

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2011.00138

陇中半干旱区马铃薯集雨限灌效应研究

秦舒浩¹ 张俊莲^{1,*} 王 蒂^{1,*} 肖洪浪¹ 蒲育林²

¹ 甘肃农业大学农学院 / 甘肃省干旱生境作物学重点实验室 / 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃兰州 730070; ² 定西市旱作农业研究所, 甘肃定西 743300

摘 要: 采用大田试验与实验室分析相结合的方法, 研究了集雨限灌对旱作马铃薯田蒸散量、灌水利用率、产量、产量性状及薯块品质的影响。结果表明, 集雨限灌 45 mm 条件下马铃薯水分利用效率(WUE)显著提高, 在此基础上增加灌水量, WUE 降低; 苗期限灌处理的 WUE 和灌水利用效率(IWUE)均高于薯块膨大期; 苗期限灌 45 mm 处理综合用水效率较高。限灌可提高旱作马铃薯产量、大薯率与中薯率, 降低小薯率, 苗期限灌有利于大薯率的提高, 薯块膨大期限灌有利于中薯率的提高; 限灌降低马铃薯单株结薯数, 可提高单株薯产量; 超过 45 mm 后随限灌量的增加, 产量增加不显著, 绿薯率和烂薯率显著增加。限灌能降低马铃薯薯块淀粉含量, 提高薯块蛋白质含量。苗期限灌 45 mm 为半干旱区马铃薯最佳集雨限灌模式。

关键词: 集雨限灌; 旱作马铃薯; 产量效应; 水分效应; 薯块品质

Effects of Limited Supplemental Irrigation on Potato in the Semiarid Areas of Middle Gansu Province

QIN Shu-Hao¹, ZHANG Jun-Lian^{1,*}, WANG Di^{1,*}, XIAO Hong-Lang¹, and PU Yu-Lin²

¹ College of Agronomy, Gansu Agricultural University / Gansu Key Laboratory of Aridland Crop Science / Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730070, China; ² Dingxi Institute of Rain-Fed Agriculture, Dingxi 743300, China

Abstract: Water supply scarcity is the main limiting factor for sustainable agriculture development in semiarid areas on the Western Loess Plateau. Because of imbalance for rainfall distribution, yield and water use efficiency (WUE) of potato, one of the dominant crops in middle Gansu province, are relatively low. To optimize supplemental irrigation system using limited catchment rainfall for rain-fed potato in the area, field experiments were carried out in 2008–2009 to determine evapotranspiration, WUE, yield, yield traits and quality of rain-fed potato under different supplemental irrigation amounts and timings. The results showed that WUE of potato increased significantly in the supplemental irrigation treatment of 45 mm, and decreased with increasing of irrigation amount. WUE and irrigating water use efficiency (IWUE) of potato were higher with supplemental irrigation at the seedling than the tuber expanding stage. WUE and IWUE were the highest under the 45 mm of irrigation at the seedling stage. Yield, rates of bigger tuber and middle tuber in rain-fed potato were increased, and small tuber rates were decreased by supplemental irrigation. Big tuber rates were increased by supplemental irrigation at the seedling stage, while medium tuber rates were increased by supplemental irrigation at the tuber expanding period. Potato numbers per plant were decreased, but tuber yield per plant was increased by supplemental irrigation. With increasing of irrigation amount, the yield of potato was not increased significantly, but green tuber rate and blet tuber rate were increased significantly. Starch content of potato was reduced, while protein content of tuber was increased by supplemental irrigation. Supplemental irrigation of 45 mm at seedling is optimal irrigation system for rain-fed potato in the area.

Keywords: Limited supplemental irrigation using catchment rainfall; Rain-fed potato; Yield effect; Water effect; Tuber quality

水分匮乏是旱作农业持续高效发展的主限因子, 以暴雨形式出现, 使该区特色优势作物马铃薯的产量长期处于较低水平, 生产效能低下, 水资源利用

本研究由现代农业产业技术体系建设专项(nycytx-15), 甘肃省教育厅项目(0902B-06), 甘肃省自然科学基金项目(096RJZA009), 农牧厅科技创新项目和甘肃省干旱生境作物学重点实验室开放基金课题(GAU-CX1009)资助。

* 通讯作者(Corresponding authors): 王蒂, E-mail: wangdi@gsau.edu.cn; 张俊莲, E-mail: zhangjunlian99@yahoo.com.cn

第一作者联系方式: E-mail: qinsh@gsau.edu.cn, Tel: 0931-7632418

Received(收稿日期): 2010-05-08; Accepted(接受日期): 2010-09-08.

