

聚丙烯酸钠的释水特征及对土壤物理参数的影响

吕国华¹, 蒋树芳², 白文波¹, 武永峰¹, 宋吉青¹

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 聚丙烯酸钠作为保水剂的一种, 在农业应用中能够防止水土流失, 改善土壤水分状况, 促进作物增产, 提高作物品质。通过室内试验分析了聚丙烯酸钠的释水特征及土壤中混施不同比例 (0、0.3%、0.5%、1% 和 1.5%) 聚丙烯酸钠对土壤饱和导水率、收缩比和紧实度的影响。研究结果表明, 聚丙烯酸钠释水与混施土壤后释水存在较大差异, 100% 聚丙烯酸钠在 1.5 MPa 吸力条件下能保持 46.4% 的水分, 而在干土中可以快速 100% 的释放水分; 随着土壤聚丙烯酸钠用量的增加, 土壤透水性急剧降低, 均匀混施达到 1% 时, 饱和导水率接近 $0 \text{ m} \cdot \text{d}^{-1}$; 干燥后土壤紧实度和收缩比增加, 导致聚丙烯酸钠的农业应用也存在一定的潜在风险。

关键词: 聚丙烯酸钠; 土壤导水率; 土壤紧实度; 土壤收缩

中图分类号: S152 **文献标志码:** A

Water release characters of sodium polyacrylate and its effects on soil physical parameters

LV Guo-hua¹, JIANG Shu-fang², BAI Wen-bo¹, WU Yong-feng¹, SONG Ji-qing¹

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Application of sodium polyacrylate (PAANa) in agriculture can prevent soil erosion, increase soil moisture, increase grain yield, and improve crop quality. Through laboratory experiments, the water release characters of PAANa was analyzed, and the saturated hydraulic conductivity, shrinkage ratio and compactness of soil under different application ratio of PAANa (0, 0.3%, 0.5%, 1% and 1.5%) were measured. The results showed there was a great difference in water release between PAANa and mixed application with soil. PAANa could absorb 46.4% water at the suction of 1.5 MPa, but could release 100% water in dry soil. The soil water permeability dramatically decreased with the increase of PAANa ratio, and the saturated hydraulic conductivity decreased nearly to 0 m day^{-1} when the ratio reached 1%. Soil compactness and soil shrinkage ratio increased after drying, thus there were some potential risks when applying PAANa in agriculture.

Keywords: sodium polyacrylate; soil water permeability; soil compactness; soil shrinkage

聚丙烯酸钠是丙烯酸和丙烯酸钠的高分子聚合物, 在农业中可用作土壤保水剂。我国自“七五”以来开展了大量关于保水剂应用方面的研究, 取得了丰硕的研究成果。保水剂与土壤黏粒相互作用, 特别是吸附作用, 可以抑制土壤的水化、膨胀及分散作用, 防止土壤流失^[1]; 保水剂有助于增加土壤中团聚体含量, 改良土壤结构, 增加土壤保水和蓄水能力^[2]; 土壤表层施用保水剂可以缓慢释水, 减少蒸发^[3], 保蓄水分和养分^[4], 提高出苗率^[5], 有利于提高产量和水分利用效率^[6-9], 一定程度上增强植物

抗性, 改善果实品质^[10]; 由于保水剂的吸附作用, 可以防止和减缓土壤养分的淋溶^[11-12], 同时, 能够促进土壤中微生物活动^[13], 有利于提高养分的利用效率。

但是现阶段对保水剂的研究仍然存在一定的不足, 部分作用机理尚不清楚, 有些研究结果还存在一定的差异。例如, 保水剂是增大还是减小土壤的渗透性? 已有研究结果表明保水剂施用量过大, 土壤表层过度粘结土粒, 会降低土壤的渗透性^[14], 但也有研究表明较小比例混施保水剂会增大土壤的渗透

收稿日期: 2015-12-23

基金项目: 农业部公益性行业专项 (201503116); 国家自然科学基金课题 (51309211) 和 863 课题 (2011AA100503)

