

聚丙烯酸钾对土壤孔隙及含水特性的影响

杨彦明¹, 刘景辉^{1*}, 李立军¹, 赵宝平¹, 车永强², 乌恩²

(1. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019;

2. 鄂尔多斯市植保植检站, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要: 长城沿线地处我国北方干旱、半干旱区, 常年因春旱缺墒造成的播种难、出苗难、保苗难问题严重。试验利用土柱人工模拟干旱环境, 通过施用不同量聚丙烯酸钾 (K-PAM) 来改善土壤孔隙与水分状况, 并借助 CT 扫描技术为深入研究 K-PAM 蓄水保墒机制提供理论依据。试验设 4 个 K-PAM 用量 (% , 占土壤质量百分比), 即 0 (CK)、0.02% (A)、0.06% (B)、0.10% (C)。结果表明: 施用 K-PAM 可增加 0~10 cm 土层孔隙总数, 从各级等效直径孔隙看, 各土层 1.0~2.0 mm 孔隙数量最多。随着 K-PAM 用量增加, 各级孔隙数量呈先增加、后减少的变化趋势, 且以中等用量 0.06% (B) 表现最佳。随着苗期推进、持续干旱下各处理 0~10 cm 土壤紧实度在出苗 6~7 d 后开始不断增大, A、B、C、CK 处理紧实度最高分别可达 1 632.8、1 944.3、2 198.5、1 400.7 kPa; K-PAM 用量小于 0.06% 时, 可使苗期 0~10 cm 土层含水量较其它处理增加。用量大于 0.06% 时, 0~10 cm 土层含水量较其它处理降低; 干旱条件下, 低用量 K-PAM 处理更有利于出苗数量增加。可见, 确定合理 K-PAM 用量是发挥 K-PAM 蓄水保水优势, 增加出苗率、获得高产的关键。

关键词: 聚丙烯酸钾; 土壤孔隙; 土壤含水特性

中图分类号: S152

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2015) 04-0028-08

长城沿线地处我国北方干旱、半干旱区, 当地降水时空分布不均、年蒸发量大, 因春旱缺墒造成播种难、出苗难、保苗难问题严重。如何提高作物苗期土壤水分利用率、改善土壤结构成为提高该地区作物产量的关键。保水材料由于特殊的结构与功能, 越来越多地应用在农业抗旱保苗方面^[1-4]。曹丽花等^[5]研究表明, 保水材料可促进土壤中 >0.25 mm 水稳性团聚体形成, 使土壤团聚体分形维数显著降低。何传龙等^[6]发现保水材料使砂姜黑土容重下降 13.50%, 总孔隙度提高 9.40%。崔娜等^[7]研究结果表明, 保水材料使土壤容重分别降低了 5.69%、7.09% 和 5.89%。聚丙烯酸钾 (K-PAM) 除具备高吸水性外, 还有生产成本低、加工工艺简单、产品质量稳定、长时间储存不变质, 最终分解物对生态环境无害等特点, 因此 K-PAM 应

用于当地农业生产具有重要意义。

土壤含水量受外界环境影响较大, 土壤水分变化取决于土壤水分收支状况^[8-9], 而土壤孔隙是土壤水分交换的重要通道, 对土壤水分状况有很大影响。土壤孔隙是水分和化学物质快速、远距离运移的主要甚至可能是唯一通道^[10-11]。在溶液流经孔隙时, 土壤水及溶质不能与土壤基质发生充分的相互作用, 直接快速穿透土体进入地下水, 即发生优先迁移^[12-13]。保水材料能够明显改变土壤团粒结构, 增大土壤孔隙度, 减小土壤容重, 提高水分入渗速率, 增加饱和导水率, 保蓄水分, 减少蒸发, 有效提高降水利用效率^[14-17]。K-PAM 对土壤结构功能、蓄水保水能力究竟产生何种影响, 目前资料较少, 值得深入研究。

与此同时, CT 分析技术 (电子计算机 X 射线断层扫描技术) 在国内外得到广泛应用, Anderson 等^[18]发现, 土壤对射线的吸收与其容重和湿度存在显著的线性关系。Phogat 等^[19]利用 CT 得出的总孔隙度与土壤容重算出的总孔隙度较为一致。CT 研究表明, 大孔隙的尺度及分布与土壤容重的空间分布关系密切, 可以研究土壤的紧实状况^[18,20-21]。CT 扫描后图像处理技术可以研究土壤孔隙的分布、

收稿日期: 2014-08-20; 最后修订日期: 2014-09-28

基金项目: 国家自然科学基金 (31160267); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201003053-4)。

