

# 陕西旱地春玉米水分高效利用技术途径与展望

凌莉

(陕西省农业检验检测中心,西安 710003)

**摘要:**水分是陕西旱地春玉米生产的主要限制因素,提高当前水分的利用效率是缓解水资源短缺,实现该区域春玉米生产高产高效的根本途径。从节水抗旱玉米新品种鉴定、沟垄覆盖集雨、保护性耕作、水肥一体化技术等方面综述了陕西旱作春玉米种植体系水分高效利用技术进展,并指出构建抗旱品种生物节水、覆盖深松农艺蓄水、智能灌溉高效用水“三位一体”旱作春玉米节水技术体系是当前及未来研究的重点,充分挖掘陕西旱地春玉米水分生产潜力,以期为该区域春玉米节水增粮增效栽培技术提供思路和技术支撑。

**关键词:**陕西旱作区;春玉米;水分利用效率;节水增粮技术

## Technical Approaches and Prospects for Efficient Water Utilization of Spring Maize in Shaanxi Dryland

LING Li

(Shaanxi Agricultural Inspection and Testing Center, Xi'an 710003)

玉米是陕西省第一大粮食作物,常年种植面积达 113.33 万  $\text{hm}^2$  (1700 万亩),而陕北渭北旱作区春玉米种植面积达到 46.67 万  $\text{hm}^2$  (700 多万亩),接近全省玉米种植面积的一半,是陕西省“第二大粮仓”,春玉米一年一熟是该区主要种植模式。陕北渭北旱作区光热资源丰富,是我国光能资源高值区,昼夜温差大,为玉米获得高产创造了十分有利的条件,促进该区春玉米持续增产对保障陕西省粮食安全和农民增收具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。而近年来受气候变化影响,该区水资源紧缺与玉米持续增产需求的矛盾日益突出,已成为该区域春玉米种植体系可持续发展的第一限制性因素。因此,保证高产的同时,最大限度地提高水分利用效率一直以来是陕西旱作春玉米生产面临的重要挑战之一<sup>[3]</sup>。从 20 世纪 60 年代开始,西北农林科技大学农学院旱作高效用水研究团队在覆盖垄沟集雨春玉米高效用水机制及环境作用研究方面取得了系列进展,指出促进土壤水分的重新分配,改变玉米根系时空分布,进而优化根系吸水,最终提高水分利用效率<sup>[4]</sup>。随着近年来气候变化的加剧和市场对玉米需求的增大,陕西旱作

春玉米水分高效利用已不是单一作物层面的研究,而是环境气候、耕层构建、水肥匹配等多因素互作的研究。近年来科研工作者从节水高产品种筛选与选育、节水灌溉技术及设备研发、沟垄集雨种植优化等方面开展了旱地玉米的大量研究,并取得长足的进展,在一定程度上提高了陕西旱地春玉米水分利用效率<sup>[5-8]</sup>。本文总结了陕西旱作春玉米种植体系水分高效利用技术进展,并从降雨和灌水资源的分配及水分供应与消耗的角度,提出构建抗旱品种生物节水、覆盖深松农艺蓄水、智能灌溉高效用水的旱作春玉米节水技术体系,以期为推动该区玉米绿色高效生产与可持续发展提供技术支撑。

### 1 陕西旱作春玉米生产中水分利用现状

陕西省多年平均水资源总量 423.3 亿  $\text{m}^3$ ,人均水资源量 1092 $\text{m}^3$ ,约为全国平均水平的一半,是全国水资源最紧缺的省份之一。由于水资源时空分布不均,陕北和关中仅占全省水资源总量的 29%,且 65% 集中在汛期,多年平均降水量 542.5mm,人均水资源量 410.5 $\text{m}^3$ ,约为全国平均水平的 1/5<sup>[9]</sup>。陕西旱地春玉米分布在渭北黄土高原雨养区和陕北长城沿线风

沙灌溉区,其中渭北黄土高原雨养区包含铜川市全部和宝鸡、咸阳、渭南市北部部分县区及韩城市,属于大陆性季风气候区,多年平均气温 6.5~15.6℃,年均降水量 456.3~657.3mm,降水主要集中于夏季,区域水资源短缺,降水是地表水、地下水以及土壤水的主要补给来源。玉米降雨利用率只有 30%~40%,水分生产效率 0.4kg/m<sup>3</sup>,对自然降水的利用效率只有一半<sup>[10]</sup>。陕北长城沿线风沙灌溉区包括榆林市的定边、靖边、横山、神木、府谷、榆阳等区县和延安市的吴起县部分,地势较为平坦,海拔 1200~1500m,生态环境脆弱,土地沙化严重,光能资源丰富,是我国光能资源高值区,年均降水量为 316.4~445.0mm,7~9 月降水量占全年的 59%~76%,蒸发量多在 2000mm 以上。年地下水可利用量为 5.7 亿 m<sup>3</sup>,降水入渗率达 80%以上的大片沙地作为贮水库,玉米灌溉用水系数 0.5 左右,水分生产效率 0.7~0.8kg/m<sup>3</sup>,低于规范要求的 1.2kg/m<sup>3</sup>,相比有一定差距<sup>[11]</sup>。因此,充分利用好降雨、土壤水和灌溉水资源是陕西旱地春玉米节水高产高效与可持续发展的重要基础。

