

壳聚糖-丙烯酰胺-二甲基二烯丙基氯化铵 接枝共聚物的辐射制备

王晓慧 遆永周 李灿然 吕晓华 黎振华 董明静

(河南省科学院同位素研究所有限责任公司 郑州 450015)

摘要 采用 γ -射线辐照法,以壳聚糖、丙烯酰胺(AM)和二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC)为原料制备了壳聚糖-AM-DMDAAC 接枝共聚物。考察了吸收剂量、单体 AM 与 DMDAAC 重量比、壳聚糖与总单体重量比、反应物浓度等因素对接枝共聚反应的影响。结果表明,随着吸收剂量的增大,接枝率和阳离子度上升,而接枝效率变化不大,吸收剂量为 4 kGy 时最佳,接枝率、接枝效率和阳离子度分别为 210.9%、96.1%和 26.9%;接枝率和接枝效率随着 AM 与 DMDAAC 重量比的增加而提高,当 AM 与 DMDAAC 重量比为 7:3 时达到最大值,分别为 182.6%和 98.8%;随着壳聚糖与总单体重量比的降低,接枝率、接枝效率和阳离子度逐渐增加,当壳聚糖与总单体重量比为 3:8 时,其值分别为 182.5%、94.9%和 25.5%,接枝效果最好;接枝率、接枝效率和阳离子度随着反应物浓度的降低先上升后降低,醋酸最佳用量为 100 mL。

关键词 壳聚糖, 二甲基二烯丙基氯化铵, 丙烯酰胺, 接枝共聚, γ -射线辐照

中图分类号 TL13

DOI: 10.11889/j.1000-3436.2015.rj.33.040303

壳聚糖是一种天然的碱性多糖,由于其具有良好的生物相容性、生物降解性、无毒无害、安全可靠等优点而被广泛应用于医药、食品、农业、纺织及污水处理等领域^[1-2]。同时,壳聚糖存在水溶性较差、相对分子量较低且性能不稳定等缺点,实际应用范围受限^[3-5]。

目前,常利用壳聚糖分子链上游离的氨基和羟基对其进行改性,从而拓宽其应用领域,如在壳聚糖分子链上引入改性单体丙烯酰胺、丙烯酸和季铵盐等不饱和烯类单体,这些研究大多数采用化学引发法^[3-19]。本研究采用辐射引发法,选用丙烯酰胺(AM)和二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC)为改性单体,制备壳聚糖-AM-DMDAAC 接枝共聚物。通过讨论反应条件对接枝共聚反应的影响,最终获得辐射法制备壳聚糖-AM-DMDAAC 接枝共聚物的最佳合成条件。

1 材料与方法

1.1 原料及仪器

壳聚糖(CTS,脱乙酰度大于 95%,浙江金壳

生物化学公司)、丙烯酰胺(AM,天津科密欧化学试剂开发中心)、二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC,质量分数为 60%的水溶液,山东鲁岳化工有限公司)、冰醋酸(天津化学试剂三厂)、无水乙醇(天津化学试剂一厂)、丙酮(天津化学试剂一厂),其他试剂均为分析纯。

⁶⁰Co γ -射线放射源(河南省科学院同位素研究所有限责任公司)、真空干燥箱(上海精密仪器仪表有限公司)、恒温水浴锅(金坛市双捷实验仪器厂)、索氏抽提器(郑州市兴华玻璃仪器厂)。

1.2 反应机理

辐射引发壳聚糖接枝聚合反应一般包括自由基形成、链引发、链增长和链终止等 4 个过程。反应机理通常为:壳聚糖与 AM 和 DMDAAC 的混合物在辐射 γ -射线的作用下,在 C-2 或 C-6 位的反应性基团易产生活性点,使得壳聚糖分子链上产生初级自由基;然后初级自由基引发单体聚合,成为壳聚糖-单体自由基,继续与单体进行链增长聚合;单体通过接枝共聚到其分子链上,形成接枝链,同时单体也会产生自由基,发生单体间的均聚。用 CTS 表

