

# 柚子皮纤维素基高吸水性树脂的合成与应用

孙慧慧<sup>1,2</sup>, 余元善<sup>2</sup>, 吴继军<sup>2</sup>, 徐玉娟<sup>2</sup>, 肖更生<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学食品科技学院, 湖北武汉 430070) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

**摘要:** 高吸水树脂因其优良的吸水性和保水性, 近年来受到广泛关注与研究。为实现柚子皮的废物利用, 优化高吸水树脂的生产工艺, 研究以天然无毒的柚子皮粉为接枝骨架, 丙烯酸为接枝单体, 司班-80 为分散剂, 环己烷为油相, 过硫酸钾为引发剂, N,N'-亚甲基双丙烯酰胺为交联剂, 采用反相悬浮聚合法制备了吸水性和吸生理盐水性良好的纤维素基高吸水树脂。探讨了司班-80 用量、引发剂用量、柚皮粉用量、交联剂用量、丙烯酸中和度、反应温度、油水质量比对树脂在蒸馏水和生理盐水中的吸液倍率的影响。结果表明, 在司班-80 用量为单体的 6.7%, 引发剂用量为单体的 0.5%, 柚皮粉:丙烯酸为 1:5, 交联剂为单体的 0.67%, 丙烯酸中和度 40%, 油水比 2:1, 反应温度 80 ℃ 条件下, 树脂对蒸馏水和生理盐水最大吸液倍率可达 362.29 g/g 和 42.49 g/g。

**关键词:** 吸水树脂; 柚子皮粉; 丙烯酸; 反相悬浮法; 吸水率

文章编号: 1673-9078(2018)08-180-186

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.8.026

## Synthesis and Application of Pomelo Peel Cellulose-based Superabsorbent Polymers

SUN Hui-hui<sup>1,2</sup>, YU Yuan-shan<sup>2</sup>, WU Ji-jun<sup>2</sup>, XU Yu-juan<sup>2</sup>, XIAO Geng-sheng<sup>2</sup>

(1. College of Food Science & Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China) (2. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture/Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

**Abstract:** Superabsorbent resins have attracted high attention and research interest, because of their distinct water-absorbing and water-holding properties. In order to utilize pomelo peel and optimize the production process of super absorbent resins, cellulose-based superabsorbent resins with good water and physiological saline absorption properties were prepared via reversed-phase suspension polymerization using natural and non-toxic pomelo peel powder as the graft skeleton, acrylic acid as the grafting monomer, span 80 as the dispersing agent, cyclohexane as the oil phase, potassium persulfate as initiator, and N, N'-methylenebisacrylamide as the crosslinking agent. The effects of influencing factors, such as the amount of span 80, initiator, pomelo peel powder and crosslinking agent, and the neutralization degree of acrylic acid, reaction temperature and ratio of oil to water, on the water or physiological saline absorption rate of the resin were examined. The results showed that the maximum resin absorption rates in distilled water and physiological saline were 362.29 g/g and 42.49 g/g, respectively, when the following conditions were used: amount of span-80, 6.7%; amount of initiator, 0.5%; ration of pomelo peel power: AA, 1:5; amount of crosslinking agent, 0.67%; neutralization degree of acrylic acid, 40%; ratio of oil to water, 2:1; reaction temperature, 80 ℃.

**Key words:** superabsorbent polymer; pomelo peel powder; acrylic acid; reversed-phase suspension; water absorption rate

高吸水树脂(Super Absorbent Polymer, 简称 SAP)是一种含有羟基、羧基和酰胺基等亲水性基团的功能性高分子材料, 具有轻度交联的三维网状结构<sup>[1]</sup>, 可以吸收自重数十倍乃至上千倍的水分, 且耐热、耐压, 不轻易失水, 有很好的保水能力。因其独特的结构及

收稿日期: 2018-03-02

基金项目: 广东省自然科学基金研究团队项目(2015A030312001); 广东省省级现代农业科技创新联盟建设项目(2016LM2151)

作者简介: 孙慧慧(1993-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品工程

通讯作者: 肖更生(1965-), 男, 研究员, 研究方向: 农产品深加工

吸水性能, 高吸水树脂被广泛应用于卫生用品、医疗医药、农林园艺、石油化工、工业建筑等领域<sup>[2,3]</sup>。

高吸水树脂在 1961 年由美国科研人员用淀粉与丙烯腈首次接枝聚合而成<sup>[4]</sup>, 此后国外对吸水树脂的制备进行了大量的探索, 原料逐渐转变为天然产物的衍生物, 如壳聚糖、纤维素等, 对吸水树脂的性能也有了凝胶强度和耐盐性方面的研究, 并得到迅速发展, 在 1980 年即制备出具有耐盐性的高吸水树脂。我国对高吸水树脂的研究起步较晚, 最早是在二十世纪八十年代由吉林石化设计院和河南化学所研制成功<sup>[5]</sup>。国

