

# 大豆蛋白用作啤酒泡沫稳定剂的研究

孙琳琳<sup>1,2</sup>, 陆健<sup>1,2,\*</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:** 本研究以脱脂大豆蛋白粉为原料, 碱溶酸沉法制备大豆分离蛋白(SPI)和大豆乳清蛋白(WSP), 根据大豆分离蛋白酶解过程中溶解性及泡沫稳定性的变化情况, 确定大豆分离蛋白的酶解程度。再通过对酶解大豆分离蛋白(ESPI)及大豆乳清蛋白(WSP)的性能实验及应用实验进一步考察大豆蛋白用作啤酒泡沫稳定剂的可行性。结果表明, 酶解30min后, ESPI溶解性和泡沫稳定性均有所增强; ESPI和WSP不仅能改善低度熟啤酒的泡持性, 而且可以明显改善纯生啤酒货架期内的泡持性; 大豆蛋白的添加不会影响啤酒的非生物稳定性。

**关键词:** 大豆乳清蛋白; 酶解大豆分离蛋白; 啤酒; 泡沫稳定性

Study on Soybean Proteins Used as Foam Stabilizer in Beers

SUN Lin-lin<sup>1,2</sup>, LU Jian<sup>1,2,\*</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:** Defatted soybean proteins were used as raw material in this study. After being dissolved by alkali and precipitated by acid, whey soy proteins were salted out by ammonium sulfate while soybean proteins were enzymatically modified to improve the solubility and foam stability. Feasibility of whey soy proteins and soybean protein isolates to be used as beer foam stabilizer was further studied. Results showed that the solubility and foam stability of soybean protein isolates were both strengthened after 30 minutes of enzymatic hydrolysis. Foam stability of low gravity brewed sterilized beer and draft beer can be improved by adding whey soybean proteins and enzymatic soybean protein isolates. Non-biological stability of the beers containing soybean proteins is good.

**Key words** whey soybean protein; enzymatic soybean protein isolate; beer; foam stability

收稿日期 2006-10-17

\*通讯作者

基金项目: 教育部长江学者和创新团队发展计划项目(IRT0532); 江苏省“青蓝工程”项目

作者简介: 孙琳琳(1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向为啤酒酿造新技术。

- L., Inodorus Group) cultivars[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1995, 5(2): 211-219.
- [5] 赵大唯, 商柏成, 郭文场, 等. 哈密瓜[M]. *特种经济动植物*, 1999(2): 39-40.
- [6] 张新慧. 哈密瓜产业发展中存在的问题及对策措施[J]. *新疆农业科技*, 2002(1): 62.
- [7] ZMAMER C M. Gun-puffed vegetable snacks: A new way to eat your veggies[J]. *Food Technology*, 1995, 49(10): 64-65.
- [8] SULLIVAN J F, CRAIG J C. The development of explosion puffing[J]. *Food Technology*, 1984: 52-55.
- [9] SULLIVAN J F, EGOVILLE M J, KONSTANCE R P, et al. Storage stability of continuous explosion puffed potatoes[J]. *Lebensm Wiss u, Technol*, 1983, 16(2): 76.
- [10] VARNALIS A I, BRENNAN J G, MACDOUGALL D B. A proposed mechanism of high-temperature puffing of puffing. Part I. The influence of blanching and drying condition on the volume of puffed cubes[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001, 48: 361-367.
- [11] HEILAND W K, ESKEW R K. A new gun for explosion puffing of fruits and vegetables[M]. *Agric Res Service, U S Dept of Agriculture, Philadelphia*, 1965: 73-74.
- [12] RODRIGUES S, FABIANA A, FERNANDES N. Dehydration of melons in a ternary system followed by air-drying[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 80: 678-687.
- [13] NATH A, CHATOPADHYAY P K. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 80: 1282-1292.
- [14] HAWLADER M N A, PERERA C O, MIN T. Properties of modified atmosphere heat pump dried foods[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 74: 392-401.

