

文章编号:1673-1689(2009)06-0822-06

# 小麦面筋蛋白质酶解产物用作啤酒发泡蛋白的研究

张影陆<sup>1,2</sup>, 孙琳琳<sup>1,2</sup>, 陆健<sup>\*1,2</sup>, 孙军勇<sup>2</sup>

(1. 江南大学 工业生物技术教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 生物工程学院, 江苏 无锡 214122)

**摘要:**为改善啤酒的泡沫性能,作者分别采用木瓜蛋白酶、胃蛋白酶以及碱性蛋白酶对小麦面筋蛋白进行适度酶解改性,并对其产物用作啤酒发泡蛋白的可行性进行了研究。结果表明,经适度酶解作用后,小麦面筋蛋白在 pH 4.5 条件下溶解性和泡沫性能得到显著改善( $p < 0.05$ ),且小麦面筋蛋白酶解产物在啤酒环境中热稳定性较好,经 30 min 的热处理,含 100 mg/L 小麦面筋蛋白酶解产物的啤酒浊度与加热前相比增加不显著( $p > 0.05$ )。小麦面筋蛋白胃蛋白酶酶解产物和碱性蛋白酶酶解产物对啤酒初始泡持性的改善效果都较好,但胃蛋白酶酶解产物对酵母蛋白酶 A 作用较敏感,对纯生啤酒货架期内泡持性的改善效果不太理想,而碱性蛋白酶酶解产物可明显改善纯生啤酒货架期内的泡沫稳定性。

**关键词:**小麦面筋蛋白酶解产物;啤酒;发泡蛋白;泡沫稳定性

中图分类号:TS 210.9

文献标识码:A

## Enzymatic Hydrolysates of Wheat Gluten as Foaming Proteins in Beer

ZHANG Ying-lu<sup>1,2</sup>, SUN Lin-lin<sup>1,2</sup>, LU Jian<sup>\*1,2</sup>, SUN Jun-yong<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Industrial Biotechnology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** In order to improve the foam stability of beer, papain, pepsin and alcalase were used as limited enzymatic modification of wheat gluten, and the feasibility of which using as foaming proteins in beer was studied in this paper. Results showed that the solubility and foaming properties were significantly improved ( $p < 0.05$ ) by limited hydrolysis, and gluten hydrolysates have good thermal stability in beer. Haze of beers containing 100mg/L gluten hydrolysates didn't increase significantly ( $p > 0.05$ ) after heat treatment for 30 minutes at 65 °C. Both pepsin-assisted gluten hydrolysates and alcalase-assisted gluten hydrolysates can improve the initial foam stability of beer greatly. However, the pepsin-assisted gluten hydrolysates are not suitable to be used in unpasteurized beer because it is sensitive to the hydrolysis of proteinase A. Foam stability of unpasteurized beer during storage can be obviously improved by alcalase-assisted gluten hydrolysates.

收稿日期:2009-03-07

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAK36B01);长江学者和创新团队发展计划资助项目(IRT0532);江苏省“青蓝工程”资助项目。

