

聚丙烯酰胺改良盐渍土壤的适宜用量研究^①

张雪辰^{1,2}, 陈 诚³, 苏里坦⁴, 王秀萍⁵, 刘广明^{1*}, 杨劲松¹

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 黄河水利职业技术学院, 河南开封 475004; 4 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 5 河北省农林科学院滨海农业研究所, 河北唐山 063200)

摘 要: 盐渍土的改良一般采用物理、化学、生物及工程措施, 其中化学改良剂应用广泛。聚丙烯酰胺(PAM)作为高分子聚合物, 能溶于水, 并且有良好的凝聚作用, 能够改良土壤物理结构, 但是其用量的选择至关重要。本研究设计了不同的 PAM 浓度梯度(0.01、0.03、0.09、0.27、0.81 g/kg)进行盆栽试验, 以得到改良中度盐渍障碍土壤的较适宜 PAM 用量。试验结果表明: PAM 在盐渍土改良中较适宜的施用量为 0.09 g/kg, 在此施用量下, 土壤电导率为最低值, 为 1.63 dS/m, 较对照(不施 PAM)下降 13.42%; 土壤毛管孔隙度为 45.38%, 较对照增加 5.35%; 总孔隙度为 48.44%, 较对照增加 5%; 土壤容重为 1.35 g/cm³, 较对照降低 5.71%; 饱和导水率为 0.052 mm/min, 较对照提升 76.7%。而施用量为 0.81 g/kg 时, 改良效果下降。该结果对使用 PAM 改良中度盐渍土具有一定的指导意义。

关键词: 盐渍土; 聚丙烯酰胺(PAM); 土壤结构

中图分类号: S156.4+2 **文献标识码:** A

土壤盐渍化是当今人类面临的十分突出的环境问题, 盐渍土是地球上分布广泛的后备土地资源。我国盐渍土总面积约 3.6×10^7 hm², 占全国可利用土地面积的 4.88%^[1], 主要分布在我国东北、华北、西北内陆地区及长江以北沿海地区^[2]。盐渍土结构性差, 保水性差, 肥力低, 不适宜植物生长^[3-4], 严重时导致作物死亡, 影响作物产量。因此, 盐渍土的改良及开发利用尤为重要。一般的盐渍土壤改良方法有物理改良、化学改良和生物改良以及水利措施。改良剂适宜用量的确定是化学改良措施的技术核心^[5]。

聚丙烯酰胺(PAM)是一种高效的土壤结构改良剂, 其为高分子聚合物, 有较好的水溶性, 具有很强的黏聚作用, 能够维持并且增加团聚体的数量^[6-8], 增加土壤孔隙度^[9], 降低土壤容重^[10], 提高土壤入渗率和含水量^[11-13], 从而改善土壤物理结构^[14]。PAM 的施用量影响改良效果和实施成本。施用量过小, 其效果可能不明显, 而施用量太大不仅使成本提高, 效果也不一定最佳, 因此根据不同的土壤性质、改良目的及改良区域选择适宜的施用量至关重要。员

学锋等^[15]通过研究 PAM 对壤土的改良效果, 发现 PAM 的施用量 < 1 g/m² 时, 土壤容重下降, 孔隙度增加, 而当施用量 > 1 g/m² 时, 土壤容重增加, 孔隙度减小, 土壤渗透性降低。Sojka 和 Lentz^[16]研究表明, PAM 在单位面积(1 m²)上较适宜施用量为 1 ~ 2 g。韩凤朋等^[17]研究表明, 施用量为 2 g/m² 时, 土壤含水量达到最大, 施用量再增加并不能产生明显效果。砂土中施用 PAM 会显著地减小土壤的稳定水力传导度, 因此应减小 PAM 的施用量^[18]。马鑫等^[19]研究表明, 土壤水吸力相同时, 对于轻度盐渍化土持水力最佳的 PAM 施用量为 0.25 g/kg, 而对于中度、重度盐渍化土, PAM 施用量 0.5 g/kg 时其持水能力最佳。可见, PAM 的施用量并不大, 但由于 PAM 在国内的应用刚刚起步, 且由于土壤性质和改良目的不同其施用量并不能一概而论, 因此, 确定 PAM 在盐渍土壤改良中最适宜用量是其应用于盐渍土改良的首要任务。基于此, 本试验设置了不同的 PAM 浓度梯度, 旨在找出 PAM 改良盐渍土的最优用量, 为 PAM 在盐渍区的应用提供科学依据。

基金项目: 新疆维吾尔自治区科技计划项目(201531116), 河南省科技计划项目(152102110097)和江苏省科技支撑计划项目(BE2017389)资助。