第一作者:王晓慧,女,1982年10月生,2011年于北京化工大学获博士学位,主要从事辐射化工方面的研究,助理研究员, E-mail: xiaohui2001971@126.com

收稿日期:2015-03-25;修回 2015-05-07

示壳聚糖, M 表示单体 AM 或 DMDAAC。可能的反应过程如下:

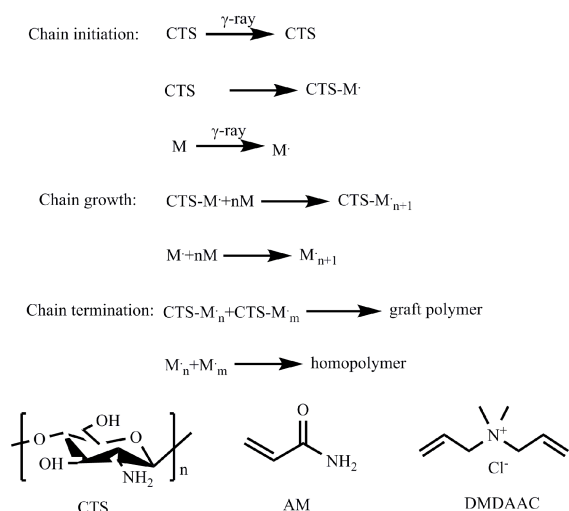


图 1 壳聚糖-AM-DMDAAC 接枝共聚物的反应机理
Fig.1 Synthesis mechanism of chitosan-AM-DMDAAC graft copolymer

1.3 壳聚糖接枝共聚物的制备

称取 3 g 壳聚糖于三角瓶内, 用体积百分数为 2% 的醋酸溶液将其溶解后, 加入不同配比的丙烯酰胺和二甲基二烯丙基氯化铵, 搅拌均匀后充氮气 10 min, 密闭封口, 置于 ^{60}Co 辐射场中辐照。产物经无水乙醇沉淀、洗涤后, 在 50 °C 真空干燥箱中烘干至恒重, 得到粗品, 并研磨成粉。将粉状粗品用滤纸包裹, 抽提分离 24 h, 溶剂为冰醋酸-丙酮混合物 (体积比为 3:2), 以除去均聚物及未反应单体。然后再真空干燥至恒重, 即得到纯化的壳聚糖接枝共聚物。

1.4 壳聚糖接枝共聚物的表征

1.4.1 总接枝率和总接枝效率

壳聚糖接枝共聚物的总接枝率(Grafting ratio, 简称为 R_G)和总接枝效率(Grafting efficiency, 简称为 E_G)采用称重法测定, 计算见公式(1)和(2)。

$$R_G = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$E_G = \frac{W_2 - W_1}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中, W_1 为壳聚糖的质量, g; W_2 为纯接枝物的

质量, g; W_3 为粗接枝物的质量, g。

1.4.2 阳离子度及单体 DMDAAC 的接枝率

壳聚糖接枝共聚物的阳离子度(Cationic degree, 简称为 D_C)参照莫尔法测定氯离子含量法来测定^[20]。以硝酸银溶液为标液, 重量浓度为 5% 的铬酸钾为指示剂, 滴定至溶液出现砖红色为终点。按 (3) 式计算阳离子度:

$$D_C = M \times \frac{0.05 \times (V - V_0)}{1000m} \quad (3)$$

式中, M 为 DMDAAC 的分子量; 0.05 为硝酸银溶液的浓度, mol/L; V 为样品消耗硝酸银溶液的体积, mL; V_0 为空白试验消耗硝酸银溶液的体积, mL; m 为样品的质量, g。

