

γ -聚谷氨酸水凝胶研究与应用进展

王静心¹ 李政^{1*} 张健飞^{1*} 韦正¹ 乔长晟²

(1. 天津工业大学 纺织学部 清洁染整实验室 天津 300387)

(2. 天津科技大学 教育部工业微生物重点实验室 天津 300457)

摘要: 主要介绍了一种集吸水性能、保水性能、环境友好性于一身的高分子材料 γ -聚谷氨酸水凝胶的研究现状及发展前景, 分别从 γ -聚谷氨酸水凝胶、 γ -聚谷氨酸与其他物质复合水凝胶的合成以及 γ -聚谷氨酸类水凝胶的应用三方面进行了综述。

关键词: γ -聚谷氨酸, 水凝胶, 应用

The research and application progress of γ -PGA hydrogel

WANG Jing-Xin¹ LI Zheng^{1*} ZHANG Jian-Fei^{1*} WEI Zheng¹ QIAO Chang-Sheng²

(1. Key Laboratory of Advanced Textile Composites, School of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

(2. Key Laboratory of Industrial Microbiology, Ministry of Education, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: γ -PGA hydrogel, a kind of polymer materials with properties of water absorption, water retention and environmental friendly, was introduced. This paper mainly reviewed the synthesis of γ -PGA hydrogel, γ -PGA composite hydrogel and their applications in agriculture and industry.

Keywords: γ -PGA, Hydrogel, Application

γ -聚谷氨酸(γ -PGA)是一种由 D-谷氨酸或 L-谷氨酸通过 α -氨基和 γ -羧基形成 γ -酰胺键结合而成的阴离子聚合物, 可通过化学合成法、提取法和微生物发酵法获得。由于微生物发酵法生产的 γ -PGA 具有分子量高、产物纯净、易于工业化生产等优点, 所以目前大多数的 γ -PGA 产品是利用微生物发酵技术, 从芽孢杆菌中提取、分离得到的^[1]。 γ -PGA 具有生物相容性好、水溶性好、可降解、可食用、无毒、保湿等特点, 大

分子链段上大量的羧基作用使其可以经乙二醇二缩水甘油醚交联获得 γ -PGA 高吸水的水凝胶产品, 如图 1 所示^[2]。研究发现, γ -PGA 水凝胶具有良好的吸水性能和保水性能, 其应用范围非常广泛。本文对于目前关于 γ -PGA 水凝胶材料的种类、性质、应用以及未来新型智能材料等的研究前景等进行了分析。

1 γ -聚谷氨酸水凝胶

由于 γ -PGA 侧链上大量羧基负电荷的排斥作

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 31200719, 21006072); 应用化学与生态染整工程浙江省重中之重学科开放基金项目(No. YR2012014); 天津市高等学校国家级大学生创新创业训练计划项目(No. 201210058036); 天津市应用基础及前沿技术研究计划(No. 11JCYBJC04400); 天津市应用基础及前沿技术研究计划(No. 14JCQNJC14200)

