

深松条件下不同地表覆盖对马铃薯产量及水分利用效率的影响

李 荣, 侯贤清^{*}

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘 要: 水分不足是限制旱区作物生长的主要因素, 覆盖耕作能够改善土壤的微环境, 从而显著提高作物的产量和水分利用效率。为探讨深松结合地表覆盖对土壤物理性状、马铃薯生长、产量及水分利用效率的影响, 2013—2015年在宁南旱区采用深松覆盖秸秆、深松覆盖地膜、深松不覆盖3种覆盖耕作模式, 以传统耕作不覆盖为对照, 对土壤体积质量、团聚体、水分、马铃薯产量和水分利用效率等方面的影响进行了研究。结果表明, 与传统耕作相比, 深松结合地表覆盖可有效降低耕层土壤体积质量, 改善土壤孔隙状况, 以深松覆盖秸秆处理效果最佳, 深松覆盖秸秆处理0~40 cm平均土壤体积质量较传统耕作降低17.1%。与传统耕作相比, 深松覆盖地膜和深松覆盖秸秆处理可使0~40 cm土层>0.25 mm机械稳定性团聚体数量显著增加30.7%和17.4%。深松结合不同覆盖方式能有效改善马铃薯生育期0~200 cm土层土壤水分状况, 深松覆盖地膜对作物生育前期土壤水分保蓄效果较好, 深松覆盖秸秆对生育中后期土壤水分状况的改善效果最佳。深松结合不同覆盖方式下马铃薯植株株高、茎粗及地上部生物量均显著高于传统耕作。作物生育前期以深松覆盖地膜处理效果最佳, 中后期以深松覆盖秸秆处理促进作用明显。深松结合地表覆盖能明显提高马铃薯的产量和水分利用效率, 深松覆秸秆处理的马铃薯产量、商品薯率和水分利用效率分别较传统耕作处理平均提高37.3%、93.3%和41.2%。通过两年试验研究, 在宁南旱区采用深松结合地表覆盖措施具有良好的蓄水保墒效果, 对马铃薯生长有利, 以深松覆盖秸秆处理的增产和提高水分利用效率效果最为显著。

关键词: 土壤; 产量; 水分; 深松结合地表覆盖; 土壤蓄水量; 马铃薯产量; 水分利用效率

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.20.017

中图分类号: S152.7; S157.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-20-0115-09

李 荣, 侯贤清. 深松条件下不同地表覆盖对马铃薯产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 115—123. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.20.017 <http://www.tcsae.org>

Li Rong, Hou Xianqing. Effects of different ground surface mulch under subsoiling on potato yield and water use efficiency[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(20): 115—123. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.20.017 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

西北黄土丘陵区, 水分不足是限制作物产量提高的主要因素, 常年以传统耕作方式对土壤进行连年翻耕, 土壤结构遭到破坏, 加速了土壤有机质的分解和养分流失, 使耕地质量日趋下降, 造成作物产量低且不稳^[1-2]。因此, 合理的耕作措施对改善土壤结构, 充分利用自然降水和维持土地生产力有着重要的作用^[3-5]。深松是随少耕、免耕而发展起来代替传统耕作, 适用于旱地农业的保护性耕作法。它是利用深松铲来疏松土壤, 加深耕层而不翻转土壤, 改善耕层土壤的结构, 从而减轻土壤侵蚀, 提高土壤的蓄水保墒能力^[6-7]。因此, 在旱地保护性耕作体系中, 深松愈来愈受到广泛重视。

通过地面覆盖可有效改善土壤环境, 促进作物生长, 在旱区农业生产中, 秸秆和地膜覆盖能起到较好的集水保水、增产的作用, 使旱区有限的降水得到较大程度的利用^[8-9]。近年来, 由于人为因素对生态环境的破坏, 加上政府盲目推广少免耕等保护性耕作措施, 治理水土流失、改善生态环境的任务日趋严峻。有研究^[10]认为, 深松与施用有机肥能直接影响天然降水的入渗和土壤水分蒸发, 间接影响土壤水分的再分布过程, 对土壤水分的保蓄和高效利用均有重要作用。刘爽等^[11]的研究表明, 与传统耕作方式相比, 深松覆盖可显著增加土壤含水率, 具有良好的保墒作用。李俊红等^[12]的研究发现, 双深松覆盖可提高土壤含水量和水分利用效率, 增加作物干物质积累量, 进而提高产量。

宁夏南部山区属西北黄土丘陵区, 多年干旱少雨、土壤结构稳定性差, 致使作物产量及水分利用效率低而不稳。针对宁南山区以上诸多问题, 本研究将深松措施与不同覆盖方式相结合, 以传统耕作不覆盖为对照, 分析深松结合不同覆盖方式对土壤结构及马铃薯产量和水分利用效率的影响, 筛选出适合宁南山区马铃薯生产的最佳深松覆盖方式, 以期宁南山区马铃薯高产高效栽培技术提供实践参考。

收稿日期: 2015-08-01 修订日期: 2015-08-24

基金项目: 宁夏大学引进人才科研启动金项目(BQD2012007); 国家自然科学基金(31301280)。

作者简介: 李 荣, 女, 甘肃甘谷人, 讲师, 主要从事节水农业方面研究。银川 宁夏大学农学院, 750021。Email: lirong_mail@126.com

*通信作者: 侯贤清, 男, 河南商丘人, 讲师, 主要从事旱区农业水分高效利用方面研究。银川 宁夏大学农学院, 750021。

Email: houxianqing1981@126.com

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本研究于 2013—2015 年在宁夏彭阳县城阳乡长城村旱农基点进行。试验区位于宁夏回族自治区南部边缘、六盘山东麓,海拔 1 800 m 左右,年蒸发量达 1 000~1 100 mm,降雨量 350~550 mm,一半以上的降雨发生在 7~9 月份。年平均气温 7.4~8.1℃,无霜期 140~170 d。如图 1,根据当地 1970—2015 年多年平均降雨量可知,2013—2014 年为丰水年,分别比长期平均降雨量

(430.4 mm) 高 51.8%; 2014—2015 年为平水年,降雨量比长期平均降雨量低 7.9%。2013—2014 年彭阳县降水总量为 653.5 mm,其中马铃薯生育期降雨量为 564.6 mm,占全年的 86.0%; 2014—2015 年彭阳县降水总量为 396.3 mm,其中马铃薯生育期降雨量为 283.4 mm,占全年的 71.5%,由此可见,如何最大限度地保蓄生育期降水,是提高降水有效利用率和作物产量的技术关键。试验田为旱平地,土壤类型为黄绵土,土壤肥力较低,耕层 0~40 cm 有机质含量为 7.5 g/kg,碱解氮 58.6 mg/kg,速效磷 8.4 mg/kg,速效钾 90.5 mg/kg,属低等肥力水平。

