

砂砾粒径对砂田西瓜根际温度的效应

张继红¹, 康恩祥^{2,3}, 何宝林^{2,3}

(1. 甘肃省庄浪县种子管理站, 甘肃 庄浪 744600; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 3. 农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点开放实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 以不覆砂露地(CK)为对照, 通过铺设砂石粒径为1~3 mm的毛砂、10~20 mm豆砂、80~120 mm扁平椭圆卵石和1~100 mm当地砂田普通混砂, 研究不同粒径砂砾覆盖对砂田西瓜根际温度的效应, 监测砂田0~25 cm不同深度土壤温度变化。结果表明, 砂田早春0~25 cm土壤日均温度比对照高0.3~3.0 ℃, 日最高温度随土层深度的增加而逐渐降低, 各层土壤最高温度出现时间比对照滞后0.5~2.5 h。毛砂、豆砂、卵石和混砂覆盖下砂层5 cm处根际平均温度分别比对照增加了20.03%、20.66%、0.47%、8.48%, 除卵石外, 早春其余粒径砂砾覆盖的砂田砂下5 cm处根际温度显著高于对照; 砂层下5 cm处土壤温度受外界环境的影响最大, 其变化规律可用一元三次函数 $y=ax^3+bx^2+cx+d$ 拟合, 各处理拟合相关性系数均在0.87以上, 其它土层曲线变化规律不明显。不同粒径的砂砾覆盖0~25 cm土壤温度增加效应从高到低顺序为豆砂、毛砂、混砂、卵石, 其增加幅度随土壤深度的增加而减缓, 豆砂和毛砂增温较慢, 但增加幅度较大, 卵石增温散温都快但增加量小。覆砂后0~25 cm根际最高温度毛砂、豆砂、卵石和混砂分别比对照增加了2.52、2.00、0.64、1.04 ℃, 但不同深度土壤温度变化规律无明显差异。

关键词: 西瓜; 砂覆盖; 砂石; 粒径; 根际温度

中图分类号: S651 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2014)10-0041-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2014.10.015

Temperature Effects of Rhizosphere in the Gravel-sand Mulching Soil with Different Grain Size on Watermelon Field

ZHANG Ji-hong¹, KANG En-xiang^{2,3}, HE Bao-lin^{2,3}

(1. Zhuanglang Seed Management Station, Zhuanglang Gansu 744600, China; 2. Institute of Dryland Agricultural, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Key Laboratory of Northwest Drought Crop Cultivation and Farming of China, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: We conducted trial to study the temperature effects of rhizosphere in the gravel-sand mulching soil with different grain size on watermelon field. The trial involved four levels of gravel and sand diameter: 1~3 mm(A), 10~20 mm(B), 80~120 mm(C), 1~100 mm(D) and no gravel and sand mulching(CK). All of treatments were randomized with three replications. The results shows that there was a change of reduce firstly then increase and reduce lastly in the temperature effects of rhizosphere in the gravel-sand mulching soil with different grain size on watermelon field. All the treatments increased the temperature of rhizosphere 0.3 to 3 ℃ compered with no gravel and sand mulching (CK). The maximal temperatue of rhizosphere was higher 20.03%、20.66%、0.47%and 8.48% than control, and it reduced with increase of soil depth, what is more, the time of occurrence of it was late about 0.5 to 2.5 hours. The trends of temperature development of surface layer under 5 cm was same to the atmosphere, and developed regularity with three function ($y = ax^3 + bx^2 + cx + d$, $R^2 > 0.87$). The average temperature of suface layer 5 cm of the treatment A, B, C, D was 15.90、15.99、13.31 and 14.37 ℃. The order of increased temperature in the gravel-sand mulching soil with different grain size on watermelon field was: B>A>D>C. The rate of increase to temperature become slowly with the depth of soil. Temperature of treatment A and B increased slowly but greadly, treatment C was quickly and less. There were no dfference in dfferent depth of soil.

