

更大的泡泡

张轩赫^{1,†}, 徐梓涵^{1,†}, 孙海楠^{1,†}, 金剑^{2,*}

¹ 哈尔滨工业大学(深圳)材料科学与工程学院, 广东 深圳 518055

² 哈尔滨工业大学(深圳)实验与创新实践教育中心, 广东 深圳 518055

摘要: 吹泡泡乐趣无穷, 老少皆宜。然而, 市售泡泡水成分未知, 对皮肤刺激性较大。本作品以居家物品作为原料, 用单一变量法开发出绿色安全、接触无毒的泡泡水配方, 并吹制巨大泡泡。实验由浅入深, 层层递进, 具有较强的趣味性、探索性, 适合于各个年龄段人群, 有助于激发人们对化学实验的兴趣与热爱。人们可以参与并体验自行配制巨型泡泡水的乐趣。

关键词: 吹泡泡; 居家物品; 泡泡水配方; 巨大泡泡

中图分类号: G64; O6

Giant Bubbles

Xuanhe Zhang^{1,†}, Zihan Xu^{1,†}, Hainan Sun^{1,†}, Jian Jin^{2,*}

¹ School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology (Shenzhen), Shenzhen 518055, Guangdong Province, China.

² Education Center of Experiments and Innovations, Harbin Institute of Technology (Shenzhen), Shenzhen 518055, Guangdong Province, China.

Abstract: Blowing bubbles is a universally enjoyable activity. However, commercially available bubble solutions often contain unknown ingredients that can be irritating to the skin. In this study, we utilized common household items to develop a green, safe, and non-toxic bubble solution using the single variable method, enabling the creation of giant bubbles. The experiment progresses systematically, from basic to advanced, fostering curiosity and exploration. Suitable for individuals of all ages, this endeavor aims to ignite and nurture interest and passion for chemistry experiments. Participants can engage in the delightful experience of concocting their own giant bubble solution.

Key Words: Blowing bubble; Household items; Bubble water formula; Giant bubbles

冰心先生曾经写到吹肥皂泡的乐趣,“这肥皂泡,吹起来很美丽,五色的浮光,在那轻清透明的球面上乱转”^[1]。吹肥皂泡有独特的魅力,老少皆宜,让人乐此不疲。不论是公园,还是小区空旷地带,我们总能见到这样的场景:有的小朋友小心翼翼地试图吹出更大的泡泡,有的小朋友静静地看着希望泡泡保留的时间更长,有的小朋友追逐泡泡。当我们仔细观察,泡泡有时候像一面哈哈镜,映出周围环境的影子;更多的时候吹出的泡泡会慢慢变换五彩斑斓的颜色。所有这些都让泡泡奇妙无穷。泡泡棒、电动泡泡机几乎是小朋友必备。

尽管吹泡泡乐趣无限,但是目前市售泡泡水吹制的泡泡稳定性有限,泡泡的大小也受到限制;

收稿: 2023-09-22; 录用: 2024-01-17; 网络发表: 2024-02-23

[†]共同第一作者,对本文工作同等贡献

*通讯作者, Email: jianjin@hit.edu.cn

基金资助: 哈尔滨工业大学(深圳)首批文理通识核心课程建设项目(HITSZUCC23019)

同时市售泡泡水成分未知，异味大，对皮肤有较强刺激性。本文基于生活中常用的精细化工品用单一变量法探索可吹制巨型泡泡的泡泡水配方，内容包括以下几个方面：(1) 泡泡水各组分对吹制稳定泡泡的影响；(2) 如何用居家常用材料配制对皮肤友好的泡泡水替代市售三无泡泡水；(3) 如何用自制泡泡水吹制巨型泡泡。

1 实验原理

泡泡的产生与表面张力息息相关^[2]。在溶液内部，分子各个方向受到溶液中其他分子的吸引力，其合力为零。单位体积气体中分子的含量是远小于单位体积液体中的分子含量的，在溶液气液两相界面的分子受到溶液内部分子的吸引力要大于界面以上气体分子对其吸引力，因此在溶液表面的分子会收到一个指向溶液内部的力，这就是表面张力，液体表面分子越多，液体受到的表面张力越大，最终导致液体缩成完美的球形，以最小的表面积让表面张力降到最低水平。这种现象在生活中非常普遍，如图1所示，一滴水的形态会倾向球形。

