩高效节水灌溉工程。相信其他粮食主产区也会逐步加大

投入,大力开展高效节水灌溉工程建设,为农业持续稳定发展提供可靠的供水保障。

在节水建设工作取得巨大成效的同时,由于各方面的原因,也显现出了一些问题,有些因素还没有得到充分的考虑,有可能影响节水建设工作实现预期的目标,以及影响到节水农业未来的可持续发展。下面即针对相关的一些问题进行分析讨论,期望能起到抛砖引玉作用,引起更多的关注与讨论,促进问题的解决。

二、用水总量控制问题

新中国建立以后,我国的农田水利进入了大发展时期。特别是在毛泽东主席“水利是农业的命脉”指示的号召下,全国掀起了大搞农田水利建设的热潮,大量的灌溉工程开工建设,灌溉面积也显现快速的增加。图1显示的是建国后我国灌溉面积与粮食产量的变化过程。可以看到,两者的变化大致可以分为三个阶段:一是建国后至1980年,此间粮食产量的增加与灌溉面积的增加几乎平行发展;二是1980年至1990年,灌溉面积基本没有变化,但粮食产量仍在继续增加;三是1990年之后,灌溉面积和粮食产量都在逐步增加。这三个阶段与我国灌溉农业的阶段发展是密切相关的。在第一个阶段,农业生产的一切目标都是促高产,要求灌溉必须充分满足作物的需求。图2显示的是这一阶段中,灌溉面积与灌溉总用量呈现极好的线性关系,就是说,此期间灌溉面积的发展在粮食总产量的增加中发挥了极为重要的作用。第二个阶段中,从20世纪80年代至90年代,大规模的灌溉工程建设基本停止,灌溉面积进入相对稳定阶段,但由于实施了家庭联产承包责任制,粮食总产量仍在不断提高。第三个阶段,由于粮食

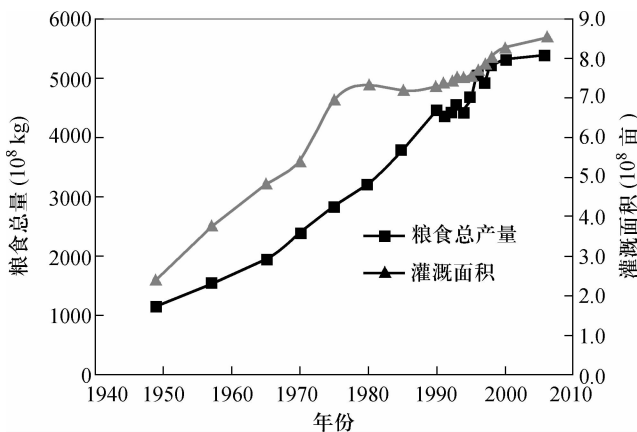


图1 建国后全国粮食总产量和灌溉面积的变化

供给压力不断增加,在大力发展节水灌溉的同时,我国的灌溉面积也开始逐步增加,加之农业生产技术的不断进步,有效地减缓了因种植面积降低对粮食总产量的影响,确保了粮食总产量在总体上仍在不断提高。

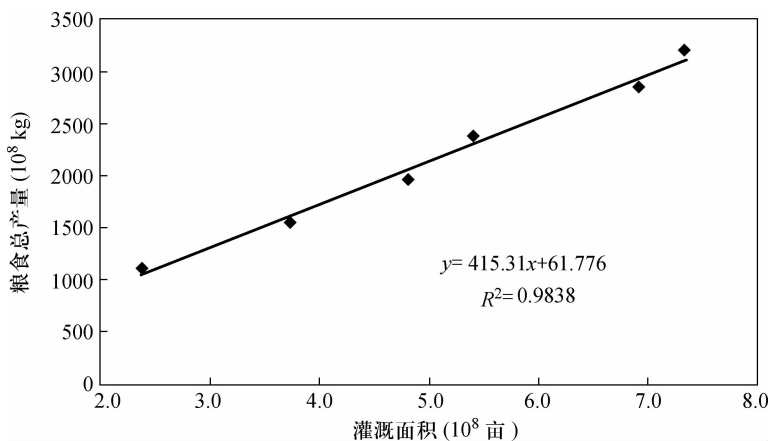


图2 1980年之前灌溉面积与粮食总产量间的关系

图3显示的是建国以来全国灌溉用水量与灌溉面积的变化过程,也大致可以划分为3个阶段。第一阶段从建国到1980年,灌溉用水量与灌溉面积几乎在同步增加,显示此阶段灌溉发展主要走的是外延式发展道路。从1980年到1990年,灌溉用水量与灌溉面积一道基本保持稳定,灌溉用水管理没有发生什么质的变化。从1990年开始,灌溉面积又呈现逐步增加的态势,而灌溉用水量则在保持稳定的基础上,开始逐步降低,显示了此期间灌溉开始走内涵式发展之路,也显示节水工作在其中发挥了重大作用,在不增加灌溉用水量的基础上,确保了灌溉面积的稳定发展,为粮食总产量的不断提高提供了供水保障。

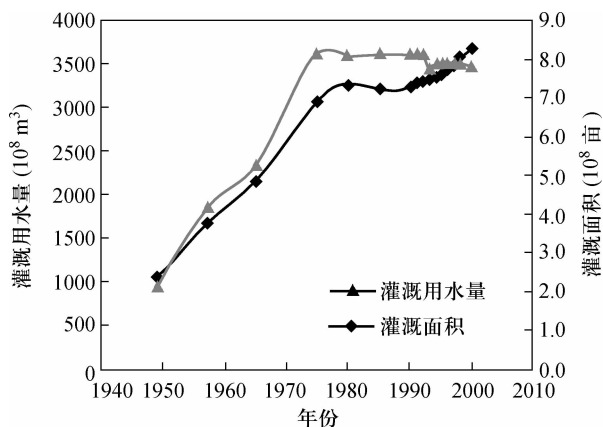


图3 建国以来全国灌溉用水量变化过程

应当说,在建国以后至改革开放前,灌溉面积的快速发展,对于保障我国粮食供给、养育快速膨胀的人口起到了至关重要的作用。但与此同时,由于灌溉面积的快速增加,农业用水量也急剧增加,使得各流域的水资源开发利用程度大幅度的提高。经过 30 年的高强度开发,许多地区的水资源利用率已远远超过了自然生态能够承载的限度,开始引发严重的生态与社会问题:河道断流致田野荒芜,土地沙化;地下水位不断下降,形成巨大漏斗区;许多地区供水难以为断,污染不断加剧;许多灌溉农田失灌严重,被迫弃耕或只能旱作,对农业的持续稳定发展和粮食安全造成了巨大威胁。农业用水快速发展的严重后果在上世纪 80 年代初开始显现,引起部分学者的重视,之后的不断加剧更是引起了全社会的高度重视,节水农业也正是在这样的背景下提出并不断受到重视的。

表 1 是全国主要流域的水资源开发利用程度。据联合国的相关资料,一个区域的水资源开发利用程度超过 40%,将会引发严重的生态环境问题,导致区域用水的不可持续。对照这一标准,我国北方地区主要流域的水资源开采利用率都接近或超过了这一标准,特别是黄河、淮河、海河流域,分别达到 66.4%, 51.8% 和 89.4%,远远超过了这一警戒线。其中海河流域超高的利用率,已使这一大河完全变成了季节河,失去了原有的清污与供水功能。表 1 中的数据是 2000 年左右的数据,目前这一数据没有得到任何好转,更是在继续恶化。

表 1 全国主要流域水资源开发利用程度

流域	利用率(%)	流域	利用率(%)
全国	19.9	长江片	18.6
松辽片	32.1	珠江片	17.8
海河片	89.4	东南诸河	15.9
黄河片	66.4	西南诸河	1.7
淮河片	51.8	内陆河	44.8

我国目前的水资源短缺程度已经十分严重,特别是在华北和西北地区,水资源已经成为农业及整个国民经济发展的最重要制约因素。未来的农业水资源供需形势将会更加严峻,一方面是水资源供给量难于增加,普遍的观点是农业用水能够保持现有数量已属十分不易;另一方面是水资源的需要仍在不断增加。工业和城市发展要求农业提供水资源支持,农业本身对供水需求的增加也在不断加强,农产品生产需求的快速增加需要不断扩大灌溉面积,农业的稳产也需要进一步提高灌溉保证率。这样的形势就对农业节水提出了更高的要求,要求在水

量不增加的情况下,通过内涵式挖潜,即减少无效水量消耗,提高农业用水效率,用有限的水量保证农业生产的持续稳定发展。

上述目标的实现所面临的困难是十分巨大的。在当前,中央及各级政府都加大了对水利建设的投入,其中高效节水灌溉工程的建设又是重中之重。随着投资的不断落实,各地的节水灌溉工程都在大面积的快速上马,尤其是在缺水十分严重的粮食主产区。在高效节水灌溉取得快速发展的同时,也出现了一些意想不到的问题:一是节水工程多建在水资源严重缺乏的地区,二是节水工程多建在新发展的灌溉面积上。这样做在取得节水效果的同时,也带来许多潜在的问题。一是在水资源严重缺乏的地区,特别是像河北的海河平原区,农业节水已发展到较高的水平,因此进一步节水的潜力已十分有限。二是发展新的节水灌溉面积,无论采用多么先进的方法,满足作物基本的水分需求还是必需的。这样,新的节水灌溉面积发展的越多,区域的农业用水总量也会越多。在水资源已经严重短缺的地区,无疑会加剧业已十分突出的水分供需矛盾,加剧对水环境的压力。

