排灌机械工程学报
Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering
2018 年 6 月 June 2018 | 第 36 卷 第 6 期 Vol. 36 No. 6

doi:10.3969/j.issn.1674-8530.17.0021

添加 γ-聚谷氨酸的浑水膜孔灌单点源自由入渗特性

陈琳[1]，费良军[1*]，王子路[2]，郭欣[3]，曾建[1]，杨扬[1]

（1. 西安理工大学水利水电学院，陕西 西安 710048；2. 黄河水利科学研究院，河南 郑州 450003；3. 山东福瑞达生物科技有限公司，山东 济南 250101）


陈琳

摘要：为探究聚谷氨酸对浑水膜孔灌条件下土壤水分入渗运动和土壤改良方面的影响，基于室内浑水膜孔灌单点源自由入渗试验，研究了不同 γ-PGA 施量配比（0，0.1%，0.5%，1.0%）对水分入渗及持水能力的影响. 研究结果表明，对于累积入渗量，与处理 C 相比，处理 C1、处理 C2、处理 C3 的累积入渗量分别减小了 17.27%，30.91% 和 42.73%，稳定入渗率分别减小了 17.28%，35.79% 和 57.32%，但土壤饱和含水率分别增加了 7.38%，35.27% 和 39.62%；Kostiakov 公式中 K 值从 0.132 8 减小到 0.070 7，α 值从 0.774 6 增大到 0.812 7；γ-PGA 会阻碍垂直湿润锋运移，使得土壤水分保持在土壤根系吸水层，但对水平湿润锋的运移并没有阻碍作用，并且对土壤水分的水平运动有推进作用，0.5% γ-PGA 施量效果最显著；另外，γ-PGA 改变了土壤剖面水分分布，在浑水膜孔灌中，可将水分集中在土壤上层，提高灌溉水利用效率.

关键词：γ-聚谷氨酸；浑水膜孔灌；土壤持水能力；入渗特性；Kostiakov 公式

中图分类号：S277.9　**文献标志码**：A　**文章编号**：1674-8530(2018)06-0529-07

陈琳，费良军，王子路，等. 添加 γ-聚谷氨酸的浑水膜孔灌单点源自由入渗特性[J]. 排灌机械工程学报，2018，36(6)：529-535.

CHEN Lin，FEI Liangjun，WANG ZiLu，et al. Single-point free infiltration characteristics of muddy water film hole irrigation with γ-PGA additive[J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering(JDIME)，2018，36(6)：529-535.(in Chinese)

Single-point free infiltration characteristics of muddy water film hole irrigation with γ-PGA additive

CHEN Lin[1]，*FEI Liangjun*[1*]，*WANG ZiLu*[2]，*GUO Xin*[3]，*ZENG Jian*[1]，*YANG Yang*[1]

（1. Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering，Xi′an University of Technology，Xi′an，Shaanxi 710048，China；2. Yellow River Institute of Hydraulic Research，Zhengzhou，Henan 450003，China；3. Shandong Freda Biological Technology Co. Ltd.，Jinan，Shandong 250101，China）

Abstract：In order to explore the effect of gamma-PGA on soil water infiltration and soil environmental improvement of muddy water film hole irrigation，the test of single-point free infiltration of muddy water Film Hole irrigation was used to study the soil water infiltration and water holding capacity with the different γ-PGA content being mixed with soil（0，0.1%，0.5%，1.0%）. The results indicates that compared with treatment C，the cumulative infiltration volume of C1，C2，C3 are decreases by 17.27%，30.91% and 42.73%，respectively. The constant infiltration rate of C1，C2，C3 are decreased by 17.28%，35.79% and 57.32%，respectively. But compared with treatment C，the saturated soil moisture content C1，C2，C3 are increased by 7.38%，35.27% and 39.62%，respective-

收稿日期：2017-01-23；**修回日期**：2017-03-16；**网络出版时间**：2018-02-01

网络出版地址：http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20180201.1545.002.html

基金项目：国家自然科学基金资助项目（51479161）；公益性行业（农业）科研专项（201203003）

第一作者简介：陈琳（1990—），女，山东齐河人，博士研究生（1036784415@qq.com），主要从事节水灌溉理论与技术研究.

