

# 环境条件对猪血浆蛋白功能性质的影响

张立娟, 孔保华\*, 刘 骞  
(东北农业大学食品学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘 要:** 本实验测定猪血浆蛋白的化学成分和等电点, 并研究温度、pH 值、蛋白浓度、离子强度对猪血浆蛋白溶解性、起泡性、泡沫稳定性、乳化性和乳化稳定性质的影响。结果表明: 猪血浆蛋白粉中蛋白含量为 62.5%; 猪血浆蛋白的等电点为 pH5, 在等电点时, 其溶解性、起泡性和乳化稳定性都最小, 而起泡稳定性在此点最大; 温度在 20~70℃ 范围内, 溶解性随温度升高而增大, 温度为 70℃ 时开始变性, 高于 70℃ 时蛋白质的溶解性降低。一定浓度的食盐的加入对猪血浆蛋白的功能性质起正效应。

**关键词:** 猪血浆蛋白; 功能性质; 溶解性; 起泡性; 乳化性

## Effect of Environmental Conditions on Functional Properties of Porcine Plasma Protein

ZHANG Li-juan, KONG Bao-hua\*, LIU Qian  
(College of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** The chemical composition and the isoelectric point (pI) of porcine plasma protein (PPP) were studied and the factors affecting its functional properties were analyzed including temperature, pH and ionic strength. The results showed that PPP contained 62.5% of protein and the isoelectric point was pH 5, at which PPP possessed the minimum of solubility, foaming activity and emulsion stability of porcine plasma protein. However, the foaming stability reached a maximum at this point. Solubility of plasma protein increased with the increasing temperature within the range of 20-70 °C and denaturation of PPP was observed when temperature was above 70 °C. This denaturation was accompanied by the reduction in solubility. The functional properties of porcine plasma protein could be improved by adding certain concentration of NaCl.

**Key words:** porcine plasma protein; functional properties; solubility; foaming properties; emulsifying properties  
中图分类号: TS201.21 文献标识码: A 文章编号: 1002-6630(2009)11-0037-06

猪血是在屠宰加工过程中获得的营养价值和生物价值很高的副产品<sup>[1-2]</sup>。全血的蛋白质含量很高, 包括 17~18 种氨基酸, 特别是赖氨酸、亮氨酸的含量较高<sup>[3]</sup>。还含有多种生物酶、低分子生物活性物质、葡萄糖、维生素(VB<sub>1</sub>、VB<sub>2</sub>、VB<sub>6</sub>、VB<sub>12</sub>、VD)、矿物质元素(Na、K、Cu、Zn、Co、Ca、P、Fe)<sup>[2]</sup>。血液中的蛋白质具有很高的生物效价, 与畜肉相近, 因此猪血被人们誉为“液体肉”<sup>[3]</sup>, 应予以重视和利用。

通常, 猪血浆蛋白显示出较好的功能性质, 使其适合加入到食品中<sup>[4]</sup>。因此, 许多学者建议把猪血浆蛋白作为一种功能性成分添加到食品中<sup>[5]</sup>。蛋白的功能性质不仅影响食品的感官性质也会影响其加工、运输和储藏过程中的物理性质, 从蛋白的结构特性评价它的功能性质是比较困难的, 尤其是像血浆蛋白这种含有几种不

同蛋白类型的蛋白<sup>[6]</sup>。蛋白质的功能性质不仅与蛋白质的来源有关, 而且与加工条件及各种外部环境条件有关, 如 pH 值、温度、离子强度或离子种类等<sup>[7-8]</sup>。环境条件改变, 蛋白质的功能性质也随之改变。

Hoyo 等<sup>[6]</sup>对标准猪血浆、通过离子交换获得的去阳离子猪血浆和通过超滤获得的去离子猪血浆的溶解性、起泡性、乳化性和表面张力等功能性质和物理性质做了比较。结果表明, 三种样品都具有较好的功能性质, 因此都能用于食品工业, 结果还显示离子交换和超滤能够改善猪血浆蛋白的乳化性但是对其他的功能性质影响较小。Parés 等<sup>[9]</sup>研究了高压在不同温度下对猪血浆蛋白一些功能性质的影响。结果表明, 虽然量热法和溶解性的数据显示当加压时蛋白质的结构发生改变, 但是并没有明显影响热诱导凝胶的功能性质。经过加压处理的

收稿日期: 2008-09-08

基金项目: 黑龙江省“十一五”重大科技攻关项目(GB06B403)