Key words: Watermelon; Gravel-sand mulching; Stand stone; Grain size; Temperature of rhizosphere

地表覆盖是当前世界旱农地区广泛推广的一项耕作技术。砂田是我国西北干旱半干旱地区独特的、传统的抗旱耕作形式, 也属土壤覆盖和免

耕制度范畴。土壤温度是土壤热量状况的重要指标, 根际温度直接影响植物生长, 也可通过对光合作用、水分代谢、矿质营养和植物激素等的影

收稿日期: 2014-09-10

基金项目: 甘肃省科技支撑项目“黄土丘陵沟壑区(庄浪)梯田沙覆盖节水高效种植技术研究与示范”(1304ZKCA151)、兰州市科技局项目“兰州砂田退化和衰老机理与恢复改良对策研究”(2011-1-151)部分内容

作者简介: 张继红(1974—), 男, 甘肃庄浪人, 农艺师, 主要从事种子管理与作物栽培工作。联系电话: (0)18693321758。

E-mail: 657155338@qq.com

通讯作者: 康恩祥(1974—), 男, 甘肃陇西人, 副研究员, 博士, 研究方向为作物生理生态。E-mail: xiaokang7722@163.com

响而间接影响生长发育^[1]。早春砂田温度过低则不利于播种,持续低温会降低出苗率,无法形成壮苗,影响后期的营养生长和生殖生长,最终影响作物的产量和品质。甘肃省庄浪县现有梯田 6 万 hm^2 ,梯田化占耕地面积的 96%,是第一个“中国梯田化模范县”,现有梯田砂田面积 0.67 万 hm^2 ,发展势头迅猛。国内外学者对砂田的增温效应、水分变化等进行了大量研究^[2-7]。不同粒径砂砾覆盖不但影响砂田铺设的成本,而且影响砂田的特殊功效^[5,8-9]。前人对砂田水温效应的研究主要集中在砂田与其他覆盖方式的比较^[3,6,10],或不同粒径砂砾覆盖后水分、根系和微生物区系等的变化^[5,8-9,11-14]。砂田土壤春季解冻后温度变化剧烈,对作物的影响也比较明显,但针对黄土高原梯田早春不同深度砂田温度变化特征的研究尚未见报道。我们在庄浪县通过研究不同粒径的砂砾覆盖后早春梯田砂田温度变化的规律,以期对甘肃砂田的标准化管理和早春适时种植提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

指示西瓜品种为西农 8 号,由甘肃省农业科学院提供。

1.2 试验地概况

试验设在甘肃省农业科学院庄浪试验站万泉镇 15 a 的梯田试验地,平均海拔 1 507 m,年平均气温 8.4 $^{\circ}\text{C}$,无霜期 150 d,年降水量 486 mm。试验田耕层土壤含有机质 8.0 ~ 11.0 g/kg、全氮 0.6 ~ 0.9 g/kg、全钾 16.3 ~ 25.0 g/kg、速效磷 8.0 ~ 12.0 mg/kg、速效钾 130 ~ 150 mg/kg,0 ~ 100 cm 土壤容重 1.35 ~ 1.39 g/cm^3 。

1.3 试验方法

试验于 2010 年 2 月至 2011 年 8 月进行,以西瓜田覆盖砂砾粒径大小作为设计因子,砂石由庄浪县万泉镇砂石厂根据设计要求过相应的筛网后提供,游标卡尺测定过筛砂砾的直径。试验共设 4 个砂石粒径处理,分别是处理 A 粒径 1 ~ 3 mm 毛砂,处理 B 粒径 10 ~ 20 mm 豆砂,处理 C 粒径 80 ~ 120 mm 扁平椭圆卵石,处理 D 粒径 1 ~ 100 mm 当地砂田普通混砂,以不覆砂裸地(CK)为对照。区组内各处理随机排列,3 次重复,小区面积 120 m^2 (6 m × 20 m)。铺设厚度 8 cm,西瓜种植密度 6 000 株 / hm^2 ,覆砂前基施农家肥 90 ~ 150 t kg/hm^2 、饼肥 2 500 kg/hm^2 、过磷酸钙 600 ~ 750 kg/hm^2 、硫酸钾 250 ~ 350 kg/hm^2 ,或施腐熟鸡粪 30 ~ 45 t / hm^2 、油渣 2 300 kg/hm^2 、磷酸二铵 3 000 kg/hm^2 。播前扒开砂砾层,打穴,干籽播种后复原,用宽 1.0 ~ 1.2 m 的聚乙烯地膜搭小拱棚以确