内对吸水树脂已展开大量研究,在树脂性能和制备工艺上都取得了显著进步,只是多局限于实验室阶段,整体生产水平较为落后。高吸水树脂应用广泛,但仍存在不足之处,如生产成本过高,耐盐性不高,在环境中难以降解等。目前国内外研究重点是对生产工艺的改进和利用天然可再生资源生成可降解性的高吸水树脂<sup>[6]</sup>。高吸水树脂按原料可以分为淀粉系、纤维素系和合成系吸水树脂三大类<sup>[7]</sup>。高吸水树脂的制备方法有溶液聚合法,反相乳液聚合法,本体聚合法,反相悬浮聚合法,微波聚合法,辐射交联聚合和光引发聚合法等,其中实验室常用水溶液聚合法和反相悬浮聚合法研究。

柚子皮作为一种农林废弃物,是可再生资源,纤维素和木质素占表皮 50%~70%<sup>[8]</sup>,是合成吸收树脂的理想原料。一般的悬浮聚合法是以水相为连续相,油相作为反应液滴分散在水相中,在合成吸水树脂中应用的反相悬浮聚合法,则是一种“油包水”体系,一般以环己烷等亲油性有机溶剂作为连续相,将单体和引发剂混合在水相液滴中进行聚合反应。反相悬浮聚合法制得的吸水树脂黏性低、反应体系稳定,呈分散状的反应物使得后续工艺更为简单,产品的吸水能力也比常规的化学聚合法高 50%以上<sup>[9,10]</sup>。目前对柚子皮制备吸水树脂的研究较为少见,结合反相悬浮聚合法的文献更是鲜有发表。本实验采用反相悬浮聚合法,以环己烷为分散相,司班-80 为悬浮稳定剂,用柚子皮接枝丙烯酸制备可降解性吸水树脂。对树脂的制备工艺进行了优化,分别研究了司班-80、体系用水量、温度、引发剂、柚皮粉、交联剂、中和度、油水比对树脂吸水性的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

柚子皮来自广东梅州沙田柚,柚子皮粉自制;环己烷,天津市富宇精细化工有限公司;司班-80(Span-80);阿拉丁试剂有限公司;氢氧化钠,天津市福晨化学试剂厂;丙烯酸(AA),天津市福晨化学试剂厂;N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(MBA),源叶生物科技有限公司;过硫酸钾(KPS),天津市福晨化学试剂厂;无水亚硫酸钠(AR),天津市科密欧化学试剂开发中心。

### 1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱,上海科恒实业发展有限公司;六联恒温水浴电动搅拌器,峥嵘仪器。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 柚皮粉接枝丙烯酸复合高吸水树脂的制备

取柚子皮白色海绵层在 60 °C 下烘干,粉碎后过 60 目筛制得反应原料。称取一定量柚皮粉加入 24 mL 蒸馏水在 800 mL 烧杯中混合均匀备用。在电子天平上用 100 mL 烧杯称取一定量的氢氧化钠,加 36 mL 蒸馏水溶解,并置于冰水浴中冷却。再称取 15 mL 丙烯酸加入氢氧化钠溶液中,在冰水浴下冷却至室温,制备好丙烯酸钠溶液。将丙烯酸钠溶液和柚皮粉水溶液混合,再依次加入一定量的环己烷和司班-80,搅拌均匀后置于一定温度六联恒温水浴电动搅拌锅中,搅拌速度 700 r/min,待 2 min 后反应体系平衡,加入交联剂和引发剂,再过 1 min 后加入少量亚硫酸钠,密闭反应 60 min。反应结束后得分散状的颗粒树脂产物,过滤烘干最后粉碎得淡黄色吸水树脂粉末。

#### 1.3.2 司班-80 用量对树脂吸水性的影响

固定柚皮粉质量为 4 g,交联剂 MBA 用量为 0.1 g,引发剂过硫酸钾用量为 0.075 g,亚硫酸钠用量为 0.01 g,总用水量为 75 g,环己烷用量 225 g,丙烯酸用量为 15 g,氢氧化钠 5 g,反应温度保持为 75 °C,通过改变司班-80 用量,探究分散剂司班-80 对吸水树脂吸水性的影响。

