

黄土高原西北部砂田西瓜集雨补灌效应研究

谢忠奎¹, 王亚军¹, 陈士辉², 张志山¹, 魏兴琥¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 2. 甘肃省农牧厅, 兰州 730000)

摘要:在黄土高原西北部地区对砂田西瓜的集雨补灌效应进行了研究。试验采用滴灌方式, 设 0mm (D_0)、22.5mm (D_1)、45.0mm (D_2) 和 67.5mm (D_3) 4 个灌水量处理。区组内各处理随机排列, 四次重复。试验结果表明: 在西瓜全生育期, 每个处理 0~120cm 土层的土壤水分含量均呈下降趋势, 下降的幅度随着补灌量的增加而减小。全生育期补灌 67.5mm 的处理土壤含水量最高, 比没有补灌的对照处理高 2.2%。土壤水分的变化在 0~40cm 土层比较活跃, 其次是 40~80cm 土层, 而 80~120cm 土层的含水量变化相对比较稳定。对砂田西瓜进行补灌可以提高产量和水分利用效率。补灌 45mm 和 67.5mm 的处理比对照分别增产 36.3% 和 45.7%。补灌 67.5mm 处理的水分利用率最高, 为 26.7 kg/m³, 比对照增加 17.0%; 该处理的净利润和每单位 (m³) 水的净利润也最高, 分别达 43.677 元/hm² 和 18.48 元/m³, 比不补灌的对照处理高 29.9% 和 15.3%。补灌量对西瓜的含糖量也有影响, 补灌量低于 45mm, 各处理之间含糖量的差异不大, 补灌量为 67.5mm, 西瓜含糖量降低 0.44%。补灌对西瓜的产量、含糖量和水分利用率均有影响, 砂田西瓜只有补灌量控制在 45mm 左右, 才能既提高产量和水分利用率, 又不降低西瓜品质。

关键词:砂田; 西瓜; 补灌; 产量; 效益

Effect of supplemental irrigation with harvested rainwater on watermelon (*Citrullus lanatus*) production in gravel-and-plastic mulched fields in the Loess Plateau of Northwest China

XIE Zhong-Kui¹, WANG Ya-Jun¹, CHEN Shi-Hui², ZHANG Zhi-Shan¹, WEI Xing-Hu¹

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. Agricultural Department of Gansu Province, Lanzhou 730000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2033~2039.

Abstract: Trials were conducted to examine the effects and economic feasibility of supplemental drip irrigation on watermelon production in gravel-and-plastic mulched fields in the Loess Plateau of northwest China in 2001. The trial comprised four levels of supplemental drip irrigation: 0mm, 22.5 mm, 45.0 mm and 67.5 mm. The treatments were laid out in two complete randomized blocks with 4 replications. The precipitation during the experiment, which covered the watermelon growing period was 125.8 mm. The

基金项目:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新资助项目(210069); 中国科学院农办经费资助项目(NK15-C-09)

收稿日期:2002-06-09; **修订日期:**2003-05-17

作者简介:谢忠奎(1964~), 男, 甘肃甘谷人, 副研究员, 主要从事农业生态和节水农业研究。E-mail: wxhcas@ns.lzb.ac.cn

Foundation item: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute "Knowledge Innovation Program"(No. 210069) and Office of Agricultural Program, CAS (No. NK15-C-09)

Received date:2002-06-09; **Accepted date:**2003-05-17

Biography: XIE Zhong-Kui, Associate professor. Areas of interest: agroecology and water-saving agriculture. E-mail: wxhcas@ns.lzb.ac.cn

