

保水剂对宁南山区马铃薯产量及土壤水分利用的影响

张 扬^{1,2}, 赵世伟^{1*}, 梁向锋^{1,2}, 华 娟^{1,2}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 在宁南半干旱黄土丘陵区探讨大田施用 PAM、沃特保水剂对马铃薯产量和土壤水分利用的影响。结果表明:PAM、沃特均可促进马铃薯生长、提高块茎产量, 其中 PAM 9.0 kg/hm²(P₃)和沃特 15 kg/hm²(W₁)、沃特 30 kg/hm²(W₂)、沃特 60 kg/hm²(W₃)处理马铃薯生物量和块茎产量显著高于 CK($P<0.05$), 增产效果最明显。幼苗期、块茎形成期和块茎生长期各处理耗水量无显著差异, 淀粉积累期 CK 耗水量极显著高于施用保水剂处理($P>0.01$)。保水剂处理耗水量随着马铃薯生物量的增加而增大, 降雨对土壤水分的补充随生物量的增大而减少。利用有序聚类分析得出, 淀粉积累期降雨对土壤 0~60 cm 的水分储量有明显的补充, 施用 PAM 和沃特两种保水剂, 0~140 cm 各层土壤储水量恢复相近, 而 140 cm 以下土层沃特的恢复能力优于 PAM, 平均每 20 cm 土层储水量较 PAM 高 6.2 mm。随着 PAM 施用量的增加水分利用效率提高, 沃特保水剂则相反。沃特 15 kg/hm² 和 PAM 9 kg/hm² 处理水分利用效率、水分产出效率最高。通过对马铃薯产量和水分利用特征得出, PAM 的用量为 9 kg/hm²、沃特 15 kg/hm² 为最佳用量。

关键词: PAM; 沃特保水剂; 马铃薯; 水分利用效率

中图分类号: S157.9; S532 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0027-06

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是宁南山区种植的四大作物之一, 成为该地区的农业发展的支柱产业。宁南山区是典型的半干旱雨养农业区, 由于土地贫瘠、气候干旱、降雨分配不均匀, 该地区马铃薯单产水平仅为全国的 1/2。因此, 如何充分利用有限的降水资源, 提高水分利用效率(WUE), 成为提高宁南山区马铃薯产量的重要途径。已有研究证明, 通过合理的水肥管理和覆膜等技术可提高该地区马铃薯产量和水分利用效率(WUE)^[1~3]。

保水剂是土壤的良好胶结剂, 既能改善土壤结构, 促进团粒的形成, 而且还能蓄水保墒^[4, 5], 且土水势越高, 水分有效性越高^[6]。能提高降雨的入渗率^[7], 防止土壤表面结皮, 减少地表径流、防止土壤及水土流失^[8, 9]以及具有较好的抑制土壤水分蒸发能力^[10, 11]、调节降水的季节分配、改善干旱半干旱地区作物生长的土壤水分环境, 提高水分利用效率(WUE)^[12, 13]和作物产量^[14, 15], 且对作物无毒、无害、无副作用^[16]。

黄土高原半湿润黄土丘陵区的研究表明, PAM 和沃特保水剂可提高马铃薯产量和 WUE^[17], 刘殿

红^[13]等得出宁南山区施用高分子聚合物(SAP 保水剂)可以提高马铃薯个体产量和 WUE, 但缺乏保水剂对该区马铃薯大田应用的群体产量效应和水分利用效率影响的了解以及施用技术方面的研究。本研究针对宁南山区的气候条件, 开展大田小区实验研究, 分析 PAM 和沃特保水剂施用量对马铃薯生长、土壤水分环境的调控, 揭示保水剂施用技术的作用机理, 从而提高马铃薯产量及应用保水剂提高宁南山区大田作物雨水资源利用效率提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验地区概况