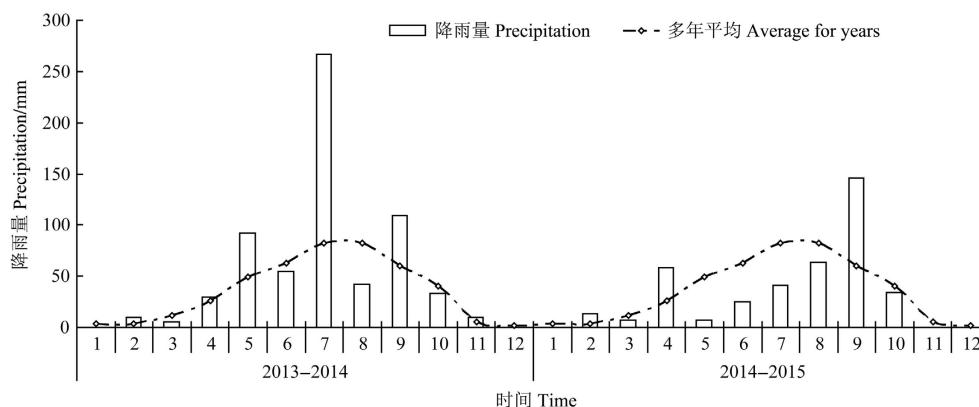


图 1 试验期间 (2013—2015) 降水量

Fig.1 Precipitation distribution during research period (2013–2015)

1.2 试验设计

试验设深松覆盖秸秆 (ST+JM)、深松覆盖地膜 (ST+DM)、深松不覆盖 (ST),以传统耕作 (CT) 为对照,共 4 个处理。每处理 3 次重复,共 12 个小区,小区面积 4 m×9 m=36 m²。为利用机械耕作,采用裂区试验设计。耕作处理如下: 1) 深松处理 2012 年 10 月初秋作物收获后将秸秆全部移出,采用中国农业大学生产的冀铲式深松机,进行间隔深松整地,耕作深度 30~35 cm,宽度间隔 40 cm,然后结合不同覆盖方式进行冬闲,次年 4 月中旬穴播马铃薯,10 月初马铃薯收获后将秸秆全部移出,进行间隔深松,深松后结合不同覆盖方式进行冬闲,次年 4 月初穴播马铃薯。2) 传统耕作处理 2012 年 10 月初秋作物收获后将秸秆全部移出,采用山东德州生产的 1L-220 型专用铧式犁拖拉机耕翻土壤,耕作深度 15~20 cm,耕后耙耱各 1 次,次年 4 月中旬穴播马铃薯; 2013 年 10 月 4 日马铃薯收获后将秸秆及根茬全部移出,进行间隔深松,深松后结合不同覆盖方式进行冬闲,次年 4 月中旬穴播马铃薯。马铃薯分别于 2013 年 4 月 25 日、2014 年 4 月 18 日进行播种,2013 年 10 月 4 日和 2013 年 10 月 2 日收进行获。

试验地前茬作物为春玉米,处理前一直采用传统耕作。玉米秸秆覆盖采用全生育期整秆覆盖,覆盖量根据王昕等^[13]研究推荐的最佳覆盖量 9 000 kg/hm²,覆盖厚度 5~8 cm; 地膜为聚乙烯薄膜 (宽 0.8 m 厚 0.008 mm)。试验期间无灌溉。供试马铃薯品种为陇薯 3 号。采用平作栽培方式,宽窄行种植,宽行 60 cm,窄行 40 cm,株距 40 cm,种植密度 5 万株/hm²,穴播后盖土 5 cm,中耕

培土 2 次。施肥方式结合秋耕实行秋施肥,施农家肥 (牛粪) 30 t/hm²,尿素 150 kg/hm²,二铵 150 kg/hm²,硫酸钾 150 kg/hm²。试验期间进行人工除草。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤物理性状指标

土壤体积质量 在 2012 年 10 月初试验处理前及 2014 年 10 月初马铃薯收获后,采用环刀法分别测定 0~20 cm 和 20~40 cm 土层土壤体积质量,并计算土壤总孔隙度^[14]; 土壤总孔隙度 (%) = (1 - 土壤体积质量/土壤比重) × 100%, 土壤比重取近似值取 2.65 g/cm³。

土壤团聚体含量 在 2014 年 10 月初马铃薯收获后,按 S 型 5 点取土法在 0~20、20~40 cm 两个土层采集原状土样,带回实验室自然风干,沿土壤结构的自然剖面掰成直径约为 1 cm 小团块并剔除有机残体和石块,利用干筛法测定机械稳定性团聚体的粒级分布及稳定性^[15]。

$$>0.25 \text{ mm 团聚体含量}^{[14]}: DR_{0.25} = \sum_{i=1}^n (W_i) \quad (1)$$

式中: $DR_{0.25}$ 为 >0.25 mm 土壤团聚体含量, %; W_i 为对应粒级团聚体百分含量, %。

土壤水分 在马铃薯生育期 (播种、苗期、开花、块茎形成、块茎膨大、收获), 利用烘干法分别测定 0~200 cm 土层土壤水分含量。

$$\text{土壤蓄水量}^{[16]}: W = h \times a \times b \times 10 \quad (2)$$

式中: W 为土壤蓄水量, mm; h 为土层深度, cm; a 是土壤体积质量, g/cm³; b 是土壤水分含量, %。

$$\text{作物耗水量}^{[17]}: ET_a = W_1 - W_2 + P \quad (3)$$

式中: ET_a 为作物耗水量, mm; W_1 为播前土壤蓄水量,

mm; W_2 为收获后土壤蓄水量, mm; P 为生育期降雨量, mm, 式中土壤蓄水量及作物耗水量均以 2 m 土层重量含水量计算。

水分利用效率^[18]: $WUE=Y/ET_a$ (4)

式中: WUE 为水分利用效率, $kg/(hm^2 \cdot mm)$; Y 为作物产量, kg/hm^2 ; ET_a 为作物耗水量, mm。

1.3.2 马铃薯生长指标

在马铃薯关键生育期(开花、块茎形成、收获), 每重复区随机选取 5 株测定作物株高和茎粗及地上部生物量。植株株高采用生理株高衡量, 为地上茎基部到生长点的距离; 主茎粗为近基部最粗处的直径。植株地上部生物量包括地上部茎、叶的总和。

1.3.3 马铃薯产量

在马铃薯成熟期, 每重复区以实产进行测产, 分别记录大(>150 g)、中(75~150 g)、小薯(<75 g)个数及重量, 并计算大、中、小薯比重和商品薯率。商品薯率(%)=单薯 75 g 以上的产量/马铃薯总产 $\times 100\%$ ^[19]。

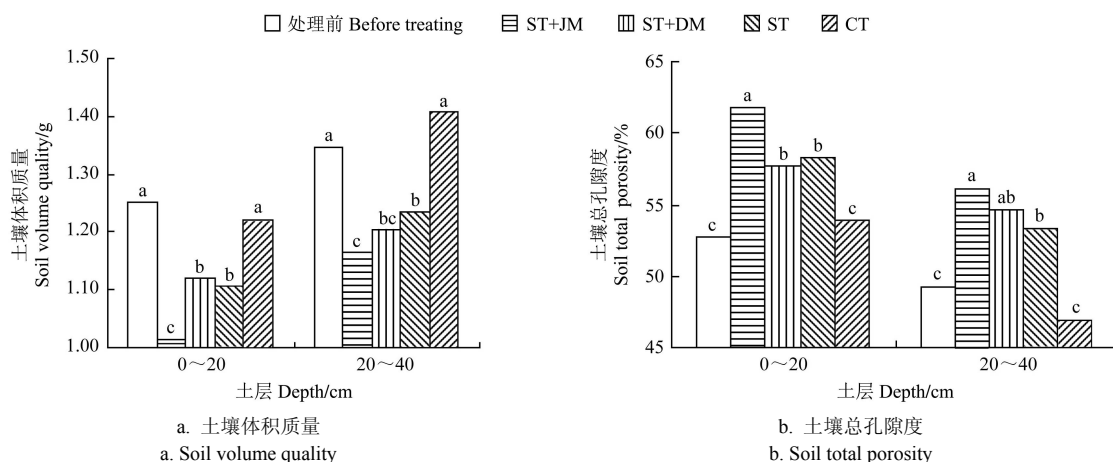
1.4 统计分析

用 EXCEL 2003 制图, 采用 SAS 8.0 分析软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 深松结合不同覆盖方式对土壤体积质量的影响

