

# 聚丙烯酰胺(PAM)的改土及增产效应

员学锋, 吴普特, 冯 浩

(西北农林科技大学, 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:** 通过夏玉米施加聚丙烯酰胺(PAM)的大田实验, 确定了 PAM 的改土、增产效应。研究表明, PAM 施用量为  $0.75 \sim 1.25 \text{ g/m}^2$  时可使土壤容重平均下降  $0.068 \text{ g/cm}^3$ , 团聚体总量( $> 0.25 \text{ mm}$ )平均增加  $30.2\%$ , 同时, PAM 增产效果显著, 增产幅度为  $11.7\% \sim 18.3\%$ 。

**关键词:** 聚丙烯酰胺(PAM); 玉米; 土壤改良; 增产

中图分类号: S156.2; S513

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2002)02-0055-04

## Role of Polyacrylamide on Soil Structure and Increasing Yield

YUN Xue-feng, WU Pu-te, FENG Hao

(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and Ministry of

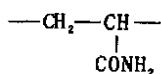
Water Resources, Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** After the study of adding polyacrylamide to summer maize in farmland, the effect of Polyacrylamide (PAM) on soil and yield is obvious. The result shows when the concentration of PAM is between  $0.75 \sim 1.25 \text{ g/m}^2$ , the bulk density of soil can decrease at the rate of  $0.068 \text{ g/cm}^3$  and the pore degree of soil is increased. PAM can increase the amount of soil aggregate ( $> 0.25 \text{ mm}$ ) at the rate of  $30.2\%$ . That is PAM has a better effect on soil improvement. PAM can also increase yield significantly at the rate of  $11.7 \sim 18.3\%$ .

**Key words:** Polyacrylamide (PAM); maize; soil improvement; yield increase

## 1 前 言

聚丙烯酰胺(PAM)是一种高分子聚合物, 其单体为丙烯酰胺, 分子式为:



PAM 由  $\gamma$ 射线高能辐射引发聚合而成, 呈白色细沙状粉末或无色透明胶体, 水溶性好, 不溶于大多数有机溶剂, 具有良好的絮凝性。现在它已发展成为产品形式多样、品种齐全的多功能化工产品。近年来在土壤改良、水土流失方面有了广泛的研究。作为一种新型材料, 聚丙烯酰胺(PAM)可有效改善土壤结构, 使土壤大团聚体数目增加, 增大土壤表面粗糙度, 降低土壤容重, 使土壤总孔隙率和毛管孔隙度上

升, 使土壤颗粒和孔隙结构保持稳定, 从而提高土壤入渗率, 增加了土壤含水量<sup>[1,2]</sup>, 进而提高作物产量<sup>[3]</sup>, 简单地说, PAM 具有保水、保土、保肥、增产等效用。采用室外大田法, 研究 PAM 的适宜用量、改良土壤效应、对玉米性状及产量的影响, 为推广应用 PAM 提供依据。

## 2 实验概况

### 2.1 实验条件

本实验安排在杨陵地区五泉乡南营大队。土壤类型为重壤土(前苏联制), 物理性黏粒含量高达  $63.3\%$ 。该区属于暖温带半湿润季风气候区, 年平均温度为  $12.9^\circ\text{C}$ , 极端最高气温  $42^\circ\text{C}$ , 最低气温  $19.4^\circ\text{C}$ , 全年无霜期  $221 \text{ d}$ , 年均蒸发量  $884.0 \text{ mm}$ ,

收稿日期: 2002-02-25

基金项目: 国家重点科技产业示范项目“渠灌类型区农业高效用水模式与产业化示范”(99-021-01-02)。

作者简介: 员学锋, 男, (1977-), 陕西延安人, 研究生, 主要从事水资源高效利用。

年均降水量 637.6 mm, 年内降雨分配不均, 60% 集中在 7、8、9、10 四个月, 年际变化大, 丰枯比为 3.0, 变差系数为 0.25。该区温度可满足玉米、小麦一年两熟的需要, 降雨量相对较多, 但初夏干旱影响玉米播种, 伏夏干旱经常出现, 影响玉米生产。秋季多连阴雨, 影响玉米成熟, 造成与小麦争时现象。