***通讯作者:** 李政: lizheng_hx@163.com; 张健飞: zhangjianfei1960@126.com

收稿日期: 2013-10-28; **接受日期:** 2014-01-14; **优先数字出版日期**(www.cnki.net): 2014-01-16

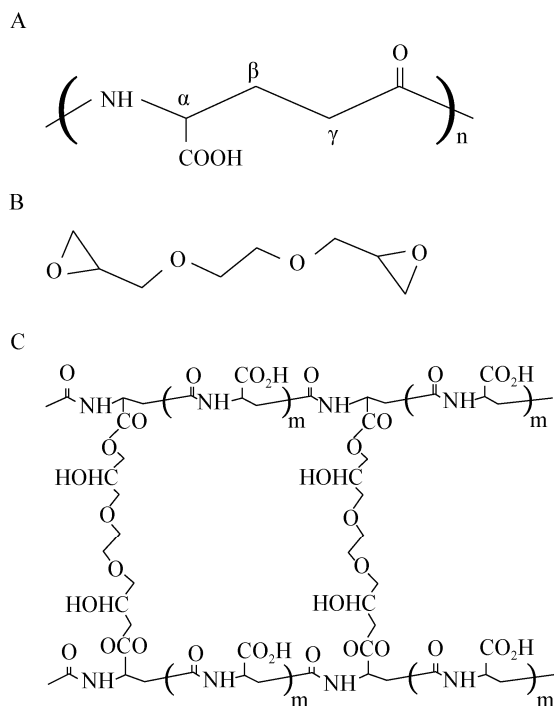


图1 γ -PGA (A)、乙二醇二缩水甘油醚(B)和 γ -PGA水凝胶的结构式(C)^[1]

Figure 1 Chemical formula of γ -PGA (A), Glycol diglycidyl ether (B), and γ -PGA hydrogel (C)^[1]

用,使 γ -PGA分子链的空间伸展很大,即使在较低的浓度下,分子间也具有强烈的相互作用。因此, γ -PGA常被认为是制备高吸水凝胶或高吸水树脂(即水凝胶经脱水处理后的干凝胶,吸水后仍为水凝胶)的一种理想材料。目前关于 γ -PGA的交联方法主要有辐射法和化学交联法两种。

1.1 辐射交联法

1995年,日本科学家^[3]首次采用 γ -射线照射的方法制备了 γ -PGA水凝胶,实验证明经 γ -射线照射制备得到的 γ -PGA水凝胶的吸水性能受溶液的pH以及电解质浓度的影响,并且水凝胶表现出了良好的热性能。这也是较早研究发现的可以获得 γ -PGA水凝胶的一种方法。此后各国的科学家相继采用此种方法制备得到了 γ -PGA水凝胶,并对水凝胶的特殊性能做了更细致的研究。其中,Choi S. H.等^[4]利用这种方法制备得到的 γ -PGA高吸水树脂在水溶液中最大吸水倍率可达1370倍,表现出一

定的温敏性能。而宋存江等^[5]利用 ^{60}Co -辐射交联制备得到的 γ -PGA高吸水树脂的吸水倍率更是高达1400倍,兼具一定的耐温保水性能和较强的耐压保水性能。

针对 γ -射线照射的方法制备 γ -PGA水凝胶的方法已被大家熟知。通过辐射交联得到的水凝胶具有安全环保,不引入其他产物等优点。但是辐射法对辐射条件要求苛刻,在 γ -PGA较低浓度水平下辐照产生的聚合物自由基的浓度偏低,高分子自由基被 $-\text{OH}$ 自由基和水分子去活化的几率大,使得 γ -PGA的交联得率较低,甚至是不交联^[6]。

1.2 化学交联法

Fan K.等^[7]利用二卤烷烃化合物作为交联剂,制备得到了 γ -PGA水凝胶,并通过实验证明 γ -PGA水凝胶是一种潜在的生物活性材料,可作为肽和蛋白质等大分子的药物缓释系统。南京工业大学的张新民等^[8]在pH 5左右,以 γ -PGA为原料,乙二醇二缩水甘油醚为交联剂,制备 γ -PGA高吸水树脂,其最高吸水倍率可达1600 g/g,吸水性能优于物理交联得到的 γ -PGA高吸水树脂。2011年,中国Yang X. L.^[2]同样利用乙二醇缩水甘油醚为交联剂,通过改进实验方法,利用装有搅拌器和回流冷凝器的烧瓶放置在恒定温度水浴中维持反应进行,得到了具有高光透射率的 γ -PGA水凝胶产物。除此之外, γ -PGA还可以在二甘醇缩水甘油醚^[9]、甲基丙烯酸羟乙酯^[10]等交联剂的作用下交联得到水凝胶产品。这些交联剂制备水凝胶的方法基本相同,制得的 γ -PGA水凝胶树脂的吸水倍率均可达到1000倍以上,同时具有较好的吸水性能、保水性能以及生物安全性。