results indicated that soil water content increased with increasing irrigation amounts. Soil water content was the greatest for the 67.5 mm irrigation treatments (D_3), 2.2% higher than non-irrigated treatments (D_0). Soil water content fluctuated greatly at the soil depth intervals of 0~40 cm and 40~80 cm, and was relatively stable in the 80~120 cm layer. Supplemental irrigation increased watermelon yield and water use efficiency (WUE) in the gravel-and-plastic mulched fields. The 45.0 mm and 67.5 mm irrigations increased yields by 36.3% and 45.7% respectively. The 67.5 mm drip-irrigation had the highest water use efficiency (WUE) of 26.7 kg/m³, which was 17.0% higher than the non-irrigated treatments. Irrigation amount also influenced soluble carbohydrate content of watermelon. There were small differences in soluble carbohydrate content for irrigation less than 45.0 mm, however, the soluble carbohydrate content decreased by more than 0.44% for 67.5 mm irrigation. The net economic income was estimated to be highest (43,677 yuan/hm²) for the 67.5 mm supplemental irrigation treatment followed by 45.0 mm supplemental irrigation (41,360 yuan/hm²) treatment. The highest net profit per m³ of water was 18.48 yuan (RMB) for the 67.5 mm supplemental irrigation treatment. The study demonstrated that supplemental drip irrigation has a positive role in increasing the productivity of watermelon in gravel and sand mulched fields in the Loess Plateau of northwest China.

Key words: gravel-mulched field; watermelon; supplementary irrigation; yield; efficiency

文章编号:1000-0933(2003)10-2033-07 中图分类号:S181,S275 文献标识码:A

黄土高原西北部年均降水量 250~350mm,降雨少且年际间变率大。当地农业发展的主要问题之一是如何充分利用有限的降雨,稳定作物的生产。进行地面覆盖,减少土壤蒸发是提高作物水分利用率的重要手段。地面覆盖的方式很多,但有些覆盖在减少蒸发的同时,存在降低地温(如草覆盖)或减少降雨入渗(如地膜覆盖)的弊端。而分布在黄土高原西北部的砂田既能减少土壤蒸发,又不影响降雨的入渗,还能提高地温,是一项重要的抗旱保水措施,受到国内外许多学者的关注。许多研究表明砂田具有减少蒸发和径流,提高水分的入渗和土壤温度,阻止水土流失和土壤的次生盐渍化的作用^[1~12]。砂田能有效地协调水、肥、气、热的矛盾,有利于作物的高产、稳产和早熟^[1,2,5,6,9,12,13]。黄土高原西北部的砂田占地约188 500hm²,主要分布在兰州和白银地区,以及与青海和宁夏相邻的部分地区。在世界上其它降水稀少的地方也有砂田,如法国的 Montpellier,美国的 Texas、Montana 和 Colorado,瑞士的 Chamoson^[12]以及南非等。

砂覆盖虽能有效减少土壤蒸发,但受作物生育期降水量不足的限制,砂田作物产量很难进一步提高,特别是作物生长的中后期,随着叶面积的增大和气温的升高,作物的耗水量不断增加,土壤中储存的水分逐渐减少,土壤含水量远远低于作物生长的最适含水量,作物虽能形成一定的产量,但产量水平很低。要进一步改善作物生长的水分条件,必须补充灌溉。砂田补灌受两方面因素的限制:一是灌水方法,当地习惯上采用传统的地面灌水方式,这种方式易造成沙粒和土壤的混合,使砂田结构受到破坏。因此,砂田一般不灌水。但如果将灌水方式改为滴灌,不仅不会破坏砂田结构,而且能够节约干旱地区宝贵的水资源,是砂田补灌的最有效方式。限制砂田补灌的另一重要因素是水源,采用砂田覆盖栽培的地区,基本上没有可供灌溉的水源。目前迅速发展的旱区集雨技术,为补灌水源的解决提供了一条行之有效的途径。

西瓜是一种较为耐旱的作物,与小麦、玉米等粮食作物相比,西瓜的耗水少,产量高,经济效益好,因而在砂田中所占的比例愈来愈高。目前生产中应用较多的砂田西瓜栽培方式是砂田覆膜栽培,贾登云等人^[14]研究了砂田覆膜栽培籽用西瓜,结果表明,砂田覆膜能更有效地减少水分蒸发、提高土壤含水量,使西瓜早出苗,缩短西瓜的生育期。在黄土高原西北部选择耗水量较少的西瓜,采用砂田覆膜栽培,极大的减少土壤蒸发,并富集雨水作为灌溉水源,在西瓜需水的关键期用滴灌方式进行补灌,如果补灌效果显著,该种栽培模式将是干旱地区提高雨水资源利用率的最有效途径之一。但到目前为止,对砂田西瓜的补灌效果尚无深入研究。

