

旱作区立式深旋耕作下马铃薯产量及水分利用效率对垄沟比变化的响应

尹嘉德^{1,2,3}, 侯慧芝^{1,2,3}, 方彦杰^{1,2,3}, 马明生^{1,2,3}, 柳燕兰^{1,2,3}, 雷康宁^{1,2,3}

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 农业农村部西北旱地作物绿色低碳重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 优化垄沟比是挖掘旱地作物光温水气资源利用潜力和生产力的有效措施之一, 研究全膜垄上微沟种植技术与立式深旋耕作技术复合下垄沟比变化对马铃薯水分利用、商品率和产量稳定性的影响, 为今后标准化半干旱旱地马铃薯种植栽培参数和最佳空间配置提供理论支撑。于2021—2023年在定西市安定区采用全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式下设置3个垄沟比处理(50 cm:50 cm、60 cm:40 cm、70 cm:30 cm)进行了比较试验。结果表明, 垄沟比变化对水分利用效率和马铃薯产量的影响与降水年份相关, 在降水较好的年份, 增加垄沟比有利于增加马铃薯产量, 而降水较少的干旱年份增加垄沟比则降低了马铃薯产量。从马铃薯块茎折合产量、商品产量、水分利用效率(WUE)和产量稳定性方面综合来看, 垄沟比为60 cm:40 cm的种植模式是全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式的最适规格。但单一从商品率和商品产量来看, 垄沟比为70 cm:30 cm的种植模式则可以有效地提高马铃薯商品率和商品产量, 建议在未来降水多的年份适当提高垄沟比, 可兼顾提高马铃薯产量与商品率。

关键词: 马铃薯; 立式深旋耕作; 垄沟比; 产量; 水分利用效率; 产量稳定性

中图分类号: S532

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)03-0244-06

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2025.03.008

Responses of Water Utilization and Efficiency Yield of Potatoes to Ridge-furrow Ratio Variation under Vertically Rotary Sub-soiling Tillage in Dryland Areas

YIN Jiade^{1,2,3}, HOU Huizhi^{1,2,3}, FANG Yanjie^{1,2,3}, MA Mingsheng^{1,2,3}, LIU Yanlan^{1,2,3}, LEI Kangning^{1,2,3}

(1. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Key Laboratory of Water Resources Efficient Utilization in Dry Farming Areas of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Key Laboratory of Northwest Green and Low-carbon Dryland Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Optimizing the ridge-furrow ratio is an effective strategy to exploit the potential of light, temperature, water, and air resources in dryland crops and improve productivity. This study investigated the effects of ridge-furrow ratio variation within the integrated technology of mini-ditch planting on ridge combined with plastic mulching and vertically rotary sub-soiling on potato water utilization, marketability, and yield stability, providing theoretical support for future standardized planting parameters and optimal spatial configuration in semi-arid dryland potato cultivation. From 2021 to 2023, a comparative experiment was conducted in Anding District, Dingxi City employing full plastic film coverage on ridge with mini-ditch and vertically rotary sub-soiling technology, with 3 ridge-furrow ratio treatments (50 cm:50 cm, 60 cm:40 cm, 70 cm:30 cm). Results indicated that the impact of ridge-furrow ratio variation on water use efficiency and potato yield was dependent on annual precipitation. In years with higher precipitation, increasing the ridge-furrow ratio enhanced potato yield, whereas in drier years, a higher ridge-furrow ratio led to a yield reduction. Based on tuber yield, commodity yield, water use efficiency (WUE), and yield stability, the 60 cm:40 cm ridge-furrow ratio was identified as the optimal specification for the combined planting model using mini-ditch on ridge and vertically rotary sub-

收稿日期: 2024-09-25

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD1900700); 甘肃省科技计划项目(22JR5RA763、23JRRA1340); 甘肃省青年科技基金(24JRRA31)。

作者简介: 尹嘉德(1992—), 男, 甘肃瓜州人, 研究实习员, 主要从事旱地作物资源高效利用与作物模型应用研究。Email: gsyinjiade@163.com。

通信作者: 侯慧芝(1980—), 女, 甘肃庆阳人, 研究员, 主要从事作物栽培及农业生态的理论研究和科技创新工作。Email: houhuizhi666@163.com。

soiling tillage technology with full film mulching. However, in terms of commodity rate and commodity yield alone, the 70 cm:30 cm ridge-furrow ratio effectively improved potato commodity rate and commodity yield. It is recommended to moderately increase the ridge-furrow ratio in years with higher precipitation to balance improvements in potato yield and commodity rate.