中图分类号: Q815

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2007)12-0187-06

影响啤酒泡沫性能的最关键因素之一为啤酒中的泡沫活性蛋白, 即一类分子量 5kDa 以上、且疏水性较强的多肽<sup>[1]</sup>, 其性质和含量很大程度上决定了啤酒泡沫的质量。高浓酿造工艺和低温膜过滤技术近年来倍受啤酒生产厂家青睐, 然而, 这两种技术的应用都在一定程度上影响了啤酒的泡沫稳定性。前者由于麦汁煮沸和发酵过程中疏水性多肽损失较多, 加之采用稀释工艺, 最终成品啤酒中泡沫活性蛋白的含量明显低于常规啤酒<sup>[2]</sup>; 而后者摒弃了传统的巴氏灭菌工艺, 通过无菌膜过滤技术滤除酵母和杂菌, 对泡沫蛋白有破坏作用的蛋白酶 A 在酒液中得以比较多的保留, 在啤酒货架期内快速降解泡沫活性蛋白, 从而导致泡沫稳定性明显变差<sup>[3]</sup>。

改善啤酒泡沫稳定性的方法很多, 添加天然安全的泡沫稳定剂对其进行修饰是常用的一种手段。PGA, 即海藻酸丙二醇酯, 由天然海藻中提取的褐藻酸有机衍生物高度提纯而成, 是目前啤酒企业应用广泛的一种泡沫稳定剂。但有研究表明, 在啤酒中泡沫蛋白含量不足的情况下, PGA 的添加并不能取得令人满意的改善啤酒泡沫的效果<sup>[4]</sup>。可见, 作为啤酒泡沫骨架结构重要成分的泡沫活性蛋白, 其含量对于啤酒泡沫性能的发挥有着重要的作用。

大豆蛋白是一种优质植物蛋白, 其资源丰富, 原料成本低, 具有多方面的功能性, 被广泛应用于食品工业领域。发泡性作为大豆蛋白的一项基本性能, 常被用于装饰糕点以及冰淇淋的生产。但尚未见大豆蛋白用作啤酒泡沫稳定剂的研究。本研究以脱脂大豆蛋白粉为原料, 采用碱溶酸沉法制得大豆分离蛋白(SPI)和大豆乳清蛋白(WSP), 通过对大豆分离蛋白适度酶法改性, 获得溶解性和泡沫性能优良的酶解大豆分离蛋白(ESPI)。进一步通过性质实验以及应用实验考察了 ESPI 以及 WSP 作为啤酒泡沫稳定剂应用的可能性。

## 1 材料与与方法

### 1.1 材料与试剂

脱脂大豆蛋白粉 上海深远食品公司; 啤酒 重庆啤酒集团常州天目湖公司。

As1.398 中性蛋白酶(130000U/g); ANS(1-萘胺-8-磺酸) Sigma 公司; 海藻酸丙二醇酯(PGA)、NaOH、HCl、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{K}_2\text{SO}_4$ 、无水乙醇等均为分析纯试剂。

### 1.2 仪器设备

凯氏定氮仪 瑞士 Foss 公司; PHS-3C 精密 pH 计 上海雷磁仪器厂; 960 MC 荧光分光光度计 上海第三分析仪器厂; WZS-1A 型双束光散射浊度仪 上海科德光

电技术有限公司; Rudin 装置 定制。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 大豆分离蛋白及乳清蛋白制备工艺<sup>[5]</sup>

脱脂大豆蛋白粉与去离子水以 1:10 的比例混合, 用 2mol/L NaOH 调 pH 至 8.0, 在室温下浸提 2h 后, 20℃ 下 10, 400 × g 离心 15min。提取液用 4mol/L HCl 调 pH 至 4.5, 在 4℃ 下静置 2h, 10, 400g 下离心 20min。沉淀经去离子水溶解后, 用 2mol/L NaOH 溶液调 pH 至 8.0, 冷冻干燥即为大豆分离蛋白; 上清液用 2mol/L NaOH 溶液调 pH 至 8.0, 室温下放置 1h, 20℃ 下 12, 400g 离心 15min, 上清用 90% 饱和硫酸铵沉淀, 20℃ 下 12, 400 × g 离心 15min, 沉淀用去离子水溶解后在 4℃ 下透析 24h, 透析液经冷冻干燥即为大豆乳清蛋白。

#### 1.3.2 酶解大豆分离蛋白的制备

用去离子水溶解大豆分离蛋白, 配成 4%(W/V) 的蛋白溶液, 采用蛋白酶酶解一定时间后, 100℃ 灭酶 10min, 冷却, 调 pH 至 4.5, 4℃ 放置 2h, 离心后上清调 pH 至 7.0, 冷冻干燥即为酶解大豆分离蛋白。

