

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.06.004

PEG 对聚丙烯酸水凝胶 pH 敏感性的影响

杨珊¹, 冯韵¹, 宫铭², 蔡秀琴¹, 马咏梅¹, 刘展晴¹

(1. 渭南师范学院化学与材料学院, 陕西渭南 714099; 2. 西安科技大学化学与化工学院, 西安 710054)

摘要:以丙烯酸(AA)为单体、聚乙二醇(PEG)为致孔剂、*N,N*-亚甲基双丙烯酰胺(BIS)为交联剂、过硫酸铵(APS)为引发剂,通过自由基溶液聚合及冷冻干燥法制备聚丙烯酸(PAA)水凝胶,研究PEG的加入量对PAA水凝胶的化学组成、热稳定性、微观结构及在水和不同pH缓冲液中的溶胀行为的影响,同时测试了水凝胶对土壤的保水性能。结果表明,PEG的加入并不影响PAA水凝胶的化学组成和热稳定性;PAA水凝胶中存在0.7~2 μm大孔和60~200 μm超大孔,孔径和孔隙率随着PEG加入量的增加而增大;PAA水凝胶的吸水溶胀性和pH敏感性皆随着PEG加入量的增加而增大;适量水凝胶的使用可增强土壤的保水性。

关键词:多孔材料;大孔水凝胶;聚丙烯酸;溶胀行为;pH敏感性;保水性

中图分类号: TQ 325.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)06-0014-05

Effect of Polyethylene Glycol on pH Sensitivity of Polyacrylic Acid Hydrogels

Yang Shan¹, Feng Yun¹, Gong Ming², Cai Xiuqin¹, Ma Yongmei¹, Liu Zhanqing¹

(1. College of Chemistry and Materials, Weinan Normal University, Weinan 714099, China; 2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: The polyacrylic acid (PAA) hydrogels were prepared by solution polymerization with acrylic acid (AA) as monomer, polyethylene glycol (PEG) as pore forming agent, *N,N*-methylenebis acrylamide (BIS) as cross-linking agent, and ammonium persulfate (APS) as initiator, then they were freeze-dried. The chemical composition, thermal stability, microstructure, and the swelling behavior in water and different pH buffer solutions of the PAA hydrogels with different PEG in feed ratios were studied. Furthermore, the water-retaining property of the hydrogels for soil was tested. The results show that the introduction of PEG don't affect the chemical composition and thermal stability of PAA hydrogels; whereas, the diameter and pore density of these two pores, macropores of 0.7-2 μm and ultra-large pores of 60-200 μm exist in the PAA hydrogels, increase with the addition of PEG; the water swelling abilities and pH sensitivity of PAA hydrogels improved with the addition of PEG. The addition of a definite amount of hydrogels in soil can enhance its water retention.

Keywords: porous material; macroporous hydrogel; polyacrylic acid; swelling behavior; pH sensitivity; water retention

pH 敏感性水凝胶是除了温敏水凝胶之外研究最多的一类水凝胶。pH 敏感性水凝胶是体积随环境 pH 发生变化的一类智能水凝胶,适于用在药物控释、吸附分离、智能生物传感器等方面^[1-6]。pH 敏感性水凝胶的大分子网络中通常含有易水解或质子化的酸性或碱性基团^[1],典型代表如酸性的聚丙烯酸(PAA)类水凝胶和碱性的聚甲基丙烯酸二甲胺乙酯类水凝胶^[3,7]。环境 pH 改变会引起 pH 敏感性

水凝胶上酸性或碱性基团发生不同程度的电离 H⁺ 与结合 H⁺ 的可逆过程,使网络内大分子链段间的氢键解离或形成,引起不连续的体积溶胀或收缩变化^[1,3,4]。从应用角度考虑,pH 敏感性水凝胶最好兼具不同 pH 下体积变化大和达到平衡溶胀时间短的特点,即 pH 响应既敏感又迅速,这就要求水凝胶为多孔结构且 pH 敏感基团的密度要大。与不同的单体共聚可以改变水凝胶大分子链的疏水性,从而

基金项目: 陕西省自然科学基金项目(2017JM2012),渭南师范学院科研计划项目(17YKS02)

通讯作者: 杨珊,博士,教授,主要从事功能高分子材料的研究 E-mail: yss12041981@163.com

收稿日期: 2018-03-22

引用格式: 杨珊,冯韵,宫铭,等. PEG 对聚丙烯酸水凝胶 pH 敏感性的影响[J]. 工程塑料应用,2018,46(6):14-19.

