

我国农业水资源形势与高效利用战略举措

王浩^{1,2}, 汪林^{1,2}, 杨贵羽^{1,2}, 贾玲^{1,2}, 姚懿真^{1,2}, 张瑀桐^{1,2}

(1. 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, 北京 100038;

2. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100038)

摘要: 21 世纪以来, 我国耕地面积、灌溉面积和粮食主产区不断向北方集中, 北粮南运进一步加剧了水土资源错位, 农业水资源胁迫度增加, 黄河以北主产区地下水利用难以持续。为支撑国家粮食安全, 提供合理的农业水资源基本保障, 本文在系统梳理我国农业水资源形势、粮食生产与消费状况、粮食作物灌溉需求空间分布与适水种植区域等基础上, 以满足未来粮食消费需求、不逾越用水总量控制红线为目标, 倒逼灌溉规模和灌溉方式调整, 采用定额法核算了 2025 年、2030 年农田灌溉水资源需求阈值。结果表明: 保障未来 1×10^9 亩 ($1 \text{ 亩} \approx 666.667 \text{ m}^2$) 高标准农田用水需求, 须在强化节水条件下保障农田灌溉基本用水底线 $3.23 \times 10^{11} \text{ m}^3$, 开发利用非常规水源约 $6.44 \times 10^9 \text{ m}^3$; 提出应以适水种植提高雨水的利用, 强化工程节水和农艺节水提高灌溉水的利用, 增加非常规水利用和强化管理等为重点, 建设节水高效的现代灌溉农业和集雨增效的现代旱作农业战略举措。

关键词: 农业水资源; 农田灌溉用水阈值; 现代旱作农业; 现代灌溉农业; 适水种植; 战略举措

中图分类号: S27 **文献标识码:** A

Agricultural Water Resource in China and Strategic Measures for its Efficient Utilization

Wang Hao^{1,2}, Wang Lin^{1,2}, Yang Guiyu^{1,2}, Jia Ling^{1,2}, Yao Yizhen^{1,2}, Zhang Yutong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Since the 21st century, the cultivated area, irrigated area, and main grain-producing zone have been continuously concentrated to the North of China, and the North-to-South grains transportation has further aggravated the dislocation of land resources and water resources, which leads to the increase of agricultural water resources stress, and the unsustainability of underground water in the main grain-producing zone to the north of the Yellow River. To ensure national food security and provide rational basic guarantees for agricultural water resources, based on the analysis of the agricultural water resources situation, the grain production and consumption, the spatial distribution characteristics of food crop irrigation water requirements, and the precipitation

收稿日期: 2018-09-10; 修回日期: 2018-09-20

通讯作者: 杨贵羽, 中国水利水电科学研究院, 教授级高级工程师, 主要从事水文学水资源和农业水土工程方面的研究工作;

E-mail: guiyuy@iwhr.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国农业资源环境若干战略问题研究”(2016-ZD-10)

本刊网址: www.english.cn

adapting cropping areas in China, the paper employed the irrigation quote method to calculate the minimum thresholds of farmland irrigation water requirements in 2025 and 2030 under the condition of the irrigation method adjusted and rational irrigation scale constrained by the grain consumption demand and the total water use control red line in future. The results show that, to meet the water demand for high-standard farmlands of 66.67×10^6 hectares in the future, a bottom line of $3.23 \times 10^{11} \text{ m}^3$ water for farmland irrigation should be guaranteed while strengthening water-saving conditions, and approximately $6.44 \times 10^9 \text{ m}^3$ unconventional water should be exploited to supplement fresh water shortage. Strategic measures of establishing water-saving and high-efficiency modern irrigation farming and water-collecting and efficiency-improved dry farming systems are proposed. To this end, the following measures should be stressed: precipitation adapting cropping should be promoted to improve rainwater utilization efficiency, engineering and agronomic measures should be taken to increase the utilization efficiency of irrigation water, utilization of unconventional water resources should be increased, and water resource management should be enhanced.