效率也不高^[1-2]。目前国外对雨水的高效利用在以色列、美国、德国、澳大利亚及非洲诸多国家已取得许多有价值的成果^[3-5]。我国于 20 世纪 90 年代提出了集水农业的概念^[6]，以降雨径流调控为技术手段，以提高天然降水利用率和利用效率为核心的雨水利用技术，逐渐受到关注与重视。甘肃省在中东部干旱缺水地区率先开展了作物集雨补灌试验研究；几乎同一时期，地处黄土高原半干旱区的宁夏、内蒙古、陕西、山西等省(区)也相继开展了该项研究。并陆续在春小麦、玉米^[7-8]等大田作物及温室辣椒^[9]、西瓜^[10]上进行了深入研究，并确定了春小麦和玉米等作物的最适限灌定额和最佳限灌时期，取得了较好效果；马铃薯苗期补水和施钾量互作研究表明，苗期补 900 m³ hm⁻² 水，施钾量为 150 kg hm⁻² 时，能提高其产量和水分利用效率^[11]；试管和盆栽水平研究表明，水分胁迫对马铃薯生长及生理特性具有显著影响^[12-13]，王琦等^[14]研究确定了旱作马铃薯微垄覆膜集雨种植模式。而目前对旱作马铃薯集雨限灌效应尚缺乏系统研究，在限灌时期和限灌量上均比较模糊。因此，本研究针对陇中半干旱区降雨不均、变率大及相对集中等特点，通过修建、修复集流面及集雨设备集蓄雨水，在马铃薯苗期和薯块膨大期进行有限水限量补灌，研究不同年度集雨限灌对旱作马铃薯田水分蒸散特征、产量形成及品质的影响，以期为提高旱区马铃薯产量、品质、用水效率及完善集雨农业理论与技术体系提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试地区概况

试验于 2008 和 2009 年两个生长季的 4~11 月份

在甘肃省定西市旱农研究所试验站进行。该区为典型的半干旱雨养农业区，生产力水平较低。土壤类型为黄绵土，土层深厚，肥力均匀，贮水性能良好，凋萎含水率 7.3%，土壤肥力中等。年均辐射 592.85 kJ cm⁻²，年均气温 6.4℃，10℃ 积温 2 239.1℃，年均降水量 415.2 mm，年蒸发量 1 531 mm，干燥度 2.53，2007—2009 年降雨量及近 10 年平均降雨量如表 1 所示。

1.2 试验设计

采用自建和修复的雨水集流场及蓄水窖集蓄雨水，以当地主栽马铃薯品种同薯 23 为供试材料，在苗期和薯块膨大期进行有限水补偿灌溉，灌溉方式为喷灌，用水表计量。

试验设水分和灌水时期 2 个因素，其中灌溉时期为苗期和薯块膨大期，2008 年设 5 个处理，T1 为对照(全生育期不灌水)；T2 为苗期灌 45 mm；T3 为苗期灌 90 mm；T4 为薯块膨大期灌 45 mm；T5 为薯块膨大期灌 90 mm。2009 年除处理 T1 到 T5 与 2008 年相同外，增加两个处理，把等量水分在苗期和薯块膨大期进行分次限灌，T6 为苗期+薯块膨大期灌 45 mm；T7 为苗期+薯块膨大期灌 90 mm。

两年度马铃薯播种期均为 5 月 4 日，播深为 12 cm；2008 年苗期 6 月 26 日灌水，薯块膨大期 8 月 22 日灌水；2009 年苗期 6 月 22 日灌水，薯块膨大期 8 月 27 日灌水。采用随机区组设计，3 次重复。小区面积为 6.9 m×7.1 m，株距 30 cm，行距 70 cm；处理间距为 80 cm，区组间距为 120 cm，试验小区周边均留出 100 cm 的保护带。播前施马铃薯专用肥 750 kg hm⁻² (N P₂O₅ K₂O=8 7 10)，并同时基施优质有机肥 30 m³ hm⁻²。

表 1 试验区 2007—2009 年及近 10 年平均降雨量年内分布
Table 1 Precipitation in 2007–2009 and the average for the last ten years in experimental area

月份 Month	降雨量 Precipitation (mm)			近 10 年平均降雨量 Average precipitation for recent ten years (mm)	变异系数 Coefficient of variance (%)
	2007	2008	2009		
1	2.6	14.2	2.1	3.3	81.2
2	0	6.1	9.5	4.6	82.8
3	28.6	4.8	11.9	12.1	66.2
4	23.6	24.2	18.0	28.0	66.4
5	9.6	23.8	24.9	44.6	61.8
6	65.8	75.2	22.3	53.4	44.6
7	69.6	43.1	85.3	77.4	56.9
8	95.6	103.7	97.4	82.6	42.7
9	69.9	83.1	10.7	49.5	52.7
10	12.0	36.8	38.2	28.5	55.2
11	6.5	7.2	0	4.2	68.7
12	3.4	5.0	0	6.2	56.3