1 试验设计与方法

1.1 试验区基本概况

试验设在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所皋兰生态与农业试验站(36°13'N, 103°47'E)。该站位于甘肃省皋兰县忠和乡崖川村,在地貌上处在黄土高原向内陆剥蚀高原过渡地区,是水蚀和风蚀的交错地带。受蒙古高压和青藏高原热动力垂直作用的影响,降水偏少。年平均降水量为 263mm(皋兰县 30a 平均),降水的变率很大,70%的降雨分布在 5~9 月份,冬季降水变率在 80%~120%之间,春季为 75%~100%,夏季和秋季为 36%~48%。最大年降水量为 392.4mm,最小年降水量为 154.9mm。海拔 1800m 左右。年平均气温为 7.1℃,月平均最低气温为 -9.1℃(1 月份),月平均最高气温为 20.7℃(7 月份), $\geq 0^\circ\text{C}$ 的年积温 3324.5℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年积温 2798.3℃,年潜在蒸发量(Potential evaporation)为 930.6mm,年水分亏缺量为 681.6mm。年平均日照时数为 2768.1 h。本区地带性土壤为灰钙土,黄土母质。土壤有机质含量 1.0%~1.1%,全氮 0.07%~0.09%,全钾 1.98%~2.10%,速效磷 7~10mg/kg,速效钾 120~160mg/kg。机械组成中粉砂粒占 60%左右,物理性粘粒只占 24%~35%,0~150cm 土壤容重 1.20g/cm³。

1.2 试验设计

本试验为集雨水补灌单因子试验,设 0mm (D₀)、22.5mm (D₁)、45.0mm (D₂)和 67.5mm (D₃)4 个灌水量处理。区组内各处理随机排列,四次重复。小区面积 3.6×5m²。以西农 8 号西瓜为参试品种,于 2001 年 4 月 2 日播种,宽窄行种植,宽行 0.7m,窄行 0.5m,株距 1.0m。每两行布置一条 5m 长的滴灌带。播前用铲子扒开砂石层,并疏松土壤,每穴放 2 粒种子,然后覆盖 2cm 厚的土壤和 1cm 厚的细砂。最后,在种植带上方覆盖 90cm 宽的地膜。每小区安装一个水表和一个阀门,便于控制水量和水压。灌水分别在开花期(6 月 12 日)、座瓜期(6 月 24 日)和果实膨大期(7 月 3 日)进行,每次灌水量为设计总水量的 1/3。

补灌用的集雨水来自本试验设计的 4 种不同的集雨面:清除杂草的坡面(H₁)、日光温室棚面(H₂)、地面废旧棚膜覆盖(H₃)和地面红沙覆盖(H₄)。除日光温室棚面以外,其它 3 种集雨面的坡度为 10°。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 土壤水分测定 从西瓜播种到收获每隔 10d 用烘干法测定 1 次土壤水分,每小区测膜下和膜侧两个样点,取样深度 1.2m,40cm 以上隔 10cm 取一个样,40cm 以下隔 20cm 取一个样。取样在第 1 重复和第 2 重复进行,样品在烘箱中 105℃条件下烘 12 h,然后称出干重,计算出重量百分数含水量。

1.3.2 作物田间耗水量的计算 本文采用农田水分平衡法计算作物田间实际蒸散量 ET_a (Actual evapotranspiration)。由于采用滴灌技术,试验小区平整、地下水位深、土层深厚及土壤质地均一,因此在试验区很少产生深层渗漏和地下水补给^[15]。因此,适用于计算本试验的作物田间耗水量的农田水分平衡方程为:

$$ET_a = P - V + I + \Delta W$$

式中, P 为生育期内降水量; V 为日降水量或一次降水量小于某一界限值时的无效降水量,本文指 1 次降水量 $<3\text{mm}$ 的降水; I 为农田灌水量; ΔW 为某一时段农田土壤贮水变化量。施成熙^[16]研究认为,当日(或 1 次)降水量在 3 mm 左右时,其大致与作物对降水的截留量相等,故本文将小于 3 mm 的日(或 1 次)降水量视为无效降水量。