通信作者简介：费良军（1963—），男，陕西蓝田人，教授，博士生导师（feiliangjun2008@163.com），主要从事节水灌溉、农业水资源利用与水环境研究.

ly. The infiltration coefficient in Kostiakov formula reduced from 0.132 8 to 0.070 7 and the infiltration index increases from 0.774 6 to 0.812 7. γ－PGA hinders the migration of vertical wetting front and leads to keep the soil water in soil root water absorption layer. But γ－PGA has no effect on the migration of horizontal wetting front and has propulsion function on horizontal movement of soil water. The treatment with 0.5% γ－PGA content is the best. In addition, γ－PGA can change the water distribution in soil profile. γ－PGA can concentrate water in the upper soil to satisfy the full water supply for crop seedling stage and improve irrigation water use efficiency.

Key words: poly－γ－glutamic acid; muddy water film hole irrigation; soil water holding capacity; the characteristics of soil water infiltration; Kostiakov formula

聚谷氨酸(Poly－γ－glutamic acid,γ－GPA)是一种聚氨基酸化合物,它是由D－谷氨酸和L－谷氨酸通过γ－酰胺键结合形成的[1],是一种多聚氨基酸类的环保型多功能生物可降解高分子材料[2].γ－GPA具有良好的水溶性,超强的吸附性、生物可降解性,对人体无毒无害且可食用等.这些特性使其可作为保水剂、增稠剂、絮凝剂、重金属吸附剂、药物/肥料缓释剂及药物载体等的原料,在农业、食品、医药、化妆品、环保、合成纤维和涂膜等领域具有广泛的应用前景[2-4].γ－GPA具有抗旱保水保肥作用,在一定程度上可缓解因土壤水分缺乏而引起的土壤干旱和沙漠化问题[5].根据目前的研究结果表明,γ－GPA的最大自然吸水倍数可达到1 108.4倍,是普通吸水树脂的1倍以上,对土壤水分的吸收倍数为30～80倍,具有较强的吸水性和保水能力,可用于抗旱保墒育苗[6-7].另外,γ－GPA还具有保肥性.褚群等[8]研究表明,种植番茄时添加γ－GPA,土壤基质初始持水孔隙度、最大持水量、铵态氮、硝态氮、速效磷、速效钾、交换性镁含量和EC值均有显著提高,而通气孔隙度和pH值有明显降低,同时在番茄穴盘苗生长发育过程中,土壤基质速效氮、速效磷、速效钾和交换性镁供应能力均有所增强,番茄穴盘苗生长发育后期基质过氧化氢酶活性和中性磷酸酶活性显著提高.孙刚忠[9]研究表明,施加γ－PGA后可显著提高小白菜鲜重产量,降低硝酸盐含量,提高叶绿素含量.XU等[10]研究表明,施加γ－PGA可提高冬小麦的产量、分蘖数、穗粒数、SMBN以及土壤酶和氮肥利用效率,可将γ－PGA作为肥料增效剂.史文娟等[11]通过添加γ－GPA的一维土壤水分入渗研究表明,γ－GPA可减少累积入渗量、入渗率和湿润锋,降低饱和导水率但不影响湿润锋处的土壤吸力;随着γ－GPA施量增加,土壤饱和含水率增加,且表层土壤含水率逐渐增加而深层含水率逐渐降低;说明γ－GPA具有保水能力,使水分蓄积在土壤计划湿润层.

浑水灌溉是中国黄河流域引黄区灌溉的主要特点,目前已在膜孔直径、泥沙粒度组成、土壤容重以及土壤初始含水率对浑水膜孔灌单孔自由入渗及单向交汇入渗的影响均有研究[12-13].近几年在农业研究领域,学者对γ－PGA的研究多数是田间试验,另外对添加γ－PGA可减少土壤水分深层渗漏提高持水能力仅在一维垂直土壤水分入渗上有研究.鉴于此,文中在一维垂直水分入渗的基础上采用膜孔灌灌溉方式,利用浑水进行土壤水分入渗试验,研究土壤垂直和水平2个剖面上的土壤水分入渗特点,为γ－PGA在农业方面的推广奠定科学基础.

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试土壤

供试土壤取自西安浐灞,土壤容重采用环刀法测定,为1.35 g/cm^3,烘干法测量初始质量含水率为3%.采集土样置阴凉处自然风干,除去大颗粒杂质并用2 mm筛过滤.土壤类型为粉壤土,采用Mastersizer2000激光粒度分析仪对供试土样进行颗粒分析,具体结果见表1,表中w为体积分数,d为粒径.