试验地位于宁夏彭阳县中北部半干旱的王洼乡姬阳洼村, 东经 106°32′45″~106°33′15″, 北纬 36°04′30″~36°09′36″, 总面积 18.5 km²。研究区属中温带干梁状丘陵区, 年平均降雨 413.94 mm, 年平均温度 6.8℃, ≥10℃活动积温 2 690.4℃, 平均无霜期 145 d, 最大 180 d, 最小 105 d。平均日照时数 2 518 h, 太阳总辐射 535.92 kJ/cm²。试验地海拔 1 747.0 m, 黄绵土, 轻壤, 田间持水量为 17.92%。物理性质见表 1。

收稿日期: 2009-02-01

基金项目: 国家“863”计划课题(2006AA100219); 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAD09B08)

作者简介: 张 扬(1984—), 女, 内蒙古通辽人, 硕士研究生, 主要从事土壤水分研究。E-mail: zhangyang06@mails.gucas.ac.cn。

* 通讯作者: 赵世伟(1962—), 男, 四川荣县人, 研究员, 主要从事植被与土壤互动关系研究。E-mail: swzhao@ms.iswc.ac.cn。

表 1 试验土壤物理性质
Table 1 Soil physical properties

深度 Depth (cm)	容重 Bulk density (g/cm ³)	入渗速率 Infiltration rate (mm/min)	凋萎系数 Wilting coefficient (%)
0~20	1.297	0.7	7.42
20~40	1.324	0.36	7.38

1.2 试验材料与方法

聚丙烯酰胺(Polyacrylamide, PAM)是一种土壤结构改良剂,能吸收自身质量 1 300 倍的纯水或 1.0% NaCl 溶液 63 倍,可增加降水入渗和减少土壤侵蚀,改良土壤结构,提高土壤水含率,具有一定的保水作用。但成本高,耐盐碱性能差,在农业生产应用中受到一定的限制。沃特保水剂是胜利油田长安集团采用丙烯酸或丙烯酰胺与凹凸棒土(Attapulgit)杂化工艺合成的有机-无机复合保水剂,能吸收自身质量 500~1 000 倍的纯水或 40~80 倍的生理盐水。

供试马铃薯品种为克新 1 号,2007 年 5 月 16 日种植,每穴种植种薯 1 块,种植深度为 10 cm。马铃薯从种植到收获不灌水,按照常规施肥,且不同小区生长期间的追肥,除草等管理措施均相同。小区面积为 4 m×5 m,马铃薯行距为 40 cm×50 cm,每个小区播种 9 行,每行 8 株,共 72 株。

实验设 7 个处理,不施保水剂对照(CK),PAM 的施用量分别为 4.5、6.7、9.0 kg/hm²,沃特的施用量为 15、30、60 kg/hm²,分别记为 P₁、P₂、P₃、W₁、W₂、W₃。每个处理重复 3 次。播种前按照实验设计的保水剂用量计算出试验小区的用量,将保水剂与 1kg 小区内的土壤充分混合后均匀施加。

1.3 测定项目

在种植时(5 月 16 日)、幼苗期(7 月 4 日)、块茎形成期(7 月 24 日)、块茎生长期(9 月 10 日)、淀粉积累期(10 月 17 日),分别测定马铃薯生物量和土壤水分,用烘干法测定试验小区内 200 cm 土层的土壤含水率 w (%),根据不同土层的土壤容重、土层厚度和土壤含水率换算出不同土层的土壤储水量(mm),其总和为 200 cm 土壤储水量(mm)。

$$H = \sum_{n=1}^i w \rho d \times 10 \tag{1}$$

式中, H 为 200 cm 土壤储水量(mm); w 为土壤含水率(%); ρ 为土壤容重(g/cm³); d 为土层厚度(cm); $i = 1, 2, 3 \dots 9, 10$ 。