作者简介: 张立娟(1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向为肉品科学。E-mail: zhanglijuan1001@163.com

\* 通讯作者: 孔保华(1963-), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品科学。E-mail: kongbh63@hotmail.com

凝胶的持水力和硬度与未经处理(对照)的血浆是相似的;经过加压处理的不同温度的血浆形成的凝胶的显微结构没有什么不同,但是表观都与未经过加压处理的样品有所不同。Silva 等<sup>[4]</sup>研究了胰蛋白酶水解、pH 值、NaCl 等影响因素对牛血浆蛋白溶解性、疏水性和乳化性的影响。结果表明,牛血浆蛋白的疏水性和乳化能力指数(EAI)分别在 pH3.0 和 7.0 达最大值,而 pH 值的改变对其他性质的影响不是很明显。胰蛋白酶水解在某一水解度增加了牛血浆蛋白的疏水性,使溶解性和乳化能力(EC)有所降低,但是对 EAI 和乳化稳定性(ES)没有影响。NaCl 的加入在 pH5.0 时对 EAI 起正作用,但是溶解性和疏水性却明显的降低,而对于 ES 没有影响。

在食品加工过程中蛋白质会变性,变性的程度取决于 pH 值、温度、其他加工条件以及食品的特性。此外,在真实的食品中,蛋白质与其他食品组分,如脂肪、糖、多糖和次要组分相互作用,从而改变了它们的功能性质<sup>[10]</sup>。因此本实验研究了不同环境条件对猪血浆蛋白的溶解性、乳化性、乳化稳定性、起泡性和泡沫稳定性的影响。以期对猪血浆蛋白更好的应用于食品中提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

猪血浆蛋白粉购于黑龙江省北大荒肉业,蛋白质含量为 62.5%。

大豆色拉油 上海嘉里粮油工业有限公司; SDS(十二烷基磺酸钠) 美国 Amresco 公司; 酪蛋白(C-5890) Sigma 公司; 其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

JD500-2 型电子天平 沈阳龙腾电子称量仪器有限公司; AL-104 型精密电子天平、Delta320 型 pH 计 上海梅特勒-托利多仪器设备有限公司; UT-1800 型紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司; LG10-24A 型高速离心机 北京医用离心机厂; DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司; SX-4-10 型马福炉 上海洪纪仪器设备有限公司; HYP-II 型消化炉 上海纤检仪器有限公司; 2300 型全自动凯氏定氮仪 丹麦瑞典 FOSS 公司; 78-1 型磁力搅拌器 江苏金坛市中大仪器厂; HH-4 型数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司; T18 basic 型高速匀浆机 德国 IKA 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 猪血浆蛋白化学组成测定

水分的测定: GB.5009.3—2003, 直接干燥法; 灰分的测定: GB.5009.4—2003, 干法灰化; 脂肪的测定: GB.5009.6—2003, 索氏抽提法; 蛋白质的测定: GB.

5009.5—2003, 自动凯氏定氮法; 还原糖的测定: GB.5009.7—2003, 直接滴定法。

#### 1.3.2 猪血浆蛋白等电点的确定

称取猪血浆蛋白粉与蒸馏水 1:100(W/V)混合, 用 0.5mol/L NaOH 调至 pH8.0, 室温搅拌提取 1h 后, 4000 r/min 离心 20min, 取等量上清液, 用 0.5mol/L HCl 调至不同 pH 值(3~6.5)沉淀蛋白质并离心, 双缩脲法分别测定沉淀前后上清液中蛋白质含量, 上清液中蛋白质残留率最低时的 pH 值即为蛋白质的等电点<sup>[11]</sup>。

$$\text{上清液中蛋白质的残留率(\%)} = \frac{\text{不同 pH 值沉淀后上清液中的蛋白质含量(mg/ml)}}{\text{沉淀前上清液中蛋白质含量(mg/ml)}} \times 100$$

