

麦草覆盖免耕栽培马铃薯调亏灌溉技术试验研究

庄健元¹, 成自勇^{1*}, 韩辉生², 解 瑞¹, 董振堂², 袁沛海³

(1. 甘肃农业大学工学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省民乐县洪水河管理处, 甘肃 民乐 734503;

3. 酒泉职业技术学院建筑工程系, 甘肃 酒泉 735000)

摘 要: 2008~2009 年在甘肃民乐县洪水河灌区进行了麦草覆盖免耕栽培马铃薯调亏灌溉大田试验, 结果表明: 麦草覆盖马铃薯栽培苗期进行轻度水分胁迫, 处理的产量较覆盖充分灌溉处理没有显著降低, 而马铃薯的水分利用效率、干物质、淀粉以及维生素 C 含量都与其它处理间存在差异, 其值均达到了最大, 分别为 7.41 kg/m³、22.41%、15.44%、14.56 mg/100g 鲜薯; 同时麦草覆盖栽培充分灌溉处理产量等各项指标均优于常规土壤起垄种植充分灌溉处理, 说明该技术能更有效地提高作物水分利用效率(WUE), 改良块茎品质, 提高产量, 且幼苗期轻度水分亏缺是覆盖马铃薯调亏灌溉的最佳时期和调亏程度。

关键词: 马铃薯; 调亏灌溉; 麦草覆盖; 水分利用效率; 品质

中图分类号: S157.4⁺32; S275.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)06-0007-05

马铃薯麦草覆盖免耕栽培技术是一项新型栽培技术, 该技术是马铃薯薯种在温湿度合适条件下, 直接利用麦草覆盖代替土壤起垄覆盖栽培的方法, 改变了马铃薯的传统种植方法, 是将免耕、轻型栽培和秸秆还田三者的优点充分结合起来的保护性耕作技术。目前国内外关于马铃薯麦草覆盖免耕栽培技术的研究成果报道还较少, 其理论体系还不完整, 尤其是该技术条件下马铃薯各生育期对土壤水分的要求如何等问题还处于探索阶段。因此, 本试验在前人研究的基础上, 将麦草覆盖农艺节水措施和调亏灌溉^[1~5]工程节水技术措施相结合, 重点研究免耕麦草覆盖调亏灌溉技术条件下马铃薯的需耗水规律、水分利用效率(WUE)、产量、块茎品质等指标, 提出调亏灌溉的最佳时期和调亏程度及土壤适宜含水率, 为该技术的应用及推广提供理论及技术依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2009 年 4~10 月在甘肃省张掖市民乐县益民灌溉试验站进行, 该站位于三堡镇张连庄村, 洪水河灌区中游, 海拔 1 970 m。该地区气候干燥, 年均降雨量 351 mm, 年均蒸发量 1 015 mm, 年平均温度 4.1℃, 年日照时数 3 000 h 左右, 属大陆性荒漠草原气候。土壤属轻壤土, 田间最大持水量 23%~24%, 土壤容重 1.4 g/cm³, 地下水水位低, 无盐碱化影响, 灌区降雨稀少且分布不均, 河源来水不足, 供需

矛盾突出, 干旱频繁。

试验田地面平整, 土壤肥沃, 灌水方便。试验站有气象观测场 1 个, 具备基本气象资料的观测、土壤含水率和容重测定、物候观测、测水量水的试验仪器和设备等条件。

1.2 试验设计

供试马铃薯品种为克新 5 号, 于 2009 年 4 月 13 日播种, 播种时按行距 30 cm 在地面轻拉两条并排浅沟(裸地太干, 扒开地面薯块好吸收土壤水分), 沟深 5~10 cm, 沟内按株距 25 cm 进行摆种, 尽量使薯块贴紧地面(易吸收土壤水分), 摆种后在“垄”面直接覆盖约 10~12 cm 厚麦草, 麦草一定要盖实、盖平、盖均匀, “垄”边距 20 cm, “垄”沟宽 30 cm, 深 15~20 cm, 铲出的土压住“垄”边麦草, 用于防风固边。每 667 m² 施优质农家肥 3 000~3 500 kg, 配施马铃薯专用肥 50~70 kg, 作基肥一次性施入, 不施追肥。

