文章编号:1672 - 3317(2019)02 - 0044 - 05

保水剂底施对沙子剖面水分和硝态氮运移的影响研究

韩云云[1], 徐 英[1], 何久兴[2], 白文波[2], 宋吉青[2], 吕国华[2*]
(1.扬州大学 水利与能源动力工程学院, 江苏 扬州 225009;
2.中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘 要:【目的】解决沙土地区漏水漏肥的核心问题,建立保水防渗漏新技术体系,促进沙土地区农业可持续发展。【方法】基于保水剂的吸水保肥等物理化学特点,以保水剂和土壤混合物底施为技术方法,选用聚丙烯酸钠和壤土为材料,采用沙柱模拟试验,研究了不同施用厚度的保水剂-土壤混合物对剖面水分运移及硝态氮淋洗的影响。【结果】聚丙烯酸钠在壤土中的质量分数为1%时,可以对水分有效截流;混合物底施,以0.9～1.5 cm厚度为最佳;淋溶试验表明硝态氮主要集中在表层和保水剂层,占比为87.2%,有效防止了硝态氮的下移。【结论】保水剂壤土混合物底施,可以起到显著的水分养分截流作用,本试验中聚丙烯酸钠质量分数1%及1 cm厚度时,可获得较好效果。

关 键 词:保水剂; 水氮运移; 沙子; 沙地改良
中图分类号: S482.99 **文献标志码:**A doi:10.13522/j.cnki.ggps.20180238

韩云云,徐英,何久兴,等. 保水剂底施对沙子剖面水分和硝态氮运移的影响研究[J]. **灌溉排水学报**,2019,38(2):44-48.

0 引 言

我国西部沙地资源不但面积大,而且分布广泛[1]。受沙土特性影响,水分及养分不宜保存,容易淋失,其农业利用效率低下。沙土的饱和导水率大,且持水能力差,容易漏水漏肥;沙土中作物可利用有效含水率低(田间持水率减去萎蔫点含水率),不利于水分养分的保持,导致沙地很难被开发利用。

保水剂(Water-retaining reagent)又称为吸水剂、保湿剂、持水剂、高吸水性树脂、高分子吸水剂、吸水性聚合物等,是一种具有超强吸水保水能力的高分子聚合物,能吸收相当于自身质量几百倍至数千倍的去离子水和数十倍至百倍以上的含盐水分,吸水膨胀后形成凝胶物质,在干燥条件下又能将水分缓慢释放,以供作物利用[2-3],只要分子链未被破坏,其吸水能力仍可恢复[4],并可持续多年重复使用[5-6]。保水剂因其特殊的网络结构[7],具有提高土壤持水能力、降低土壤体积质量、提高土壤孔隙度、降低土壤pH值[8-9]、改善土壤结构[10-12]、抑制养分流失[3,13]、减少肥料污染[14-15]、保水、保土、保肥[16-19]、减少水分深层渗漏[20]、防止土壤侵蚀[21-22]、促进根系生长[23],提高作物产量[24]等重要作用,有“微型水库”之称[25];溶于水后呈弱碱性或弱酸性[26],无毒、无刺激、可降解,使用安全,用途广。利用保水剂达到抗旱节水、减少肥料流失是目前试验研究的有效方法。

Berber等[27]研发了一种新型聚丙烯酸和无机黏土矿物复合保水剂,在沙土底部均匀铺设保水剂,并结合地下滴灌,分析了保水剂对土壤水分运移的影响。在铺设厚度约为1 cm的情况下,结果表明质量分数为0.8%时,效果最好,可有效减缓湿润锋的运移时间。该研究为沙土水分管理提供了较好的思路,但具体参数研究不够详细,而且没有研究养分运移特征。将沙土、蒙脱石粉和阴离子型聚丙烯酰胺的混合物添加到沙地土壤耕作层底部,使底层含水率保持在田间持水率的70%～80%,有利于增加土壤的持水能力[28]。文献[28]明确了蒙脱石粉、聚丙烯酰胺的使用要求和比例,要求均匀适于土壤耕层下20 cm处,但是,对于施用量、混合比例等都缺乏具体数据支撑;而且由于缺乏专业农业机械,可能导致施工成本高,不利于实际操作,同时对水分运移、养分分布等具体特征缺乏深入研究。

