

补充灌溉对半干旱区马铃薯产量和水分利用效率的影响

张朝巍^{1,2}, 董博^{1,3}, 郭天文^{1,3}, 张东伟¹, 张国宏¹, 陈光荣^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院 旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 农业部 西北作物抗旱栽培与耕作重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 采用随机区组设计, 研究了陇中半干旱区不同补灌时期及补水量对马铃薯产量形成和水分利用效率的影响。结果表明, 苗期补水、现蕾期补水和膨大期补水较对照均能显著提高马铃薯产量; 补水处理水分利用效率(WUE)均高于不补水处理(对照); 其中, 现蕾期补水 3 kg/穴处理产量和水分利用效率增幅最高, 产量和 WUE 分别达 19 178.57 kg/hm² (较对照处理高 21.77%) 和 52.75 kg/(hm² · mm); 与对照相比, 各补水处理普遍优化了马铃薯各产量构成性状, 有利于大薯率和中薯率的提高, 单株结薯数和单株薯产量也较高。因此, 现蕾期为旱地马铃薯需水关键期, 对水分的变化敏感; 现蕾期补水 3 kg/穴, 可以作为半干旱区马铃薯适宜的抗干旱节水高产种植模式。

关键词: 补水; 马铃薯; 产量; 水分利用效率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0049-05

中图分类号: S152.7

Effects of Supplementary Irrigation on Potato Yield and Water Use Efficiency in Semi-Arid Area of Gansu Province

ZHANG Chao-wei^{1,2}, DONG Bo^{1,3}, GUO Tian-wen^{1,3},
ZHANG Dong-wei¹, ZHANG Guo-hong¹, CHEN Guang-rong^{1,2}

(1. *Dry Land of Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China*; 2. *Key Laboratory of Northwest Drought Crop Cultivation and Farming, Key Laboratory Within Ministry of Agriculture People's Republic of China, Lanzhou, Gansu 730070, China*; 3. *Key Laboratory of High Efficiency Water Utilization in Dry Farming Region, Lanzhou, Gansu 730070, China*)

Abstract: Based on field experiments with randomized complete block design in a semi-arid location in Gansu Province, the study examined the effects of the timing and amount of supplementary irrigation on potato yield and water use efficiency(WUE). The result shows that supplementary irrigation at the growth stages had significant impacts on potato yield and WUE. Potato yield and WUE in supplementary irrigation treatments were all higher than those of the controls. The highest yield and WUE achieved in the experiments were 19 178.57 kg/hm², which is 21.77% than that of the control, and 52.7 kg/(hm² · mm), respectively. Compared with the traditional way, supplementary irrigation improved significantly the yield characteristics: higher percentage medium and large tubers, more tuber number per plant, and higher yield per plant. In addition, the results also indicate that budding stage was the most sensitive time of the potato responding to supplementary irrigation, and the optimal supplementary irrigation amount was 3 kg per plant at the budding time. This would be a better cropping management considering both water-saving and high yielding for potato cultivation in semiarid areas.

Keywords: supplementary irrigation; potato; yield; water use efficiency

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 是旱地主要作物之一, 成为陇中半干旱区农业发展的支柱产业。定

收稿日期: 2011-04-25

修回日期: 2011-05-25

资助项目: 甘肃省科技重大专项“中东部旱作地区抗旱节水关键技术创新研究及示范”(0801NKDA017); 农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点实验室开放基金“基于镇原定西两站点气象数据库建设与共享”(HNSJJ-201106); 中加合作 IPNI 资助项目“甘肃主要农业土壤养分管理与平衡施肥”(NMBF-Gansu-2008)

作者简介: 张朝巍(1976—), 男(汉族), 甘肃省白银市人, 学士, 助理研究员, 主要从事旱作栽培和土壤肥料方面的研究。E-mail: 81634777@qq.com。

通信作者: 董博(1981—), 男(汉族), 山东省聊城市人, 博士, 助理研究员, 主要从事旱地农业与农业资源利用方面研究。E-mail: dongbobby@163.com。