由于试验地平整,地下水位深,土层深厚以及土

壤质地均一,可视为试验地不产生渗漏、地下水补给和水分的水平运动,因此马铃薯田间耗水量的计算公式为:

$$ET = p + \Delta H \tag{2}$$

$$\Delta H = H_1 - H_2 \tag{3}$$

式中, ET 为田间耗水量(mm); p 为生育期间的有效降雨量(mm); ΔH 为两个生育期土壤储水量的变化(mm); H_1 为前一生育期土壤储水量(mm); H_2 为后一生育期土壤储水量(mm)。

$$WUE = B / ET \tag{4}$$

式中, WUE (water use efficiency) 为水分利用效率[kg/(mm·hm²)]; B 为总生物量(kg/hm²)。

$$A = Y / ET \tag{5}$$

式中, A 为水分产出效率[kg/(mm·hm²)]; Y 为块茎产量(鲜物质质量)(kg/hm²)。

$$E = \Delta Y / (Q \times S) \tag{6}$$

式中, E 为单位施用量单位面积的增产效果[kg/(kg·hm²)]; ΔY 为某一处理的增产量(kg); Q 为 PAM 或沃特某一处理的施用量(kg); S 为小区面积(hm²)。

监测数据均采用新复极差法检验不同处理间的差异显著性。数据利用 SPSS 统计软件计算。

2 结果与分析

2.1 马铃薯生长状况

2.1.1 淀粉积累期前各生育期马铃薯生物量 幼苗期沃特保水剂 W₃ 处理提高了马铃薯生物量,差异达极显著 ($P < 0.01$),其余处理与对照均无显著差异。块茎形成期沃特保水剂各处理生物量显著提高,马铃薯生物量 ($P < 0.05$),PAM 作用不明显,但马铃薯生物量随施用量的增加而增大。块茎生长期,施用 PAM 和沃特处理的马铃薯生物量均高于对照,其中 W₁、W₂ 达显著差异(见表 2)。

2.1.2 淀粉积累期的生物量 淀粉积累期施用 PAM 和沃特的马铃薯总生物量、块茎产量均大于 CK,且 PAM 随着施用量的增加而增大,其中 P₃ 与 CK 相比,生物量和块茎产量提高达极显著 ($P < 0.01$);沃特保水剂随着施用量的增大而减少,其中 W₁、W₂、W₃ 的总生物量、块茎产量均与对照相比极显著提高 ($P < 0.01$)。说明 PAM 需达到 9 kg/hm² 的施加量才会达到显著的增产效果,但沃特的施加量超过 15 kg/hm²,其增产效果降低。除 W₁ 外,各保水剂处理马铃薯茎叶干重与对照均无显著差异(见表 3)。

表 2 不同处理淀粉积累期前各生育期马铃薯累计生物量

Table 2 Potato biomass before starch accumulation stage in different treatments

处理 Treatment	施用量(kg/hm ²) Application amount	生育期 Growth stage		
		幼苗期(kg/hm ²) Seedling stage	块茎形成期 (kg/hm ²) Tuber initiation stage	块茎生长期(kg/hm ²) Tuber growth stage
PAM	4.5	334.8 cB	1332.0 cC	3178.8 bA
	6.7	417.6 bB	1591.2 bcABC	3063.6 bA
	9.0	363.6 bcB	1612.8 bcABC	3301.2 abA
沃特 Wote	15	360.0 bcB	1990.8 aA	4240.8 aA
	30	414.0 bB	1821.6 abAB	4143.6 aA
	60	608.4 aA	1926.0 abAB	3852.0 abA
对照 CK	0	356.4 bcB	1458.0 cBC	2941.2 bA

注：a、b、c 等表示显著水平 ($P<0.05$, Dunacan 's 检验), A、B、C 等表示极显著水平 ($P<0.01$), 下同。
Note: a, b and c stand for significance at the 0.05 level ($P<0.05$, Dunacan 's test), A, B and C stand for significance at the 0.01 level ($P<0.01$), and they are the same in the following tables.

表 3 不同处理淀粉积累期马铃薯生物量

Table 3 Potato biomass in starch accumulation stage in different treatments

处理 Treatment	施用量(kg/hm ²) Application amount	块茎干重(kg/hm ²) Dry weight of tubers	茎叶干重(kg/hm ²) Dry weight of stem and leaf	总生物量(kg/hm ²) Biomass
PAM	4.5	2944.8 cdC	900.0 cB	3841.2 cC
	6.7	2941.2 cC	907.2 cB	3852.0 cC
	9.0	3952.8 bB	1177.2 bB	5133.6 bB
沃特 Wote	15	4770.0 aA	1756.8 aA	6530.4 aA
	30	3772.8 bB	1260.0 bB	5036.4 bB
	45	3769.2 bB	1033.2 bcB	4802.4 bB
对照 CK	0	2563.2 ceC	1180.8 bB	3747.6 cC