#### 1.3.3 反应温度对树脂吸水性的影响

固定柚皮粉质量为 4 g,丙烯酸质量为 15 g,氢氧化钠质量为 5 g,交联剂 MBA 用量为 0.1 g,引发剂用量 0.075 g,亚硫酸钠用量为 0.01 g,反应体系总用水量为 75 g,环己烷用量 225 g,司班-80 用量 1 g,改变反应起始温度,研究反应温度对树脂吸水性的影响。

#### 1.3.4 引发剂过硫酸钾用量对树脂吸水性的影响

固定柚皮粉用量 4 g,丙烯酸质量为 15 g,氢氧化钠质量为 5 g,交联剂 MBA 用量为 0.1 g,亚硫酸钠用量为 0.01 g,反应体系总用水量为 75 g,环己烷用量 225 g,司班-80 用量 1 g,反应温度保持为 80 °C,研究引发剂用量对树脂吸水性的影响。

#### 1.3.5 柚皮粉用量对树脂吸水性的影响

固定丙烯酸用量为 15 g,中和用氢氧化钠质量为 5 g,交联剂用量 0.1 g,引发剂过硫酸钾用量为 0.075 g,亚硫酸钠用量为 0.01 g,体系总水量为 75 g,环己烷用量 225 g,司班-80 用量 1 g,反应温度保持为 80 °C,研究柚皮粉用量的变化对树脂吸水性的影响。

#### 1.3.6 交联剂 MBA 用量对树脂吸水性的影响

固定柚皮粉用量为 3 g, 丙烯酸用量为 15 g, 氢氧化钠质量为 5 g, 引发剂过硫酸钾用量为 0.075 g, 亚硫酸钠用量为 0.01 g, 体系总水量为 75 g, 环己烷用量 225 g, 司班-80 用量 1 g, 反应温度保持为 80 ℃, 研究交联剂用量的变化对树脂吸水性的影响。

### 1.3.7 丙烯酸中和度对树脂吸水性的影响

固定柚皮粉用量为 3 g, 引发剂过硫酸钾用量为 0.075 g, 亚硫酸钠用量为 0.01 g, 体系总水量为 75 g, 环己烷用量 225 g, 司班-80 用量 1 g, 反应温度保持为 80 ℃, 丙烯酸用量为 15 g, 通过改变氢氧化钠用量来改变丙烯酸中和度, 研究丙烯酸中和度对树脂吸水性的影响。

### 1.3.8 油水质量比对树脂吸水性的影响

固定柚皮粉用量 3 g, 丙烯酸用量为 15 g, 中和用氢氧化钠质量为 3.3 g, 引发剂过硫酸钾用量为 0.075 g, 亚硫酸钠用量为 0.01 g, 司班-80 用量 1 g, 反应温度保持为 80 ℃, 体系总水量为 75 g, 改变环己烷的用量, 研究油水质量比(环己烷/蒸馏水)对树脂吸水性的影响。

## 1.4 高吸水树脂吸水性能的测定

称取 1 g 的干燥吸水树脂粉放入烧杯中, 加入 500 mL 蒸馏水在室温下静置吸水 2 h, 待吸水达到饱和后, 用 100 目的滤布过滤, 静置至不滴, 并称其总重, 得树脂对蒸馏水的吸水性。将蒸馏水换为 0.9% 的生理盐水, 以同样的操作, 测得树脂对盐溶液的吸水率。吸液率计算公式为:

吸液率(g/g)=(吸水树脂和滤布总重量-滤布重量)/树脂粉重量

## 1.5 数据统计分析

采用 Excel 及 Origin 软件对数据进行统计分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 司班-80 用量对树脂吸水性的影响

分散剂的使用主要是在反相悬浮聚合过程中降低介质的表面张力, 增加介质的粘度, 使反应体系分散成液滴且难以聚集形成凝胶块<sup>[11]</sup>, 从而维持聚合反应体系的稳定性。由图 1 可知, 分散剂的用量对树脂吸水性的影响是先增加后减少, 用量过多或过少都会使树脂吸水性降低, 当加入 1.0 g(相对单体质量为 6.7%) 司班-80 时, 树脂吸水性相对最好, 对蒸馏水和生理盐水吸水率分别为 283.25 g/g 和 34.21 g/g。当分散剂用量少时, 分散介质表面张力小粘度低, 反应液滴易

