

网络出版时间:2017-03-31 16:08

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.05.016

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170331.1608.032.html

保水剂施用方式对土壤酶活性及马铃薯产量的影响

李倩^{1,2}, 巴图¹, 刘景辉¹, 孙振威¹, 高闻俊¹, 赵志强¹

(1 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019;

2 内蒙古自治区种子管理站, 内蒙古 呼和浩特 010010)

[摘要] 【目的】研究不同保水剂施用方式对内蒙古西部半干旱偏旱地区土壤酶活性及马铃薯产量的影响, 以筛选出合适的保水剂及施用方式。【方法】以聚丙烯酰胺(PAM)和聚丙烯酸钾(PAA-K)为材料, 设不施保水剂(CK)、穴施 PAM、沟施 PAM、穴施 PAA-K、沟施 PAA-K 5 个处理, 分析不同保水剂及其施用方式下马铃薯不同生育时期、不同土层土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性和产量的变化。【结果】土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性随马铃薯生育时期的推进呈现“单峰”曲线变化, 均于马铃薯块茎膨大期达峰值。与 CK 相比, 施用保水剂处理均能提高土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性, 且对于同一种保水剂, 穴施处理提高幅度大于沟施处理。在马铃薯块茎膨大期, 穴施 PAM、穴施 PAA-K、沟施 PAM、沟施 PAA-K 处理 0~10 cm 土层的土壤过氧化氢酶活性较对照分别提高了 12.92%, 11.97%, 9.06% 和 6.02%, 土壤脲酶活性较对照分别提高了 12.38%, 2.33%, 0.86% 和 0.31%, 土壤蔗糖酶活性较对照分别提高了 22.99%, 17.03%, 20.50% 和 18.34%, 土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性随土层的增加逐渐降低。与 CK 相比, 施用保水剂显著提高了马铃薯产量和商品薯率, 降低了小薯率。穴施 PAM、穴施 PAA-K、沟施 PAM、沟施 PAA-K 分别较对照增产 12.08%, 10.45%, 7.37% 和 5.22%。【结论】施用保水剂 PAM、PAA-K 均提高了土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性及马铃薯产量和商品薯率, 降低了小薯率, 其中穴施 PAM 效果最好。

[关键词] 保水剂; 施用方式; 土壤酶活性; 马铃薯; 商品薯率

[中图分类号] S156.2; S532.06

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2017)05-0116-07

Effects of application method of super absorbent polymers on soil enzyme activities and potato yield

LI Qian^{1,2}, BA Tu¹, LIU Jinghui¹, SUN Zhenwei¹, GAO Wenjun¹, ZHAO Zhiqiang¹

(1 Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China;

2 Seed Administrative Station of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China)

Abstract: 【Objective】The effect of different super absorbent polymers application methods on soil enzyme activities and potato yield in semi-arid partial drought region of western Inner Mongolia was researched to select best application method. 【Method】Polyacrylamide (PAM) and polyacrylic acid potassium (PAA-K) super absorbent polymers were used and five treatments including hole and furrow applying PAM and PAA-K and control (CK) were conducted to analyze the changes in catalase, urease and invertase activities at different soil layers during different potato stages and potato yield. 【Result】Catalase, urease and invertase activities presented an unimodal curve with growth of potato, and reached the peaks at potato

[收稿日期] 2016-03-17

[基金项目] 内蒙古自治区自然科学基金项目(2014BS0317); 国家自然科学基金项目(31360321); 中国博士后基金项目

[作者简介] 李倩(1983—), 女(蒙古族), 内蒙古赤峰人, 博士, 主要从事马铃薯抗旱生理研究。E-mail: liqianef@163.com

[通信作者] 刘景辉(1965—), 男, 内蒙古通辽人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事耕作制度与农业生态系统研究。

E-mail: cauljh@163.com

tuber expansion stage. All super absorbent polymers treatments improved soil catalase, urease and invertase activities compared with control group, and hole application increased more than furrow application. At tuber expansion period, compared with control group, hole applied PAM, hole applied PAA-K, furrow applied PAM and furrow applied PAA-K increased catalase activity by 12.92%, 11.97%, 9.06%, and 6.02%, increased urease activity by 12.38%, 2.33%, 0.86%, and 0.31%, and increased invertase activity by 22.99%, 17.03%, 20.50%, and 18.34% in 0 to 10 cm soil layer. The activities decreased with increase of soil depth. Application of super absorbent polymers improved potato yield and potato commodity rate significantly, and reduced small potato rate. Hole applied PAM, hole applied PAA-K, furrow applied PAM, and furrow applied PAA-K increased yield by 12.08%, 10.45%, 7.37% and 5.22%, respectively. 【Conclusion】 Application of super absorbent polymers PAM and PAA-K improved the catalase, urease and invertase activities as well as potato yield and commodity potato rate, and decreased small potato rate. Hole applied PAM treatment presented the best effect.