2.2 不同生育期马铃薯的耗水量

幼苗期、块茎形成期和块茎生长期不同处理马铃薯耗水量无显著差异。淀粉积累期 CK 耗水量极显著高于各保水剂处理 ($P<0.01$)。PAM 三个处理

耗水量极显著高于沃特三个处理。施用保水剂处理马铃薯生物量提高,土壤耗水量也相应增加,耗水量与生物量呈正相关。

表 4 不同处理不同生育期 0~200 cm 土壤耗水量

Table 4 Water consumption in 0~200 cm deep soil at different growth stages in different treatments

处理 Treatment	施用量 Application amount (kg/hm ²)	幼苗期 Seedling stage (mm)	块茎形成期 Tuber initiation stage (mm)	块茎生长期 Tuber growth stage (mm)	淀粉积累期 Starch accumulation stage (mm)
PAM	4.5	28.6aA	63.4aA	99.1aA	71.3cBC
	6.7	30.5aA	50.8aA	88.0aA	73.2cBC
	9.0	29.8aA	39.1aA	88.0aA	93.7dC
沃特 Wote	15	36.7aA	51.1aA	119.5aA	34.5eD
	30	31.2aA	65.8aA	102.0aA	26.0fDE
	60	42.9aA	64.7aA	117.0aA	23.5fE
对照 CK	0	19.6aA	72.7aA	100.2aA	102.4aA

2.3 不同处理马铃薯水分利用效率的动态变化

利用公式(4)计算得出水分利用效率,从图 1a

和图 1b 中可以看出,幼苗期 WUE 对照最高,为 18.11 kg/(hm²·mm),保水剂处理 WUE 均低于对照。

块茎形成期、块茎生长期和淀粉积累期，除 P₁ 外 PMA 和沃特的 WUE 均高于对照，说明 P₁ 处理的施用量过小，对 WUE 无作用；土壤施用保水剂后单位面积单位耗水量产出的生物量大于对照。PAM 随

