

垄作沟灌栽培技术的研究进展

薛亮¹, 马忠明², 吕晓东², 唐文雪¹, 连彩云¹, 王智琦¹, 冯守疆¹

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 综述了河西走廊绿洲灌区垄作沟灌栽培技术对土壤和作物的影响及节水效益, 指出在垄作沟灌技术主要技术参数、垄作沟灌条件下作物生理反应、垄作沟灌技术条件下的水肥耦合模式、垄作沟灌对土壤养分损失的影响等方面还需深入研究。

关键词: 垄作沟灌; 节水; 栽培; 效益; 河西走廊

中图分类号: S318 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2019)03-0078-05

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2019.03.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2019.03.016)

Research Progress on the Technology of Ridge Tillage with Ditch Irrigation

XUE Liang¹, MA Zhongming², LÜ Xiaodong¹, TANG Wenxue¹, LIAN Caiyun¹, WANG Zhiqi¹, FENG Shoujiang¹

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: This article reviewed the affection of the technology of ridge tillage with ditch irrigation on soil and crop and the water-saving benefits in the oasis irrigation area of Hexi Corridor. It was pointed out that the key technical parameters of ridge tillage with ditch irrigation techniques, the physiological responses of crops and the coupling model of water and fertilizer under ridge tillage with ditch irrigation conditions, and the effects of ridge tillage with ditch irrigation on soil nutrient losses, were the fields necessarily to be studied further.

Key words: Ridge tillage with ditch irrigation; Water saving; Cultivation; Benefit; Hexi Corridor

河西走廊绿洲灌区地处我国西北干旱区, 水资源短缺是制约该区域农业可持续发展

收稿日期: 2019-01-21

基金项目: 中澳合作基金项目“甘肃省河西走廊高产农田水肥资源高效调控技术研究”(2007DFA91560); 甘肃省农业科学院农业科技创新专项计划 (2017GAAS25、2017GAAS72)。

作者简介: 薛亮 (1982—), 男, 甘肃永登人, 助理研究员, 主要从事节水农业研究工作。联系电话: (0)13893355571。Email: xuel_3521@163.com。

通信作者: 马忠明 (1963—), 男, 甘肃民勤人, 研究员, 主要从事节水农业研究工作。Email: mazhming@163.com。

[24] BOYCE J M, KNIGHT H, DEYHOLOS M, et al. The sfr6 mutant of *Arabidopsis* is defective in transcriptional activation via CBF/DREB1 and DREB2 and shows sensitivity to osmotic stress[J]. The Plant Journal, 2003, 34(4): 395-406.

[25] QIN F, SHINOZAKI K, YAMAGUCHI S K. Achievements and challenges in understanding plant abiotic stress responses and tolerance [J]. Plant Cell Physiol, 2011, 52(9): 1569-1582.

(本文责编: 杨 杰)

展的首要问题。2017 年区内总耗水量达到 51.3 亿 m^3 ，其中农田灌溉耗水占 76.8%，实际缺水 6.69 亿 m^3 ，缺水程度达到 8.3%^[1]。由于缺乏适宜的节水新技术，农业生产中尚采用大水漫灌等落后的灌溉方式，灌水次数多、灌溉量大，进一步加剧了水资源短缺危机。针对区域现状，众多专家和学者在挖掘有限水资源、降低损耗、提升利用率等方面做了大量的研究工作，在传统灌溉模式基础上，从地面灌溉、地膜覆盖、渠系防渗水等方面探索新的节水技术^[2]，然而这些方法仍然只是从用水方式、水利修整等角度加以改进，没有深入研究水分供给与作物、土壤的关系。马忠明等^[3-4]将作物传统的大田平作改为起垄栽培，以垄沟内小水渗灌取代大水漫灌，提出了适宜河西灌区主要作物栽培的垄作沟灌技术。垄作沟灌技术增加了土壤表面积和光热的截获能力，改善了透光条件，减少田间实际灌溉面积，加大灌溉水的田间流速，降低灌溉后的深层渗漏和无效蒸发，提高了作物水分利用效率^[5]。与滴灌、喷灌等技术相比，垄作沟灌技术简单易掌握、投入成本低、效果显现快，在大田大面积应用中具有明显的实用前景，是绿洲灌区持续发展节水农业的新模式。