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤含水量 用土钻取土烘干法测定, 马铃薯出苗后每 15 d 测定 1 次, 深度为 150 cm, 其中 0~30 cm 每 10 cm 一层, 30 cm 以下每 20 cm 一层。

1.3.2 农田蒸散量(ET) 采用测定土壤含水量计算作物耗水量的方法^[15]。

$$ET_{1-2} = 10 \sum \gamma_i H_i (\theta_{i1} - \theta_{i2}) + M + P_0 + K \quad (i = 1, \dots, n) \quad (1)$$

式中, ET_{1-2} 为阶段耗水量; i 为土层编号; n 为总土层数; γ_i 为第 i 层土壤容重; H_i 为第 i 层土壤厚度; θ_{i1} 和 θ_{i2} 分别为第 i 层土壤时段初和时段末的含水量, 以占干土重的百分数计; M 为时段内的灌水量; P_0 为有效降水量; K 为时段内的地下水补给量。当地下水埋深大于 2.5 m 时, K 值可以不计, 中子水分仪监测当限灌 90 mm 时下界面无渗漏发生; 本试验的地下水埋深在 50 m 以下, 因此地下水补给忽略不计。

1.3.3 产量和产量构成性状 按小区单收计产, 并折合成公顷产量(Y); 每小区取 10 株考种, 分析大薯率、中薯率、小薯率、绿薯率、烂薯率、单株结薯数及单株薯重量。评价标准为, 大薯 250 g 以上, 中薯 50~250 g, 小薯 50 g 以下; 薯块出现绿色即记为绿薯。

1.3.4 水分利用效率(WUE)、灌水利用效率(IWUE)和土壤贮水量 $WUE = Y/ET_a$, Y 为马铃薯产量, ET_a 为全生育期实际蒸散量; $IWUE = (Y_{\text{限灌处理}} - Y_{\text{对照}})/\text{限灌}$

量; 土壤贮水量(mm) = 质量含水量(%) \times 土壤容重($g\ cm^{-3}$) \times 土层厚度(mm)。

1.3.5 土壤容重 采用坑测法^[16], 在试验地的保护区挖一深度为 180 cm 的土壤剖面, 用体积为 200 cm^3 的环刀每 10 cm 为一层分层取样, 测定深度为 150 cm, 每层重复 3 次, 测定相应层次的土壤容重($g\ cm^{-3}$)。

1.3.6 品质指标 用半微量凯氏定氮法测定蛋白质含量; 蒽酮硫酸法测定淀粉含量。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据; 用 DPS 7.05 统计软件进行方差分析, 并用 LSD 法进行差异显著性多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同处理对马铃薯收获后土壤水分指标及水分利用率的影响

由表 2 可知, 在 2008 和 2009 两个生长季, 限灌处理马铃薯收获后土壤贮水量和农田蒸散量(ET)均不同程度地高于对照(T1), 且在同一时期随灌水量增加收获后土壤贮水量和 ET 均明显增加。在相同水量下, 苗期限灌处理收获后土壤贮水量显著低于薯块膨大期, 苗期+薯块膨大期限灌处理居中, 苗期限灌处理的

表 2 集雨限灌条件下马铃薯田总蒸散量(ET)、水分利用效率(WUE)和灌水利用效率(IWUE)

Table 2 Total evapotranspiration (ET), water use efficiency (WUE) and irrigating water use efficiency (IWUE) of potato under limited irrigation using catchment rainfall

处理 Treatment	播前土壤贮水量 Soil water storage at sowing (mm)	收获后土壤贮水量 Soil water storage after harvesting (mm)	补灌量 Supplementary irrigation amounts (mm)	蒸散量 ET (mm)	水分利用效率 WUE ($kg\ hm^{-2}\ mm^{-1}$)	灌水利用效率 IWUE ($kg\ hm^{-2}\ mm^{-1}$)
2008						
T1	221.25	269.58 c	0	279.37 c	151.55 b	—
T2	221.25	269.67 c	45.00	324.78 b	153.49 a	166.89 a
T3	221.25	297.88 b	90.00	341.07 a	150.47 b	99.79 b
T4	221.25	308.63 a	45.00	285.32 c	153.00 a	29.21 c
T5	221.25	312.21 a	90.00	336.74 a	130.75 c	18.78 d
2009						
T1	137.10	151.39 c	0.00	353.40 c	114.64 bc	—
T2	137.10	151.95 c	45.00	368.90 b	117.15 a	59.88 a
T3	137.10	157.40 b	90.00	397.40 a	109.91 d	35.12 b
T4	137.10	155.27 b	45.00	354.50 c	114.39 bc	0.86 d
T5	137.10	170.71 a	90.00	384.10 a	109.86 d	18.70 c
T6	137.10	158.04 b	45.00	361.80 bc	112.35 c	2.90 d
T7	137.10	166.38 a	90.00	398.40 a	114.84 b	58.20 a

同栏数据后的字母不同表示其差异达到 0.05 显著水平。

Values followed by different letters in the same column are significantly different at $P = 0.05$.