所以,利用化学交联的方法制备的 γ -PGA水凝胶相较于 γ -辐射制备的水凝胶在吸水性能、凝胶强度方面有明显的提高,交联更完全,水凝胶的应用范围更广泛。目前工业和实验室获得 γ -PGA水凝胶或其高吸水树脂主要依赖于化学交联法。

2 γ -聚谷氨酸复合水凝胶

随着对 γ -PGA水凝胶研究的不断深入,发现

其在强度、弹性、韧性、抗菌等性能上还存在着一定的缺陷。早期研究发现, 线性单分子聚合的 γ -PGA 由于活性位点单一和结合位点较少, 导致药物结合率偏低^[11]。Lee Y. H.等^[12]证明, 单纯的 γ -PGA 交联获得的水凝胶强度偏低, 十分易碎。Hsieh C. Y.等^[13]对 γ -PGA 水凝胶的抗菌性能的测试表明在不引入壳聚糖前, 水凝胶对大肠杆菌起不到抑制作用。

综上所述说明, 无论是 γ -PGA 还是 γ -PGA 水凝胶产品都存在着一些弊端, 仍有值得改进的地方。为了弥补 γ -PGA 产品的这些缺陷, 科学家做了很多尝试和努力。其中, γ -PGA 水凝胶中引入其他具有特殊性能的物质, 采用复合、杂化等方法可以获得高性能的 γ -PGA 复合水凝胶产品。其原理就是在 γ -PGA 分子链段中引入其他高聚物分子链段, 比如生物相容性良好的普鲁兰多糖、具有抗菌性能的壳聚糖、能够依靠静电作用吸附染料的锂藻土等, 用来增加链段上的反应基团, 增强分子聚合程度, 从而赋予水凝胶吸附染料、保水、抗菌等功能性。

2.1 γ -聚谷氨酸/聚赖氨酸复合凝胶

1996 年, Kunioka M.等^[14]通过 γ -射线照射 γ -PGA 和聚 ϵ -赖氨酸混合溶液制备得到 γ -聚谷氨酸/聚赖氨酸复合水凝胶, 这是较早获得的能够使 γ -PGA 与其他物质复合交联的方法, 实验还进一步证明了该复合水凝胶具有很好的酶降解性能。之后, 各国学者分别利用不同的方法得到了 γ -聚谷氨酸/聚赖氨酸复合水凝胶。其中, 日本学者利用 γ -PGA 与聚 L-赖氨酸混合制备了生物基的可生物降解的复合水凝胶^[15], 并对制备条件、吸水性能、水解性能、降解性能进行了详细的研究, 通过研究证实该复合水凝胶具有 pH 敏感性和生物可降解性。

这种将两种生物基材料混合在一起制备水凝胶具有很好的生物安全性和生物可降解性能, 以及特殊的 pH 敏感性, 为其进一步应用提供了新的可

能性。

2.2 γ -聚谷氨酸/多糖类复合凝胶

γ -PGA 可以与葡萄糖、麦芽糖、环糊精等不同的糖类聚合形成生物基水凝胶^[16]。很多研究都表明 γ -PGA 与壳聚糖可以很好的聚合, 获得一种复合的电解质水凝胶, 这种水凝胶具有优良的抗菌性能, 且水凝胶的强力可以得到明显的改善^[12-13, 17]。在此基础上, 天津工业大学的严建军等^[18]利用乙二醇二缩水甘油醚作交联剂, 将 γ -PGA 与普鲁兰多糖进行复合, 得到了一种耐盐性良好的水凝胶产品。实验证明, 这种新型的水凝胶不但在含 Na^+ 的溶液中有很好的吸水性能, 且机械强度高、韧性好。