Keywords: agricultural water resources; threshold value of irrigation water; modern dry farming; modern irrigation farming; precipitation adapting cropping; strategic measures

我国水资源人均占有量少, 时空分布不均, 粮食安全对灌溉水的依赖性大, 粮食产量与灌溉面积同步增长。2015年我国农田有效灌溉面积达到 9.88×10^8 亩 (1 亩 $\approx 666.667 \text{ m}^2$) [1], 占耕地面积的 48.8%, 有效保障了粮食产量“十二连增”佳绩。

一、我国农业用水态势及面临的问题

2001年以来全国农业用水量基本维持在 $3.86 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 左右, 呈现“零”增长, 占国民经济用水量比例下降到2015年的63.1%。灌溉面积不断北移, 在1996年由南方大于北方逆转为北方大于南方, 水土资源持续向非农产业转移。在现状多年平均情形下灌溉缺水超过 $3 \times 10^{10} \text{ m}^3$, 灌溉农业面临严峻挑战。

(一) 农业干旱缺水态势进一步增加, 北方农业水资源胁迫度增加

我国多年平均水资源量为 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (1956—2000年, 北方18.8%, 南方81.2%), 2000年以来减少5.5%, 但南北方分布变化不大, 同期耕地向北方集中, 由2000年的55.5%增加到2015年的59.6%, 2015年亩均水资源占有量北方约为南方的1/6。未来50年我国仍将面临普遍升温, 农业干旱缺水态势将进一步加剧。

2015年我国粮食总产量为 $6.21 \times 10^8 \text{ t}$ [2] (北方56.1%, 南方43.9%)。粮食主产区由2007年的13个省[3]减少为2015年的7个省, 并向北集中, 传统的主产区湖北、江西、辽宁、江苏、湖南、四川6省滑入平衡区; 主销区由7个扩大

到13个, 青海、西藏、广西、贵州、重庆、云南6省(市、自治区)由平衡区落入主销区, 加剧了水土资源的错位, 农业水资源胁迫度增加。

(二) 粮作种植布局与降水分布不匹配, 对灌溉的依赖性增加

全国七大农业主产区中的五大区(东北平原、黄淮海平原、汾渭平原、河套灌区和甘肃新疆主产区)集中分布在常年灌溉区和补充灌溉区。全国800多个粮食主产县, 60%集中在常年灌溉区和补充灌溉区。2001—2015年全国水稻播种面积增加了 2.105×10^7 亩, 其中北方增加了 2.725×10^7 亩; 小麦播种面积尽管减少了 7.85×10^6 亩, 北方仍占全国的67.6%, 其中黄淮海地区占全国的48.4%。玉米播种面积增长了 3.73×10^8 亩, 88%的增加在北方。粮食生产区及三大粮食作物播种面积逐渐向常年灌溉区和补充灌溉区集中, 增加了灌溉用水需求。

(三) 灌溉开采量不断增加, 华北浅层地下水位持续下降

根据《中国水资源公报2015》[4], 除松花江区外, 我国北方地区水资源开发利用均超过国际警戒线(40%), 其中华北地区最高, 达到118.6%。地下水资源开发利用, 除西北诸河区外, 其他分区均在增加, 华北地区达到105.2%, 黄淮海平原、松辽平原及西北内陆盆地山前平原等地区地下水位持续下降。

华北平原由于冬小麦和夏玉米种植, 农业地下水用水量不断增加, 形成了冀枣衡、沧州、南宫三大深层地下水漏斗区。据有关统计, 京津冀

地区年超采地下水约 $6.8 \times 10^9 \text{ m}^3$, 地下水累计超采量超过 $1 \times 10^{11} \text{ m}^3$, 地下水超采面积占平原区的 70% 以上 [5]。

(四) 高效节水工程和信息化建设滞后, 农业用水效率偏低

长期土地分散经营模式下形成的分散用水模式, 使现状节水灌溉方式简单、规模小, 高效节水灌溉面积占比低, 节水灌溉制度推行难, 水资源利用效率偏低。2015 年我国高效节水灌溉面积达 2.69×10^8 亩 [1], 占有效灌溉面积的 27.2%; 节水率较高的喷微灌面积仅占有效灌溉面积的 13.7%, 远不及发达国家 2000 年水平。农业灌溉用水有效利用系数为 0.536, 仅为发达国家的 75%。目前, 灌区监测体系尚未建立, 用水计量缺位, 农田水利信息化建设处于试点、探索阶段。农业水价偏低, 水费实收率不足 70%, 超过 40% 的灌区管理单位的运行经费得不到保障。灌区信息化建设滞后, 管理制度缺失, 制约着节水灌溉技术的推广和节水效果。