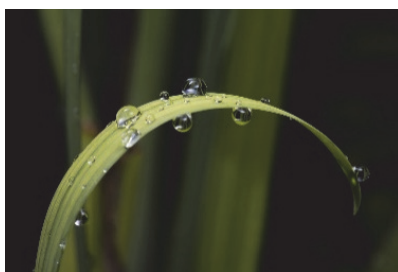


图1 表面张力促进水珠形成^[3]

既然表面张力会导致液体以最小体积呈现，那么泡泡为何能稳定存在呢？泡泡水含有表面活性剂，这是一类由亲水的磺酸基和疏水的链状烷烃组成的两性化合物，表面活性物质在溶液中的排列情形随其在溶液中的浓度不同而有所差异。当浓度极小时，表面活性剂在溶液内部无规则均匀分布(图2a)，浓度逐渐增加，表面活性剂分子逐渐向溶液气液界面靠近(图2b)，最后当浓度增加到一定程度时，表面活性剂分子在溶液气液界面形成单分子饱和吸附层(图2c)，单分子层的存在能有效降低水分子在气液界面的暴露，所以溶液的表面张力会显著降低，此时泡泡不会因为表面张力而溃缩破裂，因此高于此临界浓度的洗洁精水溶液可以吹制较为稳定的泡泡。洗洁精水溶液临界浓度可以用最大气泡法表面张力测定装置测量^[4]。

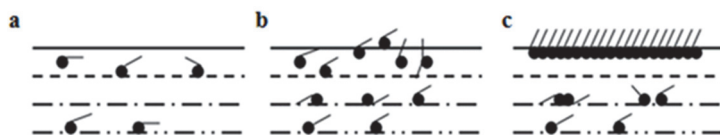


图2 洗洁精表面活性剂分子在溶液中排布微观示意图

泡泡的微观结构如图3所示，类似三明治结构，中间层为水分子，内外两层为有序排列的表面活性剂，表面活性剂亲水基朝向水相，疏水基朝向气相。泡泡吹制过程中，随着泡泡变大，膜的表面积逐渐增大，泡泡液不断向泡泡提供表面活性剂分子和水分子，当供不应求时，泡泡会收口变成球形。同时，如果溶液粘度过大，泡泡水无法动态地向泡泡补充表面活性剂分子和水分子，泡泡甚至无法成功吹出。另外，泡泡水中的水分子一直都在缓慢地蒸发，泡泡巨大的比表面积使得泡泡中水分子的蒸发比泡泡水更为剧烈，这会造成形成的完整泡泡破裂，因此需要加入其他物质延缓水分子

的蒸发，延长泡泡存在的时间。同时，在吹制巨型泡泡的过程中，还需要向泡泡水中加入高分子化合物以提高膜的强度，减少外力如风等因素导致的泡泡破裂^[5]。

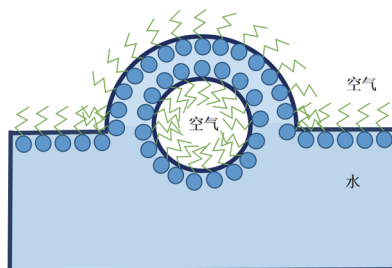


图3 泡泡的微观结构

2 实验部分

2.1 试剂

实验所用试剂如表1所示。

表1 试剂及材料

序号	原料	厂家
1	家用洗洁精	广州立白
2	纯净水	深圳怡宝
3	小苏打	宜昌百钻
4	瓜尔豆胶	青岛佳禾旭日
5	聚丙烯酸钠	广州利成
6	护肤甘油	苏州时润
7	白砂糖	南京甘汁园

2.2 仪器

表面张力测试仪(南京桑力, DP-AW-I), 数控恒温槽(南京桑力, SYC-15C)。

2.3 实验内容与结果

2.3.1 洗洁精-纯净水临界配比的确定

我们配制了一系列浓度的洗洁精水溶液，测量不同浓度下溶液的表面张力并作图，如图4所示，随着洗洁精浓度的提高，溶液表面张力逐渐降低。在洗洁精浓度低于0.5%时，溶液表面张力随洗洁