#### 1.3.3 大豆分离蛋白酶解过程中结构与性质的变化

##### 1.3.3.1 溶解性能参数 $S_{\text{pH}4.5}$ 的测定

采用 1.3.2 中所述方法酶解大豆分离蛋白, 定时取样, 灭酶, 调 pH 至 4.5, 离心后测定上清液蛋白质浓度, 即为酶解大豆分离蛋白在 pH4.5 条件下的溶解性能参数  $S_{\text{pH}4.5}$ 。蛋白质浓度的测定采用微量凯氏定氮法。具体测定方法如下: 取 2ml 蛋白溶液, 220℃ 下碳化 2h 后, 加入催化剂 7g, 浓硫酸 15ml, 在 420℃ 下消化 1.5h, 室温下冷却, 直接采用自动凯氏定氮仪测定含量(mg/ml), 该值乘以 6.25 即为蛋白含量。

##### 1.3.3.2 泡沫稳定性的测定

将所测蛋白分别用去离子水溶解, 配成 1mg/ml 的蛋白溶液, 调 pH 至 4.5, 加入 3.5% 的无水乙醇, 采用 Rudin 法测定蛋白溶液 pH 4.5 条件下的泡沫稳定性。结果以 HRV(s) 值表征。HRV(head refension value) 值的测定方法见 1.3.6。

##### 1.3.3.3 蛋白质表面疏水性的测定<sup>[6-7]</sup>

采用 ANS 荧光探针法。0.01mol/L pH4.5 的磷酸缓冲溶液溶解蛋白, 20℃ 下放置 2h, 离心后测定上清液蛋白浓度, 梯度稀释后得到一系列最终浓度介于 0.01~0.3mg/ml 的蛋白溶液。取 3ml 蛋白溶液, 加入 40μl 8.0mmol/L ANS(溶于 0.1mol/L pH7.0 磷酸缓冲溶液), 以 365nm 为激发波长, 484nm 为发射波长, 荧光分光光度计测定荧光强度 FI, 以蛋白质浓度为横坐标, FI 为纵

坐标绘制曲线, 起始斜率即为蛋白质的表面疏水性  $H_0$ 。

### 1.3.3.4 SDS-PAGE 电泳

浓缩胶浓度为 5%; 分离胶浓度为 12.5%; 蛋白溶液: 样品缓冲液=1:4(体积比); 进样量为 2 $\mu$ l; 电泳于恒压下进行, 浓缩胶中 150V, 分离胶中 180V。

### 1.3.4 大豆蛋白性质实验

#### 1.3.4.1 大豆蛋白与啤酒自身蛋白泡沫稳定性比较实验

超滤去除啤酒中的泡沫活性蛋白(啤酒中具有泡沫活性的蛋白质分子量均高于 3.5kDa), 分别在其中添加酶解大豆分离蛋白和大豆乳清蛋白, 通过 HRV 值的测定考察其在啤酒中的泡沫性能。

#### 1.3.4.2 大豆蛋白与 PGA 对啤酒泡沫稳定性改善效果比较实验

以原麦汁浓度为 12°P 的啤酒为对照, 分别在其中添加 100mg/L 乳清蛋白、酶解大豆分离蛋白以及 PGA, 通过绘制含不同泡沫稳定剂啤酒的稀释曲线, 比较大豆蛋白和 PGA 对啤酒泡持性的改善效果。

#### 1.3.4.3 大豆蛋白热稳定性实验

对含 100mg/L 大豆蛋白的啤酒在 65℃ 下进行一段时间的热处理, 通过处理前后啤酒浊度以及泡持性的变化考察大豆蛋白的热稳定性。浊度的测定采用仪器法。

### 1.3.5 大豆蛋白的应用实验

将酶解大豆分离蛋白(ESPI)和大豆乳清蛋白(WSP)分别用脱氧水溶解, 配成 1% 的蛋白溶液, 0.45 $\mu$ m 微滤后添加至灭菌过的啤酒瓶中, 添加量为 100mg/L(以啤酒体积计)。测定啤酒存放货架期内泡持性和浊度的变化情况。