作者简介:张影陆(1968-),女,江苏泰州人,工学硕士,讲师,主要从事酿酒科学研究。

\*通讯作者:陆健(1968-),男,江苏太仓人,工学博士,教授,博士生导师,主要从事发酵工程研究。

Email: jlu@jiangnan.edu.cn

**Key words:** wheat gluten hydrolysate, beer, foaming protein, foam stability

啤酒泡沫素来享有“啤酒之花”之誉,优质的泡沫性能是衡量啤酒质量的重要指标之一。评价啤酒的泡沫性能通常有以下几项指标:起泡力、泡持性(泡沫稳定性)、挂杯力以及外观<sup>[1]</sup>。其中,起泡力是其他性能发挥的前提,而泡持性则是评价泡沫性能优劣最重要的一项指标<sup>[2]</sup>。研究认为,啤酒中的泡沫活性蛋白是构成啤酒泡沫骨架结构的最基本、最重要的组分<sup>[3]</sup>。然而,由于生产企业为了降低生产成本,满足消费者追求新鲜、清爽口感的需求,近年来,市场上纷纷涌现出高辅料酿造啤酒、高浓稀释啤酒以及纯生啤酒,而泡持性较差是这些啤酒所存在的一个共性问题<sup>[4-5]</sup>。针对啤酒泡持性差的现状,国内外也采取了不少解决措施,例如在清酒过滤前添加泡沫改良剂(即后修饰技术)。藻酸丙二醇酯(PGA),是啤酒生产企业使用最多的泡沫稳定剂。但有研究表明,在啤酒中泡沫活性蛋白含量明显不足的情况下,添加PGA后的效果甚微<sup>[1]</sup>,且该物对纯生啤酒货架期内泡沫稳定性的改善效果并不明显。通过研究,啤酒泡持性差或是由于啤酒本身泡沫活性蛋白含量不足,或是由于在货架期内啤酒中残留的酵母蛋白酶A对泡沫活性蛋白的降解作用造成的。因此,作者致力于研究并开发一种本身泡沫性能优良,且能耐蛋白酶A作用的泡沫活性蛋白,以作为发泡蛋白应用于啤酒行业,从而达到提高新鲜啤酒泡持性和改善纯生啤酒货架期内泡沫稳定性的目的。众所周知,小麦啤酒的泡沫洁白、细腻、丰富且泡持性好,是由于高相对分子质量小麦蛋白质的存在<sup>[6]</sup>。谷朊粉(活性面筋粉)为生产淀粉的副产物,其蛋白质质量分数高达75%以上,其中小麦面筋蛋白质含量占小麦蛋白总量的72%左右。研究表明,小麦面筋蛋白质经酶法改性后,溶解性和泡沫性能都有所改善<sup>[7-9]</sup>。但小麦面筋蛋白经蛋白酶酶解作用后,能否在啤酒中应用,是否能达到改善啤酒泡沫稳定性的目的,目前尚无报道。

作者采用不同的蛋白酶对小麦面筋蛋白质进行适度酶解改性,并对各种小麦面筋蛋白质酶解产物在啤酒环境中的热稳定性、对酵母蛋白酶A的抗性以及对啤酒泡沫性能的改善效果进行了综合的研究。旨在探讨小麦面筋蛋白质酶解产物用作啤酒发泡蛋白的可行性,并且确定何种酶解产物最适合用作啤酒发泡蛋白。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

谷朊粉(蛋白质质量分数75.4%),东海粮油公司提供;胃蛋白酶、木瓜蛋白酶,华美生物工程公司产品;碱性蛋白酶Alcalase 2.4 L,丹麦诺维信公司产品;酵母蛋白酶A, Sigma公司产品。

### 1.2 仪器

2300全自动型凯氏定氮仪:瑞士Foss公司产品;PHS-3C精密pH计:上海雷磁仪器厂产品;WZS-1A型双束光散射浊度仪:上海科德光电技术有限公司产品;Rudin装置:无锡湖景玻璃仪器公司产品;电泳系统:Bio-Rad公司产品。

### 1.3 试验方法

**1.3.1 小麦面筋蛋白质的酶解** 将小麦面筋蛋白质在水中形成底物质量浓度为4 g/dL的分散悬浮液,搅拌30 min并调至所需温度。加入一定量的酶进行酶解反应(表1),酶与底物质量比为1:100,以1 mol/L NaOH溶液保持溶液pH值不变。在恒温水浴锅中反应30 min后,95℃灭酶活10 min。3 000 r/min离心20 min后,上清液冷冻干燥后即小麦面筋蛋白酶解产物。