Key words: super absorbent polymer; applying way; soil enzyme activities; potato; commodity potato rate

内蒙古是我国马铃薯的重要主产区之一,该区马铃薯种植面积占全国种植面积的 10% 以上,受水资源的限制,西部旱作区 80% 左右为平作^[1]。干旱作为一种生长逆境因子严重影响旱作马铃薯的产量。保水剂作为一种高吸水剂、吸湿剂、超强吸水树脂^[2-3],较好的抗旱保水材料^[4-5],能够反复吸水释水^[6],在土壤干旱缺水时迅速释放水分供作物利用^[7]。保水剂作用于土壤,对土壤酶活性有一定的影响,进而影响到作物的产量。土壤酶主要来自微生物和植物根系分泌等途径,此外还有土壤动物和植物残体的释放,各种酶在土壤中的积累与土壤微生物及植物根系的生命活动有关。保水剂处理使土壤蔗糖酶、蛋白酶、多酚氧化酶和脲酶的活性提高,有利于氮素和碳素的循环和转化,净化土壤中有毒的污染物,但由于降低了土壤过氧化氢酶的活性,可能降低了对过氧化物的降解能力^[8]。施用保水剂能够有效提高植物的干物质积累和产量^[9]。杜尧东等^[10]通过田间坡地施用阴离子型聚丙烯酰胺(PAM),使作物产量增加 18.7%~32.4%。杜社妮等^[11]在马铃薯田间施用 PAM 和沃特后,马铃薯块茎明显增大,块茎产量提高较多。不同的保水剂施用方式对马铃薯^[12]和小麦^[13]产量的影响也有差异。但有关不同保水材料、不同作用方式下,作物全生育时期不同土层深度土壤酶活性的系统研究却鲜见报道。为此,本试验研究了 2 种不同保水材料作用下马铃薯产量,以及不同生育时期不同土层深度土壤酶活性的变化,以筛选合适的保水材料和作用方式,为保水材料在旱作马铃薯上的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在内蒙古四子王旗中加农业生物科技有限公司马铃薯生产基地进行。四子王旗地处内蒙古自治区中部、乌兰察布市西北部,为中温带大陆性季风气候区,干旱、少雨、多风、蒸发量大。年平均气温在 1~6℃,年均降水量在 110~350 mm,平均无霜期 108 d。地表土质为淡栗钙土,棕钙土,土壤含沙量大且疏松,植被拦截水土流失的能力差。土壤全氮含量 0.77 g/kg,全磷含量 0.80 g/kg,全钾含量 19.94 g/kg,碱解氮含量 89.90 mg/kg,有效磷含量 18.10 mg/kg,速效钾含量 97.00 mg/kg,有机质含量 20.22 g/kg。

1.2 试验材料

供试马铃薯品种为‘大西洋’,由中加农业生物科技有限公司提供。供试保水剂选用白色颗粒聚丙烯酰胺(PAM)和白色粉剂聚丙烯酸钾(PAA-K),分别购自东营华业新材料有限公司和唐山博亚公司。

1.3 试验设计

试验于 2014 年 5 月—2015 年 10 月进行。试验处理设不施保水剂(对照)、穴施聚丙烯酰胺、沟施聚丙烯酰胺、穴施聚丙烯酸钾、沟施聚丙烯酸钾 5 个处理,分别用 CK、XPAM、GPAM、XPAA、GPAA 表示。05-25 播种,穴施保水剂的方法为播前挖 15 cm 深的穴,集中施入保水剂(保水剂与干土以 1:5 的体积比混合),再施肥播种;沟施保水剂的方法为播前开 15 cm 深的小沟均匀撒入保水剂(保水剂与干土以 1:5 的体积比混合),再施肥播种马铃薯。

保水剂施用量为 60 kg/hm²;马铃薯复合肥施用量为 750 kg/hm²,*m*(N) : *m*(P₂O₅) : *m*(K₂O)为17 : 6 : 22。小区面积 28 m²,每小区 20 行,行距 50 cm,株距 35 cm,重复 3 次,随机区组排列。生育期间不进行灌水,利用自然降水供水,田间管理同大田。