由图 2a 可知, 2014 年马铃薯收获期覆盖耕作模式下耕层土壤体积质量比处理前(2012 年 10 月初)均明显降低。在 0~20 cm 土层, ST+JM 处理降幅最为显著(18.9%), 而 CT 处理 20~40 cm 土层土壤体积质量较处理前略有提高(4.5%)。ST+JM、ST+DM、ST 处理 0~20 cm 土层土壤体积质量分别较 CT 处理降低 16.9%、8.1%和 9.3%; 20~40 cm 土层, 不同覆盖耕作处理土壤体积质量分别比 CT 处理降低 17.3%、14.6%和 12.2%。可见, 深松覆盖秸秆和深松覆盖地膜处理, 相对于传统耕作, 可有效降低土壤体积质量, 以深松覆盖秸秆处理最为显著。



注: 1、ST+JM 为深松覆盖秸秆处理, ST+DM 为深松覆盖地膜处理, ST 为深松不覆盖处理, CT 为传统耕作处理。2、同一土层, 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

Note: 1. ST+JM: straw mulch with subsoiling; ST+DM: plastic film mulch with subsoiling; ST: no mulch with subsoiling; CT: no mulch with conventional tillage.

2. During the same soil layer, different lowercase letters stand for significance at 5% level, the same below.

图 2 不同处理下 0~40 cm 土壤体积质量和总孔隙度的变化

Fig.2 Change of soil volume quality and total porosity at 0~40 cm depth under different treatments

覆盖耕作处理下土壤孔隙度均比处理前明显增加, 且随土层的加深而减小(图 2b)。ST+JM、ST+DM、ST 处理 0~20 cm 土层土壤孔隙度分别比处理前显著提高 16.9%、9.3%和 10.3%, 而 CT 处理仅比处理前提高 2.2%, 差异未达到显著水平; 20~40 cm 土层, 不同覆盖耕作处理的土壤孔隙度分别比处理前显著提高 14.0%、11.1%、8.5%。ST+JM、ST+DM、ST 处理的 0~40 cm 土层平均土壤孔隙度分别比 CT 处理提高 17.0%、11.7%和 10.9%; 表明深松结合不同覆盖方式进行两年耕作处理后, 能使耕层土壤孔隙状况得到显著改善。

2.2 深松结合不同覆盖方式对耕层土壤团聚体含量的影响

土壤机械稳定性团聚体是原状土壤中的总团聚体含量, 能够反映田间土壤的真实情况, 它的形成是土壤结构形成的重要阶段^[20]。经过 2 年覆盖耕作处理后, 0~20

cm 土层, >5 mm、2~5 mm、0.5~1 mm、<0.25 mm 各粒径土壤机械稳定性团聚体数量相对较高, 而 1~2 mm 和 0.25~0.5 mm 粒径团聚体数量相对比较稳定, 变幅在 6.0%~10.4%之间。>0.25 mm 机械稳定性团聚体数量($DR_{0.25}$) ST+JM、ST+DM、ST 处理分别较传统耕作显著提高 45.0%、28.0%、27.6%, 而<0.25 mm 机械稳定性团聚体数量深松覆盖各处理比传统耕作处理显著降低。20~40 cm 土层, 深松条件下不同覆盖方式 2~5 mm、1~2 mm、0.5~1 mm、0.25~0.5 mm 各粒径土壤机械稳定性团聚体含量均随土层的加深而减小, 而>5 mm 土壤机械稳定性团聚体含量随土层的加深呈增加趋势。ST+JM、ST+DM、ST 处理>0.25 mm 机械稳定性团聚体数量均较传统耕作显著提高 16.3%、6.7 和 6.8%。不同覆盖耕作处理<0.25 mm 机械稳定性团聚体数量比传统耕作处理显著降低, 降幅为 11.0%~27.0%。如表 1 所示。

表 1 不同处理下 0~40 cm 土层土壤团聚体粒径分布 (%)
Table 1 Distribution of soil aggregate size classes under different treatments at 0-40 cm depth

| 土层 Depth | 处理 Treatment | 团聚体粒级 Aggregate size classes/mm | | | | | |
|-------------|-----------------|---------------------------------|---------|-------|--------|----------|--------------------|
| | | >5 | 2~5 | 1~2 | 0.5~1 | 0.25~0.5 | DR _{0.25} |
| 0~20 cm | ST+JM | 22.71a | 18.78a | 9.48a | 16.07a | 7.98a | 75.02a |
| | ST+DM | 21.52a | 11.84b | 7.61a | 16.97a | 8.29a | 66.24b |
| | ST | 20.88a | 12.38ab | 7.94a | 14.36a | 10.44a | 65.99b |
| | CT | 18.04c | 10.08a | 6.24a | 11.83b | 7.18a | 53.37b |
| 20~40 cm | ST+JM | 30.78a | 15.14a | 6.60a | 12.60a | 7.31a | 72.42a |
| | ST+DM | 30.15a | 12.58a | 5.07a | 10.92a | 7.71a | 66.43b |
| | ST | 28.52a | 12.30a | 6.09a | 10.81a | 8.73a | 66.46b |
| | CT | 28.41a | 7.53c | 6.91a | 9.39a | 6.23a | 58.47b |

注: 1. ST+JM为深松覆盖秸秆处理; ST+DM为深松覆盖地膜处理; ST为深松不覆盖; CT为传统耕作处理。2. 同列不同小写字母表示不同处理下差异达显著水平 ($P<0.05$)。下同。