表1 供试土壤的颗粒分析
Tab.1 Soil particle sizes of the text soil

土壤质地	黏粒(d<0.002 mm)	粉粒(0.002≤d<0.020 mm	砂粒(0.020≤d≤2.000 mm)
w/%	3.58	91.55	4.87

1.1.2 γ－GPA来源及其理化性质

土壤添加剂是由山东福瑞达生物科技有限公司生产的聚谷氨酸,是以左、右旋光性的谷氨酸为单元体,以γ－位上的酰胺键聚合而成同质多肽(homo－polypeptide),聚合度在1 000～15 000,其外

观为白的、自由流动粉末,粒度为 0.15 mm,分子量为 700 000 g/mol,干燥失重小于 10%,OD400 澄清度小于 0.13,重金属小于 20 mg/L,pH 值 5.0～7.0,为中性. 此外,其具有极高的吸水性、保湿性及良好的生物可降解性,是一种绿色生物大分子材料,可食用,对人体和土壤环境无害.

1.2　试验方法

1.2.1　试验设计

将 γ－PGA 与过筛后的土样按照 0,0.1%,0.5% 和 1.0%(质量比)混合均匀后,γ－PGA 添加量 0 为处理 C,0.1% 为处理 C1,0.5% 为处理 C2,1.0% 为处理 C3,按照容重 1.35 g/cm^3 每层 5 cm 分为 4.5 层装入土箱(长×宽×高=24 cm×20 cm×30 cm),土箱厚 10 mm,层间刮毛保证土壤和 γ－PGA 装入均匀,每个处理设置 2 次重复. 供水装置为改进的马氏瓶(内径为 9 cm,传动轴直径为 1.4 cm,高 90 cm),即在普通供水装置马氏瓶中加入搅拌系统,使用于土壤水分入渗的浑水具有恒定的含沙率,保证泥沙始终处于悬浮状态,并且试验前后保证浑水含沙率差异在 5% 以内. 为方便观测土壤水分入渗湿润锋运移,采用 1/4 膜孔(见图 1)进行模拟,入渗源水室采用 5 mm 厚有机玻璃制成,膜孔直径为 5 cm,将其置于土层上表面土箱一角,为试验供水,保持 2 cm 水头. 浑水含沙率为 5%.

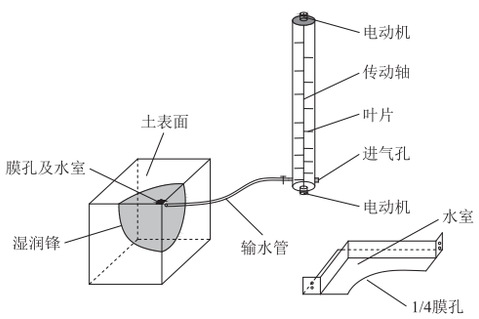


图 1　浑水膜孔灌自由入渗试验装置示意图

Fig. 1　Sketch map of muddy water infiltration of film hole irrigation test

1.2.2　测试项目

在灌水过程中,采用秒表记录土壤水分入渗时间,并将水平和垂直湿润锋运移距离用记号笔在土箱侧壁标出,另外标注浑水马氏瓶水位下降相应的刻度值,得到水平和垂直湿润锋及累计入渗量随时间变化关系. 待入渗过程结束,停止全部处理的供水,并迅速吸干处于膜孔处 2 cm 高度积水,分别在膜孔圆点、距圆点 6 cm 及距圆点 12 cm 处从表面至湿润锋处平均间隔 2.5 cm 处用土钻取土样,用烘干法测量得出土壤质量含水率.

1.2.3　饱和含水率的测定方法

土壤持水能力又称为持水性. 影响土壤持水的因素包括:土壤结构、土壤盐分、土壤有机质、土壤总孔隙度、土壤黏粒质量分数、土壤粉粒质量分数、毛管孔隙度等[14].