Key words: Potato; Vertically rotary sub-soiling; Ridge-furrow ratio; Yield; Water use efficiency; Yield stability

黄土高原半干旱区是我国优质马铃薯的主产区,尤其在陇中地区,马铃薯是该区域农民增收和农业主导产业^[1]。但是,陇中地区年降水量仅为 250~550 mm,加之极端气候频发引起时空雨水分配差异大,多为无效降水,导致马铃薯产量稳定性差和商品率低,甚至严重减产^[2]。因此,如何提高降水的有效利用性,也就是提高土壤保水与渗水能力,从而降低农田无效径流与蒸发损失,是提高该区域马铃薯产量稳定性与商品率的核心问题^[3]。垄沟覆膜集雨种植方法由于集雨和增温特性,有效解决了陇中旱作区作物生长面临“早寒”的环境问题,在玉米和马铃薯等作物增产效应显著,得到广泛应^[4-5]。但是,不同的作物种植所采用的垄沟规格与冠层外形差异导致需要的生长空间存在较大差异,在陇中地区,马铃薯通常采用全膜覆盖垄上微沟种植方法,能够有效地协同提升作物生长过程中土壤保墒、集雨和增温三项能力,显著提升马铃薯产量^[6]。然而不同的地区因环境与作物基因型差异,垄沟比并不一致,垄沟比变化首先影响降水的入渗速率和降水在农田中的再分配效率;其次,优化农田土壤水热过程,从而提升作物抗旱增产能力,成为重要的栽培参数指标^[4,7]。因此,不同区域,作物基因型和形态特征的差异则需匹配适宜的垄沟比,以形成合理的资源利用高效的根层—冠层结构,可使空间水热光气资源的利用效率最大化,提高抵御寒旱等环境风险能力,使作物稳产增产^[8-9]。

半干旱区旱作农田传统常规的耕作深度一般在 20 cm 以内,造成耕层浅和土壤紧实,使作物根系生长发育受阻,成为该地区马铃薯等作物生产潜力受限与不稳定因素的另一主要原因^[10]。针对此问题,张绪成等^[10-12]提出了适合西北旱作区的立式深旋耕作技术,其技术要点是采用高速旋转机头垂直粉碎疏松土壤,该过程不改变土壤的垂直层次,一方面,有助于保留表层土壤内部水分和养分,另一方面,降低土壤容重,增加土壤总孔隙度,提高降水入渗效率,从而提高降水有效

性和可利用性^[10-12]。因此,全膜垄上微沟种植技术与立式深旋耕作技术复合能够增强农田集雨效应,疏松土壤,显著促进马铃薯增产和提高商品率。但是,现有的马铃薯全膜覆盖垄上微沟种植技术垄沟比参数变化范围为垄宽 40~80 cm、沟宽 40~120 cm、幅宽 100~120 cm^[6-7],目前全膜垄上微沟种植技术与立式深旋耕作技术复合种植模式下匹配的标准垄沟比参数尚无统一定论。因此,在半干旱区进行研究全膜垄上微沟种植技术与立式深旋耕作技术复合种植模式下垄沟比对马铃薯水分利用和产量稳定性及商品率的影响具有重要意义,有助于为今后标准化半干旱区旱地马铃薯种植栽培参数和最佳空间配置提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点位于甘肃省定西市安定区鲁家沟镇小岔口村(35° 84' N、104° 57' E),当地海拔 1 800 m,气候带划分为温带半干旱气候。年均降水量 300~400 mm,蒸发量 1 500 mm 以上,年平均气温 7.1 °C,降水变异率为 22.7%,年辐射总量 5 898 MJ/m²,年日照时数 2 500 h,≥10 °C 积温 2 075.1 °C,无霜期约 146 d,70%的降水量集中在 6—9 月,400 mm 降水保证率不足 50%。试验区土壤类型以灰钙土为主,土壤母质为黄土,质地为砂壤和粉壤,属于典型的黄土高原丘陵沟壑区。试验期间,2021—2023 年全年降水量分别为 382.7、250.0、369.6 mm,马铃薯全生育期降水量分别为 291.5、158.0、201.0 mm,2021 年为丰水年份,2022 年和 2023 年均均在马铃薯盛花期至块茎膨大期发生持续干旱,为典型的干旱年份。