* 通讯作者(gmliu@issas.ac.cn)

作者简介: 张雪辰(1992—), 女, 河北唐山人, 硕士研究生, 主要从事盐渍土改良绿化方面的研究。E-mail: xc Zhang@issas.ac.cn

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验土样基本理化性质见表 1, 为中度盐化黏质

耕作土壤, 种植主要作物为水稻、玉米、小麦等。土壤改良剂选用聚丙烯酰胺(PAM), 阴离子型, 分子量为 300 万。PAM 是一种水溶性的高分子聚合物, 具有很强的絮凝作用。

表 1 供试土壤的主要理化性质
Table 1 Physicochemical properties of tested soil

| 容重 (g/cm ³) | 质地 | 有机质 (g/kg) | NO ₃ -N (mg/kg) | NH ₄ ⁺ -N (mg/kg) | 有效磷 (mg/kg) | 速效钾 (mg/kg) | pH | EC (dS/m) | 全盐量 (g/kg) |
|----------------------------|----|---------------|-------------------------------|--|----------------|----------------|------|--------------|---------------|
| 1.49 | 黏土 | 6.05 | 3.02 | 5.44 | 6.22 | 134.97 | 8.92 | 1.46 | 4.00 |

1.2 试验设计

将采集的盆栽土壤自然风干, 过 5 mm 筛, 于中国科学院南京土壤研究所温室进行盆栽试验, 时间为 2015 年 9 月至 11 月。试验牧草为黑麦草, 每盆播种 100 颗种子, 每盆装土 2 kg。试验设置 6 个 PAM 浓度, 3 次重复。PAM 浓度分别为 0、0.01、0.03、0.09、0.27、0.81 g/kg。用氮肥和磷肥作为基肥, 其中氮肥为尿素, 用量为 N 0.15 g/kg, 磷肥为磷酸氢二铵, 用量为 P₂O₅ 0.10 g/kg。将风干土、各浓度改良剂及氮肥、磷肥充分混合于干净的塑料盆钵中, 加蒸馏水至田间持水量, 放置 2 d, 然后均匀播撒黑麦草种子, 适时浇水, 每盆浇水量一致, 于温室中进行培养。

1.3 土样采集与分析

在黑麦草收获后, 去除表层土壤, 取环刀土样, 用于测定土壤容重、土壤毛管孔隙度和饱和导水率; 同时采用土钻法, 在盆钵中间采取土样, 混匀, 土壤样品带回实验室内自然风干, 磨碎, 过 2 mm 筛后进行相关指标测定。

土壤电导率由电导率仪测得; 土壤容重和土壤毛管孔隙度测定采用环刀法; 土壤孔隙度由土壤容重和比重计算求得; 土壤饱和导水率测定采用定水头法; 土壤 pH 测定采用电位法; 土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法-外加热法; 土壤硝态氮和铵态氮测定采用 2 mol/L KCl 浸提-紫外分光光度计比色法; 土壤有效磷测定采用碳酸氢钠浸提法; 土壤速效钾测定采用醋酸铵浸提-火焰光度法。所有测定方法参照《土壤农业化学分析法》^[20]。

2 结果与讨论

2.1 PAM 对土壤电导率的影响

PAM 的不同施用量与土壤电导率的关系见图 1。由图 1 可知, 在 0.01 ~ 0.27 g/kg 的 PAM 施用范围内, 土壤电导率较对照(不施 PAM)均下降, 但当施用量为 0.81 g/kg 时, 土壤电导率较对照增加 1.17%, 说明 PAM 的施用量并不是越大越好。当 PAM 施用量为

0.01 g/kg 和 0.03 g/kg 时, 土壤电导率分别较对照降低 1.28% 和 0.53%; 当 PAM 施用量为 0.09 g/kg 时, 土壤电导率达到明显的最低值, 为 1.63 dS/m, 较对照下降 13.42%。而当施用量继续升高时, 土壤电导率反而增加。由此可知, 从土壤电导率的角度分析, PAM 的较适宜的施用量为 0.09 g/kg。阴离子型 PAM 能降低电导率的原因可能是 PAM 溶于水后吸附土壤溶液中阳离子, 从而降低土壤可溶性盐含量。谷晓岩等^[21]研究表明, PAM 浓度在 0 ~ 50 mg/kg 范围内, 浓度越高, 土壤电导率降低率越大, 这与本试验研究结果一致。谷晓岩等^[21]推测阴离子型 PAM 能降低土壤电导率的原因可能与氢键和配位基交换有关, 并通过 PAM 对盐溶液电导率影响的试验证实其作用机理是通过减少土壤溶液的含盐量降低电导率。而 PAM 浓度继续增加改良效果不明显的原因可能是施用量过大时, 聚合物分子将部分自身缠绕成团以及在土粒表面上形成“双层”吸附层, 从而不利于盐分的淋洗^[22]。