ET 高于薯块膨大期。2008 年, 处理 T2、T3、T4 和 T5 的 ET 较 T1 分别提高 16.25%、22.09%、2.13% 和 20.54%, 2009 年, 处理 T2 到 T7 的 ET 分别比 T1 提高 4.37%、12.44%、0.31%、8.68%、2.36% 和 12.74%。对于 WUE, 2 个生长季均以苗期限灌 45 mm 处理的最高, 与 T1 相比, 2008 年提高 1.28%, 2009 年提高 2.19%。苗期限灌处理的 IWUE 均显著高于薯块膨大期, 等量水分次限灌低于苗期一次性限灌而高于薯块膨大期一次性限灌; 在灌水量上两年度没有明显的规律性。

2.2 各处理马铃薯田不同时段蒸散量(ET)比较

由图 1 可知, 在灌苗期水之前, 各处理农田 ET

在两个生长季差异均不显著; 苗期灌水之后, 灌水处理 T2、T3、T6 和 T7 的 ET 显著高于不灌水处理, 灌水 90 mm 的处理高于灌水 45 mm 的处理, 灌水 22.5 mm 的处理最低, 处理间的差异水平不同年度存在差异; 之后随薯块膨大期水的灌入, T4、T5、T6 和 T7 的 ET 增大, 且高额限灌高于低额限灌; 到生长末期, 由于不同处理地面覆盖度不同, 不同年度间表现出不同的规律性; 2008 年, T1、T2 和 T3 显著高于 T4 和 T5, 低额限灌高于高额限灌, 苗期限灌与 T1 差异不显著, 而薯块膨大期限灌则显著低于 T1; 2009 年, 低额限灌显著高于 T1, 而高额限灌与 T1 间差异不显著, 薯块膨大期限灌略高于其他限灌时