表1 不同蛋白酶酶解反应条件

Tab. 1 Enzymatic hydrolysis condition for different proteases

反应条件	木瓜蛋白酶	胃蛋白酶	碱性蛋白酶
pH值	7.0	2.0	8.5
温度/℃	50	37	60

**1.3.2 蛋白溶解性的测定** 溶解性以pH 4.5条件下可溶性氮与总氮百分比表示<sup>[10]</sup>。

**1.3.3 蛋白泡沫性能的测定** 按文献<sup>[11]</sup>,用0.01 mol/L pH 4.5醋酸缓冲溶液溶解蛋白质样品,配成100 mL 2%的蛋白质溶液,在高速组织捣碎机中搅打1 min,迅速倒入500 mL量筒中,记录泡沫体积。起泡性(%) = 泡沫体积(mL) / 100(mL) × 100;静置10 min后,再次测量泡沫体积,泡沫稳定性(%) = 静置后泡沫体积(mL) / 100(mL) × 100。

**1.3.4 蛋白在啤酒环境中热稳定性的测定** 将蛋白质溶于含体积分数3.5%的乙醇溶液,pH 4.5的醋酸缓冲溶液中,配成质量分数1%的蛋白质溶液,

按 100 mg/L 的添加量加入啤酒中。将啤酒置于 65 °C 水浴锅中加热 30 min, 每隔 10 min 测定一次啤酒浊度, 以啤酒浊度的变化情况表征小麦面筋蛋白酶解产物对热处理的敏感性。

**1.3.5 酵母蛋白酶 A 对小麦面筋蛋白酶解产物的酶解** 经冷冻干燥的小麦面筋蛋白酶解产物用含体积分数 3.5% 乙醇, 0.1 mol/L pH 4.5 的醋酸缓冲溶液溶解, 配成 75 μg/mL (考马斯亮兰染色法测定) 的蛋白质溶液。然后加入酵母蛋白酶 A, 酶的添加量为 4.9 μg/mL (该质量浓度约为啤酒中酵母蛋白酶 A 质量浓度的 10 倍), 在 37 °C 反应 2、4、8、12、24 h 后, 分别取一定体积的反应液, 沸水浴灭酶活, 然后冷却至室温。

**1.3.6 SDS-PAGE 电泳** 按文献[12], 采用梯度混合仪、蠕动泵以及 Bio-Rad 装置制备 10~20 g/dL 的梯度胶。样品与缓冲液体积比为 1:5, 95 °C 水浴加热 5 min 后冷却、离心。每孔进样量为 20 μL。电压值设定为: 浓缩胶 100 V, 分离胶 120 V。电泳结束后采用考马斯亮蓝 R-250 对之染色 1.5 h, 再进行脱色, 扫描。

**1.3.7 酵母蛋白酶 A 对小麦面筋蛋白酶解产物泡沫性能的影响** 按文献[13], 采用振荡法测定小麦面筋蛋白酶解产物溶液泡沫稳定性的变化。取 5 mL 酵母蛋白酶 A 酶解液于 10 mL 具塞管中, 上下用力振荡 10 次, 拿掉管塞, 静置 10 min 后测定其泡沫高度 (mm)。

**1.3.8 啤酒稀释曲线的绘制** 按文献[14], 经冷冻干燥的小麦面筋蛋白酶解产物用含体积分数 3.5% 乙醇, 0.1 mol/L pH 4.5 的醋酸缓冲溶液溶解, 配成 1 g/dL 的蛋白质溶液。按 100 mg/L 的添加量加入脱气啤酒中。然后, 用含体积分数 3.5% 乙醇的去离子水对啤酒进行不同倍数的稀释, 测定不同稀释倍数下啤酒的泡持性。泡持性的测定方法采用 Rudin 法, 结果以 HRV 值 (s) 表示<sup>[15]</sup>。

**1.3.9 应用试验** 用无菌水溶解小麦面筋蛋白质酶解产物, 配成质量分数 1% 的蛋白质溶液, 0.45 μm 膜过滤, 按 100 mg/L 的添加量, 在啤酒灌装前加入啤酒瓶中, 一部分啤酒经巴氏灭菌 (即熟啤酒), 另一部分啤酒不进行巴氏灭菌 (经过膜过滤, 即纯生啤酒)。分别测定其初始泡持性以及存放 15、30、45、60、75、90 d 后的泡持性。泡持性的测定方法采用 Rudin 法, 结果以 HRV (s) 值表示<sup>[15]</sup>。