西地区是典型的半干旱雨养农业区,土地贫瘠,气候干旱,降雨季节分布不均^[1]。因此,充分利用有限的降水资源,提高水分利用效率(WUE),成为提高该地区马铃薯产量的重要途径。

近年来,水分利用效率(WUE)的研究已成为国内外半干旱和半湿润地区生物学和农业研究的一个热点。美国、澳大利亚、以色列等国都在综合提高水分利用率研究方面取得很大进展,并已在农业生产中发挥了作用^[2-5]。有研究认为,在作物需水关键期进行有限供水是提高 WUE,增加产量的有效节水措施^[6-8],但研究材料多为玉米、小麦,而针对半干旱区大面积种植的马铃薯未见报道。本试验以提高马铃薯产量为出发点,针对黄土高原旱作农区降水主要集中在 7—9 月的特点,重点研究不同补水时期及补水量对马铃薯产量和水分利用率的影响。此项研究有助于确定马铃薯对水分的敏感期和干旱胁迫的高效

补偿期,优化配水制度,提高有限水资源利用率,为推动区域马铃薯战略主导产业的发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试验区概况

试验在甘肃省农业科学院定西唐家堡试验站进行。供试马铃薯品种为陇薯 3 号(甘肃省农业科学院马铃薯研究所育成),该品种适应性广,淀粉含量高,淀粉颗粒大,白度高,黏度强,糊化温度低。比普通品种出粉率高 17.1%~33.3%,属中晚熟品种,生育期 130 d 左右。试验地前茬为豌豆。

试区土壤为黄绵土,耕层基础养分如表 1 所示。试验区年平均降水量 430 mm,年平均气温 6.2 °C,海拔 1 950 m,年辐射总量 5 898 MJ/m²,年日照时数 2 500 h,≥10 °C 积温 2 075.1 °C。试区为典型的半干旱生态类型。

表 1 试区土壤基础养分(0—30 cm)

有机质/ %	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
1.35	0.90	0.82	21.45	67.20	13.40	238.00

1.2 试验方法

采用随机区组设计,10 个处理(表 2),3 次重复。补水方法为穴补,补水时间为苗期 0506,现蕾期 0607,膨大期 0109。小区面积 28 m²(5.6 m×5 m),小区间距 80 cm,区组间及保护行设 80 cm 走道。行距 60 cm,株距 28 cm,每小区播 8 行,168 株(60 000 株/hm²)。2006 年 4 月 24 日人工等距点播,6 月 5 日出苗,7 月 2 日至 7 月 10 日现蕾,7 月 12 日至 8 月 10 日花期,8 月 10 日至 9 月 2 日块茎膨大期,9 月 2 日后进入块茎成熟期,10 月 10 日收获,生育期大约 130 d(各时期记录以该时期植株达到田间植株的 75% 以上)。马铃薯生育期间管理同一般大田。播前将 127 kg/hm² 尿素(含 N 46%),590 kg/hm² 过磷酸钙(含 P₂O₅ 14%)和 30 000 kg/hm² 的有机肥均以基肥形式施入。

1.3 降水量测定

根据试验站自动气象站获得近 10 a 气象资料。2006 年,马铃薯生育期(4 月 24 日到 10 月 25 日)的总降水量为 390 mm,≥3 mm 的降水为 360.6 mm,为总降水量的 92.4%。

土壤水分测定 采用烘干法测定马铃薯出苗到收获期的土壤水分含量,其中,苗期、现蕾期、膨大期水分分别为补水 15 d 后的水分含量。取样深度 100 cm,每隔 20 cm 取一个样。

表 2 试验处理及补水量

处理	补水时期	单穴补水量/kg	折合补水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	折合补水量/mm
A _{0.5}		0.5	30	3
A ₁	苗期(0605)	1.0	60	6
A _{1.5}		1.5	90	9
B ₁		1.0	60	6
B ₂	现蕾期(0708)	2.0	120	12
B ₃		3.0	180	18
C _{1.5}		1.5	90	9
C ₃	膨大期(0828)	3.0	180	18
C _{4.5}		4.5	270	27
CK		对照(不补水)	0	0