1 垄作沟灌栽培对土壤性状和作物发育的影响

1.1 改善了作物根际土壤物理性状

地面形态的改变引起土壤质量的变化，根际土壤的物理性状变化尤为明显。垄作沟灌模式的土壤坚实度明显低于平作，0~20 cm 土层，垄作沟灌栽培容重较平作降低 1.20%，10~20 cm 土层较平作降低 3.55%，0~20 cm 土层平均较平作降低 2.52%^[6]。质地较轻的土壤有利于形成疏松的垄床，促进作物根系下扎和灌溉水的侧渗，同时 0~40 cm 土层也是春小麦、啤酒大麦、制

种玉米等作物根系分布的主要层次，土壤疏松透气，有利于促进作物对土壤水分和养分的转化和利用。

1.2 垄作沟灌栽培模式对土壤水热效应的影响

沟灌改变了水分的入渗方式，水分垂向和侧向的入渗同时存在，并且受到沟内断面性状、土壤质地和特性的影响，使得沟灌的土壤水分运动过程发生改变^[7]。较好的土壤结构能够提高土壤中的水分贮存量，相对于平作，垄作沟灌模式土壤含水量在 0~10、10~20、20~40 cm 的土壤深度分别提高了 25.95%、2.59%、2.01%^[6]。垄作栽培使土壤表面由平面型改变为波浪型，扩大了土壤表面积，有利于吸收太阳辐射，增加土壤对光能的截获量，提高耕层土壤温度^[8]。春小麦和啤酒大麦采用垄作沟灌栽培技术后，对土壤温度具有明显的影响。从春小麦播种后连续 17 d(4月 4—20 日)土壤温度测定结果可以看出，垄作沟灌栽培后 5~10 cm 土层日均温度均高于平作，最高较平作提高 2.15 $^{\circ}\text{C}$ ，最低较平作提高 0.65 $^{\circ}\text{C}$ ，平均较平作提高 1.41 $^{\circ}\text{C}$ ^[9]。

1.3 垄作沟灌栽培技术具有明显的边行优势

采用垄作沟灌栽培技术后，田间通风透光得到改善，再加上垄作的增温效应，使作物个体发育条件更加优化，表现很强的边行优势^[10]。与平作处理比较，垄作沟灌春小麦边行和中行平均穗粒数增加 3.8 粒，增幅为 10.35%；千粒重增加 2.52 g，增幅为 5.05%。垄作沟灌栽培啤酒大麦平均穗粒数增加 0.7~7.4 粒，平均千粒重增加 2.1~5.4 g，分别增加 2.83%~41.11%、4.93%~12.5%。明显的边行优势是促使垄作沟灌春小麦和啤酒大麦增产的主要原因^[4]。

1.4 垄作沟灌模式促进了作物生长

垄作模式使土壤的熟化层增加了 10 cm, 土壤与大气的接触面增加了 38%, 从而增加了作物根系空间, 促进了根系生长^[11]。与平作相比, 小麦垄作条件下 0~20、20~50、50~100 cm 土层内根长分别增加 39.21%~40.60%、26.99%~27.58%、39.43%~59.49%^[12]。根系生长推动了地上部器官的发育, 垄作模式下叶面积系数较平作增加 0.22~1.16, 地上部分干物质积累量增加 9.56%~42.68%, 株高降低 6.41 cm^[12]。戴德等^[13]研究发现, 垄作栽培小麦旗叶的叶绿素含量始终高于平作, 且随着生育进程的推进, 后期衰减速率明显低于平作, 说明垄作有利于延缓植株衰老, 延长叶片功能期, 从而延长籽粒灌浆时间, 增加产量。任德昌等^[14]研究表明, 垄作栽培使冬小麦基部第一、二节间分别较对照短 1.86、0.67 cm, 茎粗分别增加 0.14、0.11 mm, 茎壁厚度两节均增加 0.14 mm, 增加了植株抗倒伏能力。