作者简介: 吕国华 (1979—), 山东青州人, 副研究员, 农业环境与新材料研究。E-mail: lvguohua@caas.cn。

通信作者: 宋吉青 (1963—), 青海西宁人, 研究员, 主要从事农业环境与作物响应机理相关研究。E-mail: songjiqing@caas.cn。

性^[15];其次,保水剂使用中存在的潜在风险也缺乏定量研究。如,保水剂施用过量,一定程度破坏土壤结构,引起土壤板结^[16],但是施用量及土壤板结程度的关系尚且不够清楚;再次,在混有保水剂的土壤中,土壤水势是否能够被负压计准确测定等。本论文以聚丙烯酸钠为实验材料,针对聚丙烯酸钠保水剂的释水特征及其对土壤物理参数的影响开展研究,以为农用保水剂的应用开发提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 聚丙烯酸钠

聚丙烯酸钠由日本触媒公司生产,外观为白色颗粒状,粒径在 0.8 ~ 1.0 mm 左右。在蒸馏水中的吸水倍率为 204.1 倍左右^[15]。但是,受灌溉水中离子影响,其吸水倍率在 80.5 倍左右。

1.2 聚丙烯酸钠的释水特征

取定量保水剂在灌溉水中充分吸水饱和 40 min 以上,放置于 2 mm 土筛中,覆盖上层,静置 10 分钟左右,去除多余水分,以备在高速离心机(HITACHI, CR22G)中测定;在高速离心机中不同转速离心,分别模拟不同土壤吸力条件下的含水量,用来分析保水剂的释水特征。

1.3 饱和聚丙烯酸钠颗粒在干土中的释水特征

将吸水饱和的聚丙烯酸钠颗粒放置于干土中,距表层 1 cm 左右,每 15 分钟利用热红外成像仪测定表面图像,用来反映饱和聚丙烯酸钠在干燥土壤中的释水特征。

1.4 饱和导水率

饱和导水率采用定水头法测定。聚丙烯酸钠质量比分别为 0,0.3%,0.5%,1%,1.5%;聚丙烯酸钠与土壤充分混匀后,按容重 1.25 g·cm⁻³填充环刀,饱和,除去部分膨胀土壤后,装入入渗仪,进行测定计算。

1.5 干燥后土壤收缩比及紧实度

试验中土壤类型为华北潮土,土壤质地为粉壤土(黏粒:粉粒:砂粒=0.6:40.3:54.6);聚丙烯酸钠的质量比分别为 0,0.3%,0.5%,1%,1.5%,按容重 1.25 g·cm⁻³填充环刀,自来水充分饱和,去掉膨胀部分,此时体积为 V1;自然风干后,体积为 V2;计算收缩体积(V2 - V1)后,用土壤紧实度仪测定土壤紧实度(kg·cm⁻²)

2 结果与分析

2.1 聚丙烯酸钠的释水特征

聚丙烯酸钠在自来水中的最大吸水倍率为80.5

倍左右,在模拟的土壤水吸力条件下,当 0.03 MPa (田间持水量)、0.5 MPa(土壤有效水)、1.5 MPa(永久萎蔫点)条件下的吸水倍率分别为 74.3 倍、54.8 倍和 37.4 倍。在土壤有效水分对应的压力条件下,保水剂仅释放了 32.0% 的水分;在永久萎蔫点对应压力条件下,保水剂释放了 53.6% 的水分。聚丙烯酸钠在高吸力梯度下(1.5 MPa)仍然可以蓄持 46.4% 的水分,从作物吸水的能量梯度考虑,这一部分水分并不能被作物吸收。

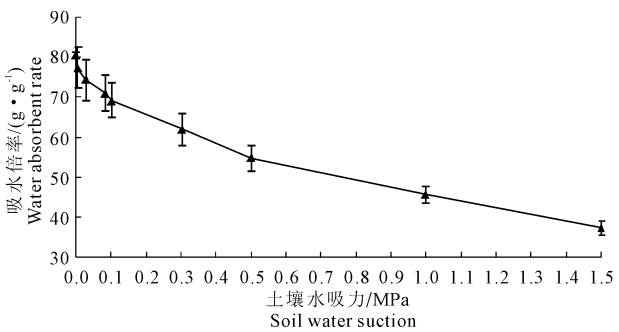


图 1 聚丙烯酸钠(100%)在不同吸力条件下的吸水倍率
Fig.1 Water absorbent rate of sodium polyacrylate (100%) under different soil water suction