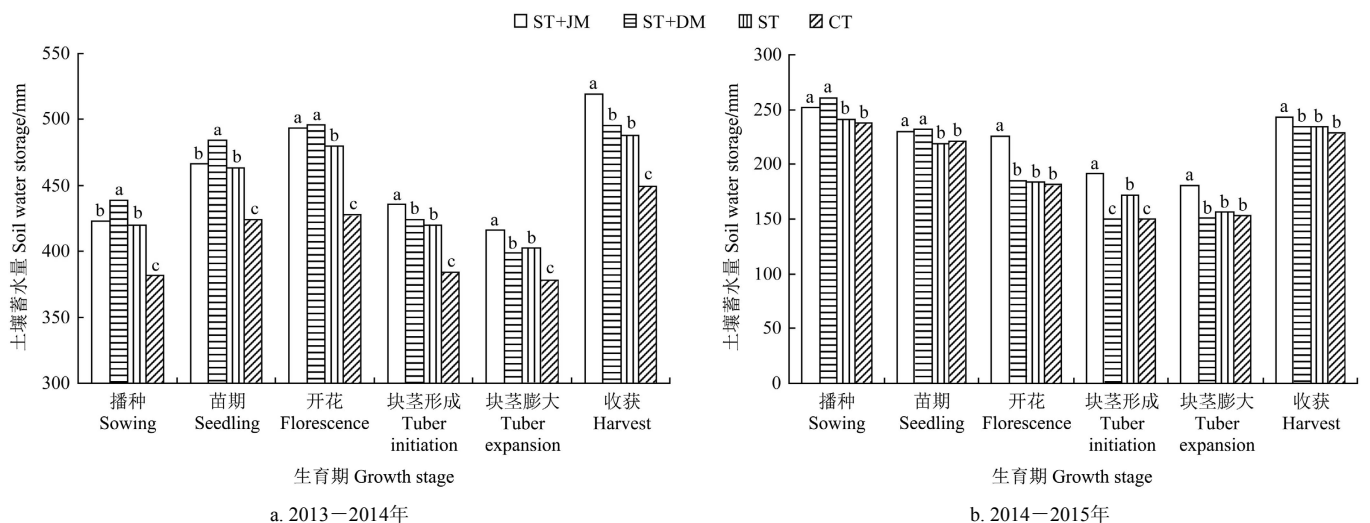
Note: 1. ST+JM: straw mulch with subsoiling; ST+DM: plastic film mulch with subsoiling; ST: no mulch with subsoiling; CT: no mulch with conventional tillage. 2. Different letters indicate significant differences ($P<0.05$) in same line. The same as below.

2.3 深松结合不同覆盖方式对马铃薯生育期土壤水分的影响

试验期间, 不同处理下生育期土壤蓄水效果与休闲期覆盖耕作方式有密切关系。2013—2014 年, 经过冬闲蓄水保墒, 马铃薯播种期深松覆盖各处理下 0~200 cm 土层土壤蓄水量较传统耕作处理增加 9.9%~14.9%, 以深松覆盖地膜处理 (ST+DM) 增幅最为显著 (图 3a)。进入苗期, 降水有所增加, ST+JM、ST+DM 和 ST 处理均能显著提高 0~200 cm 土层土壤蓄水量, 分别较传统耕作处理增加 10.0%、14.3%和 9.4%。7 月中旬至 8 月初, 马铃薯进入需水关键期 (开花期), 大量降水的补充, 各处理土壤水分含量有所增加 (图 3)。不同覆盖耕作处理, 相对于传统耕作能明显提高 0~200 cm 土层土壤蓄水量。ST+JM、ST+DM、ST 处理平均土壤蓄水量较 CT 处理分别提高 15.5%、15.9%和 12.3%。8 月中旬~9 月初, 马铃薯进入块茎形成~膨大期, 耗水增加, 蒸发强烈, 使土壤水分降至最低 (图 3)。ST+JM、ST+DM、ST 处理处理的土壤蓄水量分别较 CT 处理显著增加 11.8%、8.1%和 7.9%。马铃薯收获期, 由于降水的补充使各处理土壤水

分状况明显恢复, 深松结合不同覆盖方式下 0~200 cm 土层土壤水分含量较传统耕作显著提高 8.6%~15.6%, 以 ST+JM 处理的保水效果最为显著。

如图 2b, 2014—2015 年在马铃薯生长前期 (播种到苗期), 深松结合不同覆盖方式下土壤蓄水量均较对照 (传统耕作 CT 处理) 显著增加, 且深松覆盖地膜处理土壤水分的保蓄效果最好, 深松覆盖秸秆处理次之。ST+JM 和 ST+DM 处理 0~200 cm 土层土壤蓄水量分别较 CT 处理提高 4.8%和 7.0%。马铃薯生长中期 (开花到块茎形成期), 各处理土壤水分含量均明显降低。深松覆盖秸秆处理土壤水分含量降幅较小, 深松处理土壤水分含量次之。深松结合不同覆盖方式土壤贮水量, 相对于传统耕作处理均有不同程度的增加, ST+JM、ST+DM 和 ST 处理 0~200 cm 土层土壤蓄水量较 C+B 处理增加 25.8%、1.1%和 7.2%。马铃薯进入生育后期 (块茎膨大期到收获期), 大量降水的补充, 各处理土壤水分含量均明显得到恢复, 深松覆盖秸秆处理下土壤水分含量与对照存在显著差异。块茎膨大期和收获期, ST+JM 处理 0~200 cm 土层土壤蓄水量分别较 CT 处理显著增加 18.0%和 6.0%。



注: 同一时期, 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: During the same stage, different lowercase letters stand for significance at 5% level.

图 3 不同处理下马铃薯生育期 0~200 cm 土壤蓄水量 (mm)

Fig.3 Soil water storage at growing stage of potato with different treatments

2.4 深松结合不同覆盖方式对马铃薯生长的影响

深松覆盖措施能改善马铃薯关键生育期土壤的水分状况，促进马铃薯的生长发育。马铃薯生长前期以深松覆盖地膜处理对作物生长的促进作用最为显著，中后期以深松覆盖秸秆处理效果最佳。2013—2014 年马铃薯关键生育期，深松结合不同覆盖方式下植株株高的变化均呈先升后降的趋势（如表 2）。在马铃薯开花期，深松覆盖各处理均显著高于传统耕作，增幅达 15.5%~33.3%，以 ST+DM 处理株高最高；马铃薯块茎形成至收获期，ST+JM、ST+DM、ST 处理平均植株株高平均较 CT 处理显著提高 12.8%、9.5%和 11.2%。2014~2015 年马铃薯开花至收获期植株株高表现出逐渐增加的趋势，深松覆盖措施下植株株高均显著高于对照处理。在开花期，ST+DM 和 ST+JM 处理植株株高分别较 CT 处理显著提高 20.6%和 18.5%。在块茎形成至收获期，深松覆盖秸秆处理显著高于对照，提高幅度为 10.0%~22.0%。试验期间，马铃薯主茎粗在不同生长阶段呈逐渐减小的趋势，马铃薯收获期主茎粗达到最小（表 2）。在开花期，深松结合覆盖各处理显著高于传统耕作处理 10.6%~17.8%；在块茎形成期，试验期间 ST+JM 处理的马铃薯主茎粗最大，分别较 CT 处理高 13.8%和 20.0%。到收获期，2013—2014

年，ST+JM 和 ST+DM 处理马铃薯主茎粗分别较 CT 处理显著增加 23.2%、18.8%和 11.6%；2014—2015 年分别较 CT 处理显著增加 11.7%和 17.0%。可见，深松覆盖地膜处理能促进马铃薯生长前期植株生长，深松覆盖秸秆处理能促进植株生育中后期生长。