注:括号中为补水日期。

作物田间耗水量计算 本文采用农田水分平衡法计算作物田间实际蒸散量 E_{Ta} ,由于试验小区平整,地下水位深,土层深厚及土壤质地均一,很少产生深层渗漏,地下水补给和水分的水平运动^[9]。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:

$$E_{Ta} = P - V + I \pm \Delta W$$

式中: P ——生育期内降水量; V ——日降水量或一次降水量小于某一界限值时的无效降水量,本文指一次降水量 < 3 mm 的降水; I ——农田灌水量; ΔW ——某一时段农田土壤贮水变化量。施成熙^[10]

研究认为,当日(或一次)降水量在 3 mm 左右时,其大致与作物对降水的截留量相等,本文将小于 3 mm 的日(或一次)降水量视为无效降水量。

作物产量及水分利用效率计算。在马铃薯块茎充分成熟期收获(10 月 10 日),每小区随机捡取 10 穴马铃薯,记录个数和重量,并换算小区产量,折合公顷产量。结合马铃薯产量、生育期耗水量和灌水量,计算各处理的水分利用效率(WUE)。水分利用效率(WUE)=经济产量/生育期总耗水量。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理,用 DPS 7.05 统计软件进行方差分析,用 LSD 法进行差异显著性多重比较($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 降水条件分析

降水不足和季节分布不均是农业生产的重大限制因素。试区为典型的半干旱农业区,降水多集中于 7—9 月。10 a 平均值 325 mm,生育期降水的变率很

大,10 a 平均降水的变异为 32.4%,尤其是 6—9 月份。因此,陇中旱区降水年际间变率大且季节分布不均,尤其是春旱最易发生。在底墒不足、苗期土壤严重缺水及降水较少的情况下,幼苗根系较弱、吸收能力差,苗期开始补水可有效改变土壤水分蓄存量,抵御干旱胁迫,对确保苗齐、苗壮具有重要意义。因此,补水时期设置为苗期、现蕾期、膨大期。

2.2 补水对旱地马铃薯产量和水分利用效率的影响

2.2.1 不同的补水时期和补水量对产量和产量构成的影响 对产量结果进行方差分析,从多重比较结果可以看出(表 3),在马铃薯现蕾期单穴补水 3 kg 的处理 B_3 产量最高 19 178.57 kg/hm²,整个生育期不补水处理 CK 的产量最低。以全生育期不补水处理 CK 为对照与其它各处理相比较,补水处理的产量与 CK 达到差异显著水平,尤其以现蕾期补水产量增幅较大, B_3, B_2, B_1 分别比对照增产 21.77%,17.23%,14.74%,表明现蕾期对补充灌溉最敏感,为马铃薯需水关键期。这是因为这一时期是作物生殖生长与营养生长并进时期,对水分需求旺盛。

表 3 不同的补水时期和补水量对产量和产量构成的影响

处理	穴薯数/ 个	穴薯重/ g	商品薯率/ %	小区平均产量/ kg	折合产量/ (kg·hm ⁻²)	比对照增产/ %
$A_{0.5}$	4.1	334	46.3	47.5	16 964.30de	7.71
A_1	3.9	350	56.4	47.2	16 857.15de	7.03
$A_{1.5}$	4.1	378	55.7	46.4	16 571.43e	5.22
B_1	4.2	348	53.2	50.6	18 071.40bc	14.74
B_2	4.5	347	46.7	51.7	18 464.30b	17.23
B_3	4.6	343	44.9	53.7	19 178.57a	21.77
$C_{1.5}$	3.6	336	54.6	47.2	16 857.13de	7.03
C_3	4.0	313	50.0	48.2	17 214.30de	9.30
$C_{4.5}$	3.6	360	54.2	48.9	17 464.30cd	10.88
CK	3.8	282	42.5	44.1	15 750.00f	—