保出苗整齐。采用双蔓整枝,在 17 ~ 30 节留第 2 或第 3 雌花坐果。其它管理同当地商品瓜生产。

1.4 测定指标及方法

气温用普通气温计距离地表 20 cm 测定。土壤温度采用曲管地温计(河北省武强县热工仪表厂)测定,按照土层深度在 5、10、15、20、25 cm 处安置地温计,3 月 1 日至 5 月 20 日 8:00 ~ 21:00 时,每隔 30 min 人工观测记录土壤温度数据(4 月 11 日至 5 月 11 日 24 小时测定)。为消除随机天气过程(如阴天、云等)的影响,对相同处理同时刻土壤温度数据进行求平均值处理。

数据用 Excel 2003 和 Spss13.0 做图表和显著性方差分析。

2 结果与分析

2.1 早春砂田土壤温度日变化趋势

由图 1 ~ 5 可见,不同粒径的砂砾覆盖后早春地温日变化过程具有相似的趋势,8:00 时温度最低,随后逐渐升高,晚上降低;最高温度随土壤深度的增加逐渐降低,且达到最高温的时间也随之滞后 0.5 ~ 2.5 h。从土壤温度观测数据(表 1)可知,砂下 5 cm 处,毛砂、豆砂、卵石、混砂处理的平均温度为 15.90、15.99、13.31、14.37 $^{\circ}\text{C}$,分别比对照增加了 20.03%、20.66%、0.47% 和 8.48%,除卵石外,

表 1 温度与三元函数拟合结果

处理	T_0	a	b	c	d	R^2
毛砂	15.90 a	-0.017 0	0.703 9	-7.433 3	28.729	0.881 4
豆砂	15.99 a	-0.018 1	0.739 0	-7.648 4	28.611	0.870 4
卵石	13.31 c	-0.018 0	0.721 1	-7.214 8	23.858	0.909 4
混砂	14.37 b	-0.015 1	0.638 9	-6.931 8	27.093	0.876 5
露地(CK)	13.25 c	-0.017 5	0.702 2	-7.034 6	23.420	0.882 8
气温	11.99	-0.014 5	0.590 9	-5.881 1	19.284	0.952 1