作者简介: 杨彦明 (1980-), 男, 内蒙古呼伦贝尔人, 博士研究生, 研究方向为耕作制度与农业生态系统。E-mail: 68282761@qq.com。

通讯作者: 刘景辉, E-mail: cauljh@yahoo.com.cn。

孔隙表面分形数维、土壤孔隙度、土壤含水量空间分布等土壤性质^[22-24]。目前,鲜见关于K-PAM对土壤结构孔隙特征的研究。本研究为避免各种自然、人为干扰,通过土柱实验人工模拟长城沿线干旱环境,针对土壤蒸发严重,降雨时空分布不均问题,通过施用K-PAM来改善播种条件下土壤孔隙与水分状况,并借助CT分析技术为深入研究K-PAM蓄水保墒机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2012~2013年在内蒙古农业大学燕麦产业研究中心日光温室开展,供试作物为裸燕麦白燕1号,保水材料为聚丙烯酸钾(K-PAM,淡黄色颗粒状水溶性高分子聚合物,无臭无味,遇水膨胀,溶于乙醇和异丙醇等,易溶于碱性溶液,300℃以上易分解,密度0.62 g/cm³,弱碱性)。供试土壤取自内蒙古清水河县试验地,为砂质黄绵土,容重约1.35 g/cm³。

1.2 试验设计

1.2.1 田间取土

于试验地选取相对无干扰地块,去除地表杂草、石块、秸秆、作物残茬,分层铲取0~10、10~20、20~40 cm土层土壤各2 000 kg运回实验室,待土壤稍干燥后全部过2 mm网筛,后分开摊平、晾晒,待含水量降低至同一水平(含水量约5%)时使用。

1.2.2 土柱制作

选取直径16 cm(内径15 cm)PVC管,整齐切割成段(每段50 cm),底部用玻璃胶粘合铝塑板(铝塑板用修边机切割成16 cm圆形)。土柱高度为50 cm(为方便灌水上部留出10 cm高度不填土)。

1.2.3 土柱填装

每柱填装制备好的土壤10 kg,先后分20~40、10~20、0~10 cm 3层,均匀填装至土柱40 cm高度,此时土柱各层土壤容重约为1.35 g/cm³。

1.2.4 加保水剂

试验设4个聚丙烯酸钾用量(% ,以质量百分比计),即0(CK)、0.02%(A)、0.06%(B)、0.10%(C)。先向土柱填土7.5 kg(20~40 cm土层5 kg、10~20 cm土层2.5 kg),填装至30 cm处,后将各施用量保水材料与2.5 kg 0~10 cm土

层土壤反复搅拌、均匀混合,再将混有保水材料的土壤均匀装入各土柱,此时土层深度为40 cm。各处理K-PAM用量分别为0.5、1.5、2.5 g。后用15 cm直径多孔漏斗均匀灌水700 mL,2 h后用镊子均匀点种50粒燕麦种子,深度3 cm。各处理均设3次重复。

1.3 测定方法

1.3.1 含水量测定

燕麦出苗后开始,对0~10 cm土层土壤含水量日变化进行连续测定。使用便携式土壤水分测定仪(托普TZS-II),利用水分探针,分别对0~5、5~10 cm土层进行测定。

1.3.2 紧实度测定

使用土壤紧实度仪(TJSD-750)连续测定苗期0~10 cm土壤紧实度。

1.3.3 出苗率测定

播种7 d后开始,每天固定时间对出苗情况进行观察,并记录出苗数量,直至出苗数量恒定。

1.3.4 孔隙测定

1.3.4.1 参数设定 CT试验于播种后30 d进行,使用通用GE Light Speed VCT对土柱进行扫描。调整CT峰值电压至120 kV,电流120 mA,扫描时间2 s,扫描厚度1.25 mm。参数设定后,将土柱水平躺放入CT机X射线管和探测器之间,探测器围绕土柱旋转360°,将峰值为120 kV的电压输送到X射线管上,射线管发出扇形射线穿透厚度为1.25 mm的土柱薄片,位于X射线管对面的探测器检测已衰减的X射线,并形成投影,投影值重新组合形成图像。该扫描图像由一定数量的图形元素组成,根据不同位置的射线衰减系数,把亮度值与图像中的每个图形元素对应,不同密度区域在图像中以不同亮度表示,土壤大孔隙可清晰显示。试验连续对各处理0~10 cm土壤表层分10层进行扫描。扫描结束后,由VCT-Workstation软件直接导出JPEG格式的扫描图像,通过图像处理软件ImageJ2X对扫描图片进行批量导入,进行图像矢量化处理。通过软件颗粒运算功能对土壤横截面进行孔隙分析,得出孔隙总面积(>0.35 mm所有孔隙面积之和)、等效直径、成圆率(数值越接近1,表示孔隙形态越接近于圆,孔隙面积相同而孔隙周长越不规则,成圆率则越小)等相关数据。试验以等效直径>0.35 mm孔隙为大孔隙,并对其进行进一步分级(0.35~1.0、1.0~2.0、2.0~3.0、3.0~5.0、

