

# 一种新型蛋白质混凝土发泡剂的 研制及性能研究

刘佳奇, 霍冀川, 雷永林, 李 娴

(西南科技大学应用化学研究所, 四川 绵阳 621010)

**摘要:**以啤酒废酵母为原材料,制备一种新型的蛋白质混凝土发泡剂并通过正交实验对水解条件进行优化。研究了发泡剂以及不同添加剂对其发泡性能和泡沫稳定性的影响,结果表明表面张力是发泡剂发泡性能提升的重要因素,但对泡沫稳定性没有决定性影响;适当增加溶液黏度可延长其泡沫稳定时间,其中添加卡拉胶 0.1%/100 mL 发泡液时,发泡体积为 725 mL,其泡沫稳定时间也超过了 25 h。

**关键词:**啤酒废酵母;发泡剂;蛋白质;机理;表面张力;黏度

**中图分类号:** TU528.042

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4320(2010)03-0054-03

## Preparation of a novel protein foaming agent for concrete and its performance

LIU Jia-qi, HUO Ji-chuan, LEI Yong-lin, LI Xian

(Institute of Applied Chemistry, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

**Abstract:** A novel protein foaming agent for concrete is prepared using spent brewer's yeast as raw material and the optimal hydrolyzing conditions are obtained in terms of the orthogonal tests. The effects of foamability and foam stability of the foaming agent with different additives are investigated. The results show that the foamability has been determined by the surface tension as a key factor, however, it does not provide a direct connection between the surface tension and foam stability definitively. Increasing the solution viscosity moderately can extend the foam retaining duration, with the addition of 0.1 g carrageenan per 100 mL of foaming solution, the foam volume is 725 mL, and its foam retaining duration exceeds 25 hours.

**Key words:** spent Brewer's yeast; foaming agent; protein; mechanism; surface tension; viscosity;

混凝土发泡剂已从早期的以表面活性剂为起泡源逐渐向蛋白质转变,美国、日本、意大利等国已相继开发出多种高效蛋白质类发泡剂。我国目前多以动物毛发蹄角为原料。我国啤酒工业的副产物啤酒废酵母的产量是 30~45 kt/a,而啤酒废酵母富含大量的蛋白质(占酵母细胞干质量的 50%<sup>[1]</sup>);目前欧、美、日等发达国家对啤酒废酵母的综合利用比较重视<sup>[2-4]</sup>。在我国对啤酒废酵母的研究和利用起步虽晚,但发展速度很快,在对饲用酵母、酵母抽提物、营养食用酵母和酵母生物活性物质等都有研究。笔者以啤酒废酵母为主要原料,研制出一种新型混凝土发泡剂。

## 1 实验部分

### 1.1 发泡剂的制备工艺

在啤酒废酵母泥中,含有大量除蛋白质以外的

促进泡沫生成及稳定的物质<sup>[5]</sup>。用去离子水稀释洗涤后 100 目筛分,以 3 000 r/min 低速离心 10 min 获得粗酵母泥;用双倍体积的质量分数为 0.5% 的 NaHCO<sub>3</sub> 洗涤粗酵母泥,再以 4 000 r/min 离心 10 min;最后用双倍体积的质量分数为 0.4% 的酒石酸洗涤离心获得酵母蛋白泥,此时原料经处理后呈灰白色,无臭味,冷藏保存待后续实验。预处理流程总结为:啤酒废酵母→洗涤筛分离心分离→0.5% NaHCO<sub>3</sub> 处理后离心分离→0.4% 酒石酸处理后离心分离→酵母蛋白泥(冷藏备用)。

提高酵母蛋白水解物中多肽及氨基酸含量的核心技术是酵母细胞的破碎和蛋白质的降解。实验采用 Ca(OH)<sub>2</sub> 碱液加少量 NaHSO<sub>3</sub> (0.5 g) 对酵母蛋白泥进行水解。将预处理的酵母蛋白泥 20.0 g 置于 500 mL 圆底烧瓶中,然后加入 100 mL 碱液,在一定温度下使其水解若干小时,冷却过滤得发泡剂