相关研究也表明,在土壤中,保水剂吸收的 98% 的水分易被作物吸收利用^[17]。但是,聚丙烯酸钠(100%)在离心机 1.5 MPa 作用下仍然保存很多的水分。因此,为了验证保水剂中的水分是否能够完全提供给土壤,试验中将吸水饱和的聚丙烯酸钠颗粒放置于干土中,距表层 1 cm,通过热成像图反映聚丙烯酸钠的释水特征。如图 2-1 所示,饱和的聚丙烯酸钠颗粒在干土中显著温度偏低,15 分钟后(图 2-2)聚丙烯酸钠周围温度降低,聚丙烯酸钠中的水分发生了明显扩散;30 分钟后(图 2-3)扩散进一步增加,当 45 分钟时(图 2-4)聚丙烯酸钠的温度低点基本消失。这说明聚丙烯酸钠中的水分已经完全供给给周围的土壤。因此,聚丙烯酸钠的释水能力与是否与土壤颗粒接触有直接的关系。100% 的聚丙烯酸钠与具有多孔结构的土壤胶体的失水特征并不相同。保水剂混施入土壤中,保水剂与土壤颗粒之间的水分交换过程影响保水剂中水分的有效性。聚丙烯酸钠作为一种多孔的无机聚合物结构,其与土壤的水分交换机制才是理解聚丙烯酸钠向土壤供水或从土壤中夺水的基础。

2.2 混施不同聚丙烯酸钠含量的土壤渗透性

如图 3 所示,没有混合聚丙烯酸钠的土壤的饱和导水率达到 56.8 cm·d⁻¹,随着聚丙烯酸钠含量的增加,饱和导水率急剧下降,0.3% 和 0.5% 时,分别为

18.6 cm·d⁻¹和 7.6 cm·d⁻¹,当其含量达到 1%时,土壤饱和和导水率接近 0,土壤表现出显著的不透水性。

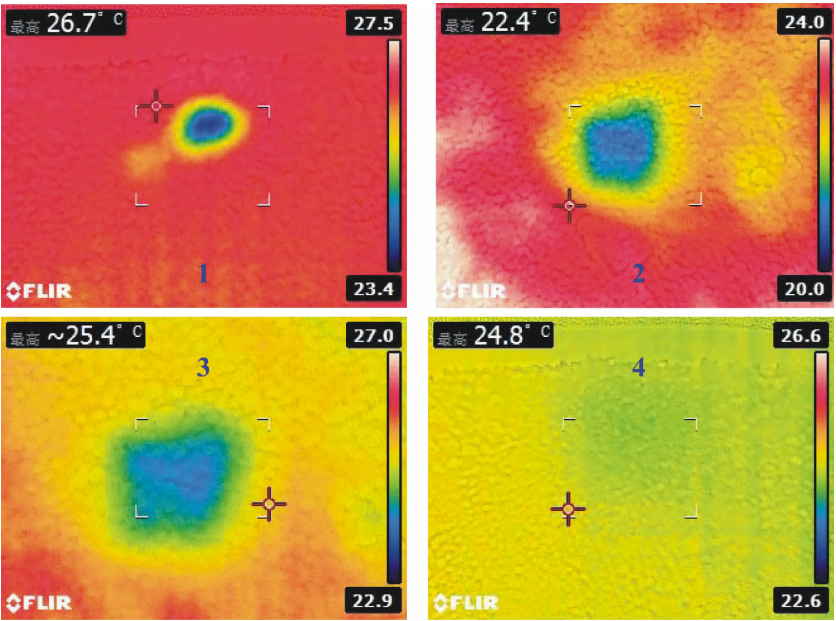


图 2 饱和吸水的保水剂颗粒在干土中的土壤热成像图(1-2-3-4 的时间间隔均为 15 分钟)
Fig.2 Thermography of sodium polyacrylate with saturated moisture in dry soil (time interval: 15 minutes)

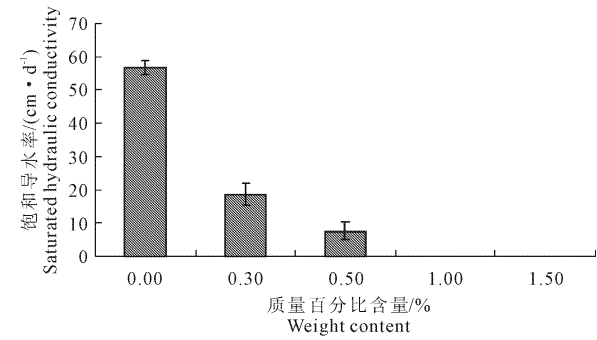


图 3 均匀混施不同含量保水剂的土壤饱和和导水率
Fig.3 Saturated hydraulic conductivity of uniformly mixed soil under different ratio of sodium polyacrylate

