

坡耕地起垄和埋设地槽对土壤水分和马铃薯产量的影响

周丽敏¹, 李凤民², 刘长安²

(1. 南京信息工程大学 环境科学与工程学院, 江苏 南京 210044;
2. 兰州大学 干旱与草地生态教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 在黄土高原坡地采用(1) 沿坡地等高线起垄;(2) 沿坡地等高线起垄, 垄上覆膜;(3) 沿坡地等高线起垄, 垄间带底下设地槽;(4) 沿坡地等高线起垄, 垄上覆膜, 垄间带底下设地槽等 4 种不同的集雨方式种植马铃薯, 并设置不覆膜的大田比较试验。通过对土壤含水量, 土壤温度及作物产量进行分析, 发现垄上覆膜结合地槽贮水技术, 可降低土壤的容重, 大大提高马铃薯的地上生物量、水分利用效率及大中薯率, 是黄土高原半干旱区一项有效的节水增产措施。

关键词: 黄土高原地区; 地槽贮水技术; 土壤含水量; 土壤温度; 水分利用效率
中图分类号: S343.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0089-06

Effect of contour ridging and geosynclinal in furrow on soil moisture and yield of potato

ZHOU Li-min¹, LI Feng-min², LIU Chang-an²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China; 2. Key Laboratory of Arid and Grassland Ecology, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: The field experiment of water-harvesting modes was conducted in Loess Plateau by planting potato with five treatments: (1) contour ridging; (2) contour ridging + film mulching on ridge; (3) contour ridging + geosynclinal in furrow; (4) contour ridging + film mulching on ridge + geosynclinal in furrow; and (5) the control. Through the analysis of soil moisture content, soil temperature and crop yield, it was shown that the technology of ‘contour ridging + film mulching on ridge + geosynclinal in furrow’ could reduce soil bulk density, and increase remarkably the above-ground biomass, water use efficiency and proportion of large and middle potatoes, therefore it was an effective water-saving agricultural practice in the semi – arid area of Loess Plateau in China.

Keywords: Loess Plateau; geosynclinal for water-harvesting; soil moisture; soil temperature; water use efficiency

粮食危机正在发展中国家蔓延,而半干旱的雨养农业区正是粮食生产的薄弱地区和饥荒多发地区。水是限制其农业可持续发展的关键因子。在西北黄土高原地区,年降雨量偏少且年际年内降水分配不均匀。年内多集中在 7—9 月,和作物的需水关键期错位。年际间连旱频发^[1],并且其土质组成单一,地下水位较低。因此高效利用雨水资源成为提高当地农业生产力的关键技术^[2-3]。目前国内外已有的大田集水技术多侧重于如何富集降水,减少蒸发(如地膜覆盖,秸秆覆盖),蓄存雨水进行补灌(如水窖)以及提高水分利用效率(如膜下滴灌),但在大田中将雨水就地贮存直接供给作物利用的技术研究

还很少^[4]。本实验从控制雨水入渗的角度出发,结合已有的集雨模式(沟垄集雨,地膜覆盖),并与之比较,力求找出一种适合黄土高原地区的最佳集雨方式。

1 研究区概况与材料方法

1.1 研究地区概况

试验在我国甘肃省榆中县中连川乡中连川村进行(36°02'N, 104°25'E),为兰州大学黄土高原农业生态实验站所在地。该地区海拔 2 200 ~ 2 440 m,无霜期 100 ~ 140 d,年平均光能辐射总量 5.0×10^9 J·m⁻²,年日照时数 2 500 h,年均气温 6.2℃,年平均

收稿日期:2013-03-11
基金项目:江苏省高校自然科学基金项目(13KJB180014);南京信息工程大学校科研启动经费项目(20100377)
作者简介:周丽敏(1980—),女,陕西人,讲师,博士,研究方向为农业生态学。E-mail: zlm_lzdx1121@sina.com。

降水量在 200~330 mm 之间,其中 7—9 月降水量占年降水量的 56%。试区为典型的半干旱黄土丘陵区,土壤以黄绵土为主,作物以春小麦、马铃薯、胡麻、豌豆等为主,一年一熟。图 1 所示为 2007 年中连川 3—10 月降雨量分布,全年总降水量为 316 mm,其中 8—10 三月降水丰富,合计 177.2 mm。