所以, 将 γ -PGA 与各种多糖类物质复合也是 γ -PGA 水凝胶产品研究的新方向。

2.3 γ -聚谷氨酸/其他化合物复合凝胶

利用 γ -PGA 和聚丙烯酰胺可以合成一种具有 pH 和温度双敏感的 γ -PGA/聚丙烯酰胺半互穿网络复合水凝胶^[19]。同样具有 pH 敏感性的水凝胶产品还有 γ -PGA/苯乙烯复合水凝胶, 这种复合水凝胶是将 γ -PGA 和苯乙烯混合, 以氢氧化铝为交联剂, 偶氮二异丁腈为引发剂得到的, 其吸水倍率最高可达到 400–500 倍^[20]。中国台湾 Lin W. C.等^[21]和韩国学者^[22]分别通过单纯的机械搅拌和冷冻干燥热交联的方法, 利用自由基聚合原理获得 γ -PGA/聚乙烯醇复合水凝胶。这两种方法都未经任何化学处理, 方法简单易实现, 且兼具了安全环保的特点, 获得的水凝胶产品具有良好的吸水性能、生物相容性、药物缓释等性能。在 γ -PGA 水凝胶中引入 FeCl_2 可以得到 γ -PGA/ FeCl_2 复合凝胶, 具有较高的热稳定性, 复合的两种物质在水中通过溶胀作用可以产生一定的静电, 从而获得特殊的吸附性能^[23]。另外, γ -PGA 还可以与海藻酸钠复合获得 γ -PGA/海藻酸钠复合水凝胶, 这种复合产物具有良好的吸水性能以及生物相容性能^[24]。

由此可见, 由于 γ -PGA 的特殊结构, 使其能

够与多种有机大分子、无机纳米粒子共混复合,从而提高其性能。

3 γ -聚谷氨酸类水凝胶的应用

γ -PGA 是通过微生物发酵合成的胞外粘性物质,可生物降解,对人体无毒可食用,被广泛应用于食品、化妆品、医药等领域。利用 γ -PGA 及其他物质制备得到的 γ -PGA 类复合水凝胶具有很多独特的性能,因此应用范围十分广泛。

3.1 γ -聚谷氨酸类水凝胶在农业上的应用

2003、2004 年,张新民^[25]和王传海等^[26]相继对 γ -PGA 水凝胶在农业领域中的应用进行了研究。结果表明,以乙二醇缩水甘油醚为交联剂制备的 γ -PGA 高吸水树脂(即水凝胶脱水处理后得到的干凝胶)的最大自然吸水倍率可达到 1 000 倍以上,对土壤中水分的吸附倍率为 30–80 倍,同时具有较强的保水性能和较理想的释放效果。2012 年,徐速等^[27]利用 γ -PGA 水凝胶的保水性能,对其在包括菠菜、生菜在内的蔬菜保鲜上的应用进行了研究。孙刚忠^[28]、疏秀林等^[29]分别对 γ -PGA 水凝胶在小白菜和荔枝上的保鲜作用进行了研究。以上研究均表明,利用 γ -PGA 水凝胶对蔬菜和水果表面涂膜作用,可在常温下相对延长保鲜时间。

由此可见,目前针对 γ -PGA 水凝胶产品在农业上的应用已有一些尝试。但是,由于市场上销售的 γ -PGA 的价格普遍较高,从而导致 γ -PGA 水凝胶的成本价格较高,无法大规模生产,限制了其广泛的应用。随着发酵技术的提高、优质菌株的筛选、发酵工艺条件的进一步优化, γ -PGA 的生产会更加的高产高效, γ -PGA 价格会逐渐下降, γ -PGA 水凝胶的成本也会逐渐降低。因此, γ -PGA 水凝胶在农业上的应用依然具有巨大的潜力。

3.2 γ -聚谷氨酸类水凝胶在环保上的应用

在实际印染工业的生产中,染色过程排出的废水不但影响美观还可能会对环境造成破坏。例如,Inbaraja B. S.等^[30]研究发现,在染色过程中,每年都有大约 2%的染料是被直接排放到废水中的,这