相互粘结在搅拌棒及杯壁上形成凝胶块, 使得悬浮聚合体系失稳, 树脂吸水性降低。随着分散剂用量增多, 介质的黏稠度随之增加, 阻碍液滴粘在一起, 形成均匀的颗粒状树脂, 吸水率升高。而分散剂过多会导致在液滴表面形成的保护层厚度过大, 容易导致乳化现象产生, 影响反应聚合, 形成的树脂颗粒变小, 吸水后得凝胶强度变低, 吸水性下降<sup>[12,13]</sup>。

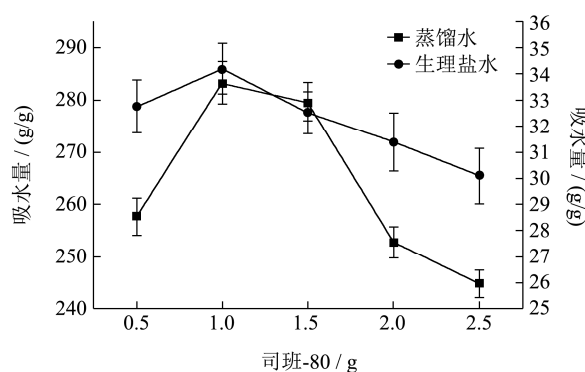


图 1 分散剂用量对树脂吸水性的影响

Fig.1 Effect of dispersant amount on the water absorbency of superabsorbent polymer

### 2.2 反应温度对树脂吸水性的影响

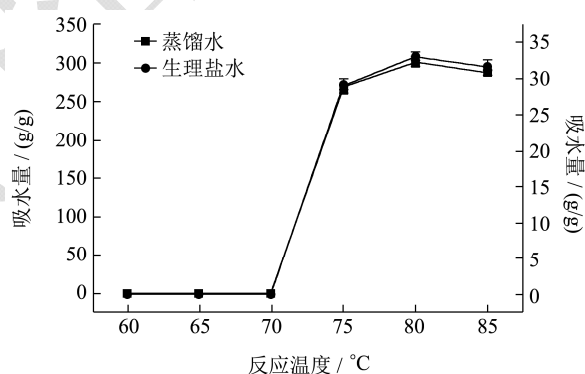


图 2 反应温度对树脂吸水性的影响

Fig.2 Effect of the reaction temperature on the water absorbency of superabsorbent polymer

在本实验规定的反应时间中, 反应温度对树脂吸水性的影响如图 2 所示。在 60 min 的反应时间内, 反相悬浮聚合反应对温度的要求较高, 温度低于或为 70 ℃时, 引发剂的分解速率较慢, 体系中自由基活性较低, 降低了聚合反应速度, 产物交联度不高, 形成的聚合物少且成黏稠状, 基本不成型<sup>[14]</sup>。当反应温度升高至 75 ℃后, 温度的增高使得树脂吸水率先上升后下降, 80 ℃时树脂吸水性最好, 对蒸馏水和生理盐水的吸水率分别为 300.06 g/g 和 32.93 g/g。因为温度升高, 反应速率加快, 反应较完全, 生成有交联度的颗粒状树脂产品, 树脂吸水性上升。而温度过高时, 引发剂分解速率过快, 体系中自由基浓度迅速增加, 容

易产生暴聚反应,且活性自由基迅速增加使得单体自交联增多,影响了树脂的形成,降低树脂吸水性能。

### 2.3 引发剂用量对树脂吸水性的影响

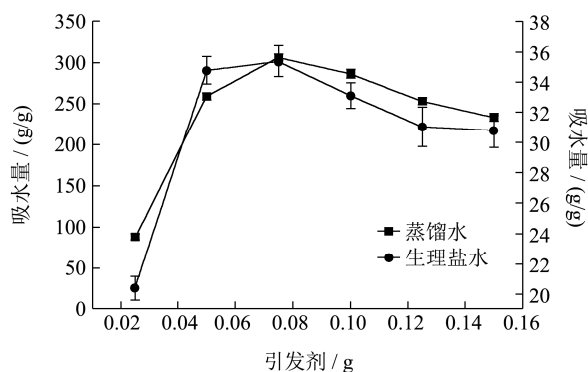


图3 引发剂用量对树脂吸水性的影响

Fig.3 Effect of initiator amount on the water absorbency of superabsorbent polymer