收稿日期:2018-04-22
基金项目:粮食丰产增效科技创新专项(2017YFD0300410-02);公益性行业(农业)科研专项(201503116-12);国家自然科学基金项目(41601226)
作者简介:韩云云(1992-),女。硕士研究生,主要从事农业水土工程及水资源高效利用研究。E-mail: 294401469@qq.com
通信作者:吕国华(1979-),男。副研究员,主要从事农业节水与抗逆减灾技术研究。E-mail: lvguohua@caas.cn

选择普通壤土和聚丙烯酸钠为沙子改良材料，通过筛选最佳质量分数，降低使用成本，同时提高沙土蓄水保肥能力；通过室内沙柱试验，测定分析改良材料底施时的关键参数及水分、硝态氮淋溶特征，以期为沙地耕层的快速构建及农业开发利用提供一定技术参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验用沙质地较细，与风沙土较为接近，粒径小于0.002 cm占4.3%，粒径在0.002～0.02 cm之间占10.5%，粒径在0.02～2 cm之间占79.1%，粒径大于2 cm占6.1%。体积质量范围为1.08～1.56 g/cm^3，填装沙柱时，取中间值1.32 g/cm^3。沙子的饱和导水率为172.8 cm/d，试验用土的黏粒、粉粒和沙粒的质量分数分别为：8.7%、42.3%和49.0%，土壤质地为壤土。

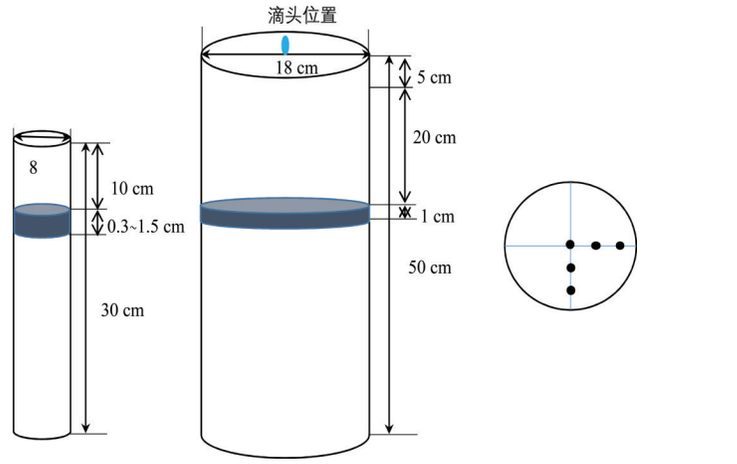
试验用保水剂为聚丙烯酸钠颗粒，由日本触媒公司生产，外观为白色颗粒，粒径在0.8～1.0 mm左右，在蒸馏水中的吸水倍率为204.1倍左右。混合用土壤为壤土，过2 mm筛。

1.2 试验设计

在沙子剖面一定深度铺设一定厚度的保水剂土壤混合物，作为不透水层，可防止水分养分淋失。保水剂与壤土混合比例由混合物的饱和导水率确定。根据试验结果，保水剂在壤土中的质量分数为1%。

水分运移试验，利用6只规格为8 cm×50 cm（直径×高）的有机玻璃管，分别在距离顶端10 cm处均匀填装0、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5 cm高的1%保水剂与壤土混合物，沙子整体高度为40～45 cm（图1(a)）；为防止发生优先流，用凡士林涂抹管壁。滴入等量25 mL的水，使上层10 cm沙子能够完全饱和，观察并记录各有机玻璃管中湿润锋的分布，试验重复3次，取平均值。

硝态氮淋溶试验，采用滴灌模拟试验，有机玻璃桶尺寸为18 cm×50 cm（直径×高），沙柱厚度为45 cm（图(b)），以左上角为坐标原点。采用重力滴灌，滴头平均流量在0.2 L/h，1%保水剂（具体依据见文中试验结果）混合物厚度为1.0 cm，采用100 mg/kg的硝酸钾溶液灌溉，表面覆膜，防止水分蒸发；每日定时滴灌，灌溉量根据室内栽培试验和水面蒸发量确定，单次灌溉量为108 mL，灌后覆膜防止蒸发，灌溉10 d之后停止，灌水量可使上层20 cm沙柱完全饱和，静置3 d之后开始取土。每隔5 cm深度分层取土，分别在滴头正下方和与管壁中间位置取样，每层取沙子样品5份，采样点分布见图1(c)，试验重复3次，取平均值。