### 1.3.6 HRV 值的测定<sup>[8-9]</sup>

HRV 即泡持性又名泡沫稳定性, 采用 Rudin 改良法测定。控制测定系统温度为 20℃, 以 80ml/min 的流速将 N<sub>2</sub> 通入待测样品中, 至样品完全起泡, 记录时间及其对应的泡沫的液体相当的体积  $V_{\text{泡沫}}$ ,  $V=20\text{ml}-V_{\text{液体}}$ 。泡沫衰减过程中, 泡沫体积的对数与衰减时间之间存在线性关系, 以  $t-\ln V_{\text{泡沫}}$  作图, 求得斜率  $k$ , HRV 值的计算公式为:

$$\text{HRV (s)} = \frac{\ln 20}{-2k}$$

### 1.3.7 啤酒浊度的测定<sup>[10]</sup>

浊度的测定采用仪器法。测定前先调零, 然后将装 3/4 杯啤酒的标准测量杯放入测量室的水中, 关上机盖, 稳定后所得读数即为样品的 EBC 浊度值。

## 2 结果与分析

### 2.1 大豆分离蛋白的酶解

#### 2.1.1 酶解过程中大豆分离蛋白溶解性能的变化

大豆分离蛋白即大豆蛋白提取液等电点沉淀得到的蛋白, pH4.5 条件下溶解性很差, 进而影响了其在啤酒环境(pH4.2~4.5)中泡沫性能的发挥<sup>[11]</sup>, 此外, 由于大豆分离蛋白分子量较高, 直接添加容易引起啤酒混浊, 对啤酒货架期内非生物稳定性造成不利影响。因此, 本实验采用中性蛋白酶对之适度酶解, 以期达到适当降低大豆分离蛋白分子量, 改善其在 pH4.5 条件下溶解性能的目的。图 1 表明, 酶解作用使大豆分离蛋白的溶解性能得到一定的改善。反应开始的 60min 内  $S_{\text{pH}4.5}$  增加幅度较为显著, 这是由于随着酶解作用的进行, 大豆分离蛋白的亲水性基团逐渐暴露, 且分子量有所降低(图 2), 因此其溶解性也逐渐增强<sup>[12]</sup>。当反应进行至 60min 左右时,  $S_{\text{pH}4.5}$  变化已不再明显。

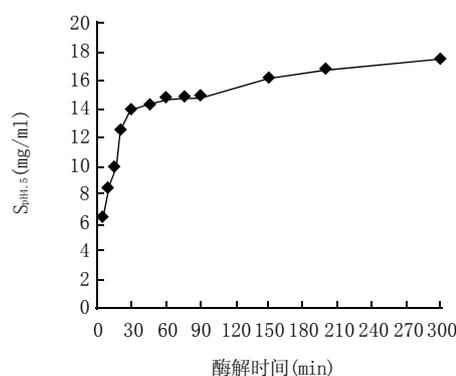


图 1 酶解过程中大豆分离蛋白溶解性能  $S_{\text{pH}4.5}$  变化曲线  
Fig.1 Solubility of soybean protein isolate at pH 4.5 during enzymatic hydrolysis

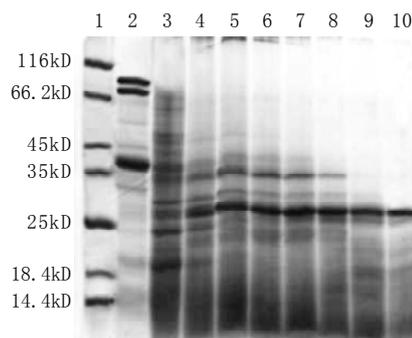


图 2 酶解大豆分离蛋白的 SDS-PAGE 图谱  
Fig.2 SDS-PAGE of soybean protein isolates during enzymatic hydrolysis