土壤饱和导水率是土壤被水饱和时,单位时间内、单位水势梯度下通过单位面积的水量,它是土壤容重、质地、孔隙分布特征的函数,饱和导水率由于土壤容重、质地、孔隙分布以及有机质质量分数等的空间变量的影响,其空间变异强烈,其中孔隙分布特征对土壤饱和导水率的影响最大. 文中使用饱和导水率分析在浑水膜孔灌条件下添加 γ－GPA 对土壤持水性能的影响. 饱和导水率测量试验采用体积为 100 cm^3,质量为 76 g 的离心机配套环刀,将 4 个处理土样按 1.35 g/cm^3 容重分别装入环刀,用滤纸垫在环刀底部,称重. 然后将其放入纯水中浸泡 48 h 达到饱和,再称重,最后计算得到土壤饱和含水率.

2　结果与分析

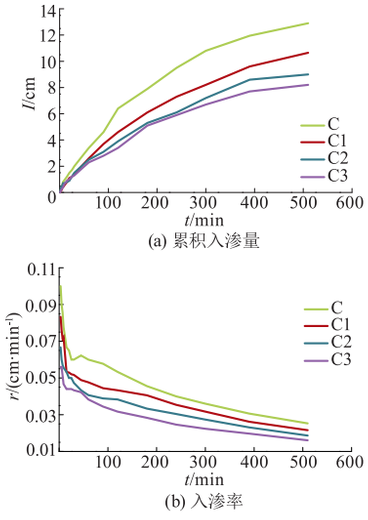
2.1　γ－PGA 施量对土壤入渗特征的影响

2.1.1　对累积入渗量和入渗率的影响

土壤水分入渗能力在一定程度上是由入渗时间和累积入渗量反映的[15]. 不同 γ－PGA 施量处理累积入渗量 Z 如图 2a 所示. 从图中可以看出,入渗前 50 min,各处理的累积入渗量随时间 t 变化差异不明显,但随着时间的推移,从入渗 100 min 开始,各处理累积入渗量的差异逐渐显著,且 γ－PGA 施量与累积入渗量之间存在负相关关系. 这是因为土壤水分入渗初期,土水势梯度较大,土壤含水率较小,土壤水吸力较大,水分入渗主要受土壤基质势和重力势共同作用,此时 γ－PGA 的减渗作用不明显. 随着土壤水分继续入渗,土壤含水率逐渐增大,土壤水势梯度下降,土壤水吸力降低,土壤基质势减小,γ－PGA 的减渗作用被体现出来. 在入渗结束时,与处理 C 相比,处理 C1、处理 C2、处理 C3 的累积入渗量分别减小了 17.27%,30.91% 和 42.73%. 这是由于 γ－PGA 是由谷氨酸残基通过 Y－酰胺键线性连接而得,每个谷氨酸残基都同时连接羧基、氨基和羰基这 3 种具有水合能力的官能团,其中,羧

基能力更为明显，加上 γ－PGA 链之间大量氢键的存在，使得 γ－PGA 具有超强的保水锁水性能[16]，因而对土壤水分具有一定的减渗作用. 由于处理 C2 与处理 C3 的减渗作用相差不大，因此考虑经济效益，在实际生产中可使用 0.5% 的 γ－PGA 施量来做土壤保水剂，便于推广.

入渗率是单位时间内通过地表单位面积入渗到土壤中的水量，任一时刻的入渗率其值和此时地表处的土壤水分通量相等. 不同 γ－PGA 施量情况下的入渗率 r 变化如图 2b 所示. 从图中可以看出，施加 γ－PGA 的处理入渗率均小于无 γ－PGA 对照处理. 入渗前期，即 50 min 之前，不同施加 γ－PGA 量对入渗率影响不明显，3 个处理的入渗率大致相同. 但随着入渗时间的推移，随着 γ－PGA 施量的增加，入渗率呈降低趋势，且在入渗结束时，各处理稳定入渗率从大到小依次为 C，C1，C2，C3. 与处理 C 相比，处理 C1、处理 C2、处理 C3 的稳定入渗率分别减小了 17.28%，35.79% 和 57.32%. γ－GPA 遇水后在土壤中有一定的保水能力和较理想的释放效果[7]，从而削减了土壤水分运动能力，导致入渗率下降.