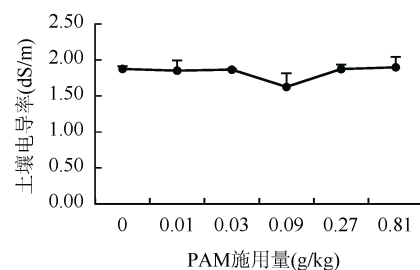


图 1 PAM 不同施用量对土壤电导率的影响
Fig. 1 Effect of PAM concentration rate on soil electrical conductivity

2.2 PAM 对土壤总孔隙度和毛管孔隙度的影响

土壤孔隙是土壤中团粒结构之间的间隙, 土壤孔隙度为土壤孔隙容积占土体容积的百分数。土壤孔隙的组成是评价土壤理化性质, 土壤结构和土壤质地的重要指标^[23-24]。土壤孔隙分为毛管孔隙和非毛管孔隙。非毛管孔隙主要承担透气作用, 为好氧微生物提供良好的生存环境, 同时也为土壤水分的暂时储存提

供空间^[23]。毛管孔隙是水分储存和运动的主要空间，是土壤孔隙分类和评价的常用指标，只有毛管孔隙度适宜才利于植物吸收水分。

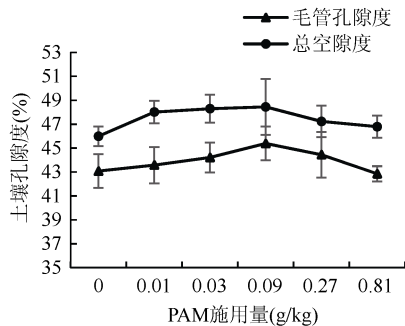


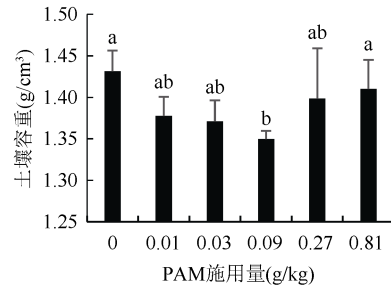
图 2 不同 PAM 施用量对土壤毛管孔隙度和总孔隙度的影响

Fig. 2 Effect of PAM concentration rate on soil capillary porosity and total porosity

PAM 的施用量对土壤毛管孔隙度和总孔隙度的影响见图 2。从图 2 可以看出，土壤毛管孔隙度的变化随着 PAM 的施用量增加而增加，当施用量为 0.09 g/kg 时达到最大值，之后随着用量的增加而降低。从此趋势可知 PAM 施用量并非越大越好，当施用量为 0.09 g/kg 时效果最为显著，土壤毛管孔隙度为 45.38%，较对照增加 5.35%；当施用量为 0.81 g/kg 时，其效果最差，毛管孔隙度为 42.85%，较对照降低 0.52%。由此，从毛管孔隙度的角度来看，较适宜的 PAM 施用量为 0.09 g/kg。同时，从图 2 还可以看出，各个处理均能提高土壤的总孔隙度，当 PAM 施用量为 0.09 g/kg 时效果最佳，总孔隙度为 48.44%，较对照提高 5%；当施用量为 0.81 g/kg 时效果最差，总孔隙度为 46.79%，较对照提高 2%。PAM 的施用量在一定程度上能增大孔隙度，其主要原因是 PAM 的絮凝作用利用土壤水稳性团聚体的形成和稳定性，从而使土壤孔隙度特别是土壤毛管孔隙度增大^[15,24]。而当 PAM 浓度过大时反而效果下降，可能原因是 PAM 的水溶性很强而透水能力较差，施用量增加时众多颗粒间可能形成多枝纤维状物，并且 PAM 溶于水后使水黏度增加，黏稠物会进入到土壤孔隙中，堵塞土壤孔隙^[9,11]。

2.3 PAM 对土壤容重的影响

土壤容重是土壤的基本物理性质之一。土壤容重和土壤孔隙度间有一定的数量关系，土壤容重会随着土壤孔隙度的增大而降低。同时，土壤容重也影响到土壤结构及植物根系穿透土壤的能力，关系到土壤水、肥、气、热的变化及土壤抗侵蚀能力和植物生长发育。



(图中不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$), 下同)