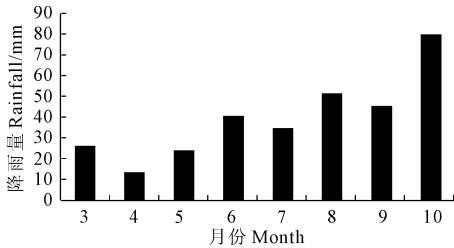


图 1 2007 年 3—10 月降雨量分布

Fig.1 Distribution of rainfall from March to October, 2007

1.2 试验材料

试验设在坡地,坡度为 12°,由撂荒地开垦而成。田间试验设五个处理:(1) 不覆膜的大田对照(CK);(2) 沿坡地等高线起垄(MOC0);(3) 沿坡地等高线起垄,垄上覆膜(MC0);(4) 沿坡地等高线起垄,垄间带底下设地槽(MOC);(5) 沿坡地等高线起垄,垄上覆膜,垄间带底下设地槽(MC)。地槽具体设计方法:挖耕作层的熟土 20 cm 深,放置一侧;再挖生土至 40 cm 深,放置另一侧;在槽中贴壁铺上农膜(厚度 0.03 mm),形成 U 型槽。农膜围成的槽高 40 cm,长 200 cm;按顺序回填生土和熟土,并踏实;在槽的两边起垄(图 2)。垄和槽的长度一致,宽为 50 cm。每个处理设 3 个小区作为重复,其中处理(2)、(3)、(4)、(5)的每个小区均有 3 个垄和 3 个垄间带/地槽,每个相邻小区之间起小垄并设 40 cm 的隔离带,共 15 个小区。

2007 年 4 月种植马铃薯,9 月收获。每个小区播种量相同,作物种植于垄间带/地槽。小区施 90 g 钾肥,135 g 磷肥,135 g 氮肥。

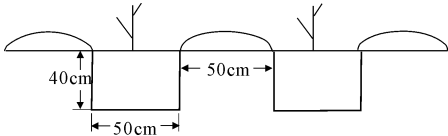


图 2 地槽设施的作物种植示意图

Fig.2 The water-harvesting method of planting crops in geosynclinal

1.3 试验方法

土壤水分用烘干法测定。在播种前及收获后在作物种植区打土钻(直径 4 cm)测至 200 cm 土层深度。在作物生长期,每月中旬测定 0~40 cm/0~100 cm 土层的水分含量。土壤含水量计算公式:

$$W_s(\%) = (W_1 - W_2)/(W_2 - W_3) \times 100\% \tag{1}$$

式中, W_1 为湿土加铝盒重; W_2 为干土加铝盒重; W_3 为空铝盒重。

水分利用效率:

$$WUE = Y_d/ET \tag{2}$$

式中, Y_d 为作物单位面积产量; ET 为同面积耗水量(土壤水分变化量加同期降水量)。

土壤 5 cm 深度地温于作物生长期的每月中旬选择晴天用地温计测定;

土壤 0~20 cm 容重用环刀法测定;

收获时测量马铃薯的株高,地上生物量及地下产量(块茎产量)(105℃,1 h 后再 70℃,72 h);

试验数据用 SPSS 13.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤水分

4 月份,MC 和 MOC 处理下 0~20 cm 的土壤贮水量显著低于 MC0 和 MOC0($P < 0.05$),MC0 和 CK 无显著差异($P > 0.05$)(图 3)。MC0、MC 和 MOC 的贮水量在 5 月较 4 月有所上升,其中 MC 上升较快,于 6 月达到最高值 31.3 mm,在 7 月保持最高。MC0 的贮水量在 8 月显著高于其他处理($P < 0.05$)。两个覆膜处理 MC 和 MC0 的水贮量在 9 月达最大,并显著高于 CK($P < 0.05$)。4—9 月 MC0 在 20~40 cm 土层的贮水量显著高于其他处理($P < 0.05$),其次为 MC,再次为 MC0,MOC0 与 CK 之间差异不显著($P > 0.05$)。无地槽的三个处理在 40~100 cm 和 0~100 cm 土层的贮水量由高到低依次为:MC0,MOC0,CK。其中 MC0 显著高于其他两个处理($P < 0.05$)。