2013—2015 年试验研究期间，不同处理下马铃薯地上部生物量均呈逐渐上升的趋势，在马铃薯收获期达到最大值（表 2）。马铃薯开花期，2013—2014 年 ST+JM、ST+DM、ST 处理较 CT 处理显著提高，增幅为 20.8%、25.5%、13.5%，2014~2015 年分别显著提高 78.0%、107.5%、27.5%；块茎形成期，2013—2014 年 ST+JM、ST+DM、ST 处理分别显著高于 CT 处理 37.1%、36.6%和 34.9%，2014—2015 年分别显著提高 51.1%、41.0%和 33.8%；在马铃薯收获期，与 CT 处理相比，2013—2014 年 ST+JM、ST+DM、ST 处理地上部生物量分别较 CT 处理提高 37.2%、31.1%和 19.8%，2014—2015 年分别显著提高 51.1%、38.8%、19.6%。可见，深松结合不同覆盖方式均能显著提高作物干物质积累，生育前期表现为深松覆盖地膜处理，生育中后期表现为深松覆盖秸秆处理，这为马铃薯块茎的形成与膨大，保存大量的养分，利于马铃薯产量和商品薯率的提高。

表 2 不同处理对马铃薯生长指标的影响

Table 2 Effects of different treatments on growing indexes of potato

| 年份 Year | 处理 Treatment | 开花 Florescence | | | 块茎形成 Tuber expansion | | | 收获 Harvest | | |
|------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|---|--------------------------|---------------------------|---|--------------------------|---------------------------|---|
| | | 株高 Plant height/ cm | 茎粗 Stem diameter/mm | 生物量 Biomass/ (g·plant ⁻¹) | 株高 Plant height/cm | 茎粗 Stem diameter/mm | 生物量 Biomass/ (g·plant ⁻¹) | 株高 Plant height/cm | 茎粗 Stem diameter/mm | 生物量 Biomass/ (g·plant ⁻¹) |
| 2013~2014 | ST+JM | 57.0a | 20.4a | 41.2a | 72.6a | 16.5a | 55.8a | 64.0a | 13.8a | 87.8a |
| | ST+DM | 58.4a | 20.8a | 42.8a | 70.6a | 15.6ab | 55.6a | 62.0a | 13.3a | 83.9a |
| | ST | 50.6b | 19.9b | 38.7b | 74.2a | 14.9b | 54.9a | 61.0a | 12.5b | 76.7b |
| | CT | 43.8c | 18.0c | 34.1c | 67.8b | 14.5b | 40.7b | 54.0b | 11.2c | 64c |
| 2014~2015 | ST+JM | 37.8a | 23.3a | 35.6a | 48.0a | 11.2a | 85.8a | 52.7a | 11.0a | 160.0a |
| | ST+DM | 39.3a | 24.0a | 41.5a | 46.1ab | 10.8ab | 80.1ab | 51.0a | 10.5a | 147.0b |
| | ST | 31.0b | 21.9b | 25.5b | 43.0b | 10.3b | 76.0b | 48.7b | 9.9b | 126.7c |
| | CT | 31.3b | 21.0b | 20.0b | 43.2b | 9.4c | 56.8c | 46.2b | 9.4b | 105.9d |

2.5 深松结合不同覆盖方式对马铃薯产量及水分利用效率的影响

表 3 是两年研究期间不同处理下马铃薯产量性状及其商品薯率，深松结合不同覆盖方式能明显提高马铃薯的产量和商品薯率。2013—2014 年大薯数 ST+DM、ST 处理均显著高于 CT 处理，中薯数 ST+JM 处理显著高于其他各处理，小薯数不同处理间差异较大：ST+DM>ST+JM>CT>ST。2014—2015 年深松覆盖模式下大、中薯产量均显著高于对照处理，其中大薯产量以 ST+JM 和 ST+DM 最为显著，分别较 CT 处理提高 76.6 和 28.1%；中薯产量以 ST+DM 和 ST 最为显著，分别较 CT 处理提高 32.9%和 58.2%；马铃薯总产量 ST+JM、ST+DM、ST 处理均显著高于 CT 处理，增产率分别为 31.8%、20.9%和 10.5%，马铃薯商品薯率分别较 CT 处理提高 21.2%、10.9 和 12.5%。2014—2015 年，马铃薯增产效果以 ST+JM 和 ST+DM 处理最为显著，分别较对照增产 42.8%、19.6%，商品薯率分别比对照提高 13.6%、8.0%。可见，深松覆盖

秸秆处理的马铃薯总产量和商品薯率最高，两年分别传统耕作处理增产 31.8%和 42.8%，马铃薯商品薯率分别显著提高 21.2%和 13.6%。

由表 4 可知，深松覆盖秸秆能够改善土壤水分状况，降低作物耗水量，显著提高作物的水分利用效率。2013—2014 年，ST+JM 处理作物耗水量较 CT 处理显著降低 5.9%。深松结合不同覆盖方式下马铃薯水分利用效率均显著高于传统耕作，其作物水分利用效率高低顺序依次表现为 ST+JM>ST+DM>ST>CT。ST+JM、ST+DM、ST 处理的作物水分利用效率较 CT 处理显著提高 39.9%、18.2%和 10.5%，其中以深松覆盖秸秆处理的作物水分利用效率增量最大。2014—2015 年，除免耕不覆盖处理外，深松覆盖秸秆措施下马铃薯水分利用效率显著高于传统耕作处理，其作物水分利用效率提高幅度高低顺序依次表现为 ST+JM>ST+DM>ST>CT。ST+JM、ST+DM 处理的作物水分利用效率分别较 CT 处理显著提高 42.5%、13.0%。

表 3 不同处理对马铃薯产量性状的影响
Table 3 Effects of different treatments on yield characters of potato

| 年份 Year | 处理 Treatments | 总产量 Total Yield/ (kg·hm ⁻²) | 总薯数 Total tuber numbe/ (No·hm ⁻²) | 大薯 Big tuber | | 中薯 Middle tuber | | 小薯 Small tuber | | 商品薯率 Commodity Rate/% |
|------------|------------------|--|--|---|--|---|--|---|--|-----------------------------|
| | | | | 薯数 Tuber number/ (No·hm ⁻²) | 产量 Yield/ (kg·hm ⁻²) | 薯数 Tuber number/ (No·hm ⁻²) | 产量 Yield/ (kg·hm ⁻²) | 薯数 Tuber number/ (No·hm ⁻²) | 产量 Yield/ (kg·hm ⁻²) | |
| 2013~2014 | ST+JM | 25 476.2a | 268 005a | 15 720c | 11 820.0b | 131 970a | 11 808.3a | 120 315a | 1 848.0c | 92.75a |
| | ST+DM | 23 369.9b | 249 000b | 35 070a | 12 311.4b | 93 075b | 8 613.3b | 120 855a | 2 445.3b | 84.86b |
| | ST | 21 351.3c | 215 415c | 32 040b | 14 161.6a | 86 130b | 5 397.3c | 97 245c | 1 792.5c | 86.13ab |
| | CT | 19 327.4d | 211 155c | 15 285c | 4 257.9c | 87 525b | 10 592.3a | 108 360b | 4 327.4a | 76.52c |
| 2014~2015 | ST+JM | 38 305.6a | 313 056b | 159 444a | 31 388.9a | 67 222c | 4 555.6c | 86 389c | 2 361.1d | 93.84a |
| | ST+DM | 32 083.3b | 369 444a | 132 500ab | 22 777.8b | 93 056ab | 5 833.3b | 143 889a | 3 472.2b | 89.18b |
| | ST | 26 944.4c | 334 722b | 113 056b | 17 500.0c | 106 389a | 6 944.4ab | 115 278b | 2 500.0c | 90.72b |
| | CT | 26 833.3c | 328 611b | 128 889b | 17 777.8c | 67 500c | 4 388.9c | 132 222a | 4 666.7a | 82.61c |