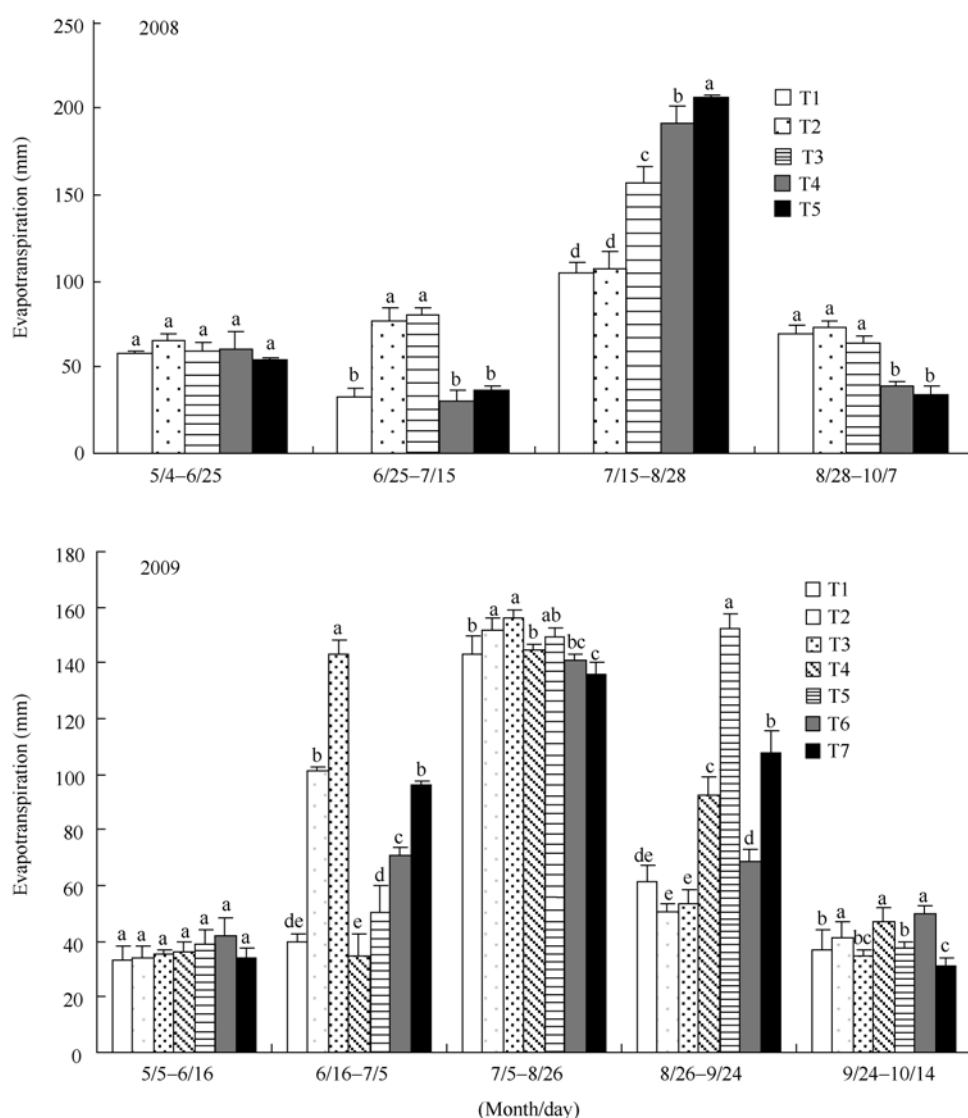


图 1 各处理马铃薯田不同时段蒸散量

Fig. 1 Evapotranspiration of potato under different treatments at the different stages

柱状图上的字母不同表示显著水平达到 0.05。

Band subscribed by different letters are significantly different at $P < 0.05$.

期。所以, 总体来看, 马铃薯田 ET 的高低取决于土壤水分含量的高低, 在马铃薯生长的前中期高额限灌高于低额限灌, 末期低额限灌高于高额限灌。

2.3 不同处理马铃薯产量构成性状分析

表 3 表明, 集雨限灌明显降低了薯块小薯率, 提高了大薯率与中薯率总和; 总体来看, 苗期限灌的大薯率高于薯块膨大期, 而等量水分次限灌处理的大薯率最高, 薯块膨大期限灌的中薯率最高, 低额限灌高于高额限灌, 小薯率在限灌时期上规律不明显。与 T1 相比, 2008 年苗期限灌处理的大薯率分别提高了 35.25% (45 mm) 和 23.36% (90 mm), 薯块膨大期限灌处理的小薯率则分别降低了 23.80% 和 3.54%。由此可见, 等量水分苗期限灌及分次限灌有利于大薯率的提高, 而薯块膨大期限灌则有利于中薯率的提高。

除 T2 之外, 限灌处理的绿薯率和烂薯率均不同程度地高于 T1, 且薯块膨大期高于苗期。2008 年苗期限灌处理的单株结薯数减少, 而薯块膨大期限灌处理的增多, 2009 年限灌处理的单株结薯数均降低。限灌处理的单株薯产量均不同程度提高。

2.4 不同处理马铃薯产量表现

表 4 表明, 集雨限灌能显著提高旱作马铃薯的产量水平。限灌处理与 T1 相比, 2008 年薯块产量增幅为 3.99%~21.21%, 而生物产量增幅为 2.67%~

13.91%。处理间产量为 T3>T2>T5>T4>T1, 其中 T3 增产率达 21.21%, T4 增产率为 3.91%。2009 年薯块产量增幅为 0.10%~12.93%, 生物产量增幅为 0.10%~7.21%, 低于 2008 年。两个生长季产量高额限灌均高于低额限灌, 但差异不显著, 苗期限灌显著高于薯块膨大期; T7 产量显著高于 T1 和 T6。

2.5 不同处理马铃薯薯块蛋白质与淀粉含量

表 5 表明, 集雨限灌条件下马铃薯薯块中淀粉含量下降(T6 升高, 与 T1 间差异不显著), 且随水量的增大而降低, 其中苗期灌 45 mm 的处理与 T1 相比没有显著降低; 苗期限灌的平均值略低于薯块膨大期, 等量水分次限灌的最高, 但灌水时期间差异均不显著。说明淀粉含量的高低只与限灌与否及限灌量的高低有关, 而可能与限灌时期关系不密切。限灌条件下各处理马铃薯薯块中蛋白质含量升高(T5 降低, 与 T1 间差异不显著), 两个生长季 T2、T6 与 T1 间差异均达显著水平。可见集雨限灌尤其是苗期低额限灌有利于马铃薯块茎中蛋白质的形成, 能提高薯块中蛋白质含量。

3 讨论

在水资源匮乏的半干旱雨养农业区, 在水分管理上必须考虑充分提高有限水资源的利用效率, 寻找作物产量、ET 和 WUE 的最佳结合点。现有研究

表 3 集雨限灌条件下马铃薯产量构成性状
Table 3 Yield traits of potato under limited irrigation using catchment rainfall