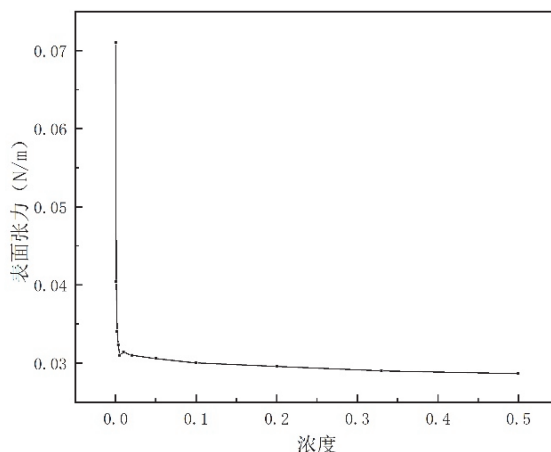


图4 系列洗洁精水溶液表面张力与浓度的关系

精浓度增加急剧下降。再增大浓度时，过剩的表面活性物质将会在溶液中形成胶束，对溶液的表面张力影响不大。因此，洗洁精-水的质量浓度高于0.5%才有可能吹制出泡泡。

2.3.2 洗洁精-纯净水配比的确定

我们制作吹泡器如图5b，将胶头滴管气囊部分剪开一半，将其边缘剪成锯齿状，用铁架台与橡胶管搭建如图5a装置，其中橡胶管连接稳定平缓气流的气源。在恒定气流下，用不同配比浓度的洗洁精-纯净水(临界浓度以上)吹泡泡，并记录泡泡产生到破裂的时间，结果如图6a所示。洗洁精-纯净水配比1:10时，泡泡维持的时间最长，接近2 min。更高浓度下，泡泡持续的时间有所缩短，因此在接下来的实验中，我们固定洗洁精-纯净水的质量/体积比为1:10，即40 g洗洁精溶于400 mL纯净水中。

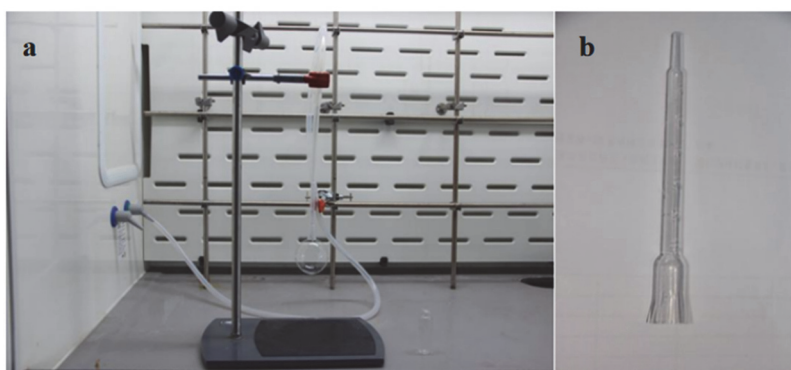


图5 泡泡稳定性测试装置(a)及吹泡器(b)