#### 1.3.3 猪血浆蛋白溶解性的测定

参照 Tang 的方法<sup>[12]</sup>。称取猪血浆蛋白粉 0.5g, 溶于 50ml 水(或 50ml 不同浓度的盐溶液)中, 用 0.1mol/L HCl 或 0.1mol/L NaOH 调节所需 pH 值, 在特定温度下磁力搅拌 30min, 在 4000r/min 离心 20min。用双缩脲法测定上清液中的蛋白含量。用酪蛋白作标准曲线。用下面的公式计算蛋白的溶解性(PS)。将 0.5g 猪血浆蛋白粉, 溶于 50ml 0.05mol/L NaOH, 用双缩脲法测得的蛋白含量作为总蛋白含量。

$$\text{PS(\%)} = \frac{\text{上清液中蛋白含量}}{\text{样品中总蛋白含量}} \times 100$$

#### 1.3.4 猪血浆蛋白乳化性及乳化稳定性的测定

采用浊度法<sup>[13]</sup>。取一定量的猪血浆蛋白粉溶于缓冲溶液(0.02 mol/L 磷酸氢二钠和 0.01 mol/L 柠檬酸, 不加或加入不同量的 NaCl)中, pH3~8 之间, 室温(25℃)下磁力搅拌 30min。取 9ml 溶液于 50ml 离心管(直径 28mm)中, 加入 3ml 大豆色拉油, 高速匀浆机“5 档”分散乳化 1min。然后立即将乳化液倒入 25ml 的玻璃杯(直径 30mm)中, 分别在 0、10min 在距离杯底 5mm 处取 50μl 乳状液于试管中, 加入 0.1% SDS 溶液 5ml 混匀, 取少量稀释样品测定在 500nm 处的吸光度。乳化活力指数(EAI)和乳化稳定指数(ESI)用以下公式进行计算:

$$\text{EIA(m}^2\text{/g)} = \frac{2 \times 2.303}{C \times (1 - \phi) \times 10^4} \times A_{500\text{nm}} \times \text{稀释倍数}$$

$$\text{ESI} = 100 \times A_{10}/A_0$$

式中:  $\phi$  为油相体积分数(V/V,  $\phi = 0.25$ ); C 为蛋白浓度(g/ml);  $A_0$ 、 $A_{10}$  为乳状液在 0、10min 的吸光度。

#### 1.3.5 猪血浆蛋白起泡性和泡沫稳定性的测定

参照 Agyare 和 Arogundade 的方法<sup>[13-14]</sup>。取一定量的猪血浆蛋白粉溶于缓冲溶液(0.02mol/L 磷酸氢二钠和 0.01mol/L 柠檬酸, 不加或加入不同量的 NaCl)中, pH3~8

之间, 室温下磁力搅拌 30min。取 20ml( $V_0$ )溶液于 100ml 塑料量筒中, 高速匀浆机“3 档”搅打 1min。立即读取泡沫的总体积( $V_1$ )。泡沫在室温下静置, 读取 5、10、30、60、90、120、180min 的泡沫体积( $V_t$ )。起泡性(FC)和泡沫稳定性(FS)的大小用如下公式表示:

$$FC = V_1 - V_0$$

$$FS(\%) = V_t/V_1 \times 100$$

### 1.3.6 统计分析

每个实验重复 3 次, 结果表示为  $\bar{x} \pm s$ 。数据统计分析采用 Statistix 8.1 (分析软件, St Paul, MN) 软件包中 Linear Models 程序进行, 差异显著性( $p < 0.05$ )分析使用 Tukey HSD 程序, 采用 Sigmaplot 9.0 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 猪血浆蛋白化学组成测定

表 1 猪血浆蛋白化学成分

Table 1 Chemical composition of porcine plasma protein

血浆蛋白成分	水分	灰分	脂肪	蛋白质	还原糖
含量(%)	13.45 ± 0.03	15.44 ± 0.38	1.65 ± 0.12	62.50 ± 0.23	0.40 ± 0.07