图 3 PAM 不同施用量对土壤容重的影响

Fig. 3 Effect of PAM concentration rate on soil bulk density

PAM 施用对土壤容重的影响见图 3。试验结果表明，所有处理的土壤容重均低于对照，当施用量在 0.01 ~ 0.09 g/kg 范围内时，土壤容重随着用量增加而降低，在施用量为 0.09 g/kg 时达到最低，之后随着用量的增加而升高。PAM 施用量为 0.09 g/kg 时效果最好，土壤容重为 1.35 g/cm³，较对照降低 5.71%，显著低于对照。员学锋等^[15]研究表明，PAM 施用浓度 < 1.0 g/m² 时，土壤容重随 PAM 施用浓度的增加而下降，而当施用浓度 > 1.0 g/m² 时，土壤容重随 PAM 施用浓度的增加而呈上升趋势。同时大量研究也表明，在 PAM 的施用量不大的情况下，土壤容重随 PAM 施用的增加而降低^[23-24]。

施用 PAM 后，土壤容重降低是因为土壤气孔结构得到改善，土壤内部孔隙增多总孔隙度增大。土壤孔隙度直接影响土壤容重的大小，土壤孔隙度小，表明土壤紧实，容重大；土壤孔隙度大，表明土壤疏松，容重小。

2.4 PAM 对土壤饱和导水率的影响

土壤饱和导水率是重要的土壤水动力学参数，反映了土壤的渗透性能，是研究土壤水分及溶质运移规律的重要参数。土壤饱和导水率受土壤结构、质地、孔隙结构、盐分及有机质等的影响^[25]。目前 PAM 对盐渍化土壤饱和导水率的影响机理并不明确。

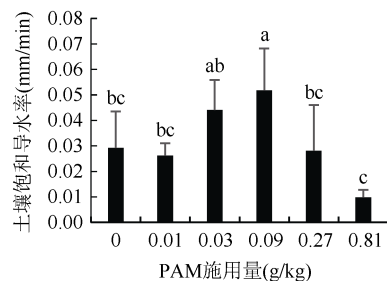


图 4 PAM 不同施用量对土壤饱和导水率的影响

Fig. 4 Effect of PAM concentration rate on soil saturated hydraulic conductivity

PAM 施用对土壤饱和导水率的影响见图 4。从图 4 可以看出，土壤饱和导水率的变化趋势类似于土

壤毛管孔隙度的变化。饱和导水率是随着 PAM 的施用量增加而增加,在施用量为 0.09 g/kg 时达到最大,之后随着用量的增加而降低。由此可知,PAM 施用量为 0.09 g/kg 时,土壤饱和导水率为 0.052 mm/min,较对照增加 76.7%;当施用量为 0.81 g/kg 时,其效果最差,低于对照,饱和导水率为 0.010 mm/min,比对照降低 66.7%。施用量为 0.01g/kg 和 0.27g/kg 时,饱和导水率也低于对照。韩凤朋等^[17]也研究表明 PAM 施用量在 0~2 g/m² 范围内添加 PAM 可以增加土壤饱和导水率,但施用量超过 2 g/m²,土壤的饱和导水率会降低。施用量增加降低饱和导水率的原因是较高浓度的 PAM 溶于水后形成黏度较高的致密层,降低了水分下渗速率^[19]。

3 结论

本研究结果显示,PAM 施用量不同(0.01、0.03、0.09、0.27、0.81 g/kg)对土壤的理化性质有不同的影响,在 0~0.09 g/kg 的施用范围内,PAM 对土壤孔隙度和土壤饱和导水率的改良效果随着施用量的增加而提升,当施用量为 0.09 g/kg 时,土壤毛管孔隙度和总孔隙度较对照分别增加 5.35% 和 5%,土壤饱和导水率较对照增加 76.7%;且在该使用量下土壤电导率降到最低值,为 1.63 dS/m;土壤容重较对照降低 5.71%,改良效果达到最佳。当施用量继续增加时,PAM 的改良效果不明显。因此,在本试验条件下 PAM 施用量为 0.09 g/kg 时,土壤结构能得到良好的改善,利于盐渍土的改良。

参考文献:

- [1] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等. 盐碱地可持续利用研究综述[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 673-684
- [2] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993
- [3] 王合云,李红丽,董智,等. 滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征[J]. 土壤学报, 2015,52(3): 706-712
- [4] Singh K, Singh B, Singh R R. Changes in physico-chemical, microbial and enzymatic activities during restoration of degraded sodic land: Ecological suitability of mixed forest over monoculture plantation[J]. Catena, 2012, 96: 57-67
- [5] 李金彪,陈金林,刘广明,等. 滨海盐碱地绿化理论技术研究进展[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 246-251
- [6] 王全九,张继红,谭帅,等. 微咸水入渗下施加 PAM 土壤水盐运移特性研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(4): 1056-1064
- [7] 于健,雷廷武,Shainberg I,等. PAM 特性对砂壤土入渗及土壤侵蚀的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(1): 21-27
- [8] Lentz R D. Polyacrylamide and biopolymer effects on flocculation, aggregate stability, and water seepage in a silt loam[J]. Geoderma, 2015, 241: 289-294
- [9] 孙荣国,韦武思,王定勇. 秸秆-膨润土-PAM 改良材料对砂质土壤饱和导水率的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 89-93
- [10] 刘慧军,刘景辉,于健,等. 土壤改良剂对燕麦土壤理化性状及微生物量碳的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(5): 68-72,77
- [11] 张健,魏占民,韩冬,等. 聚丙烯酰胺对盐渍化土壤水分垂直入渗特性的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 256-261
- [12] 张蕊,耿桂俊,于健,等. 聚丙烯酰胺施用方式对土壤水热及春小麦生产的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(1): 140-145,165
- [13] 张建中,闫治斌,王学,等. 多功能调理剂对甘肃河西内陆盐渍土理化性质和甜高粱产草量的影响[J]. 土壤, 2016, 48(5): 901-909
- [14] Li Y, Shao M, Horton R. Effect of polyacrylamide applications on soil hydraulic characteristics and sediment yield of sloping land[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 11(Part B): 763-773
- [15] 员学锋,汪有科,吴普特,等. PAM 对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 37-40
- [16] Sojka R E, Lentz R D. Reducing furrow irrigation erosion with polyacrylamide (PAM)[J]. Journal of Production Agriculture, 1997, 10: 47-52
- [17] 韩凤朋,郑纪勇,李占斌,等. PAM 对土壤物理性状及水分分布的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 70-74
- [18] 彭冲,李法虎,潘兴瑶. 聚丙烯酰胺施用对碱土和非碱土水力传导度的影响[J]. 土壤学报, 2006, 43(5): 836-843
- [19] 马鑫,魏占民,张凯,等. 低分子量聚丙烯酰胺对盐渍化土壤水动力参数的影响[J]. 土壤, 2014, 46(3): 518-525
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [21] 谷晓岩,李凤英,潘英华,等. 聚丙烯酰胺对土壤电导率的影响及其机理研究[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1026-1030
- [22] 龙明杰,张宏伟,陈志泉,等. 高聚物对土壤结构改良的研究. 聚丙烯酰胺对赤红壤的改良研究[J]. 土壤通报, 2002, 33(1): 9-13.
- [23] 毛文娟,李新平,安东,等. 不同改良剂对宁夏地区盐碱土土壤结构的影响[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 190-192,197
- [24] 张婉璐,魏占民,徐睿智,等. PAM 对河套灌区盐渍土物理性状及水分蒸发影响的初步研究[J]. 水土保持学报, 2012, 26(3): 227-231,237
- [25] Jury W A, Gardner W R, Gardner W H. Soil Physics[M]. New York: John Wiley and Sons, 1991

On Appropriate Applied Amount of Polyacrylamide (PAM) for Saline Soil Improvement

ZHANG Xuechen^{1,2}, CHEN Cheng³, Sulitan⁴, WANG Xiuping⁵, LIU Guangming^{1*}, YANG Jingsong¹

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*; 2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3 *Yellow River Conservancy Technical Institute, Kaifeng, Henan 475004, China*; 4 *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China*; 5 *Institute of Coast Agriculture, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Tangshan, Hebei 063200, China*)

Abstract: Physical, chemical, biological and engineering methods are used to improve saline soil, within which chemical amendments are widely used. Polyacrylamide (PAM) can improve soil physical structure due to its good water solubility, but it is essential to determine the appropriate applied amount to improve saline soil. A pot experiment was conducted with different PAM concentration rates (0.01, 0.03, 0.09, 0.27, 0.81 g/kg) in order to obtain appropriate applied amount of PAM to improve moderately saline soils. The results showed that 0.09 g/kg is the appropriate applied rate of PAM for saline soil improvement. Compared to the control (no PAM applied) under this rate, soil conductivity was the lowest (1.63 dS/m), decreased by 13.42%; soil capillary porosity was 45.38%, increased by 5.35%; the total porosity was 48.44%, increased by 5%; soil bulk density was 1.35 g/cm³, decreased by 5.71%; saturated hydraulic conductivity was 0.052 mm/min, increased by 76.7%. But the improvement effect fell when the applied rate of PAM was 0.81g/kg.

Key words: Saline soil; Polyacrylamide (PAM); Soil structure