(a) 累积入渗量

(b) 入渗率

图 2 γ－PGA 施量对累积入渗量、入渗率的影响

Fig. 2 Influence of content of γ－PGA on cumulative infiltration volume and infiltration rate

2.1.2 对入渗模型水分运动参数的影响

根据之前的研究表明，Kostiakov 模型适用于均质土体[16]. 因此采用 Kostiakov 入渗模型：

$$i = Kt^{\alpha}, \tag{1}$$

式中：i 为累积入渗量，cm；t 为入渗时间，min；α 为经验入渗指数，反映土壤的入渗能力的衰减速度；K 为经验入渗系数，表示入渗开始后第 1 个单位时段末的累积入渗量，在数值上和第 1 个单位时段的平均入渗速度相等. 在土壤水分入渗的初始阶段，系数 K 对土壤入渗能力起主导作用，随着入渗时间的推移，指数 α 变为影响土壤入渗能力的主要因素.

通过拟合表明，在不同 γ－PGA 施量 c 条件下浑水膜孔灌累积入渗量与入渗时间具有良好的幂函数关系，4 个处理拟合的决定系数 R^2 均大于 0.95，结果见表 2.

表 2 Kostiakov 入渗模型参数拟合结果

Tab. 2 Fitting parameters of Kostiakov formula

c/%	经验系数 K	经验指数 a	决定系数 R^2
0	1.530 6	0.308 9	0.977 7
0.1	1.336 9	0.348 7	0.985 8
0.5	1.313 8	0.375 9	0.955 7
1.0	0.611 9	0.527 5	0.891 3

入渗系数 K 随 γ－PGA 施量的增加而减小，而入渗指数 α 随 γ－PGA 施量的增加而增加. K 值从 1.530 6 减小到 0.611 9，α 值从 0.308 9 增大到 0.527 5. 进一步说明了 γ－PGA 具有减渗作用，在入渗后期阻碍土壤水分入渗运动.

2.1.3 对水平湿润锋运移特性的影响

图 3 为水平湿润锋运移距离 S_x 随入渗时间 t 的变化情况. 从图中可以看出，入渗开始时，自由面水平湿润锋运移距离瞬间达到膜孔半径. 入渗初期，4 个处理的水平湿润锋基本一致，重合度较高，因此此时施加 γ－PGA 对水平湿润锋影响不大. 随着时间的推移，在 90 min 时，各处理水平湿润锋运移距离之间差距明显，但处理 C2 与 C3 大致相同，均大于处理 C1 和 C. 在土壤水分入渗结束时，各处理水平湿润锋运移距离从大到小依次为 C2，C3，C1，C. 说明 0.5% γ－PGA 处理较 1.0% γ－PGA 处理促进土壤水分水平方向上运移.

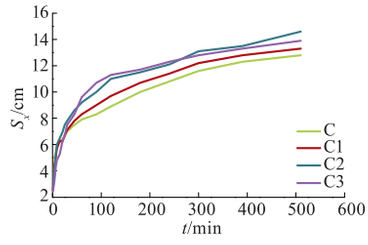


图 3 水平湿润锋运移距离随入渗时间的变化曲线

Fig. 3 Horizontal wetting front movement distance curves

添加 γ－PGA 浑水膜孔灌单点源自由入渗水平湿润锋运移距离与入渗时间呈幂函数关系，即

$$S_{xi} = \frac{D}{2} + Gt^{H}, \tag{2}$$

式中:S_{xi}为浑水膜孔灌水平湿润锋运移距离,cm;D为膜孔直径,cm;G为拟合系数;H为拟合指数. 决定系数 R^2 均大于 0.980 0,说明该模型能很好地描述 γ－PGA 的浑水膜孔灌单点源自由入渗水平湿润锋运移距离与入渗时间的变化关系. 表 3 为水平湿润锋运移距离与入渗时间拟合参数,从表中可以看出,处理 C2 的拟合系数 G 最大,其余 3 个处理的拟合系数 G 均随 γ－GPA 施量 c 增加而减小. 综上所述,cγ－PGA 虽然对土壤水分运动有阻碍作用,但对水平湿润锋的运移并没有阻碍作用,并且对土壤水分的水平运动有推进作用,0.5% γ－PGA 施量效果最显著.