由图3可知,当引发剂过硫酸钾用量低于0.075 g时,树脂吸液倍率随引发剂增多而增加,当引发剂加入量多余0.075 g时,树脂的吸液倍率随引发剂的增多而减少,0.075 g(相对单体质量为0.5%)是此反应体系最佳引发剂用量,此时对蒸馏水吸液倍率达306.36 g/g,对生理盐水吸液倍率达35.40 g/g。引发剂用量过少时,聚合反应的链引发阶段反应速度慢,反应体系中自由基活性小、浓度低,导致接枝速率低,形成的三维网络结构不完善,从而吸水性也较差。随着引发剂加入量的增多,引发剂分接速率变大,自由基浓度也升高,柚皮粉的纤维素接枝单体上活性位点也变多,更易于接枝丙烯酸形成完整的空间网络结构,容纳水分子的能力增强,吸液倍率也变高。而当引发剂用量过多时,一会导致聚合反应速度过快,可能产生爆聚现象;二会使反应体系中同一时间段自由基浓度过高,接枝单体上活性位点过多从而使活性位点之间的距离过小,导致交联度过高,空间过于密集,不利于容纳更多的水分子;三会使丙烯酸单体之间自交联程度变高,聚合产物水溶性部分增多,从而降低吸水性<sup>[15~17]</sup>。

### 2.4 柚皮粉用量对树脂吸水性的影响

柚皮粉用量对树脂吸水性的影响如图4所示,随着柚皮粉用量的增多,树脂的吸液倍率呈现出先增大后减小的变化趋势,当柚皮粉:丙烯酸为1:5,柚皮粉用量为3 g时,生成的吸水树脂对蒸馏水和生理盐水的吸液倍率都达到最高值,分别为307.32 g/g和40.68 g/g。柚皮粉中含有大量纤维素,当加入量过少时,柚皮粉可提供的与丙烯酸接枝的活性位点少,更多丙烯酸发生自聚反应,导致柚皮粉与丙烯酸接枝效率低,

树脂吸水性低。柚皮粉用量增多后,接枝效率变高,更有利于形成大而完整的吸水网络结构,树脂吸水性能逐渐变强。而柚皮粉投入过多时,柚皮粉中的半纤维素和木质素含有的苯酚结构会对树脂的接枝共聚起到一定的阻碍作用,从而影响了接枝共聚反应的顺利进行,使得树脂的吸水性下降<sup>[18]</sup>。

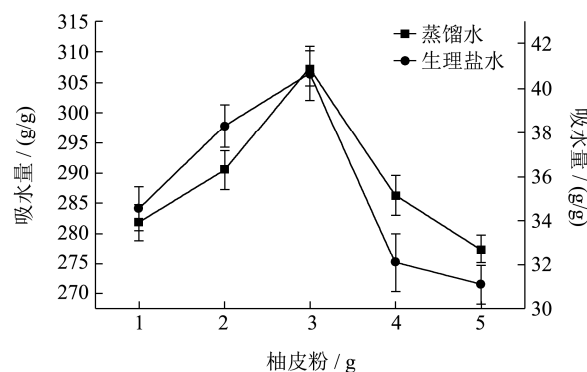


图4 柚皮粉用量对树脂吸水性的影响

Fig.4 Effect of pomelo peel powder amount on the water absorbency of superabsorbent polymer

### 2.5 交联剂用量对树脂吸水性的影响

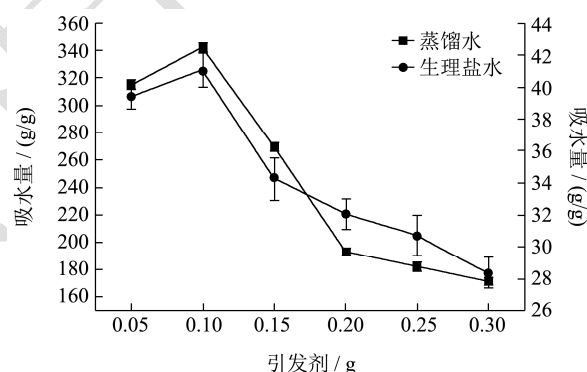


图5 交联剂用量对树脂吸水性的影响

Fig.5 Effect of crosslinking agent amount on the water absorbency of superabsorbent polymer

考察交联剂用量对树脂吸水性的影响如图5所示,树脂对蒸馏水和生理盐水的吸液倍率都随交联剂用量的增加先增多后减少,交联剂用量为0.1 g(相对单体质量0.67%)时对二者吸液性最好,分别为342.15 g/g和41.07 g/g。交联剂在反应中是利用线性大分子的化学键和亲水基团通过链交联构成以柚皮粉中纤维素为骨架的三维网络结构,它的用量直接影响树脂的交联程度从而影响吸水性<sup>[19,20]</sup>。交联剂用量少时,生成树脂的交联度低,吸水网络结构不完善,聚合反应物中易溶于水的线性分子比例多,导致树脂的吸液率低。交联剂增多后,三维网络结构完整,空间网络间的张力增大,吸水性增强。但是交联剂持续增加到过多后,接枝反应物的交联度过于密集,三维网络结构