**1.3.10 统计分析** 试验中的所有数据都是两次测定结果的平均值, 试验结果以平均值 ± 标准偏差 (means ± SD) 表示, 显著性 ( $p < 0.05$ ) 采用 one-

way ANOVA 进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦面筋蛋白不同酶解产物的溶解性及泡沫性能

木瓜蛋白酶、胃蛋白酶以及碱性蛋白酶作用条件分别为酸性、中性和碱性环境, 为兼顾小麦面筋蛋白质溶解性和泡沫性能的发挥, 所有酶均在各自最适用条件下对小麦面筋蛋白质酶解 30 min 后灭活。小麦面筋蛋白酶解产物溶解性以及泡沫性能的测定结果见表 2, 由表中数据可知其溶解性呈明显增加趋势, 但其泡沫性能则呈先增强后减弱的趋势 (数据未显示)。研究结果与其他研究相似<sup>[6]</sup>。

表 2 酶解前后小麦面筋蛋白溶解性和泡沫性能比较  
Tab. 2 Comparison of solubility and foaming properties of wheat gluten before and after enzymatic hydrolysis

蛋白种类	溶解性/%	起泡力/%	泡持性/%
NG	8.25 ± 0.16d	137.5 ± 3.53	37.40 ± 0.14d
PAGH	38.25 ± 0.2c	192.5 ± 10.61	42.78 ± 0.35c
PEGH	54.71 ± 0.49b	217.5 ± 3.53	65.87 ± 0.18a
ALGH	72.14 ± 0.37a	200.0 ± 7.07	53.42 ± 0.18b

注: 表中同列不同字母代表数值之间存在显著的差异性 ( $P < 0.05$ ); NG: 原小麦面筋蛋白; PAGH: 小麦面筋蛋白木瓜蛋白酶酶解产物; PEGH: 小麦面筋蛋白胃蛋白酶酶解产物; ALGH: 小麦面筋蛋白碱性蛋白酶酶解产物。

表 2 数据表明, 通过适度酶解, 小麦面筋蛋白酶解产物的溶解性得到显著改善 ( $p < 0.05$ )。其中 ALGH 的溶解性由原先的 8.25% 提高到 72.14%, 提高 9 倍之多。这是因为在酶解的过程中形成了大量可溶性的相对分子质量较小的多肽、缩氨酸以及氨基酸, 且一部分原先包埋于蛋白质分子内部的亲水性基团也得以暴露。经 3 种蛋白酶适度酶解后, 小麦面筋蛋白的起泡力和泡持性都得到显著增强 ( $p < 0.05$ )。其中胃蛋白酶酶解产物 PEGH 起泡力增加最为明显, 由 137.5% 提高至 217.5%, 约增加 58%; 同时, PEGH 比其他两种酶解产物形成的泡沫更稳定。经分析, 一方面, 由于起泡力是泡沫稳定存在的必要前提, PEGH 的起泡力优于其他两种酶解产物, 这为泡沫的稳定存在奠定了基础; 另一方面, 由图 1 可知, 相对高分子质量的麦谷蛋白亚基在 30 min 酶解作用后, 几乎被完全降解, 胃蛋白酶的作用产生了大量的中相对分子质量的多肽 ( $18\ 400 < M_r < 35\ 000$ ) 和小相对分子质量的多肽 ( $M_r < 14\ 400$ ), 相对分子质量则主要集中在 25 000

以下,相对较大的分子使 PEGH 形成的气泡壁更厚,有利于泡沫的稳定。

2.2 小麦面筋蛋白酶解产物耐热性研究

由表 3 可知,通过酶解,酶解产物的溶解性大大改善,添加后啤酒浊度也有所增加,但不影响啤酒外观,可以为消费者接受。经过 30 min 热处理,浊度变化不显著( $p < 0.05$ )。结果表明,小麦面筋蛋白酶解产物在啤酒环境中具有很强的耐热性,因此,其可以应用于熟啤酒的生产。