>5.0 mm)。

1.3.4.2 CT扫描图像输出与矢量转化 CT对土柱0~10 cm表层进行扫描后,可得到各横截面图像(直径d=150 mm,像素pix=62 500)。各处理3、4 cm处扫描原图清晰可见少量未萌发燕麦种子、极个别干旱引起的大缝隙(直径大于5 mm),为消除其对矢量化过程的影响,利用Photoshop将其淡化移除,从而在矢量后的数据中消

除种子对数据的影响。通过ImageJ2X,对扫描图片进行调整和批量导入,进行图像矢量化处理(图1)。首先,设定标尺使像素与真实空间距离建立对应关系;其次,改变图片像素灰度,阈值调整至70,强化颜色较深区域;最后通过颗粒运算功能,对1.25 mm厚度土壤切片进行孔隙模拟分析,从而得出孔隙面积、等效直径、成圆率等相关数据信息。

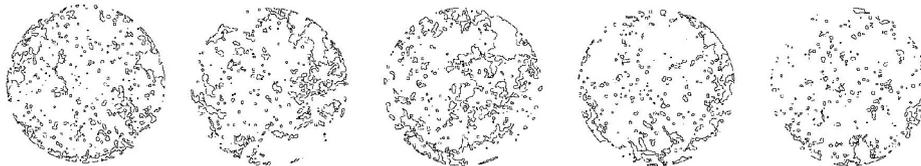


图1 部分处理矢量转化图

2 结果与分析

2.1 各处理0~10 cm土壤孔隙分布及变化

土壤孔隙是土壤结构的重要组成部分,土壤孔隙在很大程度上影响着水分及溶质在土壤中的运输^[25]。对于土壤孔隙的研究主要是土壤通气孔隙,也就是土壤大孔隙。由表1可见,施用K-PAM可明显提高0~10 cm土层孔隙面积,施用量0.10%(C)时最高;从孔隙面积分布看:各处理0~5 cm土层各级孔隙总面积占0~10 cm土层孔隙总面积

的80%以上,5 cm以下各土层孔隙面积仅占10%左右,且这一比例随K-PAM施用量增加而降低。施用K-PAM可增加0~10 cm土层孔隙总数,从各级孔隙等效直径来看:各土层1.0~2.0 mm孔隙数量最多,其余依次为0.35~1.0、2.0~3.0、3.0~5.0、>5.0 mm。0.35~2 mm孔隙数量可占全部孔隙的70%左右。中等K-PAM用量处理(B)各级孔隙数量与其它处理及CK相比增幅最大,低施用量(A)、高施用量(C)处理次之。

表1 各处理对土壤孔隙及相关指标的影响

处理	深度 (cm)	孔隙总面积 (mm ²)	不同等效直径的孔隙数量(个)				
			0.35~1.0 mm	1.0~2.0 mm	2.0~3.0 mm	3.0~5.0 mm	>5.0 mm
A	1	1 547.75bc	27	55	40	18	13
	2	1 275.25c	34	52	36	25	16
	3	1 470.25c	21	26	28	24	24
	4	693.50c	28	39	22	18	8
	5	364.50cd	20	30	16	8	2
	6	188.50c	8	25	17	5	1
	7	204.50c	15	17	8	10	2
	8	151.00d	15	17	1	8	1
	9	80.75d	6	11	5	2	1
	10	32.25d	8	2	2	2	0
AVG	600.83C	18C	27C	18C	12C	7C	
B	1	1 695.25b	47	67	68	30	15
	2	2 362.50b	37	70	54	45	22
	3	3 184.25b	48	51	44	29	33