根据阳离子度, 可单独计算出单体 DMDAAC 的接枝率 $R_{G\text{-DMDAAC}}$, 如公式(4)。

$$R_{G\text{-DMDAAC}} = \frac{m_{\text{总}} D_C}{W_1} \quad (4)$$

式中, $m_{\text{总}}$ 为样品的总质量, g; W_1 为壳聚糖的质量, g。

1.5 结构表征

采用溴化钾压片法制样, 用 FTIR-750 型傅里叶红外光谱仪测定壳聚糖及接枝共聚物红外光谱。

2 结果与讨论

2.1 壳聚糖接枝共聚物的结构表征

壳聚糖接枝共聚物的结构表征用红外光谱测定, 测试结果见图 2。

在壳聚糖的红外谱图中可以看出壳聚糖的几个特征峰: 在 3420 cm^{-1} 处的特征峰为壳聚糖中羟基的伸缩振动吸收峰; 在 2910 cm^{-1} 处的吸收峰为壳聚糖中甲基的伸缩振动峰; 在 1600 cm^{-1} 处特征峰为壳聚糖中氨基的伸缩振动吸收峰。与壳聚糖的红外光谱比较, 在壳聚糖接枝共聚物的红外光谱中除了出现壳聚糖的几个特征峰外, 还发现在 1020 cm^{-1} 处的吸收峰增强, 出现了 C-N 伸缩振动吸收峰, 说明分子中含有季铵基团; 在 1660 cm^{-1} 和 1600 cm^{-1} 处出现新的特征峰, 其中 1660 cm^{-1} 为酰胺 I 谱带, 由 C=O 伸缩振动吸收峰引起, 1600 cm^{-1} 为酰胺 II 谱带, 由 N-C=O 对称伸缩振动吸收峰引起。酰胺基团特征吸收峰的出现, 说明 AM 的存在。测试结

果表明在壳聚糖分子链中确实含有 AM 和 DMDAAC 的接枝产物。

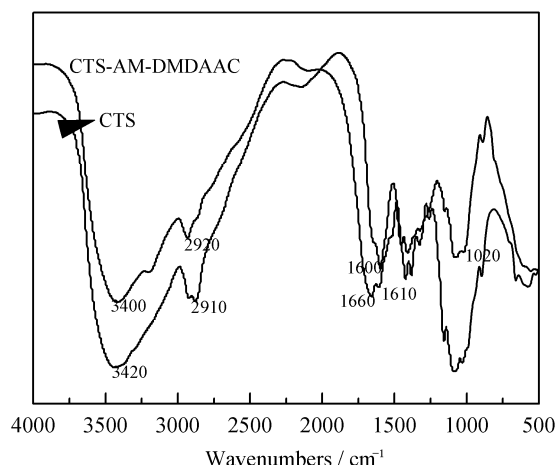


图2 壳聚糖和壳聚糖接枝共聚物的红外光谱图
Fig.2 The FTIR spectra of chitosan and chitosan graft copolymer

2.2 吸收剂量对接枝共聚反应的影响

固定壳聚糖用量为 3 g、AM 用量为 5.6 g、DMDAAC 用量为 2.4 g、醋酸用量为 100 mL, 选取 1 kGy、2 kGy、3 kGy、4 kGy、5 kGy 和 7 kGy 6 个吸收剂量, 讨论不同吸收剂量对壳聚糖接枝共聚物的总接枝率、阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率的影响, 结果见图 3。

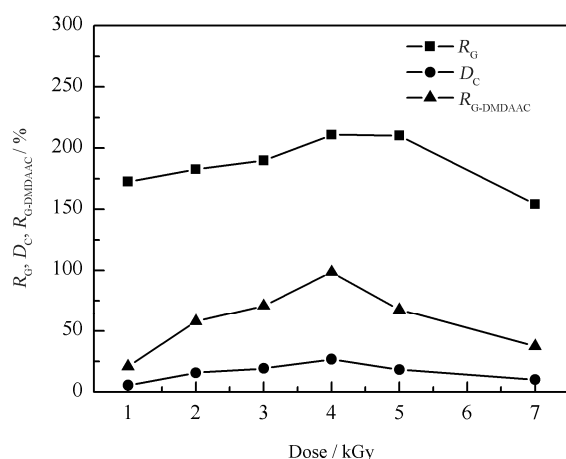


图3 吸收剂量对接枝率、阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率的影响

Fig.3 The effects of absorbed dose on grafting ratio, cationic degree and grafting ratio of DMDAAC