2007 年种前 MOC 和 MC 处理 0~40 cm 土层的水分含量明显低于其他处理,MC0、MOC0 和 CK 的土壤水分在 0~120 cm 土层变化剧烈(图 4),MC0 在 0~80 cm 土层的水分含量高于其他两个处理,在 60 cm 处达到最大,在 60~100 cm 土层迅速降低。CK 的土壤水分在 0~120 cm 土层呈波动变化,MOC0 的含水量最低。120~200 cm 土层三个处理的水分变化趋势相似,差异不明显。9 月作物收后,0~40 cm 土层 MC、MC0 和 CK 三个处理均呈现增加趋势,MC0 在 40 cm 处水分达最大,MOC0 和 MOC 两个处理水分呈减少趋势,MOC0 减少最快,在 40 cm 处水分含量为最低。MC0 的土壤水分在 0~200 cm 土层高于其他两个处理。其中 MC0 和 CK 在 20~120 cm 土层的土壤水分先增加后降低。MOC0 在 20~60 cm 土层水分先降低,60~140 cm 土层水分基本保持不变。

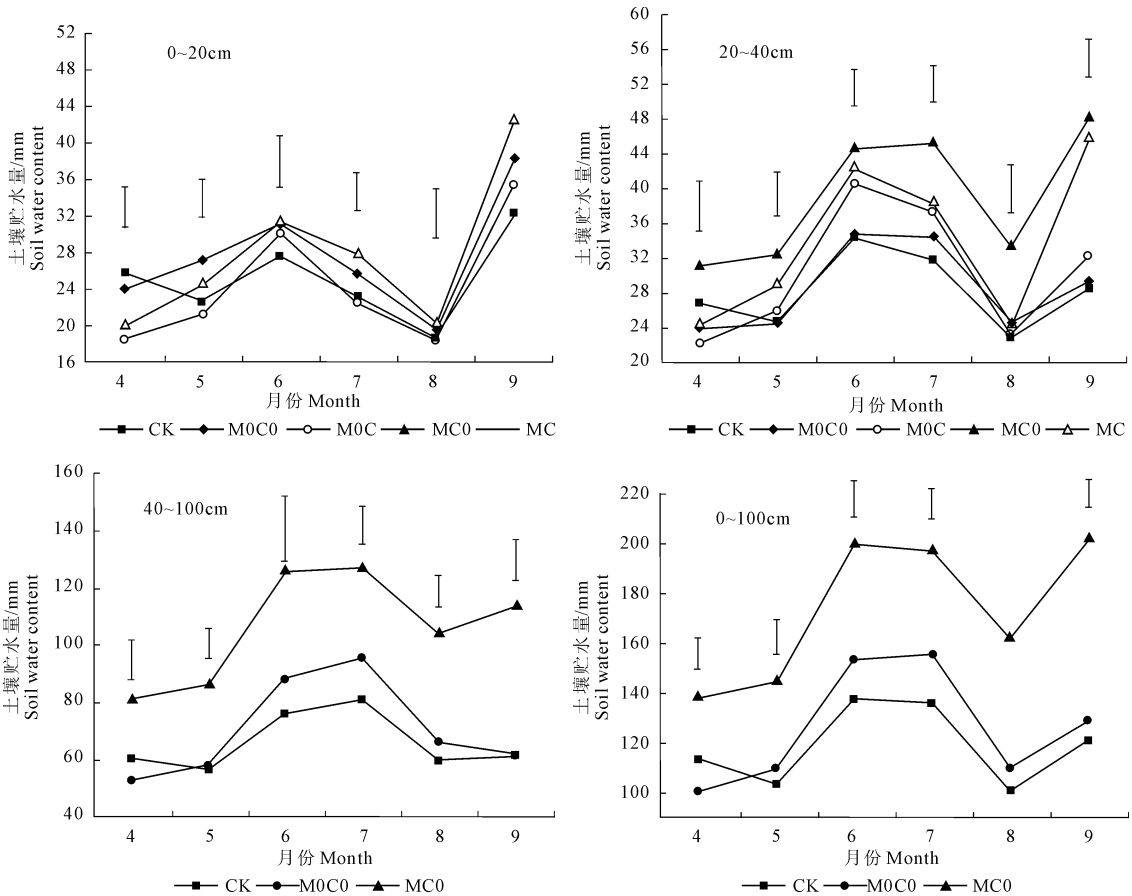


图 3 2007 年不同处理在 0 ~ 20, 20 ~ 40, 40 ~ 100 cm 和 0 ~ 100 cm 土层的土壤贮水量变化

Fig.3 The soil water content of different treatments in 0 ~ 20, 20 ~ 40, 40 ~ 100 cm and 0 ~ 100 cm depth in 2007
注:误差线表示在 5%水平上的 LSD 值。 Note: The error bars mean value of LSD at 5% level.

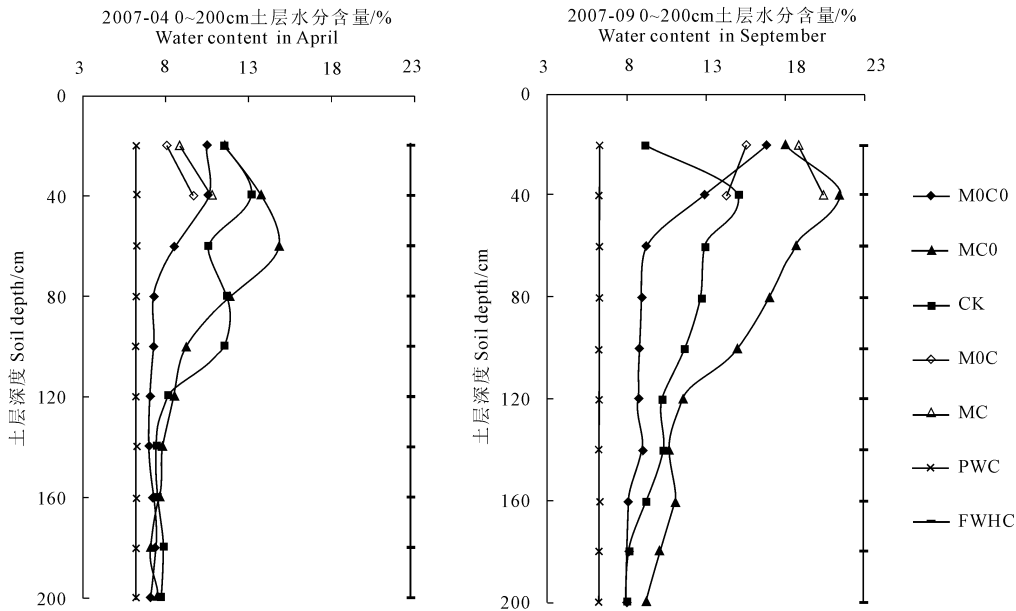


图 4 2007 年 4 月和 9 月土壤水分剖面图(0 ~ 200 cm)