## 2.2 材料与方法

供试玉米品种为单 9 和陕 911, 前茬作物为小麦。6 月 11 日播种, 10 月 5 日收获, 种植密度为 4.2 株/ $\text{m}^2$ 。本实验所用 PAM 由法国 SNF 公司生产并提供。按照 PAM 用量不同分别设置为 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25  $\text{g}/\text{m}^2$  6 个处理, 各小区面积为 75  $\text{m}^2$ , 处理间设保护行。2 次重复, 随机排列。在玉米拔节期 (7 月 15 号) 与干土搅拌直接撒施于地表, 随后进行灌溉。在作物整个生育期内灌溉一次, 灌溉量控制在 1200~1500  $\text{m}^3/\text{hm}^2$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 PAM 对土壤结构的改良作用

3.1.1 调节土壤紧实度 反映土壤紧实度的指标是土壤容重和总孔隙度, 在玉米收获之前, 分别测定了土壤容重并进行了土壤结构分析。

表 1 PAM 对土壤容重和土壤总孔隙度的影响

PAM 用量/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$	0	0.25	0.5	0.75	1.00	1.25
容重/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	1.217	1.216	1.206	1.171	1.139	1.136
总孔隙度/%	53.79	53.83	54.16	55.31	56.37	56.46

注: 测定方法采用环刀称重法。

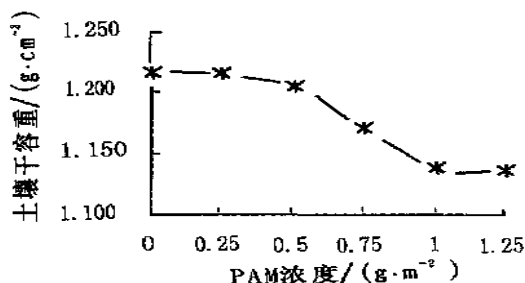


图 1 PAM 对土壤容重的影响

由表 1 可以得出, 在土壤中施加 PAM 可以降低土壤容重, 增加土壤总孔隙度, 并有随 PAM 施用量增加容重降低、总孔隙度增加的趋势。随 PAM 施用量的增加, 容重分别较对照降低 0.001, 0.011, 0.046, 0.078, 0.081  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。当 PAM 0.75  $\text{g}/\text{m}^2$  时, 土壤容重较对照差异显著, 降低幅度分别达到 3.78%、6.4% 和 6.66%, 土壤容重平均下降 0.068  $\text{g}/\text{cm}^3$ , 同时土壤孔隙度随 PAM 施用量的增加也呈上升趋势。这说明 PAM 的施用量越大其改良土壤

效果愈好, 但也不能随意加大用量, 我们从图 1 可以得出, 当 PAM 施用量为 0.5~1.0  $\text{g}/\text{m}^2$  时, 土壤容重变化率较大, 容重平均降低 5.61%, 而 PAM 浓度小于 0.5  $\text{g}/\text{m}^2$  或大于 1.0  $\text{g}/\text{m}^2$  时, 相邻处理土壤容重变化幅度平均不超过 0.56%。这说明当 PAM 施用浓度过小时其改良土壤效果不明显; 同时当 PAM 浓度过大时, 过量的 PAM 并不能充分发挥其效应, 从而造成浪费。因此适宜的施用量是相当重要的。若从土壤改良角度考虑, 该区土壤的适宜施用量应为: 0.5~1.0  $\text{g}/\text{m}^2$ 。

3.1.2 促进土壤水稳性团聚体的形成 土壤结构是土壤肥力的综合反映, 水稳性团聚体含量是评价土壤结构的主要指标之一。PAM 有极强的絮凝作用, 对土壤分散颗粒起着很好的凝聚作用, 增强了土壤颗粒的水稳性, 从而提高了土壤肥力。

施用 PAM 后, 土壤的水稳性团聚体比对照均有了显著的提高 (表 2), 并有随 PAM 施用量的加大其含量增多的趋势。随 PAM 浓度的增加, 各处理中大于 0.25 mm 的团聚体总量分别较对照增加 22.9%、24.0%、30.1%、33.0% 和 41.1%, 平均增加 30.2%, 团聚体数量的增加可增加土壤的保水性能, 对于改善土壤通透性, 减少土面蒸发, 防止土面板结、龟裂、减少土面蒸发等有较好的作用<sup>[4]</sup>。