表 3 加热过程中啤酒浊度

蛋白种类	加热时间/min			
	0	10	20	30
NG	5.29 ± 0.141a	4.87 ± 0.113a	4.28 ± 0.240ba	3.85 ± 0.156b
PAGH	0.38 ± 0.028	0.38 ± 0.014	0.39 ± 0.028	0.39 ± 0.014
PEGH	0.34 ± 0.014	0.35 ± 0.014	0.33 ± 0.028	0.34 ± 0.014
ALGH	0.30 ± 0.021	0.30 ± 0.014	0.31 ± 0.028	0.31 ± 0.014

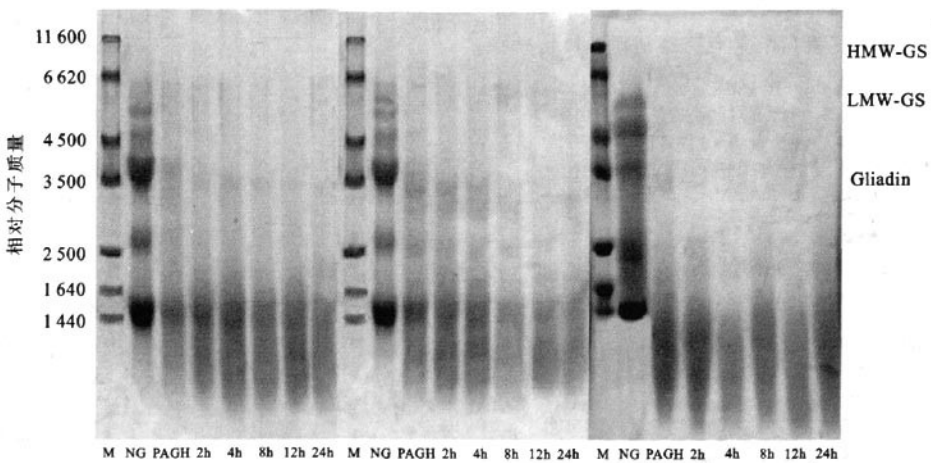
注:表中同行不同字母代表数值之间存在显著的差异性( $P < 0.05$ );NG:原小麦面筋蛋白;PAGH:小麦面筋蛋白木瓜蛋白酶酶解产物;PEGH:小麦面筋蛋白胃蛋白酶酶解产物;ALGH:小麦面筋蛋白碱性蛋白酶酶解产物;原啤酒的浊度为  $0.28 \pm 0.014$  EBC。

2.3 酵母蛋白酶 A 对小麦面筋蛋白酶解产物泡沫性能的影响

近年来,纯生啤酒以其新鲜的口感正受到越来越

多消费者的欢迎。但由于其采用膜过滤去除微生物的手段取代了传统的巴氏灭菌工艺,发酵过程中由酵母分泌产生的蛋白酶 A 在成品啤酒中得以存活,并在啤酒存放的货架期内不断地分解泡沫活性蛋白,使纯生啤酒的泡沫稳定性随存放时间的延长而越来越差<sup>[16]</sup>。本研究则是通过添加外源泡沫活性蛋白以达到改善啤酒泡沫稳定性的目的。而外源泡沫活性蛋白对酵母蛋白酶 A 的敏感性则是决定其性能优劣的主要指标之一。