节水农业是在水资源供需矛盾越来越突出的背景下提出并逐步发展起来的。除了保障粮食生产需求以外,保持生态不再继续恶化,从而保证农业生产的持续稳定发展,也是发展节水灌溉的一个重要目标。因此,在此次大力发展高效节水灌溉的运动中,必须首先采取必要的措施,确保水资源不被过度开发,确保水环境不再进一步恶化。在已经出现问题的地区,应当借助这次大力发展高效节水灌溉的机会,尽力使水生态环境向良好、可持续发展的方向发展。为此,建议各地在发展高效节水灌溉时,要充分做好论证规划。特别是在发展大面积的新建节水灌溉工程时,要强制性的实施水资源许可论证,在水资源已经过度开采的,以及水资源无法满足需要的地区,要坚决杜绝新的节水灌溉工程的上马。在西北内陆河流域,以及黄淮海地区,要特别重视这一问题。

建议节水灌溉工程重点放在以下一些地区实施:一是水资源比较充足,主要是供水工程措施不配套的地区;二是在河流的上游供水比较充裕的地区,这些地区水资源浪费现象一般比较严重;三是在整体缺水、但灌溉工程节水措施不配套的灌溉农田区域内,这也是水资源浪费现象较重的区域。第一种情况下,可根据需要一次性规划建设标准较高的节水灌溉工程,保证灌溉的及时与高效;后两种情况属于已有灌溉农田的节水改造,要在提高灌溉适时性的基础上,大幅度地提高用水效率,减少灌溉水资源消耗量。

在水资源已经严重超采的地区,通过节水改造节约下来的水资源,首先要用于弥补区域已经过度开采的水资源量,有节余后才可以用于扩大灌溉面积,提高灌溉保证率。

三、适宜节水技术的选择问题

发展节水高效灌溉农业,总体上路子是对的,也是必然的选择。但针对每个具体的地方选择什么样的节水灌溉技术,则需要因地制宜,应当避免一刀切。

每项节水技术都有各自的特点,有其优点也有其缺点,也有其适用的环境及需求的条件。因此,选择一项适宜的节水技术,需要综合考虑多方面的因素,包括作物种类、水源条件、土地环境等因素,同时还需要充分考虑经济条件、生产管理模式、操作复杂程度和人员管理水平等因素。

选择适宜的节水技术,可以从两个方面来考虑。一是节水技术的适用性,二是各地的生产条件,特别是灌溉供水条件对节水技术的选择性。

地面节水灌溉技术一次性投入少、运行维护成本低、管理要求宽松,但通常用水量较难控制,节水效果不佳,因此较适用于水资源较为丰富的自流引水灌区,以及提引水较为便利、采用轮灌管理、入畦流量通常比较大的灌区。地理低压管道输水是对传统地面渠道输水的地面灌溉系统的改进,保留了地面灌溉的一些优点,同时在一定程度克服了传统地面灌溉的不足,明显提高了灌溉输水效能及灌水量的可控性,一次性建设及维护管理成本也都不算太高,因此成为井灌区推广应用最为成功的一项节水灌溉技术。喷灌技术一次性投入较大、运行成本较高,且需要较好的组织运行管理水平或是采用自动化程度较高的运行管理模式,但具有供水快捷便利、灌水量易于控制、对地面平整程度要求低、易于实施自动化控制等优点,因此较适用于集中连片种植、整体水资源紧缺但水源供给较为稳定、劳动力成本比较高、土地不够平整的区域。微灌技术,特别是滴灌技术,系统建设及运行、维护成本一般较高,对水源质量、系统控制及灌溉管理也有着较高的要求,因此较适合于水资源严重短缺的地区,以及水、肥需要精量控制供应、经济价值较高、种植密度较低的稀植经济作物,以及温室、苗圃、花坛等环境下使用。

我国各地的自然气候条件及水土资源条件差别很大,因此作物生产对灌溉的依存程度存在明显的差异,这就导致在节水灌溉发展过程中所采取的战略安排会存在很大的不同。我国西北和华北北部的许多地区,降水量十分稀少,农业生产完全依靠灌溉(绿洲农业),或没有补充灌溉粮食产量就会低而不稳(旱作农区)。在这些地区,土地资源一般较为丰富,只要有足够的水资源,灌溉农田的面积是非常易于增加的。这些地区,在保证区域水环境安全及农作物的产量和品质的前提下,应采取各种节水技术措施降低单位农田的灌溉用水消耗量,而节约下来的水量,可以供给工业、城市和生态所需,亦可用于扩大灌溉面积,提高农产品的产出总量,经济效益也是十分显著的。根据需求,喷灌、滴灌、改进地面

灌溉等各类节水技术措施都具有很大的发展空间。在我国黄淮海平原北部地区,有一定的降水量,但无法满足作物生产高产与稳产的需求,几乎每年都需要在固定的时期进行补充灌溉。这些区域,发生干旱时需要快速补给水分,同时由于水资源总量有限,因此每次的灌水定额都要求不能太高。这些区域的大田作物,适宜于推行喷灌、地理低压管道输水配合田间小格田或闸管(小白龙,微喷带)配水等节水灌溉技术,滴灌则在稀植经济作物、果树及保护地栽培中有较大的应用空间。在黄淮河南部及长江流域地区,区域地表及地下水资源较为丰富,并且降水总量比较大,自然降水一般情况下可以满足旱作物的水分需求,只有在遇到特殊气候条件时,才需要补充灌溉。这些地区的节水灌溉发展,应当以建设应急性抗旱灌溉系统为主体,要求建设良好的水源贮备工程,以及配置快速机动的应急性抗旱设备,包括地理供水系统、移动式管道灌溉和喷灌系统等。水田是我国农业的用水绝对大户,也多处于水资源较为丰富的区域。对于北方地区的水田,如果与区域水资源供给存在极大的矛盾,首要的考虑应该是调整产业结构,减少水田的种植面积。而对于水资源总量供给不是首要问题的区域,节水灌溉的关键是建设良好的供水调配系统,做到灌排能够及时、水量能够较好控制,以减少水资源的无效调动量,节约成本,同时减轻农田营养流失以及对环境的污染。而对于西南、东北等一些水资源总量并不短缺,但由于灌溉供水工程严重不足而致使农业经常会发生季节性干旱的地区,解决的途径应当放在水源工程的建设,以及快速、灵活、机动的灌溉系统的配置上。要以建设“五小”水利设施为基础,配置管道输水灌溉、固定和移动喷灌、微灌等节水灌溉系统,做到平时易于维护管理,用时能够快速机动。

四、节水的投入产出问题

节水是需要投入的,不同的节水技术措施的实施,所需要的投入有着很大的差异,节水效果也可能会有极大的不同。节水也是要产生效益的,效益可能体现在多个方面或层次上,比如减少水费、电费支出,省下来的水供给工业和城市使用,用于扩大灌溉面积和提高灌溉保证率,减少对区域水资源的消耗利用,维持或改善区域水资源环境,保证区域农业的可持续发展等。但从上面的分析可以看出,节水的投入量和收益量,以及节水的投入主体与收入主体,可能存在相当大的不协调性。对于我国目前仍以家庭承包经营为主体的农业生产体系来讲,经营规模普遍较小,采用节水技术措施,如果全由农户来投入,获得直接回报的途径可能包括如下几个方面:一是产量提高所致的收入增加,二是减少用水或提高管理效率所致的水费、电费、劳动力支出减少;三是节约下来的水量的转化收入,包括新扩大灌溉面积增加收入,或出售给其他用途或用户所获得的收入。而

其他方面的效益,包括改善区域水环境、保证区域农业均衡增产及可持续发展等,可能与农户的距离太远而无法被其感受,或是与其利益没有什么直接联系而不被认可。从目前的实际情况看,除了在西北的某些地区(特别是内陆河地区)及部分城郊来讲,通过采取节水措施节约下来的水量有可能用于扩大灌溉面积及出售给工业与城市利用外,绝大部分的地区节约下来的水量,更多的是要供给其他用户使用,或用于恢复与保持区域生态环境所需。另外,除了利用节水技术新发展灌溉面积可以取得显著的增产作用,从而获得可观的经济收入外,在原有的灌溉农田上发展节水灌溉,相对于原有灌溉系统的运行,产量增加的机会和程度通常是很小的,单从一块农田的投入产出分析,很多情况下是收入远远抵不上支出的。节水不增产,节水不增收,这就使得许多农民用水户缺少实施节水灌溉的积极性和主动性,也是许多节水新技术在许多地方难以大面积推广应用的一个很重要的原因。

发展节水灌溉,是因为灌溉用了太多的水,造成灌区因灌溉周期太长或水量不足而使部分区域不能得到及时灌溉,或根本无水灌溉;造成了下游河道的断流,致使生态环境严重恶化,整个社会生活受到极大的影响;或造成地下水位严重降低,形成大范围的缺水漏斗区,致使机井不断成批报废,农业生产的可持续性无法保证。因为这些原因,所以必须发展节水灌溉,以减少单位面积的用水量,保障农业生产的可持续性生态环境的良好发展。但是,需要发展节水灌溉的地方,是那些水源相对丰富、灌溉取水通常便利的区域,要使这一区域的农民投入大量的资金发展节水灌溉,节约水量供其他地区的农民使用,或是用于维护生态环境,显然是不具备原始驱动力量的。发展节水灌溉的投资主体及受益主体的严重错位,是影响我国节水农业发展的一个十分重要的因素。