1.4 测定指标及方法

分别在马铃薯块茎形成期(07-15)、块茎膨大期(08-05)、淀粉积累期(08-20)、成熟期(09-14)采集马铃薯根部 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 土层土样,过孔径 2 mm 筛后,放在阴凉处风干,然后剔除植物残体和其他杂物,用高锰酸钾滴定法测定土壤过氧化氢酶活性,用比色法测定脲酶活性,用 3,5-硝基水杨酸法测定蔗糖酶活性^[14],重复 3 次。

马铃薯成熟后收获,每小区取 10 m² 测定其产

量,计算商品薯率、中薯率和小薯率,重复 3 次。

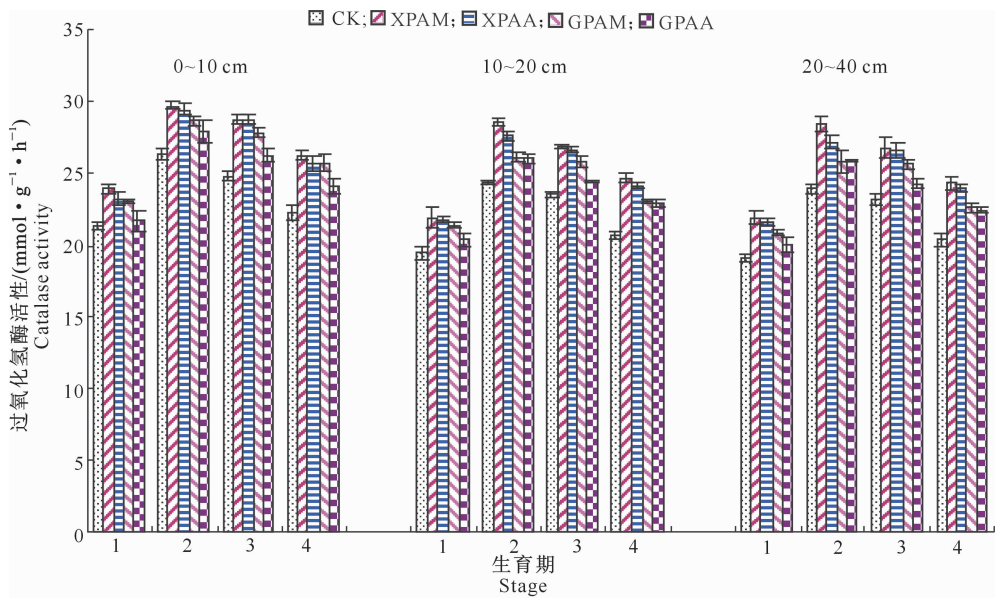
1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 做图,用 SAS 9.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同保水剂施用方式对土壤酶活性的影响

2.1.1 土壤过氧化氢酶活性 过氧化氢酶广泛存在于生物体和土壤中。土壤过氧化氢酶活性能够表征土壤腐殖化强度的大小和有机质积累的程度^[15],参与土壤中物质和能量的转化,具有分解土壤中对植物有害物质过氧化氢的作用。不同保水剂施用方式下土壤过氧化氢酶活性的变化见图 1。



1. 块茎形成期;2. 块茎膨大期;3. 淀粉积累期;4. 成熟期。下同
1. Tuber initiation stage;2. Tuber bulking stage;3. Starch accumulation stage;4. Mature stage. The same below

图 1 不同保水剂施用方式下土壤过氧化氢酶活性的变化

Fig. 1 Changes of soil catalase activity with application methods of supper absorbent polymers

图 1 显示,不同保水剂施用方式使土壤中过氧化氢酶活性产生明显变化,不同土层各处理土壤过氧化氢酶活性随马铃薯生育时期的推进呈现“单峰”曲线变化,均于块茎膨大期达峰值。随土层深度的增加,土壤过氧化氢酶活性呈现逐渐降低的趋势。不同保水剂施用方式下土壤过氧化氢酶活性存在较大差异,在不同土层中施入保水剂处理的土壤过氧化氢酶活性均高于 CK,且整体表现为 XPAM>XPAA>GPAM>GPAA>CK。在马铃薯块茎膨大期,0~10 cm 土层,穴施保水剂处理的土壤过氧化氢酶活性明显高于沟施保水剂处理和 CK,

XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理土壤过氧化氢酶活性分别比 CK 高 12.92%,11.97%,9.06%和 6.02%,XPAM 处理的土壤过氧化氢酶活性高于 GPAM,XPAA 处理的土壤过氧化氢酶活性高于 GPAA 处理;10~20 cm 土层,XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理的土壤过氧化氢酶活性分别比 CK 高 17.34%,13.17%,7.03%和 6.76%,穴施保水剂处理的土壤过氧化氢酶活性显著高于沟施保水剂处理和 CK(*P*<0.05);20~40 cm 土层,GPAA 处理的土壤过氧化氢酶活性显著高于 CK,略高于 GPAM 处理,但显著低于 XPAM、XPAA 处理(*P*<

0.05),XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理的土壤过氧化氢酶活性分别比 CK 高 18.71%,13.49%,7.65%和 8.00%。可见与 CK 相比,施入保水剂后使土壤过氧化氢酶活性保持在较高的水平。土壤过氧化氢酶活性总体表现为穴施处理高于沟施处理,且施用 PAM 处理的土壤过氧化氢酶活性高于 PAA 处理。在其他生育时期,不同土层施用保水剂处理土壤过氧化氢酶活性变化趋势与块茎膨大期基本一致。

2.1.2 土壤脲酶活性 土壤脲酶是土壤酶中唯一催化尿素水解的酶,是土壤中决定氮转化的关键酶,其活性反映土壤有机态氮向有效态氮转化及供应无机态氮的能力^[16]。由图 2 可知,各土层各处理土壤脲酶活性随马铃薯生育时期的推进呈现“单峰”曲线变化,均于块茎膨大期达峰值。不同保水剂施用方式下土壤脲酶活性存在较大差异,在不同土层中施入保水剂处理的土壤脲酶活性均高于 CK,且整体表现为 XPAM>XPAA>GPAM>GPAA>CK,且

随着土层深度的增加,土壤脲酶活性逐渐减小,但因为保水剂的施入,10~20 cm 土层土壤脲酶活性与 0~10 cm 土层差异较小。在块茎膨大期,0~10 cm 土层,穴施保水剂处理土壤脲酶活性明显高于沟施保水剂处理和 CK,XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理土壤脲酶活性分别比 CK 高 12.38%,2.33%,0.86%和 0.31%;10~20 cm 土层,GPAA 处理的土壤脲酶活性略低于 CK,其他处理均高于 CK,其中,XPAM、XPAA、GPAM 处理的土壤脲酶活性分别比 CK 高 12.43%,2.82%和 3.01%,GPAA 处理比 CK 低 0.38%,XPAM 处理显著高于 GPAM 处理($P<0.05$),XPAA 处理显著高于 GPAA 处理($P<0.05$);20~40 cm 土层,XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理的土壤脲酶活性分别比 CK 高 11.44%,2.02%,2.47%和 0.52%。可见,施用保水剂提高了土壤脲酶活性,穴施提高土壤脲酶活性的幅度较沟施保水剂处理大,且随土层深度的增加,土壤脲酶活性逐渐减小。

