

黄土高原旱地不同保护性耕作措施 对马铃薯田土壤水温效应及产量的影响

赵天武, 黄高宝, 轩春香, 谢军红, 练宏斌

(甘肃农业大学农学院, 甘肃, 兰州 730070)

摘要: 设计实施了黄土高原西部旱农区马铃薯传统耕作(T)和五种保护性耕作措施: 垄上覆膜沟内覆草摆种(PDSS)、垄上覆膜沟内覆草浅播(PDSSH)、垄上覆草摆种(RSS)、平作覆草摆种(FSS)和垄上不覆膜沟内覆草摆种(DSS)的大田对比试验, 对不同耕作措施下各层次土壤水分、地温及产量进行了研究。结果表明: 马铃薯免耕秸秆覆盖能明显改善 0~80 cm 土壤贮水量, 特别是对 0~30 cm 土壤贮水量的影响尤为突出; 与传统耕种相比, 免耕秸秆覆盖可以降低各个土壤测定层的日均积温($\geq 0^{\circ}\text{C}$), 并能在晴天 14:00 时有效降低结薯层的温度, 结薯层的温度 FSS 为 27~29 $^{\circ}\text{C}$, PDSSH 为 21~28.5 $^{\circ}\text{C}$, 较传统耕种的 27~32 $^{\circ}\text{C}$ 略低, 降低了高温对马铃薯生长的不利影响; 免耕秸秆覆盖除 RSS 外, 出苗率和产量均高于传统耕种, 且 FSS 的产量最高, 达 27 468.3 kg/hm², 较传统耕种增产 30.05%。

关键词: 马铃薯; 保护性耕作; 摆种; 免耕覆草; 黄土高原

中图分类号: S532.061 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)01-0101-06

近年来, 随着水土资源退化的日益加剧和作物生产力水平的日益低下, 人们对保护水土资源的认识也逐渐深入, 保护性耕作得到广泛认同, 并在实践中普遍应用^[1~3]。但对以收获地下器官为目的的作物如何实施保护性耕作尚缺乏研究与应用。黄土高原地势较高, 气候温和, 土层深厚, 物候条件与马铃薯原产地南美安第斯山区相似, 非常适宜马铃薯的生长发育, 是全国马铃薯主产区之一。地处黄土高原的晋、陕、甘、宁四省(区) 马铃薯播种面积 86 万多 hm², 占全国的 1/4, 总产量约 730 万 t(鲜薯), 占全国总产 4 573.3 万 t 的 16.0%^[4]。而且, 马铃薯是甘肃三大作物之一, 在全省 14 个市(州、地) 均有种植, 普及率达 95% 以上, 特别是在定西地区, 占定西粮食播种面积的 60%, 面积与产量均占甘肃全省的一半。因此, 设置在定西的本试验比较了传统耕作措施和 5 种不同保护性耕作方式下土壤贮水量、土壤积温的变化及对产量的影响, 以期对黄土高原地区马铃薯保护性耕作技术体系提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试区概况

试验于 2007 年在甘肃农业大学定西旱农综合试验站实施。该区属中温带偏旱区, 平均海拔 2 000

m, 年均太阳辐射 141.6 kcal/cm², 年日照时数 2 476.6 h, 年均温 6.4 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 2 239.1 $^{\circ}\text{C}$, 年降雨量 390.9 mm, 年蒸发量 1531 mm, 干燥度 2.53, 80% 保证率的降水量为 365 mm, 变异系数为 24.3%, 为黄土高原西部典型的半干旱雨养农业区。2007 年各月降雨量和气温见图 1。土壤为典型的黄绵土, 土质绵软, 土层深厚, 质地均匀, 贮水性能良好; 0~200 cm 土壤容重平均为 1.17 g/cm³^[5]。试验田前作为豌豆。

1.2 试验材料

陇薯 3 号(脱毒一级种), 覆盖物为小麦秸秆。

1.3 试验设计

试验共设 6 个处理(表 1), 3 次重复, 小区面积为 27 m²。

1.4 栽培及田间管理

播前选择无病虫害、无冻害、表皮光滑新鲜、30 g 以上的块茎做种薯, 对于薯块大的将其切成 30~40 g 大小即可。以 PDSS 为例: 在播种前 1 个月将试验田南北向划线开沟起垄, 垄上覆盖地膜 31.87 kg/hm², 秸秆以 24 123 kg/hm² (FSS 为 34 462 kg/hm²) 的量分两次进行覆盖。首次在播种前 1 个月覆盖秸秆, 厚度为 8~10 cm, 第二次待齐苗后再盖上 5 cm 厚的秸秆。播种: 2007 年 5 月 7 日以