处理 Treatment	大薯率 Big tuber rate (%)	中薯率 Medium tuber rate (%)	小薯率 Small tuber rate (%)	绿薯率 Green tuber rate (%)	烂薯率 Blet tuber rate (%)	单株结薯数 Potato number per plant	单株薯产量 Yield per plant (kg plant ⁻¹)
2008							
T1	57.02 b	20.00 b	22.98 a	0.67 b	2.22 b	3.53 b	0.90 b
T2	77.11 a	12.89 c	10.00 bc	0.00 b	2.22 b	3.07 c	1.06 a
T3	70.34 a	22.44 b	7.22 c	1.11 b	3.33 b	3.47 b	1.09 a
T4	43.44 c	41.67 a	14.89 ab	1.67 ab	6.89 a	4.47 a	0.93 b
T5	55.00 b	37.06 a	7.94 c	2.22 a	6.95 a	3.60 ab	0.94 b
2009							
T1	41.38 d	32.30 b	26.32 a	8.23 bc	3.48 bc	6.13 a	1.34 c
T2	52.65 ab	26.26 b	21.06 ab	1.33 d	2.73 c	5.53 ab	1.45 ab
T3	46.40 cd	27.66 b	22.02 ab	14.90 a	4.48 b	6.87 a	1.43 ab
T4	50.79 bc	28.38 b	20.83 ab	15.17 a	3.12 c	5.67 a	1.35 b
T5	41.99 d	41.35 a	16.66 b	5.27 c	8.51 a	5.00 b	1.35 b
T6	60.18 a	24.67 c	15.15 b	10.65 b	0.00 d	5.13 ab	1.52 a
T7	55.23 ab	29.06 b	15.71 b	5.39 c	5.46 b	5.80 a	1.47 ab

同栏数据后的字母不同表示其差异达到 0.05 显著水平。

Values followed by different letters in the same column are significantly different at $P = 0.05$.

表 4 集雨限灌条件下马铃薯产量
Table 4 Potato yield under limited irrigation using catchment rainfall

处理 Treatment	生物产量 Biomass (kg hm ⁻²)	薯块产量 Tuber yield (kg hm ⁻²)	增产率 Increased productivity (%)	
			生物产量 Biomass	薯块产量 Tuber yield
2008				
T1	54280.49 b	42338.78 b	—	—
T2	60791.44 a	49848.98 a	12.00	17.74
T3	61831.00 a	51319.73 a	13.91	21.21
T4	56403.28 ab	43994.56 b	3.43	3.91
T5	55732.37 ab	44028.57 b	2.67	3.99
2009				
T1	54019.29 b	40514.47 b	—	—
T2	55267.65 b	43209.27 ab	2.31	6.65
T3	55779.86 ab	43675.63 ab	3.26	7.80
T4	54070.68 b	40553.01 b	0.10	0.10
T5	55522.49 ab	42197.09 ab	2.78	4.15
T6	54193.41 b	40645.06 b	0.32	0.32
T7	57914.97 a	45752.83 a	7.21	12.93

同栏数据后的字母不同表示其差异达到 0.05 显著水平。
Values followed by different letters in the same column are significantly different at *P* 0.05.

表 5 集雨限灌条件下马铃薯块茎蛋白质与淀粉含量
Table 5 Protein and starch contents of potato tuber under limited irrigation using catchment rainfall (%)

处理 Treatment	2008		2009	
	淀粉含量 Starch content	蛋白质含量 Protein content	淀粉含量 Starch content	蛋白质含量 Protein content
T1	13.404 a	0.985 bc	13.521 ab	1.100 b
T2	12.819 ab	1.362 a	13.218 b	1.563 a
T3	12.217 c	1.174 a	11.645 c	1.183 b
T4	12.760 b	1.209 ab	13.096 b	1.232 b
T5	12.307 c	0.883 c	12.846 b	1.012 b
T6	—	—	13.912 a	1.403 a
T7	—	—	13.222 b	1.100 b

同栏数据后的字母不同表示其差异达到 0.05 显著水平。
Values followed by different letters in the same column are significantly different at *P* 0.05.