调亏灌溉设 3 个水分梯度: 重度调亏(SD)、轻度调亏(LD)和对照处理(CK, 充分灌溉), 各水平梯度土壤相对含水率(占田间持水量 θ_f 的百分数)分别为 45% θ_f 、55% θ_f 、65% θ_f 。马铃薯生育期划分为发芽期、幼苗期、结薯期、成熟期四个, 生育期中选择幼苗期、结薯期进行调亏胁迫, 试验共计 6 个处理, 两个充分灌溉对照处理为免耕麦草覆盖充分灌溉对照处理和常规起垄种植充分灌溉对照处理, 每个处理 3 次重复, 共 18 个小区。各处理土壤含水率达到设计水平值时, 即进行灌水, 每次灌水 45 mm, 灌水

收稿日期: 2010-03-09

基金项目: 甘肃省教育厅科研项目(0902-02)

作者简介: 庄健元(1984—), 男, 甘肃会宁人, 在读硕士, 主要从事水利工程生态效应的研究。E-mail: zjy19840113@163.com。

* 通讯作者: 成自勇(1956—), 男, 甘肃秦安人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业水土工程和水利工程生态效应的研究。

次数不限。试验田选择土层深厚、肥沃的土壤,南北走向种植,小区随机排列,四周设保护区。设计方案见表 1。

表 1 麦草覆盖免耕马铃薯调亏灌溉试验设计方案(%)

Table 1 Design of regulated deficit irrigation experiment of potato covered by straw without tillage

处理 Treatment	发芽期 Budding	幼苗期 Seeding	结薯期 Tuber initiation period	成熟期 Maturing
Y1 轻度 Light degree	65	55	65	65
Y2 轻度 Light degree	65	65	55	65
Y3 重度 Severe degree	65	45	65	65
Y4 重度 Severe degree	65	65	45	65
CK1 覆盖充分灌溉对照 Full irrigation of coverage	65	65	65	65
CK2 常规种植充分灌溉对照 Full irrigation of conventional cultivation	65	65	65	65

注:表中各数据为各生育阶段土壤水分下限(占田间持水量的百分数)。

Note: The data in the table is the lower limit of soil water (its percentage in the field moisture capacity).

1.3 测试项目

测定项目有生育期土壤含水率、地温、棵间蒸发(棵间蒸发量用埋在麦草下的微型蒸发器采用换土称重法测定,常规种植处理(CK2)微型棵间蒸发器直接设置在马铃薯行间)、叶面积、产量、成熟期马铃薯干物质含量、淀粉含量(水比重法)、维生素 C 含量(2,6-二氯喹啉滴定法),同时记载了作物灌水量、物候期、作物生育期内的降雨量。试验数据统计分析软件为 DPS(v7.05)。

2 结果与分析

2.1 调亏灌溉对麦草覆盖马铃薯水分利用效率的影响

在农业生产活动中,作物消耗单位水量所产出的同化量对于合理利用和最大限度地节约水资源具有重要的理论和生产指导意义,水分利用效率的概念就是基于此而提出的^[6]。在干旱半干旱地区,由于水资源的匮乏或者灌水成本的增加,人们势必注重以最低的灌水定额,获得最高的灌水生产效率。

本文采用的农田总供水利用效率这一指标是把消耗的总水量定义为作物生长期调用的灌溉水量(包括了冬灌)与降水量之和,经济产品产出量则定义为农田总的经济产量。据此计算的水分利用效率可以充分体现作为作物水分主要供应源的降水和灌溉水的利用情况,与生产实际具有较为密切的关系。通过试验分析(表 2),调亏灌溉条件下马铃薯水分利用效率 Y₁(轻度幼苗)与 Y₃、Y₄、CK2 处理有极显