灌溉是农业生产过程中的一个重要的环节,并不是农业生产的全部。因此,节水是保证农业生产持续发展的一个重要手段,但并不是农业生产的最终的目标。农业生产的目标是生产更多、优质的农产品,节水是实现这一目标的一个重要保证。应当讲,农业生产是一种商业活动,而商业活动是要逐利的,即在投入产出关系达不到期望的获利数值时,商家是会逐步放弃这一活动的。但在我国目前的情况下,农业生产还是一种不完全的市场商业活动,因为农业生产还担负着两个重要的任务,一是解决农民的就业问题;二是保证国家的粮食安全问题。这两个问题的承载,已经超出了市场经济的范畴,变身为国家的政治问题。政治问题是国家的问题,虽然对广大农民用水户最终会有一定的影响,但在大多数农民看来,与自己生产经营活动的选择还是风马牛不相及的两件事情。我国农业生产的这一特点,也是影响我国节水农业发展的一个重要因素,对于我国节水农业发展政策的制定与节水技术模式的选择具有十分重大的影响。

五、节水技术的推广与应用问题

节水是我国社会发展的必然选择,更是我国农业发展的必然选择,这一点已经形成全社会的共识。但节水是一个庞大的系统工程。一项节水技术措施,只在其实际影响到的区域内发挥作用。因此,一项节水技术能够在实际生产中发挥多大作用,除了节水技术本身的技术先进性和实用性外,还在更大程度上取决于该技术在生产中得到多大面积的实际应用。另外,节水农业还是一个需要长期开展的工作,工程措施需要不断维修更新,以保证其长期良好运行;农艺措施需要每年、每季实施,才能起到应有效果。因此,只有各地都能因地制宜地大面积推广应用节水技术,并长期坚持不懈地保持节水技术的应用与节水工程的良好运行,才能极大地促进节水灌溉的发展,真正发挥节水技术的作用,收到真正的节水效果。

六、与节水相关的政策法规问题

通过上面的分析,可以把我国发展节水农业的目标简要概况为如下三点:一是满足社会经济发展对水资源日益增加的需求;二是满足水资源总量不可能继续增加,而农产品社会需求量却在不断增加、稳定供给需求又不断提高的背景下农业发展对水资源的需要;三是缓解全社会水资源供需矛盾,通过节水解决过量用水造成的生态环境恶化问题。

要真正实现这一目标,除了加强新的高效节水技术的研究与开发外,还需要在以下几个方面强化工作,采用适宜的政策加以引导,制定相应的法规加以约束,实施恰当的措施予以保障。

(一) 实行总量控制,严格水资源取用管理

首先要进行系统的研究,确定区域的水资源承载能力;其次要加强利用规划,对区域内各类用水实行总量控制;三是加强水资源取用管理,强化用水监管。特别是对于大面积的新增灌溉面积,无论采用什么样的先进技术,都要在实施之前进行强制性水资源论证,凡是水资源供给无法满足要求的,坚决不予批准实施。

(二) 加强总体规划,选择适宜的节水模式

要通过细致的工作,根据各地的水资源条件、作物生产水分供需状况和经济发展水平,制定适宜的节水发展战略,选择适宜的节水技术模式,采用适宜的节水技术措施,确保节水农业的长期稳定发展。

（三）实施分类管理,制定适宜的扶持与补偿措施

在目前的农业经营模式下,投入资金采用节水技术,很多情况下是无法获得相应收益的。这不仅与投入与收益主体的错位相关,还与水的市场价格与实际价值不符相关。在农业供水方面,许多灌区的售水收益是要远远低于供水成本的,但为了保证农业生产的稳定发展、保证农民收益的不断增加,供水价格又是长期不允许调整,甚至根本就无法收取。这就需要政府制定适宜的政策措施,要么对用水户进行支持与补偿,要么对灌区供水者予以经济补偿。目前已经采取了灌区部分回归事业单位编制,国家投资建设节水灌溉工程,对节水灌溉设备实施购置补贴等一系列措施,但相关政策的配套性还不足,使得节水农业活动处于半市场驱动、半计划调控的状态,引发许多的矛盾与冲突,需要进一步的加以改进与完善。

从本质上讲,农业生产过程还是一种市场经济下的商业活动。随着我国农业现代化进程的不断加快,农业生产的规模化经营会越来越普遍,与国际市场接轨的需求也会越来越强烈。而节水问题作为整个生产过程的一个环节,也需要逐步适应这一变化趋势。这就要求国家逐步完善相关的政策与法规,规范国家的支持和补贴活动,同时要加强水权的明晰与落实,加强水权市场的建设及水权交易的管理,充分发挥市场的资源配置功能,促进并保证节水工作的稳定开展。

（四）建设服务体系,支撑节水农业的长期稳定发展

除少部分节水技术一次应用后可以在很长时间内发挥作用外,大多数节水技术措施都需要定期进行更新与维护,还有相当多的技术措施则是每年或经常执行才能充分发挥作用,像覆盖技术、非充分灌溉制度、墒情监测等就是如此。因此,除了增加投入,努力扩大灌溉技术的覆盖面积外,还需要投入人力和物力,使节水工作能够长期地坚持下去,并确保各项节水措施能够落实到位,充分发挥其应有的作用。为此,要建立长效投入机制,使节水设施与设备能够得到及时的维护与更新,使之始终保持良好的运行状态;还要加强节水技术推广工作,建立节水技术服务体系,对全国各地的节水工作及时提供技术服务与技术支持,使得节水技术发挥最大作用,保障节水农业的持续稳定发展。

节水是一项十分重要的工作,也是一项十分艰巨的任务。只有技术研究、产品开发、模式集成、推广应用及政策保障这几个环节都做好了,才能保证节水技术在现实生产中发挥应有的作用,取得显著的节水效果,为我国农业的持续稳定发展提供可靠的水资源保障。



段爱旺 1963年3月生,博士,博导,研究员,中国农业科学院/水利部农田灌溉研究所所长。长期从事作物高效用水理论与技术开发方面的研究工作,主要研究方向有作物需水规律与灌溉制度,作物-水关系及高效利用技术,作物水分信息采集与灌溉预报技术。现为《灌溉排水学报》主编,农业部作物需水与调控重点开放实验室主任,水利部灌溉试验总站站长,先后主持国家“863”课题、科技攻关课题、公益性行业(农业)专项项目、国家自然科学基金等

各类项目20余项,获省部级以上科技进步奖6项,主编出版专著5部,发表论文120余篇。

论黄土高原半干旱地区农草牧协调发展途径

李凤民

兰州大学干旱农业生态研究所,草地农业生态系统
国家重点实验室

摘要:此文以作者近 20 年来相关研究为基础,综合分析了半干旱黄土高原地区种植业、草地建设和畜牧业发展的关系以及可持续发展途径。近十余年来,马铃薯和玉米两大高产作物单产持续提高,并随市场需求持续旺盛,种植业逐渐向这两大作物集中,种植业结构实现了自然调整。然而,高产的同时也导致土壤质量下降风险不断积累,需加以高度重视。一般而言,常规割草型苜蓿草地生产力低于同地小麦生物量,采取沟垄覆盖后产草量虽可高于小麦地上生物量,但仍大大低于玉米地上生物量,两种苜蓿栽培方式均不足以支撑规模性畜牧业。本地区天然草地生产力更是远低于苜蓿地。这些结果在很大程度上解释了数十年以来草地畜牧业发展步履维艰的主要原因。与自然撂荒恢复的天然植被和添加草木樨辅助恢复植被相比,将苜蓿作为人工辅助性植被恢复途径则具有十分显著的优势,应加以重视。旱地农业是畜牧业发展的主要饲草料支撑,苜蓿草地处于辅助性地位。基于此,半干旱黄土高原应走以农为主、农草结合为特点的畜牧业发展之路。

一、近年来旱地农业的发展

新中国建立以来,旱地农业经历了几个重要阶段。20 世纪 70 年代及之前,主要是总结传统旱农经验,兴修梯田,进行基本农田建设;80 年代到 90 年代,修建高标准梯田和淤地坝,小流域综合治理,并以合理施用化肥、以肥调水为重点,同时,关注生物资源综合利用,提高农业整体效益;90 年代后期,以降水资源高效利用为特点的集水农业开始兴起,集雨补灌、垄沟覆盖栽培迅速发展,同时,深松少耕、保护耕作也处在研发和起步阶段;进入 21 世纪之后,综合集雨栽培技术体系得以不断发展,与市场需求增加和粮食价格提升同步,推动了作物结构调

整,以马铃薯和玉米为代表的高产作物种植面积不断扩张,低产性的传统小杂粮作物种植面积不断被压缩。

以甘肃为例。改革开放 30 余年来,甘肃黄土高原半干旱地区旱地粮食亩产从 1978 年的 80 kg 左右增加到 2008 年的约 180 kg,人均粮食占有量从 20 世纪 70 年代的 250 kg 左右增加到 2008 年的 350 kg 左右(图 1),步入温饱型粮食自给水平。这期间,20 世纪 80 年代联产承包责任制带来了单产水平几乎直线性的升高;20 世纪 90 年代粮食单产处于巨大波动阶段,总体水平几乎没有提高;进入 21 世纪之后,粮食亩产从 20 世纪 90 年代末的 120 kg 左右一跃提高到约 160 kg 的水平,人均粮食占有量也从 300 kg 左右跃升到 350 kg。