结果表明，集雨限灌能显著提高作物 WUE，且随灌水量的增加，农田耗水量增加，IWUE 逐渐减小^[17]，而本研究结果表明，集雨限灌 45 mm 条件下马铃薯的 WUE 升高，限灌 90 mm 时 WUE 则降低；IWUE 在 2008 年随补水量的增加而下降，而 2009 年则升高，说明 IWUE 在不同年度间存在差异；另外随灌水量增加，农田 ET 增加，作物收后土壤贮水量也增加，说明限灌后有部分水分贮存在深层土壤水库中，本文部分结论与前人研究结果不甚一致^[8,15]。在等量水条件下，苗期限灌处理收后土壤贮水量依次低于薯块膨大期和苗期与薯块膨大期分次限灌，而 ET 则最高；苗期限灌的 WUE 与 IWUE 均高于其他时期；

两个生长季 WUE 均以 T2 最高。节水农业要解决的中心问题是提高自然降水和灌溉水的利用率。作物消耗灌溉水越多，消耗土壤贮水就越少^[18]。本研究在两个生长季中均以苗期限灌 45 mm 的处理 WUE 最高，而收后土壤贮水量最低，说明其对水分的利用率最高。在此基础上增加灌水量，马铃薯产量增加不显著，WUE 显著降低。表明苗期限灌 45 mm 是提高马铃薯产量和 WUE，实现节水高产栽培的有效途径。

关于水分状况对马铃薯产量性状的影响目前尚未见相关报道。本试验结果表明，限灌明显降低了薯块的小薯率，提高了大薯率与中薯率总和；总体

来看,苗期限灌有利于大薯率的提高,薯块膨大期限灌有利于中薯率的提高,且大薯率的增幅高于中薯率,均为低额限灌高于高额限灌。限灌提高了绿薯率和烂薯率,且薯块膨大期限灌高于苗期。

作物品质除了受遗传规律控制外还受环境条件和栽培技术的影响^[19]。现有研究表明,施肥种类及水平、栽培方式、植物生长调节剂的使用等都会影响马铃薯的品质,但水分条件对马铃薯薯块中的蛋白质和淀粉含量的影响目前仍未见相关报道。水分状况对小麦籽粒品质的研究比较多,认为适度水分胁迫可提高小麦的籽粒蛋白质含量^[20],灌水在提高籽粒产量的同时会导致蛋白质含量的下降^[21]。小麦开花后适量灌水并未引起品质性状的明显下降;但随灌水次数和灌水量的增加,各品质性状趋于变劣^[22]。本试验 2008 和 2009 两年研究结果表明,限灌条件下马铃薯薯块中淀粉含量下降,且随限灌量的增大而降低,而且淀粉含量只受限灌量影响,而与限灌时期关系不密切。另外,限灌条件下各处理马铃薯薯块中蛋白质含量升高,说明限灌有利于马铃薯块茎中蛋白质的形成,尤其是苗期低额限灌。

4 结论

旱作马铃薯苗期限灌 45 mm 能显著提高其产量水平和 WUE,可优化产量性状;在此基础上再增加灌水量产量增加不显著,而 WUE 显著降低,同时绿薯率和烂薯率也增加;苗期限灌 45 mm 处理的薯块淀粉含量没有显著下降,且蛋白质含量显著升高。所以,苗期限灌 45 mm 为试区最佳集雨限灌模式。