着施用量的增加 WUE 不断提高，达到 9 kg/hm² 时 WUE 最高；沃特随着施用量的增加 WUE 不断减小，施用量 15 kg/hm² 为最佳。

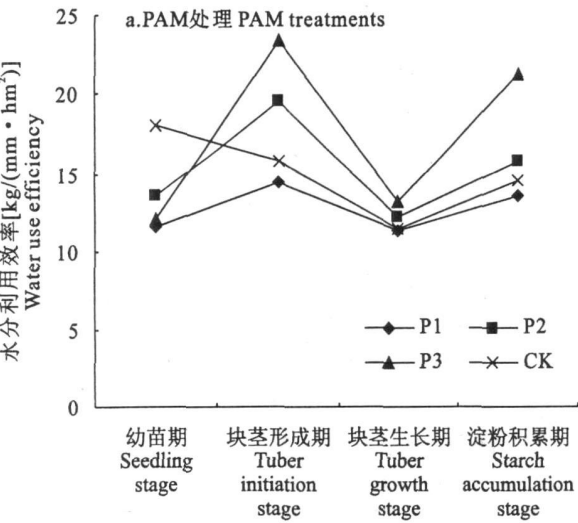


图 1a PAM 处理水分利用效率

Fig.1a Water use efficiency for PAM treatments

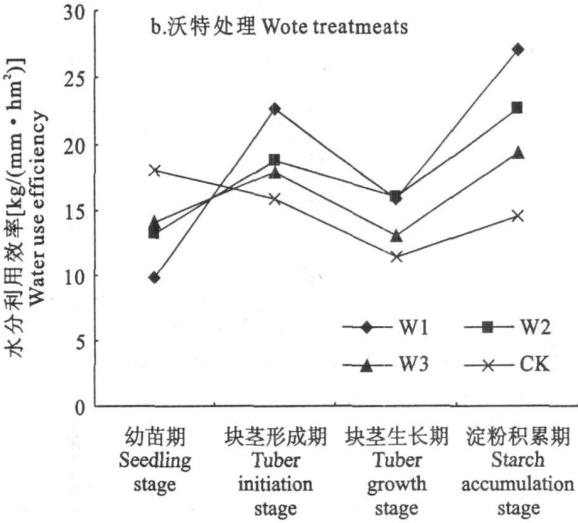


图 1b 沃特处理水分利用效率

Fig.1b Water use efficiency for Wote treatments

2.4 保水剂处理的水分生产效率和增产效果

保水剂的水分产出效率为 W₁>P₃>W₂>W₃>P₂>P₁>CK，其中 W₁ 和 P₃ 处理水分产出效率最高，分别为 98.67 kg/(hm²·mm)、82.16 kg/(hm²·mm) (见图 2)。不同保水剂的增产效果为 P₃>W₁>P₁>P₂

>W₂>W₃>CK，其中 P₃、W₁ 分别高达 154.3 kg/(hm²·kg)、147.1 kg/(hm²·kg) (见图 3)。可见，PAM 的用量为 9 kg/hm²、沃特为 15 kg/hm² 时水分利用效率、水分产出效率最高，增产效果最明显，为最佳用量。

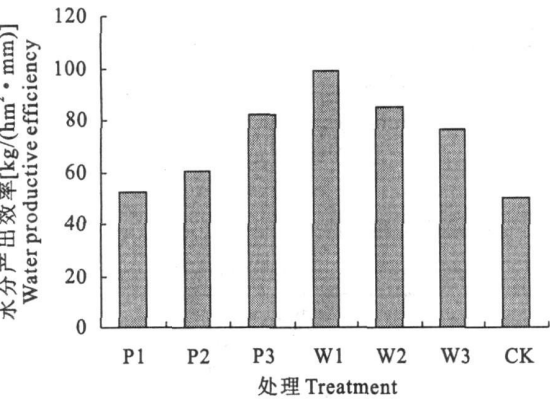


图 2 不同处理水分生产效率

Fig.2 Water productive efficiency for different treatments

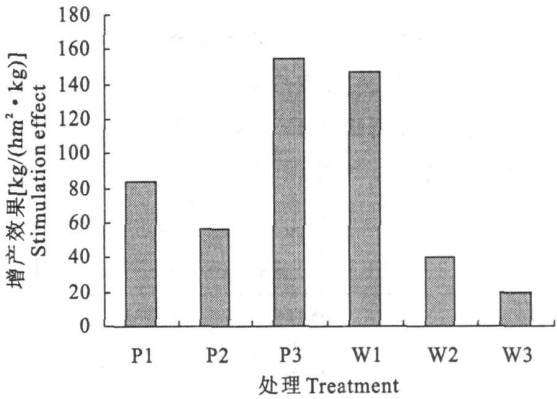


图 3 不同处理保水剂增产效果

Fig.3 Stimulation effect of super absorbent for different treatments

种植到收获共降雨 307.4 mm，其中幼苗期降雨量为 45.6 mm，块茎形成期降雨量为 35.5 mm，块茎生长期降雨量为 82.1 mm，淀粉积累期降雨量为 144.2 mm。块茎形成期、块茎生长期是马铃薯生育的关键时期，决定了结薯率和产量，而这两个时期降雨量远远小于马铃薯生长所需水分。施用保水剂可提高土壤含水量，减少土面无效蒸发，但由于降雨量

过少，施用保水剂超过一定量后，施用量越大，土水势越低，导致水分有效性降低^[6]，不利于马铃薯生长利用，马铃薯生物量、水分利用效率降低。因此，在宁南山区 5~7 月严重干旱条件下，保水剂的施用量并非越大越好。