些废水通过对光的吸附作用结合海藻的光合作用将会对水生生物产生致命的影响。利用 γ -PGA 侧链的阴离子羧基可结合带正电性的阳离子染料原理,将 γ -PGA 水凝胶对 BB9 蓝、BG4 绿两种染料进行吸附动力学进行研究发现,当环境 pH>5 时, γ -PGA 水凝胶利用其在水中的电离作用、三维网络结构的张网作用对染料进行吸附,最高可吸附 98%以上的废弃染料,且可回收重复利用。另外,由聚合氯化铝作为交联剂得到的 γ -PGA 水凝胶产品,在 γ -PGA 和聚合氯化铝之间可以产生一定静电作用,对污水中的带电粒子产生吸附作用,可以专门用于清理被金属离子污染的水资源,达到净化水资源的目的^[31]。

由此可见, γ -PGA 类的水凝胶产品在环保上具有很大的应用潜力。

3.3 γ -聚谷氨酸类水凝胶在医学方面的应用

γ -PGA 水凝胶制备的创伤敷料产品由于其良好的载药性、药物释放性、生物相容性、亲水性以及可降解性能,使得其在烧伤、创伤、溃疡等创面中发挥着重要的作用。在 γ -PGA 水凝胶中负载多功能的庆大霉素,能有效的抑制靶微生物,提升皮肤细胞中胶原蛋白的形成能力,促进细胞的生长,从而加快伤口愈合,是一种理想的伤口敷料的凝胶膜^[32]。 γ -PGA/壳聚糖聚合电解质复合水凝胶对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌都表现出良好的抗菌活性,也可作为一种新材料在生物医学领域应用^[15,19]。

另外,利用 γ -PGA 优良的成丝性能,将 γ -PGA 改性成为不溶于水的 γ -PGA-Na 后,可用其纺丝^[33]。以含恶唑啉的聚合物(OXA)作为交联剂,利用溶液法静电纺丝可得到 γ -PGA/OXA 纳米纤维网,研究证明纤维网经明矾处理可在一定程度上提高其机械性能和抗菌性能^[34]。如果在静电纺丝的过程中加入具有生物相容性的还原剂 L-半胱氨酸,可使 γ -PGA 通过二硫键交联,产生直径为 0.05–0.50 mm 的,新型的具有生物相容性和可降解性能的 γ -PGA-SS 无纺纤维支架,是人体组织的优秀替代品,可逐步应用于生物医学或组织工程领域^[35-36]。

所以,无论是用于创伤敷料还是用于组织工程中的生物支架, γ -PGA 产品作为一种高附加价值的产品,其研究和应用的前景都非常广阔。

4 小结

作为新型环境友好型聚合物, γ -PGA 水凝胶的发展前景和开发潜力被各国学者普遍看好。目前亟需解决的问题主要集中在以下两个方面:首先,应该考虑如何提高 γ -PGA 的发酵技术从而实现降低生产成本、控制 γ -PGA 结构比例和 γ -PGA 分子量的目的;其次,应该重视 γ -PGA 类复合水凝胶的研究,引入新的水凝胶制备方法,借鉴杂化、互穿网络等技术制备复合型高强度 γ -PGA 类水凝胶,从而满足现代化工业的快速发展对 γ -PGA 水凝胶材料性能要求的不断提高。围绕这两个方面,针对 γ -PGA 和 γ -PGA 水凝胶的性能的改善、新的种类的研发还需大量艰苦的工作去做。