#### 2.1.2 酶解过程中大豆分离蛋白泡沫稳定性的变化

采用中性蛋白酶对大豆分离蛋白酶解改性, 蛋白质的泡沫稳定性先增强后降低(图 3), 经分析可知, 大豆蛋白泡沫稳定性的维持与其分子结构以及溶解性能密切

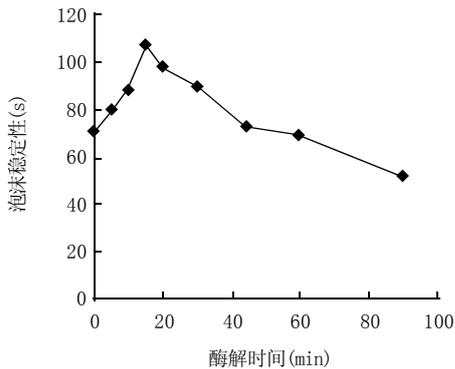


图3 酶解过程中大豆分离蛋白泡沫稳定性变化

Fig.3 Foam stability of soybean protein isolate during enzymatic hydrolysis

相关。一方面，酶解作用使蛋白质的表面疏水性有所增加(图4)，使之更易起泡<sup>[13]</sup>，且随着溶解度的逐渐增加(图1)，能参与起泡作用的蛋白质分子的数目也越来越多，而良好的起泡力是泡沫稳定性发挥的前提和保证，因此，蛋白质的泡沫稳定性先有所增强；另一方面，由图2可知，随酶解反应的进行，组成大豆分离蛋白的亚基逐渐被降解，分子量35kDa以上的多肽逐渐变少，与此同时，分子量介于14.4~25kDa的多肽并无增多趋势，也呈减少趋势，而每孔蛋白质总量相同，可见，酶解作用使小分子多肽或缩氨酸的比例越来越高(电泳图上未显示)，由此导致大豆分离蛋白不易形成气泡或形成的气泡壁越来越薄，容易破裂<sup>[14]</sup>，最终表现为泡沫稳定性越来越差。

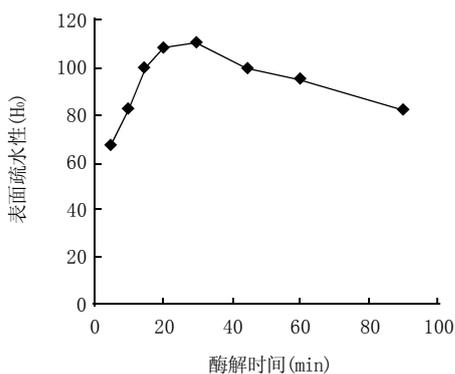


图4 大豆分离蛋白酶解过程中表面疏水性的变化

Fig.4 Surface hydrophobicity of soybean protein isolate during enzymatic hydrolysis

以上结果表明，酶法改性可以在一定程度上改善大豆分离蛋白的溶解性和泡沫稳定性。但酶解过度会导致蛋白质所带静电荷量过高以及小分子多肽的大量产生，从而导致大豆分离蛋白泡沫稳定性又有所降低。为兼顾大豆分离蛋白溶解性与泡沫稳定性的发挥，以下采用的为酶解30min后的大豆分离蛋白。

## 2.2 大豆蛋白性质实验

### 2.2.1 大豆蛋白与啤酒本身蛋白泡沫稳定性比较实验

图5结果表明，超滤去除啤酒中分子量大于3.5kDa的组分后，啤酒已不具起泡力和泡持性，此时，仅需添加800mg/L左右的乳清蛋白或酶解大豆分离蛋白就能使啤酒的泡持性基本回复，经测定，啤酒自身蛋白质的含量为3820mg/L，添加量远低于该值，可见，大豆蛋白作为一种啤酒泡沫稳定剂，具有不错的应用前景。

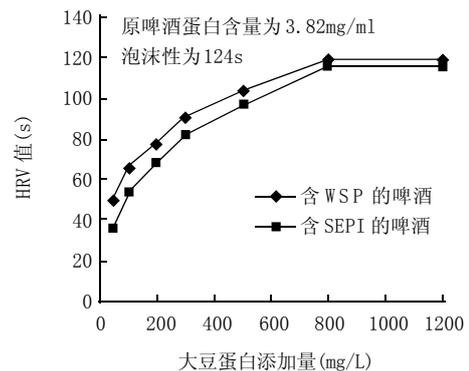


图5 含大豆蛋白啤酒的泡沫稳定性

Fig.5 Foam stability of beers containing soybean proteins

### 2.2.2 大豆蛋白与PGA对啤酒泡沫稳定性改善效果比较

采用含3.5%乙醇的去离子水稀释原啤酒，作出HRV值-稀释倍数曲线，该稀释曲线可以反映啤酒的泡沫性能<sup>[15]</sup>。一般而言，啤酒的泡沫性能越好，抵抗稀释的能力越强。泡沫性能优良的啤酒需稀释3~4倍，HRV值才开始迅速下降。