表 3　水平湿润锋运移距离与入渗时间拟合参数
Tab. 3　Fitting parameters of horizontal wetting front movement distance and infiltration time

c/%	拟合系数 G	拟合指数 H	决定系数 R^2
0	3.390 0	0.212 1	0.982 1
0.1	3.324 3	0.223 4	0.995 5
0.5	4.057 9	0.200 6	0.992 9
1.0	2.466 5	0.299 1	0.975 9

2.1.4　对垂直湿润锋运移特性的影响

图 4 为垂直湿润锋运移距离 S_z 随入渗时间 t 的变化情况. 从图中可以看出,4 个处理的垂直湿润锋运移距离均随入渗时间的增加而持续增大,在同一入渗时段内,垂直湿润锋运移距离随 γ－PGA 施量的增大而减小. 这是因为一方面,在浑水膜孔灌单点源入渗过程中,土壤中的 γ－PGA 遇水后,与土壤胶体结合后使得团聚体增多、增大,原有的土壤结构及孔隙状况发生了物理变化,提高了土壤持水能力;另一方面,因为 γ－PGA 本身遇水饱和后形成水凝胶,导致水分黏滞性增加,土壤水吸力降低,土壤导水能力降低.

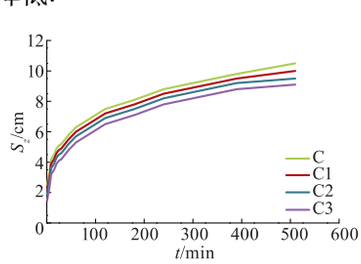


图 4　垂直湿润锋运移距离随入渗时间的变化曲线
Fig. 4　Vertical wetting front movement distance curves

添加 γ－PGA 浑水膜孔灌单点源自由入渗垂直湿润锋运移距离与入渗时间呈幂函数关系,即

$$S_{zi} = Et^F, \tag{3}$$

式中:S_{zi}为浑水膜孔灌垂直湿润锋运移距离,cm;E为拟合系数;F为拟合指数. 表 4 为垂直湿润锋运移距离与入渗时间的拟合情况. 决定系数 R^2 均大于 0.990 0,说明该模型能很好地描述施加浑水 γ－PGA 的膜孔灌单点源自由入渗垂直湿润锋运移距离与入渗时间的变化关系. 从表中可以看出,拟合系数 E 随着 γ－PGA 施加量 c 的增加而减小,拟合指数 F 则不断增大. 因此,γ－PGA 会阻碍垂直湿润锋运移,使得土壤水分保持在土壤根系吸水层.

表 4　垂直湿润锋运移距离与入渗时间拟合参数
Tab. 4　Fitting parameters of vertical wetting front movement distance and infiltration time

c/%	拟合系数 E	拟合指数 F	决定系数 R^2
0	2.345 1	0.239 9	0.994 7
0.1	2.091 2	0.254 5	0.994 5
0.5	1.839 4	0.271 4	0.993 5
1.0	1.501 8	0.300 5	0.991 5

2.2　γ－PGA 对饱和含水率及剖面水分分布的影响

2.2.1　对土壤饱和含水率的影响

图 5 为 γ－PGA 施量 c 对饱和含水率 ω 的影响情况. 从图中可以看出,与处理 C 相比,处理 C1,C2 和 C3 的土壤饱和含水率分别增加了 7.38%,35.27% 和 39.62%.

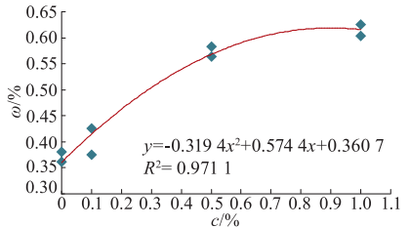


图 5　γ－PGA 对饱和含水率的影响
Fig. 5　Effect of content of γ－PGA on saturated volumetric water content

对各处理的饱和含水率变化趋势进行拟合,拟合结果符合二项式方程:$y = -0.319\ 4x^2 + 0.574\ 4x + 0.360\ 7$,拟合精度 $R^2 = 0.971\ 1$. 尽管添加 γ－PGA 阻碍了土壤水分入渗,但是却增强了土壤持水能力,增加了土壤孔隙中的水分,减小了深层渗漏,提高了灌溉水利用效率,有利于农业生产.