由图 3 可见, 总接枝率、阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率随着吸收剂量的增大而上升, 当吸收剂量达到 4 kGy 时, 三者达到最大值, 分别为 210.9%、26.9%和 98.6%; 但当吸收剂量继续增大时, 总接枝率、阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率下降, 原因是由于辐射降解速率开始大于辐射接枝速率。

不同吸收剂量对单体总的接枝效率的影响见图 4。可以看出, 在吸收剂量为 1–7 kGy 范围内, 随着吸收剂量的增加, 总的接枝效率呈现先升后降趋势, 但总体变化不大, 接枝效率在 93%–96%之间。综合考虑, 选择吸收剂量为 4 kGy。

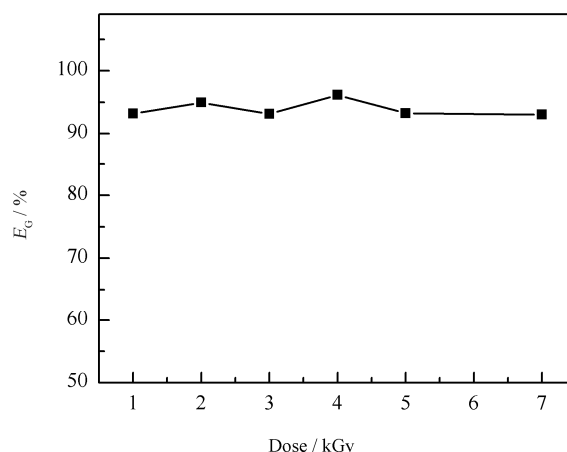


图4 吸收剂量对单体总接枝效率的影响
Fig.4 The effect of absorbed dose on grafting efficiency of graft copolymer

2.3 单体 AM 与 DMDAAC 重量比对接枝共聚反应的影响

在壳聚糖用量为 3 g、壳聚糖与总单体 (AM+DMDAAC)重量比为 3:8、醋酸用量为 100 mL、吸收剂量为 4 kGy 的条件下, 改变单体 AM 与 DMDAAC 重量比, 考察其对接枝共聚反应的影响, 结果如表 1 所示。

由表 1 可以看出, 总接枝率和总接枝效率随着 AM 与 DMDAAC 重量比的增加而提高, 当 AM 与 DMDAAC 重量比为 7:3 时达到最大值, 分别为 182.6%和 98.8%, 之后开始降低。这可以解释为 AM 反应活性比 DMDAAC 反应活性高, AM 与壳聚糖的聚合反应较容易进行, 因此在保持总单体用量不变的情况下, 随着 AM 用量的增加, DM 用量减少, 从而造成总接枝率和总接枝效率都上升。

阳离子度和单体 DMDAAC 接枝率随着 AM 与 DMDAAC 重量比的增加先升高后降低。原因在于 AM 在壳聚糖和 DMDAAC 中间起着桥梁的作用, 增加 AM 用量, 可提高产物的阳离子度和单体接枝

率。但是再增加 AM 的用量, 阳离子单体 DMDAAC 的用量减少了, 所以阳离子度和单体接枝率下降。从以上分析可知, 选择单体 AM 与 DMDAAC 重量比为 7:3 较适宜。

表 1 单体 AM 与 DMDAAC 重量比对接枝共聚反应的影响
Table 1 The effect of AM and DMDAAC weight ratio on graft copolymerization

AM 与 DMDAAC 重量比 AM /DMDAAC weight ratio	接枝率 / % Grafting ratio	阳离子度 / % Cationic degree	单体 DMDAAC 的接枝率 / % Grafting ratio of DMDAAC	接枝效率 / % Grafting efficiency
4:6	122.4	9.6	35.2	78.1
6.5:3.5	148.3	17.5	64.2	87.3
7:3	182.6	27.5	99.7	98.8
7.5:2.5	176.2	18.9	69.3	94.2
8:2	170.1	10.6	38.9	93.3
9:1	153.5	4.3	15.7	89.8