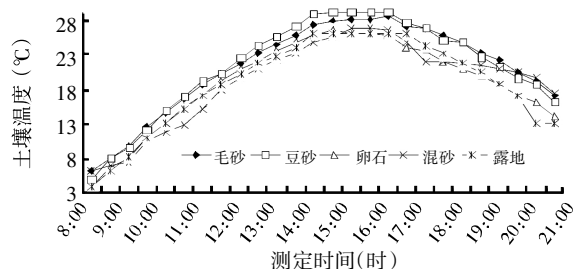


图 1 不同粒径砂砾石覆盖砂田土壤 5 cm 处温度

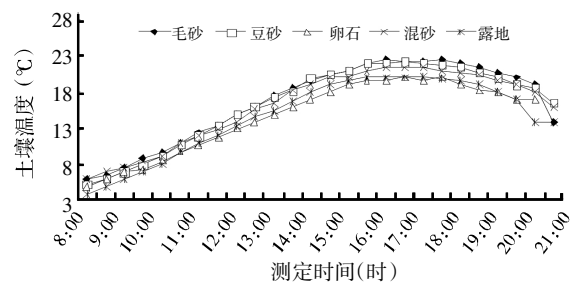


图 2 不同粒径砂砾石覆盖砂田土壤 10 cm 处温度

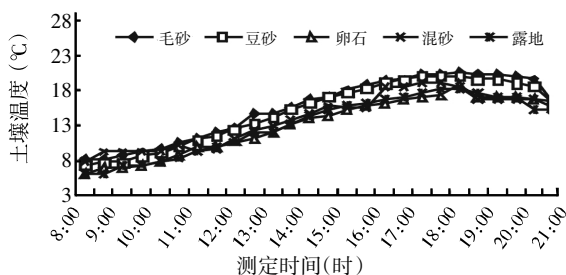


图3 不同粒径砂砾石覆盖砂田土壤15 cm处温度

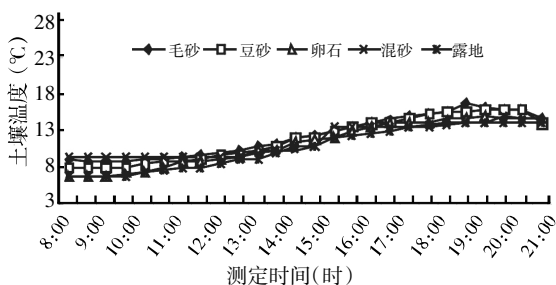


图4 不同粒径砂砾石覆盖砂田土壤20 cm处温度

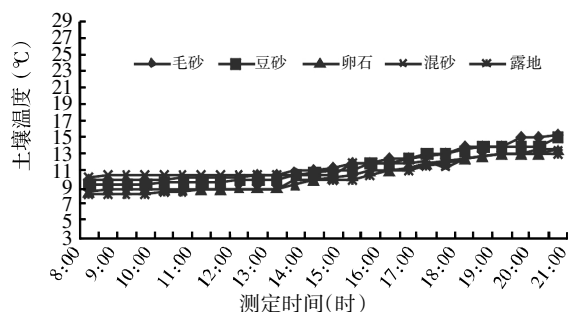


图5 不同粒径砂砾石覆盖砂田土壤25 cm处温度

其余粒径砂砾覆盖的早春砂田砂下5 cm处根际温度显著高于对照。分析各土层地温变化幅度后发现,砂下5 cm处土壤温度变化幅度最大,说明表层土壤温度受外界气温变化影响较大,其波动幅度随土层深度的增加而逐渐降低,至土壤深度25 cm时,昼夜(24小时)中温度变化已不明显。

2.2 不同粒径的砂砾覆盖后根际温度变化规律

由图1~5可知,虽然是采用不同粒径的砂砾覆盖土壤,但不同深度土壤温度变化规律几乎一致,增温效果从高到低依次为豆砂、毛砂、混砂、卵石、露地,其增加幅度随土壤深度的增加而减缓。覆砂地温均高于对照,可能原因首先是覆砂使地面凹凸不平,颜色较深,对太阳辐射能的吸收较强,反射较弱;其次,砂砾本身的热容量比土粒小^[12] [(0.226<0.575) ka/cm³·°C],接受到太阳辐射能后能较快的升温,并将热量尽快传递到与之接触的土壤中,同时砂砾的导热率小于土粒 [(0.004 4<0.025 0)ka/cm³·s·°C]^[12],是热的不良导体,升温和降温均缓慢于大田,经过长期热量的积累,使得砂砾下根际温度大于露地;最后,由于砂砾覆盖,切断了毛细管运输路径,减少了水

分的蒸发,水分蒸发带走的热量也相应的减少,地温相对较高。

2.3 砂田表层根际温度的变化规律

西瓜苗期根系较浅,大都分布在5 cm土层范围内,表层5 cm土壤温度的变化对西瓜的生长具有重要意义。表层5 cm温度受外界环境的影响最大,随外界气温的升高而升高,也随外界气温的降低而降低。为了量化描述地温的变化趋势,采用一元三次曲线对实测值进行拟合。昼夜地温变化趋势描述见公式(1)^[11],利用该公式对5 cm土层地温的变化过程进行拟合,其拟合结果见图6和表1。

$$T = aTx^3 + bTx^2 + cTx + d \quad (1)$$

式中, T为5 cm土层地温(°C); T_x 为不同时刻温度(°C); a, b, c, d为拟合系数。

由图6可见,一元三次曲线函数 $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ 拟合砂田地温变化过程效果较好。由表1中的相关性系数可见,不同粒径的砂砾覆盖后砂田温度拟合相关性系数均在0.87以上,相关性很好,同时期气温的拟合性更好($R^2=0.9521$)。说明利用一元三次曲线函数描述砂田表层5 cm深度的地温变化趋势是适合的。表1中 T_0 反映的是昼夜(24小时)当中地温的平均值,从平均地温来看,大粒径(80~120 mm)的卵石覆盖后保温效果不如较小粒径(1~20 mm)的砂砾。覆砂地温高于对照,表层5 cm处毛砂、豆砂、卵石和混砂比对照增加了2.65、2.74、0.06、1.12 °C,除卵石外,其余处理与对照达显著差异,说明覆砂可以明显提高土壤温度。