收稿日期: 2008-05-07

基金项目: 科技部科技支撑计划项目“黄土高原丘陵沟壑区保护性耕作技术集成研究与示范”(2006BAD15B06)

作者简介: 赵天武(1983-), 男, 甘肃金昌人, 在读硕士, 研究方向为旱地与绿洲农作制。E-mail: xzz81@163.com。

通讯作者: 黄高宝(1965-), 男, 甘肃天水人, 教授, 博士生导师, 主要从事多熟种植、保护性农业、节水农业等的教学研究。E-mail: huanggh@gsau.edu.cn。

52 500 株/hm² 的密度播种, 将秸秆掀起沟内按“品”字形摆种, 株间距 37.5 cm, 行间距 30 cm, 在距种薯 6 cm 处环施马铃薯专用复合肥撒可富 750 kg/hm², 盖好秸秆并在上面撒上湿土, 以防大风将秸秆吹走, 免耕各处理生育期间均不进行中耕除草、

追肥。传统耕作(T)将种薯播于 10~15 cm 深的土壤中, 需进行中耕除草, 不追肥; PDSSH 处理将种薯播于 5 cm 深的土壤中; RSS 处理是将 PDSS 处理的沟垄倒置, 在垄上进行 PDSS 处理的种植方式。收获时, 各小区分别收获计产。

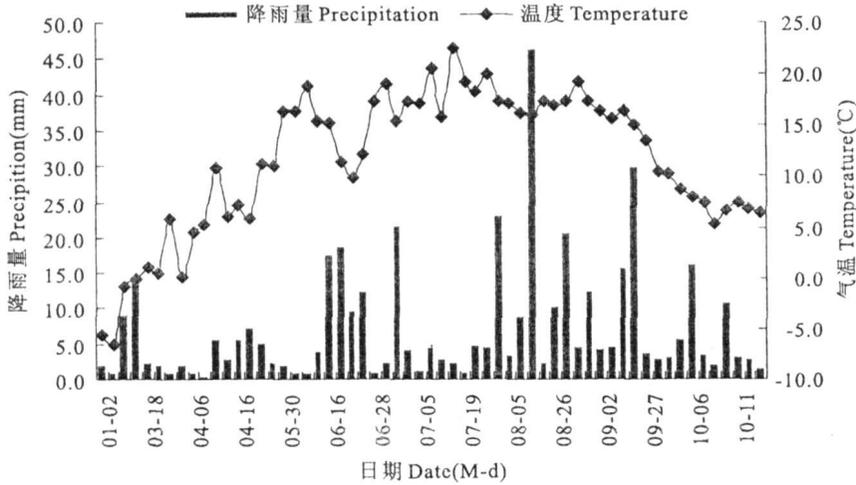


图 1 2007 年降雨和气温情况

Fig. 1 The distribution of precipitation and air temperature (2007)

表 1 试验描述

Table 1 Treatments description

处理 Treatments	操作方法 Description
传统耕作(T)	作物收获后至冻结前三耕两耧, 将马铃薯播种于 10~15 cm 的土壤中。 The land was ploughed three times and smoothed twice during the period from harvest of previous crop to freezing, and then potato was sowed in 10~20 cm soil layer.
垄上覆膜沟内覆草摆种(PDSSH)	前作收获后免耕, 2007 年 4 月 3 日开沟起垄, 垄底宽 30 cm, 沟宽 70 cm, 垄高 15 cm, 垄上覆盖地膜, 沟内覆盖秸秆, 摆种马铃薯。 No tillage after the harvest of previous crop, 70 cm-wide ditches and 14 cm-high ridges, with the bottom width of 30 cm, were made on April 3, 2007, with the ditches being mulched with stubble and ridges with plastic film, and then potato was sowed on surface in the ditches.
垄上覆膜沟内覆草浅播(PDSSH)	前作收获后免耕, 2007 年 4 月 3 日开沟起垄, 垄底宽 30 cm, 沟宽 70 cm, 垄高 15 cm, 垄上覆盖地膜, 沟内覆盖秸秆, 5 cm 浅播种马铃薯。 No tillage after the harvest of previous crop, 70 cm-wide ditches and 14 cm-high ridges, with the bottom width of 30 cm, were made on April 3, 2007, with the ditches being mulched with stubble and ridges with plastic film, and then potato was sowed in 5 cm layer in the ditches.
垄上覆草摆种(RSS)	前作收获后免耕, 2007 年 4 月 3 日开沟起垄, 垄面宽 70 cm, 沟宽 30 cm, 垄高 15 cm, 垄上覆盖秸秆, 摆种马铃薯。 No tillage after the harvest of previous crop, 70 cm-wide ditches and 14 cm-high ridges, with the bottom width of 30 cm, were made on April 3, 2007, with the ditches being mulched with stubble and ridges with plastic film, and then potato was sowed on surface on the ridges.
平作覆草摆种(FSS)	前作收获后免耕, 直接覆盖秸秆, 摆种马铃薯。 No tillage after the harvest of previous crop, the land was mulched with stubble and potato was sowed on surface.
垄上不覆膜沟内覆草摆种(DSS)	前作收获后免耕, 2007 年 4 月 3 日开沟起垄, 垄底宽 30 cm, 沟宽 70 cm, 垄高 15 cm, 垄上不覆盖地膜, 沟内覆盖秸秆, 摆种马铃薯。 No tillage after the harvest of previous crop, 70 cm-wide ditches and 14 cm-high ridges, with the bottom width of 30 cm, were made on April 3, 2007, with the ditches being mulched with stubble, and then potato was sowed on surface in the ditches.