Fig.4 Vertical distribution of soil moisture in 0 ~ 200 cm layer in April and September 2007

注:CK 代表对照,M0C0 代表沿坡地等高线起垄,MC0 代表沿坡地等高线起垄,垄上覆膜,M0C 代表沿坡地等高线起垄,垄间带底下设地槽,MC 代表沿坡地等高线起垄,垄上覆膜,垄间带底下设地槽。PWC 表示永久萎蔫系数,FWHC 表示土壤田间持水量。下同。

Note: CK: Control; M0C0: Contour ridging; MC0: Contour ridging + film mulching on ridge; M0C: Contour ridging + geosynclinal in furrow; MC: Contour ridging + film mulching on ridge + geosynclinal in furrow. PWC: Permanent wilting coefficient; FWHC: Field water holding capacity. The same hereinafter.

2.2 土壤温度

MC 的地温在 8 月份显著高于其他处理 ($P < 0.05$), 其余月份各处理之间的地温差异不显著 ($P > 0.05$) (图 5)。

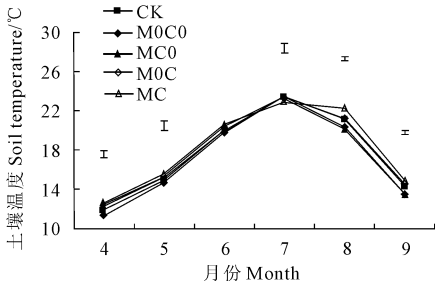


图 5 2007 年 4—9 月各不同处理的土壤温度

Fig.5 Mean soil surface temperature under different treatments during April to September, 2007

注:误差线表示在 5% 水平上的 LSD 值。
Note: The error bars mean value of LSD at 5% level.