1.3.3 作物产量、品质及水分利用效率的计算 西瓜座瓜后统计每小区的西瓜数,并作标记。在 7 月 17 日、7 月 23 日、7 月 28 日和 8 月 3 日分 4 次对成熟的西瓜进行了采收,采收的西瓜单个称重。每小区选 5 个西瓜用手持测糖仪测定含糖量。对采收瓜数、单瓜重和产量进行方差分析。结合西瓜产量、生育期耗水量和灌水量计算各处理的水分利用效率和供水效率。

1.3.4 效益分析 砂田西瓜进行集雨补灌的经济可行性可通过效益分析来确定,其中滴灌系统的单季成本主要包括设备折旧、银行利率、系统的修理和维护费用,而砂田的单季成本仅包括折旧和银行利率^[17]。滴灌系统的修理和维护费以每年固定成本费用的 2%计,银行年利率以 3%计。砂田和滴灌的寿命分别以 20 a 和 7 a 计。西瓜的生产成本包括种子、播种、施肥、灌溉、田间管理、病虫害防治等费用。由于大部分有砂田分布的地区,集雨水是唯一的灌溉水源,因此,灌溉水的费用主要包括集雨费用和贮水费用两部分。其中,集流费用=建造费用/(年产流量×降雨量×使用年限)。多年平均降雨量以 263 mm 计。砂田西瓜的市场价以

1 元/kg 计。

2 结果与分析

2.1 降水量

西瓜生育期(4月1日到8月3日)的总降水量为126.7mm, ≥ 3 mm 的降水为110.4mm, 等于总降水量的87.1%。4~7月份的降水量分别为31.3mm、8.9mm、28.0mm和58.5mm。

2.2 西瓜生育期土壤水分变化动态

图1、图2所示为砂田西瓜生育期各处理的土壤水分变化动态, 结果表明: 西瓜生育期各处理的土壤水分总体呈下降趋势, 与播种期相比, 收获期 D_0 、 D_1 、 D_2 和 D_3 处理 0~120cm 土层的含水量分别下降了4.13%、3.78%、3.79%和2.59%; 4月下旬1次较大的降雨和6月份开始的补灌加降雨, 均使0~40cm 土层的含水量有较大幅度的提高, 形成两个明显的峰值。40~80cm 土层的含水量同期也有所升高, 但升幅相对较小。降雨对80~120cm 土层的含水量影响较小, 但较高的灌水量(67.5mm)仍有明显的影响。

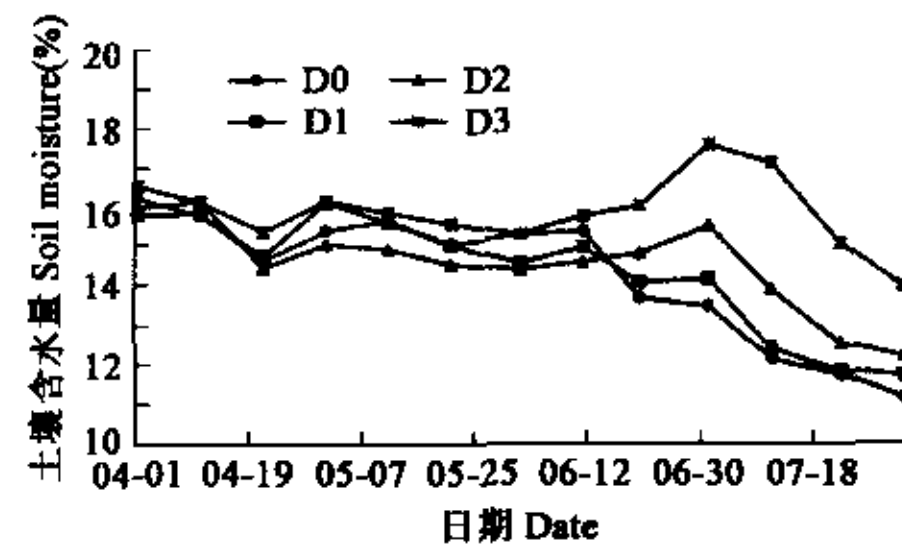


图1 砂田0~120cm 土层的土壤水分变化

Fig. 1 Soil moisture variations of 0~120cm layer in gravel and sand mulched field