1.5 土壤水分的测定

分别在出苗期、齐苗期、现蕾期、盛花期、块茎膨

大期、成熟期采用烘干法测定土壤水分, 取土部位: RSS 垄上取土, PDSS, PDSSH, DSS 沟内取土, 测定

层次分布如下:0~5, 5~10, 10~30, 30~50, 50~80, 80~110, 110~170, 170~200 cm(出苗期只测前 4 个层次), 并利用公式 $W = w \times r \times h^{[6]}$ 分层计算 0~200 cm 土层贮水量[w 为土壤重量含水量(%), r 为每层土壤容重(g/cm^3), h 为分层厚度(cm)]。6 月 3 号、6 月 11 号 2 次补水, 每次试验区补水 $82.35 m^3/hm^2$, 共折降雨量 16.6 mm。

1.6 土壤温度的测定

采用曲管地温计测定马铃薯生长期间传统耕种距离地表 0、5、10、15、20、25 cm 处的土壤温度和免耕处理秸秆覆盖层(距离秸秆表面 0、5、10 cm)的秸秆温度, 秸秆厚度 13~15 cm。

1.7 数据分析

应用 EXCEL 和 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同耕作措施对马铃薯主要生育时期土壤贮水量的影响

由图 2 不同层次土壤贮水量的动态变化可以看出:0~30 cm 土层除在成熟期因降雨较多, 各处理贮水量差别不大外, 其余各测定时期均表现为免耕处理土壤贮水量高于传统耕种, 且播前、出苗期、现蕾期、块茎膨大期的土壤贮水量分别较传统耕种高 35%~89%、20%~69%、54%~76%和 12%~29%,