著差异($P < 0.05$),与其它各处理有显著性差异($P < 0.05$),其值最大达 7.41 kg/m^3 ,而 Y₃、Y₄ 处理水分利用效率较其它处理极显著($P < 0.01$)偏低,仅为 7.15 kg/m^3 和 7.10 kg/m^3 ,表明轻度水分亏缺可以获取较高的水分利用效率,这正是调亏灌溉机理的一种表现。

表 2 各处理马铃薯平均耗水量、产量及水分利用效率

Table 2 Average water composition, yield and water use efficiency of potato under different treatments

处理 Treatment	耗水量 Water consumption (m^3/hm^2)	产量 Yield (kg/hm^2)	水分利用效率 WUE (kg/m^3)
CK1	4725	34300a, A	7.26bc, AB
Y ₁	4575	33900a, A	7.41a, A
CK2	5400	32765b, B	6.07e, D
Y ₂	4500	32810b, B	7.29b, AB
Y ₃	4275	30560c, C	7.15cd, BC
Y ₄	4350	30865c, C	7.10d, C

注: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: Within each line, values followed by different small letters mean significant difference at $P < 0.05$, while capital letters mean significant difference at $P < 0.01$.

另外,作物的耗水量取决于两方面:一是植株蒸腾,二是棵间蒸发,作物全生育期棵间蒸发量约占作物总需水量的 40%~60%,现在通常认为棵间蒸发为无效消耗。若地面覆盖一层秸秆,可有效减少土壤中水分向大气的蒸发,从而减少作物总腾发量,提

高作物 WUE^[7]。试验表明(表 2), CK2 常规种植充分灌溉处理水分利用效率极显著($P < 0.01$) 低于其它覆盖处理, 仅为 6.07 kg/m^3 , 且较 CK1 麦草覆盖充分灌溉处理水分利用率低 19.60%。同时, 从图 1 可以看出, CK2 处理的棵间蒸发量远远大于 CK1, CK1 处理的日平均棵间蒸发量保持在 0.85 mm 左右, 且日变化幅度较小, 降雨后由于覆盖层麦草中的水分先蒸散, 麦草下土壤水分蒸发少, 此值逐日呈慢上升趋势, 而 CK2 处理日平均棵间蒸发量在 3.2 mm 左

右, 且在雨后及灌水后蒸发量突变, 整体变化幅度较大(图中灌水情况未标示, CK2 曲线上蒸发量最大的三次即为灌水所致)。可见, 在麦草覆盖处理下, 土壤棵间蒸发被有效抑制。从能量平衡的角度来讲, 秸秆覆盖后, 对太阳辐射的反射率高, 减少了土壤的能量, 降低了扩散进入大气的水汽传导速率, 从而能有效减少土壤蒸发量, 充分地利用有效水量, 增加了作物的蒸腾量^[8]。

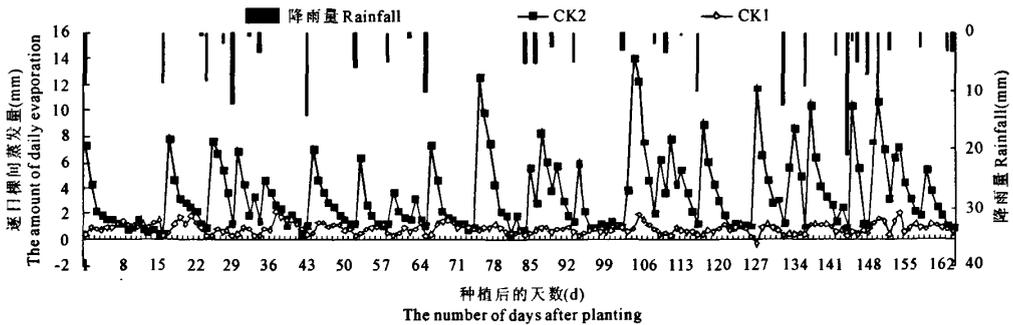


图1 麦草覆盖充分灌溉(CK1)与常规种植充分灌溉(CK2)棵间蒸发对比

Fig.1 Evaporation comparison of full irrigation of straw coverage(CK1) with full irrigation of conventional cultivation(CK2)