二、我国粮食生产安全需水阈值分析

我国北方多数地区地表水资源开发程度已超上限, 地下水严重超采, 黄河以北主产区地下水利用濒临危机, 难以持续。到 2030 年基本实现灌溉现代化, 全国灌溉用水量控制在 $3.73 \times 10^{11} \text{ m}^3$, 农田有效灌溉面积达到 1.035×10^9 亩, 节水灌溉率达到 74%, 农田灌溉水有效利用系数提高到 0.60 以上, 单方灌溉水粮食产量超过 1.60 kg。强化节水、建设现代灌溉农业和现代旱作农业体系是当前和今后一个时期提高农业水资源效率, 保障 1×10^9 亩高标准农田建设的重要任务。

(一) 我国粮食生产与消费现状

根据《中国统计年鉴》[2], 2001—2015 年全国粮食总产量增长了 37.3%; 其中北方粮食产量占全国的比重达到 56.1%。稻谷、小麦、玉米三大口粮作物播种面积集中于北方, 其中, 冬小麦集中分布于黄淮海平原、陕西关中平原、湖北、四川盆地和新疆, 且以山东、河南、安徽、河北分布面积较大, 四省产量达 $8.413 \times 10^7 \text{ t}$, 占全国产量的 70%。水稻(中季稻) 主要分布在黑龙江、江苏、四川、

安徽、湖北、湖南和云南, 七省产量为 $9.434 \times 10^7 \text{ t}$, 占全国的 69.7%。玉米主要分布于东北三省、内蒙古、山西、河北、山东和河南, 辽吉黑蒙常年播种面积维持在 $1.35 \times 10^4 \sim 1.5 \times 10^4$ 亩, 占全国玉米生产量的 40% 左右。

结合消费变化, 我国粮食产销关系呈现三个特征: ①粮食生产大于消费但区域发展不均衡。2015 年我国的水稻、小麦、玉米、薯类四大类粮食作物生产总量达到 $6.06 \times 10^8 \text{ t}$, 相应消费总量为 $5.82 \times 10^8 \text{ t}$, 自给度达到 104%。区域上表现为北方产量大于消费量, 南方反之。②以粮食生产消费平衡率(生产和消费之差与消费之比)为衡量指标, 我国现状主产区减少并向北方集中, 南方主销省区增多。若以生产消费平衡率 $>10\%$ 且生产贡献率 $>3\%$ 为主产区, 生产消费平衡率 $<-10\%$ 为主销区, 生产消费平衡率 $-10\% \sim 10\%$ 为平衡区, 与 2007 年相比, 2015 年粮食主产区集中在黑龙江、吉林、内蒙古、河南、安徽、河北、山东 7 个省(区), 原为主产区的湖北、江西、辽宁、江苏、湖南、四川 6 省滑入平衡区; 粮食主销区包括北京、上海、广东、天津、浙江、福建、青海、海南、西藏、广西、贵州、重庆、云南 13 个省(市、区), 增加了青海、西藏、广西、贵州、重庆、云南 6 省(市、区)。粮食平衡区包括宁夏、新疆、甘肃、江苏、江西、湖北、辽宁、山西、湖南、陕西、四川 11 省(区), 其中辽宁、江西、湖北、湖南、四川原属于主产区, 而原属于平衡区的广西、重庆、贵州、云南、西藏、青海 6 省(市、区)已变为主销区。③南方粮食缺口扩大, 以缺少饲料粮和工业用粮为主。

总之, 现阶段全国粮食生产可划归为 3 大生产区, 即东北平原、华北平原和长江中下游平原, 其中黑龙江、吉林、内蒙古、河南、安徽、河北、江苏、山东 8 省(区)为净调出区, 成为我国南方粮食需求的重要支撑, 东南区是北粮南运的重点输入区域。