Yang Shan, Feng Yun, Gong Ming, et al. Effect of Polyethylene glycol on pH sensitivity of polyacrylic acid hydrogels[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(6):14-19.

导致水凝胶敏感的 pH 行为不同^[3,8]。多孔结构可以提高水凝胶的溶胀率和溶胀速率,可通过超声^[9]、加入无机/有机致孔剂^[10-11]、加入发泡剂^[12]、冷冻干燥等方法制备^[12-13]。通过自由基溶液聚合及冷冻干燥法制备常见的 pH 敏感性 PAA 水凝胶,研究高分子致孔剂聚乙二醇 (PEG) 的加入对该水凝胶孔结构以及在水和不同 pH 缓冲液中溶胀行为的影响,以期提高 PAA 水凝胶的 pH 敏感性。

1 实验部分

1.1 主要原材料

丙烯酸 (AA), PEG[HO(CH₂CH₂O)_nH, $n=900 \sim 1000$], *N,N*-亚甲基双丙烯酰胺 (BIS), 过硫酸铵 (APS), pH 缓冲剂 (pH=4.01, 6.86, 9.18): 分析纯, 市售;

实验用水为超纯水;

土壤: 渭南市临渭区农田, pH=5~6。

1.2 仪器及设备

集热式恒温磁力搅拌器: DF-101S 型, 郑州长城科工贸有限公司;

超纯水机: GZY-P60-V 型, 湖南克顿水务有限公司;

冷冻干燥机: Alpha1-2 LD plus 型, 德国 Christ 公司;

傅立叶变换红外光谱 (FTIR) 仪: Tensor II 型, 美国 Bruker 公司;

同步热分析仪: STA449F5 型, 德国 Netzsch 公司;

离子溅射仪: EDT-200 型, 北京意力博通科技发展有限公司;

扫描电子显微镜 (SEM): Sigma500 型, 德国 Zeiss 公司;

移液枪: 大龙实验仪器有限公司。

1.3 凝胶的制备

首先对 AA 进行减压蒸馏以纯化, 然后将预先配制的不同浓度的 PEG 溶液与单体 AA、引发剂 APS 和交联剂 BIS 按照表 1 的用量混合, 以超纯水作溶剂, 超声混匀后置于 10 mL 离心管中, 密封并于 60℃ 反应 5 h, 得到无色透明水凝胶 PAA, PAA-0.1, PAA-0.3, PAA-0.5, PAA-0.8 (PAA 后数字代表投料时 PEG 与 AA 的质量比)。将凝胶取出并切成约 1 cm 厚的圆形片, 用纯水浸泡除杂后冷冻干燥 (-50℃、8 Pa 保持 24 h), 得到白色多孔状疏松固体。

表 1 PAA 水凝胶合成的投料用量

凝胶编号	AA/g	PEG/g	BIS/g	APS/g	H ₂ O/mL
PAA	1.50	0	0.0075	0.0075	5.00
PAA-0.1	1.50	0.15	0.0075	0.0075	5.00
PAA-0.3	1.50	0.45	0.0075	0.0075	5.00
PAA-0.5	1.50	0.75	0.0075	0.0075	5.00
PAA-0.8	1.50	1.20	0.0075	0.0075	5.00

1.4 凝胶结构表征及性能测试

(1) 化学结构。

取冻干凝胶, 用衰减全反射 (ATR) 模式测试其 FTIR 光谱进行结构表征, 波数范围 4000~600 cm⁻¹, 扫描 16 次。

(2) 热稳定性。

用同步热分析仪测试冻干凝胶的热稳定性, 测试条件为: Al₂O₃ 坩埚作参比, 样品质量 5~10 mg, N₂ 气氛、流速 30 mL/min, 温度范围 20~600℃, 升温速率为 10 K/min。