## 2 陕西旱作春玉米生产中水分高效技术途径

### 2.1 节水抗旱玉米品种应用

生物节水是节水农业的主要方式之一,抗旱节水品种的应用是生物节水的主要内容,科学精准地评价玉米品种的抗旱性和水分利用效率是筛选并利用抗旱节水品种的基础。许多研究者采用不同的指标来评价玉米的抗旱性<sup>[12-13]</sup>,如杜伟莉等<sup>[14]</sup>对玉米形态、生理性状指标进行灰色关联和主成分分析,筛选出净光合速率、实际量子产量、叶绿素含量、叶面积、干物质等指标用于玉米品种抗旱性筛选。而抗旱节水性最终体现在产量上,产量是最重要的综合抗旱鉴定指标<sup>[15]</sup>。黎裕等<sup>[16]</sup>研究基于产量的量化指标,抗旱指数是玉米抗旱杂交种筛选的良好指标,在玉米抗旱性鉴定工作中收到了良好效果。利用抗旱指数指标筛选出的玉米抗旱节水品种郑单 958 已成为陕北渭北生产主导品种<sup>[17]</sup>。本地区玉米抗旱节水品种的选育工作也有了较大的发展,先后选育出陕单 9 号、户单 4 号、陕单 609 等玉米品种在生产上发挥了重要作用<sup>[18]</sup>,且新选育出的抗旱节水玉米品种陕科 9 号、陕科 536 也正在陕北渭北旱作区进行大面积示范推广。

### 2.2 灌溉水肥一体化技术

玉米滴灌水肥一体化技术是利用管道灌溉系统,将肥料溶解在水中,同

时进行灌溉与施肥,适时适量地满足玉米对水分和养分的需求,实现水肥同步管理和合理利用的节水农业技术<sup>[19]</sup>。这项技术的应用为玉米提供了适宜的水肥条件,改善了土壤微环境,提高了灌溉用水效率和水肥利用效率,使产量大幅度提高,具有显著优势;不仅能够提高水分、养分利用效率,节省劳动力,提高土地利用率,还能保证作物得到均衡的养分供应,有利于保护环境、改善土壤状况,提高农产品产量<sup>[20]</sup>。李彬等<sup>[21]</sup>发现,相对传统水肥管理方法,水肥一体化条件下玉米水分利用效率提高 8.5%~62.9%,肥料利用率提高 16.0%~60.6%,产量提高 22.0%;且应用水肥一体化技术后,玉米密度可增加 1000 株/667m<sup>2</sup>,产量增加 300kg/667m<sup>2</sup>。在靖边县膜下滴灌水肥一体化千亩核心示范方玉米平均产量达到 954.9kg/667m<sup>2</sup>,创造了全国旱地玉米的高产纪录<sup>[22]</sup>。此外,企业与高校、研究所合作开发了适应水肥一体化的新型水溶肥料和自动化膜下滴灌技术,进一步推进了水肥一体化技术的大面积应用。

### 2.3 沟垄覆盖集雨技术

沟垄集雨种植技术是通过田间起垄、垄面产流、沟内高效集雨,达到集雨、蓄水保墒、增温、抑蒸的效果,已成为旱区农业主要节水措施之一<sup>[23]</sup>。研究表明沟垄集雨种植较传统平作能够显著增加玉米产量和水分利用效率,刘璐璐等<sup>[24]</sup>研究发现垄沟集雨种植结合覆膜技术对于旱地春玉米的出苗和拔节期分别提前 2~3d 和 8~9d,较平作而言,显著影响春玉米的株高、吐丝期叶面积指数,籽粒产量和水分利用效率分别增加 23%~47% 和 18%~37%。垄沟集雨种植技术中垄沟比对玉米产量影响也有明显的差异,垄沟比为 40:70、55:55、70:40 下产量分别增加 26.1%、36.4% 和 50.3%<sup>[25]</sup>。垄沟集雨种植和覆盖技术的结合使用,不仅有集雨的效果,也对一些温度较低地区有增温作用,一般覆盖塑料地膜、生物可降解膜等,起到增温的作用,且覆盖面积越大,增温效应越好,产量也越高,大小为:全膜双垄沟 > 传统半覆膜 > 平作不覆膜<sup>[26]</sup>。而生物可降解地膜和液态地膜伴随着技术的改进和成本的降低,作为垄沟集雨适宜的覆盖材料,可以支撑垄沟集雨技术未来的可持续发展。