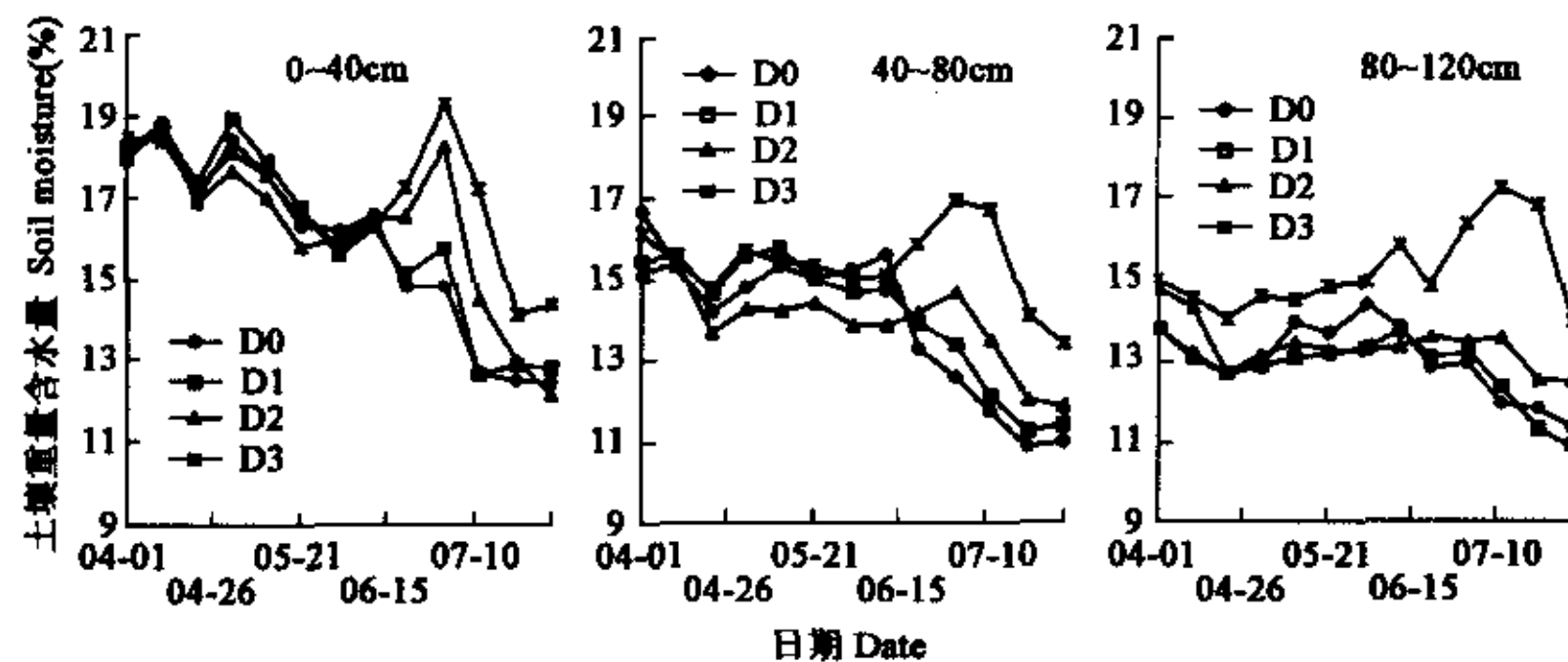


图2 砂田不同层次土壤含水量的变化

Fig. 2 Soil moisture variations in three layers in gravel and sand mulched field

2.3 砂田西瓜产量、单瓜重、采收瓜数和品质分析

从表1可看出, 砂田西瓜不同补灌处理之间的产量有显著差异, D_1 、 D_2 和 D_3 处理的产量分别比 D_0 处理高25.5%、36.3%和45.7%。不同处理的单瓜重及采收瓜数的差异与产量一致, D_1 、 D_2 和 D_3 处理的单瓜重分别比 D_0 处理高8.0%、9.2%和17.9%, D_1 、 D_2 和 D_3 处理的采收瓜数分别比 D_0 处理多16.9%、24.4%和24.4%。比较各处理的含糖量, D_3 处理最小, 分别比 D_0 、 D_1 和 D_2 处理低0.44%、0.80%和0.57%, 而 D_0 、 D_1 和 D_2 处理之间的差异不大, 说明砂田西瓜适时适量补灌, 即能增加产量, 又不致显著影响含糖量, 但补灌量太大, 产量虽高, 含糖量下降, 因此最佳补灌量以45mm左右为宜。