2.3 土壤容重

土壤容重由大到小的顺序: CK > M0C0 > M0C > MC > MC0, 在垄上不覆膜的两个处理 M0C0 和 M0C 中, 有地槽的处理 M0C 的土壤容重显著小于无地槽的 M0C0 ($P < 0.05$)。垄上覆膜的两个处理 MC0 和 MC 的土壤容重之间无显著差异 ($P > 0.05$) (图 6)。

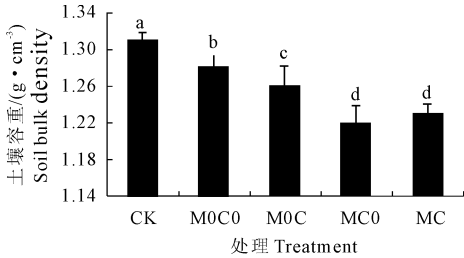


图 6 2007 年不同处理 0~20 cm 的土壤容重

Fig.6 Soil bulk density in 0~20 cm layer under different treatments in 2007

2.4 作物产量及水分利用效率

2.4.1 作物产量 垄上覆膜的处理 MC0 与 MC 的地下产量即块茎产量显著高于其他处理 ($P < 0.05$) (表 1), MC0 较 M0C0 增加 85.5%, 较 CK 增加 128%。MC 较 M0C0 增加 83%, 较 CK 增加 125%。有地槽的处理 MC 和 M0C 的地上生物量显著高于其他处理 ($P < 0.05$), M0C0 与 CK 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。MC、MC0 和 M0C 处理下的作物株高显著高于 M0C0 和 CK。地槽处理对马铃薯地上生物量的影响极显著 ($P < 0.01$), 对株高影响显著 ($P < 0.05$), 对地下块茎产量影响不显著 ($P > 0.05$)。垄

上覆膜处理对地下块茎产量影响极显著 ($P < 0.01$), 对地上生物量影响显著 ($P < 0.05$)。地槽和垄上覆膜对三者均无交互作用。

表 1 2007 年各处理的地下产量, 地上生物量及株高
Table 1 The yield, aboveground biomass and plant height of potato under different treatments

处理 Treatment	地下产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	地上生物量 Aboveground biomass /(kg·hm ⁻²)	株高 Plant height /cm
CK	2423.3 ± 136.4c	709.1 ± 140.4b	47.6 ± 2.1c
M0C0	2978.4 ± 151.8bc	711.7 ± 133.8b	49.1 ± 3.2bc
MC0	5524.4 ± 442.4a	974.6 ± 158.2ab	55.5 ± 2.2a
M0C	3842.0 ± 278.2b	1042.3 ± 238.1a	54.2 ± 4.3ab
MC	5448.8 ± 539.3a	1136.3 ± 199.5a	56.3 ± 3.7a
<i>F</i> - value			
地槽(C) Geosynclinal	2.61	14.00 * *	5.02 *
垄上覆膜(M) Film mulching on ridge	45.19 * *	7.37 *	9.71 *
地槽和垄上 覆膜交互作 用(C * M) Interaction between C and M	3.41	1.66	2.9

注:同一列中相同字母代表在 5% 水平上差异不显著, 不同字母代表差异显著。* 表示在 5% 水平上差异显著, * * 表示在 1% 水平上差异显著。
Note: Different letters in same columns mean significance at 5% level.
* Significance at 5%; * * Significance at 1%.