注:商品薯率为 ≥ 50 g 的比率;表中小写字母分别表示 $p=0.05$ 显著水平。下同。

从表 3 还可以看出,苗期补水处理($A_{0.5}, A_1, A_{1.5}$)较对照增产 7.71%,7.03%,5.22%,表明苗期补水能显著提高马铃薯产量。但随着补水量的增加,增幅降低,这可能与试区降雨量季节分布不均所致,适度补水能促进根系生长,提高作物产量,但补水量过大会妨碍马铃薯根系,降低后期抗旱能力,增加耗水,不利于产量形成。补水处理($C_{4.5}, C_3, C_{1.5}$)比对照增产 10.88%,9.30%,7.03%。补水对旱地马铃薯的穴薯重和商品薯率也有很大的影响,在试验中,各补水处理的穴薯重和商品薯率都较对照有较大幅度提高。

2.2.2 马铃薯生育期土壤水分变化情况 由图 1 可知,不同处理马铃薯田 0—100 cm 土壤含水量在不同

生育时期的变化规律基本一致。苗期补水后,至 6 月 20 日降雨量 40 mm,由于幼苗营养体较小植株耗水量不大,以苗期补水 A_3 处理土壤水分含量最高,其它各处理间差异不显著。现蕾期是地上地下部分开始同步生长的重要时期,需水量较大,补水后至 7 月 23 日降雨量仅 18.9 mm,各处理土壤含水量下降明显,土壤含水量并未呈现随补水增加的趋势;相反,现蕾期补水处理较其它处理土壤水分下降明显,但与对照处理差异不显著。整个膨大期降雨共 84.1 mm,与该时期作物需水特性正好吻合,随补水量的增加,膨大期补水与苗期补水呈现相同的分布趋势,且差异不显著。现蕾期补水各处理土壤含水量,除 B_1 略高于 C_1 处理外,均低于其它各处理,这主要因为,现蕾期补水

促进了马铃薯地上及地下部块茎的生长,作物耗水量较高所致。

表 4 表明,马铃薯全生育期土壤含水量在苗期、膨大期补水后有较大幅度的升高,在现蕾期补水后土壤含水量却有较小幅度的下降,这与试验年度马铃薯生育期内降雨量以及作物各个生育期耗水量有关。在马铃薯生育期,受降雨、补水及蒸发蒸腾的综合影响,各处理的土壤水分呈波动性变化,与播种期相比,收获期

处理 $A_{0.5}, A_1, A_{1.5}, B_1, B_2, B_3, C_{1.5}, C_3, C_{4.5}$ 和 CK 0—100 cm 土层的含水量分别下降了 1.89%, 2.03%, 1.27%, 3.02%, 2.8%, 2.5%, 3.1%, 0.83%, 1.76% 和 1.52%。5, 8 月份较大的降雨量和 6, 9 月份的补水加降雨, 均使 0—100 cm 土层的含水量有较大幅度的提高, 形成明显的 2 个峰值。7 月份有最大的降雨量, 但 7 月份补水后土壤含水量却出现了谷值, 与该期是水分关键期, 作物需水量大, 蒸发蒸腾量大有关。