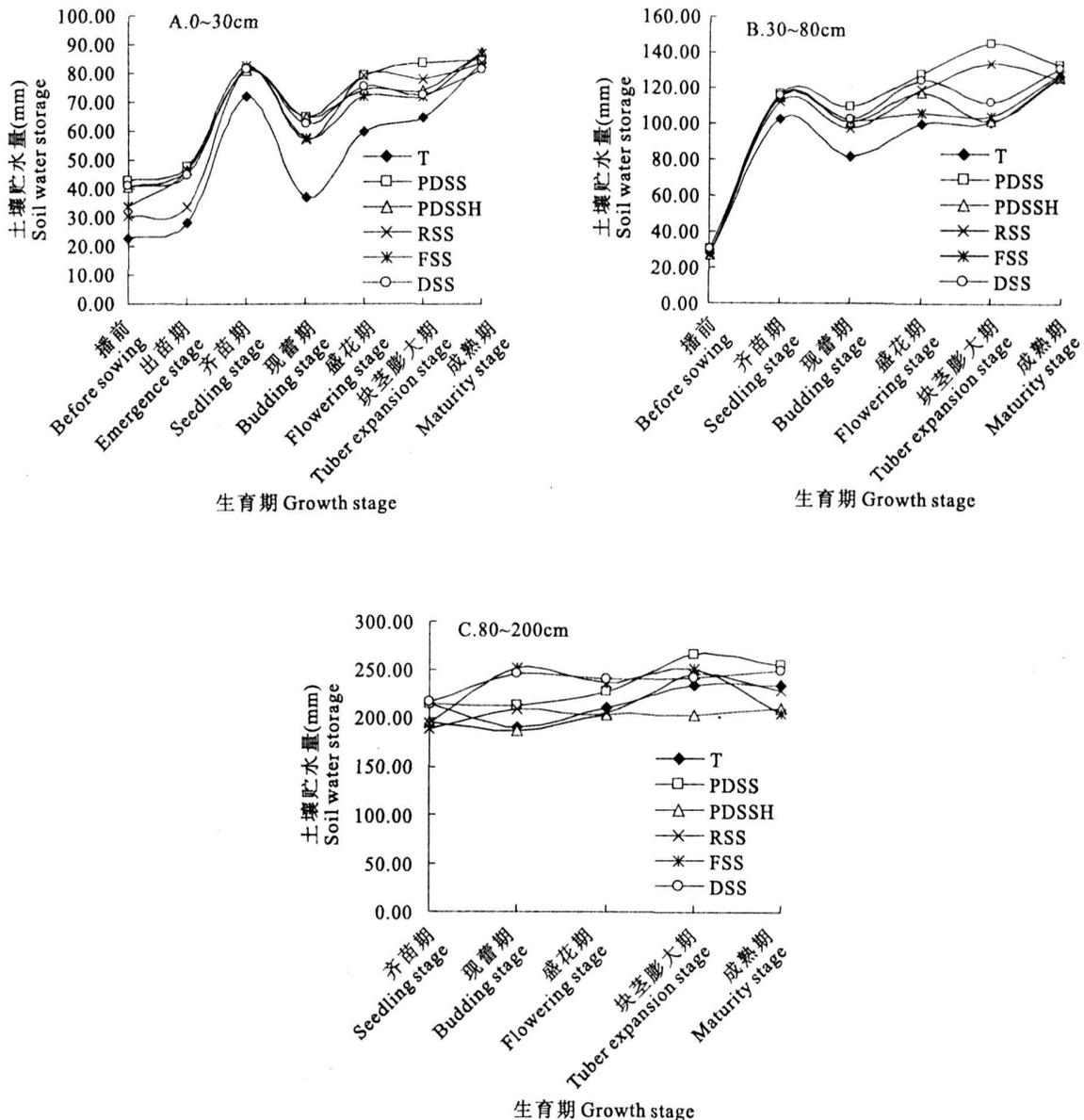


图 2 不同层次土壤贮水量的变化动态

Fig.2 Soil water storage distribution with depth

因此,播种前一个月覆草可以提高播种时 0~30 cm 土壤贮水量,且垄上覆膜处理增幅最大;30~80 cm 土壤贮水量在播前与成熟期各处理间相差不大,其余各测定时期均表现为免耕处理土壤贮水量高于传统耕种,且齐苗期、现蕾期、盛花期、块茎膨大期的土壤贮水量分别较传统耕种高 9%~14%、19%~33%、6%~28%和 2%~44%;80~200 cm 土壤贮水量各测定时期传统耕种均介于各免耕处理之间,说明免耕处理能明显改善 0~80 cm 的土壤贮水量,尤其是对 0~30 cm 土壤贮水量的影响明显。

由图 3 可以看出,马铃薯出苗期遭受严重的旱情,T 处理种薯播于 10~15 cm 土壤中,其土壤含水量为 7.67%。摆种处理 PDSS、RSS、FSS 和 DSS 处理 0~5 cm 土壤含水量分别为 10.42%、7.06%、

9.18%和 9.30%。5 cm 浅播处理 PDSSH 处理 5~10 cm 土壤含水量为 11.37%。其中 T、RSS 处理含水量极低,接近凋萎含水量 7%。说明免耕处理中除 RSS 外,都能够较好地保持土壤水分,维持种薯的出苗需要。齐苗期、盛花期 T 处理土壤含水量在 0~80 cm 的各测定层中均不同程度地低于免耕各处理,而在 80~200 cm 的各测定层中 T 处理土壤含水量均介于各免耕处理之间,且各处理 80~200 cm 土层的含水量变化范围较 0~80 cm 土层减小,这也从另一个角度说明了免耕处理能明显改善 0~80 cm 的土壤贮水量,尤其是 0~30 cm 土壤贮水量,生长后期又利于土壤深层水分利用的影响尤为突出。