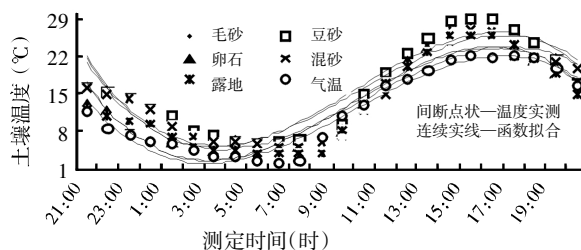


图6 5 cm表土层地温拟合结果

2.4 不同深度土壤温度变化

土壤表面覆砂以后阻隔了土壤蒸发,改变了土壤与大气之间的热交换形式,使土壤温度在砂下与裸露地表的变化明显不同。由表2可见,不同深度的砂田地温明显高出露地0.3~3.0 °C。地表5 cm和10 cm处,毛砂、豆砂、卵石和混砂根际最高温分别比露地增加了2.5、3.0、0.5、1.8 °C和2.5、2.2、0.5、1.5 °C,且最高温度出现时间依次滞后于露地2.0、0.5、0.5、1.0 h和2.0、1.0、1.0、2.5 h。地温变化幅度随土层深度的增加趋于平缓,且各处理间的差值也逐渐减小。由图1~5、

表 2 不同深度土壤温度变化

处理 土壤 深度 (cm)	毛砂(1~3 mm)			豆砂(10~20 mm)			卵石(80~120 mm)			混砂(1~100 mm)			露地	
	最高值 (℃)	最高值 出现时间 (时)	平均 增温 (℃)	最高值 (℃)	最高值 出现时间 (时)	平均 增温 (℃)	最高值 (℃)	最高值 出现时间 (时)	平均 增温 (℃)	最高值 (℃)	最高值 出现时间 (时)	平均 增温 (℃)	最高值 (℃)	最高值 出现时间 (时)
5	28.5	16:00	2.50	29.00	14:30	3.00	26.50	14:30	0.50	26.80	15:00	1.80	26.00	14:00
10	22.5	17:30	2.50	22.20	16:30	2.20	20.50	16:30	0.50	21.50	17:00	1.50	20.00	15:30
15	20.5	18:00	2.50	19.80	17:00	1.80	18.80	18:00	0.80	19.10	17:30	1.10	18.00	17:30
20	16.8	18:30	2.80	16.00	19:30	2.00	14.90	19:00	0.90	14.30	18:30	0.30	14.00	18:00
25	15.3	21:30	2.30	14.00	21:30	1.00	13.50	21:30	0.50	13.50	21:00	0.50	13.00	19:00
平均深度	20.72		2.52	20.20		2.00	18.84		0.64	19.04		1.04	18.20	

表 2 可知, 温度增加幅度的变化先是随着时间的延长逐渐升高, 随后逐渐降低, 达最大后不再增加, 这种变化趋势在表层 5 cm 最为明显, 且随土层深度的加深变化越来越小。就不同粒径的砂砾覆盖后根际温度变化而言, 豆砂和毛砂增温较慢, 但增加幅度大, 最高温分别比对照增加 2.00、2.52 ℃; 卵石增温快, 但增加量较小, 最高温比对照增加 0.64 ℃, 同时散热也快。0~25 cm 根际最高温毛砂、豆砂、卵石和混砂分别比露地增加了 2.52、2.00、0.64、1.04 ℃, 可能是卵石密度大, 导热率也大, 热量传导较快的缘故。