表 4 不同处理对马铃薯田水分利用效率的影响
Table 4 Effects of different treatments on water use efficiency (WUE) of potato field

| 年份 Year | 处理 Treatments | 播前土壤贮水量 Water storage before sowing/mm | 收获期土壤贮水量 Water storage in harvest stage/mm | 作物耗水量 Water consumption/ mm | 水分利用效率 WUE/ (kg·(hm ⁻² ·mm ⁻¹)) | 水分利用效率增量 WUE increment/% |
|------------|------------------|--|--|-----------------------------------|--|-----------------------------|
| 2013~2014 | ST+JM | 423.1b | 519.4a | 468.2b | 54.4a | 39.9 |
| | ST+DM | 439.6a | 495.2b | 508.4a | 46.0b | 18.2 |
| | ST | 420.4b | 487.7b | 496.9a | 43.0b | 10.5 |
| | CT | 382.2c | 449.2c | 497.4a | 38.9c | / |
| 2014~2015 | ST+JM | 252.2a | 242.6a | 293.0b | 130.7ab | 42.5 |
| | ST+DM | 260.2a | 234.0b | 309.6a | 103.6c | 13.0 |
| | ST | 240.7b | 234.6ab | 289.5b | 93.1d | 1.5 |
| | CT | 238.1b | 229.0b | 292.5b | 91.7d | / |

3 讨 论

深松蓄水保墒的功能与深松条件下土壤体积质量的减少密切相关^[21]。黄明等^[22]的研究表明深松覆盖能显著降低土壤体积质量,有效打破耕作犁底层,增加土壤蓄水能力。本研究结果表明,深松结合不同覆盖方式,相对于传统耕作,可有效降低土壤体积质量,改善耕层土壤孔隙状况。这主要由于覆盖减少了人畜践踏和雨滴对地表的直接冲击,同时深松破除了犁底层,改善土壤的渗透和通气性能^[23]。Puget 等^[24]和 Yoder^[25]认为,大团聚体的形成是微团聚体在有机碳作用下相互胶结而成,耕作方式和土地利用方式可影响微团聚体与大团聚体之间的相互转化和土壤结构的稳定性。本试验结果表明,深松结合不同覆盖方式,与传统耕作相比,使 0~20 cm 和 20~40 cm 土层 >0.25 mm 机械稳定性团聚体数量显著增加。而深松结合不同覆盖方式下 <0.25 mm 机械稳定性团聚体数量较传统耕作显著降低。这是由于深松结合不同覆盖方式能最大限度地减少对土层的扰动^[26],而传统耕作频繁翻耕,致使土壤有机碳迅速矿化,不利于微团聚体向大团聚体转化^[27]。

秸秆覆盖和深松能增加土壤通透性,减少径流的产生次数和径流量,从而增加土壤含水量^[28]。何进^[29]等研究指出,玉米深松覆盖和免耕覆盖的土壤含水率分别比传统耕作高 7.8% 和 6.5%。本研究结果表明,深松结合不同覆盖方式,相对于传统耕作,能保蓄马铃薯生育期土壤水分,深松覆盖地膜处理能改善马铃薯生长前期的土壤水分状况,而深松覆盖秸秆处理在作物生育后期对土

壤水分的保蓄效果明显。这是由于地面的覆盖物使雨水入渗时间延长,而深松能打破了犁底层,使自然降雨下渗较深,其蓄水效果大为增强^[30]。同时,作物生长前期降水较少,地膜覆盖能保持较好的土壤底墒,而在后期随着降雨量的增加,地面秸秆覆盖,能增加雨水入渗,减少地表蒸发,从而提高土壤的水分含量^[31]。

黄明等^[30]和吴金枝等^[32]研究结果表明,深松覆盖能在一定程度上改善小麦产量构成因素,有利于小麦开花后干物质的积累与转运,从而显著提高小麦产量。付国占等^[33-34]研究发现,残茬就地覆盖结合深松对玉米生长发育具有良好效果,可明显增加玉米干物质的积累量和向子粒的分配比例,最终产量显著高于翻耕不覆盖处理。本研究结果表明,深松结合不同覆盖方式能促进马铃薯的生长发育,地膜覆盖的促进作用主要表现在作物生育前期,而深松秸秆覆盖对作物生长的促进作用主要表现在生育中后期。这是由于深松覆盖能为作物生长提供有利的土壤水温条件,提高了生育后期的物质积累以及籽粒产量^[35],而作物秸秆覆盖由于后期的保墒作用,对作物的生长发育和产量的形成有显著的促进效应^[36]。

覆盖和深松相结合的保护性耕作技术,可有效起到蓄水保墒、减少水分无效消耗,提高作物产量和水分利用率的作用^[37-38]。吴金芝等^[33]研究表明,深松覆盖具有提高水分利用效率的作用,与传统耕作相比,水分利用效率能显著提高 10.3%。本研究结果表明,深松结合覆盖能够显著改善土壤水分状况,提高作物的产量和水分利用效率,以深松覆盖秸秆处理水分利用效率最高。主要原因在于深松覆盖秸秆能增加土壤水分入渗,增强对土

壤的蓄水能力, 促进作物根系对土壤水分的吸收利用, 提高水分的利用效率, 这与李俊红等^[12]研究结果一致。本研究在宁南山区丰水年和平水年两年试验结果表明, 深松覆盖秸秆措施具有良好的蓄水保墒效果, 对马铃薯增产和水分利用效率提高效果显著。但在缺水年深松覆盖秸秆处理能否会起到增产和提高水分利用效率的效果, 还有待于进一步的研究。

4 结 论

1) 与传统耕作相比, 深松覆盖地膜和深松覆盖秸秆均可有效降低耕层土壤体积质量, 增大土壤孔隙度, 以深松覆盖秸秆处理效果最佳。与传统耕作相比, 深松结合不同覆盖方式, 可使 0~20 cm 和 20~40 cm 土层 >0.25 mm 机械稳定性团聚体数量显著增加。深松覆盖地膜对作物生长前期 0~200 cm 土层土壤水分保蓄效果较好, 深松覆盖秸秆对作物生长中后期土壤水分的改善作用最佳。

2) 深松结合不同地表覆盖方式对马铃薯的生长有显著地促进作用, 其植株株高、茎粗及地上部生物量均显著高于传统耕作。作物生育前期以深松覆地膜处理效果最佳, 中后期以深松覆秸秆处理促进作用明显。深松结合不同地表覆盖方式均能提高马铃薯的产量和水分利用效率, 深松覆秸秆处理的马铃薯产量、商品薯率和水分利用效率最高。

[参 考 文 献]