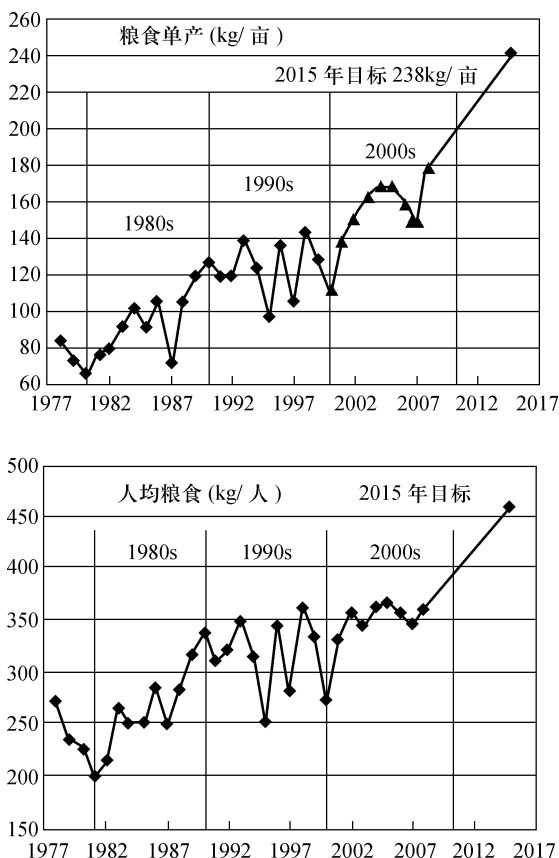


图 1 近 30 余年以来甘肃黄土高原粮食单产和人均占有粮食动态^[1]

甘肃省黄土高原半干旱地区集水农业起步于 20 世纪 90 年代初^[2,3],1996 年在中央和各级地方政府的支持下,集水农业得以快速发展,并在 20 世纪 90 年代末期基本形成了田间微集水支持下的农田作物生产和雨水收集存储高效利用支持下的高附加值种植业两大技术体系^[4-6]。进入 21 世纪后,两大技术体系的

效益得以显现,应是进入新世纪后粮食单产跃上新台阶的主要技术支撑。

近 10 余年来沟垄覆盖技术不断完善,在经历了 2000 年左右马铃薯产业^[7-9]的快速起步和发展之后,近年来沟垄地膜覆盖玉米生产能力的大幅提升,也获得了快速发展^[10-12](图 2)。

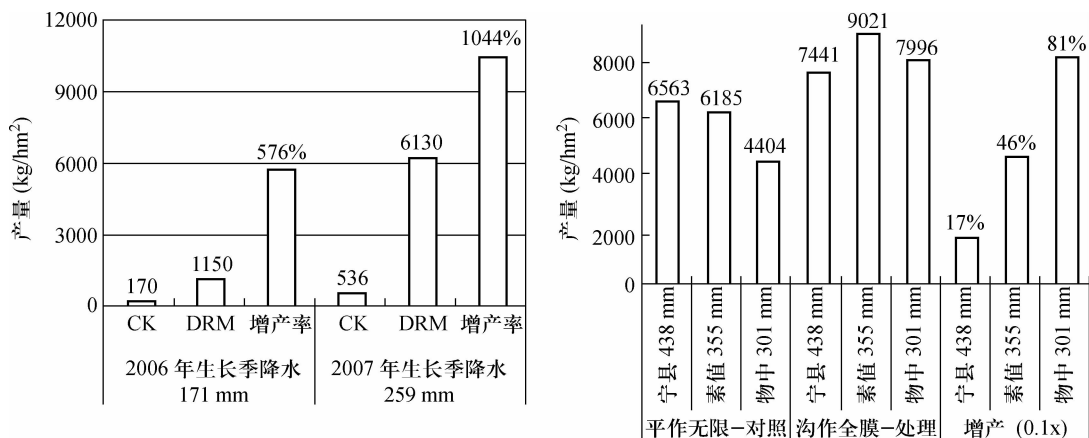


图 2 甘肃沟垄地膜覆盖栽培玉米的产量效应

注:CK 为常规平地无覆膜的对照,DRM 为全膜覆盖双垄沟播栽培处理。左图为甘肃榆中北山地区(2006—2007 年),海拔 2400 m,年均温 6.5℃^[11];右图为 2008—2009 年平均值(未发表数据)。

在以全膜覆盖双垄沟播技术为主的田间微集水技术支撑下,在马铃薯和玉米单产快速提高的基础上,2010 年甘肃省制定发布了以中部半干旱地区为核心的 50 亿斤粮食生产能力的建设发展规划。计划从 2009 年到 2015 年,小麦播种面积由 1376.1 万亩增加到 1400 万亩,单产从 190 kg/亩增加到 200 kg/亩(2000—2008 年均值为 182 kg/亩);玉米播种面积从 750 万亩增加到 1100 万亩,单产从 296.5 kg/亩增加到 366 kg/亩(2000—2008 年均值为 310 kg/亩);马铃薯播种面积从 965.3 万亩增加到 1000 万亩,单产从 197.9 kg/亩增加到 300 kg/亩(2000—2008 年均值为 207 kg/亩);其他作物(小杂粮)播种面积从 714.3 万亩减少到 500 万亩,单产维持在 154 kg/亩左右(2000—2008 年均值为 142 kg/亩,2009 年为 198.1 kg/亩)。

二、地膜覆盖引起的土壤质量风险

沟垄地膜覆盖促进地表水分、温度改善是提高生产力的主要机制^[13-15]。然而,表层土壤水分和温度条件的改善将会大幅度提高土壤呼吸速率(图 3),加快有机质的矿化,使本已十分贫瘠的土壤(特别是黄绵土)雪上加霜^[16]。

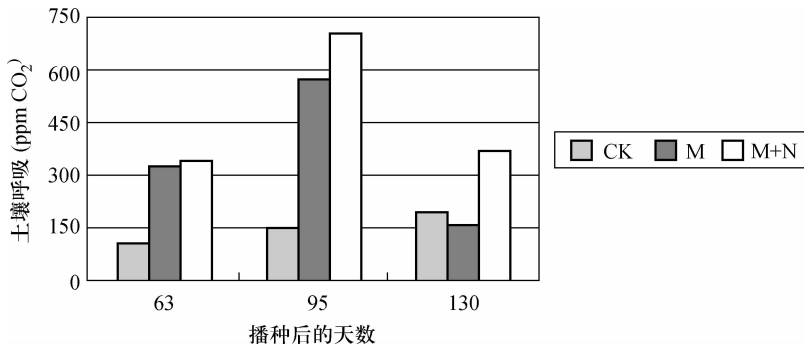


图3 小麦农田地膜覆盖和施氮肥对土壤呼吸速率的影响

(CK 为不覆膜的对照, M 为全膜覆盖, N 为施氮, M + N 为全膜覆盖施加氮肥)

我们的研究指出,在全膜覆盖的情况下,土壤微生物体碳含量同土壤有机碳(SOC)、总含氮量、矿物氮含量以及有效磷含量均呈显著负相关(表1),表明这些重要参数对地表水温条件的改善十分敏感,随着土壤微生物活性的提高,这些重要参数则趋于下降^[17]。近年来对全膜覆盖双垄沟播玉米农田的研究也发现了类似的结果^[12]。这些现象预示着农田土壤生态系统中存在着一个正反馈机制:改善农田土壤水温条件会导致土壤呼吸加快,有机质矿化过程加强,并促使土壤 C/N 下降、C/P 比上升,均远离平衡态,其结果是促进氮素损失增加,磷素有效性下降,从而导致土壤质量进一步退化。

表1 地膜覆盖春小麦农田中土壤微生物生物量碳(MBC)与土壤有机碳(SOC)、总氮、矿物氮和有效磷的线性相关分析^[17]

年份	有机碳 (g/kg)	总氮 (g/kg)	矿物氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)
1999	-0.949	-0.732	-0.702	-0.822
2000	-0.795	-0.519	-0.829	-0.678
两年合计	-0.873	-0.632	0.140	-0.634

显然,如何破解这一正反馈机制,提升土壤质量,使土壤质量与生产力协同推进提高,还需要作更多的研究。

三、苜蓿草地生产与生态功能的权衡以及畜牧业发展之路

多年以来,政府和很多专家都在提倡和推动半干旱黄土高原地区发展草地畜牧业,但长期以来步履维艰,畜牧业比重仍较低,和预期尚有较大差距。进入

新世纪之后,以退耕还林还草为契机,专家和政府大力倡导舍饲养畜,但近十年以来,畜牧业的发展也较为有限。

在澳大利亚、新西兰等国家,豆科草地与农田轮作是维持土地可持续性的主要措施之一。而在半干旱的黄土高原地区,苜蓿是目前最重要的豆科牧草,但生产力水平不高,常规苜蓿草地的产草量一般要低于同类型地区小麦的生物量(图4)^[18],即使采取沟垄覆盖的方式提高产草量^[19,20],在年均降水量300 mm的地区,产草量可以高于本地小麦地上生物量约1/4,但仍然低于沟垄覆盖栽培的玉米地上生物量的30%,在满足畜牧业发展所需饲草料方面比较效益较低,其竞争力远不及玉米,甚至不及小麦,这可能是长期以来群众不愿意大量种植苜蓿的重要原因。

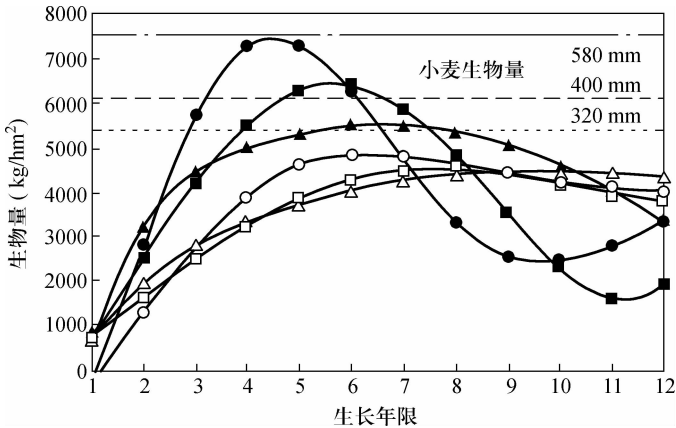


图4 不同降水量地区苜蓿年度生物量与年累计平均生物量动态及与小麦地上生物量的比较

注:▲■●分别表示年均降水量为320 mm、400 mm和580 mm的地区苜蓿草地年度生物量;△□○分别表示年均降水量为320 mm、400 mm和580 mm的地区苜蓿年累计平均生物量;短点、长点以及点划线分别表示320 mm、400 mm和580 mm降水量区小麦地上生物量。