3 小结与讨论

1) 根际温度是作物生长的重要生态因子, 对作物根系水分、营养的吸收及产量的形成具有重要影响。试验结果表明, 砂田早春 0~25 cm 土壤日均温度比露地高 0.3~3.0 ℃, 日最高温度随土层深度的增加而逐渐降低, 各层土壤最高温度出现时间比裸地滞后 0.5~2.5 h。砂层下 5 cm 处土壤温度受外界环境的影响最大, 随外界气温的升降而相应变化, 其变化规律可用一元三次函数 $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ 拟合, 各处理拟合相关性系数均在 0.87 以上, 其它土层曲线变化规律不明显。在早春西瓜苗期, 砂层下 5 cm 处, 毛砂、豆砂、卵石和混砂根际平均温度为 15.90、15.99、13.31、14.37 ℃, 分别比对照增加了 20.03%、20.66%、0.47%、8.48%, 除卵石外, 早春其余粒径砂砾覆盖的砂田砂下 5 cm 处根际温度显著高于裸地。不同粒径的砂砾覆盖 0~25 cm 土壤温度的增加效应从高到低依次为豆砂、毛砂、混砂、卵石、裸地, 其增加幅度随土壤深度的增加而减缓, 豆砂和毛砂增温较慢, 但增加幅度较大, 卵石增温散温都快但增加量小。0~25 cm 根际最高温毛砂、豆砂、卵石和混砂分别比裸地增加了 2.52、2.00、0.64、1.04 ℃, 但不同深度土壤温度变化规律无明显差异。这在早春和晚秋热量不足时具有重要的补偿效应, 但也可能加剧地表水分的无效蒸发。砂田以较小粒径(1~20 mm)砂砾覆盖后根际增温保温及综合效应较好。

2) 覆砂对根际温度的效应, 本试验与前人的研究具有基本相同的结果。砂田和露地相比, 具有良

好的增温效应, 其原因是砂田由砂砾层覆盖, 砂砾本身粗糙, 加之地面凹凸不平, 对太阳辐射的折射率减小, 因而较多地吸收了热量。砂砾层热容量小, 导热率低, 白天受到太阳照射后, 增温快, 将热量传递到土壤中; 晚上砂田土壤比较湿润, 热容量大, 导热率高, 放热缓慢^[2-3,6,14]。同时, 砂田蒸发量相对低于土田, 因水分蒸发而消耗的热量也较少, 所以砂田较土田热量资源丰富。许强等研究后发现, 砂田保温作用在早晨和夜晚效果明显, 中午增温效果不明显, 甚至低于裸田(如 5、10 cm 地温)^[4]。这一结果与本研究不一致, 可能与许强等采用 100~150 mm 的大到鹅卵石、小到粗沙的混合砂石作为材料, 铺设厚度不同, 测定时期为高温天气, 未进行持续观测, 忽视了中午砂田增温的滞后性有关。

3) 下垫面与大气间的显热交换过程首先是以分子扩散的形式通过贴地静止层后再以乱流的方式向外界传递, 砂砾层的阻隔作用降低了空气气流对土壤空气层的水平切应, 使覆盖层下受热空气与大气空气的乱流交换受阻, 因此砂砾覆盖后土壤表面的显热交换会随砂层粒径的变小和铺设厚度的增加而受到抑制。就不同粒径的砂砾覆盖后根际温度变化而言, 豆砂和毛砂增温较慢, 但增加幅度大, 卵石增温快, 但增加量较小, 同时散热也快。可能的原因是卵石密度大, 导热率也大, 热量通过整片卵石快速和地面进行交换, 所以增温散热都快; 同时卵石间缝隙较大, 表层土壤水分通过较大的缝隙蒸发, 带走了部分热量, 可能导致温度的降低。毛砂和豆砂由于砂砾粒径较小, 地表的覆盖严实, 介质相对紧密均匀, 热量传递所用时间长, 阻力大, 所以增温降温速度都慢。同时, 砂颗粒缝隙肉眼几乎无法观察到, 在很大程度上切断了土壤水分通过毛细管蒸散的途径, 所以通过蒸散带走的热量微乎其微。不同粒径的砂砾覆盖后砂田温度和水分相互变化作用, 以及夏季高温季节砂田对作物的抑制效应有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 冯玉龙, 刘恩举, 孟庆超. 根系温度对植物的影响(II)[J]. 东北林业大学学报, 1995, 23(4): 94-99.

13个马铃薯新品种(系)在庄浪县山旱地引种试验初报

李雪瑛¹, 吴永斌¹, 王 勇²

(1. 甘肃省庄浪县农业技术推广中心, 甘肃 庄浪 744600; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 在全膜垄作侧播栽培条件下对引进的13个马铃薯新品种(系)进行了比较试验, 结果表明, 中晚熟及中熟马铃薯新品种(系)青薯9号、05-2-6、青65、陇薯7号、青175生育期适中, 综合性状表现良好, 产量高, 折合产量分别为39 507.6、37 689.4、36 893.9、34 886.4、33 560.6 kg/hm², 较对照品种庄薯3号分别增产25.82%、20.02%、17.49%、11.10%、6.88%。早熟马铃薯品种(系)L0529-2、乐薯1号生育期较短, 综合性状良好, 丰产性好, 折合产量分别为33 825.8、32 689.4 kg/hm², 较对照品种庄薯3号分别增产7.72%、4.10%。