之间的空间致密且不易扩张,在吸水溶胀网络结构时无法充分舒展开,从而导致树脂吸水性变差<sup>[21]</sup>。

## 2.6 丙烯酸中和度对树脂吸水性的影响

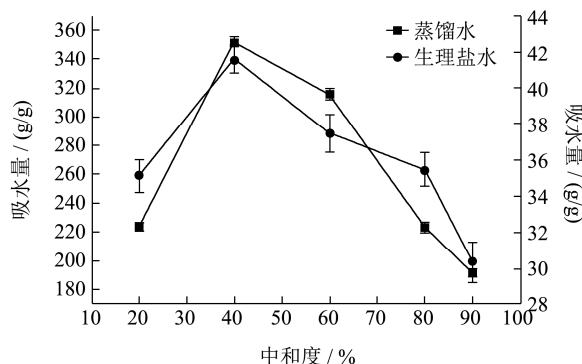


图6 丙烯酸中和度对树脂吸水性的影响

Fig.6 Effect of neutralization degree of AA on the water absorbency of superabsorbent polymer

丙烯酸中和度在反应体系中体现的是丙烯酸和丙烯酸盐的比例,它对树脂吸水性的影响如图6所示,对蒸馏水和生理盐水的吸液倍率影响相似,都随丙烯酸中和度的增加而先增大后减小,在中和度为40%时,吸液倍率最高,在蒸馏水中为352.06 g/g,在生理盐水中为41.60 g/g。丙烯酸中和度低时,体系中丙烯酸含量高于丙烯酸盐,而丙烯酸活性较高,加快了聚合反应速度,聚合反应不易受控制,容易生成少量高度交联的聚合物<sup>[22]</sup>,同时,丙烯酸盐含量低使得聚合物网络结构上亲水性较好的羧酸根负离子较少,网络结构中渗透压也较低,从而吸水性差<sup>[23]</sup>。中和度过高时,反应活性变小会降低聚合反应速度,同时树脂网络结构上羧酸根离子过多,树脂水溶性部分增多,影响了树脂的吸水性<sup>[24]</sup>。

## 2.7 油水比对树脂吸水性的影响

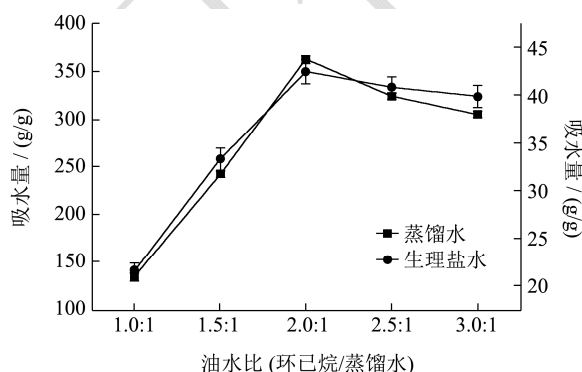


图7 油水比对树脂吸水性的影响

Fig.7 Effect of the ratio of oil to water on the water absorbency of superabsorbent polymer

合适的油水比是保持反相悬浮体系稳定性的重要

因素。改变油水比对树脂吸水性的影响如图7所示,可以看到当油水比为2:1时,树脂在蒸馏水和生理盐水中吸水性最高,分别为362.29 g/g和42.49 g/g,再增大或减小油水比,树脂的吸液倍率都有一定程度的下降。这是因为,反应中若油水比过低,水相分子不能均匀的分散在油相中,液滴在反应过程中容易发生碰撞、粘结而产生凝胶,反应热也不易通过油相散失,形成的树脂吸水性差<sup>[25]</sup>。若油水比过高,反应体系中水相分子之间间距变大,一定程度上限制了反应液滴的活动空间,单体都被分散成较小的液滴,生成的聚合物吸水性下降<sup>[26]</sup>。

## 3 结论

采用反相悬浮聚合法制备了柚皮粉-丙烯酸接枝聚合高吸水树脂,通过单因素实验得到较佳工艺条件:当反应时间控制为60 min时,司班-80用量为单体的6.7%,反应温度为80℃,引发剂用量为单体质量的0.5%,柚皮粉:丙烯酸为1:5,交联剂用量为单体的0.67%,丙烯酸中和度为40%,油水比为2:1,树脂在蒸馏水和生理盐水中吸液倍率最高,分别为362.29 g/g和42.49 g/g。本实验为柚子皮的进一步开发应用提供了新的利用领域,为利用天然可再生资源生成可降解性的高吸水树脂提供了新的思路。