当土壤中混施聚丙烯酸钠时,土壤的渗透性降低,当比例达到 1%时,土壤的饱和和导水率接近于 0,此时混合土壤具有较好的隔水性。这与前人的研究有一定的一致性^[18],也有一定的冲突^[14],这主要是由测定方法和测定尺度引起的,并不存在本质的矛盾。

2.3 混施不同聚丙烯酸钠含量的土壤收缩比及紧实度

土壤颗粒具有吸水膨胀,失水收缩的现象,收缩比例与土壤矿物组成有一定的关系。本试验中,土壤收缩比例较小,干燥后体积为充分吸水的 95%;但是含有聚丙烯酸钠保水剂的土壤收缩较大,0.3%时,体积为 79%;0.5%时,体积为 65%;1%时,体积为 52%;1.5%时,体积仅为 47%。随着聚丙烯酸钠

含量的增加,土壤体积收缩显著增大。
一般情况下,聚丙烯酸钠混施于作物根系附近,起到保水和持水的作用。但是,当土壤发生剧烈的干湿交替时,较大的收缩比可能导致部分植物根系拉伤或根系悬空,反而不利于作物抗旱。

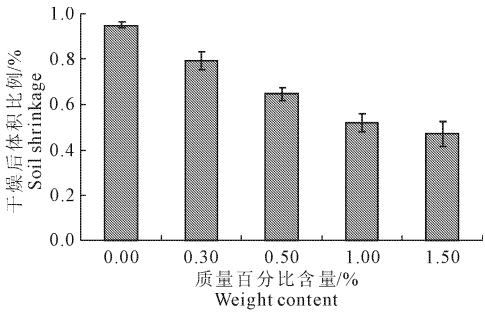


图 4 不同聚丙烯酸钠含量的土壤干燥后的体积比例
Fig.4 Soil shrinkage rate after drying under different ratio of sodium polyacrylate

按土壤容重 1.25 g·cm⁻³填充环刀,土壤干燥后,没有混施聚丙烯酸钠的土壤紧实度很小,仅为 2.3 kg·cm⁻²。随着聚丙烯酸钠含量的增加,土壤紧实度显著增加,0.3%含量的土壤紧实度为 5.2 kg·cm⁻²,0.5%含量的土壤紧实度为 23 kg·cm⁻²,1%含量的土壤紧实度达到 120 kg·cm⁻²,1.5%含量的土壤紧实度更大,为 180 kg·cm⁻²。当聚丙烯酸钠含量超过 1%时,干燥后的土壤紧实度很大,耕作阻力显著增强,不利于播种及农机操作。因此,均匀混施聚

丙烯酸钠时,其含量以不超过 0.5%为宜。

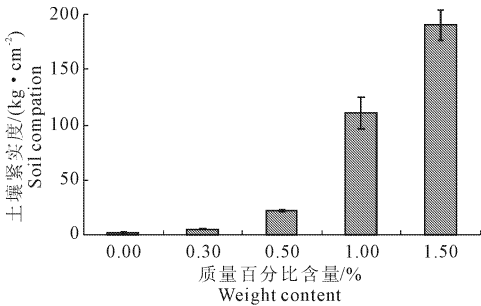


图 5 不同聚丙烯酸钠含量的土壤干燥后的紧实度
Fig.5 Soil compactness after drying under different ratio of sodium polyacrylate

3 结论与讨论

1) 本试验以聚丙烯酸钠为例,分析了其释水特征。在纯聚丙烯酸钠条件下,高速离心机模拟了不同土壤水吸力梯度下的释水情况。结果发现,在永久萎蔫点对应水吸力条件下,保水剂仅仅释放了 53.6%的水分。这与在土壤混施条件下接近 98% 的水分有效性^[17]相比,存在较大差别。采用热成像技术,分析了吸水饱和的聚丙烯酸钠颗粒在干土中的释水特征,结果发现吸持的水分能够完全提供给周围的干土。100%的聚丙烯酸钠和混施在土壤中时,聚丙烯酸钠的释水特征不同。聚丙烯酸钠的释水能力与是否与土壤颗粒接触有直接的关系。保水剂的多孔结构与土壤颗粒的作用及土壤孔隙之间的水分交换过程是保水剂吸收水分有效性的关键。因此,保水剂的孔隙结构的变化及其与土壤颗粒之间的作用机理是理解保水剂在土壤中吸水或释水的基础。