收稿日期:2009-11-19

基金项目:先进建筑材料四川省重点实验室 2008 年度培育基金项目(08zxyp07);四川省建设厅新型墙体材料专项基金支持

作者简介:刘佳奇(1984-),男,硕士生;霍冀川(1962-),男,博士,教授,主要从事混凝土外加剂的研究,通讯联系人,0816-2419209,huoji-chuan@swust.edu.cn。

母液,然后再将滤液冷冻干燥 48 h,即得发泡剂。

实验所用啤酒废酵母来自华润雪花啤酒(绵阳)有限责任公司;Ca(OH)<sub>2</sub>、NaHSO<sub>3</sub>、明胶、甲醇,均为分析纯;卡拉胶、黄原胶为食品级。

## 1.2 发泡剂性能测试与表征

采用高速搅拌法对发泡剂的半衰期、起泡高度以及稳定时间等性能进行测试,最后通过溶液表面张力和黏度对发泡剂性能进行机理研究。将以按一定比例混合的发泡剂和水溶液 100 mL 倒入 1 000 mL 带有刻度的烧杯中,在转速为 3 600 r/min 的搅拌速度下发泡 3 min,记下泡沫体积和高度后静置计时。发泡剂发泡完全后至发泡液析出 50 mL 所需时间为发泡剂的半衰期;当泡沫体积还剩下 100 mL 时,可认为此时泡沫基本消完,记录下时间即为发泡剂泡沫稳定时间。仪器包括芬兰 KSV 公司 Sigma 700 表面张力仪和美国 Brookfield 公司 LV-DV II 黏度计。

## 2 结果与讨论

### 2.1 发泡剂制备条件的优化

实验发现水解时间越长,水解程度越深,水溶液中的小分子也更多,但在发泡能力上有所增强,稳定时间却不甚理想;如果水解时间过短,一些蛋白质大分子无法溶于水中,导致起泡性很差。蛋白质水解是一个极不稳定的过程,除了水解时间外,水解温度和水解剂的选择也是影响蛋白质水解结果的重要因素,尤其是对于蛋白质中的一些较敏感的氨基酸更是如此。基于此,在单因素实验基础上以水解温度、Ca(OH)<sub>2</sub> 浓度(质量分数)、水解时间为 3 个因素,每个因素取 3 个水平,设计 L<sub>9</sub>(3<sup>3</sup>) 正交实验,将发泡高度和稳定时间作为考察目标。正交实验结果

(表略)显示,影响发泡剂泡沫体积因素的主次顺序为水解温度 > Ca(OH)<sub>2</sub> 浓度 > 水解时间,而影响其稳定时间的主次因素为 Ca(OH)<sub>2</sub> 浓度 > 水解时间 > 水解温度。考虑到降低实验成本,最终得出 2 个考察目标的最佳条件为:水解温度 80℃、Ca(OH)<sub>2</sub> 质量分数 1.5%、水解时间 3 h。以此最优方案制得发泡剂,对其基本性能进行测试,结果表明实验室自制蛋白质发泡剂与某国产动物蛋白发泡剂性能相近,基本达到预期目标。

### 2.2 表面张力对发泡剂性能的影响

依照上述正交实验最佳条件制备发泡剂,冷冻干燥后分别配制质量分数为 2%、3%、4%、5% 的发泡剂溶液,以及在 5% 发泡剂溶液中移入 0.1 mL 甲醇的混合溶液,通过测试溶液表面张力对发泡剂溶液的发泡性能进行研究。