表 2 PAM 对土壤团聚体含量的影响

PAM 浓度/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$	各级团聚体的含量/% (粒径: mm)						
	> 5	5~2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.1	小计
0(对照)	6.8	4.9	7.2	17	19.5	55.4	24.2
0.25	8.9	11.3	12.1	21.2	14.6	68.1	33.3
0.5	17.7	8.5	7.7	20.0	14.8	68.7	27.7
0.75	16.3	10.8	10.2	21.5	13.3	72.1	31.7
1.00	18.0	11.0	10.9	20.1	13.7	73.7	31.0
1.25	17.3	11.9	11.7	23.1	14.2	78.2	34.8

注: 玉米收获前采用萨维诺夫法测定。

以上结果显示, PAM 在吸水溶胀后, 由于凝胶的粘结作用可以增加土壤表层颗粒间的凝聚力从而使土壤具有明显的团粒化效果, 而且形成的团聚体水稳性很强, PAM 起胶结作用的实质<sup>[5]</sup>是由于其表面有大量的亲水基团, 通过氢键对黏粒吸附、凝聚, 使体积增大成为团聚体。由于重壤土黏性颗粒含量高 (物理性黏粒含量高达 63.2%), 因此, 在水的作用下, PAM 可有效将土壤细小黏粒吸附、凝聚, 使其体积增大并形成大团粒, 从而改善土壤结构。

3.1.3 PAM 改善土壤微结构特征 PAM 施加到土壤后使土壤颗粒胶结, 很快形成许多大小不等的团聚体。田间观察表明, 在灌溉或一次降雨后, 对照

区土壤干燥较快,而且易形成结皮,PAM 处理过的土壤质地较疏松,土壤比较湿润。观察还发现,PAM 处理过的土壤剖面呈类似蜂窝状结构,土壤表面较对照粗糙且分布有很多孔眼,随着 PAM 浓度的增加蜂窝状结构越明显且厚度越大,其厚度为 1~ 5 cm。英国学者 Johnson<sup>[6]</sup>用扫描电子显微镜观察到这种结构是六角形的“桥”连接并形成许多规则孔洞构成的。其中 80%~ 85% 的水储存在这些洞内,还有 10%~ 15% 的水被牢固地封闭在更小洞内,但这些封闭的水都是对植物有效的。由此可见,PAM 可有效改善土壤水库的结构,提高土壤的蓄水能力。

3.2 PAM 对土壤水分的影响

为了研究施加 PAM 后的土壤水分变化情况,在实验过程中,我们分别测定了 0~ 5、5~ 10、10~ 20、20~ 30、30~ 40、40~ 60、60~ 80、80~ 100 cm 土壤的土壤含水量。对其主要从两个角度进行研究,一是在土壤起始含水量一致的前提下研究 PAM 的保水效果,土壤水分变化曲线见图 2;二是在随 PAM 浓度的增加土壤起始含水量呈下降趋势的基础上研究 PAM 的保水效果,进一步研究 PAM 浓度的变化和其保水性大小的关系,其土壤水分变化曲线见图 3(其中图粒重数据的单位为: g/m<sup>2</sup>)。

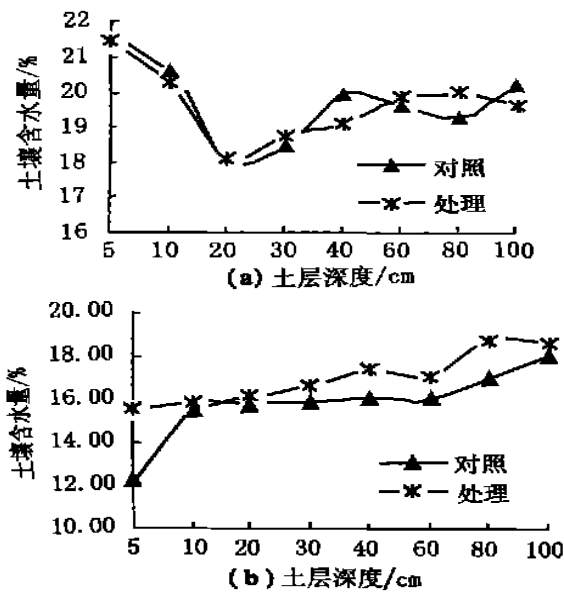
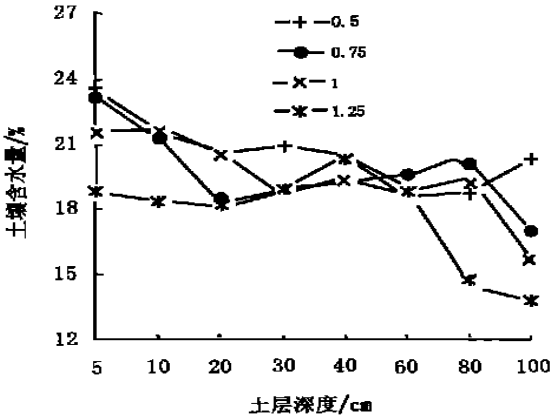