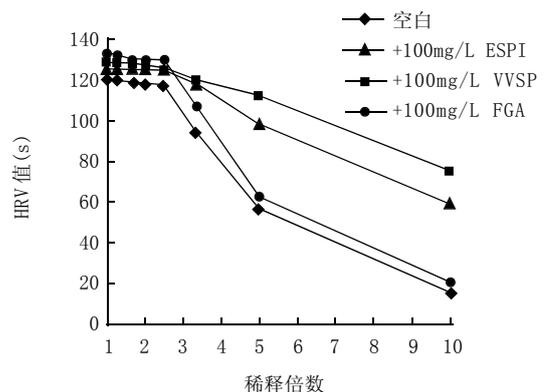


图6 含不同泡沫稳定剂的啤酒的稀释曲线

Fig.6 Dilution curves of beer containing different foam stabilizers

由图6可知，原啤酒本身泡沫活性蛋白含量很丰富，在其中添加100mg/L的大豆蛋白，对其泡沫稳定性改善效果不是特别明显。相比较而言，PGA的效果更

好,此时,PGA主要通过增加啤酒的黏度使得泡沫稳定性有所增强<sup>[16]</sup>。原啤酒在稀释3倍时,HRV值开始迅速下降,此时啤酒中的泡沫活性蛋白含量应为使啤酒维持良好泡沫稳定性的下限,继续对啤酒进行稀释,其中泡沫活性蛋白含量已不足以使啤酒发挥好的泡沫性能。含100mg/L PGA啤酒的稀释曲线与原啤酒的稀释曲线比较接近,当稀释倍数达到3倍时,HRV值亦迅速下降,而含大豆蛋白的啤酒其抵抗稀释的能力则有所增强。当稀释倍数大于3倍时,添加大豆蛋白的啤酒其保持性明显高于原啤酒和添加PGA的啤酒,由此可见,当啤酒中泡沫活性蛋白含量不足时,通过添加PGA并不能起到理想的效果,而此时添加一定量的大豆蛋白则可以明显改善其保持性。

表1 大豆蛋白热稳定性实验

Table 1 Stability of soybean proteins through heat treatment

	65℃热处理时间(min)	浊度(EBC)	泡沫稳定性(s)
大豆乳清蛋白	0	0.35	135
	10	0.38	132
	20	0.41	138
	30	0.48	130
酶解大豆分离蛋白	0	0.34	128
	10	0.34	130
	20	0.35	134
	30	0.35	128

2.2.3 大豆蛋白热稳定性实验

2.2.1、2.2.2实验结果表明,大豆蛋白可以在一定程度上改善啤酒的泡沫稳定性,对泡沫活性蛋白含量不足的啤酒,效果尤为明显。但作为啤酒添加剂,考虑到熟啤酒在灌装前需经过巴氏灭菌,若所添加外源蛋白为热敏感蛋白,加热时容易凝集,形成沉淀,进而导致啤酒的混浊,故良好的热稳定性是泡沫稳定剂应有的必要前提。

表1结果表明,经65℃热处理30min,含酶解大豆分离蛋白啤酒的浊度以及泡沫稳定性几乎不变,可见,酶解大豆分离蛋白具有很好的热稳定性,而含大豆乳清蛋白的啤酒在热处理过程中浊度有所增加,泡沫稳定性变化不太明显,这说明大豆乳清蛋白对热处理相对比较敏感,但对啤酒的泡沫稳定性影响不大。

2.3 大豆蛋白应用实验

将大豆乳清蛋白(WSP)和酶解大豆分离蛋白(ESPI)分别添加在8°P熟啤酒以及9°P纯生啤酒中,测定货架期内啤酒泡持性和浊度的变化情况。

图7结果表明,8°P熟啤酒本身泡持性较低,添加100mg/L的ESPI后,泡持性由105s提高至127s,添加相同量的WSP,则提高至132s,可见,两类大豆蛋白对低度啤酒的泡持性都有不同程度的改善。货架期内