(a)水分运移试验　(b)硝态氮淋溶试验　(c)硝态氮淋溶试验取样点分布

图1 土柱模拟试验及采样分布图

1.3 测定项目与方法

不同保水剂质量分数的土样，采用饱和导水率环刀填充，用定水头法测定饱和导水率；利用离心机模拟不同水吸力条件下的失水过程，测定沙子脱湿过程水分特征曲线；用紫外分光光度计法测定硝态氮质量浓度。

2 结果与分析

2.1 沙子的水分特征曲线

沙子水分特征曲线如图2所示。由图2可知，当pF值（水吸力(cm)的常用对数值）为0时，即沙子的饱和含水率可以达到0.34 cm^3/cm^3；随着水吸力的减小，沙子快速脱水，当pF为2～2.5时（即0.1～0.3 bar，田间持水

率)，沙子的含水率仅为0.09 cm^3/cm^3，沙子中水分大部分为无效水，极易流失。萎蔫点含水率(15 bar)为0.06 cm^3/cm^3，沙子有效含水率(田间持水率减去萎蔫点含水率)仅为0.03 cm^3/cm^3。因此，试验用沙子的蓄水保水能力非常差。

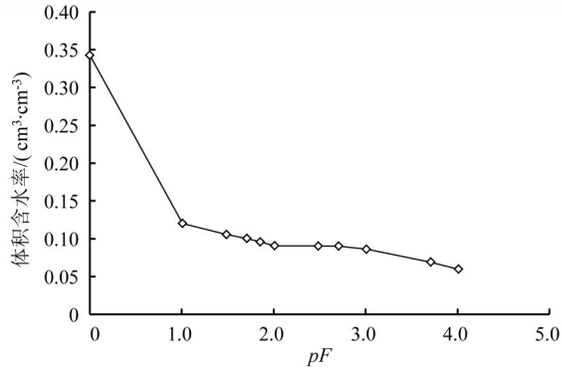


图2 沙子水分特征曲线图

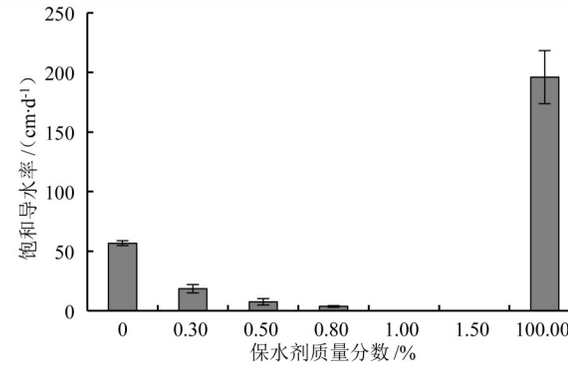


图3 不同保水剂质量分数条件下的土壤饱和导水率

2.2 不同质量百分比保水剂对土壤饱和导水率的影响

不同保水剂质量分数的土壤饱和导水率如图3所示。由图3可知，不含保水剂的土壤饱和导水率为56.8 cm/d，100%吸水饱和保水剂的饱和导水率更高，为196.1 cm/d，这说明保水剂在完全吸水后，其疏水性很强。但是，当土壤中添加一定比例的保水剂时，土壤饱和导水率逐渐变小，一方面与保水剂的膨胀导致土壤空隙变小有关，另一方面土壤颗粒与保水剂表面的分子结合，阻断了水分通过有关。当保水剂质量百分比为1%时，其饱和导水率接近0。试验以阻断底层水分渗漏为主要目标，基于成本考虑，选择保水剂的质量分数为1%。

2.3 不同厚度保水剂混合物对沙子剖面水分运移的影响

由于保水剂混合物的吸水性和不透水性可以起到一定的屏障作用，从而减少水分渗漏。通过剖面层施，可以将水分汇集在某一层次，减少水分淋失，提高水分利用效率。从图4可以看出，灌水结束后的第1天，无保水剂的对照处理，湿润锋很快达到21 cm处，5 d后湿润锋达到28 cm处，随后基本保持稳定。在上层完全饱和的条件下，保水剂与土壤混合物铺设厚度为0.3 cm和0.6 cm的2个处理，在下层较大水吸力条件下，湿润锋到达25 cm深度左右；保水剂与土壤混合物铺设厚度为0.9、1.2和1.5 cm处理，湿润锋在15 cm深度以内，可以较好地将多余水分控制在保水剂层上下。