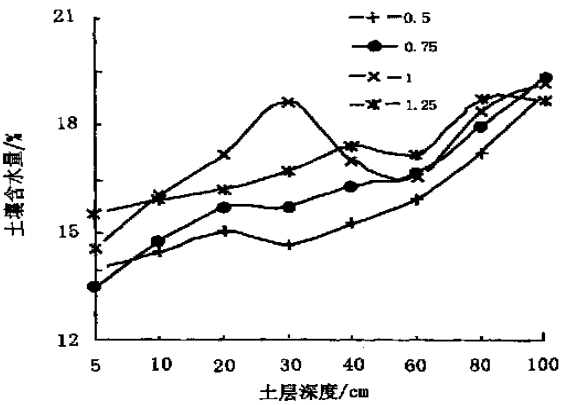
图 2 土壤水分变化曲线

从图 2 可以看出,起初 PAM 处理的土壤含水量略低于对照图 2(a),随着时间的推移,土壤水分不断变化,各处理土壤含水量都表现出下降趋势,但不同处理的土壤水分减少情况不同,加入 PAM 的处理保持的水分明显高于 CK(对照)(图 2(b))。在土层 0~ 10 cm 深处,用 PAM 处理过的土壤含水量较对照增加 28%,这说明高温干燥条件下,聚丙烯

酰胺(PAM)的亲水基团吸附水分子,使其不易蒸发从而达到吸收水分和缓释水分的目的,从而在较长时间内使土壤保持较多的水分,起到保水作用。在 8 月 10 日左右玉米抽穗灌浆期,天气干旱,土壤水分降低较多,而 PAM 处理的土壤含水量较对照提高 7.5%,从而有利于玉米生长。



a 土壤初始含水量



b 20 天后土壤含水量

图 3 土壤含水量曲线

结合图 3(a)可以看出,随 PAM 施加浓度的增加土壤的起始含水量大致呈下降趋势,其中 PAM 浓度为 1.00 g/m<sup>2</sup> 和 1.25 g/m<sup>2</sup> 的土壤起始含量均较低。从图 3(b)可以看出,20 d 天后,高浓度处理的土壤含水量均高于低浓度处理的土壤含水量,这说明随着 PAM 施用量的增加,土壤保持水分的能力越强。这是因为随着 PAM 浓度的增加,其改土效果愈明显,干旱时可有效抑制蒸发,从而提高了土壤的保水性能。

以上结果显示, PAM 具有很好的保水性能,且对土壤水分的保蓄能力随 PAM 浓度的增加而增强。

3.3 不同 PAM 施用浓度对玉米经济性状、产量的影响

PAM 除了自身所具有的吸水性,增加土壤团聚体水分含量,抑制土表水分蒸发作用以外,还增加

了土壤的透气性和渗透性,促进作物根系的发育,提高了作物的抗旱性,给作物的增产提供了条件。

由表3可以得出:不同PAM浓度对玉米形态影响不大,株高、穗位高、茎粗、穗长及穗粗差异不明显。玉米不同处理中秃顶长差异较为显著,PAM处理过的玉米与对照相比玉米秃顶平均减少0.21, 0.17, 0.38, 0.39, 0.23 cm。PAM处理后的各小区的玉米产量较对照均有不同程度的增加,按浓度由小到大排列,与对照相比,单9各处理产量分别较对照增加3.3%、4.6%、18.3%、16.0%、16.9%,而陕911的增长幅度分别为2.5%、14.6%、18.2%、11.7%、15.4%。当PAM浓度为0.75~1.25 g/m<sup>2</sup>时玉米增产幅度为11.7%~18.3%。从玉米产量曲线图可以得出,随着PAM浓度的增加,玉米产量总体呈上升趋势,当浓度增加到一定程度时玉米产量有所下降或增长缓慢,这说明PAM在施加过程中应遵循适量原则。