2.4 壳聚糖与总单体(AM+DMDAAC)重量比对接枝共聚反应的影响

固定反应条件, 讨论不同壳聚糖与总单体 (AM+DMDAAC) 的重量比对接枝共聚反应的影响, 结果如图 5 和图 6 所示。随着壳聚糖与总单体重量比的减小, 反应总接枝率逐渐增大, 这表明提高接枝单体的用量, 总接枝率会提高; 但阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率随着壳聚糖与总单体重量比的减小先增大后降低。壳聚糖与总单体量比为 3:8 时, 接枝效果最好, 接枝率、单体 DMDAAC 接枝率和阳离子度的值分别为 182.5%、93.5%和 25.5%。

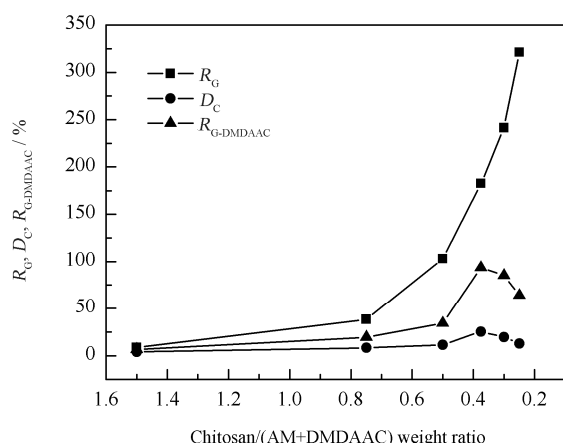


图 5 壳聚糖与总单体重量比对接枝率、阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率的影响

Fig.5 The effects of chitosan and (AM+DMDAAC) weight ratio on grafting ratio, cationic degree and grafting ratio of DMDAAC

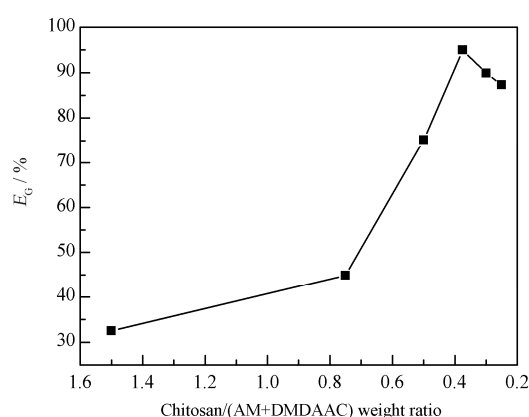


图 6 壳聚糖与总单体重量比对单体总接枝效率的影响
Fig.6 The effect of chitosan and (AM+DMDAAC) weight ratio on grafting efficiency of graft copolymer

同时, 总接枝效率也随着壳聚糖与总单体重量比的减小先增大后降低。原因在于提高接枝单体的用量, 单体与壳聚糖表面接触的越多, 反应几率增大, 故接枝效果提高。但当单体用量增加到一定量后, 单体之间发生均聚反应的几率也增加。另外, 接枝链上的 DMDAAC 链节也会对 DMDAAC 单体产生同电荷排斥作用, 从而接枝效果下降。综合考虑, 选择壳聚糖与总单体重量比最佳为 3:8。

2.5 反应物浓度对对接枝共聚反应的影响

反应物浓度即反应体系中醋酸的用量对总接枝率、阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率的影响见如图 7。

由图 7 可知,对总接枝率、阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率的影响趋势相似,高低浓度时(醋酸用量小于 100 mL),总接枝率、阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率较低,随着醋酸用量的增加即反应物浓度降低,表现为先上升后降低。

