

春小麦垄作沟灌及其水分运移规律研究综述

罗效斌¹, 徐宝山², 金建新²

(1. 宁夏回族自治区农垦勘测设计工程有限公司, 宁夏 银川 750010; 2. 甘肃农业大学, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 对垄作沟灌的发展现状及特点进行了分析, 阐述了垄作沟灌、沟灌水分运移规律、垄作沟灌技术参数
的研究进展, 以及今后的研究方向和发展动态。

关键词: 春小麦; 垄作沟灌; 垄沟参数; 灌水参数

中图分类号: S27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2014)06-0051-03

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2014.06.022](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2014.06.022)

Review of Study on Ridge Culture and Furrow Irrigation of Spring Wheat and Its Regularity of Moisture Migration

LUO Xiao-bin¹, XU Bao-shan², JIN Jian-xin²

(1. Survey and Design Engineering Co., Ltd., Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan Ningxia 750010, China; 2. Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: The development status and characteristics of ridge furrow irrigation was analyzed, the research progress of ridge furrow irrigation, water movement, furrowridge irrigation technical parameters was elaborated. In the end, it is dissertated further in the direction of research and the dynamic development, based on the progress of domestic and foreignresearch.

Key words: Spring wheat; Ridge culture furrow irrigation; Furrow parameters; Irrigation parameters

中国春小麦播种面积约1 900万hm², 占全国小麦播种面积的12%以上。目前, 春小麦种植以传统平作方式为主, 灌水采用畦灌方式, 水资源使用效率低, 节水潜力巨大。滴灌由于灌水时局部湿润土壤, 不适用于春小麦等密植作物; 喷灌技术由于在干燥多风气候下蒸发漂移损失大, 在干旱地区应用中节水效果不显著。因此, 探求干旱区春小麦高效节水灌溉技术, 对于缓解区域水资源供需矛盾, 发展现代节水农业意义重大。

垄作是在田面起垄, 在垄背或垄沟内种植作物, 于耕作形成的沟内灌水的一种耕作方式, 具有节水、抗病、增产、低耗、高效的特点^[1]。垄作沟灌是通过改变田面微地形, 减少耕种面积, 能有效防止水土、土壤养分流失, 调节土壤通气、水热状况和团粒状结构, 在根系活动层较多地保蓄水分, 减少深层渗漏, 提高灌溉水利用率, 降低人类活动对农田生态系统影响的一种保护性耕作措施。目前国内外对春小麦垄作沟灌水分运移、种植参数以及垄沟参数做了大量研究, 但是这些研究都是单一或者多因素对作物水分利用率、产量响应的分

析, 缺乏对垄沟参数和灌水参数优化组合的系统研究; 对于干旱半干旱区春小麦垄作沟灌栽培技术的研究工作更是刚刚起步, 推广应用缺少技术支撑。

1 垄作沟灌的发展现状及特点

中国的垄作栽培有着悠久的历史, 古代的劳动人民一直把垄作当作防旱抗涝、加厚耕层的手段, 在农业增产上发挥了重要作用。20世纪80年代以来, 我国陆续开展了玉米、棉花等中耕作物以及水稻、大豆等密植作物的垄作沟灌技术探索, 取得了较好的生产实践效果。在西北、山东等一些利用地下水作为灌溉水主要水源的灌区, 将垄作技术与沟灌、分根交替灌等高效灌水技术相结合, 形成同时兼备节水和高产的种植模式, 具有较高的推广应用价值。近年来, 垄作栽培技术已由半干旱地区扩大到热带草原, 由块根、块茎和高秆谷类等中耕作物扩大到麦类作物, 由雨养农业发展到灌溉农业^[2]。如美国约有1/2以上的耕地均采用保护性耕作措施, 其特点是垄作、秸秆或地膜覆盖、免耕, 能有效防止水土和养分的流失, 大大的提高了水分利用效率和氮的利用率^[3-4]。