(3) 表面形貌。

取少量冻干样品, 用导电胶粘在样品台上, 用离子溅射仪喷金 100 s, 在 5 kV 电压下用 SEM 观察样品形貌。

(4) 溶胀性能及 pH 响应性。

测试冻干凝胶在超纯水中及在 pH=4.00, 6.86, 9.18 的缓冲液中的吸水溶胀性。准确称取质量 m_0 为 0.1~0.2 g 的冻干凝胶, 装在质量为 m_1 的 0.125 mm 孔尼龙网袋中, 置于 1000 mL 待溶胀液体中, 于不同时间取出装有凝胶的网袋, 用滤纸吸去网袋及凝胶表面水分, 称量溶胀凝胶及网袋的总质量 m_t , 计算不同时刻水凝胶的溶胀比 SR [SR=($m_t-m_1-m_0$)/ m_0], 绘制溶胀速率曲线; 凝胶达到溶胀平衡时 SR 即为平衡溶胀比 (ESR)。

(5) 凝胶对土壤的保水性能。

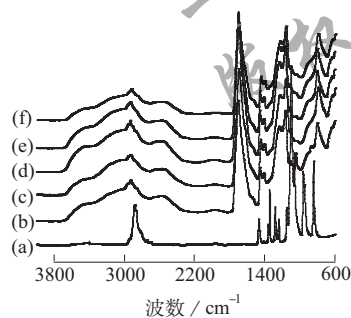
干凝胶和干土壤的总质量为 m_s , 将充分溶胀的水凝胶与土壤按照一定的比例充分混匀后, 加水使其充分润湿, 充分溶胀后的凝胶和充分润湿后的土壤的总质量为 m , 记录混合体系在室温下每隔 24 h 的质量, 计算体系的失水率 R [$R=(m_n-m_{n+1})/(m-m_s)$]。

2 结果与讨论

2.1 凝胶结构

PEG 以及 5 种不同 PEG 投料量的 PAA 凝胶的 ATR-FTIR 光谱见图 1。5 种 PAA 凝胶的 FTIR 曲线上均未见不饱和 C—H 的伸缩振动峰 (3010~3040 cm⁻¹), 这表明聚合成功且单体去除彻底。

PEG 的 FTIR 曲线^[14-15]: $3\,400\text{ cm}^{-1}$ 左右弱的包峰为链端—OH 的伸缩振动峰, $2\,876\text{ cm}^{-1}$ 处尖峰为亚甲基 C—H 的不对称伸缩振动峰, $1\,465\text{ cm}^{-1}$ 处尖峰为—CH₂—的弯曲振动峰, $1\,096\text{ cm}^{-1}$ 处的强峰为 C—O 伸缩振动峰, 960 cm^{-1} 处为 C—O 面内变形振动峰, 840 cm^{-1} 处为—CH₂—面内变形振动峰。PAA 凝胶的 FTIR 曲线^[14]: $3\,300\sim 3\,470\text{ cm}^{-1}$ 处包峰为羧基—OH 和交联剂 BIS 中氨基 N—H 的伸缩振动峰的叠加, $2\,926\text{ cm}^{-1}$ 处尖峰为饱和亚甲基 C—H 的不对称伸缩振动峰, $1\,698\text{ cm}^{-1}$ 处强峰为羧基 C=O 的伸缩振动峰, $1\,450\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,411\text{ cm}^{-1}$ 处为—OH 的面内变形振动峰, $1\,234\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,162\text{ cm}^{-1}$ 处强峰为 C—O 的不对称和对称伸缩振动峰, $1\,041\text{ cm}^{-1}$ 处小峰为 C—O 的变形振动峰。PAA-0.1, PAA-0.3, PAA-0.5 和 PAA-0.8 这 4 种凝胶的 FTIR 曲线的出峰位置及峰形皆相同, 明显不同于 PEG 的 FTIR 曲线, 而与未加 PEG 的 PAA 凝胶的 FTIR 曲线的差异仅为 $1\,041\text{ cm}^{-1}$ 处小峰的减弱, 推测是极少量的 PEG 上—OH 与 PAA 上羧基形成氢键所致^[16]。比较 FTIR 曲线可知, PEG 分子仅作为致孔剂, 并未参与 PAA 凝胶的聚合、交联, 未对 PAA 凝胶的化学组成造成影响。