- [1] Six J, Elliott T, Paustian K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(5): 1350—1358.
- [2] Bayer C, Mieleniczuk J, Amado T J C, et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil[J]. Soil and Tillage Research, 2000, 54(1): 101—109.
- [3] Blanco-Canqui H, Lal R. Soil structure and organic carbon relationships following 10 years of wheat straw management in no-till[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 95(1-2): 240—254.
- [4] Camara K M, Payne W A, Rasmussen P E. Long-term effects of tillage, nitrogen, and rainfall on winter wheat yields in the Pacific Northwest[J]. Agronomy Journal, 2003, 95: 828—835.
- [5] 孙国峰, 陈阜, 肖小平, 等. 轮耕对土壤物理性状及水稻产量影响的初步研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 109—113.
Sun Guofeng, Chen Fu, Xiao Xiaoping, et al. Preliminary study on effects of rotational tillage on soil physical properties and rice yield[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(12): 109—113. (in Chinese with English abstract)
- [6] 孟庆秋, 谢佳贵, 胡会军, 等. 土壤深松对玉米产量及其构成因素的影响[J]. 吉林农业科学, 2000, 25(2): 25—28.
Meng Qingqiu, Xie Jiagui, Hu Huijun, et al. Effect of deep tillage of soil to maize yield and its component factors[J]. Jilin Agricultural Sciences, 2000, 25(2): 25—28. (in Chinese with English abstract)
- [7] 付增光, 杜世平, 廖允成. 渭北旱地小麦留茬深松膜侧沟播耕作技术体系研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(2): 12—16.
Fu Zengguang, Du Shiping, Liao Yuncheng. Studies on tillage system of stubble mulching and subsoiling and furrow sowing on side of film mulch for dryland winter wheat in Weibei Plateau[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(2): 12—16. (in Chinese with English abstract)
- [8] 蔡太义, 贾志宽, 黄耀威, 等. 不同秸秆覆盖量对春玉米田蓄水保墒及节水效益的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(S1): 238—243.
Cai Taiyi, Jia Zhikuan, Meng Lei, et al. Effects of different rates of straw mulch on soil moisture and yield of spring maize in Weibei Highland area of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(3): 43—48. (in Chinese with English abstract)
- [9] 杨海迪, 海江波, 贾志宽, 等. 不同地膜周年覆盖对冬小麦土壤水分及利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 27—34.
Yang Haidi, Hai Jiangbo, Jia Zhikuan, et al. Effect of different plastic-film mulching in the whole growth period on soil moisture and water use efficiency of winter wheat[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2011, 29(2): 27—34. (in Chinese with English abstract)
- [10] Mohanty M, Bandyopadhyay K K, Painuli D K, et al. Water transmission characteristics of a vertisol and water use efficiency of rainfed soybean under subsoiling and manuring[J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(2): 420—428.
- [11] 刘爽, 何文清, 严昌荣, 等. 不同耕作措施对旱地农田土壤物理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 65—70.
Liu Shuang, He Wenqing, Yan Changrong, et al. Effects of different tillage managements on soil physical properties in dryland[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2010, 28(2): 65—70. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李俊红, 姚宇卿, 吕军杰, 等. 双深松覆盖对丘陵旱区土壤水分和作物产量的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42(11): 17—20.
Li Junhong, Yao Yuqing, Lv Junjie, et al. Effect of double-subsoiling cover on soil water and crop yield in hilly arid area[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2013, 42(11): 17—20. (in Chinese with English abstract)
- [13] 王昕, 贾志宽, 韩清芳, 等. 半干旱区秸秆覆盖量对土壤水分保蓄及作物水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4): 196—202.
Wang Xin, Jia Zhikuan, Han Qingfang, et al. Effects of different straw mulching quantity on soil water and WUE in semiarid region[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(4): 196—202. (in Chinese with English abstract)
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第3版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 30—58.
- [15] Kemper W D, Rosenau R C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods[M]. ASA-SSSA, Madison, WI, 1986: 425—442.
- [16] 李儒, 崔荣美, 贾志宽, 等. 不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2011,

- 44(16): 3312—3322.
- Li Ru, Cui Rongmei, Jia Zhikuan, et al. Effects of different furrow-ridge mulching ways on soil moisture and water use efficiency of winter wheat[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(16): 3312—3322. (in Chinese with English abstract)
- [17] Wang Y J, Xie Z K, Malhi S S, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China[J]. *Agricultural Water Management*, 2009, 96(3): 374—382.
- [18] Hussain G, Al-Jaloud A A. Effect of irrigation and nitrogen on water use efficiency of wheat in Saudi Arabia[J]. *Agricultural Water Management*, 1995, 27(2): 143—153.
- [19] 谢奎忠, 杨楼, 陆立银, 等. 氮磷钾肥施用量对庄薯 3 号商品薯率的影响[J]. *长江蔬菜*, 2010, (10): 52—55.
- Xie Kuizhong, Yang Lou, Lu Liyin, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium application Rate on commodity potato rate of zhuangshu No.3[J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2010, (10): 52—55. (in Chinese with English abstract)
- [20] 杨如萍, 郭贤仕, 吕军峰, 等. 不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(1): 252—256.
- Yang Ruping, Guo Xianshi, Lv Junfeng, et al. Affects of distribution and stability on soil aggregate in different patterns of tillage and cropping[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(1): 252—256. (in Chinese with English abstract)
- [21] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 等. 两年免耕后深松对土壤水分的影响[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(1): 78—85.
- Qin Hongling, Gao Wangsheng, Ma Yuecun, et al. Effects of subsoiling on soil moisture under no-tillage 2 years later[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(1): 78—85. (in Chinese with English abstract)
- [22] 黄明, 李友军, 吴金芝, 等. 深松覆盖对土壤性状及冬小麦产量的影响[J]. *河南科技大学学报 (自然科学版)*, 2006, 27(2): 74—77.
- Huang Ming, Li Youjun, Wu Jinzhi, et al. Effects of subsoiling and mulch tillage on soil properties and grain yield of winter wheat[J]. *Journal of Henan University of Science & Technology (Natural Science)*, 2006, 27(2): 74—77. (in Chinese with English abstract)
- [23] 付国占, 李潮海, 王俊忠, 等. 残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报* 2005, 21(1): 52—56.
- Fu Guozhan, Li Chaohai, Wang Junzhong, et al. Effects of stubble mulch and tillage managements on soil physical properties and water use efficiency of summer maize[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2005, 21(1): 52—56. (in Chinese with English abstract)
- [24] Puget P, Chenu C, Balesdent J. Dynamic of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregate[J]. *European Journal of Soil Science*, 2000, 51(4): 595—605.
- [25] Yoder R E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses[J]. *Journal of the American Society of Agronomy*, 1936, 28(5): 337—351.
- [26] 王育红, 蔡典雄, 姚宇卿, 等. 豫西旱坡地长期定位保护性耕作研究— I. 连年免耕和深松覆盖对冬小麦生育及产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(5): 47—51.
- Wang Yuhong, Cai Dianxiong, Yao Yuqing, et al. Study on long-term site-specific conservation tillage on sloping dryland in the western part of Henan— I. Effects of No-till and subsoiling with mulching on growth characteristics and yield of winter wheat[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2009, 27(5): 47—51. (in Chinese with English abstract)
- [27] 范如芹, 梁爱珍, 杨学明, 等. 耕作方式对黑土团聚体含量及特征的影响[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(18): 3767—3775.
- Fan Ruqin, Liang Aizhen, Yang Xueming, et al. Effects of tillage on soil aggregates in black soils in northeast China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(18): 3767—3775. (in Chinese with English abstract)
- [28] 郭书亚. 秸秆覆盖深松对土壤肥力及夏玉米生育和产量的影响[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2011.
- Guo Shuya. Effects of Straw Mulching and Subsoiling on Soil Fertility, Groth and Grain Yield of Summer Maize[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [29] 何进, 李洪文, 高焕文. 中国北方保护性耕作条件下深松效应与经济效益研究[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(10): 62—67.
- He Jin, Li Hongwen, Gao Huanwen. Subsoiling effect and economic benefit under conservation tillage mode in Northern China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2006, 22(10): 62—67. (in Chinese with English abstract)
- [30] 黄明, 吴金芝, 李友军, 等. 不同耕作方式对旱作区冬小麦生产和产量的影响[J]. *农业工程学报* 2009, 25(1): 50—54.
- Huang Ming, Wu Jinzhi, Li Youjun, et al. Effects of different tillage management on production and yield of winter wheat in dryland[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(1): 50—54. (in Chinese with English abstract)
- [31] 黄明, 吴金芝, 李友军, 等. 不同耕作方式对旱作冬小麦旗叶衰老和籽粒产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(6): 1355—1361.
- Huang Ming, Wu Jinzhi, Li Youjun, et al. Effects of tillage pattern on the flag leaf senescence and grain yield of winter wheat under dry farming[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(6): 1355—1361. (in Chinese with English abstract)
- [32] 吴金芝, 黄明, 李友军, 等. 不同耕作方式对冬小麦光合作用产量和水分利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(5): 17—21.
- Wu Jinzhi, Huang Ming, Li Youjun, et al. Effects of different tillage systems on the photosynthesis functions, grain yield and WUE in winter wheat[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(5): 17—21. (in Chinese with English abstract)
- [33] 付国占, 王俊忠, 李潮海, 等. 华北残茬覆盖不同土壤耕作方式夏玉米生长分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(4): 12—15, 21.
- Fu Guozhan, Wang Junzhong, Li Chaohai, et al. Analysis of growth of summer maize with stubble mulch and different tillage methods in North China[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(4): 12—15, 21. (in Chinese with English abstract)
- [34] 付国占, 李潮海, 王俊忠, 等. 残茬覆盖与耕作方式对夏玉米光合产物生产与分配的影响[J]. *华北农学报*, 2005,