2.2 调亏灌溉对麦草覆盖马铃薯产量的影响

Turner^[9]认为, 水分亏缺并不总导致降低产量, 早期适度的水分亏缺在某些作物上有利于增产, 并举例证实有效亏缺的反应。山仑等经过研究也得出了类似结论, 即一定生育阶段、一定程度的水分亏缺可使禾谷类作物在节约大量用水的同时获得较高产量^[1]。另有试验研究表明, 适时适度的调亏灌溉可以不减少或增加产量^[10]。但是调亏灌溉在生产中有一定风险性, 某些作物在某些生育时期轻度水分亏缺即可造成大幅度减产^[11,12], 因此确定作物适宜水分亏缺程度和适宜生育期是正确实施调亏灌溉的关键所在。本试验研究结果表明(表 2), 马铃薯产量在 Y_1 和 CK1 处理下没有显著性差异($P > 0.05$), 而这两者分别与 CK2、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 处理都呈现极显著差异($P < 0.01$), 且以 Y_3 的产量最低。 Y_1 处理下的产量较 CK1 处理没有明显降低, 而耗水量却较 CK1 减少了 $150 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。说明在麦草覆盖马铃薯苗期主动施加 $55\% \theta_f$ 的水分亏缺是在试验范围内适合于麦草覆盖马铃薯高产的最佳水分环境, 有效地利用了自身生理调节和补偿功能。

2.3 调亏灌溉对麦草覆盖马铃薯品质的影响

近年来, 随着以马铃薯为原料的加工产业的快速发展及人们生活水平的提高, 马铃薯育种和生产不只片面追求产量, 而且加强了对块茎加工品质的

改良, 人们对马铃薯的品质的优劣越来越重视。马铃薯块茎是贮藏器官, 块茎内干物质、淀粉、维生素 C 等指标的含量高低直接影响到马铃薯的加工品质和加工工艺。

本试验研究表明, Y_1 (幼苗轻度) 处理马铃薯的干物质含量极显著($P < 0.01$) 高于 Y_3 、 Y_4 和 CK2 处理(表 3), 达到了 22.41%; 淀粉含量极显著($P < 0.01$) 高于 Y_3 处理和 CK2 处理, 显著($P < 0.05$) 高于 Y_4 处理, 值达到了 15.44%; Vc 含量极显著高于其它处理, 达到了 $14.56 \text{ mg}/100\text{g}$ 鲜薯。这正是作物水分调亏的品质效应结果。同时 CK2 处理淀粉含量显著($P < 0.01$) 低于 CK1, Vc 含量极显著低于 CK1。这可能是免耕麦草覆盖栽培技术的效果。

2.4 麦草覆盖免耕栽培马铃薯的生态效应

马铃薯麦草覆盖免耕栽培不用犁耙、下种起垄、中耕除草和挖薯等繁重的工作, 而只是摆种、盖麦草、拣收等简单而轻松的工作, 省工省力。麦草全程覆盖改善了农田小环境, 除调节温度和湿度的作用以外, 还控制了病虫草害的发生, 全生育期内一般不需要施用农药和除草剂, 既达到安全、卫生、无公害目的, 又降低了生产物化成本。麦草覆盖免耕栽培生产的马铃薯, 70% 的薯块生长在麦草中, 薯块带土少, 表皮光滑, 色泽鲜亮, 薯块整齐, 破损率低, 商品性好。

表 3 各处理马铃薯干物质、淀粉、Vc 含量

Table 3 Dry matter, starch, vitamin C content of potato under different treatments

处理 Treatment	干物质含量 Dry matter (%)	淀粉含量 Starch (%)	Vc 含量 Vitamin C content (mg/100g 鲜薯)
Y1	22.41a, A	15.44a, A	14.56a, A
Y2	21.66ab, AB	14.70abc, ABC	12.88b, B
Y3	20.68bc, B	13.73c, C	10.55c, C
Y4	20.26c, B	14.29bc, ABC	10.08c, C
CK1	21.69ab, AB	15.20ab, AB	12.32b, B
CK2	20.91bc, B	13.97c, BC	10.64c, C

注:数据在甘肃农业大学食品科学学院实验室测定。

Note: Data are measured in the lab. of the College of Food Science of Gansu Agricultural University.