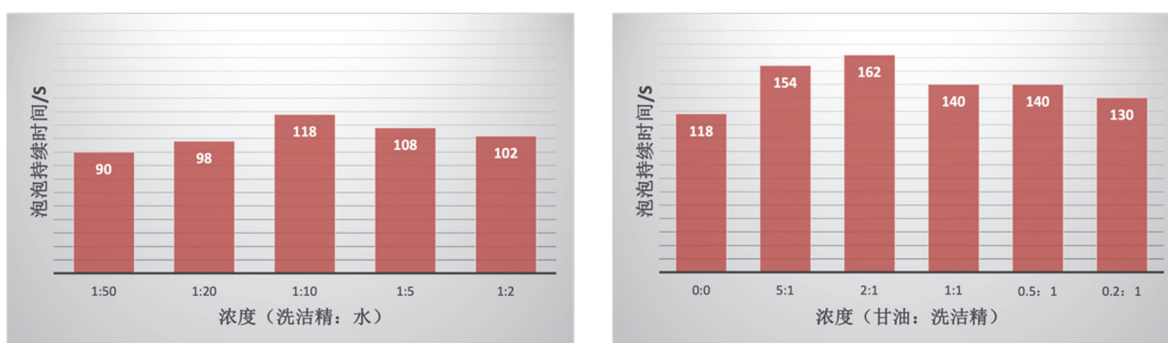


图6 洗洁精浓度(a)及甘油浓度(b)对泡泡性能的影响

2.3.3 泡泡水添加剂的筛选

居家常用皮肤保湿化妆品是润肤甘油，其主要成分是丙三醇，分子结构含有三个羟基，能与水分子形成氢键，具有非常好的保湿作用，是延缓泡泡膜层水分子蒸发的绝佳原料。在1:10(质量/体积比)的洗洁精-纯净水溶液中，我们加入不同量的润肤甘油，继续用图5a所示装置吹气泡并计时，计算泡泡持续时间，结果如图6b所示，甘油的加入能显著提高泡泡存续时间，其中润肤甘油-洗洁精-纯净水(质量:质量:体积)比2:1:10条件下泡泡持续时间最佳。

为了探究实际情况下添加剂对泡泡长度的影响，我们设计了如图7b所示的实验，在墙上等距标记长度，固定相机机位，用图7a所示工具吹制超大泡泡，用相机捕捉泡泡破裂瞬间，通过测量图片中的泡泡长度，比例尺换算得到泡泡实际长度，并作图统计。如图7a所示，巨型泡泡制作工具由伸缩杆与棉线组成，其中伸缩杆可用晾衣杆替代。

然而，实验结果表明，严格按照图6b的最佳比例反而不能吹制巨型泡泡，这与文献经验是吻合的^[6]，尽管甘油的加入减缓了水分的蒸发，但甘油的加入使得泡泡水粘度增加，不利于巨型泡泡的吹制。

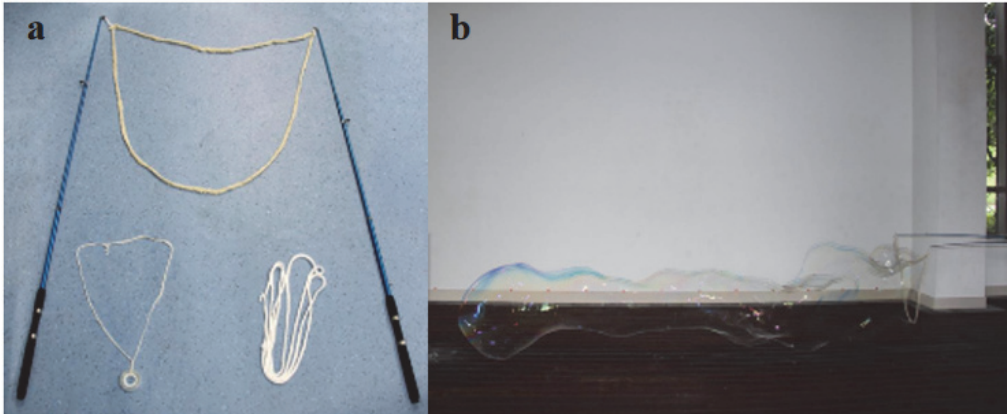


图7 吹泡工具(a)及泡泡长度测量实验(b)

瓜尔豆胶是从瓜尔豆的胚乳中提取的天然产物，在食品等领域有广泛应用^[7]。如图8a所示，瓜尔豆是六碳糖高分子聚合物，结构由D-甘露糖通过 β -1,4-糖苷键形成分子主链，同时D-半乳糖通过 α -1,6-糖苷键形成分子侧链。这种独特的结构使得瓜尔豆胶具有极佳的水溶性，同时分子机构中富含羟基，能与水分子形成大量氢键，既能减少泡泡水的蒸发，也能提高泡泡膜的强度，是国内外大泡泡配方的“秘密武器”。为了探究瓜尔豆胶的浓度对大泡泡形成的影响，我们继续用测试泡泡长度的实验方法，实验结果见9a，瓜尔豆胶的加入对泡泡的稳定与大小有一定程度的改善，且瓜尔豆胶加入量低于1.8 g时，瓜尔豆胶浓度越高效果越明显。