### 2.4 保护性耕作技术

保护性耕作减少水土流失,调节土壤结构,有利于蓄水保墒和土壤培肥,促进耕地质量提升,实现培肥增产的目的,包括少免耕、深

松耕、条带旋耕等保护性耕作技术<sup>[27]</sup>。免耕通过抑制土壤水分蒸发保持土壤水分,深松耕作可以有效打破土壤犁底层,降低容重,增加孔隙度,提高土壤蓄水能力,为玉米生长创造适宜的土壤环境,增强植株根系从土壤中吸收水分和养分的能力,从而提高作物产量<sup>[28]</sup>。渭北长武县雨养旱作区春玉米田深旋免耕精量播种机播种后,土壤耕层容重显著降低,土壤蓄水保水能力提高,春玉米的播种质量明显提高,群体整齐度增加,群体透光性明显改善,具有显著的增产作用<sup>[29]</sup>。郭小春等<sup>[30]</sup>研究表明春季条带旋耕显著提高了15~35cm土壤田间持水量,增强了土壤蓄水保墒能力,提高了春玉米产量。

### 3 研究展望

如何在水分限制条件下提高玉米产量和水分利用效率一直是陕北灌溉渭北雨养旱作春玉米生产研究的重点与难点。经过多年的发展,陕北灌溉渭北雨养旱作春玉米生产已从单纯追求产量的粗放型向产量与效率并重发展,在增加玉米产量及促进农民增收的同时,提高水分利用效率成为未来陕北灌溉春玉米生产的重要任务之一。因此,未来陕北渭北玉米节水技术体系方向应以“节水高产、提质增效”为目标,围绕基础理论、关键技术、典型示范全创新链系统部署,利用作物栽培学、遗传学、水利工程学、土壤学及材料学等多学科知识的有机整合,融入一系列高新技术,有力保障陕西省粮食安全和主要农产品有效供给,全面提升陕西省玉米产能与效益。针对现有研究中的不足,玉米抗旱节水增产的进一步深入研究方向如下。

**3.1 生物节水** 随着分子生物学、基因编辑技术的快速发展,控制玉米节水与高产的多基因互作问题仍需深入研究,在分子水平上探究作物本身节水抗旱机制,定向培育玉米抗旱节水新品种,最大限度地发掘利用品种抗旱节水的遗传潜力,真正实现节水革命。

**3.2 智能灌溉** 水肥一体化技术多集中在灌水与肥料数量结合、产量效应及水肥交互作用机理等方面的研究,更应从水肥耦合迁移、玉米根系吸收利用生理代谢过程、玉米水分-养分-产量综合生产函数及定量关系等方面探索,同时结合农业遥感技术、地理信息技术,使水肥一体化技术向标准化和智能化迈进,是目前也是未来的研究热点。

**3.3 保墒耕作** 保护性耕作的研究已经不是单纯

的土壤耕作技术研究,而是更注重研究翻、深、免相结合的轮耕模式,结合秸秆覆盖还田保护技术、裸露农田绿色覆盖技术,建立新型的保护性耕作体系,实现土壤结构调控、固碳减排与节水高效的协调。