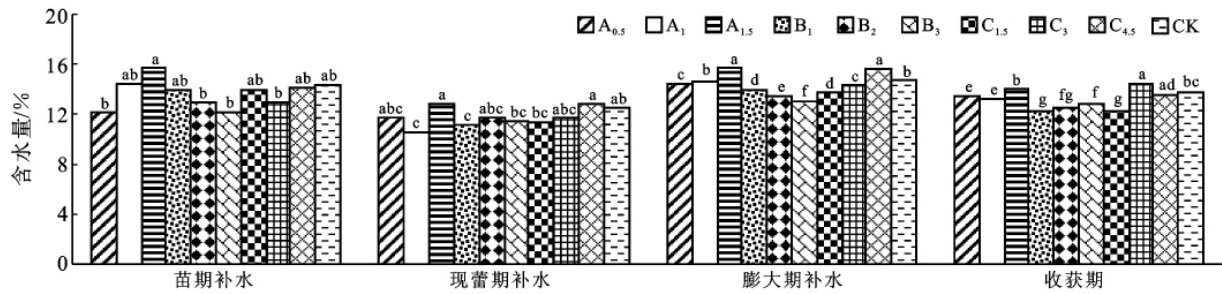


图 1 马铃薯补水期各处理土壤水分变化

表 4 马铃薯整个生长期各处理土壤水分变化 %

处理	播前	补水前	苗期 补水	现蕾期 补水	膨大期 补水	收获期
$A_{0.5}$	15.29	12.5	12.15	11.79	14.38	13.40
A_1	15.29	12.5	14.45	10.56	14.60	13.26
$A_{1.5}$	15.29	12.5	15.74	12.84	15.69	14.02
B_1	15.29	12.5	13.92	11.15	13.89	12.27
B_2	15.29	12.5	12.96	11.74	13.46	12.49
B_3	15.29	12.5	12.17	11.45	13.03	12.79
$C_{1.5}$	15.29	12.5	15.97	11.34	13.77	12.19
C_3	15.29	12.5	12.89	11.74	14.28	14.46
$C_{4.5}$	15.29	12.5	14.14	12.85	15.64	13.53
CK	15.29	12.5	14.32	12.51	14.73	13.77

2.2.3 不同的补水量对马铃薯的水分利用效率的影响 从实验所得马铃薯水分利用情况(详见表 5)可以看出,处理 $C_{4.5}$ 的总耗水量最大,为 379.6 mm;在苗期、现蕾期和膨大期,同一时期总耗水量均随补水量的增加而上升,但是水分利用效率并未随补水量的增加而增加。

水分利用效率以处理 B_3 为最高,达到了 52.71 kg/($\text{hm}^2 \cdot \text{mm}$),以 CK 为最低,为 44.45 kg/($\text{hm}^2 \cdot \text{mm}$);现蕾期补水的结果,旱地马铃薯的水分利用效率均显著高于苗期和膨大期各处理的水分利用效率。

表 5 马铃薯水分利用情况

处理	总补水量/ mm	有效降水量/ mm	贮水变化量/ mm	总耗水量/ mm	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	水分利用效率/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$)
$A_{0.5}$	3	360.6	9	354.6	16 964.30	47.84b
A_1	6	360.6	11	355.6	16 857.15	47.40bc
$A_{1.5}$	9	360.6	4	365.6	16 571.43	45.33d
B_1	6	360.6	18	348.6	18 071.40	51.84a
B_2	12	360.6	17	355.6	18 464.30	51.90a
B_3	18	360.6	15	363.6	19 178.57	52.75a
$C_{1.5}$	9	360.6	20	349.6	16 857.13	48.22b
C_3	18	360.6	1	377.6	17 214.30	45.59d
$C_{4.5}$	27	360.6	8	379.6	17 464.30	46.01cd
CK	0	360.6	6	354.6	15 750.00	44.41d