## 参考文献

- [1] Ma J, Xu Y, Fan B, et al. Preparation and characterization of sodium carboxymethyl cellulose/poly(N- isopropylacrylamide)/claysemi-IPNs nanocomposite hydrogels [J]. European Polymer Journal, 2007, 43: 2221-2228
- [2] 周琦.高吸水树脂的发展与应用浅析[J].当代化工研究, 2016,10:89-90  
ZHOU Qi. Analysis of development and application of high water-absorbing resin [J]. Chemical Intermediate, 2016, 10: 89-90
- [3] Nasrin M, Kourosh K. Effective parameters in surface cross-linking of acrylic-based water absorbent polymer particles using bisphenol a diethylene glycidyl ether and cycloaliphatic diepoxide [J]. Iranian Polymer Journal, 2015, 34(11): 977-987
- [4] Fanta G F, Burr R C, Russell C R, et al. Graft copolymers of starch I: copolymerization of gelatinized wheat starch with acrylonitrile, formation of copolymer and effect of solvent on copolymer composition [J]. Journal of Applied Polymer Science, 1996, 10(6): 929-937
- [5] 唐晓璐.高吸水树脂的发展及应用[J].山东化工,2017,46

- (14):55-56,58  
TANG Xiao-lu. Review of the development and application of super absorbent polymers [J]. Shandong Chemical Industry, 2017, 46(14): 55-56, 58
- [6] 周芳宇.根据专利申请信息展望我国高吸水树脂领域技术的发展[J].化工管理,2017,7:61-64  
ZHOU Fang-yu. The prospect of the development of technology in the field of superabsorbent resin based on the information of patent application [J]. Chemical Enterprise Management, 2017, 7: 61-64
- [7] Lepouter P, Hui S H, Robertson A A. The water absorbent of hydrolyzed polyacrylonitrile-grafted cellulose fibers [J]. Journal of Applied Polymer Science, 1973, 17(3): 143-156
- [8] 邓桂兰,魏强华,刘冬梅.柚子皮的综合利用研究[J].食品工业,2013,34(9):180-184  
DENG Gui-lan, WEI Qiang-hua, LIU Dong-mei. Research on the comprehensive utilization of pomelo peel [J]. The Food Industry, 2013, 34(9): 180-184
- [9] Zhang W Z. Synthesis of superabsorbent resin with the properties of temperature tolerant, salt tolerant, and water absorbency deferred [J]. Science and Engineering of Composite Materials, 2014, 21(3): 329-332
- [10] 马斐,程冬炳,王颖,等.聚丙烯酸类高吸水性树脂的合成及吸水机理研究进展[J].武汉工程大学学报,2011,33(1):4-9, 14  
MA Fei, CHENG Dong-bing, WANG Ying, et al. Study on synthesis and absorbing mechanism of superabsorbent resin based on acrylic acid [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2011, 33(1): 4-9, 14
- [11] 于智,秦天龙,刘丹.多元醇为交联剂制备AA/AMPS耐盐性高吸水性树脂[J].合成树脂及塑料,2015,32(3):21-25  
YU Zhi, QIN Tian-long, LIU Dan. Synthesis of AA/AMPS super absorbent resin with salt-resistance by using polyhydric alcohols as cross-linking agent [J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2015, 32(3): 21-25
- [12] 李晗,罗爱倩,李金霞,等.反相悬浮法制备聚丙烯酸盐高吸水树脂的研究[J].广州化工,2016,44(21):59-61  
LI Han, LUO Ai-qian, LI Jin-xia, et al. Study on preparation of polyacrylate salt superabsorbent resin through inverse-suspension polymerization [J]. Guangzhou Chemical Industry, 2016, 44(21): 59-61
- [13] 张铭,胡达,黄健.分散剂对高吸水树脂制备及性能的影响[J].化学工程与装备,2016,2:1-3  
ZHANG Ming, HU Da, HUANG Jian. The effect of dispersant on the preparation and properties of superabsorbent [J]. Chemical Engineering and Equipment, 2016, 2: 1-3
- [14] 田建军,马斐,余响林,等.反相悬浮聚合制备高吸水树脂工艺条件[J].武汉工程大学学报,2012,34(11):9-13,24  
TIAN Jian-jun, MA Fei, YU Xiang-lin, et al. Technology process investigation of superabsorbent resin by inverse suspension polymerization [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2012, 34(11): 9-13, 24
- [15] 谢新玲,赵秋菊,张友全,等.机械活化淀粉接枝丙烯酸高吸水树脂的制备与性能研究[J].化工新型材料,2015,43(6):48-50  
XIE Xin-ling, ZHAO Qiu-ju, ZHANG You-quan, et al. Preparation and property of mechanical activated starch grafted acrylic acid superabsorbent [J]. New Chemical Materials, 2015, 43(6): 48-50
- [16] Sadeghi M, Soleimani F. Synthesis and characterization superabsorbent hydrogels for oral drug delivery systems [J]. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2011, 2(5): 314-316
- [17] 刘玉贵,张瑾,朱忠其,等.聚(丙烯酸-丙烯酰胺)高吸水树脂的制备及性能研究[J].功能材料,2013,44(2):157-160  
LIU Yu-gui, ZHANG Jin, ZHU Zhong-qi, et al. Preparation and properties of acrylic acid and acrylamid superabsorbent copolymer [J]. Journal of Functional Materials, 2013, 44(2): 157-160
- [18] 蒋洪强,谢新玲,童强法,等.淀粉预处理对反相乳液法合成高吸水树脂的影响[J].粮油食品科技,2015,23(6):25-28  
JIANG Hong-qiang, XIE Xin-ling, TONG Qiang-fa, et al. The effect of starch pretreatment on super absorbent resins prepared via inverse emulsion polymerization [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2015, 23(6): 25-28
- [19] 陈学刚,胡智伟.反相悬浮法制备淀粉接枝丙烯酸高吸水性树脂[J].山东化工,2014,43(7):1-3  
CHEN Xue-gang, HU Zhi-wei. The preparation of super-absorbent resin of starch grafted acrylic by inverse suspension polymerization [J]. Shandong Chemical Industry, 2014, 43(7): 1-3
- [20] Ashri A, Lazim A. A Study on the effect of the concentration of N, N - methylenebisacrylamide and acrylic acid toward the properties of dioscorea hispida-stach-based hydrogel [C]// Ukm Fst Postgraduate Colloquium: Universiti Kebangsaan Malaysia, Faculty of Science & Technology Postgraduate Colloquium, 2014, 1614(1): 251-255
- [21] 王向鹏,郑云香,张春晓,等.反相悬浮聚合制备耐高温吸