### 参考文献

- [1] 张仁和,王博新,杨永红,杨晓军,马向峰,张兴华,郝引川,薛吉全. 陕西灌区高产春玉米物质生产与氮素积累特性. 中国农业科学, 2017, 50 ( 12 ): 2238-2246
- [2] 李少昆,王崇桃. 玉米生产技术创新与扩散. 北京:科学出版社, 2010
- [3] 宋孝玉,刘贤赵,沈冰,史文娟,胡笑涛. 陕西黄土沟壑区不同种植条件下农田土壤水分动态规律研究. 水土保持研究, 2003, 17 ( 2 ): 130-133
- [4] 韩清芳. 旱地农业高效用水技术研究新进展. 干旱地区农业研究, 2023, 39 ( 5 ): 239-240
- [5] 周婷婷,李军,司政邦. 种植密度与品种类型对渭北旱地春玉米生长和光能利用的影响. 西北农林科技大学:自然科学版, 2015, 43 ( 11 ): 54-62
- [6] Chen X L, Wu P T, Zhao X L. Effect of different mulches on harvested rainfall use efficiency for corn in Semi-arid regions of Northwest China. Arid Land Research and Management, 2013, 27 ( 3 ): 272-285
- [7] 路海东,薛吉全,马国胜,郝引川,张仁和,马向峰. 陕西榆林春玉米高产田土壤理化性状及根系分布. 应用生态学报, 2010, 21 ( 4 ): 895-900
- [8] 张文新,段迎新,章爽,杨晶淇,黄蕊,杨晓军,王富贵,薛吉全,张兴华. 基于3种水分控制条件的玉米品种抗旱性综合评价. 干旱地区农业研究, 2022, 40 ( 1 ): 163-174
- [9] 方日尧,同延安,赵二龙,梁东丽. 渭北旱塬不同保护性耕作方式水肥增产效应研究. 干旱地区农业研究, 2003, 21 ( 1 ): 54-57
- [10] 殷淑燕,黄春长,延军平. 陕西渭北旱塬近43年气候暖干化研究. 陕西师范大学学报:自然科学版, 2000, 28 ( 1 ): 119-12
- [11] 杜深,张庚. 主要粮经作物水肥一体化理论与实践. 北京:中国农业出版社, 2022
- [12] 宋凤斌,徐世昌. 玉米抗旱性鉴定指标的研究. 中国生态农业学报, 2004, 12 ( 1 ): 127-129
- [13] Betran F J, Beck D, Banziger M, Edmeades G O. Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize. Field Crops Research, 2003, 83: 51-65
- [14] 杜伟莉,高杰,卜令铎,郭德林,张改生,张仁和,薛吉全. 玉米品种开花期抗旱性鉴定指标筛选. 干旱地区农业研究, 2012, 30 ( 5 ): 71-76
- [15] 周昌明,李援农,银敏华,谷晓博,赵玺. 连垄全覆盖降解膜集雨种植促进玉米根系生长提高产量. 农业工程学报, 2015, 31 ( 7 ): 109-117
- [16] 黎裕,王天宇,刘成,石云素,宋燕春. 玉米抗旱品种的筛选指标研究. 植物遗传资源学报, 2004, 5 ( 3 ): 210-215

鼓励内蒙古各地区高粱种子企业贯彻落实《种业振兴行动方案》和新《种子法》等政策法规,推进高粱种业市场化进程;相关单位要贯彻落实《关于加快推进现代农作物种业发展的意见》及《全国现代农作物种业发展规划》的工作部署,推进种业现代化高质量发展。同时,政府需进一步加强对种业的金融扶持,支持企业加大育种研发投入,解决种子的“卡脖子”问题,助力现代化种业强国建设,推进种业振兴。

### 参考文献

- [1] 张烁,张海波,董伟军. 高粱的主要用途与发展前景. 农业与技术, 2014, 34 (7): 111
- [2] 内蒙古区情网. 高粱. (2019-06-15) [2023-08-12]. <http://nmgqq.com.cn/jingjizongheng/nongxuchanpin/2019-6-15/12639.html>
- [3] 马尚耀,成慧娟,王立新,葛占宇,严福忠. 发展高粱产业促进内蒙古农村经济更快发展. 中国农业科技导报, 2009, 11 (S2): 28-30
- [4] 金广洋,余忠浩,周亚星,魏庆兰,周伟. 2002-2021 年内蒙古玉米品种审定概况与展望. 中国种业, 2022 (3): 27-30
- [5] 金广洋,李岩,周亚星,麻天龙,王昕悦,史立昕,魏庆兰,周伟. 内蒙古自治区玉米种业振兴路径分析. 中国种业, 2022 (8): 21-26
- [6] 焦鹏. 袁隆平团队在内蒙古大面积试种耐盐碱水稻. (2019-09-25) [2023-08-12]. [http://www.xinhuanet.com/politics/2019-09/25/c\\_1125036102.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2019-09/25/c_1125036102.htm)
- [7] 齐芳. 傅向东:中国的育种科技差距在哪里. 光明日报, 2020-12-08

(11)