References

- [1] Liu Z-X(刘作新). On water saving agriculture and water resource sustainable utilization in Northeastern China. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2004, 15(10): 1737-1742 (in Chinese with English abstract)
- [2] Li X Y, Xie Z K, Yan X K. Runoff characteristics of artificial catchment materials for rainwater harvesting in the semiarid regions of China. *Agric Water Manage*, 2004, 65: 211-224
- [3] Herriman T, Schmida U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*, 2000, 9: 307-316
- [4] Rockstrom J, Barron J, Fox P. Rain water management for increased productivity among small-holder farmer in drought prone environments. *Physics Chem Earth*, 2002, 27: 949-959
- [5] Li J S. Modeling crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation system. *Agric Water Manage*, 1998, 38: 135-146
- [6] Zhu Q, Li Y H. Rainwater harvesting-an alternative for securing food production under climate variability. *Water Sci Technol*, 2004, 49(7): 157-163
- [7] Qin S-H(秦舒浩), Li L-L(李玲玲). Accumulation and distribution of dry matter and grain filling of spring wheat postanthesis under supplementary irrigation catchments rainfall. *J Soil Water Conserv* (水土保持学报), 2005, 19(4): 173-177 (in Chinese with English abstract)
- [8] Li L-L(李玲玲), Qin S-H(秦舒浩). Yield and water use efficiency of wheat corn compound colon under supplementary irrigation with catchment rainfall. *Agric Res Arid Areas*(干旱地区农业研究), 2005, 23(6): 38-41 (in Chinese with English abstract)
- [9] Wang Y-J(王亚军), Zhang Z-S(张志山), Xie Z-K(谢忠奎). The effect of supplementary rain water irrigation on broccoli in the northwest Loess Plateau of China. *J Lanzhou Univ* (Nat Sci)(兰州大学学报·自然科学版), 2003, 39(3): 64-68 (in Chinese with English abstract)
- [10] Xie Z-K(谢忠奎), Wang Y-J(王亚军), Chen S-H(陈士辉). Effect of supplemental irrigation with harvested rainwater on watermelon production in gravel-and-plastic mulched fields in the Loess Plateau of Northwest China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2003, 23(10): 2033-2039 (in Chinese with English abstract)
- [11] Chen G-R(陈光荣), Gao S-M(高世铭), Zhang X-Y(张晓艳). The effect of potassium application and water supplement in different stages on potato yield and WUE in semiarid area. *Agric Res Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2008, 26(5): 41-46 (in Chinese with English abstract)
- [12] Li J-W(李建武), Wang D(王蒂), Si H-J(司怀军). Physiological response of test-tube plantlets of potato under water stress. *J Gansu Agric Univ* (甘肃农业大学学报), 2005, 40(3): 319-323 (in Chinese with English abstract)
- [13] Zhou N-N(周娜娜), Wang G(王刚). Study on yield and varieties of the NO_3^- -N contain with different water and N levels in potato. *J Qiongzhou Univ* (琼州大学学报), 2005, 12(5): 49-51 (in Chinese with English abstract)
- [14] Wang Q(王琦), Zhang E-H(张恩和), Li F-M(李凤民). Optimum ratio of ridge to furrow for planting potato in micro-water harvesting system in semi arid areas. *Trans CSAE* (农业工程学报), 2005, 21(1): 38-41 (in Chinese with English abstract)
- [15] Chu P-F(褚鹏飞), Wang D(王东), Zhang Y-L(张永丽). Effects of irrigation stage and amount on water consumption characteristics, grain yield and content of protein components of wheat. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2009, 42(4): 1306-1315 (in Chinese with English abstract)
- [16] Li L-L(李玲玲), Huang G-B(黄高宝), Zhang R-Z(张仁陟). Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 2005, 25(9): 2326-2332 (in Chinese with English abstract)
- [17] Li X Y, Gong J D. Compacted microcatchments with local earch materials for rainwater harvesting in the semiarid region of China. *J Hydrol*, 2002, 257: 134-144
- [18] Han Z-J(韩占江), Yu Z-W(于振文), Wang D(王东), Zhang Y-L(张永丽). Effects of supplemental irrigation based on testing

- soil moisture on dry matter accumulation and distribution and water use efficiency in winter wheat. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2010, 36(3): 457–465 (in Chinese with English abstract)
- [19] Zhu K, Zhang L, Hart W, Chen H. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. *J Arid Environ*, 2004, 57: 487–505
- [20] Ozturk A, Aydin F. Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *J Agron Crop Sci*, 2004, 190: 93–99
- [21] Wang L-Q(王立秋), Jin Z-Z(靳占忠), Cao J-S(曹敬山). Effect of water and fertilizer factors on grain quality and bread baking quality of wheat. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 1997, 30(3): 67–73 (in Chinese with English abstract)
- [22] Wang C-Y(王晨阳), Guo T-C(郭天财), Peng Y(彭羽), Zhu Y-J(朱云集), Ma D-Y(马冬云), Zhang C-J(张灿军). Effects of post-anthesis irrigation on grain quality indices and yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agron Sin* (作物学报), 2004, 30(10): 1031–1035 (in Chinese with English abstract)

科学出版社生物分社新书推介

《外来入侵物种法律法规汇编》

曹塍程 张国良 主编

2010 年 11 月出版

定价: ¥ 75.00

ISBN 978-7-03-029487-6

开本: 16 开

营销分类: 生物科学

装帧: 精装

本书汇编了 26 部联合国、欧洲联盟、美国、澳大利亚、日本等组织和国家与外来入侵生物管理有关的法律、法规及防控体系, 包括《生物多样性公约》、《国际植物保护公约》、《濒危野生动植物种国际贸易公约》、《联合国海洋法公约》、《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》、《卫生与植物检疫措施实施协议》、《21 世纪议程》——生物多样性的保护、《外来生物防治制剂进口及释放行为守则》、《防止外来入侵物种导致生物多样性丧失的指南》等, 涉及外来入侵物种的预防、监测、根除和控制等措施以及早期预警与紧急应对策略等内容。本书可作为各级农林部门技术人员、高等院校师生及科研院所专业人员的参考书。



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书

联系人: 科学出版社科学销售中心 周文宇 电话: 010-64031535 E-mail: zhouwenyu@mail.sciencep.com

网上订购: <http://shop.sciencepress.cn>

联系科学出版中心生物分社: 010-64012501 <http://www.lifescience.com.cn> E-mail: lifescience@mail.sciencep.com

更多精彩图书请登陆网站, 欢迎致电索要书目