2.2.2　对土壤剖面含水率分布的影响

不同 γ－PGA 施量处理的膜孔深度 d 处的剖面含水率 ω 动态分布如图 6 所示. 从图中可以看出,在 0～10.0 cm 土壤层,处理 C3 的土壤体积含水率最大,且添加 γ－PGA 处理的土壤体积含水率均比对照高. 但在 10.0～12.5 cm 土壤层,添加 γ－PGA

与对照的土壤含水率趋于相同. 从整体分析,湿润土层厚度变小,说明 γ－PGA 改变了土壤剖面水分分布,在浑水膜孔灌中,可将水分集中在土壤上层,作物苗期供水充足,保水保墒,为作物之后生育期开展节水灌溉提供有利条件.

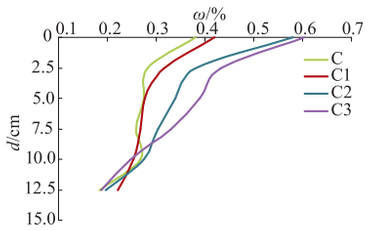


图 6 膜孔圆心处土壤剖面含水率变化曲线

Fig. 6 Change curve of soil water content for profile on center of film hole

3 讨 论

从上述研究结果可以看出,γ－PGA 对土壤水分入渗特性及土壤持水能力影响较大. 其影响主要表现在,减小土壤水分累积入渗量,减缓水分入渗率,促进水平湿润锋运移,阻碍垂直湿润锋下移,增加土壤饱和含水率,影响土壤剖面含水率的分布. 浑水在入渗过程中,浑水中物理黏粒入渗会在土壤表面形成一个沉积层,阻碍水分入渗,随着时间的推移,沉积层的厚度增加,从而导致入渗到土壤中的水分越来越少,无法满足作物生长[17]. 因此在土壤中增加 γ－PGA 可弥补浑水灌溉的缺点,并且 γ－PGA 使得土壤水分运动减慢,土壤含水率增加,可供作物充分吸水,灌溉水利用效率大大提高.

此外,由于 γ－PGA 减小了土壤深层渗漏,因此不利于地下水补给,减缓了水资源循环速率,目前尚未有文献研究此方面,γ－PGA 是否可以用于盐碱地改良还需要进一步研究. 文中仅对 γ－PGA 的保水性进行了研究,目前在保肥性方面在大田试验中研究较多,但机理性研究几乎没有,特别是对氮肥运移的影响没有研究. 另外,为了推广到农业应用中,还需要观测,γ－PGA 的初始粒径、降解过程、降解后的粒径情况及随着降解持水能力衰减的趋势,以降低使用成本.

4 结 论

1) 在土壤中添加 γ－PGA 后对土壤水分入渗具有明显的减渗作用,其表现为在入渗结束时,与处理 C 相比,处理 C1、处理 C2、处理 C3 的累积入渗量分别减小了 17.27%,30.91% 和 42.73%;稳定入渗率分别减小了 17.28%,35.79% 和 57.32%.

2) 从湿润锋运移情况可以看出,添加 γ－PGA 后的水平湿润锋运移距离与对照相比有推进土壤水分水平运移的作用,而对垂直湿润锋运移具有明显阻碍作用,使得土壤水分保持在土壤根系吸水层.

3) 从土壤剖面含水率的分布情况可以看出,湿润土层厚度变小,说明 γ－PGA 改变了土壤剖面水分分布,在浑水膜孔灌中,可将水分集中在土壤上层,作物苗期供水充足,保水保墒,为作物之后生育期开展节水灌溉提供有利条件.

参考文献(References)

[1] KUBOTA H, MATSUNOBU T, UOTANI K. Natural and edible biopolymer poly－γ－glutamic acid: synthesis, production, and applications [J]. Chemical record, 2005, 5(6): 352—366.

[2] 彭英云,张涛,缪铭,等. γ－聚谷氨酸的合成、性质和应用[J]. 食品与发酵工业,2012,38(6):133－138.
PENG Yingyun, ZHANG Tao, MIAO Ming, et al. The synthesis, properties and application of γ－polyglutamic acid[J]. Food and fermentation industries, 2012, 38(6):133－138. (in Chinese)

[3] 李晶博,李丁,邓毛程,等. γ－聚谷氨酸的特性、生产及应用[J]. 化工进展,2008,27(11):1789－1792,1799.
LI Jingbo, LI Ding, DENG Maocheng, et al. Properties, production and application of γ－polyglutamic acid[J]. Chemical industry and engineering progress, 2008, 27(11):1789－1792,1799. (in Chinese)

[4] SHIH I L, VAN Y T. The production of poly－(γ－glutamic acid) from microorganisms and its various applications[J]. Bioresource technology, 2001, 9(3): 207－225.