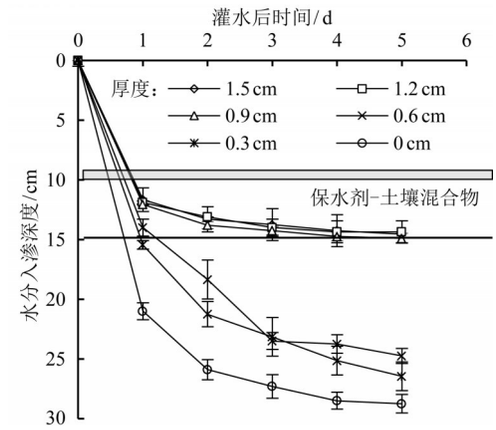


图4 不同厚度1%保水剂混合物沙子剖面水分分布

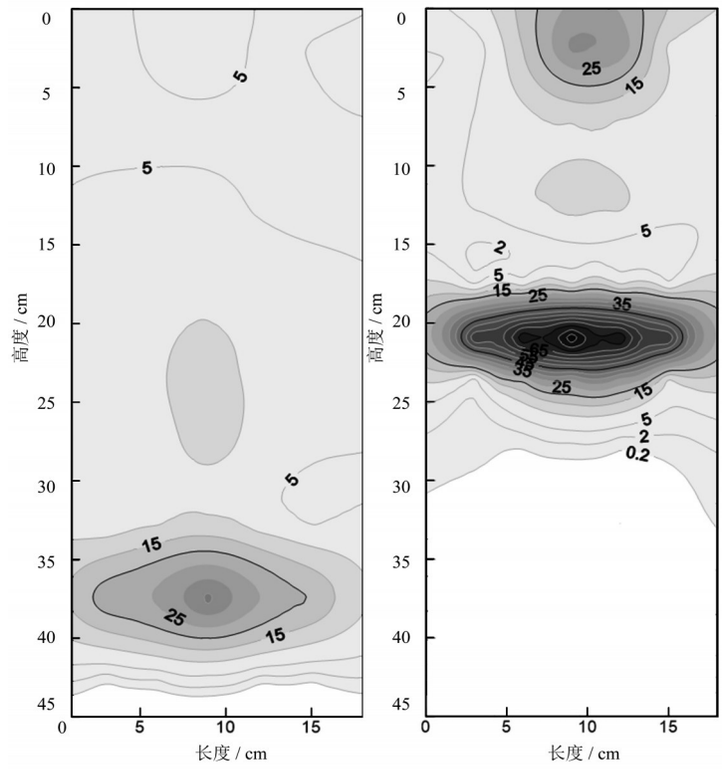
在沙柱中，1%保水剂土壤混合物并非严格意义的不透水层。在完全饱和条件下，可以通过非饱和流向下层继续进行扩散水分。1%保水剂与土壤混合物，由于吸水膨胀的不规律性，只有达到一定厚度，才能起到较好的隔水作用。根据试验结果，1%保水剂土壤混合物的厚度大于0.9 cm时，可以起到比较好的效果。为控制保水剂的使用成本，并且达到更好效果，后续试验中厚度略微增加，控制在1.0 cm。

2.4 1%保水剂混合物对沙子中硝态氮运移的影响

由于土壤胶体带负电，一般不能吸附硝态氮，硝态氮的分布与水分分布具有很好的一致性。由图5(a)可知，未添加保水剂土壤混合物底施的处理，硝态氮质量浓度在上部沙层较低，大部分在5 mg/kg左右；大部分硝态氮累积在距离底部5~10 cm的湿润锋处，硝态氮最大质量浓度达到了36.9 mg/kg；保水剂及以上沙柱硝态氮占总量的87.2%，有效防止了硝态氮的下移；由于底部仍然存在部分干沙，底部硝态氮分布呈扩散状。

含有保水剂与土壤混合物底施处理的硝态氮分布呈现表层和保水剂层富集的显著特点(图5(b))。由于保水剂土壤混合物的隔水和吸水作用，大量硝态氮富集在保水剂层，最大质量浓度达到了84.9 mg/kg，由于保水剂层的隔水作用，水分富集在表层，部分水分并没有下渗，从而表层的硝态氮质量浓度也比较高，滴