- 20(3): 62—66.
- Fu Guozhan, Li Chaohai, Wang Junzhong, et al. Effects of stubble mulch and tillage management on assimilating production and distribution in summer maize[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2005, 20(3): 62—66. (in Chinese with English abstract)
- [35] 李静静, 李从锋, 李连禄, 等. 苗带深松条件下秸秆覆盖对春玉米土壤水温及产量的影响[J]. *作物学报*, 2014, 40(10): 1787—1796.
- Li Jingjing, Li Congfeng, Li Lianlu, et al. Effect of straw mulching on soil temperature, soil moisture and spring maize yield under seedling strip subsoiling. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(10): 1787—1796. (in Chinese with English abstract)
- [36] Sharma A R, Singh R, Dhyani S K, et al. Moisture conservation and nitrogen recycling through legume mulching in rain-fed maize (*Zea mays*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2010, 87(2): 187—197.
- [37] 赵树智. 机械化保护性耕作技术的研究[J]. *山西农业大学学报 (自然科学版)*, 2004, 24(3): 270—272.
- Zhao Shuzhi. Research on technology of mechanized protective cultivation. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2004, 24 (3): 270—272. (in Chinese with English abstract)
- [38] 姚宇卿, 吕军杰, 张洁, 等. 深松覆盖对旱地冬小麦产量和水分利用率的影响[J]. *河南农业科学*, 2012, 41(4): 20—24.
- Yao Yuqing, Lv Junjie, Zhang Jie, et al. Effects on winter wheat yield and water using efficiency on dryland under long-term subsoiling and mulch tillage. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2012, 41(4): 20—24. (in Chinese with English abstract)

Effects of different ground surface mulch under subsoiling on potato yield and water use efficiency

Li Rong, Hou Xianqing*

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Water deficiency is the main limiting factor for crop growth in dry-farming areas. Many studies and practices have demonstrated that, mulching tillage can improve the soil microclimate, and significantly increase the yield and water use efficiency of crops. In order to explore the effects of different ground surface methods combined with subsoiling tillage on soil physical characteristics, potato growth, yield and water use efficiency, field fixed position experiment was conducted to study the effect of mulching tillage on soil volume quality, aggregate, water, potato yield and water use efficiency in arid areas of southern Ningxia between 2013 and 2015. The field experiment consisted of the following 4 treatments: straw mulch with subsoiling tillage (ST+JM), plastic film mulch with subsoiling tillage (ST+DM), no mulch with subsoiling tillage (ST), and no mulch with conventional tillage (CT). The no mulch with conventional tillage was used as the control. Our study results showed that, the soil volume quality of the 0—40 cm soil layer under subsoiling combined with mulch was effectively decreased compared with conventional tillage, while the soil total porosity was greatly improved, and especially the straw mulch with subsoiling treatment was the best. During the study, the mean soil volume quality (0—40 cm) under straw mulch with subsoiling treatment was significantly ($P<0.05$) decreased by 17.1% when compared with the conventional tillage treatment. Our study found that, the subsoiling with ground surface mulch produced significantly higher amounts of >0.25 mm elastic-stable macroaggregates in the 0—40 cm soil layer compared with conventional tillage. The amounts of >0.25 mm aggregates (0—40 cm) under straw mulch with subsoiling and plastic film mulch with subsoiling treatments were significantly ($P<0.05$) increased by 30.7% and 17.4% respectively compared with the conventional tillage treatment. Subsoiling combined with ground surface mulch greatly improved soil water storage in the 0—200 cm soil layer during the growing stage of potato. The straw mulch with subsoiling and plastic film mulch with subsoiling treatments had the best effect on water conservation; the soil water storage in the 0—200 cm soil layer under the plastic film mulch with subsoiling treatment was significantly higher than the conventional tillage treatment at the early stage of potato, while the straw mulch with subsoiling treatment could significantly improve the soil water content (0—200 cm) in the later growth period. The application of mulching tillage significantly promoted the growth of potato, and the plant height, stem diameter and aboveground biomass of potato under the different ground surface mulching methods with subsoiling were significantly higher than the conventional tillage treatment. The plastic film mulch with subsoiling treatment significantly promoted the growth of potato in the early stage, and the straw mulch with subsoiling treatment significantly promoted the growth of potato in the later growth period. Higher yield and water use efficiency improvement were also achieved under different ground surface mulching methods with subsoiling. The potato yield, commodity rate and water use efficiency under the straw mulch with subsoiling treatment were significantly ($P<0.05$) increased by 37.3%, 93.3% and 41.2%, respectively, when compared with the conventional tillage treatment. For the plot experiments in 2 years, the ground surface mulch with subsoiling measure can not only effectively decrease soil volume quality, but also significantly improve soil structure, and shows the better soil water conservation ability, therefore promoting the growth of potato; and the straw mulch with subsoiling treatment significantly increases potato yield and water use efficiency in the arid areas of southern Ningxia.

Key words: soil; yield; water; ground surface mulch under subsoiling; soil water storage; potato yield; water use efficiency