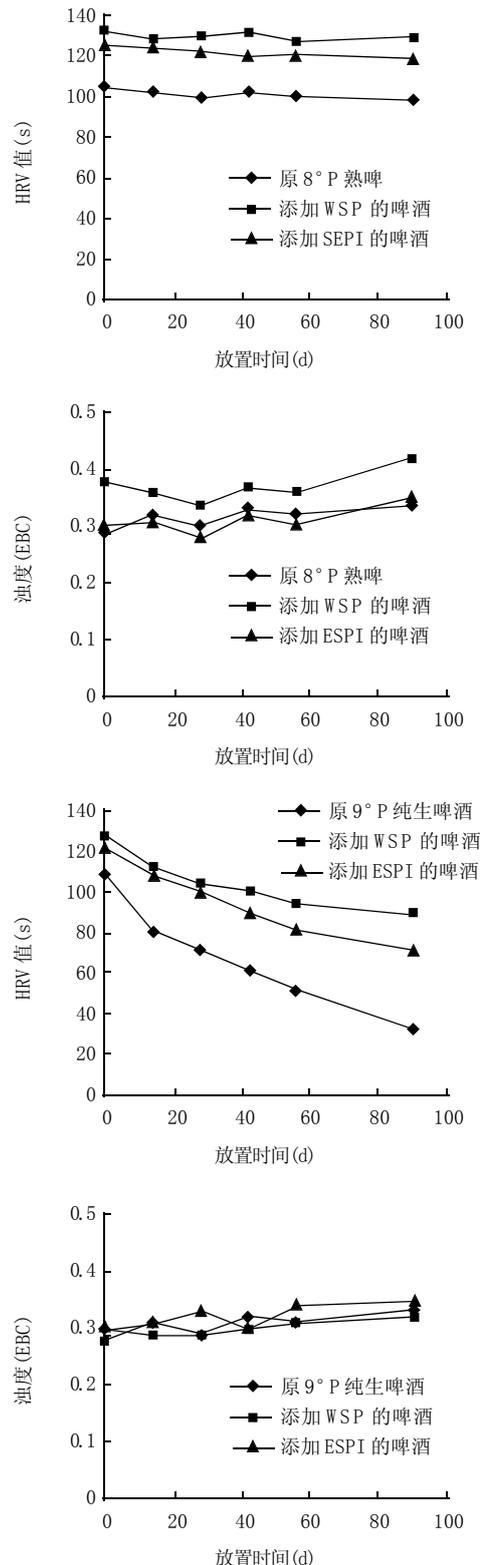


图7 大豆蛋白对啤酒货架期内泡持性及浊度的影响

Fig.7 Effects of soybean proteins on beer foam stability and haze during shelf life

熟啤酒的泡持性基本不变。WSP对热处理比较敏感,巴氏灭菌工艺的采用使添加该蛋白的啤酒浊度由0.29EBC

上升至 0.38EBC, 但货架期内浊度变化甚微, 3 个月后浊度仍保持在 0.4EBC 左右。由于纯生啤酒采用低温膜过滤技术去除微生物, 使蛋白酶 A 在成品啤酒中得以残存, 货架期内不断降解泡沫活性蛋白, 最终导致泡持性越来越差。啤酒初始泡持性为 109 s, 货架期内泡持性下降迅速, 3 个月后已不具有良好的起泡力, 泡持性下降至 32 s, 较初始泡持性下降 71%。通过添加大豆蛋白, 尽管啤酒货架期内泡持性仍呈下降趋势, 但幅度明显减小。添加 ESPI 的啤酒 3 个月后泡持性由 122 s 下降至 72 s, 下降 41%; 而添加 WSP 的啤酒泡持性则由 128 s 下降至 90 s, 下降 30%。经分析, 一方面大豆蛋白中可能存在对蛋白酶 A 活性具有一定抑制效果的成分; 另一方面大豆蛋白中某些组分对蛋白酶 A 耐受力较强, 不易被之酶解。由于未采用热杀菌工艺, 添加 ESPI 和 WSP 对纯生啤酒的浊度都几乎没有影响, 啤酒存放 3 个月后浊度仍能保持在 0.4EBC 以下。由此可见, 适量大豆蛋白的添加并不会影响啤酒的非生物稳定性。