处理	深度 (cm)	孔隙总面积 (mm ²)	不同等效直径的孔隙数量 (个)					
			0.35 ~ 1.0 mm	1.0 ~ 2.0 mm	2.0 ~ 3.0 mm	3.0 ~ 5.0 mm	>5.0 mm	
A	4	3 096.00a	44	56	53	27	30	
	5	2 596.50a	33	60	44	27	16	
	6	1 122.25b	39	52	28	25	11	
	7	647.75b	18	46	16	16	7	
	8	710.00a	25	29	22	12	9	
	9	565.00a	23	19	18	2	6	
	10	484.50ab	26	18	8	4	7	
	AVG	1 646.40B	34A	47A	36A	22A	16B	
	C	1	3 042.25a	73	77	65	46	23
		2	4 395.50a	48	72	57	27	27
3		4 156.00a	38	50	38	27	43	
4		2 938.25ab	39	46	29	25	38	
5		2 474.50ab	38	48	28	26	26	
6		1 516.25a	25	40	37	21	16	
7		1 032.00a	23	32	21	16	13	
8		653.00b	18	33	18	6	5	
9		419.75b	14	18	11	6	4	
10		370.00bc	6	13	2	1	0	
AVG	2 066.45A	32B	43AB	31.6B	20AB	20A		
CK	1	953.25d	59	40	21	18	12	
	2	848.00d	63	36	20	12	10	
	3	624.00d	36	25	20	9	11	
	4	312.50d	17	18	9	11	4	
	5	415.50c	27	21	9	10	5	
	6	138.25d	21	30	7	3	1	
	7	200.25d	28	25	12	0	3	
	8	282.00c	22	14	5	6	3	
	9	392.50bc	24	17	8	2	3	
	10	540.50a	24	23	19	11	9	
AVG	470.68D	32B	25C	13D	8D	6CD		

注: AVG 代表各处理不同深度截面各项数据的平均值; 同列数据后字母表示各深度及平均值不同处理的差异显著性, 不同大、小写分别表示 0.01、0.05 水平差异显著。

从不同施用量各处理来看: A 处理 1、2 cm 处孔隙数量最多, 比 10 cm 处多 101、111 个, 各级孔隙主要集中于 5 cm 土层以上, 且与燕麦根系共同发挥固定水分、改变土壤孔隙分布的作用。从 A 处理孔隙分布数量来看, 1.0 ~ 2.0 mm 的孔隙数量最多, 其次为 0.35 ~ 1.0 mm 孔隙, 大于 5 mm 的孔隙数量最少; B 处理孔隙数量 2.0 ~ 3.0 mm 位居第 2, 其余及孔隙面积变化规律与 A 处理基本一致, 但其

各级孔隙数量均高于 A 处理, B 处理各土层孔隙数量平均值为 153 个, 约为 A 处理的两倍。同时, 其根系影响深度也高于 A 处理, 其 7 cm 处的孔隙数量与 A 处理 4 cm 处相当。

随着 K-PAM 施用量增加, 各级孔隙数量呈先增加、后减少趋势, 表现为: 中等施用量 > 高施用量 > 低施用量。原因可能是灌水后部分 K-PAM 溶解, 其分子链在土壤中桥接, 从而增加土壤孔隙,

为 K-PAM 分子链伸展提供空间。K-PAM 施用量低 (0.02%)，则土壤中没有足够的位点进行吸附，从而使土壤颗粒不能够较好扩散。而中等施用量 (0.06%) 的 K-PAM 在土壤颗粒与聚合物之间能够实现很好的桥接过程，导致土粒之间的联结占据较大的空间，增加土壤孔隙。因 K-PAM 具有增稠性、絮凝性，随着施用量的增加，浓度过高 (0.10%) 使 K-PAM 分子彼此粘和成团，不能完全散入土壤孔隙，甚至粘和在土壤表面，从而封闭部分土壤孔隙，导致土壤孔隙度降低。

从图 2 各处理孔隙总数看：CK 孔隙数量为 843 个，此时 A、B、C 各处理孔隙数量分别为 819、1 536、1 453 个，是 CK 的 0.97、1.82、1.72 倍。由图 3 可见，A、B、C 成圆率的平均值分别为 0.885、0.844、0.844，随着 K-PAM 施用量增加，并未引起各处理成圆率明显变化。各处理成圆率最大值多集中于 1~10 cm 土层的中下层，而表层成圆率较低，A 处理成圆率最大值出现在 9 cm 处，B 出现在 6 cm 处，C 出现在 8 cm 处。分析发现，K-PAM 施用量增加，并不能明显改变孔隙的形状，成圆率基本稳定在一定水平。