参考文献

- [1] 曹名锋,金映虹,解慧,等. γ -聚谷氨酸的微生物合成、相关基因及应用展望[J]. 微生物学通报, 2011, 38(3): 388-395.
- [2] Yang XL. Preparation and characterization of γ -poly(glutamic acid) copolymer with glycol diglycidyl ether[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011(8): 11-15.
- [3] Chop HJ, Kunioka M. Preparation conditions and swelling equilibria of hydrogel prepared by γ -irradiation from microbial poly(γ -glutamic acid)[J]. Radiation Physics and Chemistry, 1995, 46(2): 175-179.
- [4] Choi SH, Whang KS. Preparation and swelling characteristics of hydrogel from microbial poly(γ -glutamic acid) by γ -Irradiation[J]. Macromolecular Research, 2005, 13(4): 339-343.
- [5] 宋存江. γ -聚谷氨酸水凝胶的制备及其用于创伤敷料的探索[C]. 2011年全国高分子学术报告会, 2011, 9: 13-14.
- [6] 哈鸿飞,吴季兰. 高分子辐射化学-原理与应用[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002: 91-93.
- [7] Fan K, Gonzales D, Sevoian M. Hydrolytic and enzymatic degradation of poly(γ -glutamic acid) hydrogels and their application in slow-release systems for proteins[J]. Journal of Environmental Polymer Degradation, 1996, 4(4): 1996-1998.
- [8] 张新民,游庆红,徐虹,等. 生物可降解型聚谷氨酸高吸水树脂的制备[J]. 高分子材料科学与工程, 2003, 19(2): 203-205.
- [9] 李贺敏,朱红军. 聚谷氨酸高吸水树脂的合成工艺研究[J]. 研究与开发, 2006(28): 12-14.
- [10] 王敬,高陪,沈竞,等. γ -多聚谷氨酸水凝胶制备及生物安全性评价[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2008, 12(1): 56-60.
- [11] Kataoka K, Sakurai Y, Tsurutani T. Microphase separated polymer surfaces for separation of B and T lymphocytes[J]. Makromolekulare Chemie, 1985, 9: 53-62.
- [12] Lee YH, Chang JJ, Lai WF. Layered hydrogel of poly(γ -glutamic acid), sodium alginate, and chitosan: fluorescence observation of structure and cytocompatibility[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2011, 86(2): 409-413.
- [13] Hsieh CY, Tsai SP, Wang DM. Preparation of γ -PGA/chitosan composite tissue engineering matrices[J]. Biomaterials, 2005, 26(28): 5617-5623.
- [14] Kunioka M, Chop HJ. Preparation conditions and swelling equilibria of biodegradable hydrogels prepared from microbial poly(γ -glutamic acid) and poly(ϵ -lysine)[J]. Journal of Environmental polymer Degradation, 1996, 4(2): 123-129.
- [15] Murakami S, Aoki N, Matsumura S. Bio-based biodegradable hydrogels prepared by crosslinking of microbial poly(γ -glutamic acid) with L-lysine in aqueous solution[J]. Polymer Journal, 2011, 43: 809-812.
- [16] Murakami S, Aoki N. Bio-based hydrogels prepared by cross-linking of microbial poly(γ -glutamic acid) with various saccharides[J]. Bio-macromolecules, 2006, 7(7): 2122-2127.
- [17] Kang HS, Park SH, Lee YG, et al. Polyelectrolyte complex hydrogel composed of chitosan and poly(γ -glutamic acid) for biological application: preparation, physical properties, and cytocompatibility[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2007, 103(1): 386-394.
- [18] Yan JJ, Li Z, Zhang JF. Preparation and properties of pullulan composite films[J]. Advanced Materials Research, 2012(5): 476-478.
- [19] Rodríguez DE, Romero GJ, Ramírez VE, et al. Synthesis and swelling characteristics of semi-interpenetrating polymer network hydrogels composed of poly (acrylamide) and poly(γ -glutamic acid)[J]. Materials Letters, 2006, 60(11): 1390-1393.
- [20] 石冬霞,梁金钟,党建宁. 以聚 γ -谷氨酸为原料制备高吸水树脂的研究[J]. 现代化工, 2009, 29: 91-95.
- [21] Lin WC, Yu DG, Yang MC. Blood compatibility of novel poly(γ -glutamic acid)/polyvinyl alcohol hydrogels[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2006, 47(1): 43-49.
- [22] Li YG, Kang HS. Thermally crosslinked anionic hydrogels composed of poly(vinyl alcohol) and poly(γ -glutamic acid): preparation, characterization, and drug permeation behavior[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008, 109(6): 3768-3775.
- [23] Nishida T, Kamezawa H, Hara YT. Heat resistance and local structure of FeCl_2 -absorbed crosslinked poly(γ -glutamic acid)[J]. Journal of Radioanalytical and