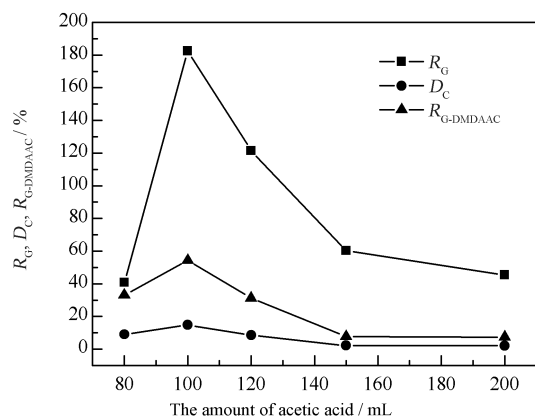


图 7 醋酸用量对接枝率、阳离子度及单体 DMDAAC 接枝率的影响

Fig.7 The effects of acetic acid amount on grafting ratio, cationic degree and grafting ratio of DMDAAC

醋酸的用量对总接枝效率的影响见如图 8。同样地,随着醋酸用量的增加,总接枝效率先升高之后又降低。这表明适当的反应物浓度有利于接枝效率的提高,浓度过高或过低接枝效率均较低。综合考虑,选择反应物浓度即醋酸用量最佳为 100 mL。

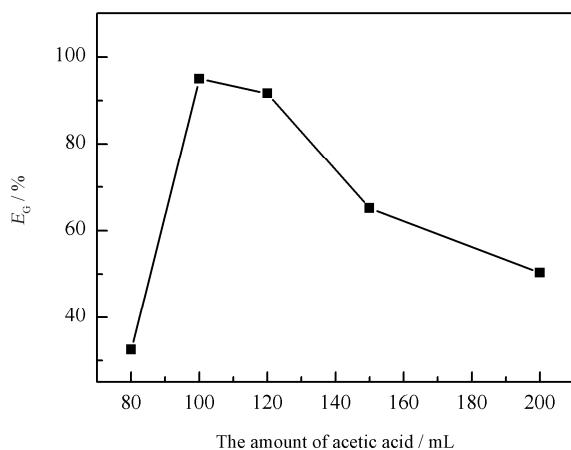


图 8 醋酸用量对单体总接枝效率的影响

Fig.8 The effect of acetic acid amount on grafting efficiency of graft copolymer

3 结论

本文采用 γ -射线辐照法制备了壳聚糖-AM-DMDAAC 接枝共聚物。通过考察吸收剂量、单体

AM 和 DMDACC 重量比、壳聚糖与总单体重量比、反应物浓度等因素对接枝共聚反应的影响,得出壳聚糖接枝共聚物的最佳合成条件为:吸收剂量为 4 kGy,单体 AM 与 DMDAAC 重量比为 7:3,壳聚糖与总单体量比为 3:8,醋酸用量为 100 mL。在此条件下合成壳聚糖接枝共聚物时接枝效果最好,单体总接枝率、阳离子度、单体 DMDAAC 的接枝率及总接枝效率的值分别为 210.9%、26.9%、98.6%和 96.1%,均能达到最佳。