我们通过入户调查也发现类似的结果^[21]。在甘肃榆中县北山地区(年均降水量约300 mm),农户舍饲养羊规模(或发展舍饲养羊的意愿)同出售马铃薯的数量呈极显著负相关,同粮食总产量(以玉米为主)呈极显著正相关,同苜蓿产草量(草地数量)呈现负相关趋势(未达显著水平)。亦即,种植苜蓿尚不足以支撑舍饲养羊业的发展,而以玉米为主体的粮食生产能力的高低在很大程度上决定着舍饲畜牧业的规模;因为马铃薯的秸秆和块茎均不能直接作为舍饲养羊的饲草料,马铃薯种植面积越大,舍饲养羊的规模就会越小(表2)。

表 2 甘肃榆中县北山地区影响舍饲养羊业发展的农户家庭主要因素分析

Variable	Parameter	S - error	Wald χ^2
女性数量	1.043	0.381	7.486
子女数量	2.740	0.626	19.172
家长年龄	0.156	0.052	9.080
家长受教育程度	4.390	0.916	22.971
养羊时间	2.972	0.583	25.996
土地数量	0.174	0.056	9.826
粮食产量	0.057	0.028	4.261
出售马铃薯数量	0.034	0.011	8.978
苜蓿草地数量	0.923	0.677	1.859
非农收入	2.002	0.678	8.718
总收入	3.181	0.616	26.629
农技推广协议	4.512	0.964	21.911
与市场距离	0.503	0.248	4.099

注:苜蓿数量与养羊负相关趋势。养羊大户的粮食种植面积大而苜蓿草地少,支撑畜牧业发展的主要基础是旱地粮食作物(主要是玉米,不含马铃薯)而不是苜蓿草地,后者只是起到一定的补充和辅助作用。

割草是苜蓿草地最普遍的利用形式,能否利用割草型苜蓿草地恢复地力是体现其生产性的另一个重要方面。我们的研究指出,常规种植的割草型苜蓿草地,土壤有机碳(SOC)、土壤总氮(STN)以及土壤SOC/STN比值等重要指标均呈现缓慢下降(图5),表明其无法改善土壤质量,那么也就不能通过这种形式的首蓿草地进行草田轮作从而实现农田地力的恢复了^[22,23]。

生态恢复性植被建设是半干旱地区改善生态环境的重要步骤,退耕还林还草是其主要的政策支撑。我们对播种苜蓿(*Medicago sativa* Linn.)、二年生草木樨(*Melilotus officianalis* Linn.)和撂荒地进行了跟踪试验^[24],结果指出,试验6年中,撂荒地生物量基本在1000 kg/hm²水平上徘徊,草木樨除在第3年明显下降外,大部分年份都在2000 kg/hm²水平以上,而苜蓿第3年后即超过2000 kg/hm²,到第6年甚至超过6000 kg/hm²(图6)。亦即,人工辅助性植被恢复的生物量明显高于撂荒地自然恢复,从扩大碳库、防风固土、减少水土流失等生态效益来看,苜蓿显然具有绝对优势。

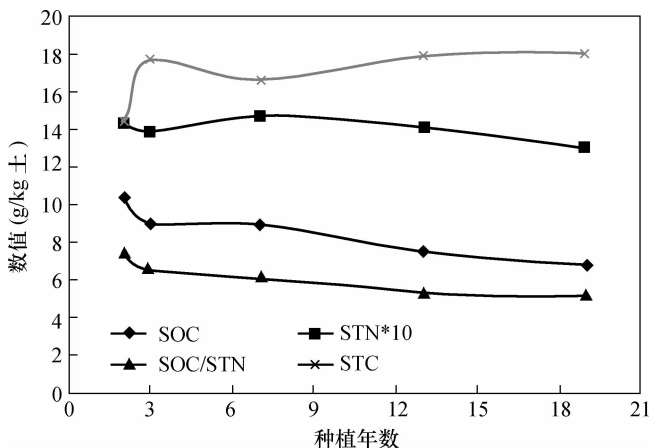


图5 常规苜蓿草地重要指标随生长年限的变化动态

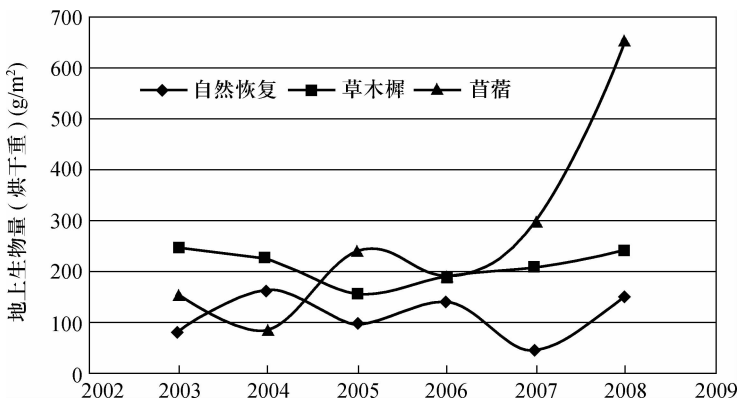


图6 苜蓿和草木樨辅助生态恢复性植被的生物量动态比较

苜蓿草地经常为人诟病的一个重要因素是其大量消耗深层土壤水分。我们对9年生苜蓿草地翻耕后土壤水分恢复情况研究显示,翻耕第一年即开始种植一年生农作物(草谷子),不同作物轮作4年后0~5 m土壤水分可以恢复80%以上^[25]。这是对生产性作物系统进行的研究,对于生态保护性植被,由于水分利用程度较弱,其土壤水分条件应该不会低于这样的程度。

从上述分析不难发现,苜蓿草地由于生产力水平低于主要农作物(小麦、玉米、马铃薯),很难成为本地区发展草地畜牧业的主要饲草料来源,撂荒地植被生产能力极低,更不具备支撑规模性草地畜牧业的能力。群众发展舍饲养羊的实际也清楚地说明了苜蓿和目前正在快速发展的玉米相比所具有的劣势,亦即,以玉米为代表的一年生作物正在形成发展畜牧业的主要饲草料来源,而苜蓿只可作为辅助性饲草料共同支撑粮草混合型畜牧业的发展。另一方面,相对于撂荒

地自然恢复和草木樨辅助恢复植被而言,苜蓿由于较高的生产力在生态恢复植被建设中具有明显的优势。

四、结语

(一) 在半干旱黄土高原地区,沟垄地膜覆盖可增产 17% ~ 80%

马铃薯和玉米两大作物与本地区水热条件十分吻合,随着梯田、施肥、集雨、畜牧业等的不断发展,农业综合生产力将会持续提高。随着玉米、马铃薯和畜牧业市场需求的持续旺盛,种植业逐渐向这两大作物集中,种植业结构的自然调整,也会进一步助推本地区农业生产力的进一步提升。

(二) 尽管沟垄覆盖栽培研究已十年有余,但多年来多以提高产量为核心,对其增产性与可持续性的机理尚缺乏深入系统的研究

表层土壤水分和温度的提升或调整是最基本的原理所在。然而,高产的同时也导致土壤质量下降的严重风险。目前保护性耕作、草田轮作、秸秆还田等都还在摸索之中,这些措施尚无法证实符合当地的生产实际,尚难以有效提高土壤质量,给沟垄覆盖增产技术留下了隐患。

(三) 常规的割草苜蓿草地生产力低于同地小麦生物量,采取沟垄覆盖后产草量虽高于小麦地上生物量,但仍大大低于玉米地上生物量,二者均不足以支撑规模性畜牧业

由撂荒地自然演替形成的天然草地生产力更是远低于苜蓿地,这在很大程度上解释了数十年以来虽经政府与学者大力宣传和倡导,人工草地和草地畜牧业发展均步履维艰的主要原因。农户调查结果也进一步证实了这样的判断。然而,生态保护性苜蓿草地(不割草)比草木樨辅助的生态植被恢复形成的生物量更快、更高,而撂荒地演替的群落地上生物量虽然较为稳定,但生物量最低。因此,从扩大土壤碳库、防风固土、减少水土流失等生态效益来看,以苜蓿作为人工辅助性植被恢复将具有十分显著的优势。

(四) 旱地农业是畜牧业发展的主要饲草料支撑,苜蓿草地处于辅助性地位,撂荒地恢复的自然植被经历了十年来的恢复性生长,在经过严格评估之后可作为夏秋季少量的饲草补充,且宜严格控制放牧强度,入冬前一个月应严格禁止放牧

基于此,半干旱黄土高原地区畜牧业发展的主要途径在于旱地农业,就目前

来看,天然草地和人工草地均不具有支撑大规模畜牧业的能力。亦即,半干旱黄土高原应走以农为主、农草结合为特点的畜牧业发展之路。

(五) 梯田建设是发展旱地农业、改善生态环境、构建新型可持续性农业生态系统的的基本前提

在目前技术水平下,宜加大高标准梯田的建设力度,并进一步提高梯田建设标准,为扩容土壤碳库、抵御生态风险、增加生态系统弹性、实现稳定可持续发展奠定基础。

参考文献

1. 杨新民,等. 陇原乡村巨变——甘肃农村改革开放 30 年资料汇编. 甘肃人民出版社,2009.
2. 赵松岭,等. 半干旱地区集水农业的可行性,西北植物学报,1995,15(8):9-12.
3. 赵松岭,等. 黄土高原半干旱地区水土保持型农业的局限性. 西北植物学报,1995,15(8):13-18.
4. 李凤民,等. 黄土高原半干旱地区春小麦农田有限灌溉对策初探. 应用生态学报,1995,6(3):259-264.
5. 李凤民,等. 半干旱黄土高原集水高效农业的发展. 生态学报,1999,19(2):152-157.
6. 李凤民,等. 黄土高原半干旱地区集水型生态农业分析. 中国生态农业学报,2002,10(1):101-103.
7. Tian Y, Li F M, Liu P H. Economics analysis of rainwater harvesting and irrigation methods, with an example from China. *Agricultural Water Management*, 2003,60: 217-226.
8. Wang X L, Li F M, Jia Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature. *Agricultural Water Management*, 2005,78(3): 181-194.
9. Zhao H, Xiong Y C, Li F M, et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem. *Agricultural Water Management*, 2012,104(1): 68-78.
10. Liu C A, Zhou L M, Li F M, et al. Effects of plastic film mulch and tillage

on maize productivity and soil parameters. *European Journal of Agronomy*, 2009, 31 (4): 241 - 249.