1.2 供试材料

指示马铃薯品种为陇薯 10 号原种,由甘肃省农业科学院马铃薯研究所提供。供试肥料为尿素(含 N 46%)、磷酸二铵(含 N 18%、P₂O₅ 46%)、氯化钾(含 K₂O 60%)、有机肥(腐熟的鸡粪,含有机质 ≥24%)。

1.3 试验方法

试验统一采用全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式^[10], 设 3 个垄沟比处理, 分别为 L5D5 处理, 垄宽 50 cm、沟宽 50 cm; L6D4 处理, 垄宽 60 cm、沟宽 40 cm; 处理 L7D3, 垄宽 70 cm, 沟宽 30 cm。试验随机区组排列, 每处理 4 次重复, 小区面积 60 m²(10 m × 6 m), 小区四周间隔 50 cm。各处理均在垄上的微沟内每隔 30 cm 打孔, 便于雨水入渗。播种时将马铃薯原种按“品”字形在垄上微沟两边位置上使用马铃薯专用穴播器按穴距为 30 ~ 35 cm 种植, 密度为 60 000 株 / hm²。马铃薯生育期施有机肥 15 000 kg/hm²、N 135.0 kg/hm²、P₂O₅ 73.5 kg/hm²、K₂O 30.0 kg/hm², 其中全部有机肥、磷肥、钾肥和 60% 氮肥播前基施, 在小区内均匀撒施后耕作; 40% 氮肥在花期用专用施肥穴播器施于垄上。马铃薯 2021 年于 4 月 30 日播种, 10 月 4 日收获; 2022 年于 4 月 28 日播种, 10 月 5 日收获; 2023 年于 4 月 28 日播种, 10 月 11 日收获。试验期间各处理除田间人工除草和花期追肥外不进行其他田间管理。

1.4 测定项目与计算方法

1.4.1 土壤水分 在马铃薯播前和收获后, 用土钻法按每 20 cm 为 1 层取土样至 300 cm, 将土壤土样分层置于铝盒, 之后及时测量土壤鲜重 (FW), 之后放进烘箱在 105 °C 下 10 h 烘干土壤后测量干重 (CW)。然后计算土壤贮水量 (SWS)、生育期总耗水量 (ET) 和水分利用效率 (WUE), 具体计算公式如下:

$$SWS = (FW - CW) \times R \times h / 100$$

式中, R 为土壤容重, h 为土层深度。

$$ET = SWS_s - SWS_h + P$$

式中, SWS_s 、 SWS_h 分别为马铃薯播前和收获后土壤 0 ~ 300 cm 土层的土壤贮水量, P 为马铃薯播期至收获期的降水总量。

$$WUE = ET / Y_d$$

式中, Y_d 为收获期马铃薯块茎产量。

1.4.2 块茎产量和马铃薯商品率 (CR) 收获前每小区随机选择 30 m² 进行考种并以马铃薯块茎 > 50 g 有产量计算马铃薯商品率 (CR), 马铃薯收获时按小区分别称重块茎产量并计算折合产量。

$$CR = W_{cr} / W$$

式中, W_{cr} 为商品薯块茎重 (符合商品薯的单薯重 ≥ 150 g), W 为马铃薯块茎总重量。

1.4.3 产量稳定性 (CV_{YS}) 利用马铃薯块茎平均产量计算不同处理的产量稳定性, CV_{YS} 值越小, 表明相应垄沟处理系统产量稳定性越高。

$$CV_{YS} = St / Y$$

式中, St 马铃薯块茎产量标准差, Y 为马铃薯块茎平均产量。

1.5 数据分析与制图

利用 SPSS 22.0 和 Microsoft Excel 2019 软件对数据进行分析处理和制图, 显著性检验采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 垄沟比对马铃薯全生育期总耗水量的影响