参考文献

- 1 Majeti N V, Ravi K. A review of chitin and chitosan applications [J]. *Reactive and Functional Polymers*, 2000, **46**(1): 1-27.
- 2 齐素芳, 赖子尼, 余煜棉, 等. 壳聚糖接枝共聚反应的研究进展[J]. *化学工业与工程技术*, 2006, **27**(2): 28-31.
QI Sufang, LAI Zini, YU Yumian, *et al.* Research development of the graft copolymerization of chitosan [J]. *Journal of Chemical Industry and Engineering*, 2006, **27**(2): 28-31.
- 3 Li Y, Yu H, Liang B, *et al.* Study of radiation-induced graft copolymerization of butyl acrylate onto chitosan in acetic acid aqueous solution [J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2003, **90**(10): 2855-2860.
- 4 Liu J H, Wang Q, Wang A Q. Synthesis and characterization of chitosan-g-poly (acrylic acid)/sodium humate superabsorbent [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2007, **70**(2): 166-173.
- 5 黄春兰, 方波. 壳聚糖凝胶体系研究进展及其展望[J]. *食品研究与开发*, 2006, **27**(3): 187-190.
HUANG Chunlan, FANG Bo. The outlook and progress of the research on chitosan based gel systems [J]. *Food Research and Development*, 2006, **27**(3): 187-190.
- 6 张艳艳, 马启敏, 江志华. 壳聚糖季铵盐的合成及性质研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2005, **35**(2): 459-462.
ZHANG Yanyan, MA Qimin, JIANG Zhihua. Synthesis and studies on properties of quaternary ammonium salt of chitosan [J]. *Periodicat of Ocean University of China*, 2005, **35**(2): 459-462.
- 7 蒋林斌, 李容, 杨华, 等. γ 辐射法制备壳聚糖接枝共聚物及其絮凝性能[J]. *广西大学学报:自然科学版*, 2009, **34**(5): 627-630.
JIANG Linbin, LI Rong, YANG Hua, *et al.* Study on preparation of graft copolymer of chitosan under γ -ray irradiation and its properties of flocculating[J]. *Journal of Guangxi University: Natural Science Edition*, 2009, **34**(5):

- 627-630.
- 8 唐新华, 舒红英, 吴再国. CTS-AM-DMC 强阳离子型天然高分子絮凝剂的合成[J]. 水处理技术, 2005, **31**(9): 52-55.
TANG Xinhua, SHU Hongying, WU Zaiguo. Synthesis of CTS-AM-DMC graft copolymer as strong cationic high molecular flocculant [J]. Technology of Water Treatment, 2005, **31**(9): 52-55.
- 9 Nge T T, Yamaguchi M, Hori N, *et al.* Synthesis and characterization of chitosan/poly (acrylic acid) polyelectrolyte complex [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2001, **5**(83): 1025-1035.
- 10 李晟, 谢建军, 何新建, 等. 壳聚糖接枝丙烯酸-丙烯酰胺高吸水树脂的制[J]. 精细化工中间体, 2010, **40**(2): 54-58.
LI Sheng, XIE Jianjun, HE Xinjian, *et al.* Preparation of chitosan-g-AA-AM superabsorbent [J]. Fine Chemical Intermediates, 2010, **40**(2): 54-58.
- 11 程建华, 胡勇有, 李泗清. 壳聚糖接枝聚季铵盐的合成及调理性能[J]. 精细化工, 2005, **2**(22): 130-132.
CHENG Jianhua, HU Yongyou, LI Siqing. Synthesis and conditioning capability of chitosan graft polymquaternium [J]. Fine Chemicals, 2005, **2**(22): 130-132.
- 12 金海琴, 张玉红, 董勤政. 壳聚糖接枝丙烯酸/丙烯酰胺水凝胶的制备及性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2009, **25**(11): 129-132.
JIN Haiqin, ZHANG Yuhong, DONG Qinzheng. Synthesis and properties of chitosan grafted with acrylic acid/acrylamide [J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2009, **25**(11): 129-132.
- 13 Sun T, Xu R X, Liu Q, *et al.* Graft copolymerization of methacrylic acid onto carboxymethyl chitosan [J]. European Polymer Journal, 2003, **39**(1): 189-192.
- 14 田澍, 黄丹, 葛存旺, 等. 壳聚糖-丙烯酰胺-二甲基二烯丙基氯化铵三元接枝共聚物的合成及应用[J]. 化工环保, 2007, **27**(1): 79-83.
TIAN Shu, Huang Dan, GE Cunwang, *et al.* Synthesis and application of chitosan-acrylamide-dimethyldiallyl-ammonium chloride graft copolymer [J]. Environmental Protection of Chemical Industry, 2007, **27**(1): 79-83.
- 15 马永生, 邱化玉, 王少强, 等. 壳聚糖-AM-DMDAAC 三元接枝共聚物的合成及应用[J]. 中国制造, 2004, **23**(12): 22-25.
MA Yongsheng, QIU Huayu, WANG Shaoqiang, *et al.* Preparation and application of chitosan-AM-DMDAAC graft copolymer [J]. China Pulp & Paper, 2004, **23**(12): 22-25.
- 16 姚评佳, 王华瑜, 蒋林斌, 等. 壳聚糖辐射接枝 MAA 共聚物的制备及应用[J]. 化工技术与开发, 2005, **34**(1): 9-11.
YAO Pingjia, WANG Huayu, JIANG Linbing, *et al.* Preparation of chitosan-MAA radiation graft copolymers and its application [J]. Technology and Development of Chemical Industry, 2005, **34**(1): 9-11.
- 17 王峰, 李义久, 倪亚明. 丙烯酰胺接枝共聚壳聚糖絮凝剂的合成及絮凝性能研究[J]. 工业水处理, 2003, **23**(12): 45-47.
WANG Feng, LI Yijiu, NI Yaming. Study on the synthesis and the flocculating properties of chitosan-acrylamide graft copolymer flocculant [J]. Industrial Water Treatment, 2003, **23**(12): 45-47.
- 18 张立彦, 李作为, 黎梅兰. 丙烯酸接枝壳聚糖水凝胶的制备及其 pH 敏感性[J]. 化工进展, 2008, **27**(4): 585-590.
ZHANG Liyan, LI Zuwei, LI Meilan. Preparation of N-carboxyethyl chitosan hydrogel and its PH-sensitivity [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2008, **27**(4): 585-590.
- 19 董晓薇. 壳聚糖与丙烯酰胺接枝聚合反应的研究[J]. 水产科学, 2005, **24**(7): 26-28.
DONG Xiaowei. Graft copolymer of chitosan with acrylamide [J]. Fisheries Science, 2005, **24**(7): 26-28.
- 20 李敏, 屈撑囤, 吴新民. 淀粉改性阳离子型高分子絮凝剂的合成[J]. 西安石油大学学报:自然科学版, 2007, **22**(3): 111-114.
LI Min, QU Chengdun, WU Xinmin. Synthesis of starch-modified cationic polymer flocculant [J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2007, **22**(3): 111-114.