头正下方质量浓度高达60.3 mg/kg。由此可见，添加保水剂混合物底施处理的沙子可以保留硝态氮，防止养分流失，为作物提供更充足的养分，这也与前人的研究结果[8-9]一致。



（a）沙柱　　（b）含保水剂层沙柱

图5 保水剂+土壤混合物条件下土壤硝态氮的运移情况

3 讨 论

由于沙子的有效含水率非常低，仅为0.03 cm^3/cm^3，只有始终保持沙子处于田间持水率左右，才能保障植物有充足的水分吸收；但是，由于沙子饱和导水率高，水分容易淋失，往往导致作物容易失水。如何在剖面构筑水分防渗漏层，在一定深度形成保水蓄水库，对于沙土资源的农业开发至关重要。

本试验中，保水剂为聚丙烯酸钠，保水剂与壤土混合，当保水剂质量分数达到1%，饱和导水率为0，当与其他质地土壤混合时，最佳使用比例可能会发生变化；水分运移试验表明，虽然与底层沙子存在一定的非饱和流扩散现象，但是混合物一定厚度条件下，扩散范围较小，本试验结果与Berber等[27]的试验结果一致，而且本试验采用保水剂土壤混合，进一步降低了成本。混合物具有很好的吸水、保水和阻水作用，可以在保水剂混合物层形成一定厚度的有效水分区，从而满足作物水分需求；通过硝态氮的淋溶试验，发现硝态氮可以较好分布在表层与保水剂层，有效防止了硝态氮的下移。保水剂混合物在使用时，应根据作物根系分布特征，最终确定埋设深度。在沙子中施用肥料，应结合作物生长动态及养分吸收特征，实现水肥一体化，防止保水剂层养分过度累积，避免可能造成的烧苗风险。

兹提出了一种保水剂底施的技术方法，确立了关键技术参数，可以配合专业农业机械[29]（专利CN206547273U），配套使用，实现作业机械化，有效降低作业成本，提高了大面积推广利用的可行性。

4 结 论

1）聚丙烯酸钠与壤土混合物配比时，当聚丙烯酸钠质量分数在1%时，饱和导水率为0，可以用来作为不透水层进行蓄水、隔水，可以有效防止水分及养分的淋失；在沙子剖面中底施时，推荐保水剂-壤土混合物的厚度为1.0 cm，不但可以有效防止水分运移，而且可以降低成本；