### 2.2 猪血浆蛋白等电点的测定

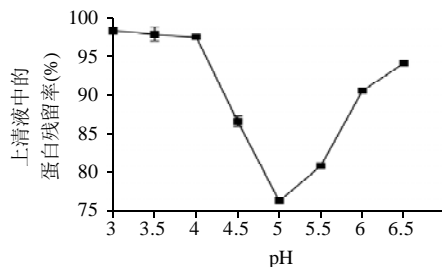


图 1 猪血浆蛋白的等电点

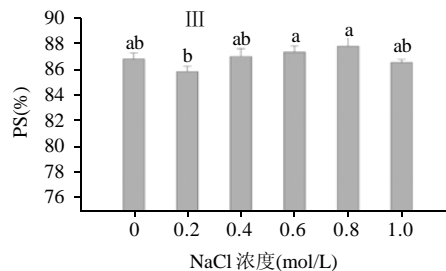
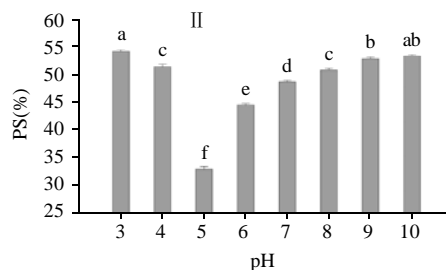
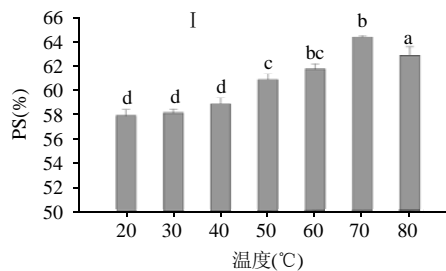
Fig.1 Isoelectric point (pI) of porcine plasma protein

由图 1 可以看出, 猪血浆蛋白经不同 pH 值沉淀后, 上清液中残留的蛋白质含量在 pH 5.0 时最低, 占提取液中总蛋白质含量的 76.35%, 而在 pH 5.0 两侧残留蛋白质含量均较高, pH 3.0 时的沉淀最差, 上清液中的蛋白质含量最高, 达提取总蛋白质含量的 98.34%。因此, pH 5.0 为该蛋白质的等电点。

### 2.3 温度、pH 值、NaCl 浓度对猪血浆蛋白溶解性的影响

由图 2 I 可知: 20~70℃ 范围内, 溶解度随温度的升高而增加; 但当温度继续升高到 80℃ 时, 溶解度有所降低。这主要是因为: 温度低时, 不利于水分子和蛋白质分子的相互作用, 当温度增加时, 蛋白质的分子构象轻微改变, 分子的立体结构伸展, 有利于蛋白质分子和水分子的运动及其相互作用, 温度增加起到增

溶作用, 故溶解度随温度的升高而升高<sup>[15]</sup>; 在超过 70℃ 时, 由于热动能的增加导致蛋白质结构的展开(变性), 于是原先埋藏在蛋白质结构内部的非极性基团暴露, 促进了聚集和沉淀作用, 使蛋白质的溶解度下降<sup>[10]</sup>。这与大多数蛋白质的热溶解性相同。



I、II、III 分别代表温度、pH 值和 NaCl 浓度对猪血浆蛋白溶解性的影响。图中相同体系, 上标字母相同表示两者差异不显著( $p > 0.05$ ); 字母不同表示差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

图 2 不同环境条件对蛋白溶解性的影响

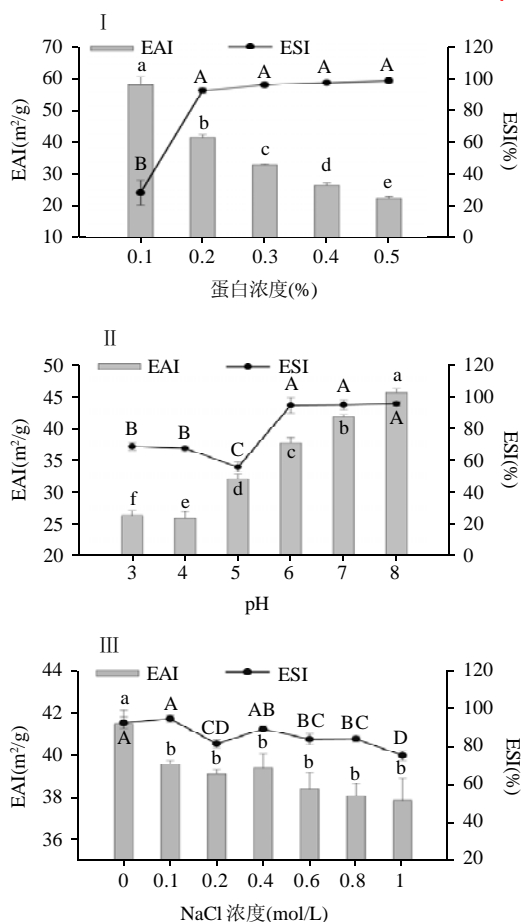
Fig.2 Effects of different environmental conditions on solubility of porcine plasma protein