收稿日期: 2014-03-22

作者简介: 罗效斌(1987—), 男, 甘肃通渭人, 助理工程师, 主要从事农业工程设计与研究工作。联系电话: (015595292629。E-mail: 834887265@qq.com

2 研究进展

2.1 垄作沟灌研究

小麦垄作栽培技术将田面由平面型改为波浪型,扩大了土壤表面积,光能利用率提高,改善了行间通风条件,促进小麦光合作用以及干物质的积累,小麦抗病性能增强,提高小麦的抗衰老能力,另外垄作沟灌减少作物间距,降低作物株高,增加了植株抗倒伏能力,产量显著提高。平作改为垄作后,田间灌溉方式由畦灌改为沟灌,灌水定额减少,提高降水和灌溉水利用率。青州试验站研究表明,传统平作畦灌灌水定额 $4.0 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,而垄作沟灌灌水定额 $2.4 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,垄作比平作节水40%^[5-6]。目前,小麦垄作技术的应用主要局限在冬小麦区,研究工作集中于垄作小麦的节水效应、田间小气候的变化及其对小麦生理生态效应的影响^[7]。刘刚才等通过对旱地紫色土地地区的研究分析显示,垄作在没有覆盖时具有良好的保水作用,在小麦根系吸水层内,垄作沟灌与平作相比较,可以多贮水 $0.67 \text{ m}^3/\text{hm}^2$,年贮水量约增加 $0.27 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ^[8]。山东省农业科学研究院与国际玉米小麦改良中心于1998年开始了冬小麦垄作高效栽培技术的合作研究,该技术具有成本低、污染少、产出高的优点,因而被国际小麦专家称为第二次绿色革命。山东省农业科学研究院联合有关机械生产厂家成功研制出了小麦垄作播种机,使小麦垄作栽培技术大面积推广应用成为可能,如果能将这一技术在我国春小麦种植区推广应用,将对缓解北方干旱区水资源紧缺状况有着重要的意义。王旭清等认为,以沟内集中条状施肥代替平作施撒,增加施肥深度,有利于根系向下生长,从而使水分利用效率提高18.9%~32.2%^[9]。李佐同等研究了东北地区旱地垄作春小麦品质与产量的变化,张永久、邓斌研究了甘肃河西内陆区垄作春小麦各生育阶段生理性状、产量构成因子及水分利用率^[10-13]。

2.2 沟灌水分运移规律研究

沟灌入渗属二维入渗,水分沿灌水沟断面纵向在重力作用下下渗,并在土壤基质吸力的作用下横向入渗浸润土壤。在入渗过程中,各位置的土壤毛管吸力和重力呈非线性关系,因此入渗的水量与入渗面并不是正相关关系,而且由于动水头的作用导致入渗水势不同,且受到各种土壤、垄沟参数等因素的综合作用,导致灌溉水累计入渗水量难以测定,使得沟灌的入渗过程极其复杂。对于沟灌入渗,国内外学者做了大量研究。Neuman通过田间灌水试验,结合数值模拟分析,分析了玉米沟灌中沟间距、湿周等参数对水分入渗的