表3 不同PAM浓度玉米经济性状、产量比较

处理/ (g·m <sup>-2</sup> )	株高 /cm	穗位高 /cm	茎粗 /cm	穗长 /cm	穗粗 /cm	秃顶长 /cm	小区平均产量/kg	
对照	224	86	1.77	16.7	4.58	1.62	40.88	陕911
0.25	227	85	1.75	16.7	4.60	1.41	42.21	
0.5	226	86	1.82	16.8	4.62	1.45	42.76	
0.75	226	87	1.79	17.2	4.67	1.36	48.36	
1.00	229	89	1.76	17.7	4.77	1.23	47.41	
1.25	228	88	1.77	17.7	4.83	1.39	47.81	

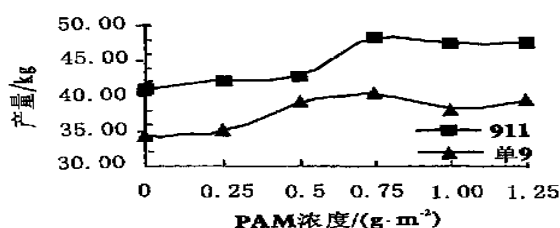


图4 玉米产量曲线图

以上分析研究结果充分肯定了PAM的增产效

应。但同时PAM的施用是有一定量限定的,当PAM用量低于0.25 g/m<sup>2</sup>时,增产效果很不明显,增幅不到5个百分点;当PAM浓度过大时,相邻处理的增产幅度将出现负值或增长率很低。造成这种现象的原因有待进一步研究。从玉米产量曲线图和产量表中可以初步推断PAM的适宜施用量应为0.25~0.75 g/m<sup>2</sup>。

## 4 结 论

(1) 随PAM施用量的增大,土壤容重呈下降趋势,土壤总孔隙度呈上升趋势。当PAM浓度为0.75~1.25 g/m<sup>2</sup>时可使土壤容重平均下降0.068 g/cm<sup>3</sup>,当PAM浓度为0.25~1.25 g/m<sup>2</sup>时团聚体总量(>0.25 mm)平均增加30.2%,从而起到疏松土壤、减缓土壤水分蒸发,调节土壤的水肥气热状况。

(2) PAM具有很好的保水效果,在玉米生育期内的不同测定时间段内,PAM处理过的土壤在较长时间内保持较高的水分含量,且随浓度的增加其保水效果增强。

(3) PAM增产效果显著,当其浓度为0.75~1.25 g/m<sup>2</sup>时玉米增产幅度为11.7%~18.3%。PAM在重壤土的适宜施用量应为0.25~0.75 g/m<sup>2</sup>。至于PAM浓度过大时相邻处理增产效果不显著的原因、PAM的改土增产机理以及PAM的使用寿命等还需进一步研究。

(4) 聚丙烯酰胺(PAM)具有增产保水的作用,同时能改良土壤结构,与传统的链状水溶性的土壤结构改良剂并不完全相同。PAM在农业生产中的应用是近年来才逐渐被人们接受并逐渐发展起来的,是人工改良土壤、提高肥力,解决干旱地区水资源紧缺的一条新途径。

## 参考文献

- [1] 张淑芬. 坡耕地施用聚丙烯酰胺防治水土流失试验研究[J]. 水土保持科技情报, 2001, (2): 18-19.
- [2] Terry, R.E., S.D. Nelson. Effect of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties[J]. Soil Sci. 1986, 141: 317-320.
- [3] 肇普兴, 夏海江. 聚丙烯酰胺的保土保水保肥及改土增产作用[J]. 水土保持研究, 1997, 4(4): 98-104.
- [4] 方锋, 黄占斌, 张国桢. 保水剂和泥炭对改良土壤和玉米抗旱成苗的影响[A]. 农业高效用水与水土环境保护.
- [5] T.J. Trout, R.E. Sojka, R.D. Lentz. Polyacrylamide effect on furrow erosion and infiltration[J]. ASAE. 1994, 38(3): 761-765.
- [6] Johnson, M.S. Effect of soluble salt water absorption by gel-forming soil conditioners[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1984, 35: 1063-1066.