注:苗期和膨大期补水能显著增产,但 $A_{1.5}, C_3, C_{4.5}$ 处理的水分利用效率与对照比较未达到显著差异。

3 讨论

一些研究认为^[7,11-12],在作物需水期进行有限供

水是水分利用效率,增加产量的有效措施。马铃薯对水分亏缺非常敏感^[13],在生育期的各个阶段,对水分的需求及缺水对正常生长及产量的影响各不相

同。有关干旱胁迫的研究未将苗期胁迫作为对象^[13-14],有研究认为马铃薯最佳补水时期为盛花期^[15],也有研究认为最佳补水时期为苗期^[16]。本研究发现,在底墒不足、土壤严重缺水及降水较少的苗期,适度补水能显著提高马铃薯产量和水分利用效率,但苗期补水量过大会造成作物增产幅度下降;在块茎形成期减少水分胁迫,可增加马铃薯块茎的数量^[12],膨大期需水量是整个生育期的1/2以上,此时水分亏缺将严重影响马铃薯的产量和品质,虽试区降水量集中在7—9月,但该时期有效降水量明显不足,所以补水效果明显,随补水量增加,马铃薯产量和水分利用效率提升;现蕾期补水较苗期和膨大期补水更有利于提高水分利用效率,提高单位面积产量。因此,笔者认为现蕾期为马铃薯需水关键期,这与王志奇^[15]研究结果基本一致。由于试验开展年限较短,有关补水对马铃薯光合特性及水肥耦合对旱地马铃薯水分利用效率等的影响有待进一步研究。

4 结论

本研究发现,试区降水量虽集中在7—9月,但该时期有效降水量明显不足,在马铃薯生育期补水能显著提高马铃薯产量,但苗期补水量不宜过大,以0.5 kg/穴为宜;膨大期随着补水量的增加,马铃薯产量显著增加,但水分利用效率出现先降低后增加的趋势,膨大期最佳补水量有待进一步研究。本试验还表明,生育期补水,总耗水量均随补水量的增加而上升。

现蕾期补水较苗期和膨大期补水,更有利于提高水分利用效率,提高单位面积产量,表明现蕾期为马铃薯需水关键期。现蕾期补水3 kg/穴,马铃薯水分利用效率与产量均达到最优,分别为52.75和19 178.57 kg/hm²。

[参 考 文 献]

- [1] 姚玉璧,王润元,邓振镛,等.黄土高原半干旱区气候变化及其对马铃薯生长发育的影响[J].应用生态学报,2007,18(8):1877-1885.
- [2] Munns R, Pearson C J. Effect of water deficit on translocation of carbohydrate in *Solanum tuberosum* [J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1974,1(4):529-537.
- [3] 山仑.植物水分利用效率和半干旱地区农业用水[J].植物生理学通讯,1994,30(1):61-66.
- [4] 刘东柱.国外马铃薯的栽培特点及其发展趋势[J].马铃薯杂志,1989,3(3):181-183.
- [5] Bodlaender K B A, Lugt C, Marinus J. The induction of second-growth in potato tubers [J]. Potato Research, 1964,7(1):57-71.
- [6] 秦舒浩,张俊莲,王蒂,等.黄土高原西部旱农区不同品种马铃薯集雨限灌效应[J].应用生态学报,2009,20(11):2665-2670.
- [7] 刘存寿,谷洁,方日尧.灌溉对渭北塬区冬小麦水分利用效率与增产潜力的影响[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):90-93.
- [8] 高世铭,朱润身,何宝林.旱地作物有限补充供水与覆盖保水效果研究[J].西北农业学报,1995,4(2):59-63.
- [9] 杨文治,绍明安.黄土高原土壤水分研究[M].北京:科学出版社,2000:107-111.
- [10] 施成熙.陆地水文学(上册)[M].北京:科学出版社,1959:56-59.
- [11] 赵宝平,庞云,曾昭海,等.有限灌溉对燕麦水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):105-109.
- [12] 王延宇,王鑫,赵淑梅,等.玉米各生育期土壤水分与产量关系的研究[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):100-105.
- [13] 门福义,刘梦芸.马铃薯栽培生理[M].北京:中国农业出版社,1995:318-320.
- [14] 王惠群,萧浪涛.矮壮素对马铃薯磷素营养动态变化和产量的影响[J].核农学报,2008,22(2):218-222.
- [15] 王志奇.旱地整薯窝种马铃薯补水补肥试验[J].中国马铃薯,2004,18(5):276-277.
- [16] 陈光荣,郭天文,高世铭,等.水肥对旱区马铃薯水分利用率的影响[J].核农学报,2010,24(1):142-148.