保护性耕作技术是近年来农业部在全国组织实施的一项农机化实用技术,其特点是对农田实行免耕、少耕,尽可能减少土壤耕作,并用作物秸秆、残茬覆盖地表,用化学药物来控制杂草和病虫害,从而减少土壤风蚀、水蚀,提高土壤肥力和抗旱能力^[13]。保护性耕作作为先进的农业技术,具有防治农田扬尘和水土流失、蓄水保墒、培肥地力、节本增效、减少秸秆焚烧和温室气体排放、促进农业可持续发展等作用。试验表明(图 1):麦草覆盖免耕马铃薯具有明显的抑蒸保墒作用。同时麦草覆盖改变了河西地区焚烧麦秆的现状,减少了温室气体 CO₂ 的排放量,对于秸秆还田、培肥地力、防治河西地区的扬尘具有一定的作用。另外麦草覆盖栽培由于土壤表面覆盖一层麦草,转移了雨滴的能量,因而可以防止土粒分散、表土板结,从而减轻地表径流。

3 结 论

通过对甘肃省民乐县洪水灌区调亏麦草覆盖条件下马铃薯的水分利用效率、产量、品质等指标的研究,发现在幼苗期轻度调亏(Y₁)处理下,相对于覆盖充分灌溉(CK1)对照,马铃薯的产量没有明显降

低,而耗水量却减少了 150 m³/hm²,较常规不覆盖充分灌溉(CK2)对照,马铃薯的产量增产 1 135 kg/hm²,且耗水量减少 825 m³/hm²,该处理下马铃薯的水分利用效率与其余各处理间存在显著差异($P < 0.05$),其值达到最大,为 7.41 kg/m³,同时干物质含量、淀粉含量、维生素 C 含量值均达到最大,分别为 22.41%、15.44%、14.56 mg/100g 鲜薯。此结果是农艺节水 and 调亏非充分灌溉技术结合的成果。幼苗期轻度水分亏缺是覆盖马铃薯调亏灌溉的最佳时期和调亏程度。

参 考 文 献:

- [1] 康绍忠,蔡焕杰.作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,2002:123—195.
- [2] 蔡焕杰,康绍忠,张振华,等.作物调亏灌溉的适宜时间与调亏程度的研究[J].农业工程学报,2000,16(3):24—27.
- [3] 王和洲,张晓萍.调亏灌溉条件下的作物水分生态生理研究进展[J].灌溉排水,2001,20(4):73—75.
- [4] 史文娟,胡笑涛,康绍忠.干旱缺水条件下作物调亏灌溉技术研究状况与展望[J].干旱地区农业研究,1998,16(2):84—88.
- [5] 康绍忠,梁银丽,蔡焕杰,等.旱区水-土-作物关系及其最优调控原理[M].北京:中国农业出版社,1998:37—66.
- [6] 许振柱,周广胜.农业水分利用率及其对环境和管理活动的响应[J].自然资源学报,2003,18(3):294—303.
- [7] 周凌云.秸秆覆盖对农田土壤物理条件影响的研究[J].农业现代化研究,1997,18(5):311—320.
- [8] 李富宽,姜慧新.秸秆覆盖的作用与机理[J].当代畜牧,2003,(6):38—40.
- [9] Rawson H M, Turner N C. Irrigation timing and sun flowers[J]. Irrigation Science, 1983,(4):167—175.
- [10] Blank man P G, Davies W J. Root to shoot communication in maize plant of the effects of soil drying[J]. Journal of Experimental Botany, 1985,36:39—43.
- [11] 孟兆江,刘安能,庞鸿宾,等.夏玉米调亏灌溉的生理机制与指标研究[J].农业工程学报,1998,14(4):88—92.
- [12] Turner N C, Begg L E. Plant water relationship and adaptation to stress[J]. Plant and Soil,1981,58:97—131.
- [13] 机械专家.保护性耕作在我国已具备推广应用条件[EB/OL]. <http://www.jdol.com.cn/jdnews/170342.html>. 2009-11-10.