### 3 结 论

3.1 酶法改性可以在一定程度上改善大豆分离蛋白的溶解性和泡沫稳定性。但酶解过度会导致大豆分离蛋白泡沫稳定性又有所降低。最终确定采用酶解 30min 后的大豆分离蛋白作为研究对象。

3.2 啤酒稀释率曲线表明当啤酒中泡沫活性蛋白含量不足时, 通过添加 PGA 效果并不理想, 而此时添加大豆蛋白则可以起到明显的改善效果; 热处理实验结果表明酶解大豆分离蛋白(ESPI)耐热性较强, 而大豆乳清蛋白(WSP)对热处理相对比较敏感。

3.3 ESPI 和 WSP 不仅能改善低度熟啤酒的泡持性, 而且可以明显改善纯生啤酒货架期内的泡持性。对照纯生啤酒 3 个月内泡持性下降幅度为 71%, 而含 100mg/L ESPI 和 WSP 的纯生啤酒其泡持性则分别下降 41% 和 30%。大豆蛋白的添加不会影响啤酒的非生物稳定性, 啤酒存放 3 个月后浊度仍保持在 0.4EBC 左右。

#### 参考文献:

- [1] ISOBEL M P L, FERREIRA V O. Effects of combination of hydrophobic polypeptides, iso- $\alpha$ -acids, and malto-oligosaccharides on beer foam stability[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53: 4976-4981.
- [2] BREY S E. 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: 424-433.
- [3] MULDBJERG M, MORTEN M, KLAUS B, et al. Protease activity in beer and correlation to foam[C]//Proceedings of the European Brewery Convention Congress, 1993, 64: 357-364.
- [4] EVANS E D. Don't be foddod off: the substance of beer foam - a review [J]. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 2002, 60: 47-57.
- [5] SORAGENTINI D A, WAGNER J R. Comparative study of foaming properties of whey and isolate soybean proteins[J]. *Food Research International*, 2002, 35: 721-729.
- [6] HAYAKAWA S, NIKAI S. Relationships of hydrophobicity and net charge to the solubility of milk and soy proteins[J]. *Journal of Food Science*, 1985, 65: 486-491.
- [7] BAMFORTH C W. The measurement of hydrophobic polypeptides in beer using the fluorochrome 1-anilino-8-naphthalenesulfonate[J]. *Food Chemistry*, 2001, 75: 377-383.
- [8] RUDIN A D. Measurement of the foam stability of beer[J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 1957, 63: 506-509.
- [9] 叶俊华, 付兆辉, 陆健, 等. Rudin改良法在啤酒泡沫稳定测定中的应用[J]. *食品工业科技*, 2003(11): 30-32
- [10] 管敦仪. 啤酒工业手册[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1985: 246-247.
- [11] PANYAM D, KILARA A. Enhancing the functionality of food proteins by enzymatic modification[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 1996(7): 120-125.
- [12] ADLER-NISSEN J. Enzymatic hydrolysis of proteins for increased solubility[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1976, 24: 100-103
- [13] TOWNSEND A. Relationships between hydrophobicity and foaming characteristics of food proteins[J]. *Journal of Food Science*, 1983, 48: 587-594.
- [14] MIMOUNI B, RAYMOND J, MERLE-DESNOYERS A M, et al. Combined acid deamidation and enzymatic hydrolysis for improvement of the functional properties of wheat gluten[J]. *Journal of Cereal Science*, 1994, 21: 153-165.
- [15] ROBERTS R T. The effect of lipids and related materials on beer foam [J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 1978, 84: 9-12.
- [16] ROBERTS R T, WAINWRIGHT T. Mechanism of beer foam stability by propylene glycol alginate[J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 1980, 86: 34-37.



## 英用转基因成功合成脂肪酸 有望改善饮食

英国科学家最近成功利用转基因技术使油菜等农作物合成 OMEGA-3 脂肪酸, 这项成果有望为改善人们的饮食提供新途径。

英国赫特福德郡洛桑研究所科学家从一种名为海链藻的单细胞海藻中分离出关键基因, 并将其植入亚麻和油菜中。

实验证实, 这些农作物可以合成出通常只在多脂鱼中存在的 OMEGA-3 脂肪酸。科学家的最终目标是用转基因植物喂养家禽家畜, 使它们产出富含 OMEGA-3 脂肪酸的蛋、肉和奶。