由图 2 II 可知: 猪血浆蛋白溶解性随着 pH 值变化的趋势同大多数蛋白质一样, 在 pH 值小于等电点时, 溶解性随着 pH 值的升高而降低; 在等电点附近溶解性降到最低; 在 pH 值大于等电点时, 溶解性随着 pH 值的升高而升高。这是因为在低于或高于等电点 pH 值时, 蛋白质分别带有净的正电荷或净的负电荷。带电的氨基酸残基的静电排斥和水合作用促进了蛋白质的溶解<sup>[10]</sup>。蛋白质是两性分子, 在酸性介质中, 蛋白质分子主要以正离子状态存在, 互相排斥, 分子分散性较好, 溶解度较高, 但随着 pH 值的升高, 溶解度逐渐下降, 在等电点时蛋白质以两性离子状态存在, 溶解度变得很低; 当 pH 值继续升高(超过其等电点时), 蛋

白质变成负离子,溶解度随着pH值的升高而升高<sup>[15]</sup>。

由图2 III可知:在0.2~0.8mol/L的NaCl溶液中,血浆蛋白质的溶解度随着NaCl浓度的增大而提高,这是因为在低浓度的盐溶液中,盐离子与蛋白质带相反电荷的基团相互作用而形成双电层,减少了蛋白质分子间的静电作用,蛋白质分子很好的分散,蛋白质溶解度增大,这就是盐溶效应;当NaCl浓度增大到1.0mol/L时,血浆蛋白的溶解度下降,这是因为离子中和了蛋白质的电荷,破坏了双电层的水化膜,蛋白质分子间聚集沉淀析出,这就是盐析效应<sup>[16]</sup>;但当NaCl浓度在0~0.2mol/L时,出现反常,此时的溶解度随NaCl浓度的增加而降低,这与鹰嘴豆分离蛋白的溶解性关系相似<sup>[11]</sup>。

2.4 蛋白浓度、pH值、NaCl浓度对猪血浆蛋白乳化性及乳化稳定性的影响



I、II、III分别代表蛋白浓度、pH值、NaCl浓度对猪血浆蛋白乳化性和乳化稳定性的影响。

图3 不同环境条件对乳化性和乳化稳定性的影响

Fig.3 Effects of different environmental conditions on EAI and ESI of porcine plasma protein

EAI是表示蛋白质作为乳化剂乳化效力的一种方法<sup>[13]</sup>。由图3 I可以看出,血浆蛋白的EAI随着蛋白浓度的增

加而减小。这个结果在麦麸蛋白和杏仁蛋白中也有相似的报告<sup>[13,17]</sup>。乳化活力对蛋白浓度的依赖可以用动力学吸收来解释。在低蛋白浓度时,蛋白在油水界面的吸收是被限制扩散的;在高蛋白浓度时,活化能屏障不允许蛋白以扩散的方式移动。在低浓度时,由于肽的快速吸收,使得有较大的扩散系数,促进油与样品溶液的相互作用,而样品浓度的增加会导致样品溶液中肽的聚集,进而使乳化活力下降<sup>[13]</sup>。乳化稳定性用ESI表示,从图3 I中可以看出猪血浆蛋白的ESI随蛋白浓度的增加而增大,当蛋白质浓度从0.1%增加到0.2%时,蛋白质的ESI显著增加( $p<0.05$ ),之后,随着蛋白质浓度的提高,乳化稳定性增加的幅度较小。这是因为蛋白质浓度的增加,可增加界面膜厚度,从而增加膜的强度,增加蛋白质乳化稳定性<sup>[18]</sup>。