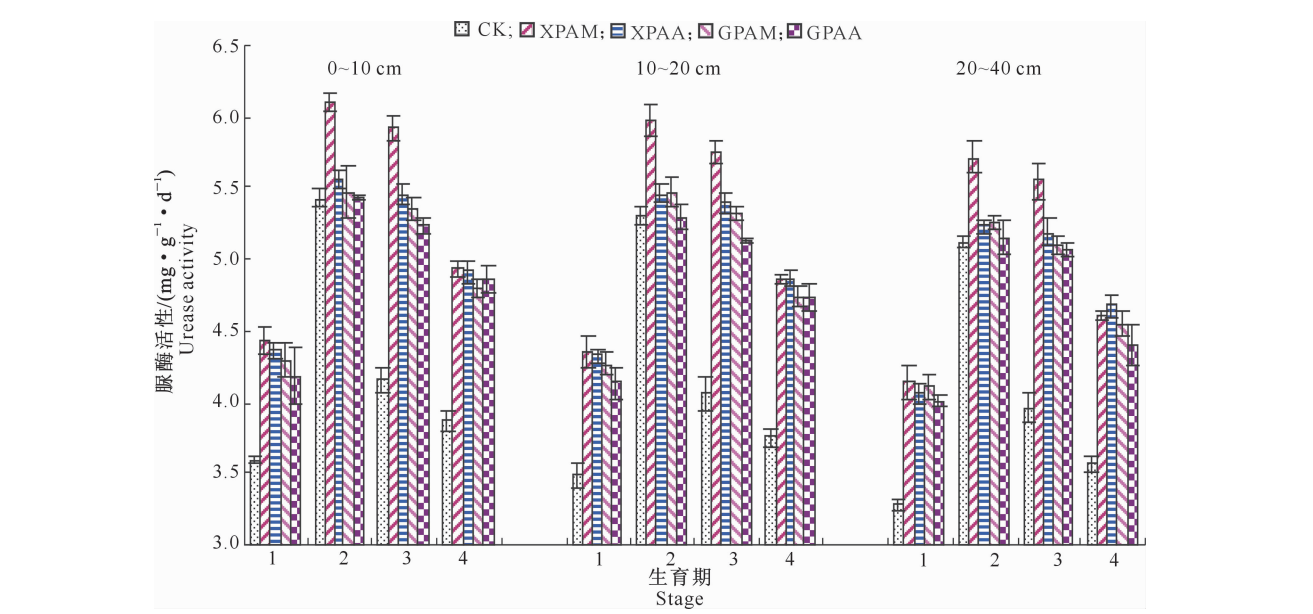


图 2 不同保水剂施用方式下土壤脲酶活性的变化

Fig. 2 Changes of soil urease activity with application methods of supper absorbent polymers

2.1.3 土壤蔗糖酶活性 由图 3 可知,各土层各处理土壤蔗糖酶活性随马铃薯生育时期的推进呈现“单峰”曲线变化,均于块茎膨大期达峰值。在同一土层,对于用一种保水剂,穴施处理的土壤蔗糖酶活性高于沟施处理,且随土层深度的增加,土壤蔗糖酶活性逐渐降低,其中 0~10 cm 土层与 10~20 cm 土层的土壤蔗糖酶活性差异较小。不同保水剂施用方式下土壤蔗糖酶活性存在较大差异,在不同土层中,

施入保水剂处理的土壤蔗糖酶活性均高于 CK。在马铃薯块茎膨大期,0~10 cm 土层,土壤蔗糖酶活性大小顺序为 XPAM>GPAM>GPAA>XPAA>CK,XPAM、GPAM、GPAA、XPAA 处理的土壤蔗糖酶活性分别比 CK 高出 22.99%,20.50%,18.34%和 17.03%;10~20 cm 土层,XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理的土壤蔗糖酶活性分别比 CK 高出 34.20%,31.81%,29.05%和 25.05%;

20~40 cm 土层,XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理的土壤蔗糖酶活性分别比 CK 高出 10.06%,12.04%,4.88%和 2.59%。可见,与 CK 相比,施入保水剂使土壤蔗糖酶活性保持在较高水平。在马铃薯成熟期,0~10 cm 土层,土壤蔗糖酶活性大小顺序为 XPAM>GPAM>GPAA>XPAA>CK,XPAM、GPAM、GPAA、XPAA 处理的土壤蔗糖酶

活性分别比 CK 高出 27.90%,27.32%,26.18%和 26.02%;10~20 cm 土层 XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理土壤蔗糖酶活性分别比 CK 高出 33.65%,25.88%,29.55%和 31.17%;20~40 cm 土层,XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理的土壤蔗糖酶活性分别比 CK 高出 36.43%,27.06%,29.25%和 29.16%。