(二) 灌溉水量(蓝水)需求的分布与区域转移

采用 Local Moran's I 指数 [6] 对各省水稻、小麦、玉米三种主要作物总需水量、灌溉面积上需要的蓝水量、灌溉面积上生产 1 kg 粮食需要的灌溉水量(蓝水)进行空间分析, 并采用生产单位 i 种粮食作物需要的蓝水量与全国平均值之比, 辨

识主要粮食作物的适水种植区域。

水稻，蓝水需求低值区位于四川、重庆、贵州、湖北、江西、浙江6省（市），生产单位水稻的蓝水需求量小于等于全国平均值的60%；其次是东北三省以及湖南、福建、云南、广西、广东和海南，小于等于全国平均值。

小麦，蓝水需求低值区位于江苏、安徽、河南、湖北、陕西、四川等省，生产单位小麦蓝水的需求量小于全国平均值的一半；山东、河北、青海等省，蓝水需求量不足全国平均值。

玉米，蓝水需求呈区块分布。生产单位玉米蓝水需求量小于等于全国平均值的有三块，一是黑龙江、吉林和辽宁；二是云贵川、广西、湖南地区；三是山东、山西、安徽等地，且尤以前两个区域的蓝水需求量小于全国平均值的一半。

总体上看，我国粮食作物生产的总需水量北方大于南方，对灌溉水（蓝水）的依赖度北方大于南方；但单位粮食生产蓝水需求量北方小于南方，且主产区小于平衡区、小于主销区（见图1）。可见，在当前粮食生产条件下，粮食生产水分利用效率呈现北方高于南方，主产区最高、平衡区次之、主销区相对较小的特点。

按粮食生产量与消费量之差乘以其生产单位公斤粮食所需的灌溉水量（蓝水）计算，2015年主产省区余粮中附着（消耗）的灌溉水量（虚拟水量）达到 $2.079 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，主销省区缺粮中附着的灌溉水量约为 $2.862 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，平衡省区粮食略有剩余，附着的灌溉水量约为 $5.41 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。2015年河北、

山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、宁夏、甘肃、新疆北方11个省（区）的余粮共计 $1.23 \times 10^8 \text{ t}$ ，占全国余粮的比例高达91.2%，附着在其中的灌溉水量达到 $2.29 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，通过粮食流通由北方流向南方，加剧了北方水资源的短缺。分省虚拟水运移量如图2所示。

（三）保障未来我国粮食生产的需水阈值分析

在水土资源不匹配、水资源供需矛盾突出，北粮南运进一步加剧了北方水资源压力，充分挖掘天然降水（绿水）的利用潜力，减少灌溉水量（蓝水）的利用量，成为全面提高水资源利用效率的努力方向，保障粮食安全基本用水须遵循三项基本原则：①守住农业基本用水底线，坚持“以水定灌”；②坚持开源与节流并重，节水为先；③突出用水效率和效益，优化粮作布局，预测了保障粮食安全的有关灌溉面积和农田灌溉需水阈值。

1. 灌溉面积发展规模

以满足未来粮食需求、不逾越用水总量控制红线为目标，结合《全国现代灌溉发展规划（2012—2020年）》[7]和主要粮食作物适水种植区域，采用定额法分析预测了农田灌溉面积：

到2025年，全国农田有效灌溉面积为 1.02×10^9 亩，北方约占56.1%，主要集中在黑龙江、山东、河南、新疆、河北和内蒙古6省（区），其中黑龙江最大，约占全国的10%。