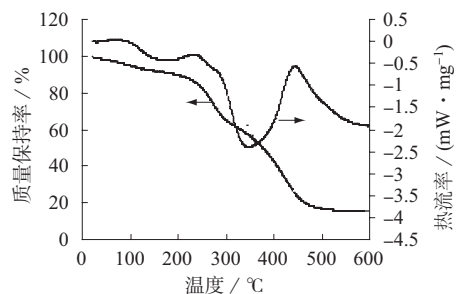


a—PEG; b—PAA; c—PAA-0.1; d—PAA-0.3;
e—PAA-0.5; f—PAA-0.8

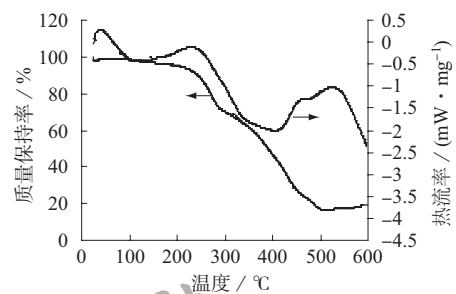
图1 PEG 和 PAA 水凝胶的 ATR-FTIR 图

2.2 热稳定性

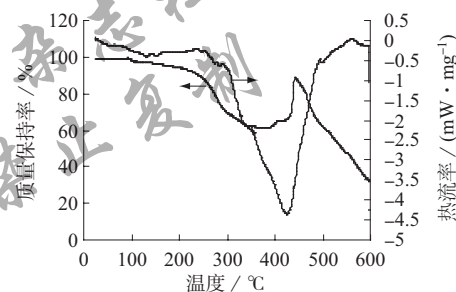
图 2 为 5 种不同 PEG 投料量的 PAA 水凝胶的 DSC & TG 曲线。由图 2 可知, 5 种凝胶的 TG 曲线形状基本相同, 都存在两段明显失重, 对应 DSC 曲线上两个吸热峰, 这表明凝胶发生了分解。从 TG 曲线上看, 5 种凝胶的初始分解温度为 $171\sim 175^{\circ}\text{C}$, 此前的 3%~9% 质量损失归于凝胶失去吸附水。5 种凝胶的分解对应 TG 曲线上两段明显的失重, 包括链裂解、取代基分解以及炭化过程, 在 500°C 时残炭率约 14%~18%。由此可见, PEG 加入量的改变



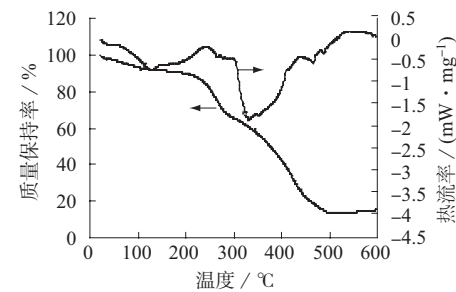
(a)



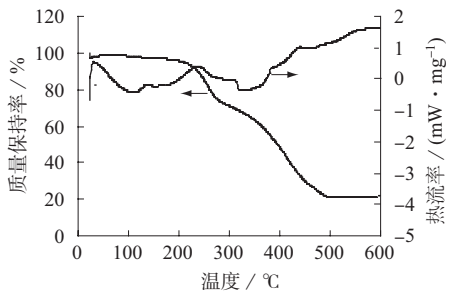
(b)



(c)



(d)



(e)