关键词: 马铃薯; 新品种(系); 引种比较试验; 庄浪县

中图分类号: S532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1463(2014)10-0045-04

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2014.10.016](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2014.10.016)

马铃薯是甘肃省三大粮食作物之一, 在全省农业和农村经济中占有重要地位, 尤其是近年来随着种植结构调整及农产品供求的变化, 其生产、加工、营销一体化产业格局已初步形成, 马铃薯产业已成为甘肃省旱作区农民脱贫致富和增加收入的重要产业^[1-3]。庄浪县属陇中黄土高原丘陵沟壑区, 是马铃薯种薯集中生产区和高淀粉马铃薯主产区, 常年播种面积 2.3 万 hm² 左右, 总产达到 50 万 t。近年来, 随着马铃薯全膜垄作侧播栽培技

术的大面积推广, 产量逐年扩大, 但优质、高产、抗旱、抗病马铃薯品种缺乏的问题日渐突出。为筛选出优良的抗旱新品种, 实现良种良法配套, 2013 年庄浪县农业技术推广中心对引进 13 个马铃薯新品种进行了比较试验, 现将结果报道如下。

1 材料与试验方法

1.1 试验材料

供试马铃薯品种(系)青薯 2 号、青薯 9 号、青 175、青 65、乐薯 1 号由青海省农林科学院提供,

收稿日期: 2014-06-26

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303104)、国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD09B03)部分内容

作者简介: 李雪瑛(1989—), 女, 甘肃庄浪人, 助理农艺师, 主要从事农业栽培技术研究与示范推广工作。联系电话: (0)13919538738。E-mail: njzxgyp@163.com

执笔人: 吴永斌

- [2] XIAO Yan. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China[J]. *Catena*, 2003, 2: 105-127.
- [3] 杨来胜. 砂田及其不同覆盖方式的水热效应对白兰瓜生长发育影响的研究[M]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004: 1-5.
- [4] 许 强, 强 力, 吴宏亮, 等. 砂田水热及减尘效应研究[J]. *宁夏大学学报(自然科学版)*, 2009, 30(2): 180-182.
- [5] 陈士辉, 谢忠奎, 王亚军. 砂田西瓜不同粒径砾石覆盖的水分效应研究[J]. *中国沙漠*, 2005(5): 433-436.
- [6] 丁秀玲, 许 强. 不同覆盖物下的农田地温和蒸发量对比[J]. *长江蔬菜*, 2010(20): 27-32
- [7] WANG Ya-jun, XIE Zhong-kui, LI Feng-min, *et al.* The effect of supplemental irrigation on watermelon (*Citrullus lanatus*) production in gravel and sand mulched fields in the Loess Plateau of Northwest China[J]. *Agric. Water Manage.*, 2004, 69(1): 29-41.
- [8] 王亚军, 谢忠奎, 刘大化. 砾石直径和补灌量对砂田西瓜根系分布的影响[J]. *中国沙漠*, 2006(5): 821-825.
- [9] 逢 蕾, 肖洪浪, 路建龙. 干旱半干旱地区砂田交界层土壤微生物区系研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(1): 96-101.
- [10] 张 坤, 王发林, 刘小勇. 地面覆盖对果园土壤水热分布和果实品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2010, 19(11): 125-130.
- [11] 王卫华, 王全九, 刘建军. 南疆棉花苗期覆膜地温变化分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, 29(1): 141-145.
- [12] 薛 亮, 马忠明, 杜少平. 连作对砂田土壤质量及西瓜产量与品质的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2011(6): 7-10.
- [13] 鲁长才, 黄治国, 李忠鑫, 等. 压砂地不同覆盖方式的田间效应分析[J]. *宁夏农林科技*, 2011, 52(1): 8.
- [14] LAMB J, CHAPMAN J E. Effect of surface stones on erosion, evaporation, soil temperature and soil moisture[J]. *Journal of the American Society of Agronomy*, 1943, 35: 567-578.

(本文责编: 杨 杰)