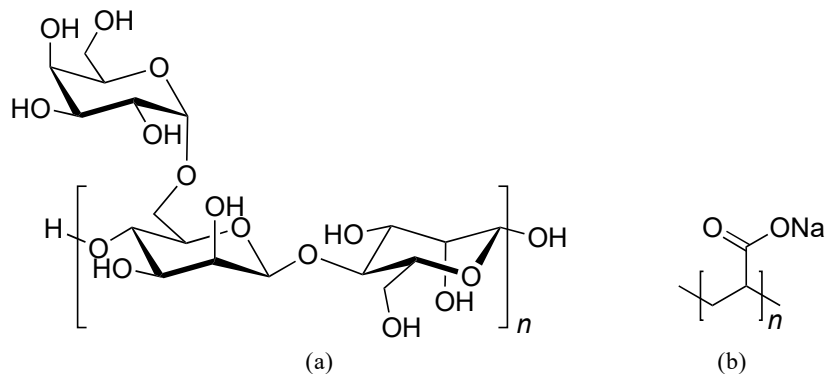


图8 高分子添加剂结构
(a) 瓜尔豆胶; (b) 聚丙烯酸钠

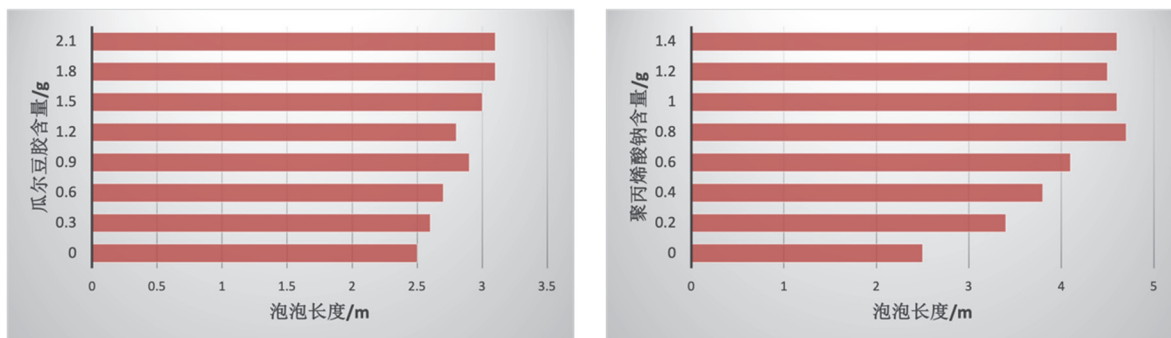


图9 瓜尔豆胶(a)和聚丙烯酸钠(b)对泡泡长度的影响

同样作为高分子聚合物的聚丙烯酸钠，是常用食品增黏剂，也是高性能吸水材料，纸尿裤、卫生巾等生活用品的吸水材料也离不开它，如图8b所示，聚丙烯酸钠聚合物单体来自聚丙烯酸钠。分子结构主链是疏水性亚甲基聚合物，分子侧链是亲水性羧酸钠，这种结构既表现出表面活性剂性质，分子结构中的羧酸钠单元强烈的吸湿性能可以有效减缓泡泡膜中水分的蒸发，同时该结构单元与水分子的氢键以及静电吸附性可以提高泡泡膜的强度。因此我们预测聚丙烯酸钠聚合物的加入也可以提高泡泡的稳定性。如图9b所示，聚丙烯酸钠的加入对泡泡的稳定与大小有显著改善，其含量为千分之二(质量/体积比)左右均能吹制出很好的巨型泡泡，效果显著优于瓜尔豆胶。

2.3.4 泡泡水pH对泡泡稳定性的影响

在以上结果中，瓜尔豆胶的加入对泡泡的形成有促进作用，但在初始溶液基础上直接添加瓜尔豆胶的泡泡液的效果并不明显，如图9a所示，泡泡长度只增加20%。通过测量pH我们发现，洗洁精实际上是弱酸性(图10a)，溶液中氢离子含量较高，能竞争性抑制瓜尔豆胶分子与水分子形成氢键，我们认为调节泡泡水pH至碱性减少氢离子对瓜尔胶-水分子氢键的破坏可以增强泡泡膜强度与稳定性。小苏打作为常见的食品添加剂，在面食发酵中加入以中和发酵产生的有机酸，提高面食发酵质量与口感。我们用初始溶液配制不同小苏打浓度梯度的溶液测其pH，结果如图10a所示，由左至右分别为空白对照组，小苏打含量(质量/体积比)为0.25%、0.625%、2.5%的溶液，用比色卡对比得其pH分别为5、7、7.5、7.5。由此可见，小苏打的添加可以调节溶液pH至近中性，但当其添加量达到一定值时，pH不变。