影响,并将这些影响在Kostiakov模型中 k 和 α 值上量化反映^[14]。王利环通过室内土箱沟灌试验,研究了波涌灌湿润锋水平和垂直方向发展随时间的变化规律,并运用SAS软件对水平向和垂直向的湿润峰运移规律做了回归分析^[15]。张新燕在室内土箱内模拟沟灌的水流推进与水分入渗规律,分析了灌水沟中所蓄水量、沟形状参数、沟底土壤导水率及土壤初始含水状况等对沟灌二维入渗的影响^[16]。王述礼等通过室内沟灌水分运移试验,提出了沟灌入渗发生交汇时土壤水分入渗计算模型,模拟沟灌在交汇入渗条件下土壤水分在垂直方向和水平方向的运移过程,通过分析实例模拟结果,以Kostiakov入渗模型为基础,建立了沟灌二阶段土壤水分湿润锋运移模型及沟灌在交汇入渗条件下相对于自由入渗条件的减渗量和减渗率计算模型;通过分析沟中所蓄水量、土壤初始水分状况和土壤特性等对沟灌交汇入渗条件下累计入渗量的单因素影响关系,建立了沟灌交汇入渗条件下累积入渗量与时间的函数模型^[17-18]。聂卫波等以非饱和和土壤水分运动理论为基础,以容重、水深、沟间距和土壤初始含水率等为变量,对沟灌入渗湿润锋运移的影响进行室内土箱正交试验,提出了包含土壤容重、沟中水深、土壤初始含水率、沟间距等因素的水分入渗湿润锋运移模型,模拟表明,沟灌条件下累积入渗量主要受土壤质地、容重、沟底宽和沟中水深的影响,土壤初始水分状况和垄沟间距相对其他变量影响不大^[19-20];沟灌过程中土壤湿润锋水分运移主要受土壤质地、孔隙率、容重等的影响,而沟底宽、土壤初始含水量对其影响较小,可以忽略。

2.3 垄作沟灌技术参数研究

研究地面灌溉水分入参与运移规律的最终目的,是提高水分生产率,要提高水分生产率,就必须对灌水技术参数进行优化组合。目前评价地面灌溉灌水质量的指标主要有田间灌水有效利用率、储水效率、灌水均匀度,依据这三项指标可评价灌水质量,作为参数优化组合的依据。有关畦灌与中耕作物沟灌技术的研究成果较多,理论相对成熟。但由于垄作栽培小麦的垄面宽度远大于玉米等中耕作物,且采用非均一行距种植(目前采用同一垄上15~25 cm,不同垄75 cm),因此已有的沟灌水分入参与运移规律研究成果不适用于小麦垄作沟。2004年,甘肃农业大学在张掖市甘州区试验基地对春小麦固定道机械化耕作与垄作沟灌技术相组合进行试验,分析了其在西北干旱地区的具体应用特性^[21-22]。该研究结合地面全、半

覆盖技术,对传统耕作与固定道耕作灌溉水侧向以及竖直向下渗规律、水分入渗运移动态进行对比分析,结果表明,固定道相对于传统耕作垄背土壤水分分布明显不均匀,灌溉后水分不能渗透到垄体中部,并建议在进行小麦垄作栽培时要合理设计垄幅宽度,否则作物就会因为根系吸水不足而造成生理干旱,最终影响作物产量。该试验采用的固定道距垄中48.5 cm,即垄宽97 cm,土壤水分测定深度垄体60 cm,沟内100 cm,试验结果表明灌溉湿润锋远大于此范围,因此该试验无法准确计算侧渗和下渗水量^[20],也不能够提出合理的垄沟参数和灌水技术参数以及对其进行优化组合,也未对灌水质量进行评价,这些问题都期待更深入的研究。张永久研究了河西内陆区春小麦垄作沟灌的灌溉制度和垄沟参数(垄宽、沟宽等),从作物生理性状与产量效应评价的角度,提出张掖地区合理垄宽为60 cm,沟宽15 cm^[10]。邓斌使用 SIRMOD模型指导灌水,研究在固定道条件下垄作、平作种植方式和非固定道条件下垄作、平作种植方式春小麦的灌水均匀度、不同生育时期的灌水下限以及水分利用效率^[11]。两项研究分别涉及到了干旱区春小麦垄作沟灌技术参数与灌水质量评价等问题,但在方法上未将垄作沟灌技术参数与灌水质量评价结合,尤其是未能在春小麦垄作沟灌的水分运动规律研究基础上,研究灌水质量评价方法与灌水技术参数,因此,成果缺乏系统性和理论支撑。