到2030年，全国灌溉面积达到 1.145×10^9 亩，农田有效灌溉面积为 1.035×10^9 亩，增加面积主要

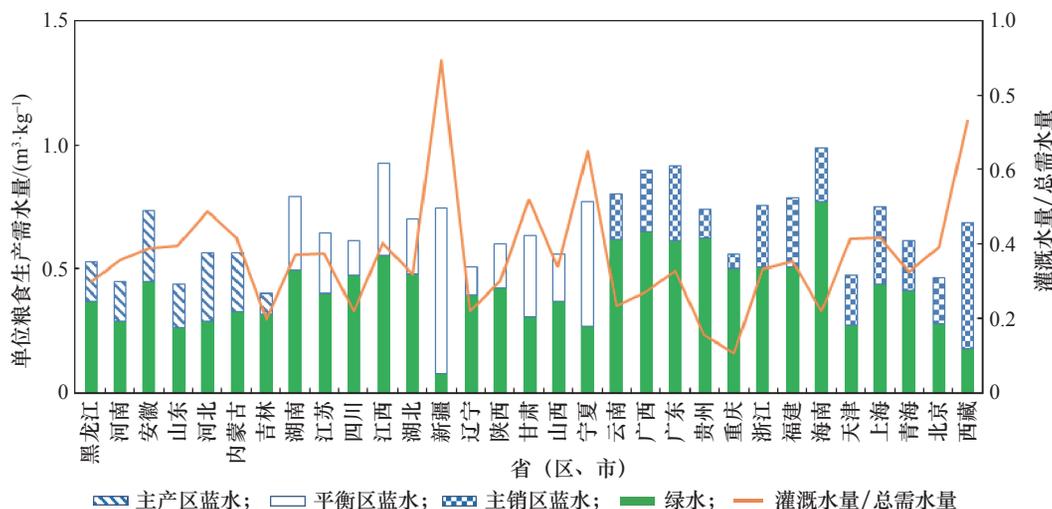


图1 2015年省级行政区粮食生产需水量及单位粮食生产虚拟水量

分布在黑龙江、吉林、内蒙古、四川、山东、湖北。各省区农田有效灌溉面积分布如图3所示。

2. 农田灌溉需水量阈值

综合考虑农田灌溉需水量和农田灌溉可用水量，要保障未来 10×10^9 亩高标准农田用水需求，需进一步采用强化节水、适水种植、优化种植结构等综合“节流”措施，届时，农田灌溉水有效利用系数由现状的 0.536 提高到 2025 年的 0.575 和 2030 年的 0.600；按有效灌溉面积计算，2025 年、2030 年农田灌溉需水量将分别达到 $3.705 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 和 $3.604 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ；按现状实灌面积占有效灌溉面积比例折算的灌溉面积计算，2025 年、2030 年农田灌溉需水量将分别达到 $3.12 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 和 $3.031 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，缺水省份合计缺

水量分别为 $1.096 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 和 $6.44 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

综上所述，为了保障未来 1×10^9 亩高标准农田用水需求，需要保障农田灌溉基本用水底线 $3.23 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ，开发利用非常规水源约 $6.44 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。

三、农业水资源高效利用战略举措

在新形势下，我国粮食生产的主要矛盾已由总量不足转变为结构性矛盾，粮食生产向北方转移，南北方水资源与粮食生产错位加剧，保障粮食安全须因地制宜采取综合节水措施。北方地区，推行土地集约化利用和适产高效型限水灌溉（调亏灌溉）制度相结合，同时考虑小麦南移、农牧交错带以草