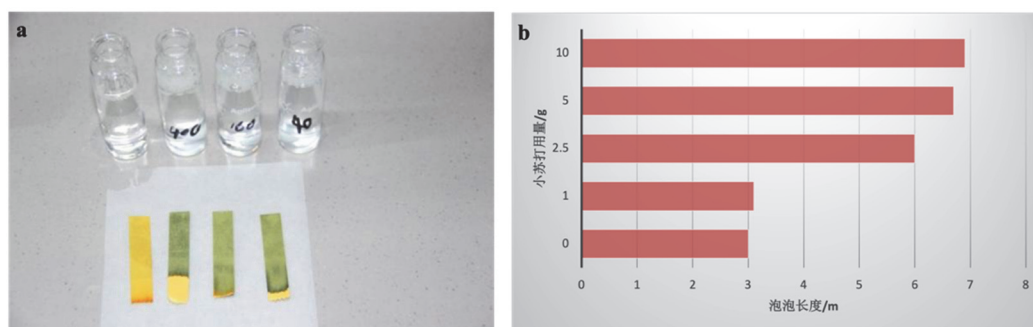


图10 小苏打浓度对溶液pH (a)和泡泡长度(b)的影响

针对小苏打的用量我们设计一系列小苏打浓度梯度，测量泡泡长度，结果如图10b所示，小苏打的加入显著提高了泡泡的长度，当小苏打添加量达到2.5 g时，泡泡长度显著增加，增加100%。但是小苏打添加量陆续增加到10 g，泡泡长度不再明显增加。实验结果证实了我们的推测，即在弱碱性条件下，瓜尔豆胶能与泡泡液水分子形成大量氢键，强化巨型泡泡膜并提高其稳定性。因此，加入约10 g小苏打调节适宜的pH是形成大泡泡的重要因素。

2.3.5 泡泡水配制

基于以上实验数据，我们确定巨型泡泡水配方如下：洗洁精40 g、自来水400 mL、瓜尔豆胶1.5 g、小苏打10 g。先将400 mL水倒入容器，后加入40 g洗洁精、10 g小苏打，进行搅拌，随后加入1.5 g瓜尔豆胶并持续搅拌直至完全溶解即可。基于本配方配制的泡泡水，不仅能吹制巨型泡泡，即便是用市售泡泡棒也能吹出美丽的泡泡(图11)。

3 注意事项

本实验所有原料来自居家物品，安全性较高，但是泡泡水比较滑，同时溶液表面张力远小于纯水，如果洒落在光滑的地面，泡泡水因为自身重力作用会扩散平铺形成较大的泡泡水液面，很容易引起实验人员滑倒摔伤，因此最好在草坪等地开展。如果在室内预先配制泡泡水，要及时清理地面洒落的泡泡水，防止跌倒事故发生。



图11 泡泡效果

4 结语

本实验以物理化学经典实验表面张力测定为出发点,设计泡泡稳定性测试、泡泡长度测试的试验方法,以家中常见的物品作为原料,开发出无接触毒性、对皮肤友好、绿色环保、适合各年龄段人群使用的泡泡水配方。实验完整展现了泡泡水配方的开发过程,所得到的配方吹制泡泡稳定性好,适用于大部分泡泡应用场景。泡泡水开发过程用到了科学研究经典策略单一变量法,逻辑严密,可操作性强。本泡泡水配方可用于中小学、幼儿园的趣味展示实验,配方开发过程可以面向各个年龄段学有余力的学生开展。

参 考 文 献

- [1] 冰心. 冰心散文. 杭州: 浙江文艺出版社, 2022.
- [2] 黄励勤, 于明鑫, 荣新. 物理与工程, **2020**, *30* (5), 117.
- [3] 各种水珠. [2023-09-19]. <https://www.zcool.com.cn/work/ZMjc0NzAxOTY=.html>
- [4] 顾月妹. 基础化学实验(III)——物理化学实验. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [5] Frazier, S.; Jiang, X.; Burton, J. *Phys. Rev. Fluids* **2020**, *5*, 013304.
- [6] Home. [2023-09-16]. https://soapbubble.fandom.com/wiki/Soap_Bubble_Wiki
- [7] 邹时英, 王克, 殷勤俭, 江波. 化学研究与应用, **2003**, *15* (3), 317.