马铃薯大中薯率由高到低依次为 M0C, MC, MC0, M0C0, CK (表 2), 大中薯的收购价格为 1.2 元·kg⁻¹, MC 处理下的马铃薯收益最高, 是 MC0 的 1.1 倍, M0C 的 1.4 倍, M0C0 的 2.3 倍, CK 的 3 倍。由于当地劳动力价格较低, 可忽略不计, 因此地膜投入为主要支出, 地膜的时价为 3.5 元·kg⁻¹, 处理 MC, M0C 和 MC0 的地膜使用量比值为 20:13:7, 可根据当时市价计算得地膜价格。最终的经济收益为: MC0 > MC > M0C0 > MC0 > CK。

2.4.2 水分利用效率 5 个处理的水分利用效率 WUE (表 3) 同产量变化一致, 水分利用效率从大到小依次为 MC0 > MC > M0C > M0C0 > CK, 其中 MC0 与 MC 之间差异不显著 ($P > 0.05$), MC0 是 CK 的 2.4 倍, 是 M0C0 的 1.9 倍。当垄上不覆膜时, 有地槽的处理 M0C 水分利用效率较 M0C0 可提高 1.3 倍。

表 2 2007 年各处理的经济收益

Table 2 The economic benefit under different treatments

处理 Treatment	地下产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	大中薯率 Proportion of large and middle potato/%	马铃薯收益 Income /(元·hm ⁻²)	地膜投入 Film input /(元·hm ⁻²)	经济收益 Net income /(元·hm ⁻²)
CK	2423.3	69.2	2012.3	0	2012.3
MOC0	2978.4	73.5	2626.9	0	2626.9
MC0	5524.4	87.1	5774.1	1050	4724.1
MOC	3842.0	93.7	4320.0	1950	2370.0
MC	5448.8	92.8	6067.8	3000	3067.8

注:大于 100 g 为大薯,50~100 g 为中薯。 Note: Large potato: above 100 g; middle potato: 50~100 g.

表 3 2007 年各处理 0~40 cm 土壤水分蒸发蒸腾损失总量,产量及水分利用效率

Table 3 ET in 0~40 cm soil layer, Yield and WUE under different treatments

处理 Treatment	降水 Rainfall /mm	蒸散量 ET /mm	地下产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	水分利用效率 WUE /(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹)
CK	290.9	283.3	2423.3c	8.6d
MOC0	290.9	272.3	2978.4bc	10.9cd
MC0	290.9	267.2	5524.4a	20.7a
MOC	290.9	275.4	3842.0b	14.0b
MC	290.9	270.5	5448.8a	20.1a

注:同一列中相同字母代表在 5% 水平上差异不显著,不同字母代表差异显著。

Note: Different letters in same columns mean significance at 5% level.

3 讨 论

覆膜之后,土壤含水量较不覆膜的大田均有提高。在雨养农业区一项重要的措施是减少土壤水分蒸发。因为 MC 处理的土壤表层水分高于 MOC, MC0 高于 MOC0,说明覆膜可以阻止土壤水分蒸发有助于土壤蓄水^[5]。在 0~20 cm 的表层土壤由于受降水和地表蒸发的影响剧烈,土壤水分的高峰和低谷的出现与降水过程密切相关^[6]。6、7、9 三月降雨较多,MC 的水分高于 MC0,MOC0 高于 MOC,说明只有覆膜的垄可将雨水富集于沟中,使沟中的土壤含水量增加,改善农田土壤水环境^[7-8]。而 8 月份由于处于高温、强蒸发和作物旺盛生长季节,尽管垄上覆膜条件相同,地槽处理阻断了 40 cm 以下的土壤对表层土壤水分的补偿作用^[1],其表层水分低于无地槽处理。对马铃薯有效的土壤水分主要分布在 80 cm 以上的土层中^[9],由于地面蒸发耗水约占降水的 65%^[10],当垄上覆膜时,膜下土壤的水分含量较不覆膜的高,高于相同深度下槽中的水分,处理 MC0 的水分高于 MC,由于地槽在 0~40 cm 深度的四壁上均覆有农膜,阻断了土壤水分的侧向运移,而土壤水的侧向运动(重力自由水或非重力自由水),是旱地土壤水分运移的一种重要方式^[11]。并且 MC

处理下的作物地上生物量大于 MC0,蒸腾作用较强,其作物根系无法从槽周围吸收水分。当垄上不覆膜时,相同深度条件下,槽中水分高于两侧的垄,槽中的膜阻断了水分向两侧运移,使 MOC 的水分高于 MOC0。由于 MOC0 处理增加了地表面积,相应地增加了地面的水分蒸发,因此其水分含量在 0~200 cm 范围内低于 MC0 和 CK。