2.4 砂田西瓜水分利用情况分析

表1 砂田西瓜的产量、单瓜重、采收瓜数和含糖量

Table 1 Watermelon yields, average fruit weight and soluble carbohydrate content

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	单瓜重 Average fruit weight (kg)	采收瓜数 Number of fruit (个/18 m ²)	含糖量 Soluble carbohydrate content (%)
D_0	40150.0b*	3.213	22.5	10.42
D_1	50401.4ab	3.470	26.3	10.78
D_2	54712.5a	3.510	28.0	10.55
D_3	58488.9a	3.788	28.0	9.98

* 同一列不同字母表示差异显著 $\alpha=0.05$ In a colam, the different letter means significant difference, $\alpha=0.05$

表 2 所示为砂田西瓜对各种水分的利用情况、耗水量和水分利用效率。从表中可看出,灌水量低于 45mm 的各处理,砂田西瓜土壤贮水量的差距不大,但当灌水量增加到 67.5mm 以上时,西瓜对土壤贮水的利用明显减少。砂田西瓜的耗水量在 175.9mm~218.9mm 之间,产量愈高,耗水量愈大。砂田西瓜的耗水量比小麦^[18]等大田作物低 100mm 以上,因此,砂田西瓜是集雨补灌栽培的一种较理想方式。灌水处理的水分利用效率都比对照高, D_1 、 D_2 和 D_3 处理的水分利用效率比 D_0 处理分别增加了 14.5%、11.4% 和 17.0%,其中 D_3 处理的水分利用效率最高,达到 26.7kg/m³。

表 2 砂田西瓜的水分利用率

Table 2 Watermelon water utilization, total water consumption and water use efficiency of various treatments in gravel-and-plastic mulched field

处理 Treatments	有效降水量 Effective precipitation(mm)	灌水量 Supplemental irrigation(mm)	土壤贮水变化量 Soil water change(mm)	耗水量 Total water consumption(mm)	水分利用效率 Water use efficiency (kg/m ³)
D_0	110.4	0	65.5	175.9	22.8
D_1	110.4	22.5	60.0	192.9	26.1
D_2	110.4	45.0	60.1	215.4	25.4
D_3	110.4	67.5	41.0	218.9	26.7

2.5 经济效益分析

黄土高原西北部砂田种植区主要是旱作农业区,灌溉水源缺乏,利用各种类型的集雨面富集雨水是解决砂田西瓜补灌水源的重要途径之一。雨水集流和贮存的成本比较高,不同集雨面的产流率和集雨费用差距较大。表 3 列出了清除杂草坡面(H_1)、日光温室棚面(H_2)、地面废旧棚膜覆盖(H_3)和地面红沙覆盖(H_4)等几种建造成本较低的集流面的产流率和集流费用。

表 4 所示为砂田西瓜不同补灌处理的经济效益分析。在集雨成本的计算中,选择了应用范围比较广的清除杂草坡面集雨面和薄壁水泥蓄水库,将其集流费用和贮水费用相加得到单方集流水的成本。经计

算,一个蓄水 25m³ 的薄壁水泥库的建造成本为 820 元,以使用期 8a 计,贮水费用为 4.10 元/m³。从表 4 看出,补灌量 67.5mm 处理的净利润和每 m³ 水的净利润最高,分别 43677 元/hm² 和 18.48 元/m³,比不补灌的对照处理高 29.9% 和 15.3%。但该处理的投资收益率最低,为 2.95,比对照低 42.7%。对照虽投资收益率最高,为 5.15,但净利润和每 m³ 水的净利润最低,分别为 33622 元/hm² 和 16.03 元/m³。

3 结论与讨论

3.1 在西瓜全生育期,各处理的土壤水分呈波动性下降,与播种期相比,收获期 D_0 、 D_1 、 D_2 和 D_3 处理 0~120 土层的含水量分别下降了 4.13%、3.78%、3.79% 和 2.59%。各处理不同层次土壤含水量的变化有差别,其中 0~40 土层的差距较大,最大可达 5% 左右,除补灌 67.5mm 的处理外,其它处理 80~120 土层的含水量差距不大。