a—PAA; b—PAA-0.1; c—PAA-0.3; d—PAA-0.5; e—PAA-0.8

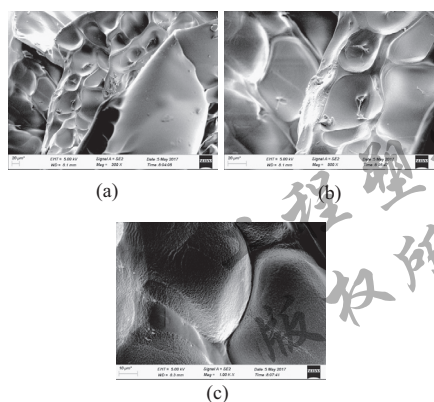
图2 PAA 水凝胶的 DSC & TG 曲线

对 PAA 凝胶的热稳定性基本无影响, 这也表明 PEG 在 PAA 凝胶的合成中仅为致孔剂且被去除干净; 而

PAA 凝胶的分解温度较高,这表明其在室温至分解前处于高弹态,在一定范围内链段运动相对自由。

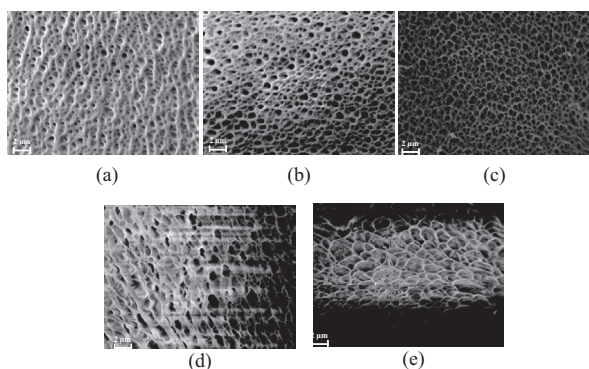
2.3 表面形貌

不同 PEG 投料比的 PAA 水凝胶冻干后的 SEM 照片如图 3 和图 4 所示。由图 3、图 4 可见,所有水凝胶均由相互贯通的孔状结构组成,为多孔网络状结构;水凝胶有两级孔,一种约 60~200 μm 的超大孔^[12](见图 3a~图 3b),另一种约 0.7~2 μm 的大孔(见图 4a~图 4e),大孔布满了超大孔的孔壁(见图 3c)。对比图 4a~图 4e 可发现,孔壁随着 PEG 的投入量的增大而变薄,孔的直径也明显增大,即 PAA 凝胶中孔径和孔隙率随致孔剂 PEG 投入量的增加而增大。然而,不同 PEG 投料量时,超大孔的孔径却没有显著变化。结合水凝胶的制备过程可知, PAA 水凝胶的多孔结构是大分子致孔剂 PEG 的加入和冻干过程中水分升华共同造成的^[13,17]。



a—放大 200 倍; b—放大 500 倍; c—放大 1000 倍

图 3 冻干 PAA 水凝胶在不同放大倍数下的典型 SEM 照片



a—PAA; b—PAA-0.1; c—PAA-0.3; d—PAA-0.5; e—PAA-0.8

图 4 冻干 PAA 水凝胶的 SEM 照片 (放大 5000)

按致孔剂 PEG 分子的尺寸可大概估计其在凝胶中致孔的直径。PEG 溶于水,在溶液中分子链可能伸展成平面锯齿状,也可能无规卷曲成线团状,其尺寸由“根均方末端距($\sqrt{h^2}$)”^[18]来估算: C—C 键长 0.154 nm, C—O 键长 0.143 nm, 平均键长

$l=(0.154 \text{ nm} \times 1+0.143 \text{ nm} \times 2) / 3=0.147 \text{ nm}$, 所用 PEG 的总键数 $n=3 \times 900 \sim 3 \times 1000$, 若 PEG 碳链完全伸直成平面锯齿形,则长链在主链方向的投影 $\sqrt{h_{\max}^2} = \sqrt{2n^2 l^2 / 3} = 324 \sim 360 \text{ nm}$; 若 PEG 为自由连接链,则 $\sqrt{h_{f,j}^2} = \sqrt{nl^2} = 7.6 \sim 8 \text{ nm}$ 。由此可见,

PEG 的加入在 PAA 凝胶中可能形成介孔到大孔,这与 SEM 图并不吻合。推测原因如下: 首先,由于在实际的反应溶液中 PEG 分子链的内旋转受阻,自由连接链并不存在^[18],故其分子的尺寸远大于 7.6~8 nm; 再者,在凝胶的合成过程中(酸性条件)存在多个 PEG 分子与 PAA 凝胶网络以氢键复合,凝胶在水中溶胀时(中性)氢键离解致 PEG 溶于水从交联网络中清除而留下大孔^[16]; 另外, PAA 凝胶网络上大量的—COOH 可与水分子形成氢键,冻干过程中水分子升华而留下大孔。

2.4 吸水溶胀性能

不同 PEG 投料量的 PAA 冻干凝胶在超纯水中的溶胀动力学曲线如图 5 所示。由图 5 可知,5 种水凝胶 PAA, PAA/PEG-0.1, PAA/PEG-0.3, PAA/PEG-0.5 和 PAA/PEG-0.8 达到溶胀平衡的时间为 44 h, ESR 依次为 29, 40, 51, 71, 93 g/g; 快速溶胀发生皆在前 3.5 h, 且 PEG 投料量越大, 溶胀越迅速。该研究结果与张建涛等的报道一致^[11]。结合 SEM 图可知, PEG 投料量越大, PAA 冻干凝胶的孔径越大、孔隙率越大, 越利于水分子快速、更多地进入凝胶网络, 故而溶胀速率和平衡溶胀比同时增大。由此可见, PEG 的加入提高了 PAA 水凝胶的吸水溶胀性能。