垄沟比变化对全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式下马铃薯全生育期总耗水量具有一定的影响, 特别是干旱年份影响明显 (图 1)。2021 年为丰水年份, 垄沟比的变化对马铃薯全生育期总耗水量无显著影响。在降水量较低的干旱年份, 增加垄沟比可促进马铃薯生育期总耗水量增加, 其中 2022 年处理 L6D4、L7D3 的马铃薯全生育期总耗水量较处理 L5D5 分别提高了 8.32%、7.16%, 差异达显著水平; 2023 年的马铃薯全生育期总耗水量处理 L6D4、L7D3 较处理 L5D5 分别提高了 9.52%、10.59%, 差异达显著水平。

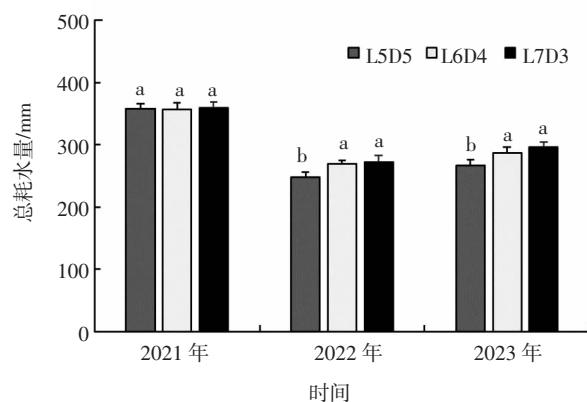


图 1 垄沟比对马铃薯全生育期总耗水量的影响

2.2 不同垄沟比处理对马铃薯块茎产量和水分利用效率 (WUE) 的影响

从图 2 可以看出, 在不同降水年份, 垄沟比

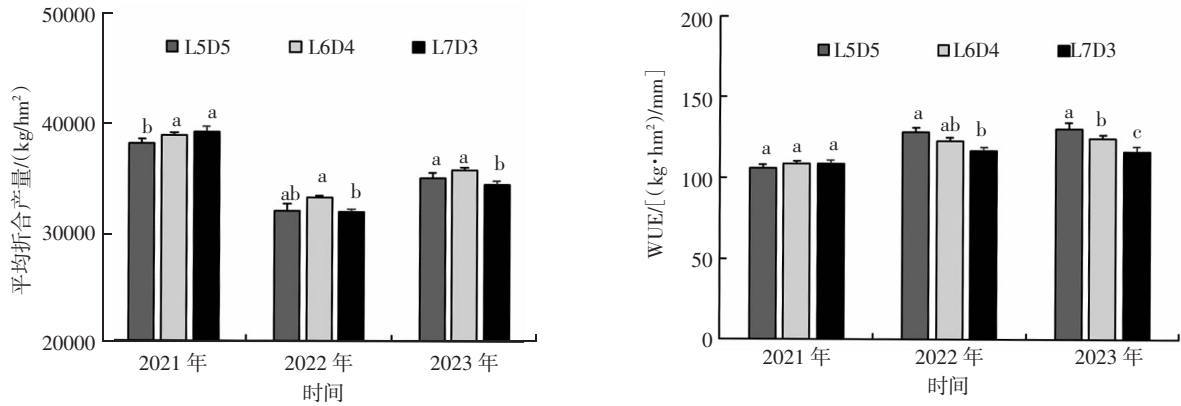


图 2 垄沟比对马铃薯块茎产量和 WUE 的影响

变化对全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式下马铃薯块茎产量与水分利用效率 (WUE) 的影响比较明显。在丰水年份 (2021 年) 随垄沟比的增加, 马铃薯块茎平均折合产量呈逐渐增加趋势, 以处理 L7D3 的马铃薯块茎平均折合产量最高, 为 39 118.8 kg/hm²; 处理 L5D5 马铃薯块茎平均折合产量最低, 为 37 992.0 kg/hm²。在干旱年份 2022、2023 年, 随垄沟比的增加, 马铃薯块茎平均折合产量呈先增后减趋势, 均以处理 L6D4 最高, 分别为 33 078.3、35 615.6 kg/hm²; 以处理 L7D3 最低, 分别为 31 794.2、34 365.2 kg/hm²。在丰水年份 (2021 年) 随垄沟比的增加, 水分利用效率呈逐渐增加趋势, 以处理 L7D3 最高, 为 108.76 (kg·hm²)/mm; 较处理 L5D5、L6D4 分别增加 2.48%、0.19%。在干旱年份 2022、2023 年, 随垄沟比的增加, 水分利用效率呈逐渐降低趋势, 均以处理 L5D5 最高, 分别为 128.19、130.71 (kg·hm²)/mm; 2022 年 L5D5 较处理 L6D4、L7D3 分别增加 4.30%、9.71%; 2023 年 L5D5 较处理 L6D4、L7D3 分别增加 5.11%、12.43%。

2.3 垄沟比对马铃薯商品薯的影响