由图 1 可知,经蛋白酶 A 酶解作用 24 h 后,小麦面筋蛋白质相对分子质量 25 000 以上的亚基几乎全部被降解。结合图 2 结果可知,3 种酶解产物对蛋白酶 A 的敏感程度各不相同。尽管几种酶解产物其起始泡沫稳定性各有差异,PEGH 的形成的泡沫最稳定,ALGH 泡沫稳定性次之,PAGH 泡沫稳定性最差。经蛋白酶 A 作用后,PEGH 溶液的泡沫稳定性下降最快(2 mm),而 ALGH 溶液的泡沫稳定性仍保持良好(10 mm)。经分析,这是因为胃蛋白酶作用后,小麦面筋蛋白的起泡力和泡持性都得到很大程度的改善,可见,原先包埋于蛋白质分子内部的疏水性基团得以暴露,使其表面疏水性有所增强。而酵母蛋白酶 A 与胃蛋白酶同属天冬氨酸族酶,其作用会明显改变疏水蛋白的特性<sup>[17]</sup>。酵母蛋白酶 A 对已暴露疏水基团的进一步酶解是导致其泡沫稳定性明显下降的主要原因。



注:M 为标准相对分子质量蛋白;NG 为原小麦面筋蛋白;HMW-GS 为高相对分子质量麦谷蛋白;LMW-GS 为低相对分子质量麦谷蛋白。

图 1 酵母蛋白酶 A 对不同小麦面筋蛋白酶解产物作用的酶解产物电泳图

Fig. 1 SDS-PAGE of yeast proteinase A proteolysis products from different gluten hydrolysates

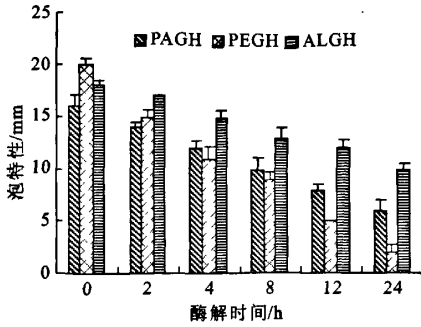
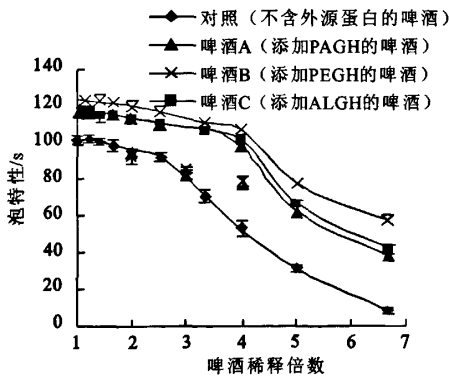


图2 小麦面筋蛋白酶解产物经酵母蛋白酶A作用前后泡沫稳定性的变化

Fig. 2 Foam stability of wheat gluten hydrolysates before and after hydrolysis by yeast proteinase A

2.4 含不同小麦面筋蛋白酶解产物啤酒稀释曲线的测定

啤酒泡沫的形成究其本质是由于其中泡沫活性蛋白的存在,因此,也可以说啤酒中泡沫活性蛋白的含量决定了其稀释曲线的形状[14]。一般而言,啤酒中泡沫活性蛋白含量越丰富,其抗稀释的能力越强。由图3可知,原啤酒在稀释倍数小于2.5之前,泡持性变化都不明显。而当稀释倍数超过2.5,泡持性则开始迅速下降,可见,此时该体系中的泡沫活性蛋白含量是保持啤酒原有泡持性的下限,若继续稀释,则会由于体系中泡沫活性蛋白含量不足导致啤酒泡沫稳定性急剧下降。通过在啤酒中添加不同的小麦面筋蛋白酶解产物,可以发现,稀释曲线的形状与原啤酒稀释曲线基本相同,但泡持性发生明显下降的拐点由原先的2.5增加到4.0。由此可见,小麦面筋蛋白酶解产物添加对啤酒泡持性的改善有着积极的作用。