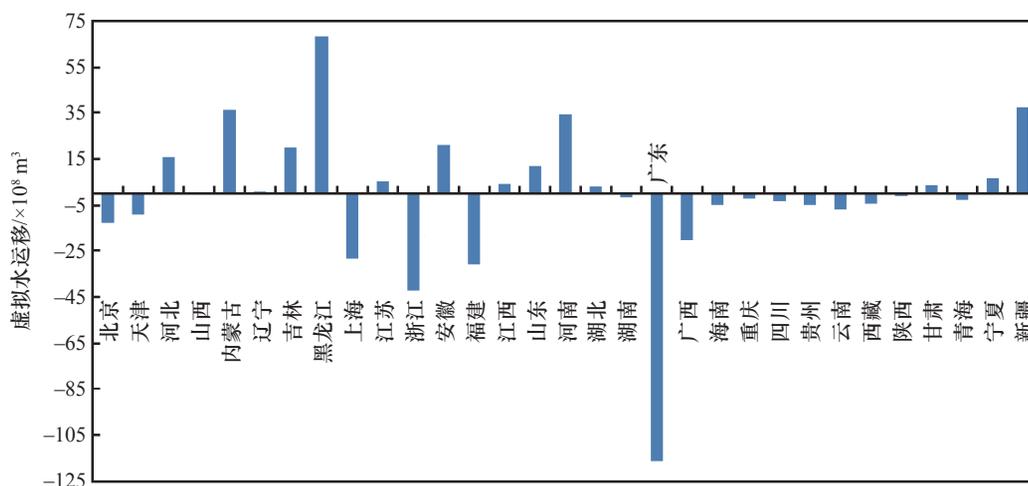


图2 2015年南北方虚拟水运移量分析

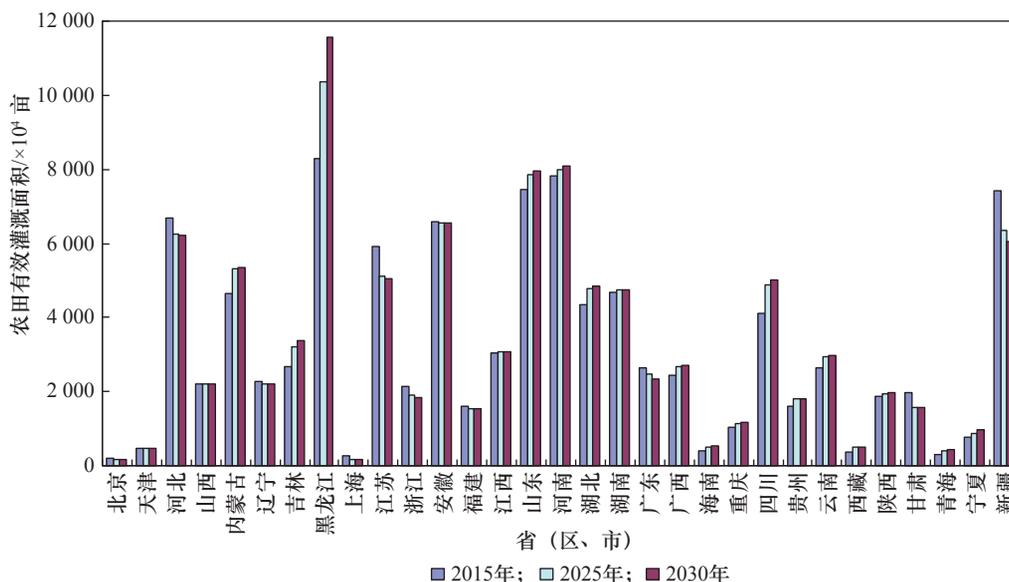


图3 2015年、2025年、2030年省级行政区农田有效灌溉面积分布

业为主的种植结构调整。在南方地区，稳定基本农田和控制排水型适宜灌溉相结合，果草结合，发展绿肥种植。

（一）建设节水高效的现代灌溉农业

按照现状种植结构和农田灌溉用水水平，支撑 1×10^9 亩农田灌溉用水，2030 年粮食主产区因地制宜采取如下综合节水措施，实现亩均节水 $60 \sim 80 \text{ m}^3$ 。

1. 推广高效灌溉技术和渠道防渗技术

发展以喷灌、微灌为主的高效节水灌溉技术，提高灌水效率，争取到 2025 年，节水灌溉面积达到 7.75×10^8 亩，其中喷灌、微灌和管道输水灌溉的高效节水灌溉面积达到 4.2×10^8 亩。到 2030 年，节水灌溉面积达到 8.5×10^8 亩，其中喷灌、微灌和管道输水灌溉高效节水灌溉面积达到 5.0×10^8 亩。严重缺水的华北地区全面推广灌溉输水灌溉和喷微灌。

2. 适水种植，小麦南移抑制灌溉需求量增长

按照作物需水和灌溉水量的地区规律特征，坚持有保有压，适水种植优化粮食作物布局，通过小麦南移、适水种植，以水限产、调亏灌溉，稳定我国冬小麦优势区生产。适度调减华北地下水严重超采区小麦，发展旱作冬油菜 + 青贮玉米、耐旱耐盐碱的棉花、油葵和马铃薯，以最小的灌溉用水需求保障水稻、小麦口粮生产安全，抑制华北冬小麦需水量。北方广大半干旱、干旱地区，压缩灌溉玉米的种植面积，恢复谷子、高粱、牧草等耐旱作物面积。南方重点推进云贵和广西结构调整，从粮食作物种植向饲草料种植方向转变，促进玉米资源从跨区域销售转向就地利用、有效利用天然降水；减少地下水开采量和化肥施用量，减缓北方地区地下水超采和面源污染；增加南北方饲料粮自给，减少北粮南运的压力。