11. Zhou L M, Li F M, Jin S L, et al. How double ridges and furrows mulched with plastic film affect soil water, soil temperature and yield of maize on the semiarid Loess Plateau of China. *Field Crops Research*, 2009, 113(1): 41 - 47.

12. Zhou L M, Jin S L, Liu C A, et al. Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem. *Field Crops Research*, 2012, 126: 181 - 188.

13. Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of plastic film mulch on the yield of spring wheat. *Field Crops Research*, 1999, 63 (1): 79 - 86.

14. Li F M, Wang P, Wang J, et al. Effects of irrigation before sowing and plastic film mulching on yield and water uptake of spring wheat in semiarid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 2004, 67 (2): 77 - 88.

15. Li F M, Wang J, Xu J Z. Negative effect of grain yield in spring wheat mulched with plastic film on a semiarid area. *Journal of Sustainable Agriculture*, 2005, 25(4): 5 - 17.

16. Li F M, Wang J, Li S Q, et al. Productivity and soil responses to plastic film mulching duration on spring wheat cropland in semiarid area. *Soil & Tillage Research*, 2004, 78 (1): 9 - 20.

17. Li F M, Song Q H, Hao J H, et al. Dynamics of soil microbial biomass C and soil fertility in cropland mulched with plastic film in a semiarid agro-ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36(11): 1893 - 1902.

18. 贾宇,等.黄土高原苜蓿草地生产与生态效应分析. 邬建国,李凤民. 现代生态学讲座(V)—宏观生态学与可持续性科学. 北京:高等教育出版社,2010.

19. Jia Y, Li F M, Zhang Z H, et al. Productivity and water use of alfalfa and subsequent crops in the semiarid Loess Plateau with different stand ages of alfalfa and crop sequences. *Field Crops Research*, 2009, 114: 58 - 65.

20. Jia Y, Li F M, Wang X L. Soil water and alfalfa yields as affected by alternating ridges and furrows in rainfall harvest in a semiarid environment. *Field Crops Research*, 2006, 97 (2 - 3): 167 - 175.

21. Zhang W S, Li F M, Xiong Y C, et al. Econometric analysis of the determinants of adoption of raising sheep in folds by farmers in the semiarid Loess Plateau of China. *Ecological Economics*, 2012, 74: 145 - 152.

22. Jiang H M, Li F M, Jiang J P. Soil carbon pool and effects of soil fertility

in seeded alfalfa fields on the semi-arid Loess Plateau in China. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(8): 2350 - 2358.

23. Wang X L, Jia Y, Li X G, et al. Effects of land use on soil total and light fraction organic, and microbial biomass C and N in a semi-arid ecosystem of north-west China. *Geoderma*, 2009, 153(1 - 2): 560 - 565.

24. 郭志斌. 半干旱黄土高原地区不同干预方式下撂荒地演替植被生物量与土壤物化性质变化. 兰州大学博士学位论文, 2011.

25. Wang X L, Sun G J, Jia Y, et al. Crop yield and soil water restoration on 9 - year - old alfalfa pasture in the semiarid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(3): 190 - 198.



李凤民 博士, 兰州大学教授, 国家杰出青年基金获得者, 教育部长江学者特聘教授, 教育部创新团队带头人。主要研究领域: 旱地农业生态, 植物/作物生态, 社会生态学。

先后任干旱农业生态国家重点实验室/干旱与草地生态教育部重点实验室副主任、主任, 旱区农业与生态修复教育部工程研究中心负责人, 旱寒生态学“111”学科创新引智基地负责人, 旱地农业生态系统联合研究中心(CDAE, LZU - UWA - ICARDA)中方负责人。兼任国务院第六届学位委员会生物学科评议组成员, 教育部第3、4、5届科技委生物学(二)部委员, 中国生态学会农业生态专业委员会副主任, 加拿大渥太华大学兼职教授, 西澳大利亚大学兼职教授, *Agronomy Journal* 副编辑, *Agriculture, Ecosystem & Environment* 咨询编委等。

先后主持科研项目 20 余项, 获教育部自然科学一等奖, 发表论著 200 余篇, 其中 SCI 收录 90 篇。

担任教育部重点实验室主任期间, 扭转了该实验室长期以来的困难局面, 在周期性评估中被评为优秀类实验室。在科学研究中, 初步建立了以生活史生态学为基础的作物抗旱性理论框架。通过对旱地农业集水补灌、田间微集水、作物生产力和土壤质量演变关系以及苜蓿草地与作物关系等的系统研究, 提出了半干旱退化生态系统修复与重建的集水型生态农业体系及其景观模式。

黄土高原农果牧复合循环农业的构建

吴发启 等

西北农林科技大学资源环境学院

摘要:本文在循环农业的概念、目标及其原则阐述的基础上,针对黄土高原农果牧三大产业并存的现状,从循环农业实现的理论基础、技术以及关键突破口等方面着手,提出了黄土高原农果牧复合循环农业的构建思路。

一、循环农业的概念、目标以及原则

目前,国内外关于循环农业的概念没有统一的认识。不同学者从生态农业、有机农业、循环经济角度出发,提出了不同的观点和描述^[1]。周震峰认为,循环型农业是在保护农业生态环境和充分利用高新技术的基础上,调整和优化农业生态系统内部结构及产业结构,提高农业系统物质能量的多级循环利用,严格控制外部有害物质的投入和农业废弃物的产生,最大限度地减轻环境污染,使农业生产经济活动真正纳入到农业生态系统循环中,实现生态的良性循环与农业的可持续发展^[2]。高旺盛认为,循环农业与传统农业的主要区别在于循环农业更加注意把循环经济理念应用到农业生产中,提倡农业生产全过程和农产品生命周期的过程控制;摒弃了常规农业一味地追求高投入、高产出、高消耗、高排放的生产方式,注重建立资源利用高效率、外部投入最低化、污染排放最少化的生产目标;常规传统农业往往局限于农业系统内部的小产业,而循环农业加强了相关产业的链接和循环^[3]。

农业系统是一种在自然生态系统基础上的人工生态系统,其资源类型可以分为四种类型:一是光热水等自然资源,需要周年高效循环利用;二是化肥、农药、机械等系统外购买性资源,需要尽量减少不合理投入并提高效率;三是秸秆、粪便等农业生产中间废弃资源,需要再生利用;四是农业系统排放到大气和地下的有害物质和温室气体等,需要实现可预见、可控制,减少无效排放。通过农业系统内循环和系统外反馈循环相结合,提高能量转化率和物质循环利用率。尽管研究者各自的出发角度存在差异,我们认为循环农业的精髓应该是可再生废弃资源利用最多、光热自然资源利用效率最大、有害污染物排放最少、购买性资

源投入最低。循环农业技术目标是一高两低,即资源利用率高,物能投入低消耗,污染物输出低排放。

因此,这种农业生产模式的建立应遵循 4R 原则,即减量化(Reduce)原则:尽量减少农业系统外部购买性资源的投入量,实现源头输入技术的科学化;再循环(Recycle)原则:在农业系统中,要对光热水等可更新资源,尽量进行周年循环化高效能地利用;再利用(Reuse)原则:对于农业生产过程中残留剩余的秸秆、粪便等中间资源,要尽量多级化地再利用;可控制化(Regulating)原则:对于农业系统向界面外部排放的有害、有毒的各种物质要实现技术的可控制化,减少污染排放^[3]。另外,在水土流失严重的黄土高原,土地利用结构调整和水土保持是循环农业构建的基础,资源的充分利用是循环农业健康发展的途径。故在该地的循环农业可谓是“水土保持型生态农业”的高级发展阶段。

二、黄土高原农果牧复合循环农业实现的基础

以陕西省黄土高原为例。陕西省黄土高原区包括关中平原、渭北旱塬以及部分陕北黄土高原中南部丘陵沟壑区,已成为粮食、果品和养殖业的重要集约化生产区。农果牧并存且产业量大是该区域农业生产的最大特色,这为农果牧复合循环农业的开展与实施提供了基础条件。