注:啤酒中小麦面筋蛋白酶解产物添加量均为100 mg/L

图3 啤酒稀释曲线

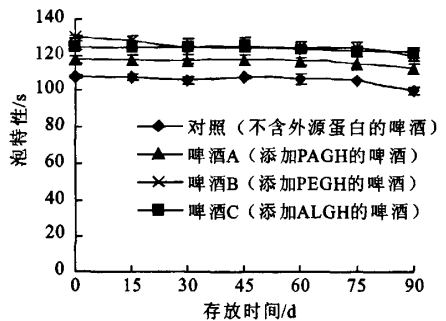
Fig. 3 Dilution curves of beer

图3也表明,不同的酶解产物对啤酒泡持性的改善效果不同,PEGH的效果比较明显,当稀释倍

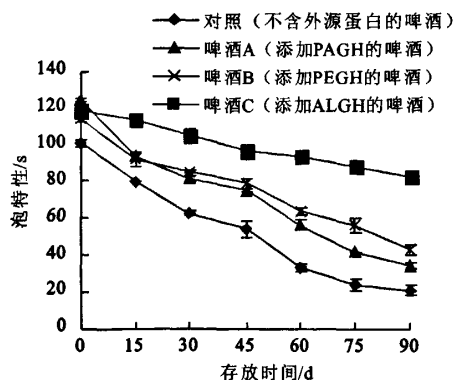
数大于4时,其泡持性与对照相比,效果尤为显著。

2.5 应用效果试验

通过对啤酒初始泡持性以及货架期内的泡持性的变化的测定(图4),发现熟啤酒在存放的3个月内泡持性变化不大,而纯生啤酒的泡持性随存放时间的延长,泡持性有很大幅度的下降。由图4可知,在啤酒中添加100 mg/L的小麦面筋蛋白酶解产物,啤酒的初始泡持性可以得到一定程度的改善,其中PEGH的效果和ALGH的效果都不错,泡持性可增加13%~18%。但由于纯生啤酒中存在蛋白酶A,在存放过程,其中脂类转移蛋白1(LTP1)不断降解,使得啤酒的泡持性愈来愈差。生啤中添加一定量的小麦面筋蛋白酶解产物后,泡持性下降的趋势并未得到完全抑制,但下降幅度明显降低。啤酒厂生产的生啤酒泡持性3个月后下降至41 s,下降幅度达79.4%,添加ALGH的生啤酒其泡持性下降幅度最小,3个月后泡持性下降34.8%。啤酒存放3个月后,对其外观观察和感官品评。结果表明,添加小麦面筋蛋白酶解产物的啤酒外观清亮透明,无悬浮物和沉淀,且口感与对照无明显差别。



(a) 熟啤酒



(b) 纯生啤酒

注:啤酒中小麦面筋蛋白酶解产物添加量均为100 mg/L

图4 啤酒货架期内泡持性变化图

Fig. 4 Foam stability of beer during the storage time

### 3 结 语

经蛋白酶适度酶解后,小麦面筋蛋白的溶解性、起泡力和泡持性都得到显著增强( $p < 0.05$ )。小麦面筋蛋白酶解产物在啤酒中耐热性较好,含100 mg/L小麦面筋蛋白酶解产物的啤酒经30 min热处理,与加热前相比,浊度变化不显著( $p > 0.05$ )。PEGH对酵母蛋白酶A作用敏感,而ALGH对酵母蛋白酶A具有一定的抗性。经蛋白酶A作用后,PEGH溶液的泡沫稳定性下降最快(2

mm),而ALGH溶液的泡沫稳定性仍保持良好(10 mm)。应用试验结果表明,小麦面筋蛋白碱性蛋白酶酶解产物对啤酒的初始泡持性以及纯生啤酒货架期内泡持性都有明显的改善效果。

综上所述,小麦面筋蛋白质酶解产物用作啤酒发泡蛋白具有较强的可行性,因此,可以考虑将其用作啤酒发泡蛋白,用无菌水溶解小麦面筋蛋白质碱性蛋白酶酶解产物,按100 mg/L的添加量,在啤酒灌装前加入啤酒中即可。