- 水材料及其性能研究[J].合成树脂及塑料,2017,34(4):44-46,55
- WANG Xiang-peng, ZHENG Yun-xiang, ZHANG Chun-xiao, et al. High temperature resistant water absorption materials prepared via reversed phase suspension polymerization [J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2017, 34(4): 44-46, 55
- [22] 谢建军,梁吉福,罗迎社.PAAM 高吸水树脂反相悬浮聚合[J].高分子通报,2012,7:91-96
- XIE Jian-jun, LIANG Ji-fu, LUO Ying-she. Inverse suspension polymerization of PAAM high water-absorbing resin [J]. Chinese Polymer Bulletin, 2012, 7: 91-96
- [23] 陈日清,蒋煜,储富祥,等.反相悬浮聚合法制备耐盐高吸水树脂的研究[J].林产化学与工业,2006,1:28-32
- CHEN Ri-qing, JIANG Yu, CHU Fu-xiang, et al. Study on preparation and properties of salt tolerant superabsorbent resin through inverse-suspension polymerization [J]. Chemical and Industry of Forest Products, 2006, 1: 28-32
- [24] Kin J H, Lee S B, Kim S J, et al. Rapid Temperature/pH Response of Porous Alginate-g-poly{N-isopropylacrylamide} Hydrogels [J]. Polymer, 2002, 43: 7549-7558
- [25] 余响林,何源,陈小娇,等.纤维素接枝生物可降解高吸水性聚合物的合成工艺及性能研究[J].化工新型材料,2017,45(10):112-114
- YU Xiang-lin, HE Yuan, CHEN Xiao-jiao, et al. Synthesis technology and property of cellulose-based biodegradable superabsorbent polymer [J]. New Chemical Materials, 2017, 45(10): 112-114
- [26] 申艳敏,孙保帅,王天贵.红薯淀粉-丙烯酰胺-丙烯酸三元共聚吸水性树脂的研究[J].粮油食品科技,2013,21(5):16-18, 22
- SHEN Yan-min, SUN Bao-shuai, WANG Tian-gui. Study on absorbent resin of sweet potato starch/acrylamide/acrylic acid [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2013, 21(5): 16-18, 22