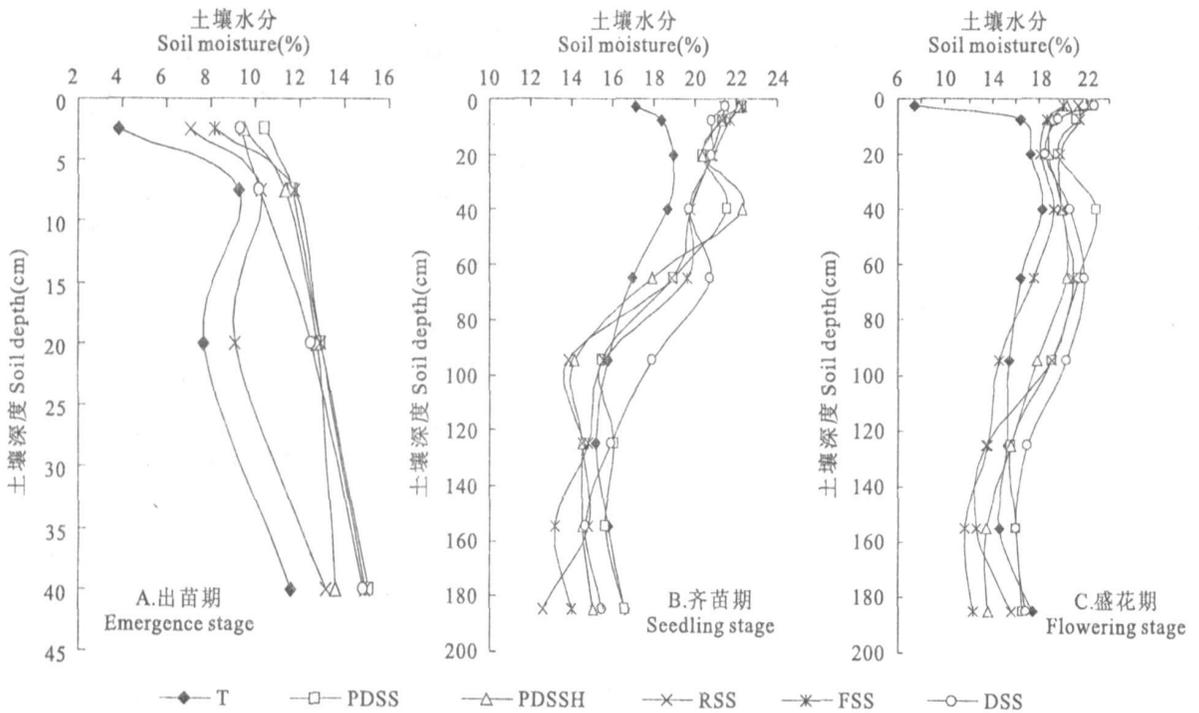


图 3 不同处理主要生育时期土壤水分

Fig. 3 Soil water of potato at major stage under different treatments

2.2 不同耕作措施对土壤温度的影响

结薯期土壤(秸秆)温度的高低直接影响块茎形成和干物质积累,因此,马铃薯在这个时期对结薯层温度要求非常严格。块茎的适宜生长温度为 17~19℃。图 4 描述了 6 种处理下马铃薯现蕾期至成熟期(共 89 d)各测定层的土壤(秸秆)日均积温($\geq 0^{\circ}\text{C}$)和晴天 8 月 14 日 14:00 时各测定层土壤(秸秆)温度。从图中可以看出,在块茎形成的整个过程中,T 处理距离地表 0、5、10 cm 土壤日均积温较其它 5 种免耕处理高 222.97~341.95℃,而免耕处理

距离地表 10 cm 处的土壤日均积温,FSS 处理明显低于其它各处理,且差值较大,其原因有待进一步研究。5 种免耕处理秸秆表面的积温介于 1 962.75~2 103.99℃之间,从表面到秸秆深层积温呈下降趋势。RSS、DSS、PDSS、FSS 处理的结薯层位于距离秸秆表面 5 cm 处至土壤表面,积温变化由地表的 1 545.63~1 648.37℃升至距离秸秆表面 5 cm 处的 1 745.96~1 875.56℃;PDSSH 处理的结薯层较 RSS、DSS、PDSS 和 FSS 处理下移 5 cm,积温变化由距离地表 5 cm 处的 1 547.35℃至距离秸秆表面

10 cm 处的 1 691.01℃;T 处理的结薯层主要位于地表以下 5~15 cm,土壤积温的变化范围为 1 632.48~1 808.42℃。各处理结薯层温度出现最高值是在晴天 14:00 时左右,由图 4 可以看出,由于覆盖的秸秆能阻挡太阳直射,且秸秆表面又吸收大量的热能,