2) 聚丙烯酸钠的施用对土壤物理参数产生了较大的影响,尤其是土壤饱和导水率和紧实度。当均匀混施聚丙烯酸钠含量达到 1%时,饱和导水率接近 0。聚丙烯酸钠的这种不透水性,可以用来阻断剖面土壤水分的渗透,这种特性在其他领域可能也具有一定的应用空间。例如,高地下水位条件下,盐碱地下界面不透水层的构建等。

3) 聚丙烯酸钠在土壤中均匀混施时,以不超过 0.5%为宜。随着聚丙烯酸钠含量的增加,土壤收缩比增加,土壤紧实度急剧增大。土壤物理属性的这种变化对根系健康及机械耕作产生不利影响。因此,低吸水性率的土壤改良型保水剂,更适合在农业中应用。本试验中,当 0.3%比例使用时,土壤的有效含水量增加 2.44 倍左右。当土壤中使用比例在

1%左右,达到相同的保水目的,其吸水倍率仅为 24 倍左右。因此,保水剂合成的材料和成本可以进一步扩大选择范围,有利于进一步降低保水剂的成本,从而克服限制其推广应用的根本问题。因此,研究低成本、低吸水性率、多功能的保水剂及其复合功能材料,是农用保水材料研发的方向。

参考文献:

[1] 庄文化,冯浩,吴普特.高分子保水剂农业应用研究进展[J].农业工程学报,2007,23(6):265-270.

[2] 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):22-26.

[3] 黄占斌,朱书全,张铃春,等.保水剂在农业改土节水中的效应研究[J].水土保持研究,2004,11(3):57-60.

[4] Bai Wenbo, Zhang Huanzhong, Liu Buchun, et al. Effect of super absorbent polymers on the physical and chemical properties of soil following different wetting and drying cycles[J]. Soil Use and Management, 2010,26:253-260.

[5] 谭国波,边少锋,马虹,等.保水剂对玉米出苗率及土壤水分的影响[J].吉林农业科学,2005,30(5):26-32.

[6] 马焕成,罗质斌,陈义群,等.保水剂对土壤养分的保蓄作用[J].浙江林学院学报,2004,21(4):404-407.

[7] 方锋,黄占斌,俞满源,等.保水剂与水分控制对辣椒生长及水分利用效率的影响研究[J].中国生态农业学报,2004,12(2):73-76.

[8] 杜建军,王新爱.PAA对土壤水肥保持作用的研究[J].仲恺农业技术学院学报,2004,17(2):1-5.

[9] Hass H P, Rober R. Substrate additives, watering and growth of euphorbia pulcherrima[J]. Gartenbau Magazine, 1993,12(2):68-70.

[10] 李秋梅,刘明义,王跃邦.保水剂在果树丰产栽培中的应用研究[J].中国水土保持,2005,30(5):26-32.

[11] 员学锋,汪有科,吴普特,等.聚丙烯酰胺减少土壤养分的淋溶损失研究[J].农业环境科学学报,2005,24(5):923-929.

[12] Melissa E H, Michael D M, Phillip M F. Polyacrylamide added as a nitrogen source stimulate methanogenesis in consortia from various water[J]. Water Research, 2005, (39):333-334.

[13] Sojka R E, James A E, Jeffry J F. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil[J]. Applied Soil Ecology, 2006,(32):243-252.

[14] 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.

[15] 白文波,李茂松,赵虹瑞,等.保水剂对土壤积水入渗特征的影响[J].中国农业科学,2010,43(24):5055-5062.

[16] 杨红善,刘瑞凤,张俊平,等.PAAM-atta复合保水剂对土壤持水性及其物理性能的影响[J].水土保持学报,2005,19(3):38-41.

[17] 黄占斌,夏春良.农用保水剂作用原理研究与发展趋势分析[J].水土保持研究,2005,12(5):104-106.

[18] 王砚田,华孟,赵小雯,等.高吸水性树脂对土壤物理性状的影响[J].北京农业大学学报,1990,16(2):181-187.