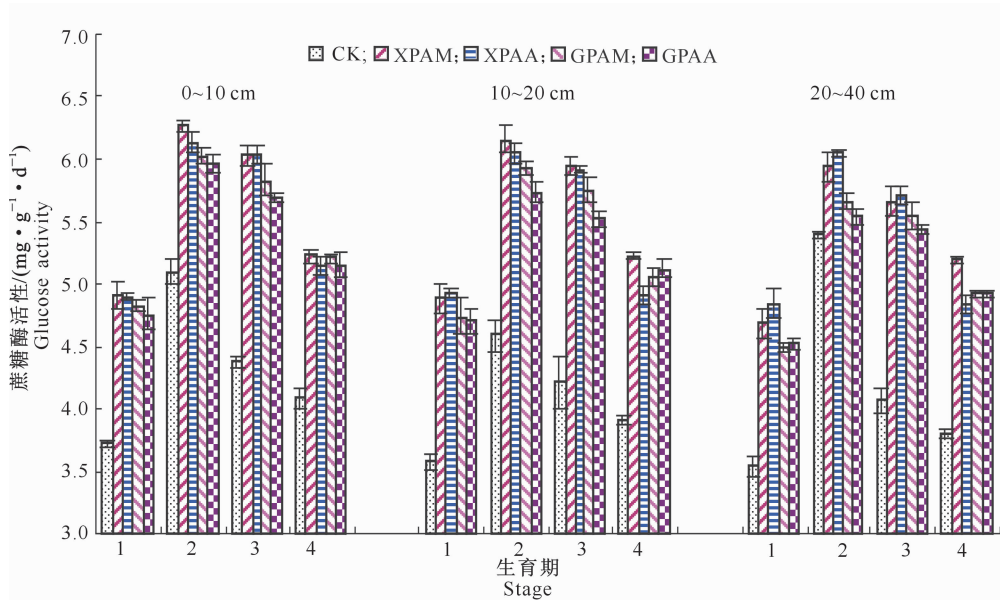


图 3 不同保水剂施用方式下土壤蔗糖酶活性的变化

Fig. 3 Changes of soil glucose activity with application methods of supper absorbent polymers

2.2 不同保水剂施用方式对马铃薯产量的影响

由表 1 可知,穴施保水剂处理马铃薯产量均高于沟施处理和 CK,其中 XPAM 与 XPAA 处理的马铃薯产量无显著差异,但显著高于其他处理($P<0.05$)。施用保水剂处理的马铃薯产量均显著高于 CK($P<0.05$),马铃薯产量大小顺序为 XPAM>XPAA>GPAM>GPAA>CK,XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理的产量分别较 CK 增加 12.08%,10.45%,7.37%和 5.22%。各处理间马

铃薯商品薯率呈显著性差异($P<0.05$),其中穴施保水剂处理的商品薯率均高于沟施保水剂处理。CK 和 GPAM 处理的中薯率均较高,XPAM 最低。CK 小薯率最高,GPAA 处理次之,XPAA 处理最小。XPAM、XPAA、GPAM、GPAA 处理小薯率分别较 CK 降低了 47.63%,49.24%,37.87%和 10.18%。可见,无论是穴施保水剂处理还是沟施保水剂处理,均提高了马铃薯产量和商品薯率,降低了小薯率,总体表现为施用 PAM 的增产效果更好。

表 1 不同保水剂施用方式下马铃薯产量的变化

Table 1 Changes of potato yield with application methods of supper absorbent polymers

处理 Treatment	产量/(t·hm ⁻²) Yield	增产比例/% Yield increase rate	商品薯率/% Commodity potato rate	中薯率/% Medium tuber rate	小薯率/% Small tuber rate
CK	28.17 d	—	83.87 e	6.20 a	9.93 a
XPAM	31.57 a	12.08 a	91.81 a	2.99 d	5.20 cd
XPAA	31.11 a	10.45 a	90.63 b	4.33 c	5.04 d
GPAM	30.25 b	7.37 b	87.66 c	6.17 a	6.17 c
GPAA	29.64 c	5.22 c	85.46 d	5.61 b	8.92 b

注:同列数据后标不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。
Note: Different small letter mean significant difference at $P<0.05$ level.

2.3 不同土壤酶活性与马铃薯产量的相关性

10~20 cm 土层,施用保水剂处理的土壤酶活

性与产量的相关关系如表 2 所示。由表 2 可知,土壤脲酶活性与土壤过氧化氢酶活性、马铃薯产量呈

显著正相关关系($P<0.05$),土壤蔗糖酶活性与土壤脲酶活性、土壤过氧化氢酶活性与马铃薯产量呈极显著正相关关系($P<0.01$)。表明,穴施、沟施保

水剂显著提高了土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性,进而提高了马铃薯产量。

表 2 土壤酶活性与马铃薯产量间的相关关系
Table 2 Correlation of soil enzyme activities and potato yield

指标 Index	土壤过氧化氢酶活性 Soil catalase activity	土壤脲酶活性 Soil urease activity	土壤蔗糖酶活性 Soil glucose activity	产量 Yield
土壤过氧化氢酶活性 Soil catalase activity	1			
土壤脲酶活性 Soil urease activity	0.927 *	1		
土壤蔗糖酶活性 Soil glucose activity	0.859	0.965 **	1	
产量 Yield	0.989 **	0.895 *	0.816	1

注: ** 和 * 分别表示在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平上差异显著。
Note: ** and * means significant differences at $P<0.01$ and $P<0.05$.