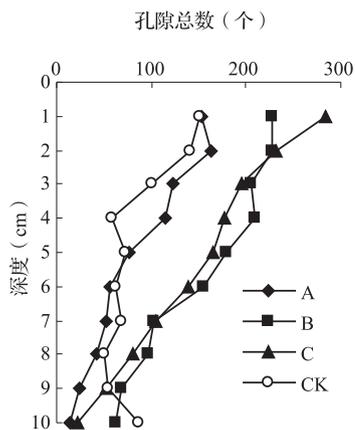


图 2 各处理孔隙总数变化

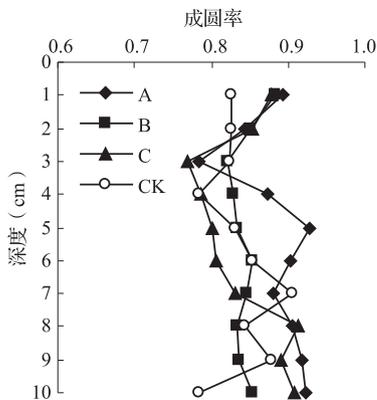


图 3 各处理成圆率变化

2.2 各处理 0~10 cm 土壤紧实度变化

土壤紧实度是反映土壤强度的指标，是影响作物生长的重要因素，其大小与土壤质地、土壤结构特性、土壤含水量及土壤受外因影响有关。如图 4 所示，苗期各处理土壤紧实度均随着生育期推进、干旱加剧而增加，各处理 0~10 cm 土壤紧实度大小在 16 日之前差距不明显，16 日之后差距逐渐加大，至 20 日 A、B、C、CK 处理紧实度分别达到 1 632.8、1 944.3、2 198.5、1 400.7 kPa。可见，K-PAM 对 0~10 cm 土层土壤紧实度影响受土壤水分含量、土壤结构状况影响较大。苗期无灌水，0~5 cm 土壤含水量降低即可导致土壤板结，土壤紧实度增加，阻碍出苗。当 K-PAM 用量过大时会进一步改变土壤结构，加剧土壤板结。原因可能是在土壤水的作用下，K-PAM 可由颗粒状态变成多枝纤维状，将颗粒紧紧缠绕保持土壤表层，形成稳定的团状结构，从而导致土壤紧实度增加。

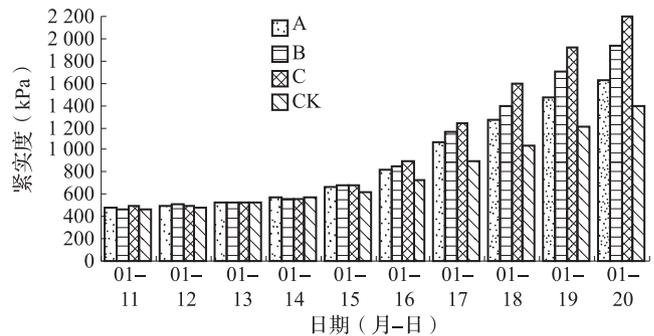


图 4 不同施用量 K-PAM 处理 0~10 cm 土层土壤紧实度变化情况

2.3 各处理 0~10 cm 土壤含水量变化

随 K-PAM 施用量的增加，土壤液相比增加，固相、气相比减少，土壤持水量增大，增加了作物可利用有效水。分析图 5、图 6 发现，各处理 0~5 cm 土层土壤含水量均随时间推移逐渐降低。15 日之前 B、C 处理含水量较高，A 次之，CK 最低；15 日之后，C 处理逐渐低于 A、B，并接近 CK，B、A 处理含水量明显高于 C 处理及 CK。5~10 cm 土层土壤含水量 14 日之前 A 处理及 CK 表现为先增加、后降低趋势，B、C 处理则持续降低。14 日之后，各处理土壤含水量开始升高（水分在质地均匀的土壤剖面上有一个较薄饱和层，下面有个较厚延伸层，再下面为湿润层，最后是湿润层的下边缘湿润峰，其入渗水与干土交接面含水量较高，可能是导致含水量迅速提高的原因），A 处理含水量最高，CK 次