Irradiation preparation of chitosan-AM-DMDAAC graft copolymer

WANG Xiaohui TI Yongzhou LI Canran LYU Xiaohua LI Zhenhua DONG Mingjing
(Isotope Institute Co, Ltd., Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450015, China)

ABSTRACT Chitosan-AM-DMDAAC(Acrylamide, AM; diallyl dimethyl ammonium chloride, DMDAAC) graft

copolymer was synthesized by γ -ray irradiation using chitosan, AM and DMDAAC. The effect of reaction conditions on graft copolymer were studied, including absorbed dose, monomer AM and DMDAAC weight ratio, chitosan and total monomers weight ratio, as well as reactant concentration. The results showed that grafting ratio, cationic degree and grafting ratio of DMDAAC increased with the absorbed dose, however, the graft efficiency changed little, and the optimal absorbed dose was 4 kGy. The values of grafting ratio, grafting efficiency and cationic degree were 210.9%, 96.1% and 26.9% respectively; the grafting ratio and the grafting efficiency increased with the AM and DMDAAC weight ratio; when AM and DMDAAC weight ratio is 7:3, they reached maximum values that were 182.6% and 98.8% respectively; the grafting ratio, cationic degree and grafting ratio of DMDAAC increased with the decreasing of chitosan and total monomers weight ratios, and grafting result was the best when chitosan and total monomers weight ratio was 3:8. The values of grafting ratio, grafting efficiency and cationic degree were 182.5%, 94.9% and 25.5% respectively; the grafting ratio, cationic degree and grafting ratio of DMDAAC increased first and then decreased with the decreasing of reactant concentrations, and the optimum amount of acetic acid was 100 mL.

KEYWORDS Chitosan, Diallyl dimethyl ammonium chloride, Acrylamide, Graft copolymerization, γ -ray irradiation

CLC TL13