- Nuclear Chemistry, 2001, 250(3): 547-550.
- [24] Huang MH, Yang MC. Swelling and biocompatibility of sodium alginate/poly(γ -glutamic acid) hydrogels[J]. Polymers for Advanced Technologies, 2010, 21(8): 561-567.
- [25] 张新民. γ -聚谷氨酸及高吸水树脂的制备研究[D]. 南京: 南京工业大学博士学位论文, 2003.
- [26] 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): 19-21.
- [27] 徐速, 周文博. γ -PGA 保水性在蔬菜保鲜上的应用[C]. 中国食品科学技术学会第九届年会, 哈尔滨, 2012.
- [28] 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: 华中农业大学硕士学位论文, 2012.
- [29] 疏秀林, 施庆珊, 冯劲, 等. γ -聚谷氨酸对荔枝常温货架保鲜效果研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(21): 318-321.
- [30] Inbaraja BS, Chiua CP, Hob GH, et al. Removal of cationic dyes from aqueous solution using an anionic poly-glutamic acid-based adsorbent[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 137: 226-234.
- [31] 史艳茹, 李奇, 王丽, 等. 三维网络水凝胶在重金属和染料吸附方面的研究进展[J]. 化工进展, 2011, 30(10): 2294-2302.
- [32] Lin YH, Lin JH, Peng SF, et al. Multifunctional gentamicin supplementation of poly(γ -glutamic acid)-based hydrogels for wound dressing application[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 120(2): 1057-1068.
- [33] Tajima T, Ueno S, Yabu N, et al. Fabrication and characterization of poly- γ -glutamic acid nanofiber[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 122: 150-158.
- [34] Taniguchi M, Kato K, Shimauchi A, et al. Physicochemical properties of cross-linked poly- γ -glutamic acid and its flocculating activity against kaolin suspension[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2005, 99: 130-135.
- [35] Kamezawa YG, Kwan HY, Chung P, et al. Preparation and evaluation of poly(γ -glutamic acid)-based anti-adhesion membranes[J]. Key Engineering Materials, 2007(3): 342-343.
- [36] Yoshida H, Kristina K, Matsusaki M, et al. Disulfide crosslinked electrospun poly(γ -glutamic acid) nonwovens as reduction-responsive scaffolds[J]. Macromolecular Bioscience, 2009, 9(6): 568-574.

征订启事

欢迎订阅《微生物学通报》

《微生物学通报》创刊于1974年,是中国科学院微生物研究所和中国微生物学会主办,国内外公开发行,以微生物学应用基础研究及技术创新与应用为主的综合性学术期刊。刊登内容包括:基础微生物学研究,农业微生物学研究,工业微生物学研究,医学微生物学研究,食品微生物学研究,环境微生物学研究,微生物功能基因组研究,微生物蛋白组学研究,微生物模式菌株研究,微生物工程与药物研究,微生物技术成果产业化及微生物教学研究改革等。

本刊为中国自然科学核心期刊。曾获国家优秀科技期刊三等奖,中国科学院优秀科技期刊三等奖,北京优秀科技期刊奖,被选入新闻出版总署设立的“中国期刊方阵”并被列为“双效”期刊。

自2008年本刊已经全新改版,由双月刊改为月刊,发表周期缩短,内容更加丰富详实。欢迎广大读者到邮局订阅或直接与本刊编辑部联系购买,2014年每册定价58元,全年696元,我们将免邮费寄刊。

邮购地址:(100101)北京朝阳区北辰西路1号院3号中国科学院微生物研究所《微生物学通报》编辑部

Tel: 010-64807511; E-mail: bjb@im.ac.cn, tongbao@im.ac.cn

网址: <http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>

国内邮发代号: 2-817; 国外发行代号: M413