之。可见，灌水后水分由土壤表面缓慢向下入渗，入渗水分数量及速度受 K-PAM 施用量影响明显。

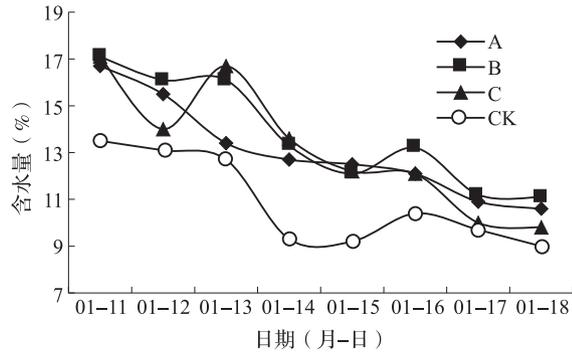


图5 不同施用量 K-PAM 处理 0~5 cm 含水量变化情况

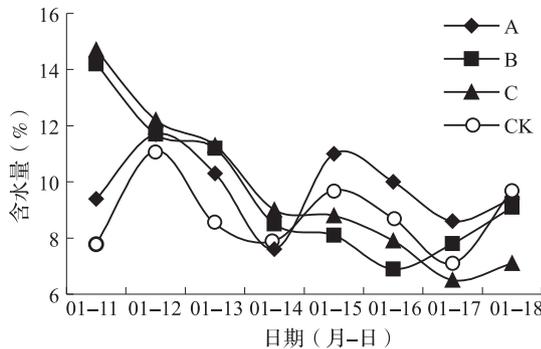


图6 不同施用量 K-PAM 处理 5~10 cm 含水量变化情况

施用 K-PAM 量小于 0.06% (B) 时，土壤含水量明显高于 CK，说明随浓度增加，土壤含水量增大。原因可能为 K-PAM 具有良好的絮结性能，溶于水后在聚合体链中只有部分片段被土壤颗粒吸附，而其他长链则以长环和尾链的形式出现在土壤溶液中，长环的尾链阻塞土壤孔隙，使土壤表层的水力传导度降低。另外，由于 K-PAM 强吸水性和持水性，使得土壤对水分子的吸着能力加强，从而

增加土壤含水量。施用浓度大于 0.06% (B) 时土壤水分呈下降趋势，说明随施用量继续增加，过多的 K-PAM 分子并没有渗入土壤深层，而是在土壤表层过度粘结土粒，抑制了水分的渗透，导致含水量降低。

2.4 各处理出苗变化

燕麦播种 7 d 左右，部分处理即开始出苗。播种第 9 d，A、B、C、CK 处理出苗数分别为 6、5、4、3 株，第 10 d (14 日) 开始，C、B 处理出苗速度明显加快，C、B、A、CK 各处理日增出苗数分别为 10、8、5、6 株。高施用量处理出苗速度快这一优势可保持到第 12 d (16 日)，第 13 d 开始，低浓度处理出苗速度开始加快。低施用量处理出苗数量增加，并高于高施用量处理及 CK，这一优势可保持到出苗恒定 (30 日)，A、B、C、CK 处理恒定出苗数分别为 32、27、22、24 株。可见，高、中浓度 K-PAM 处理 (C、B) 苗期不补水，其蓄水保水、增加出苗率的持续时间有限 (一般持续 6~7 d)，之后 0~5 cm 土壤干旱、板结，紧实度不断加大，从而直接影响燕麦出苗。

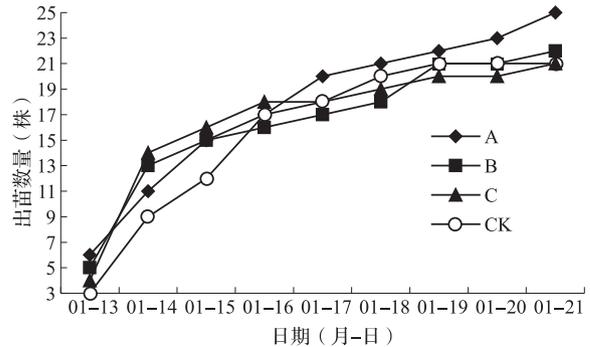


图7 不同浓度 K-PAM 处理出苗情况

2.5 孔隙与含水量、出苗率相关性研究

通过显著性分析 (表 2) 发现：孔隙数量与孔

表 2 各指标的相关系数

	出苗数	0~5 cm 含水量	5~10 cm 含水量	孔隙数量	孔隙面积	成圆率	土壤紧实度
出苗数	1.000 0						
0~5 cm 含水量	0.549 4	1.000 0					
5~10 cm 含水量	0.385 6	0.036 1	1.000 0				
孔隙数量	0.455 7	0.439 7	-0.647 7	1.000 0			
孔隙面积	-0.434 0	0.318 4	-0.852 1*	0.949 5**	1.000 0		
成圆率	0.975 6**	0.464 9	0.212 1	-0.447 6	-0.357 3	1.000 0	
土壤紧实度	-0.249 2	0.394 1	-0.886 3*	0.881 0*	0.974 7**	-0.149 1	1.000 0

注：**和*分别表示在 0.01 和 0.05 水平上相关显著。

隙面积之间呈显著正相关, 相关系数达到 0.949 5。出苗数与 0~5 cm 土壤含水量、成圆率呈正相关, 与成圆率相关性显著; 出苗数与孔隙面积呈负相关。0~5 cm 土层含水量与各指标间均呈正相关, 但不显著; 成圆率与 0~10 cm 土层含水量呈正相关, 与孔隙数量与孔隙面积呈负相关。土壤紧实度与孔隙数量、孔隙面积之间呈显著正相关。