地槽处理 MC 和 MOC 的土壤地温高于其他处理,是由于槽中的地膜隔绝了土壤与外界的水分交换,抑制了潜热交换,同时减弱了土壤与外界的显热交换^[12]。

覆膜处理较对照降低了 0~20 cm 土层的土壤容重,由于起垄覆膜减少了雨水直接对土壤的冲击和淋洗,使土壤疏松通气透水性好^[13-14]。地槽处理增加了土壤贮水量,为作物根系生长提供了有效水分,而作物根系集中在 0~40 cm 的地槽深度中,有利于土壤团聚体的形成,提高土壤持水能力^[15],改善土壤结构,使土壤容重降低。

垄上覆膜能有效提马铃薯的块茎产量^[16]及水分利用效率,水分利用效率的改善是提高作物产量的最佳途径^[17]。MC0 较 MOC0 增加 85.5%,较 CK 增加 128%。其次为垄上覆膜结合地槽处理,MC 较 MOC0 增加 83%,较 CK 增加 125%。而地槽处理 MOC 和 MC 的马铃薯地上生物量和大中薯率明显提高,高于其他处理,是由于地槽中的有限空间限制了作物根系的生长,使作物转而进行地上部分的营养生长^[18]。地槽处理可大大提高马铃薯大中薯率,从而提高马铃薯的收益,尽管除去地膜投入后,地槽及覆膜处理的经济收益降低了,但是地槽一次设置好之后可多年使用,从下一年起,经济收益即为农作物获得的收益,具有长远的效益。

4 结 论

平地起垄改变了坡地小地形,有效减少了地表径流量。垄上覆膜的集雨效果明显,结合地槽贮水技术,可改善土壤理化性质,降低土壤容重,大大提

高马铃薯的地上生物量和大中薯率,是一项高产出的农业栽培技术。而此项技术对以地上产量为主的作物产量及耕作层土壤养分的影响正在进一步的研究中。

致谢:感谢郭志彬博士、金胜利高级农技师对野外试验的帮助。

参 考 文 献:

[1] 杜世平,王留芳,龙明秀.宁南山区旱地紫花苜蓿土壤水分及产量动态研究[J].草业科学,1999,16(1):12-17.

[2] 黄 乾,赵 蛟,谭媛媛,等.北方农业雨水利用实践与发展前景展望[J].节水灌溉,2006,4(4):22-25.

[3] Zhao S L, Li F M, Wang, J. Discussion on development of water-harvested agriculture in semi-arid region Northwest China[J]. Acta Botan Boreali-Occidental Sin, 1995,15(8):9-12.

[4] 林茂兹,王 静,雷新周.地槽贮水及其对土壤水分的影响[J].四川水利,2004,(增刊):86-89.

[5] A Ramakrishna, Hoang Minh Tam, Suhas P Wani, et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam[J]. Field Crops Research, 2006,95:115-125.

[6] Wang X L, Li F M, Jia Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. Agric. Water Manag, 2005,78:181-194.

[7] 张海云,王振同,路广平,等.秸秆深埋蓄水抗旱耕作技术研究

[J].山西水土保持科技,2001,(2):23-25.

[8] 林茂兹,王 静,周丽敏.地槽贮水对春小麦生长与产量的影响[J].草业科学,2006,15(5):52-58.

[9] 秦舒浩,张俊莲,王 蒂,等.半干旱雨养农业区集雨补灌对马铃薯田水分运移的影响[J].水土保持学报,2011,25(4):179-182.

[10] 张信宝,安芷生.减少地面蒸发,充分利用降水资源—黄土高原旱坡地生态农业的思考[J].水土保持通报,1997,17(1):57-62.

[11] 张信宝,朱 波,张建辉,等.地下地膜截水墙——一种新的节水农业技术[J].山地学报,1999,(5):115-118.

[12] 张德奇,廖允成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.

[13] 刑恩荣.地膜覆盖对土壤及玉米产量的影响[J].土壤,1989,20(3):156-157.