所以免耕处理地表土壤温度较传统耕种低 6~9℃。各免耕处理结薯层温度变化范围 FSS 处理为 27~29℃、PDSSH 处理为 21~28.5℃,较传统的 27~32℃略低,且低于其它免耕处理,有利于马铃薯块茎生长。

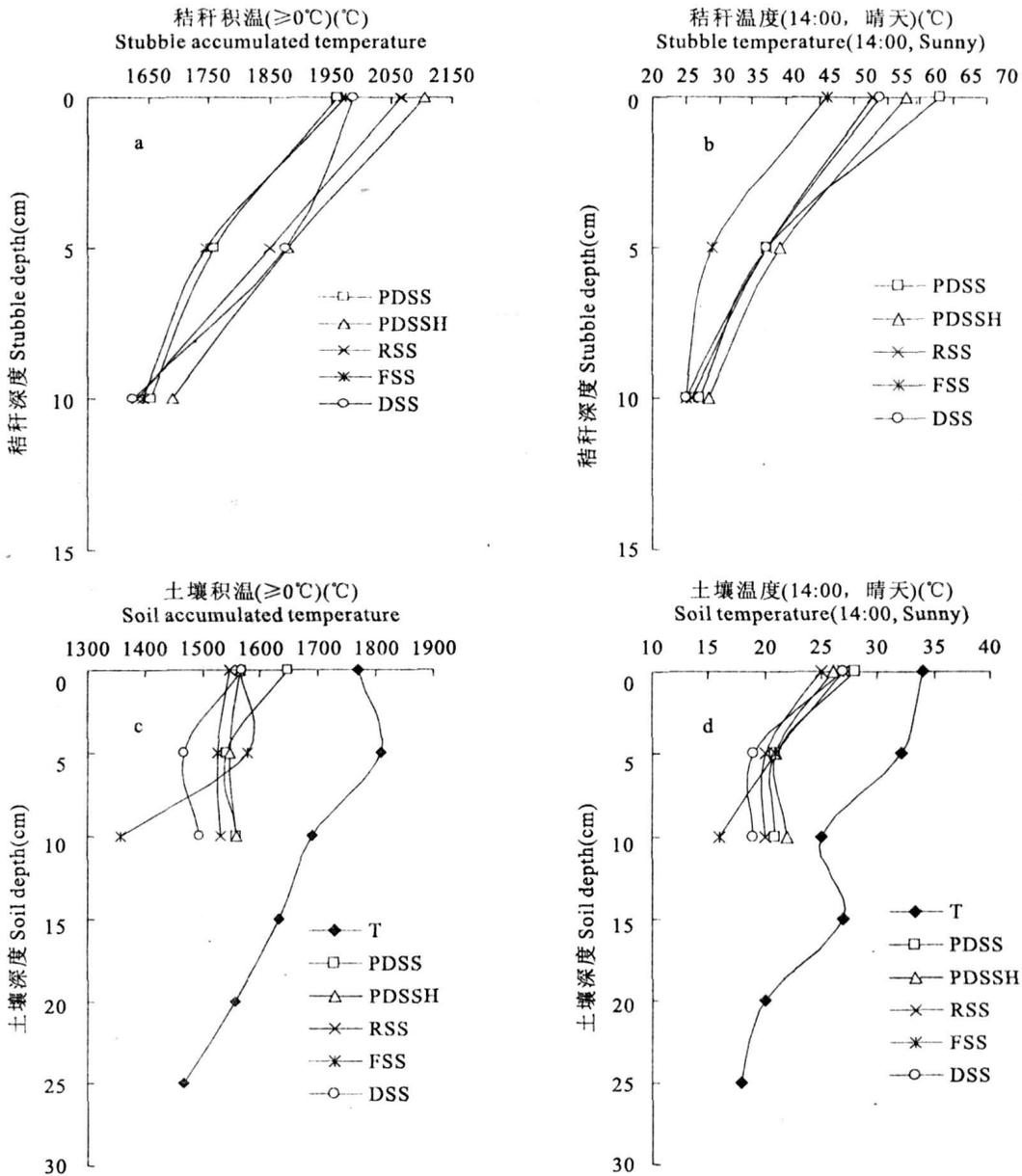


图 4 土壤积温、温度随深度的变化

Fig. 4 Soil temperature and accumulated temperature distribution with depth

2.3 不同耕作措施下马铃薯的产量表现

决定马铃薯产量的因素有:苗数/m²、结薯个数/株、单薯重量。各处理出苗率、大中小绿薯率及产量结果如表 2 所示,从中可以看出,出苗率:FSS>PDSSH>DSS>PDSS>T>RSS,且处理间达到极