3 结论

保水材料可增加土壤孔隙数量, 增大田间持水量、土壤通气度、总孔隙度和毛管孔隙度, 减小土壤容重, 提高水分入渗速率, 增加饱和导水率, 保蓄水分, 减少蒸发, 有效提高降水利用效率^[18], 本试验结果与前人研究一致。但本研究发现: 随着 K-PAM 施用量增加, 各级孔隙数量呈先增加、后减少趋势, 中等施用量 0.06% (B) 表现最佳; 随着 K-PAM 施用量的增加孔隙总面积逐渐增加, 高施用量 0.10% (C) 表现最佳。

随着苗期推进, 干旱不补水情况下, 各处理 0~10 cm 土壤紧实度大小在出苗 6~7 d 后各处理差异逐渐显现, 土壤板结逐渐加剧, 紧实度增加, 从而造成出苗困难。并且施用量大于 0.06% (B) 时, 不仅增加成本投入, 紧实度增加最为显著。

施用 K-PAM 浓度小于 0.06% (B) 时, 各处理 0~10 cm 土壤含水量增加; 施用浓度大于 0.06% (B) 时土壤水分呈下降趋势。各处理 0~10 cm 土壤含水量在出苗 6~7 d 后降低至 10% 以下, 从而导致土壤紧实度增加。

从出苗数量来看, 干旱条件下, 低施用量 K-PAM 处理更有利于出苗, 可见施用 K-PAM 前, 应充分考虑土壤水分条件, 确定合理 K-PAM 施用量, 并及时采取补水、中耕等农艺措施, 是发挥 K-PAM 蓄水保水优势, 增加出苗率、从而获得高产的关键。

参考文献:

[1] 张富仓, 康绍忠. BP 保水材料及其对土壤与作物的效应 [J]. 农业工程学报, 1999, (5): 74-78.

[2] Alasdair B. Super absorbents improve plant survival [J]. World Crops, 1984, (1/2): 7-10.

[3] Woodhouse J, Johnson M S. Effect of super absorbent polymers on survival and growth of crop seedlings [J]. Agricultural Water Management, 1991, 20: 63-70.

[4] Gehring J M, Lewis A J. Effect of hydrogel on wilting and mois-

ture stress of bedding plants [J]. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 1980, 105 (4): 511-513.

[5] 曹丽花, 刘合满, 赵世伟. 不同改良剂对黄绵土水稳性团聚体的改良效果及其机制 [J]. 中国水土保持科学, 2011, 9 (5): 37-41.

[6] 何传龙, 李布青, 殷雄. PAA/PAM 共聚新型功能高分子材料对土壤结构性状的影响 [J]. 土壤通报, 2003, 34 (6): 513-516.

[7] 崔娜, 张玉龙, 白丽萍. 不同粒径保水材料对土壤物理性质和番茄苗期生长的影响 [J]. 核农学报, 2011, 25 (1): 127-130.

[8] Germann P F, Edwards W M, Owens L B. Profiles of bromide and increased oil moisture after infiltration into soils with macropores [J]. Soil Sci. Soc. Am., 1984, 48: 237-244.

[9] German D F, Beven K. Kinematic wave approximation to infiltration into soils with sorbing macropores [J]. Water Resource Res., 1985, 21: 990-996.

[10] 刘永忠, 李齐霞, 孙万荣, 等. 气候干旱与作物干旱指标体系 [J]. 山西农业科学, 2005, 33 (3): 50-53.

[11] 邓天宏, 付祥军, 申双和, 等. 0~50 cm 与 0~100 cm 土层土壤湿度的转换关系研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23 (4): 64-68, 102.

[12] 董庆超. 旱地土壤水分盈亏特征研究 [J]. 资源科学, 2000, 22 (6): 51-53.

[13] 耿瑞霖, 郁红艳, 丁维新. 有机无机肥长期施用对潮土团聚体及其有机碳含量的影响 [J]. 土壤, 2010, 42 (6): 908-914.

[14] Brunetti G, Plaza C, Senesi N. Compositional and functional features of humic acids from organic amendments and amended soils in Minnesota, USA [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39 (6): 1355-1365.

[15] Gopinath K A, Supradip S, Mina B L, et al. Influence of organic amendments on growth, yield and quality of wheat and on soil properties during transition to organic production [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2008, 82 (1): 51-60.

[16] 武继承, 郑惠玲, 史福刚, 等. 不同水分条件下保水剂对小麦产量和水分利用的影响 [J]. 华北农学报, 2007, 22 (5): 40-42.

[17] Pathan S M, Aylmore L A, Colmer T D. Turf culture under declining volume and frequency of irrigation on sandy soil amended with flyash [J]. Plant and Soil, 2004, 266: 355-369.

[18] Anderson S H, Peyton R L, Gantzer C J. Evaluation of constructed and natural soil macropores using X-ray computed tomography [J]. Geoderma, 1990, 46: 13-29.