[5] 何其华,何永华,包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J]. 山地学报,2003,21(2):149－156.
HE Qihua, HE Yonghua, BAO Weikai. Research on dynamics of soil moisture in arid and semiarid mountainous areas[J]. Journal of mountain research, 2003, 21(2):149－156. (in Chinese)

[6] 李静,郑焕兰,刘常金. γ－聚谷氨酸高吸水树脂的结构和形态[J]. 安徽农业科学,2010,38(3):1119－1121.
LI Jing, ZHENG Huanlan, LIU Changjin. Structure and morphology of γ－poly glutamic acid high water－absorbing resin[J]. Journal of anhui agricultural sciences,

2010, 38(3):1119－1121. (in Chinese)

[7] 王传海,何都良,郑有飞,等. 保水剂新材料 γ－聚谷氨酸的吸水性能和生物学效应的初步研究[J]. 中国农业气象,2004,25(2):19－22.
WANG Chuanhai, HE Duliang, ZHENG Youfei, et al. A preliminary study on water absorption properties and biological effects of a new water－holding agent γ－poly glutamate [J]. Agricultural meteorology, 2004,25(2): 19－22. (in Chinese)

[8] 褚群,董春娟,尚庆茂. γ－聚谷氨酸对番茄穴盘育苗基质矿质养分供应及幼苗生长发育的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(3):855－862.
CHU Qun, DONG Chunjuan, SHANG Qingmao. Effects of γ－poly glutamic acid on substrate mineral nutrient supply and growth of tomato plug seedlings[J]. Journal of plant nutrition and fertilizer, 2016, 22(3): 855－862. (in Chinese)

[9] 孙刚忠. 聚 γ－谷氨酸在小白菜上的应用效果及其作用机理[D]. 武汉:华中农业大学,2012.

[10] XU Z, WAN C, XU X, et al. Effect of poly (γ－glutamic acid) on wheat productivity, nitrogen use efficiency and soil microbes[J]. Journal of soil science and plant nutrition, 2013, 13(3), 744－755.

[11] 史文娟,梁嘉平,陶汪海,等. 添加 γ－聚谷氨酸减少土壤水分深层渗漏提高持水能力[J]. 农业工程学报,2015,31(23):94－100.
SHI Wenjuan, LIANG Jiaping, TAO Wanghai, et al. γ－PGA additive decreasing soil water infiltration and improving water holding capacity[J]. Transactions of the CSAE, 2015,31(23):94－100. (in Chinese)

[12] 胡建桥,王锦辉,张建香,等. 浑水膜孔灌自由入渗特性试验研究[J]. 排灌机械工程学报,2017,35(1):80－86.
HU Jianqiao, WANG Jinhui, ZHANG Jianxiang, et al. Experimental study of free infiltration characteristics of muddy water film hole irrigation [J]. Journal of drainage and irrigation machinery engineering, 2017,35(1): 80－86. (in Chinese)

[13] 费良军,王锦辉,金世杰. 不同膜孔直径的浑水膜孔灌自由入渗特性研究[J]. 农业机械学报,2016,47(2):172－178.
FEI Liangjun, WANG Jinhui, JIN Shijie. Free infiltration characteristics of muddy water film hole irrigation with different film hole diameters [J]. Transactions of the CSAM, 2016,47(2):172－178. (in Chinese)

[14] 苏杨,朱健,王平,等. 土壤持水能力研究进展[J]. 中国农学通报,2013,29(14):140－145.
SU Yang, ZHU Jian, WANG Ping, et al. Research progress on soil water holding capacity [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2013,29(14):140－145. (in Chinese)

[15] 王全九,邵明安,郑纪勇. 土壤水分运动与溶质迁移[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.

[16] 于林艳. 聚谷氨酸降解、交联及在化妆品中应用研究[D]. 济南:山东大学,2016.

[17] 李卓,吴普特,冯浩,等. 不同粘粒含量土壤水分入渗能力模拟试验研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(3):71－77.
LI Zhuo, WU Pute, FENG Hao, et al. Effects of soil clay particle content on soil infiltration capacity by simulated experiments[J]. Agricultural research in the arid areas,2009,27(3):71－77. (in Chinese)

(责任编辑　徐云峰)