- [8] 农业农村部. 为打好种业翻身仗夯实资源基础—农业农村部负责人就全国农业种质资源普查答记者问. (2021-03-24) [2023-08-12]. [https://www.gov.cn/zhengce/2021-03/24/content\\_5595414.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021-03/24/content_5595414.htm)
- [9] 内蒙古小草数字生态产业有限公司. 监管保障平台赋能种业发展. 中国信息界, 2023 (3): 74-75
- [10] 浙江大学山东(临沂)现代农业研究院新闻中心. 系统搭建精准高效生物技术育种平台. (2021-11-29) [2023-08-12]. <https://www.zdnyy.cn/ckeyanji/281/>
- [11] 李慧. 未来 5 年,我国种业如何发展. 光明日报, 2020-12-18 (10)
- [12] 朱振兴,张丽霞,李金红,白春明,陆晓春. 高粱生物育种进展与展望. 中国基础科学, 2022, 24 (4): 42-52
- [13] 蒋建科. 全方位加强育种科研人才队伍建设. 人民日报, 2022-05-09 (19)
- [14] 国务院办公厅. 全国现代农作物种业发展规划(2012-2020 年). (2012-12-26) [2023-08-12]. [https://www.gov.cn/zw/gk/2012-12/31/content\\_2302986.htm](https://www.gov.cn/zw/gk/2012-12/31/content_2302986.htm)
- [15] 佚名. 美国 Holden 基础种子公司经营模式. 北京农业, 2011 (20): 12-13
- [16] 佚名. 中央农村工作会议系列解读? 打造农业科技战略力量. (2023-01-17) [2023-08-12]. [http://www.kepu0350.com/kepu0350/vip\\_doc/25737595.html](http://www.kepu0350.com/kepu0350/vip_doc/25737595.html)
- [17] 秦玉浩. 加快现代种业发展, 打造杂粮种植基地. (2022-08-15) [2023-08-12]. <https://www.rmzxb.com.cn/c/2022-08-15/3180207.shtml>

(收稿日期: 2023-08-12)

(上接第 15 页)

- [17] 白彩云,李少昆,张厚宝,柏军华,谢瑞芝,孟磊. 郑单 958 在东北春玉米区生态适应性研究. 作物学报, 2010, 36 (2): 296-302
- [18] 薛吉全,张仁和,李凤艳,张兴华,郝引川. 陕西玉米育种现状、问题与对策. 玉米科学, 2008, 16 (2): 139-141
- [19] 王佳,慕瑞瑞,贾彪,刘根红,孟露,徐灿,康建宏. 滴灌水肥一体化不同施氮量对玉米光合特性及产量的影响. 西南农业学报, 2021, 34 (3): 558-565
- [20] 胡田田,康绍忠. 局部灌水条件下不同根区在作物吸水中的作用. 作物学报, 2007, 3 (5): 776-781
- [21] 李彬,妥德宝,程满金,郭富强,赵沛义,王博. 内蒙古西辽河流域春玉米水肥一体化技术应用研究. 节水灌溉, 2015 (9): 39-43
- [22] 张仁和. 西北旱地玉米高产高效栽培新模式. 北京: 中国农业出版社, 2014
- [23] 李荣,王敏,贾志宽,杨宝平,韩清芳,聂俊峰,张睿. 渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响. 农业工程学报, 2012, 28 (2): 106-113
- [24] 刘璐璐,张雪玲,郝洛廷,张宁宁,韩娟,廖允成. 沟垄集雨种植和氮肥对春玉米生长及产量的影响. 西北农业学报, 2018, 28 (2): 106-113

- [25] Liu X L, Wang Y D, Yan X, Hou H Z, Liu P, Cai T, Zhang P, Jia J K, Ren X L, Chen X L. Appropriate ridge-furrow ratio can enhance crop production and resource use efficiency by improving soil moisture and thermal condition in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 2020, 240, 106289
- [26] 李玉玲,张鹏,张艳,贾倩民,刘东华,董昭芸,贾志宽,韩清芳,任小龙. 旱区集雨种植方式对土壤水分、温度的时空变化及春玉米产量的影响. 中国农业科学, 2016, 49 (6): 1084-1096
- [27] 陈宁宁,李军,吕薇,王淑兰. 不同轮耕方式对渭北旱塬麦玉米轮作田土壤物理性状与产量的影响. 中国生态农业学报, 2015, 23 (9): 1102-1111
- [28] 郭星宇,王浩,于琦,王瑞,王小利,李军. 耕作对渭北旱塬小麦-玉米轮作田土壤水分和产量的影响. 中国农业科学, 2021, 54 (14): 2977-2990
- [29] 楚杰,路海东,薛吉全,赵明. 玉米宽窄行深旋免耕精量播种机田间试验及效果. 农业工程学报, 2014, 30 (4): 39-41
- [30] 郭小春,马向峰,杨晓军,张继轩,张洁,李霞. 不同耕作方式对西北地区春玉米土壤物理性状及产量的影响. 玉米科学, 2020, 28 (3): 127-134

(收稿日期: 2023-08-18)