2.5 保水剂对水分调控

马铃薯生长季降雨主要集中在淀粉积累期。由

表4作物耗水量和降雨量的关系得出,幼苗期和淀粉积累期的降雨量大于马铃薯的耗水量,降雨可满足马铃薯生长需要,同时补给土壤水库。

由图4看出,淀粉积累期对照200 cm土壤储水量的增量仅为41.8 mm,P₁、P₂、P₃的增加量分别为72.9 mm、71.0 mm、50.5 mm,W₁、W₂、W₃的增加量分别为109.7 mm、118.2 mm、120.7 mm,均随着马铃薯生物量的增加,耗水量增加,土壤储水量增加量减少。马铃薯的块茎和生物量越大,块茎吸收、贮存的土壤水分越多,消耗的土壤水分越多,土壤储水量的恢复越少。利用有序聚类分析得出,7个处理降雨明显的影响深度都为0~60 cm。对照每个层次的储水量均小于施用保水剂处理。施用PAM和沃特两种保水剂,0~140 cm各层土壤储水量恢复相近,而140 cm以下土层沃特的恢复能力优于PAM,平均每20 cm土层储水量较PAM高6.2 mm。

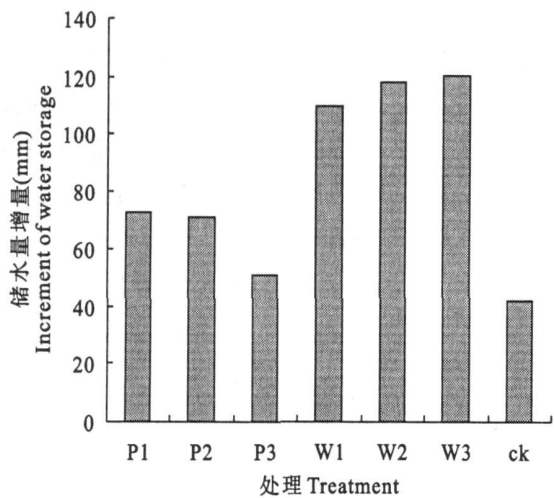


图4 淀粉积累期200 cm土壤储水量的增加量
Fig.4 Increment of water storage in 0~200 cm soil in starch accumulation stage

施用保水剂后,在马铃薯生育后期土壤集雨作用明显、储水功能恢复快,有利于下一季作物的生长。对照在淀粉积累期土壤储水量增量最小,耗水量最大,但生物量以及块茎产量最低,说明对照的无效蒸发强于施用保水剂处理,保水剂的抑制蒸发作用明显。施用沃特保水剂处理土壤储水量的恢复程度整体高于PAM处理,且马铃薯生物量和产量均为W₁>P₃,说明在该地区沃特的施用效果较好,在试验条件下,沃特15 kg/hm²和PAM 9 kg/hm²为最佳施用量。

3 结 论

(1) PAM、沃特均可促进马铃薯生长,提高块茎

产量,但对茎叶的作用不明显。PAM 9.0 kg/hm²和沃特15 kg/hm²、30 kg/hm²、60 kg/hm²处理马铃薯生物量显著高于CK。

(2) 幼苗期、块茎形成期和块茎生长期各处理耗水量无显著差异。淀粉积累期对照的耗水量显著高于PAM和沃特两种保水剂处理(P<0.05)。该时期降雨对土壤水分补给,除对照外,土壤储水量的增量随着马铃薯生物量的增加而减少。沃特处理的降雨补给效果优于PAM。

(3) 沃特15 kg/hm²和PAM 9.0 kg/hm²处理水分产出效率最高,增产效果最明显,因此PAM 9 kg/hm²、沃特15 kg/hm²为最佳用量。

(4) 施用保水剂处理,淀粉积累期土壤储水作用明显,有利于下一季作物的生长。利用有序聚类分析,降雨对土壤水分的明显影响深度为0~60 cm。施用PAM和沃特两种保水剂,0~140 cm各层土壤储水量恢复相近,而140 cm以下土层沃特的恢复能力优于PAM,平均每20 cm土层储水量较PAM高6.2 mm。

参 考 文 献:

[1] 何 华,赵世伟,陈国良.不同水肥条件对马铃薯产量的影响[J].西北农业大学学报,1999,27(5):22-27.

[2] 李鼎新,陈国良.早熟马铃薯农田土壤水分动态和地膜水分效应[J].水土保持通报,1996,16(6):36-42.