### 参考文献(References):

- [1] Bamforth C W. The foaming properties of beer[J]. *Journal of the institute of brewing*, 1985, 91: 370-383.
- [2] Evans D E, Marian C S. Don't be foddod off; the substance of beer foam-a review [J]. *Journal of American Society of Brewing Chemists*, 2002, 60(2): 47-57.
- [3] Bamforth C W. Foaming peptides: Are they precious? [J]. *Brewers' Guardian*, 2002, 12: 22-25.
- [4] Brey S E, Bryce J H, Stewart G G. The loss of hydrophobic polypeptides during fermentation and conditioning of high gravity and low gravity brewed beer[J]. *Journal of the institute of brewing*, 2002, 108 (4): 424-433.
- [5] Stewart G G, Mader A, Chlup P et al. The influence of process parameters on beer foam stability[J]. *Master brewing association America Technical Quarterly*, 2006, 43 (1): 47-51.
- [6] Brijs K, Delvaux F, Gilis V, et al. Solubilisation and degradation of wheat gluten proteins by barley malt proteolytic enzymes[J]. *Journal of the institute of brewing*, 2002, 108 (3): 348-354.
- [7] 王章存, 康艳玲, 聂卉. 谷朊粉改性研究进展[J]. *粮油食品科技*, 2006, 5: 14-15.  
WANG Zhang-cun, KANG Yan-lin, NIE Hui. Reviews on modification of wheat gluten [J]. *Science and technology of cereals, oils and foods*, 2006, 5: 14-15. (in Chinese)
- [8] 齐军茹, 王兰, 张小麟, 等. 小麦面筋蛋白酶法改性[J]. *郑州工程学院学报*, 2000, 21(4): 9-12.  
QI Jun-ru, WANG Lan, ZHANG Xiao-lin, et al. Enzymatic modification of wheat gluten [J]. *Journal of Zhengzhou grain college*. 2000, 21(4): 9-12. (in Chinese)
- [9] 齐军茹, 杨晓泉, 彭志兰等. 控制酶解小麦面筋蛋白的研究[J]. *食品工业科技*, 2003, 24(9): 43-46.  
QI Jun-ru, YANG Xiao-quan, PENG Zhi-lan, et al. Study on the limited enzymatic hydrolysis of wheat gluten [J]. *Science and technology of food industry*, 2003, 24(9): 43-46. (in Chinese)
- [10] Morr V, German B, Kinsella J E et al. A collaborative study to develop a standardized food protein solubility procedure[J]. *Journal of Food Science*, 1985, 50: 1715-1718.
- [11] 张红印, 朱加进, 郑晓冬, 等. 小麦面筋蛋白琥珀酰化改性研究[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(3): 313-317.  
ZHANG Hong-yin, ZHU Jia-jin, ZHENG Xiao-dong, et al. Study on modification by succinylation of wheat gluten [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2003, 36(3): 313-317. (in Chinese)
- [12] Mimouni B, Raymond J A, M Merle-Desnoyers et al. Combinid acid deamidation and enzymic hydrolysis for improvement of the functional properties of wheat gluten[J]. *Journal of Cereal Science*, 1993, 21: 153-165.
- [13] Bamforth C W, Milani C. The foaming mixtures of albumin and hordein protein hydrolysates in model systems[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004, 84: 1001-1004.
- [14] Roberts R T, Keeney P J, Wainwright T. The effects of lipid and related materials on beer foam[J]. *Journal of the institute of brewing*, 1978, 84: 9-12.
- [15] 叶俊华, 付兆辉, 陆健, 等. Rudin改良法在啤酒泡沫稳定性测定中的应用[J]. *食品工业科技*, 2003, (11): 33-35.  
YE Jun-hua, FU Zhao-hui, LU Jian, et al. Application of the improved Rudin method in the analysis of beer foam stability [J]. *Science and technology of food industry*, 2003, 11: 33-35. (in Chinese)
- [16] He Guoqing, Wang Zhaoyue, Liu Z S, et al. Relationship of proteinase activity, foam proteins, and head retention in unpasteurized beer[J]. *Journal of American Society of Brewing Chemists*, 2006, 64 (1): 33-38.
- [17] Jordan T, Ricky W N. Evolution in the structure and function of aspartic proteinase[J]. *Journal of Cellular Biochemistry*, 1987, 33: 53-63.

(责任编辑:朱明)