从表 1 可以看出, 垄沟比对全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式下马铃薯商品率与商品薯产量的影响比较明显。随着垄沟比的增加, 马铃薯商品率在丰水年份 (2021 年) 和干旱年份 2022、2023 年均呈逐渐增加趋势, 马铃薯平均商品率以处理 L7D3 最高, 为 70.6%, 较处理 L5D5、L6D4 分别增加 8.9、2.4 个百分点。随垄沟比的增加, 在丰水年份 (2021 年) 马铃薯商品薯产量呈逐渐增加趋势, 在干旱年份 2022、2023 年,

表 1 垄沟比对马铃薯商品率的影响

时间	处理	商品率 /%	商品薯产量 / (kg/hm ²)	非商品薯产量 / (kg/hm ²)
2021 年	L5D5	71.4 c	27 126.3 c	10 865.7 a
	L6D4	76.1 b	29 496.8 b	9 263.8 a
	L7D3	81.2 a	31 764.4 a	7 354.3 b
2022 年	L5D5	51.9 b	16 531.1 b	15 320.7 a
	L6D4	58.9 a	19 483.1 a	13 595.2 b
	L7D3	60.5 a	19 235.5 a	12 558.7 c
2023 年	L5D5	61.9 b	21 626.3 b	13 311.2 a
	L6D4	69.7 a	24 824.0 a	10 791.5 b
	L7D3	70.1 a	24 089.0 a	10 275.2 b
平均	L5D5	61.7 b	21 761.2 b	13 165.9 a
	L6D4	68.2 a	24 601.4 a	11 216.8 b
	L7D3	70.6 a	25 029.9 a	10 062.7c

马铃薯商品薯产量呈先增后略减趋势, 2021、2022、2023 年的马铃薯平均商品薯产量也以处理 L7D3 最高, 为 25 029.9 kg/hm², 较处理 L5D5、L6D4 分别增产 15.02%、1.74%。由此可见, 增加垄沟比有利于提高马铃薯的商品率与商品产量。

2.4 垄沟比对产量稳定性 (CV_{YS}) 的影响

垄沟比对全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式下马铃薯块茎产量稳定性有着显著的影响 (图 3)。通过对 2021—2023 年连续 3 a 不同垄沟比处理试验马铃薯块茎产量的变异度量化处理显示, 以处理 L7D3 的 CV_{YS} 值最高, 为 0.092 06; 处理 L7D3 次之, 为 0.077 30; 处理 L6D4 的 CV_{YS} 值最低, 为 0.069 10, 表明处理 L6D4 有助于提高全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式下马铃薯块茎产量稳定性。