Study on regulated deficit irrigation technology for potato covered by straw without tillage

ZHUANG Jian-yuan¹, CHENG Zi-yong^{1*}, HAN Hui-sheng², XIE Rui¹, DONG Zhen-tang², YUAN Pei-hai³

(1. College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070;

2. Administration of Hongshuihe River, Minle, Gansu 734503, China; 3. Department of

Engineering and Architecture, Jiuquan Vocational and Technical College, Jiuquan, Gansu 735000, China)

Abstract: A field experiment was conducted in Hongshuihe River irrigation district in Minle of Gansu in 2008 ~ 2009 to study regulated deficit irrigation technology for potato covered by straw without tillage. The results showed that the yield of straw-covered potato with light water deficit in the seedling stage has no significant decrease compared to that with full irrigation, while the water use efficiency (WUE), dry matter, starch and vitamin C content of straw-covered potato with light water deficit are different from those under other treatments and all the values of these items reach the maximum as 7.41 kg/m³, 22.41%, 15.44% and 14.56 mg/100g fresh potato, respectively. At the same time, the yield and other indexes of straw-covered potato under full irrigation treatment are superior to those under full irrigation in soil ridge treatment of conventional cultivation. All these show that regulated deficit irrigation technology can improve more effectively crop WUE and ameliorate tuber quality and increase yield, and light water deficit in seedling stage is the best period and extent of deficit.

Keywords: potato; regulated deficit irrigation; straw coverage; water use efficiency; quality

(上接第 6 页)

Effects of water deficit irrigation at different growth stages and nitrogen nutrition on the growth of maize

XING Ying-ying, ZHANG Fu-cang*, WANG Xiu-kang

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas of Ministry of Education,

Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: To investigate the effects of water deficit irrigation at different growth stages and nitrogen nutrition on the growth of summer maize, a pot experiment was conducted, including five soil moisture treatments (high soil moisture at the whole growth stages, water deficit at seedling stage, water deficit at jointing stage, water deficit at filling stage, and water deficit at maturing stage) and 4 nitrogen fertilization rates (0, 0.1, 0.3, and 0.5 g/kg soil) that were referred to as N0, N1, N2, and N3 in turn. The results showed that soil water deficit at different growth stages had different inhibition effect on maize growth with different nitrogen fertilization levels. The effect of soil water deficit on shoots was more apparent than root and increased root/shoot ratio (RSR). Water deficit at seedling stage could affect plant height, leaf area and dry matter accumulation, while a compensation effect was apparent after rewatering. Water deficit at jointing stage could obviously affect plant height, leaf area and dry matter accumulation, but had no compensation effect after rewatering. Water deficit at filling stage could not obviously affect plant height but had obvious effects on leaf area and dry matter of plant. Water deficit at maturing stage did not have obvious effect on plant growth. Nitrogen fertilizer had certain influence on the maize growth and the accumulation of dry matter, and 0.1 g/kg soil rate had the best effect on the growth of maize plant under the test soil fertility condition. At jointing stage and filling stage, water and nitrogen interaction had a highly significant influence on shoot dry matter and root dry matter, and had respectively significant and highly significant effect on RSR, while it had no significant effects on various indicators, at seedling or maturing stage

Keywords: maize; water deficit; nitrogen fertilization rate; growth; root/shoot ratio (RSR); dry matter