显著性差异。由土壤含水量分析可知,T、RSS 出苗期种薯需水层含水量分别为 7.67%、7.06%,接近凋萎含水量 7%,造成 RSS 最低の出苗率,T 处理次之,最终影响其产量。产量:FSS>PDSSH>DSS>PDSS>T>RSS,处理间达到极显著性差异,且

FSS、PDSSH 处理较 T 处理分别增产 30.05%、22.20%，其原因除 FSS、PDSSH 处理具有较高的出苗率外，还与其块茎膨大期具有较适宜的温度、水分环境有关。从图 4 晴天 14:00 的土壤温度可以看出，结薯层的温度 FSS 为 27~29℃，PDSSH 为 21~

28.5℃，较传统耕种的 27~32℃略低，相对而言利于马铃薯块茎的生长，而其它免耕处理均不同程度地高于传统耕种。从图 2 可以看出，0~30 cm 土壤贮水量，PDSSH 处理在块茎形成到成熟的整个时期内均大于其它各处理，明显表现出一定的保水优势。

表 2 不同耕作措施下马铃薯的产量

Table 2 Potato yield of different treatments

处理 Treatments	出苗率 Emergence rate (%)	大薯率 Big tuber rate (%)	中薯率 Middle tuber rate (%)	小薯率 Small tuber rate (%)	绿薯率 Green tuber rate (%)	单株薯重 Potato weight per plant (kg)	收获产量 Yield (kg/hm ²)
FSS	87.09A	14.97 _a	26.74 _a	58.30 _a	8.92 _a	0.795 _a	27468.3A
PDSSH	84.27A	14.02 _a	16.29 _a	69.69 _a	6.71 _{ab}	0.821 _a	25811.3AB
DSS	83.48AB	12.44 _a	19.11 _a	68.45 _a	8.49 _{ab}	0.827 _a	24767.1ABC
PDSS	81.69AB	14.05 _a	12.27 _a	73.68 _a	8.23 _{ab}	0.816 _a	23419.2BC
T	72.07B	20.25 _a	24.14 _a	55.61 _a	1.62 _b	0.767 _a	21121.9CD
RSS	60.56C	18.63 _a	21.45 _a	59.92 _a	10.08 _a	0.828 _a	18733.1D

注：大薯：250 g 以上，中薯：50~250 g，小薯：50 g 以下；不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: Big tuber: more than 250 g; middle tuber: 50~250 g; small tuber: less than 50 g; Different lowercase letters mean significant difference at $P < 0.05$, different capital letters mean high significant at $P < 0.01$.

6 种处理的大薯率、中薯率、小薯率和单株薯重均无显著性差异，各处理绿薯率：RSS > FSS > DSS > PDSS > PDSSH > T，且 RSS、FSS 处理与 T 处理达到显著性差异，FSS 处理产量最高，但绿薯率也较高，PDSSH 处理的产量次之，但绿薯率为各免耕处理的最低，且与 T 处理无显著性差异。

3 结论与讨论

1) 免耕秸秆覆盖种植马铃薯可以提高出苗率和产量，FSS 处理产量最高，达 27 468.3 kg/hm²，较 T 处理增产 30.05%。初步说明在黄土高原半干旱地区实施马铃薯保护性耕作有可行性，特别是在苗期遭遇气候干旱时表现的增产作用值得重视，很有必要进一步在不同降水年份条件下深入研究。

2) 免耕秸秆覆盖种植马铃薯能够显著提高土壤水分含量，这与前人研究结果一致^[2,7~11]。马铃薯免耕覆盖能明显改善 0~80 cm 的土壤贮水量，特别是对 0~30 cm 土壤贮水量的影响尤为突出。有必要进行多年免耕覆盖试验来进一步研究不同层次的水分变化趋势。

3) 免耕秸秆覆盖可以降低各个测定层的土壤日均积温。5 种免耕处理秸秆表面的积温介于 1 962.75~2 103.99℃ 之间，从表面到秸秆深层积温呈下降趋势。RSS、DSS、PDSS、FSS 处理的结薯层积温变化，由地表的 1 545.63~1 648.37℃ 升至距离秸秆表面 5 cm 处的 1 745.96~1 875.56℃；PDSSH 处理的结薯层积温变化由距离地表 5 cm 处

的 1 547.35℃ 至距离秸秆表面 10 cm 处的 1 691.01℃；T 处理的结薯层积温变化范围为 1 632.48~1 808.42℃。在晴天 14:00 时 FSS、PDSSH 处理结薯层的温度较传统耕种略低，有利于马铃薯块茎的生长，其增产机理有待进一步研究。