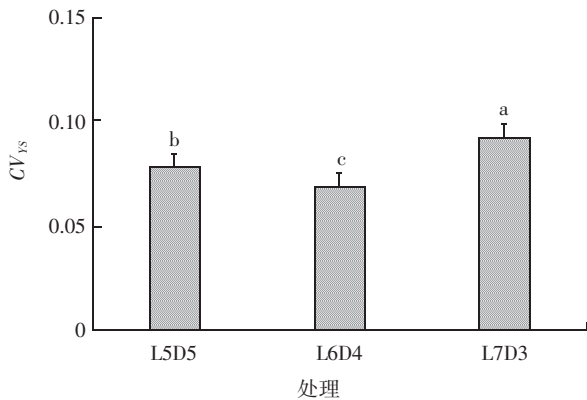


图3 垄沟比对马铃薯产量稳定性的影响

3 讨论与结论

众多研究表明, 垄沟比变化能够显著影响农田集雨效率, 垄沟比增加能够扩大农田集雨面积, 提高降水入渗效率^[4, 9, 13-14]。但是, 不同作物对垄沟比的要求也有差异, 研究表明, 玉米全膜双垄沟栽培条件下, 当大垄宽度为 40 cm、小垄宽和沟宽 20 cm 时, 空间资源利用与降水水热效率最优^[15-18], 而陇中地区马铃薯当垄沟比为 60 cm : 40 cm 时, 产量和降水利用效率最高^[14]; 其次, 垄沟比能够影响作物根系的生长, 尤其是块茎类作物, 大多属于浅根系, 垄的大小一定程度上引导了根系的生长分布, 最终影响到水分的利用效率^[4, 8-9]。在我们的研究中发现, 在降水较好的年份, 垄沟比变化对生育期总耗水量和水分利用效率(WUE)的影响均不显著, 而在连续干旱的年份, 垄宽 50 cm、沟宽 50 cm 的处理与垄宽 60 cm、沟宽 40 cm 和垄宽 70 cm、沟宽 30 cm 的处理相比, 不但降低了马铃薯生育期总耗水量, 而且提高了水分利用效率(WUE), 这表明垄沟比变化对全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式下马铃薯水分利用存在一定影响, 这一影响主要原因一方面是降低垄沟比减少了蒸发面积, 使蒸发量降低; 另一方面是降低垄的体积这直接影响到根系的生长, 从而降低对土壤水分利用能力, 这些因素综合影响降水及土壤水分利用。总之, 全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式下增加垄沟比有促使马铃薯生育期总耗水量增加趋势。

旱地作物生长面临各种不确定环境胁迫因素困扰, 商品率与产量稳定性是评价旱地马铃薯栽培技术重要指标^[12, 19]。适宜的垄沟比系统能够优

化土壤水热环境, 可促使相匹配的作物根系构建更完善的空间结构, 降低高温干旱等胁迫造成的生长冗余, 提高水分和养分吸收潜力, 最终获得高品质和产量^[4, 7, 9]。陇薯 10 号是陇中地区广泛种植的晚熟马铃薯品种^[20], 相较其他马铃薯品种花期冠层结构较大, 不适宜太小的垄沟比, 而太大的垄沟比又会造成高蒸发量, 但是降低密度又造成减产问题^[7, 9]。因此, 我们的研究固定密度, 垄沟比从 50 cm : 50 cm 调整变化至 70 cm : 30 cm。连续 3 a 研究结果显示, 在降水较好的年份, 增加垄沟比有利于增加马铃薯产量, 而降水较少的干旱年份增加垄沟比则降低了马铃薯产量, 这主要原因是, 降水充足时, 垄宽有利于根系发育, 同时增加了地上空间, 提高了水热光气的利用, 促进了产量增加; 而干旱年增加垄宽增加导致蒸发量增加干旱胁迫, 导致减产。因此, 从马铃薯块茎折合产量、商品产量、水分利用效率(WUE)和产量稳定性方面综合来看, 垄沟比为 60 cm : 40 cm 的种植模式是全膜覆盖垄上微沟和立式深旋耕作技术复合种植模式的最适规格。但是, 从单一商品率和商品产量结果来看, 垄沟比为 70 cm : 30 cm 的种植模式可以有效地提高马铃薯商品率和商品产量, 这主要的原因是立式深旋耕作下土壤本身较为疏松和土壤水分养分可利用性增强^[21], 加之垄宽形成适宜马铃薯根系生长的空间结构, 提高了单薯质量, 使得马铃薯商品率显著提升, 建议在未来降水多的年份适当提高垄沟比, 可兼顾提高马铃薯产量与商品率。