3 讨 论

土壤酶参与土壤中有机质的分解与转化、腐殖质的合成等复杂的生化反应。前人研究多数认为,土壤改良剂能够提高土壤过氧化氢酶活性,而对于土壤脲酶既有提高效果也有抑制作用,结论不一。曲贵伟等^[17]研究认为,聚丙烯酸钾和聚丙烯酰胺配比施用可以提高土壤蔗糖酶、磷酸酶活性,但显著抑制了土壤脲酶活性,与车明超等^[18]研究得出的施用聚丙烯酸盐类和腐植酸型保水剂可以使土壤脲酶活性保持较高状态的结论不同。而本研究认为,施用PAA-K和PAM均显著提高了土壤过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶活性及马铃薯产量。黄占斌等^[19]认为,穴施保水剂(15 kg/hm²)使马铃薯增产16%;俞满源等^[20]认为,保水剂加氮肥开沟深施10~15 cm使马铃薯产量增加75%~108.3%,特别是直径10 cm的商品薯产量比例较高;王栓全等^[21]认为,施用保水剂可以使马铃薯产量提高31.2%,大块茎所占比例提高21.7%;刘殿红等^[22]研究表明,施用PAA-K能促进马铃薯干物质的积累,提高光合生产率,其产量和商品薯分别比对照高出25.26%~27.30%和204.46%~237.50%。本研究中施用PAA-K和PAM均显著提高了马铃薯产量和商品薯率,使马铃薯产量提高了5.22%~12.08%,且穴施PAM增产效果最佳,这与前人研究略有差异,可能与土壤质地及保水剂类型不同有关。本研究中,土壤脲酶活性与土壤过氧化氢酶活性和马铃薯产量呈显著正相关关系($P<0.05$),土壤蔗糖酶活性与土壤脲酶活性、土壤过氧化氢酶活性与马铃薯产量呈极显著正相关关系($P<0.01$),施入保水剂处理显著提高了土壤过氧化氢酶、脲酶、蔗糖酶活性,为马铃薯产量的提

高奠定了基础。

[参考文献]

[1] 郭小军,王晓燕,白光哲,等. 内蒙古地区马铃薯种植业发展现状及前景 [J]. 中国马铃薯,2011,25(2):122-124.
Guo X J, Wang X Y, Bai G Z, et al. Developmnt situation and prospect of Inner Mongolia potato planting [J]. Journal of Chinese Potato, 2011, 25(2): 122-124.

[2] 张蕊,白岗栓. 保水剂在农业生产中的应用及发展前景 [J]. 农学报,2012,2(7):37-42.
Zhang R, Bai G S. Application and development prospect of the super absorbent ployer in agricultural production [J]. Journal of Agriculture, 2012, 2(7): 37-42.

[3] Sojka R E, Bjorneberg D L, Entry J A, et al. Polyacrylamide in agriculture and environmental land management [J]. Advances in Agronomy, 2007, 92: 75-162.

[4] Nazarli H, Zardashti R. The effect of drought stress and super absorbent ploymer(A200) on agronomical traits of sunflower under field condition [J]. Cercetari Agronomice in Moldove, 2010, 3: 5-14.

[5] Ryu K, Ide O, Moriyama T, et al. Effects of mixed super absorbent ploymer with medium soil on soil physical properties and the growth of tamato seedling [J]. Bulletin of the Fukunka Agricultural Research Center, 2008, 27: 59-63.

[6] 谢修颜,宛方,张艳,等. 保水剂的研究现状及展望 [J]. 化学与生物工程, 2013, 30(4): 8-13.
Xie X Y, Wan F, Zhang Y, et al. Research and development situation and prospect of water retention agents [J]. Chemistry and Bioengineering, 2013, 30(4): 8-13.

[7] 杨永辉,武继承. 保水剂对冬小麦生长及水分利用效率的影响 [J]. 华北农学报, 2011, 26(3): 173-178.
Yang Y H, Wu J C. Effects of water-retaining agent on growth and water use efficiency of winter-wheat [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2011, 26(3): 173-178.