2 垄作沟灌栽的节水增产效应

垄作沟灌模式降低了土壤容重, 提高了入渗水头高度和土壤初始含水率, 垄体容重的降低增加了湿周长度、湿润锋侧向入渗距离、湿润锋运移速度和土壤入渗速率。在相同水平侧渗距离条件下, 随着入渗水头高度的升高, 垂向入渗距离显著减少, 灌水定额明显减少; 随着土壤初始含水率的增加, 湿周长度、湿润锋垂向入渗距离、湿润锋运移速度、相邻两条湿润锋间隔距离、土壤入渗速率均呈增大趋势, 到达稳定入渗速率所用时间缩短, 从而总体上减少了灌水量^[15]。此外, 垄作沟灌相对于平作其节水效应还表现在中后期耗水量的减少方面, 与平作相比, 在抽穗-灌浆中期阶段和灌浆中期-成熟阶段, 在较高灌溉定额(3 750 m³/hm²)条件下, 春小麦

日均耗水量低于平作栽培, 比平作分别低 1.28、1.36 mm/d^[12]。河西灌区春小麦、制种玉米和啤酒大麦三种作物在垄作沟灌模式下水分利用效率可提高 1.84~3.38 kg/(mm·hm²), 节水 750~1 800 m³/hm², 同时产量增加了 6.86%~34.97%^[5]。李升东等^[16]研究表明, 与传统平作相比, 冬小麦垄作栽培后可节水 40%。赵蕊等^[17]在张掖市对比了不同种植方式对制种玉米的影响, 结果表明, 全膜垄作沟灌模式较传统平作方式增产 13.55%, 水分生产效率提高了 0.79 kg/(mm·hm²), 节水 2 850 m³/hm²。在经济作物种植中, 垄作沟灌模式也具有显著的节水效应。大田番茄每次灌水量可较平作减少 225 m³/hm², 全生育期总节水 1 350 m³/hm², 节水接近 20%, 节约水费 405 元/hm²; 番茄平均产量可达到 9.3 万 kg/hm², 产值达 4.65 万元/hm², 较传统地膜番茄增产 1.05 万 kg/hm², 增加产值 12.7%。食用向日葵在采用全膜垄作沟灌时产量达到 6 396 kg/hm², 增产 12.27%; 单方水效益为 4.84 元/m³, 均较常规条膜覆盖平作节水 13.2%^[18]。在马铃薯上的研究发现, 垄作沟灌模式使幼苗的自然出顶率达到 95%以上, 提前成熟 15~20 d, 可以增产 30%以上, 节水 1 500~2 250 m³/hm²^[19]。同时采用间作模式后, 作物水分利用率提升更为明显。玉米间作豌豆条件下, 2 种作物的混合产量为 16 895.3 kg/hm², 增产达 14.97%, 水分利用效率为 26.61 kg/(hm²·mm), 节水 1 268.4 m³/hm²^[20]。赵继荣等^[21]对垄作条件下金盏花的土壤水分变化进行了研究, 认为同大田的平作漫灌相比, 垄作沟灌在各生育期各个土层中保持了较高的水分, 水分利用效率提高了 41.15%, 可增产 25%。