参考文献:

- [1] 吕健菲, 孙一文, 王澳雪, 等. 马铃薯产业发展的农民增收带动效应分析——以甘肃省定西市为例[J]. 中国马铃薯, 2023, 37(6): 560-572.
- [2] 李强. 西北地区马铃薯产量—气候变化关系分析及高产高效栽培技术研究[D]. 北京: 中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心), 2018.
- [3] 张绪成, 方彦杰. 甘肃寒旱农业生产现状及未来研究方向[J]. 寒旱农业科学, 2022, 1(1): 12-18.
- [4] 莫非, 周宏, 王建永, 等. 田间微集雨技术研究及应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(8): 1-17.
- [5] 邓浩亮, 张恒嘉, 肖让, 等. 陇中半干旱区不同覆盖种植方式对土壤水热效应和玉米产量的影响[J]. 中

- 国农业科学, 2020, 53(2): 273-287.
- [6] 侯慧芝, 王娟, 张绪成, 等. 半干旱区全膜覆盖垄上微沟种植对土壤水热及马铃薯产量的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(10): 1582-1590.
- [7] 张小红, 曾芳荣, 孙叶, 等. 不同密度和垄沟比对全膜覆盖垄上微沟马铃薯水分利用和产量的影响[J]. 中国马铃薯, 2022, 36(5): 413-422.
- [8] 张光鑫. 垄沟比和施氮量对黄土高原雨养春玉米产量的影响及其生理生态机制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
- [9] 许菁. 垄沟集雨种植春玉米农田的耗水机制与水肥高效利用的调控研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.
- [10] 张绪成, 马一凡, 于显枫, 等. 立式深旋耕作对西北半干旱区马铃薯水肥利用和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(2): 191-203.
- [11] 张绪成, 马一凡, 于显枫, 等. 立式深旋松耕对西北半干旱区土壤水分性状及马铃薯产量的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(12): 156-165.
- [12] 张绪成, 马一凡, 于显枫, 等. 西北半干旱区深旋松耕作对马铃薯水分利用和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(10): 3293-3301.
- [13] 王俊鹏, 蒋骏, 韩清芳, 等. 宁南半干旱地区春小麦农田微集水种植技术研究[J]. 干旱地区农业研究, 1999(2): 11-16.
- [14] 王琦, 张恩和, 李凤民, 等. 半干旱地区沟垄微型集雨种植马铃薯最优沟垄比的确定[J]. 农业工程学报, 2005(2): 38-41.
- [15] 王红丽, 张绪成, 宋尚有, 等. 旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2609-2614.
- [16] 李来祥, 刘广才, 杨祁峰, 等. 甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与应用进展[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(1): 114-118.
- [17] 李小燕, 孙多鑫, 王昭, 等. 减穴增株在半干旱区全膜双垄沟播玉米上的应用研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(8): 723-726.
- [18] 樊友娟, 于建平, 李贵喜, 等. 全膜双垄沟播一膜二茬栽培技术[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(1): 50-52.
- [19] 李建武, 李高峰, 文国宏, 等. 甘肃省多点联合试验马铃薯产量要素稳定性及试点鉴别力分析[J]. 西北农业学报, 2022, 31(11): 1422-1434.
- [20] 文国宏, 王一航, 李高峰, 等. 马铃薯新品种陇薯10号的选育[J]. 农业科技通讯, 2013(4): 270-272.
- [21] YIN J D, ZHANG X C, MA Y F, et al. Vertical rotary sub-soiling under ridge furrow with plastic mulching system increased crops yield by efficient use of deep soil moisture and rainfall[J]. Agricultural Water Management, 2022, 271: 107767.