[14] 李志军,简毓峰,赵爱萍.旱地大豆垄沟周年覆膜栽培水肥效应研究[J].中国生态农业学报,2007,15(3):61-74.

[15] Liu C A, Li F R, Zhou L M, et al. Effect of organic manure and fertilizer on soil water and crop yields in newly-built terraces with loess soils in a semi-arid environment[J]. Agricultural Water Management, 2013,117:123-132.

[16] 王 俊,李凤民,宋秋华.地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J].应用生态学报,2003,14(2):205-210.

[17] 山 仓,陈国良.黄土高原旱地农业的理论与实践[M].北京:科学出版社,1993.

[18] 贾 昕,杨兴中,潘晓云,等.喜旱莲子草营养繁殖特征对干扰的响应[J].生物多样性,2008,16(3):229-235.

(上接第 88 页)

穴穗数与穗粒数呈极显著负相关,说明二者间是相互制约的,穗粒数是建立在穴穗数之上的,此结论与陈温福^[18]和李金峰^[19]的研究结论一致。在本试验条件下,二次枝梗数除与结实率、产量相关性不显著外,与其他指标相关性均达到显著或极显著水平,说明二次枝梗数与除结实率外的产量构成因素及不同穗型的一次枝梗数和穗长关系密切,水稻穗部一次枝梗数和二次枝梗数方面的研究未见报道。另外,本试验条件下,水稻产量除与穗数达显著正相关外,与其它性状均未达显著相关性,此结论有待于进一步探讨。

参 考 文 献:

[1] 蒋开锋,郑家奎,赵甘霖.杂交水稻产量性状稳定性及其相关性研究[J].中国水稻科学,2001,15(1):67-69.

[2] 吴元奇,潘光堂,荣廷昭.作物稳定性研究进展[J].四川农业大学学报,2005,23(4):482-489.

[3] 胡秉民,耿 旭.作物稳定性分析法[M].北京:科学出版社,1993.

[4] 张群远,孔繁玲.作物品种区域试验统计分析模型的比较[J].中国农业科学,2002,35(4):365-371.

[5] Piepho H P. Stability analysis using the SAS system[J]. Agronomy Journal, 1999,91(1):154-160.

[6] 冀建华,刘光荣,李祖章,等.基于 AMMI 模型评价长期定位施肥对双季稻总产量稳定性的影响[J].中国农业科学,2012,45

(4):685-696.

[7] 胡希远,尤海磊,宋喜芳.作物品种稳定性分析不同模型的比较[J].麦类作物学报,2009,29(1):110-117.

[8] 刘文江,李浩杰,汪旭东.用 AMMI 模型分析杂交水稻基本性状的稳定性[J].作物学报,2002,28(4):569-573.

[9] 胡希远,尤海磊,宋喜芳.作物品种稳定性分析不同模型的比较[J].麦类作物学报,2009,29(1):110-117.

[10] 吴为人.对基于 AMMI 模型的品种稳定性分析方法的一点改进[J].遗传,2000,22(1):31-32.

[11] 余本勋,张时龙,何友勋,等. AMMI 模型在水稻品种稳定性和适应性评价中的应用[J].贵州农业科学,2010,38(2):64-66.

[12] 姚 霞,李 伟,颜泽洪. AMMI 模型在小麦区域试验产量组成性状分析中的应用[J].麦类作物学报,2005,(6):103-107.

[13] 高海涛,王书子,王翠玲. AMMI 模型在旱地小麦区域试验中的应用[J].麦类作物学报,2003,23(4):43-46.

[14] 张群远,孔繁玲.作物品种区域试验统计分析模型的比较[J].中国农业科学,2002,35(4):365-371.

[15] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002.

[16] 曹凑贵,蔡明历,张似松,等.湖北省水稻生产状况及技术对策[J].湖北农业科学,2004,(4):28-30.

[17] 张学军,徐正进.水稻个别产量构成要素与产量的相关分析[J].沈阳农业大学学报,2003,34(5):362-364.

[18] 陈温福,徐正进,张龙步.水稻超高产育种[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2003.

[19] 李金峰,钱永德,吕艳东,等.空育 131 高产群体的产量构成和分蘖利用[J].沈阳农业大学学报,2004,35(4):308-312.