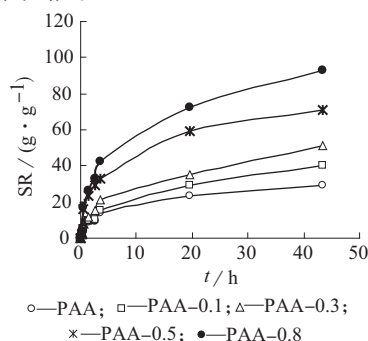


图 5 PAA 水凝胶在纯水中的溶胀曲线

2.5 pH 响应性

不同 PEG 投料量的 PAA 冻干凝胶在不同 pH 缓冲液中的溶胀动力学曲线如图 6 所示。PAA 水凝胶在不同 pH 缓冲液中的 ESR 数据列于表 2。由此可见, 这 5 种水凝胶均具有良好的 pH 响应性,

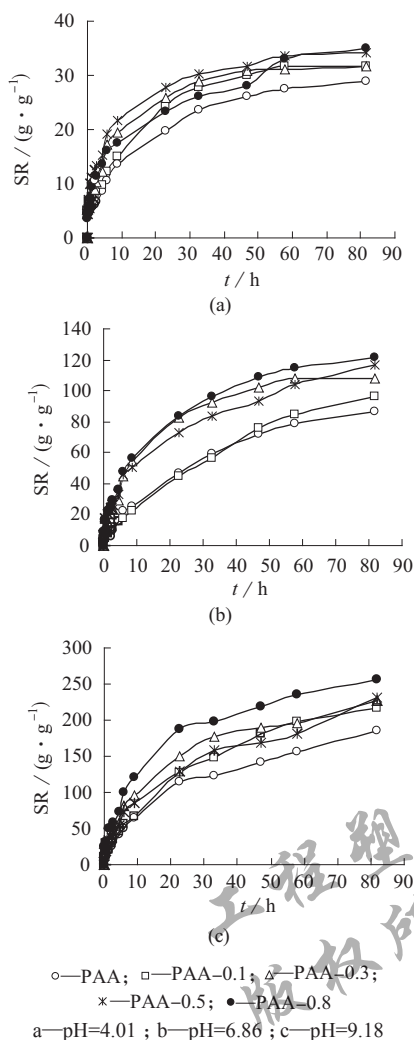


图6 PAA水凝胶在不同pH缓冲液中的溶胀曲线

表2 PAA水凝胶在不同pH缓冲液中的ESR g/g

凝胶编号	pH值		
	4.01	6.86	9.18
PAA	29	86	185
PAA-0.1	32	96	216
PAA-0.3	32	108	228
PAA-0.5	34	116	231
PAA-0.8	35	122	256

ESR均随着溶液pH的增加而增大;在同一pH缓冲液中,凝胶的ESR随着PEG投料量的增加而增大,且这种差异在酸性条件下很小,在碱性条件下差异尤为显著。水凝胶的pH敏感性与其亲水侧基—COOH在不同pH下的解离程度有关^[10,16],而PEG的致孔作用则因增大了水凝胶中链段的运动空间而大大增加了其pH敏感性。与本课题组之前报道的活性炭(AC)致孔提高PAA水凝胶pH敏感性的效果相比^[10],PEG致孔以提高PAA水凝胶pH敏感性的效果更佳,且凝胶制备更容易、致孔剂去除更彻底,更重要的是,致孔的孔径和数目不仅可以通过

PEG的用量调节,还可通过添加不同分子量的PEG来调控^[11]。然而,该PAA水凝胶的pH响应速率不如PAA/AC水凝胶快。

2.6 凝胶对土壤的保水性能

取pH响应性最好的PAA-0.8水凝胶做土壤保水性测试。当干凝胶与土壤以质量比1:15~1:12混合时,14d的累计失水率为95%,而纯土壤7d的累计失水率即可达100%,由此可见,该水凝胶可显著增强土壤的保水性。