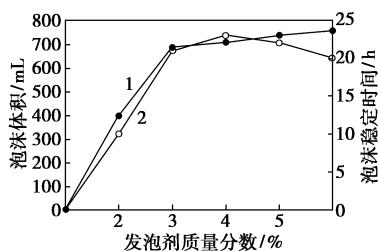
图 1 为不同浓度发泡剂与发泡体积及泡沫稳定时间的关系曲线,可看出随着发泡剂浓度增加,其发泡性能也随之增加。这与图 2 中发泡剂浓度-溶液表面张力关系曲线产生了一定的关联:溶液表面张力的降低可以提升发泡剂的起泡能力,当溶液表面张力降至最低时,其发泡体积也达到了此阶段的最高值。当发泡液浓度较低(小于 2%)时,溶液中的水溶性蛋白质含量较低,其疏水性蛋白质含量少,不能充分地形成气-液界面,导致发泡剂泡沫体积较小;但随着发泡剂浓度的不断增大,溶液表面张力减小,体系表面能也随之减小,溶液起泡性增加。而 0.1 mL 甲醇的加入使溶液的表面活性基团吸附量增大,醇羟基一定程度地增强了溶液的水合作用,从而进一步降低了溶液表面张力,发泡剂起泡性能有所增加。但图 1 也显示,不同浓度发泡液的泡沫稳定时间并不是与其溶液表面张力变化呈完全对应的

(上接第 53 页)

[6] 李世光,徐绍平,路庆花,等.快速热解生物油柱层析分离与分析[J].太阳能学报,2005,26(4):549-555.  
 [7] 武景丽,汪丛伟,阴秀丽,等.生物油分离方法的研究进展[J].石油化工,2008,37(1):95-99.  
 [8] 陆强,朱锡锋,李文志,等.生物质快速热解产物在线催化提质研究[J].科学通报,2009,54(8):1139-1146.  
 [9] Garcia-Perez M, Wang X S, Shen J, et al. Fast pyrolysis of oil mallee woody biomass: Effect of temperature on the yield and quality of pyrolysis products[J]. Ind Eng Chem Res, 2008, 47: 1846-1854.  
 [10] Heo H S, Park H J, Park Y K, et al. Bio-oil production from fast pyrolysis of waste furniture sawdust in a fluidized bed[J]. Bioresource Technology, 2010, 101: S91-S96.  
 [11] Boateng A A, Daugaard D E, Goldberg N M, et al. Bench-scale flu-

idized-bed pyrolysis of Switchgrass for bio-oil Production[J]. Ind Eng Chem Res, 2007, 46: 1891-1897.

[12] 刘荣厚,牛卫生,张大雷.生物质热化学转换技术[M].北京:化学工业出版社,2005.  
 [13] 张琦,常杰,王铁军,等.固体酸改质生物油的研究[J].燃料化学学报,2006,34(6):680-684.  
 [14] Chaala A, Ba T, Garcia-Perez M, et al. Colloidal properties of bio-oils obtained by vacuum pyrolysis of softwood bark: Aging and thermal stability[J]. Energy and Fuels, 2004, 18: 1535-1542.  
 [15] 吴汉靓,刘荣厚,邓春健.木屑快速热裂解生物油特性及其红外光谱分析[J].农业工程学报,2009,25(6):219-223.  
 [16] 郑志锋,蒋剑春,戴伟娣,等.生物质能源转化技术与应用:Ⅲ.生物质热解液体燃料油制备和精制技术[J].生物质化学工程,2007,41(5):67-77. ■