4) 免耕秸秆覆盖种植马铃薯新技术省工节本，简便易行，薯块整齐，薯形圆整，表面光滑，破损率低，商品性好，并能减少水土流失。

参考文献:

- [1] Basic F, Kisić I, Butor A, et al. Runoff and soil loss under different tillage methods on Stagnic Luvisols in central Croatia[J]. Soil & Tillage Research, 2001, 62: 145-151.
- [2] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2326-2332.
- [3] Tebrugge F, During R A. Reducing tillage intensity 3/a review of results from a long-term study in Germany[J]. Soil & Tillage Research, 1999, 53: 15-28.
- [4] 李壁成, 安韶山. 黄土高原马铃薯产业化开发的潜力、市场与对策[J]. 水土保持研究, 2005, 12(3): 151-153.
- [5] 黄高宝, 李玲玲, 张仁陟, 等. 免耕秸秆覆盖对旱作麦田土壤温度的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 1-4.
- [6] 马雪花. 森林水文学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 123-128.
- [7] 张艳红. 免耕对土壤水分的影响的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2007, (2): 21-23.
- [8] 周凌云, 周刘宗, 徐梦雄, 等. 农田秸秆覆盖节水效应研究[J]. 生态农业研究, 1996, 4(3): 49-52.

(下转第 118 页)

rows in the dry land. The results showed that the techniques which integrated film covering, evaporation suppression, runoff catching on ridge surface and rainwater enrichment together increased remarkably field rainfall storage, utilizing rate and corn water use efficiency. Compared with the conventional film mulching cultivation (half flat mulching before sowing), whole film mulching on double ridges in autumn and early spring increased soil water storage below 1m layer by 50.2 mm and 31.7 mm respectively. Meanwhile, the techniques led the highest field rainfall use rate up to 75.2% with an average of 70.0%, corn water use efficiency up to 37.80 kg/(mm·hm²) with an average of 33.00 kg/(mm·hm²), which broke the bottleneck of autumn crops like maize being not sowed and emerged due to spring drought in loess plateau arid area, and increased yield significantly with an average of 8374.5 kg/hm² by 37.1%, and made a key breakthrough for highly efficient rainwater utilizing techniques in dry land. As a great innovative technology in dryland farming, it had great development prospects by providing technical support not only for Gansu, but also for similar areas at home and abroad.

Key words: dryland farming; whole plastic-film mulching on double ridges; planting in furrows; research and application

(上接第 106 页)

[9] 籍增顺, 刘虎林, 洛希图, 等. 免耕覆盖对旱地玉米生长发育的影响[J]. 山西农业科学, 1994, 22(3): 22-27.

[10] 王明权, 李效栋, 景明. 覆盖免耕的节水效应与土壤温度变

化[J]. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(1): 119-122.

[11] 姚宝林, 施炯林. 秸秆覆盖免耕对储水灌溉的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 3(1): 34-37.

Different conservation tillage related with soil water, soil temperature and yield of potato in rainfed farming system

ZHAO Tian-wu, HUANG Gao-bao^{*}, XUAN Chun-xiang, XIE Jun-hong, LIAN Hong-bin
(College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: A field test was conducted in the western Loess Plateau, and the treatments including conventional tillage(T), surface seeding in the stubble mulched ditch with plastic film mulched ridge(PDSS), shallow seeding in the stubble mulched ditch with plastic film mulched ridge(PDSSH), surface seeding on ridge with stubble (RSS), surface seeding in flatten culture with stubble(FSS) and surface seeding in the stubble mulched ditch without plastic film mulched ridge(DSS). Through analysis of soil water, soil temperature in different layers and yield of potato, the results showed that no-tillage with stubble retention could increase water storage in 0~80 cm soil layer, especially in 0~30 cm soil layer in poor raining years; No-tillage with stubble retention could decrease accumulated soil temperature($\geq 0^{\circ}\text{C}$) as compared with conventional tillage, and also decreased the daily temperature of the layer of potato development at 14:00 in sunny days. The temperature of FSS was 27°C~29°C, PDSSH was 21°C~28.5°C, and they were lower than T. The temperature of T was 27°C~32°C, therefore, it reduced the harm to potato development. The rate of seedling and yield of no-tillage treatment was higher than T, except RSS. The yield of FSS was the best, reaching 27 468.3 kg/hm² and increasing by 30.05% compared with T.

Key words: potato; conservation tillage; surface seeding; no-tillage with stubble retention; loess plateau