(一) 秸秆资源丰富,农田直接循环利用潜力大,但技术方面有待突破

位于黄土高原南部的关中平原是陕西乃至西北地区重要的粮食主产区之一,冬小麦—夏玉米一年二熟的种植制度已成为该区最重要的种植制度。目前实行这一种植制度的农田面积 1000 余万亩,每年生产小麦、玉米秸秆总量分别达 620 万吨、416 万吨,分别占全省的 85.3% 和 58.3%,两种秸秆总量为 1036 万吨,占全省秸秆总量的 64% 左右。陕西黄土高原区的秸秆总量达到 2436 万吨,目前直接焚烧或作为燃料的占 47.3%,直接还田或堆腐后还田的占 17% 左右,作为饲料利用的占 17.6%,其他用途(建筑、工业)占 18.4%。在秸秆的利用方面主要存在资源化利用率低,被随意弃置在田间地头腐烂掉或焚烧,不仅造成秸秆资源极大的浪费,而且对大气环境和水环境造成了不良影响等问题。另外,在直接还田的过程中,还存在技术等问题,如腐解慢,影响出苗;机械设备不配套;杂草、病虫害严重等。总体看来,秸秆直接还田循环利用的潜力大,但还田技术、模式方面有待突破。

(二) 果渣资源量大,饲料化潜力大,生产工艺急需提高

渭北高原及陕北黄土高原南部则是我国最大的苹果优生区。苹果栽植面积

800多万亩,年产鲜果约800万t,果汁约480万t。每年可产生鲜苹果渣200万吨。其中作为饲料利用的占70%,废弃的占25%,其他作为食品化工等占5%。在饲料利用中,存在的主要问题是:生产企业对果渣直接烘干处理量只占到总量的20%左右,75%由当地农民通过自然晾晒,在秋冬季,日照不足,气温低,每批晾干周期长达30~40天,晾晒中约80%的果渣发霉,严重影响了饲料的品质。大量果渣腐烂发臭,也严重影响了果汁厂周边居民的生活与生存环境。利用生物发酵、生产高品质果渣饲料的占不足5%,果渣的饲料化生产尤其是生物发酵生产的技术工艺亟待加强。

(三) 畜禽粪便资源丰富、但农业循环利用效率低

黄土高原中南部目前为我国重要的奶畜业生产基地。畜牧业的发展引起畜禽粪便排泄物的大量增加,该区域每年畜禽粪便排泄总量约为1600万吨。在畜禽粪便的处置利用方面,废弃排放的占30%、作为肥料利用的占65%,其他利用的占5%。在肥料化利用过程中,经过简单堆腐的占85%,直接施用的10%,经过生物发酵的只占5%左右。存在问题是到处堆放,引起严重的空气污染和地表水和地下水源的污染。畜禽粪尿中含有大量病原微生物,如大肠杆菌、链球菌等细菌和病毒类,会引起人类疾病及人畜共患疾病的传播,对养殖场周边居民的生活环境与生命安全形成了巨大压力和潜在威胁;畜禽粪便的快速无害化处理与养殖业的发展不匹配,资源化利用程度亟待提高,以畜禽粪便为资源的功能型生物有机肥的开发等亟须完善工艺和技术。

三、实现黄土高原农果牧复合循环农业的关键技术和突破口

种植业内部的循环以秸秆直接还田或秸秆饲料化后过腹还田为纽带(图1)。针对黄土高原的土壤气候特点,应以秸秆的直接还田为技术突破口。从秸秆腐解的调控、养分及水分管理、病虫害防治和相应的机械化耕作还田措施等方面建立综合技术体系。

果牧循环以果渣饲料化为突破口,通过果渣饲料促进畜牧养殖业稳定与发展,产生的畜禽粪便进行高效有机肥或功能型有机肥生产,进而施入果园,促进果业的稳定与持续发展,形成农果牧循环模式(图2)。在该模式中一方面突破果渣饲料化技术,以果渣的生物发酵形成果渣蛋白饲料为突破口,建立包括发酵剂应用在内的果渣蛋白饲料生产工艺以及相应的标准化喂养技术综合技术体系;另一方面,以高效有机肥料的生产技术为突破口,建立功能型有机肥的生产—施用综合技术体系,如功能微生物菌剂以及养分的配伍技术、肥料烘干工艺以及肥料的标准化施用技术等。

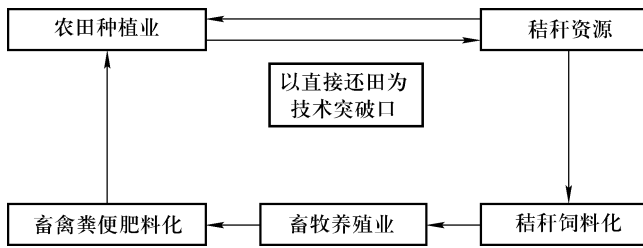


图1 农田内部循环或农牧循环图

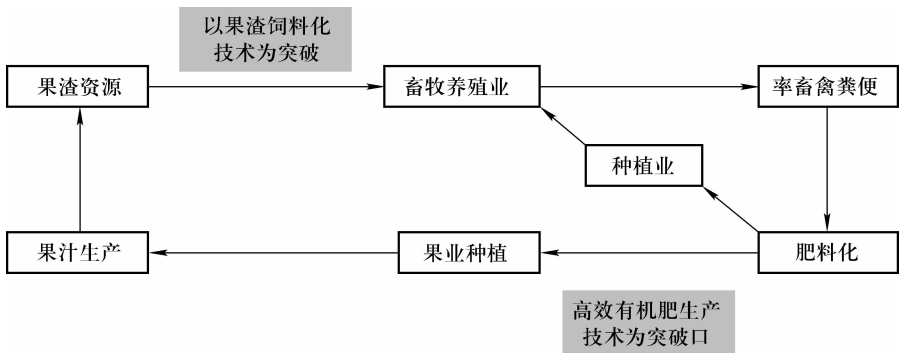


图2 因牧或农果牧循环图

四、实现黄土高原农果牧复合循环农业的技术与理论基础

我们以“十一五”国家科技支撑计划课题“关中平原农田循环生产综合技术集成研究与示范”为基础,在过去5年时间里,研究了秸秆直接还田、农田复合种植及农牧结合等不同农田循环生产模式对作物产量、土壤质量及土壤碳氮循环的影响,初步评价和筛选了秸秆直接还田模式,建立起机械化条件下秸秆还田综合技术体系,初步建立起秸秆直接还田、生物有机肥利用、秸秆饲料化基地,从理论上研究和揭示了秸秆还田为主的土壤有机碳转化循环规律及秸秆还田的田间生物增碳效应,并提出了运用能值分析和生命周期分析相结合的综合评价农田循环生产模式的方法等。为实现黄土高原农果牧复合循环农业奠定了技术与理论基础。

(一) 初步建立了关中平原秸秆直接还田综合技术模式,探明了有机碳转化规律及土壤增碳效应

经过田间不同还田模式的比较筛选,提出了黄土高原南部的平原区小麦—玉米两熟轮作条件下秸秆直接还田的最佳模式,即“小麦秸秆高留茬还田—玉米

秸秆粉碎直接还田”,建立了保证该模式充分发挥作用的机械化配套技术、生物酶加速秸秆快速腐解技术、秸秆还田下的养分水分管理和病虫害防治综合技术体系。

利用长期田间定位试验,揭示了研究区秸秆还田量对土壤有机碳储量的影响。在小麦留高茬、硬茬播种玉米的条件下,玉米的 1/2 秸秆量还田、全量秸秆还田、1.5 倍秸秆量连续还田 21 年后,与施用化肥相比,土壤耕层有机碳储量分别增加 12.2%、24.4%、40.5%,平均每年土壤有机碳储量增加量分别为 154.8、265.4、412.7 kg/hm²,单位秸秆碳的累积系数平均为 0.056。弄清了玉米秸秆腐解过程中物质组成及能态变化特征,探明了半纤维素、纤维素、木质素等秸秆组分的分解规律,秸秆腐解是一个放能过程,在研究区农田生态条件下玉米秸秆年矿化率为 80% 左右^[4]。秸秆腐解过程中土壤水分条件愈优越,愈有利于使秸秆有机碳向无机碳方向转化,而不利于向土壤有机碳方向转化;施氮能明显促进秸秆腐解;秸秆腐解受到土壤原有的基础肥力的影响。

(二) 评价和筛选了研究区的复合种植模式

对黄土高原中南部现有的农田复合种植模式进行了初步调查分析,该区域存在粮—粮、粮—经、粮—菜、果—菜、果—药和果—草等复合种植模式。其中,小麦—玉米是主导模式,复种指数为 2;经济效益低,为 400~500 元/亩年。小麦/辣椒、小麦/棉花是重要复合模式,复种指数接近 2;经济效益较高,为 800~1200 元/亩年。果菜、果药复合种植是主要模式,复种指数达到 2.5~4;经济效益明显,为 1500~2100 元/亩年。果园生草技术模式的经济效益差,技术应用不到位,农民积极性不高。

用能值分析方法对不同农业循环生产模式进行综合评价。农果复合循环生产模式中,养分循环流动主要发生在农业和果业系统,以元素 P 利用效率最高, N 最低。农业种植系统的营养元素含量占最大比重,果业子系统次之,畜牧业子系统最小,养分循环流动主要发生在农业和果业系统,因此适宜发展畜禽养殖,以提高畜牧业子系统中养分物质流动的比重,可加强物质循环利用途径,同时为农业和果业的健康发展提供保障。农果复合循环生产模式中不同子系统能流特征存在差异,农业种植子系统有机能/无机能的比值、能量产投比、能流循环指数均低于果业子系统,说明农业种植子系统中有机能投入低,有机肥源不足,劳动力投入不够,系统能流的投入结构不合理,应当加强有机能的投入,提高系统能流循环指数,增强系统的稳定性,促进系统的可持续发展。而果业子系统投入以有机能为主,系统的自给能力强,果业子系统的能投效益较好。畜牧业子系统能量流动主要以饲料投入、粪便和产品输出为主,能量产投比达到 6.4,接近于果