3 垄作沟灌栽培技术配套农机具的研发

垄作沟灌栽培是一项新的地面灌溉技术^[22], 现有的农机具已不能满足进一步挖

掘作物生产潜力的需要,为此,相关研发单位在引进、消化吸收的基础上,开发研制了 3 代小麦 / 啤酒大麦垄作播种机和 2 代玉米 / 制种玉米起垄覆膜机。适合 18 ~ 30 马力拖拉机作业的第三代 2BL-4 小麦 / 啤酒大麦垄作播种机工作性能更加优化、稳定,播种质量显著提高,能够适应春小麦、啤酒大麦等密植作物的垄作沟灌栽培技术要求,作业后垄幅 75 cm,垄宽 50 cm,垄高 20 cm,沟宽 25 cm,开沟、起垄、播种、镇压等作业工序一次性完成,降低了生产成本,提高了工作效率,为春小麦、啤酒大麦垄作沟灌技术的大面积推广应用提供了强有力的机具支撑^[23]。改进完成的 BFM-2 玉米 / 制种玉米起垄覆膜机,能按玉米及制种玉米垄膜沟灌栽培的种植要求一次性完成开沟、起垄、镇压、覆膜作业,起垄覆膜规范,起垄垄幅 100 cm,垄宽 60 cm,沟宽 40 cm,垄高 20 cm,起垄覆膜后垄面平整,压膜严实,垄体具有一定的坚实度,增强了起垄后的保墒效果,提高了播种质量。起垄覆膜工作效率大幅度提高,节约了玉米 / 制种玉米垄膜沟灌节水栽培的生产成本,为该项技术的应用提供了强有力的机具支撑^[24-25]。

4 垄作沟灌技术尚需进一步研究和解决的问题

垄作沟灌技术革新了传统的平作模式,将灌水和施肥集中供给,优化了水肥管理方案,并与覆膜技术有机结合,促进了作物早熟,突破了大田玉米和制种玉米的适种海拔上限,并通过配套农机具实现了一次性完成作物起垄、覆膜、播种作业,有效的推动了河西绿洲灌区农业发展。但由于开展的试验研究相对较少,研究的适宜作物种类较少,距离实际的生产要求尚有不少差距,需要在诸多方面进行深入研究。

4.1 垄作沟灌技术的主要技术参数

在改变现有耕作模式的情况下,土壤结构发生了巨大的改变,水分的流动、入渗方式随之改变,灌水湿润方式的改变或对作物的栽培规格有新的要求。因而有必要进一步研究垄作沟灌模式下土壤水分入渗规律、土壤中养分运移累效应,并根据相应的变化细化垄、沟的精准尺寸、作物的种植密度、灌水的合理流量和频率,以及相应的肥料施用方案等。

4.2 垄作沟灌条件下作物生理反应

将传统的漫灌改变为沟灌后势必会引起时间和空间上部分作物的阶段性水分亏缺或盈余,作物个体或群体的棵间土壤蒸发和作物蒸腾较漫灌发生改变。探求垄作沟灌栽培对作物田间小气候条件(光、温、水、气等)的影响,垄作栽培中作物的需(耗)水规律、需肥规律,以及光能利用率的变化规律,建立综合判断作物需水模型,是进一步深化技术理论的要求,也是加快推广应用的需要。

4.3 垄作沟灌技术条件下的水肥耦合模式

大田土体结构的变化在引起水分管理方式改变的同时也使作物对养分的吸收、运转和累积过程产生变化。在进一步减少化肥施用量的外界动力和作物在新栽培模式下养分需求发生改变的内部要求下,研究垄作沟灌条件下的水肥耦合作用,寻找不同作物养分合理配比和优化组合,形成一系列针对性的水肥管理方案,既能有效补充和发展垄作沟灌技术,也是生产实践的急迫希求。

4.4 垄作沟灌对土壤养分损失的影响

立地条件的变化势必会对作物吸收肥料养分产生影响,并使土壤中养分的运移和再分布呈现不同的规律。掌握农田生态系统中化肥尤其是氮素的吸收、淋洗、转化、挥发等效应,能够正确的评价垄作沟

灌模式下温室气体的温室效应,合理判断该项技术在优化农田土壤环境中的作用。

参考文献:

- [1] 甘肃省水利厅. 2017 年甘肃省水资源公报 [EB/OL]. (2018-11-02)[2018-12-10]. http://www.gssl.gov.cn/xxgk/gkml/nbgb/szygb/201811/t20181102_113548.html.
- [2] 马忠明. 北方灌区农田节水技术研究现状 [J]. 甘肃农业科技, 1993(5): 30-31.
- [3] 马忠明. 河西绿洲灌区不同垄作方式和灌水量对春小麦产量效应的研究 [C]//中国作物协会. 中国作物学会 2006 年学术年会论文集. 北京: [出版者不详], 2006.
- [4] 张立勤, 马忠明, 俄胜哲. 垄膜沟灌栽培对制种玉米产量和水分利用效率的影响 [J]. 西北农业学报, 2007(4): 83-86.
- [5] 边金霞, 马忠明. 河西绿洲灌区 3 种作物垄作沟灌节水效果及栽培技术 [J]. 甘肃农业科技, 2007(11): 47-50.
- [6] 唐文雪, 马忠明, 张立勤, 等. 绿洲灌区垄作沟灌栽培对土壤物理性状和春小麦产量的影响 [J]. 西北农业学报, 2012, 21(8): 84-88.
- [7] 吕晓东, 马忠明. 不同耕作方式对春小麦田土壤水分过程的影响 [J]. 核农学报, 2015, 29(11): 2184-2191.
- [8] 王生撼. 春玉米覆膜垄作沟灌条件下土壤水热效应及对产量的影响 [J]. 农业与技术, 2018, 38(22): 58.
- [9] 潘艳花, 马忠明, 吕晓东, 等. 河西绿洲灌区不同耕作方式对春小麦土壤水分和产量的影响 [J]. 西北农业学报, 2012, 21(11): 53-59.
- [10] 柏立超, 邵运辉, 岳俊芹, 等. 垄作模式下冬小麦边际效应研究 [J]. 河南农业科学, 2009(6): 42-44; 48.
- [11] 高明, 车福才, 魏朝富, 等. 垄作免耕稻田水稻根系生长状况的研究 [J]. 土壤通报, 1998, 29(5): 236-238.
- [12] 马忠明, 连彩云, 张立勤. 绿洲灌区垄作沟灌栽培对春小麦生长和产量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2012, 32(2): 315-319.
- [13] 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.
- [14] 任德昌, 王法宏, 王旭清, 等. 冬小麦垄作高产栽培技术增产效应及增产机理 [J]. 耕作与栽培, 2000(5): 10-12.
- [15] 张锐. 垄作沟灌土壤水分入渗规律的试验研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016.
- [16] 李升东, 王法宏, 司纪升, 等. 节水灌溉对小麦旗叶主要光合参数和水分利用效率的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(4): 19-22; 28.
- [17] 赵蕊, 毛涛, 周俊. 张掖市制种玉米不同种植模式对比试验 [J]. 甘肃农业科技, 2014(3): 43-45.
- [18] 侯政权, 谢宗祥. 食用向日葵不同栽培方式的节水效果 [J]. 甘肃农业科技, 2012(9): 25-27.
- [19] 柴武高, 马庆融, 巴兰清. 河西沿山冷凉区马铃薯垄膜沟灌高效节水栽培技术 [J]. 中国马铃薯, 2014, 28(4): 208-209.
- [20] 唐文雪, 马忠明, 连彩云, 等. 绿洲灌区垄作沟灌栽培对玉米间作豌豆产量及水分利用效率的影响 [J]. 甘肃农业科技, 2013(7): 5-8.
- [21] 赵继荣, 雒淑珍, 张肖凌, 等. 金盏花高效节水栽培技术 [J]. 北方园艺, 2010(17): 85-86.
- [22] 康绍忠, 李永杰. 21 世纪我国节水农业发展趋势及其对策 [J]. 农业工程学报, 1997, 13(4): 1-7.
- [23] 邹建忠, 高自成. 2BFMG-5 型麦类垄作沟灌播种机的研制 [J]. 农机科技推广, 2012(12): 50-51.
- [24] 邹建忠. 2BFMG-5 型麦类垄作沟灌播种机研制与试验 [J]. 农业机械, 2012(2): 52-54.
- [25] 陶凯元. 机械化垄作沟灌节水技术 [J]. 农业机械, 2010(14): 68.

(本文责编: 陈伟)