[8] 员学锋,吴普特,冯浩. 聚丙烯酰胺(PAM)在土壤改良中的应用进展 [J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 141-145.
Yun X F, Wu P T, Feng H. Development of application of poly-

- acrylamide to soil amelioration [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2002, 9(2): 141-145.
- [9] 秦舒浩,王 蒂,张俊莲,等. 保水剂对旱作马铃薯土壤水分特性及马铃薯产量形成的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(2): 30-33.
Qin S H, Wang D, Zhang J L, et al. Effects of aquasorbs on soil water characteristic and yield formation of potato [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2013, 48(2): 30-33.
- [10] 杜尧东,夏海江,刘作新,等. 聚丙烯酰胺防治坡地水土流失田间试验研究 [J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 10-13.
Du Y D, Xia H J, Liu Z X, et al. Field experiment of preventing water and soil losses with ployacrylamide on sloping field [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(3): 10-13.
- [11] 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.
Du S N, Bai G S, Zhao S W, et al. Effects of Wote super absorbent and PAM absorbent on soil moisture and growth of potato [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 72-79.
- [12] 凌永胜,李金泉,叶丽娇,等. 沟施保水剂对闽南丘陵旱地马铃薯产量及土壤水分的影响研究 [J]. 福建农业学报, 2010, 25(2): 158-162.
Ling Y S, Li J Q, Ye L J, et al. Effects of absorbent in ploughed furrow on potato productivity and moisture retention in soil of loess hilly and gully regions in Southern Fujian [J]. Fujian Journal of Agricultural Science, 2010, 25(2): 158-162.
- [13] 杨永辉,吴普特,武继承,等. 保水剂对冬小麦不同生育阶段土壤水分及利用的影响 [J]. 农业工程学报, 2010, 6(12): 19-26.
Yang Y H, Wu P T, Wu J C, et al. Impacts of water retaining agent on soil moisture and water use in different growth stages of winter wheat [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 6(12): 19-26.
- [14] 关松荫,张德生,张志明. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
Guan S Y, Zhang D S, Zhang Z M. Soil enzyme and its research methods [M]. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [15] 杨万勤,王开运. 森林土壤酶的研究进展 [J]. 林业科学, 2004, 40(2): 152-159.
Yang W Q, Wang K Y. Advances in forest soil enzymology [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(2): 152-159.
- [16] 张为政. 作物岔口对土壤酶活性和微生物的影响 [J]. 土壤肥料, 1993(5): 12-14.
Zhang W Z. Crops on soil enzyme activities and microbial [J]. The Influence of Soil Fertilizer, 1993(5): 12-14.
- [17] 曲贵伟, Amarilis de Varennes, 依艳丽. 聚丙烯酸盐对长期重金属污染的矿区土壤的修复研究: II. 对土壤微生物数量和土壤酶活性的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(4): 653-657.
Qu G W, Amarilis D V, Yi Y L. The effect of insoluble polyacrylate on plant growth and soil quality in long-term heavy metal contaminated mine soil: II. the number of microhial and soil enzymatie activity [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(4): 653-657.
- [18] 车明超,黄占斌,王晓茜,等. 施用保水剂对土壤氮素淋溶及脲酶活性的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(增刊): 93-97.
Che M C, Huang Z B, Wang X Q, et al. Effects of SAP application on nitrogen eluviations and the urease activity of soil [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2010, 29(S): 93-97.
- [19] 黄占斌,万会娥,邓西平,等. 保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 52-55.
Huang Z B, Wan H E, Deng X P, et al. Super absorbent ploymer effects on soil improvement and drought resistant and water saving of crops [J]. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1999, 5(4): 52-55.
- [20] 俞满源,黄占斌,方 锋,等. 保水剂、氮肥及其交互作用对马铃薯生长和产量的效应 [J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 15-19.
Yu M Y, Huang Z B, Fang F, et al. Response of aquasorb, fertlizer and their interaction to growth and yield of potato [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(3): 15-19.
- [21] 王栓全,张成娥,邓西平,等. 陕北新修梯田马铃薯高产栽培技术研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(1): 60-64.
Wang S Q, Zhang C E, Deng X P, et al. Planting techniques for high yield of potato in newly-built terraced field in North Shaanxi [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2000, 18(1): 60-64.
- [22] 刘殿红,黄占斌,蔡连捷,等. 保水剂用法和用量对马铃薯产量和效益的影响 [J]. 西北农业学报, 2008, 17(1): 266-270.
Liu D H, Huang Z B, Cai L J, et al. Effect of different ways and amounts of ayuasorbent applying on yield and benefit of potato [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentatis Sinica, 2008, 17(1): 266-270.