3 结语

综上所述,干旱区春小麦垄作沟灌栽培技术是一种新型节水灌溉技术,目前的应用尚处于起步阶段,由于缺乏对灌溉水入渗规律尤其是向垄体侧渗规律、土壤水分运移规律、春小麦垄作沟灌条件下土壤—作物—大气连续体(SPAC)的系统研究,未形成合理的灌水质量评价指标体系与灌水技术参数优化方法,使得该项技术既缺乏必要的理论依据,又缺少技术支撑,从而限制了其发展。建立起小麦垄作沟灌技术理论体系,提出干旱区春小麦垄作沟灌的灌水质量评价指标和灌水技术参数设计方法,为干旱区春小麦垄作沟灌生产实践提供技术指导,将是今后研究的主要方向。

参考文献:

[1] LAL R. Ridge 2 tillage [J]. Soil & Tillage Research, 1990, 18: 107-111.
 [2] ZIEBARTH P D, TULLER J N. Wheeltrack compaction effects on runoff, infiltration and crop yield [M]. Pro-

ceedings of National Controlled Traffic Conference. Gatton: Queensland University Gatton College, 1995: 103-108.

- [3] 蔡典雄. 关于持续性保持耕作体系的探讨[J]. 土壤学进展, 1993, 21(1): 1-8.
 [4] SAYRE K D. Application of raised bed-planting system to wheat[R]. CIMMYT: Wheat Special Report, 1997.
 [5] 艾应伟, 陈实, 张先婉, 等. 垄作不同土层施肥对小麦生长凡氮肥肥效的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 9(3): 255-261.
 [6] 戴德. 高寒山区冷浸田水稻半旱式免耕垄作技术的增产机理[J]. 农业科技通讯, 1998(8): 26-27.
 [7] BUMRWS W C. Characterization of soil temperature distribution from various tillage induced microreliefs [J]. Soil Science Society of America Proceeding, 1963, 27: 350-353.
 [8] 刘刚才, 高美荣, 朱波, 等. 等高垄作垄沟的水土流失特点研究[J]. 水土保持通报, 1999, 19(3): 6.
 [9] 王旭清, 王法宏. 小麦垄作栽培技术的肥水效应及光能利用率分析[J]. 山东农业科学, 2002(4): 3-5.
 [10] 张永久. 河西绿洲灌区春小麦垄作栽培产量效应及其影响机制的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.
 [11] 邓斌. 河西绿洲灌区不同耕作方式下春小麦土壤水分动态变化与产量效应研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.
 [12] 孙西欢, 王文焰. 沟灌入渗参数影响因素的试验研究[J]. 西北农业大学学报, 1994, 22(4): 102-106.
 [13] 孙西欢, 王文焰. 多参数沟灌入渗模型的试验研究[J]. 西北水资源与水工程, 1993, 4(3): 46-56.
 [14] NEUMAN S P. Saturated-unsaturated seepage by finite elements[J]. Journal of Hydraulic Div. ASCE, 1973, 99(12): 2 233-2 250.
 [15] 王利环. 波涌沟灌条件下土壤水分入渗的研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2004.
 [16] 张新燕, 蔡焕杰, 王健. 沟灌二维入渗影响因素实验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 38-41.
 [17] TROUT T J. Flow velocity and wetted perimeter effects on furrow infiltration[J]. Trans. ASAE, 1992, 35(3): 855-863.
 [18] 邓忠. 固定道耕作结合垄作沟灌对河西走廊春小麦水分利用的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
 [19] 王述礼. 沟灌交汇入渗特性的试验研究及其数值模拟[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2008.
 [20] 王述礼, 聂卫波, 马孝义. 沟灌交汇入渗数学模型研究[J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(6): 51-54.
 [21] 聂卫波, 马孝义, 王述礼. 沟灌土壤水分运动数值模拟与入渗模型[J]. 水科学进展, 2009, 20(5): 668-676.
 [22] 聂卫波, 马孝义, 王述礼. 沟灌入渗湿润体运移距离预测模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 20-25.

(本文责编: 杨杰)