3 结论

研究PEG加入量的改变对PAA水凝胶pH敏感性的影响。通过测试PAA水凝胶的化学组成、热稳定性、微观结构以及在水和不同pH缓冲液中的溶胀行为可知,致孔剂PEG的加入并不影响PAA水凝胶的化学组成和热稳定性,通过增加PEG的加入量可以增大水凝胶中大孔的孔径和孔隙率,这有利于提高PAA水凝胶的吸水溶胀性和pH敏感性。少量PAA水凝胶的加入即可显著增强土壤的保水性。

参考文献

- [1] 罗祥林. 功能高分子材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
Luo Xianglin. Functional polymer materials[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [2] 刘守信, 房喻, 柳明珠, 等. 具有伸展构象的温度和pH双重敏感的P(DEAM-co-MAA)水凝胶的合成与性质研究[J]. 化学学报, 2006, 64(15): 1575-1580.
Liu Shouxin, Fang Yu, Liu Mingzhu, et al. Synthesis and characterization of temperature- and pH-sensitive poly(N, N-diethylacrylamide-co-methacrylic acid) hydrogels with expanded conformations[J]. Acta Chimica Sinica, 2006, 64(15): 1575-1580.
- [3] Qiu Y, Park K. Environment-sensitive hydrogels for drug delivery[J]. Advanced Drug Delivery Reviews, 2001, 53(3): 321-329.
- [4] Nagam S P, Jyothi A N, Poojitha J, et al. A comprehensive review on hydrogels[J]. International Journal of Current Pharmaceutical Research, 2016, 8(1): 19-23.
- [5] 王欣宇, 朱秀芳, 韩颖超, 等. 温度敏感高分子水凝胶的合成及性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2007, 26(4): 673-679.
Wang Xinyu, Zhu Xiufang, Han Yingchao, et al. Research on synthesis and properties of thermo-sensitive hydrogel[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2007, 26(4): 673-679.
- [6] 崔玉琴, 赵莺歌, 田瑞琼, 等. 羧甲基壳聚糖接枝聚丙烯酸水凝胶的制备及体内外评价[J]. 河北科技大学学报, 2015, 36(5): 504-510.
Cui Yuqin, Zhao Yingge, Tian Ruiqiong, et al. Preparation of