3. 调亏灌溉，挖掘作物高效用水潜力

结合作物生育期水分敏感特点，大力推广调亏灌溉制度。与常规灌溉相比，华北平原多年平均条件下，实行冬小麦调亏（或亏缺）灌溉与夏玉米雨养制度，小麦、玉米两熟制每亩节水 $50 \sim 100 \text{ m}^3$ ，小麦亩均减产小于 13%。在稳产（约 1000 kg/亩 ）前提下，较传统灌溉制度可提高作物水分利用效率约 10%；结合可供水量，华北地区可保证灌溉麦田 1.04×10^8 亩。坚持量水发展，非灌溉地发展粮草轮

作，推进种养结合和其他旱作农业模式，逐步退减地下水超采量，有序实现地下水的休养生息。

东北地区采取水稻控制灌溉措施，灌溉量可由 $335 \text{ m}^3/\text{亩}$ 降低到 $210 \text{ m}^3/\text{亩}$ ，亩均增产约 5%。长江中下游与四川盆地，采取水稻“浅薄湿晒（或湿晒浅间）”措施，灌溉量可由 $520 \text{ m}^3/\text{亩}$ 降低到 $310 \text{ m}^3/\text{亩}$ ，亩均增产约 13%。

4. 加强农艺节水，减少农田无效耗水

合理安排耕作和栽培制度，选育节水、高产品种，大力推广深松整地、中耕除草、镇压耙耱、覆盖保墒、增施有机肥，以及合理施用生物抗旱剂、土壤保水剂等技术，提高土壤吸纳和保持水分的能力，减少农田无效耗水。

在华北地区，加大推广冬小麦节水稳产配套技术模式（节水抗旱品种 + 土壤深松 / 秸秆还田 / 播后镇压 + 拔节孕穗水）、冬小麦保护性耕作节水技术模式（免耕 / 少耕 + 秸秆还田 + 小麦免耕播种机复式作业）。利用玉米种植与降雨同季，加强中耕、麦秸还田等措施，促进雨季降水储蓄，实现节水增产与增收。

在东北地区，推广应用秸秆覆盖和地膜覆盖技术、深松整地技术、秸秆还田技术、坐水种技术、有机肥技术。

在西北地区，积极发展膜下滴灌水肥一体化技术，合理使用抗旱剂、保水剂等措施，减少农田无效耗水。

5. 强化管理，保护地下水资源

合理开发利用浅层地下水，限制开采深层地下水，通过总量控制、强化管理，实现采补平衡。在浅层地下水资源丰富地区，采取井渠结合方式，高效利用水资源。在地下水严重超采区，从严管控地下水开采使用，节约当地水，引调外来水，将深层地下水资源作为战略储备资源；着力发展现代节水农业，增加地下水替代水源，通过综合治理，压减地下水开采，修复地下水生态。

在华北平原地下水严重超采区要加大压采力度。对于划属压采地区，农地利用的调整要因地制宜，或改为饲草料，发展畜牧业，或改为休闲观光、旅游等，发展低耗水农业，逐渐恢复地下水位。

（二）发展集雨增效的现代旱作农业

我国多年平均降水量约为 $6.19 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，其中 56% 消耗于陆面蒸发与植被蒸腾，结合区域降水特

点修筑各种集雨设施,提高降水的积蓄与利用。以工程、农艺、化控和生物四大措施为基础,依托集雨农业工程,应用现代补灌技术,结合生物、农艺和化控措施,发展高效旱作特色农业。

在黄土高原区,针对西北旱塬区粮食产量低而不稳、生产效益低等问题,以提高旱塬粮食优质稳产水平和生产效益为目标,以梯田、淤地坝建设为主,建立粮食稳产高效型旱作农业综合发展模式与技术体系,如“适水种植+集雨节灌+农艺措施+生态措施”模式。