2）通过硝态氮淋溶试验，保水剂土壤混合物底施技术可以将大部分养分汇集到保水剂层和表层，保水剂及以上沙体占硝态氮总量的87.2%，有效防止了硝态氮的下移。

参考文献：

[1] 苗恒录，李泽坤，徐冰，等. 保水剂在干旱沙区作物应用中的研究进展[J]. 北方农业学报, 2018, 46(1):85-89.
[2] 李景生，黄韵珠. 土壤保水剂的吸水保水性能研究动态[J]. 中国沙漠,1996,16(1): 86-91.
[3] 黄占斌，辛小桂，宁荣昌，等. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3):11-14.
[4] 张富仓,康绍忠. BP保水剂及其对土壤与作物的效应[J]. 农业工程学报,1999,15(2):74-78.
[5] HUTTERMANN A, LAWRENCE JBO, Agaba H. Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands[J]. CLEAN - Soil Air Water, 2009, 37(7): 517-526.
[6] LAWRENCE JBO, AGABA H, TWEHEYO M, et al. Amending soils with hydrogels increases the biomass of nine tree species under non-water stress conditions[J]. CLEAN - Soil Air Water, 2009, 37(8): 615-620.
[7] 刘小刚，耿宏焯，程金焕，等. 保水剂和灌水对小粒咖啡苗木的节水调控效应[J]. 农业机械学报, 2014, 45(3):134-139.
[8] 张富仓，李继成，雷艳，等. 保水剂对土壤保水持肥特性的影响研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2010,18(1):120-128.
[9] 黄震，黄占斌，李文颖，等. 不同保水剂对土壤水分和氮素保持的比较研究[J]. 中国生态农业学报, 2010,18(2):245-249.
[10] 岳征文，王百田，王红柳，等. 复合营养长效保肥保水剂应用及其缓释节肥效果[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8):56-62.
[11] 马鑫，魏占民，于健，等. 保水剂对土壤特性长效影响的研究[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(3):117-120.
[12] 李秧秧，黄占斌. 节水农业中化控技术的应用研究[J]. 节水灌溉, 2001(3):4-6.
[13] 吴娜，胡跃高，任长忠，等. 两种灌溉方式下保水剂用量对春播裸燕麦土壤氮素的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(2):346-351.
[14] 廖人宽，杨培岭，任树梅. 高吸水树脂保水剂提高肥效及减少农业面源污染[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17):1-10.
[15] 孟志伟，於忠祥，朱林，等. 施用缓释型保水剂条件下土壤水分状况及氮素运移特征的研究[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(5):52-54.
[16] 苟春林，王新爱，李永胜，等. 保水剂与氮肥的相互影响及节水保肥效果[J]. 中国农业科学, 2011, 44(19):4 015-4 021.
[17] 李晶晶，白岗栓. 保水剂在水土保持中的应用及研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2012,10(1):114-120.
[18] 王志玉, 刘作新. 高吸水树脂的性能及其在农业上的应用[J]. 土壤通报, 2004, 35(3): 352-356.
[19] 谢伯承，薛绪掌，王纪华，等. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 44-46.
[20] BEN-HUR M, KEREN R. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(2): 565.
[21] LENTZ R D，SOJKA R E, CARTER D L, et al. Preventing irrigation furrow erosion with small application of polymers[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(6): 1 926-1 932.
[22] SOJKA R E, LENTZ R D, WESTERMANN D T. Water and erosion management with multiple applications of polyacrylamide in furrow irrigation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62(6): 1 672-1 680.
[23] 朱元浩，杨培岭，杜鑫，等. 利用氢氧稳定同位素探究保水剂对玉米根系作用机理[J]. 灌溉排水学报, 2016,35(10):42-46.
[24] 程闯梅，任树梅，杨培岭，等. 保水剂对大田雨养玉米水肥利用效率影响的试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2014,33(6):141-144.
[25] 杨永辉，武继承，吴普特，等. 保水剂用量对小麦不同生育期根系生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2011,22(1): 73-78.
[26] 李云开，杨培岭，刘洪禄. 保水剂在农业上的应用技术与效应[J]. 节水灌溉, 2002(2): 12-16, 53.
[27] BERBER M R, HAFEZ I H, MINAGAWA K, et al. An efficient strategy of managing irrigation water based on formulating highly absorbent polymer-in organic clay composites[J]. Journal of Hydrology, 2012, 470-471: 193-200.
[28] 吕贻忠，张凤荣，闫旭东，等. 风沙土上生态保水保肥型的土体构型改良剂及其使用方法:CN107011915A[P]. 2017-08-04.
[29] 宋吉青，吕国华，白文波，等. 一种土壤深松耕装置:CN206547273U[P]. 2017-10-13.

Movement of Water and Nitrate in Sandy Soil Containing a Layer of Mixture of Water-absorbing Polymer and Soil

HAN Yunyun[1], XU Ying[1], HE Jiuxing[2], BAI Wenbo[2], SONG Jiqing[2], LV Guohua[2*]

(1.School of Hydraulic Energy and Power Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China; 2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract:【Objective】Water-adsorbing polymers have been used an agent to improve the ability of soil to retain water and the objective of this paper is to study the movement and retention of water and nitrate in soil containing a layer of mixture of water-adsorbing polymer and soil.【Method】Sodium polyacrylate (SAP) was used in this paper as the agent and based on its adsorptive ability to water and nitrate, the polymer was mixed with soil. A layer of such a mixture was packed at different depths in soil columns, and water and nitrate infiltration in the columns was studied experimentally to elucidate the impact of thickness and location of the mixture layer on water flow and nitrate leaching.【Result】The mixture became impermeable when the ratio of sodium polyacrylate to loam soil was higher than 1%. Packing a layer of the mixture 0.9~1.5 cm thick in subsoil worked well. The nitrate was mainly found in the top soil and in the mixture, accounting for 87.2% of the total nitrogen, effectively reducing nitrate leaching.【Conclusion】Applying a layer of the mixture of soil and sodium polyacrylate in subsoil can improve water retention and ameliorate nitrate leaching. In our experiment burying a 1cm thick mixture with the sodium polyacrylate to loam soil ratio at 1% gave good results.

Key words: water-absorbent polymer; water and nitrogen leaching; sandy soil; soil remediation

责任编辑：陆红飞