1—泡沫体积;2—泡沫稳定时间

图1 不同浓度的蛋白质发泡剂的发泡性能及泡沫稳定性

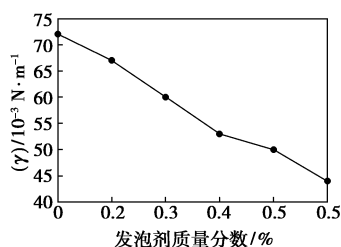


图2 不同浓度蛋白质发泡剂溶液表面张力

关系。这也说明了溶液表面张力大小直接决定其发泡性能高低,但对于本实验蛋白质发泡剂来讲,表面张力的变化并不是影响其泡沫稳定时间的第一要素。

### 2.3 溶液黏度对发泡剂性能影响

泡沫稳定性主要取决于泡沫液膜的机械强度和液膜排液快慢<sup>[6]</sup>。液膜的机械强度主要由液体表面单分子层内的黏度决定;而液膜排液速度可以通过改变溶液黏度控制,从而影响泡沫的半衰期和稳定时间。

表1 不同外加剂对酵母蛋白发泡液性能影响

外加剂(剂量)	空白	黄原胶 (0.01%)	明胶 (0.1%)	卡拉胶 (0.1%)
溶液黏度/mPa·s	2.50	12.5	7.00	7.50
泡沫半衰期/min	23	55	37	42
泡沫体积/mL	730	720	735	725
泡沫稳定时间/h	22	18	21	26

表1为质量分数为5%的酵母蛋白发泡液中掺入不同种类增黏剂后的泡沫半衰期、黏度变化及泡沫体积和泡沫稳定时间情况,可知不同增黏剂都大幅度提高了泡沫半衰期,与溶液黏度变化情况相符,在室温下随着增黏剂对发泡液黏度不同程度的提

升,使液膜内液体不易流失,气体在液膜中的溶解度降低,从而大大降低了液膜的排液速度;但溶液黏度增加并不一定使溶液发泡性能提高,原因可能是黏度的增加降低了蛋白质的溶解度,易于形成胶团,实际上可供起泡的分子减少,导致起泡性能减弱。而溶液黏度过大也可能导致其泡沫稳定性降低,其中质量分数为0.01%黄原胶的加入使溶液黏度达到最高,但泡沫稳定时间却为最短,原因为黏度过大使得液膜内分子移动相对变缓,一定程度地降低了Marangoni效应<sup>[7]</sup>,泡沫自我修复能力下降,最终不利于泡沫的稳定。

### 3 结语

利用啤酒废酵母为原料研制了一种新型的蛋白质发泡剂,通过正交实验得出制备发泡剂最佳条件:20g酵母蛋白泥在1.5%碱液100mL中,80℃下水解3h。表面张力降低可有效地增大发泡剂的泡沫性能。甲醇的加入进一步降低了溶液表面张力,泡沫性能也略有提升;但泡沫稳定时间大小并不完全取决于其溶液表面张力的变化。在研究的3种增黏剂中卡拉胶的效果最好,其发泡体积为725mL,泡沫稳定时间达26h。

### 参考文献

- [1] 孙伟峰,周素梅,王强. 废啤酒酵母综合利用研究进展[J]. 化工进展, 2008, 7(27): 990-994.
- [2] Lamoophak W. Hydrothermal decomposition of yeast cells for production of proteins and amino acids[J]. Journal of Hazardous Materials, 2006, 137(3): 1643-1648.
- [3] Shotipruk A. Application of rotary microfiltration in debittering process of spent brewers yeast[J]. Bioresource Technology, 2005, 96(17): 1851-1859.
- [4] Osamu K. A yeast extract high in bioactive peptides has ablood-pressure lowering effect in hypertensive model[J]. Current Medicinal Chemistry, 2005, 12(26): 3085-3090.
- [5] Bamfnrth C W. Perceptions of beer foam[J]. J Inst Brew, 2000, 106(15): 229-238.
- [6] Maldonado-Valderrama J, Martin-Molina A, Martin-Rodriguez A, et al. Surface properties and foam stability of protein/surfactant mixtures: Theory and experiment[J]. J Phys Chem: C, 2007, 111(7): 2715-2723.
- [7] 赵国玺,朱步瑶. 表面活性剂作用原理[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2003: 205. ■

欢迎订阅《现代化工》杂志,邮发代号82—67。