[3] 何 华,陈国良,赵世伟.水肥配合对马铃薯水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,1999,17(2):59-66.

[4] 李秧秧,黄占斌.节水农业中化控技术的应用研究[J].节水灌溉,2001,(3):4-6.

[5] 董 英,郭绍辉,詹亚力.聚丙烯酰胺的土壤改良效应[J].高分子通报,2004,(5):83-87.

[6] 黄占斌,张国桢,李秧秧,等.保水剂特性测定及其在农业中的应用[J].农业工程学报,2002,18(1):22-25.

[7] Francisco L S, Ricardo P S. Improving infiltration of irrigated mediterranean soils with polyacrylamide[J]. Agric Engng Res, 2000, (76): 83-90.

[8] Lentz R D, Sljka R E. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration[J]. Soil Science, 1994, 158(4): 274-282.

[9] Sepaskhah A R, Bazrafshan-Jahromi A R. Controlling runoff and erosion in sloping land with polyacrylamide under a rainfall simulator[J]. Biosystems Engineering, 2006, 93(4): 469-474.

[10] 杨永辉,武继承,赵世伟,等.PAM的土壤保水性能研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(12):120-124.

[11] 杨永辉,赵世伟,黄占斌,等.沃特多功能保水剂保水性能研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):35-37.

[12] 黄占斌,朱元骏,李茂松,等.保水剂聚丙烯酸钠不同施用方法对玉米生长和水分利用效率的影响[J].沈阳农业大学学报,2004,35(5):576-579.

[13] 刘殿红, 黄占斌, 董莉. 保水剂施用方式对马铃薯产量和水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 105—108, 129.

[14] 牛育华, 李仲谨, 郝明德. 保水剂在黄土高原旱地农业应用效果的研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 11—12.

[15] 员学锋, 吴普特, 汪有科, 等. 施加 PAM 条件下土壤养分淋溶试验研究[J]. 水土保持通报, 2003, 23(2): 26—28.

[16] Aase J Kristian, David L, Bjorneberg, et al. Sprinkler irrigation runoff and erosion control with polyacrylamide[J]. Soil Science Society of America, 1998, 62: 1681—1687.

[17] 杜社妮, 白岗栓, 赵世伟, 等. 沃特和 PAM 保水剂对土壤水分及马铃薯生长的影响研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 72—79.

Effects of super absorbent on growth of potato and soil water utilization in the mountain area of Southern Ningxia

ZHANG Yang^{1,2}, ZHAO Shi-wei^{1*}, LIANG Xiang-feng^{1,2}, HUA Juan^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Study was conducted on the effects of PAM and Wote super absorbent on growth of potato and soil water utilization in the mountain area of Southern Ningxia. The results showed: PAM and Wote super absorbent could not only stimulate the growth of potato, but also increase yield. Potato biomass and yield in PAM 9.0 kg/hm²(P₃), Wote 15 kg/hm²(W₁), Wote 30 kg/hm²(W₂) and Wote 60 kg/hm²(W₃) were higher than it in CK ($P<0.05$). Super absorbent had obvious effect on yield increase of potato. In seedling stage, tuber initiation stage and growth stage, water consumption of potato in all treatments had no difference from that in CK. In starch accumulation period water consumptions in CK were significantly higher than that in super absorbent treatment ($P<0.05$). In super absorbent treatment water consumption of potato increased with the increase of biomass, and precipitation recharge to soil reduced with the increase of biomass. The water use efficiency (WUE) increased with the increase of application rate of PAM, but there was a reverse trend on Wote. With applied sequential cluster method, soil water content was supplied by rainfall in starch accumulation period, and the depth of recharge was 60 cm. Upon application of PAM and Wote, soil water storage were recovered to similar level in 0~140 cm. Soil water storage in Wote was 6.2 mm higher than that in PAM under 140 cm. Water productive efficiency and yield-increasing effect of PAM 9.0 kg/hm² and Wote 60 kg/hm² were the best.

Keywords: PAM; Wote super absorbent; potato; water use efficiency