业子系统的 6.2,但显著高于农业种植子系统的 1.5,说明农业种植子系统仍需加强有机能投入,以提高能量产投比^[5]。

(三) 攻克了玉米秸秆青贮饲料生产关键技术,建立了工艺流程,并在部分企业进行了推广应用

研制获得高效秸秆及果渣青贮发酵剂。通过试验研究研制了用于秸秆发酵饲料的黑曲霉 H14 和饲料酵母 Y12 混合发酵剂;用于果渣发酵饲料的乳酸菌 R1 和 R16、酵母菌 M1 和 M5、蜡样芽孢杆菌 B2 混合青贮发酵剂(已获国家发明专利)。混菌发酵技术生产的秸秆发酵饲料,纯蛋白含量达到 260 ~ 280 g/kg,较对照提高了 55% ~ 58%;氨基酸总量较对照增加 74%,其中动物必需的赖氨酸、精氨酸、酪氨酸及蛋氨酸含量较对照增加了 91% ~ 118%。采用新型工艺生产的饲料喂养牲畜后,产奶量平均比传统秸秆和果渣青贮饲料显著提高 8.4%,其中饲喂青贮果渣的奶山羊产奶量可提高 15% ~ 25%,发酵饲料喂养奶牛可将乳蛋白提高 5% 左右。采用新型饲料的山羊奶,脂肪、非脂固形物、密度、蛋白质、冰点、乳糖、灰分含量均有显著提高。

(四) 初步建立了畜禽粪便无害化和肥料化生产技术

目前已经筛选了除臭菌剂,能有效减少或者消除农业废弃物在腐解过程中产生的具有恶臭气味的气体;并从细菌、真菌、放线菌、酵母菌中筛选出在腐解过程不同阶段起腐解作用的菌株,获得废弃物快速腐解菌剂。初步筛选了生物肥料菌剂,从养分释放与活化、调节植物发育和提高作物抗性等角度全面提高有机肥的肥效。

(五) 初步形成了农田循环生产综合技术体系,为黄土高原农果牧复合循环农业的构建奠定了技术与理论保障

在“十一五”工作的基础上,初步解决了秸秆直接还田快速腐解、秸秆饲料化等关键技术,获得了相应的专利等,形成了农田秸秆直接还田技术体系、农田复合种植循环技术体系和农牧循环生产技术体系。建立了秸秆直接还田和示范基地及示范区和秸秆农牧综合利用示范基地及示范区。为黄土高原农果牧复合循环农业的构建奠定了技术与理论保障。

参考文献

1. 程序. 中国生态农业与生物质工程对循环经济的作用[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 1 - 4.
2. 周震峰, 等. 关于发展循环型农业的思考[J]. 农业现代化研究, 2004, 25(5): 348 - 351.
3. 高旺盛, 等. 论发展循环农业的基本原理与技术体系[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(6): 731 - 734.
4. 王旭东, 等. 农田不同肥力条件下玉米秸秆腐解效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 252 - 257.
5. 吴发启, 等. 农果复合系统营养物质的盈亏平衡特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 413 - 416.



吴发启 1957年生,教授。主要从事“水土保持与荒漠化防治专业”的教学与黄土高原水土保持与区域农业发展的研究。曾发表科技论文120余篇,获省部科技进步奖5项。主持国家“九五”、“十五”、“十一五”和“十二五”科技支撑项目及自然科学基金项目多项。

附录

参会人员名单

姓名	工作单位	职称/职务
胡四一	中华人民共和国水利部	副部长/教授
高中琪	中国工程院二局	副局长
罗莎莎	中国工程院二局农业学部办公室	主任
郑召霞	中国工程院二局农业学部办公室	
姬 学	中国工程院三局学术与出版办公室	
魏小抗	陕西省水利厅	副厅长
李 瑛	陕西省水利厅对外合作与科技处	处长
耿乃立	陕西省水利厅	副调研员
山 仑	西北农林科技大学	院士
李佩成	长安大学	院士
王 浩	中国水利水电科学研究院	院士
南志标	兰州大学	院士
康绍忠	中国农业大学	院士
孙其信	西北农林科技大学	校长/教授
赵 忠	西北农林科技大学	副校长/教授
吴普特	西北农林科技大学	副校长/教授
刘建朝	长安大学	副校长/教授
程 序	中国农业大学	教授
王 涛	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所	所长/研究员
李凤民	兰州大学	教授
王立祥	西北农林科技大学	教授
李生秀	西北农林科技大学	教授
梅旭荣	中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所	所长/研究员
段爱旺	中国农科院水利部农田灌溉研究所	所长/研究员
杨金忠	武汉大学	教授
邓铭江	新疆维吾尔自治区水利厅	教授级高工
史志诚	陕西省农业厅	教授

续表

姓名	工作单位	职称/职务
李强庆	陕西省农业厅副巡视员	教授
田军仓	宁夏大学	教授
里森科夫	俄罗斯地质勘探大学	教授
加尔别林	哈萨克斯坦国立大学	教授
里蒙彩娃	俄罗斯科学院地球化学与分析化学研究所	研究员
安德祥	新疆水电及农村电气化发展局	局长/高工
刘国彬	中国科学院水利部水土保持研究所	所长/研究员
程积民	中国科学院水利部水土保持研究所	研究员
徐家宽	长安大学	主任
杨生堂	陕西省生态学会、长安大学	副秘书长/教授
张正斌	中国科学院遗传与发育生物学研究所	研究员
吴文勇	北京市水利科学研究所	高工
张仁陟	甘肃农业大学资源与环境学院	处长/教授
马兴旺	新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所	副所长/研究员
路振广	河南省水利科学研究院	所长/教高
张玉亭	河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所	主任/研究员
武继承	河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所	所长/研究员
崔欢虎	山西省农业科学院小麦研究所	主任/研究员
易 秀	长安大学	副院长/教授
李启垒	长安大学	教授
蔡立群	甘肃农业大学资源与环境学院	副教授
张 军	甘肃农业大学资源与环境学院	讲师
朱 林	宁夏大学西部生态中心	助理研究员
杨永辉	河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所	助理研究员
高照良	中国科学院水利部水土保持研究所	副研究员
吕金印	西北农林科技大学生命学院	教授
吴发启	西北农林科技大学资环学院	教授

续表

姓名	工作单位	职称/职务
田霄鸿	西北农林科技大学	教授
周建斌	西北农林科技大学	教授
杨福增	西北农林科技大学	副院长/教授
李立科	西北农林科技大学	研究员
赵英	西北农林科技大学	副研究员
张俊杰	西北农林科技大学科研处	副处长
李占斌	黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室	研究员
李世清	黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室	研究员
杨明义	黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室	研究员
邓西平	黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室	研究员
张岁岐	黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室	研究员
康振生	旱区作物逆境生物学国家重点实验室	研究员
初阳瑞	长安大学	高级实验员
艾玛	哈萨克斯坦国立大学	留学博士生
刘箬	长安大学	留学博士生
李军媛	长安大学	留学博士生
郭曼	长安大学	博士后
郑飞敏	长安大学	
伏苓	长安大学	讲师、博士生
朱红艳	长安大学	博士生
王建莹	长安大学	博士生
徐春燕	长安大学	硕士生
姚阿曼	长安大学	硕士生
冯浩	国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心	副主任/研究员
范兴科	国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心	研究员
牛文全	国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心	副研究员
蔡焕杰	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	副院长/教授

续表

姓名	工作单位	职称/职务
贾志宽	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	副院长/教授
韩文霆	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	副院长/副教授
戚鹏	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	副院长
张富仓	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	所长/教授
朱德兰	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	所长/教授
韩清芳	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	所长/教授
何建强	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	教授
胡笑涛	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	副教授
王玉宝	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	副教授
吴淑芳	国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心	副研究员
赵勇钢	西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院	博士后

后 记

科学技术是第一生产力。纵观历史,人类文明的每一次进步都是由重大科学发现和技术革命所引领和支撑的。进入 21 世纪,科学技术日益成为经济社会发展的主要驱动力。我们国家的发展必须以科学发展为主题,以加快转变经济发展方式为主线。而实现科学发展、加快转变经济发展方式,最根本的是要依靠科技的力量,最关键的是要大幅提高自主创新能力。党的十八大报告特别强调,科技创新是提高社会生产力和综合国力的重要支撑,必须摆在国家发展全局的核心位置,提出了实施“创新驱动发展战略”。

面对未来发展之重任,中国工程院将进一步加强国家工程科技思想库的建设,充分发挥院士和优秀专家的集体智慧,以前瞻性、战略性、宏观性思维开展学术交流与研讨,为国家战略决策提供科学思想和系统方案,以科学咨询支持科学决策,以科学决策引领科学发展。

工程院历来重视对前沿热点问题的研究及其与工程实践应用的结合。自 2000 年元月,中国工程院创办了中国工程科技论坛,旨在搭建学术性交流平台,组织院士专家就工程科技领域的热点、难点、重点问题聚而论道。十年来,中国工程科技论坛以灵活多样的组织形式、和谐宽松的学术氛围,打造了一个百花齐放、百家争鸣的学术交流平台,在活跃学术思想、引领学科发展、服务科学决策等方面发挥着积极作用。

至 2011 年,中国工程科技论坛经过百余场的淬炼,已成为中国工程院乃至中国工程科技界的品牌学术活动。中国工程院学术与出版委员会今后将论坛有关报告汇编成书陆续出版,愿以此为实现美丽中国的永续发展贡献出自己的力量。

中国工程院

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120