3.2 砂田西瓜全生育期耗水较少,不同补灌量处理的耗水量在 175.9~218.9mm 之间,因此,砂田西瓜是集雨补灌栽培的一种较理想方式。砂田西瓜的耗水量与产量密切相关,产量愈高,耗水量愈大。灌水处理的水分利用效率都比对照高,其中补灌 67.5mm 处理的水分利用效率最高,达到 26.7kg/m³,比不补灌的对照处理高 17%。

3.3 西瓜产量在不同处理间的差异达显著水平,随灌水量的增加,产量、单瓜重和采收瓜数也增加。其中

表 3 不同集水区处理方式的产流率与集流费用

Table 3 Runoff efficiency and cost for different rainwater harvesting catchments

集水面处理 Catchment treatments	年产流率 Annual runoff efficiency (%)	使用年限 Estimated longevity (a)	建造费用 Constr- uction cost (RMB/m ²)	集流费用 Water cost (RMB/m ³)
H_1	12.5	5	0.4	2.43
H_2	85.0	2	0.5	1.12
H_3	66.6	2	0.5	1.43
H_4	49.8	5	1.15	1.76

补灌 67.5mm 的处理产量最高,为 58488.9 kg/hm²,比对照高 45.7%。该处理的净利润和每 m³ 水的净利润也最高,分别达 43677 元/hm²和 18.48 元/m³,比不补灌的对照处理高 29.9%和 15.3%,但投资收益率最低,为 2.95,比对照低 42.7%。产量和净利润居于第二位的是补灌量 45mm 的处理,分别为 54712.5kg/hm²和 41360 元/hm²,比对照增加 36.3%和 23.0%。

表 4 各试验处理的经济效益分析

Table 4 Economic analysis of various treatments of supplement irrigation

成本和产值项目 Serial cost economics No.	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃
1 砂田覆盖的固定成本 (元/hm ²) Fixed cost of mulching gravel and sand	30000	30000	30000	30000
2 砂田覆盖的单季成本 (元/hm ²) Seasonal cost of mulching gravel and sand	2400	2400	2400	2400
3 滴灌系统的固定成本 (元/hm ²) Fixed cost of drip system		22500	22500	22500
4 滴灌系统的单季成本 (元/hm ²) Seasonal cost of drip system		3900	3900	3900
5 单季生产成本 (元/hm ²) Seasonal cost of cultivation	4125	4125	4125	4125
6 补灌量 (mm) Amount of supplemental irrigation		22.5	45	67.5
7 集雨成本 (65 元/(mm · hm ²)) Cost of harvested rainwater		1463	2925	4388
8 单季总成本 (元/hm ²) (2+4+5+7) Seasonal total cost	6525	11888	13350	14813
9 产量 (t/hm ²) Yield of produce (t/hm ²)	40.15	50.4	54.71	58.49
10 总产值 (元/hm ²) Income from produce	40150	50400	54710	58490
11 净利润 (元/hm ²) (10-8) Net seasonal income	33622	38512	41360	43677
12 投资收益率 (11/8) Benefit-cost ratio (11/8)	5.15	3.23	3.10	2.95
13 耗水量 (mm) water used (mm)	209.7	215.9	233.9	236.3
14 每 m ³ 水的净利润 (元/m ³) Net profit per m ³ of water used	16.03	17.84	17.68	18.48

3.4 补灌量对西瓜的含糖量有影响,补灌量低于 45mm,处理之间含糖量的差异不大,补灌量为 67.5mm 时,西瓜含糖量比对照降低 0.44%。说明砂田西瓜适时适量补灌,即能增加产量,又不致显著影响含糖量,但补灌量太大,产量虽高,含糖量下降。

References:

- [1] Hu H J, Gu X Y, Li X P. The method of non-tillage sandy field in China. *The Symposium on Farming System*. Beijing: Agriculture Press, 1981. 206~217.
- [2] Lu Z S, Chen B Y. Studies on the sand mulch system of soil management in Gansu. *Journal of Agriculture*. 1955, 6(3): 299~312.
- [3] Li X Y, Gong J D and Wei X H. In-situ rainwater harvesting and gravel mulch combination for corn production in the dry semi-arid region of China. *Journal of Arid Environments*, 2000, 46: 371~382.
- [4] Li X Y, Zhang R L, Gong J D, et al. Soil and water accumulation by gravel and sand mulches in western loess plateau of northwest China. *12th ISCO Conference Proceedings*, 2002, 3: 192~197.
- [5] Paul W. Unger Soil profile gravel layer I. Effect on water storage, distribution, and evaporation. *Soil Science Society of America Proceeding*, 1971, 35: 631~634.
- [6] Paul W Unger. Soil profile gravel layer I. Effect on growth and water use by a hybrid forage sorghum. *Soil Science Society of America Proceeding*, 1971, 35: 980~983.
- [7] William J, Gale R W, McColl, et al. Sandy fields traditional farming for water conservation in China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, 48: 474~477.
- [8] Nachtergaele J, Poesen J W and Van Wesemael B. Gravel mulching in vineyards of southern Switzerland. *Soil and Tillage Research*, 1998, 46: 51~59.
- [9] Luo H X. Drought Resistance Role of Pebble-mulched Lands and Its Tillage in Baiying Prefecture. *Agricultural*

- Research in the Arid Areas*, 1999(1): 36~45.
- [10] Wang T S, Su Hechang, Yang Shiwei. Soil Moisture Behaviours in Pebble-mulched Fields in Lanzhou Areas. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1991(1): 66~69.
- [11] Lamb J and Chapman J E. Effect of surface stones on erosion, evaporation, soil temperature, and soil moisture. *Journal of the American Society of Agronomy*, 1943, **35**: 567~578.
- [12] Abdullah Saad Modaihsh, Robert Horton, and Don Kirkham. Soil water evaporation suppression by sand mulches. *Soil Science*, 1985, **139**: 357~361.
- [13] Merlre L Fairborn. Effect of gravel mulch on crop yields. *Agronomy Journal*, 1973, **65**: 925~928.
- [14] Jia Dengyun, Zeng Xilin, Zhang Yongyang, et al. The experiment of pebble and film mulching combination on cultural techniques of seed watermelon. *Chinese Watermelon and Muskmelon*, 1998 (1): 20~21.
- [15] Yang W Z, Shao M N. *Research on Soil Moisture in Loess Plateau*. Beijing: Science Press, 2000. 10.
- [16] Shi C X. *Terrene Hydrology* (Volume 1). Science Press, Beijing, 1959.
- [17] Tiwari K N, Ajai Singh, Mal P K. Effect of drip irrigation on yield of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) under mulch and non-mulch conditions. *Agricultural Water Management*, 2003, **58**: 19~28.
- [18] Li F R, Zhao S L, Li F M. Study on the Water Consumption Law of Complex Crop Systems in the Tablelands of the Eastern Gansu Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(4): 420~426.

参考文献:

- [1] 胡恒觉,等. 我国砂田免耕法. 耕作制度论文集. 北京: 农业出版社, 1981. 9. 206~217.
- [2] 吕忠恕, 陈邦瑜. 甘肃砂田的研究. 农业学报, 1955, **6**(3): 299~312.
- [9] 雒焕炳. 白银地区砂田的防旱作用及其耕作. 干旱地区农业研究, 1999, (1): 36~45.
- [10] 王天送, 苏贺昌, 杨世维. 兰州地区砂田土壤的水分特征. 干旱地区农业研究, 1991, (1): 66~69.
- [14] 贾登云, 曾希琳, 张永洋, 等. 籽用西瓜旱砂田覆膜栽培技术试验. 中国西瓜甜瓜, 1998, (1): 20~21.
- [15] 杨文治, 绍明安. 黄土高原土壤水分研究. 北京: 科学出版社, 2000. 10.
- [16] 施成熙. 陆地水文学(上册). 北京: 科学出版社, 1959.
- [18] 李峰瑞, 赵松岭, 李凤民. 陇东黄土高原作物组合系统农田耗水规律研究. 生态学报, 1995, **15**(4): 420~426.