在西北半干旱偏旱区,针对气候干旱和冬春季风多风大等问题,以保护旱地环境和提高种植业生产能力为主攻方向,建立聚水保土型旱作农业发展模式和技术体系。

在华北地区西北部半干旱区,针对人均水资源严重不足、粮经饲结构不尽合理、秸秆转化利用率低等问题,以提高水资源产出效益为主攻方向,建立农牧结合型旱作农业发展模式与技术体系,如“结构调整+覆盖保墒培肥+集雨补灌+保护性耕作+化学调控”模式。

在东北西部半干旱区,针对东北风沙半干旱区粮食产量不稳、经济效益低等问题,以提高旱作农业生产效益为主攻方向,改顺坡为横坡种植为主,建立草粮、林粮结合型旱作农业综合发展模式与技术体系,推广“增施有机肥+机械深松+机械化一条龙抗旱坐水种”模式。

(三) 加强非常规水源利用

加强农业非常规水灌溉区划、污染识别、合理灌水、监测评价、集成应用技术等综合利用,保障非常规水开发利用过程及后效应的安全;制定合理的保障机制和激励政策,因地制宜推广非常规水利用模式。

(1) 再生水利用。预计到2030年,我国再生水量约为 $1.365 \times 10^{10} \text{ m}^3$,在严格控制处理后水质达标条件下,因地制宜地开展不同模式利用,扣除现状利用量(2014年约为 $4.63 \times 10^9 \text{ m}^3$)后约有 $9.02 \times 10^9 \text{ m}^3$ 可利用。

(2) 微咸水利用。我国矿化度2~5 g/L地下微咸水灌溉量达到 $2.26 \times 10^5 \text{ m}^3$,主要分布在海河流域、吉林西部、内蒙古中部、新疆等地。在充分了解土壤缓冲能力和植物的耐盐性基础上,因地

制宜地选取灌溉方式,也可有效缓解农业水资源的短缺。

四、结语

我国农业栽培模式、生产方式和经营主体正发生着深刻变化,农田灌溉发展正逐渐步入适度规模化、全程机械化、高度集约化和资源环境硬约束等新常态;未来农业用水量将基本保持稳定,农业灌溉必须由低效粗放型向适产高效型转变,将传统的节水灌溉工程措施与3S技术、物联网技术、人工智能技术以及作物用水调控技术等现代科技结合,发展以高效、精准、智能以及环境友好型为特征的现代农业灌溉体系。要按照水资源承载力倒逼灌溉规模和灌溉方式调整,适水种植,开展农田集雨、集雨窖等设施建设,发展现代旱作农业,构建与新型农业经营体系相适应的现代灌溉农业和现代旱作农业体系。

参考文献

- [1] 中华人民共和国水利部. 中国水利统计年鉴2015 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
The Ministry of Water Resources of the PRC. China water statistical yearbook 2015 [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2015.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 2001—2015 中国统计年鉴 [M]. 北京: 国家统计局出版社, 2001—2015.
National Bureau of Statistics of the PRC. China statistical yearbook 2001—2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001—2015.
- [3] 国务院. 全国新增1000亿斤粮食生产能力规划(2009—2020年) [Z]. 2009.
The State Council of the PRC. The national plan for increasing grain production capacity of 100 billion jin (2009—2020) [Z]. 2009.
- [4] 中华人民共和国水利部. 中国水资源公报2015 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
The Ministry of Water Resources of the PRC. China Water resources bulletin 2015 [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2015.
- [5] 贾仰文, 王浩. 海河水循环及其伴生过程综合模拟 [M]. 北京: 科学出版社, 2012.
Jia Y W, Wang H. Integrated simulation of the water cycle and its associated processes in the Haihe river basin [M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd., 2012.
- [6] Liao W H. ESDA-GIS analysis of spatial-temporal disparity in rural economic development of Guangxi [J]. Asian Agricultural Research, 2011, 3(2): 20—23.
- [7] 中华人民共和国水利部. 全国现代灌溉发展规划(2012—2020年) [R]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2012.
The Ministry of Water Resources of the PRC. The national modern irrigation development planning in China (2012—2020) [R]. Beijing: The Ministry of Water Resources of the PRC, 2012.