- carboxymethyl chitosan grafted polyacrylic acid hydrogel and its evaluation in vitro and in vivo[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2015, 36(5):504-510.
- [7] Falamarzian M, Varshosaz J. The effect of structural changes on swelling kinetics of polybasic / hydrophobic pH-sensitive hydrogels[J]. Drug Development and Industrial Pharmacy, 1998, 24(7):667-669.
- [8] 陈松伟,江永波,孙建中,等. 聚甲基丙烯酸 / 丙烯酰胺 pH 敏感凝胶的合成与溶胀行为研究 [J]. 高校化学工程学报, 2009, 23(4):644-669.
- Chen Songwei, Jiang Yongbo, Sun Jianzhong, et al. Synthesis of novel pH-sensitive poly(methacrylic acid-co-acrylamide) hydrogels and their swelling behavior[J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2009, 23(4):644-669.
- [9] 刘炜涛,刘学文,朱沈,等. pH 敏感水凝胶聚甲基丙烯酸的超声合成 [J]. 化学学报, 2013, 70(3):273-276.
- Liu Weitao, Liu Xuewen, Zhu Shen, et al. Ultrasonic synthesis of pH-sensitive PMAA hydrogel[J]. Acta Chimica Sinica, 2013, 70(3):273-276.
- [10] 杨珊,侯玉龙. 活性炭对聚丙烯酸水凝胶 pH 敏感性的影响 [J]. 合成树脂及塑料, 2017, 34(4):29-32.
- Yang Shan, Hou Yulong. Effect of AC on pH sensitivity of PAA hydrogels[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2017, 34(4):29-32.
- [11] 张建涛,黄世文,薛亚楠,等. PEG 作为成孔剂对聚(N-异丙基丙烯酸-co- 丙烯酸) 水凝胶性能的影响 [J]. 高分子学报, 2006(3):418-423.
- Zhang Jiantao, Huang Shiwen, Xue Yanan, et al. Effect of PEG as pore-forming agents on the properties of porous poly(N-isopropylacrylamide-co-acrylic acid) hydrogels[J]. Acta Polymerica Sinica, 2006(3):418-423.
- [12] 柯爱茹,林松柏,欧阳娜,等. 超大多孔水凝胶的制备及吸附性能研究 [J]. 工程塑料应用, 2008, 36(10):61-65.
- Ke Airu, Lin Songbai, Ouyang Na, et al. Preparation of superporous hydrogels and study on adsorptive capability[J]. Engineering Plastics Application, 2008, 36(10):61-65.
- [13] 杨珊,尹艳丽. pH 敏感 P(MAA-co-AM) 水凝胶的制备及溶胀行为研究 [J]. 化工新型材料, 2017, 45(1):212-215.
- Yang Shan, Yin Yanli. Preparation and swelling behavior of pH sensitive P(MAA-co-AM) hydrogel[J]. New Chemical Materials, 2017, 45(1):212-215.
- [14] 武汉大学. 分析化学:下册 [M]. 5 版. 北京:高等教育出版社, 2014.
- Wuhan University. Analytical chemistry: Volume II[M]. 5th Ed. Beijing: Higher Education Press, 2014.
- [15] 韩旭,李疏芬,赵凤起,等. 富勒烯灰对聚乙二醇热分解和红外光谱的影响 [J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(12):2789-2792.
- Han Xu, Li Shufen, Zhao Fengqi, et al. Effects of fullerene soot on the thermal decomposition and Fourier transform infrared spectrum of PEG[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(12):2789-2792.
- [16] 刘平,黄展淑,谢志明,等. 聚丙烯酸与聚乙二醇在浓溶液中的复合作用 [J]. 高分子材料科学与工程, 1995, 11(5):79-82.
- Liu Ping, Huang Zhanshu, Xie Zhiming, et al. Complexation of poly(acrylic acid) and polyethylene glycol in concentrated solution [J]. Polymeric Materials Science and Engineering, 1995, 11(5):79-82.
- [17] 吴雯,王东升,王利群. 快速 pH 响应丝胶 / 聚甲基丙烯酸互穿网络水凝胶的合成及表征 [J]. 高等学校化学学报, 2009, 30(4):830-834.
- Wu Wen, Wang Dongsheng, Wang Liqun. Synthesis and characterization of fast pH-responsive silk sericin / poly(methacrylic acid) interpenetrating polymer network hydrogel[J]. Chemical Journal of Chinese Universities, 2009, 30(4):830-834.
- [18] 金日光,华幼卿. 高分子物理 [M]. 3 版. 北京:化学工业出版社, 2006.
- Jin Riguan, Hua Youqing. Polymer physics[M]. 3rd Ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.

SABIC 推出超高熔体强度 PP 进一步壮大发泡材料产品线

沙特基础工业公司 (SABIC) 近期推出新款 SABIC®PP-UMS 树脂(UMS 指超高熔体强度),开启了下一代熔体强度聚丙烯 (PP) 的新纪元。凭借与产业链上下游的紧密合作, SABIC 在发泡技术领域积累了丰富经验,开发出多样化、全球性的发泡解决方案,适用于所有工业应用领域,此举进一步丰富了 SABIC 的发泡产品线。

SABIC 的这款新型树脂具有超过 65 cN 的熔体强度和出色的发泡能力。它可作为构建模块用于各工业领域发泡解决方案的开发,打造前所未有的轻量材料。

SABIC 全球发泡与轻量材料业务负责人表示,展望材

料轻量化的未来,认为发泡将是一项关键技术,有潜力打破技术界限,为开发更轻型的材料助一臂之力。正因为如此,他们的全球团队正在加紧开发下一代泡沫树脂解决方案。这些解决方案可应用于众多加工技术,从而更好地满足整个产业链的需求。

新型 SABIC®PP-UMS 材料有助于加快汽车、包装和建筑领域的轻量化发展。SABIC 公司致力于研发面向整个产业链的发泡技术, SABIC 公司还拥有业内最完整的发泡产品组合。新型 SABIC®PP-UMS 材料已在位于荷兰的 SABIC 发泡材料创新中心进行了评估和优化。这一发泡材料创新中心配备了大部分发泡的专业技术和分析设备。

(环球聚氨酯网)