[19] Phogat V K, Aylmore L A G. Evaluation of soil structure by using computer assisted tomography [J]. Aust. J. Soil Res., 1989, 27 (2): 313-323.

[20] Warner G S, Nieber J L, Moore I D, et al. Characterizing macropores in soil by computed tomography [J]. Soil Sci. Am. J., 1989, 53: 653-660.

[21] Peyton R L, Andersons H, Gantzer C J. Applying X-ray CT

- to measure macropore diameters in undisturbed soil cores [J]. *Geoderma*, 1992, 53: 329-340.
- [22] 吴华山, 陈效民, 陈粲. 利用 CT 扫描技术对太湖地区主要水稻土中大孔隙的研究 [J]. *水土保持学报*, 2007, 21 (2): 175-178.
- [23] 吕菲, 刘建立, 何娟. 利用 CT 数字图像和网络模型预测近饱和土壤水力学性质 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24 (5): 10-14.
- [24] 冯杰, 郝振纯. CT 在土壤大孔隙研究中的应用评述 [J]. *灌溉排水学报*, 2000, 19 (3): 71-76.
- [25] 耿瑞霖, 郁红艳, 丁维新. 有机无机肥长期施用对潮土团聚体及其有机碳含量的影响 [J]. *土壤*, 2010, 42 (6): 908-914.

Effect of potassium polyacrylate on soil porosity and moisture characteristics

YANG Yan-ming¹, LIU Jing-hui^{1*}, LI Li-jun¹, ZHAO Bao-ping¹, CHE Yong-qiang², WU En² (1. Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot Inner Mongolia 010019; 2. Ordos Plant Protection and Quarantine Station, Ordos Inner Mongolia 017000)

Abstract: The agricultural excessive dependence on rainfall. Drought is a serious problem for agriculture in arid, semi-arid region northern of China such as regions along the Great Wall, which could lead to difficult emergence and seedling planting problems. In this study, soil columns were used to simulate drought environment artificially, different rates of K-PAM were applied to improve the soil pore and water content, and CT techniques was used. This research aimed to provide a theoretical basis for the water conservation. 4 K-PAM application, 0 (CK), 0.02% (A), 0.06% (B), 0.10% (C) were set in this experiment. The results show that: The K-PAM increased the soil pore number in 0~10 cm. 1.0~2.0 mm pore number was the dominate pore equivalent diameter in all layers of each soil. With the increasing of K-PAM application rate, the various pore number increased first, then decreased, and it was the highest in the treatment B. The soil compaction in 0~10 cm after the emergence 6~7 d difference increased gradually in drought condition with the seedling growth, and reached 1 632.8, 1 944.3, 2 198.5, 1 400.7 kPa for treatment A, B, C, CK, respectively. When the application of K-PAM was less than 0.06%, soil water content was higher than that of other treatments in 0~10 cm soil layer. In dry conditions, low application of K-PAM was more helpful to emergence. It was concluded that reasonable application of K-PAM could be useful for water conservation and improve the rate of emergence and yield.

Key words: K-PAM; soil porosity; soil water character

欢迎订阅《中国土壤与肥料》

《中国土壤与肥料》1964年创刊,是农业部主管,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所和中国植物营养与肥料学会主办的全国性专业技术期刊,为中国科技核心期刊、全国中文核心期刊、中国农业核心期刊、RCCSE中国核心学术期刊。被中国科学引文数据库(CSCD)、中国学术期刊综合评价数据库、中国学术期刊文摘、CA化学文摘(美)、CBST科学技术文献速报(日)等收录。以促进土肥学科的发展为宗旨,加快成果转化、推动技术进步为目标。面向科研、教学和生产实践。主要刊登土壤资源与利用、植物营养与施肥、农业水资源利用、农业微生物、分析测试、环境保护、生态农业等方面的新理论、新技术、新产品的试验研究成果与动态。辟有专家论坛、专题综述、研究报告、分析方法、研究简报等栏目。读者对象为农业科研、教学、推广、环保与肥料生产、经营部门的科技、管理人员及农民技术员。

本刊为双月刊,大16开,国内标准刊号:CN11-5498/S,国际标准刊号:ISSN1673-6257。每期定价10.00元,全年60.00元,全国各地邮局均可订阅,邮发代号2-559。漏订者可与本刊编辑部联系。

地址:北京市海淀区中关村南大街12号《中国土壤与肥料》编辑部 邮编:100081
电话:010-82108656 传真:010-82106225
网址: <http://chinatrfll.alljournal.net.cn>
E-mail:TRFL@caas.ac.cn