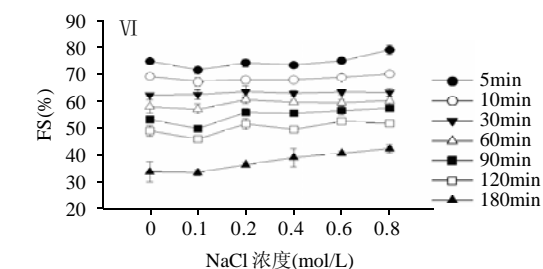
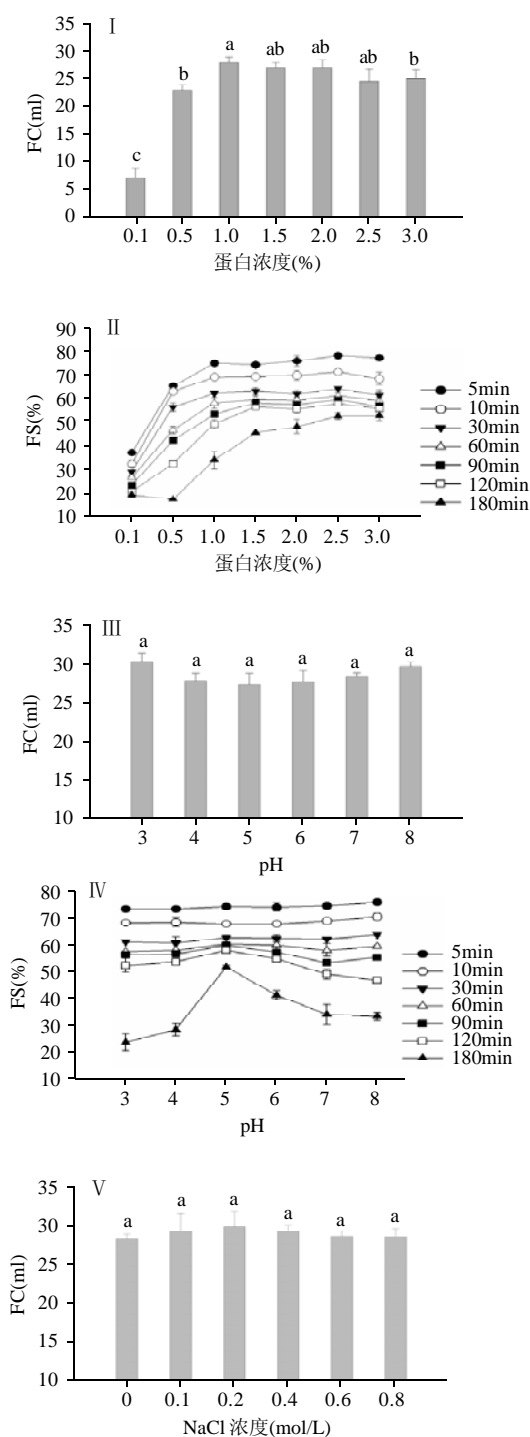
pH值对猪血浆蛋白EAI和ESI的影响是用浓度为0.2%的蛋白溶液进行分析的。蛋白质是两性物质,随着pH值的变化,表面的带电情况及溶解性随之变化,其乳化能力及乳化稳定性同样也发生变化。从图3 II中可以看出,猪血浆蛋白的乳化性随pH值的增加而增加,在pH4时稍有异常,这个结果与Silva等的报道相似<sup>[4]</sup>。而血浆蛋白的乳化稳定性在pH5(等电点)时最低,在等电点两侧稳定性都较好,在pH8时最好。

由图3 III可知,在pH7浓度0.2%的蛋白溶液中NaCl的加入降低了猪血浆蛋白的乳化性,与NaCl对溶解性的影响是不同的。产生这种结果的一个原因可能是:EAI是评价蛋白质保持乳化体系油水界面的能力的指标,然而盐的加入能增加蛋白从油水界面向水相体系的通过量,因此降低了猪血浆蛋白的EAI<sup>[4]</sup>。猪血浆蛋白的乳化稳定性,随着NaCl浓度的增加呈先上升后下降的趋势,在0.2mol/L处出现异常。稳定性的降低,可能是由于盐离子压缩了胶体的扩散双电层厚度,引起乳状液油滴表面电位的减小,乳状液体系的斥力点位下降,油滴之间易产生聚集,从而降低了乳状液的稳定性<sup>[19]</sup>。

2.5 蛋白浓度、pH值、NaCl浓度对猪血浆蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响

蛋白质的浓度(本实验选择蛋白浓度0.1%~0.3%、pH7、不加NaCl)影响着泡沫的一些性质,蛋白质浓度愈高,泡沫愈坚硬。泡沫的硬度是由小气泡和高黏度造成的。高蛋白浓度提高了黏度,有助于在界面形成多层的黏合蛋白质膜。起泡能力一般随蛋白质浓度提高至某一浓度值达到最高值<sup>[10]</sup>。从图4 I可以看出,蛋白浓度1%时,猪血浆蛋白的起泡性达到最大值,其膨胀率(overrun)达到141.5%,蛋白浓度在0.1%~1%之间时,

起泡性随蛋白浓度的增加而增大,在1%~3%之间时,起泡性随蛋白浓度的增加而减小。从图4 II中可知,对于泡沫稳定性而言,随着蛋白质浓度的增加,呈上升的趋势,而在0.1%~1%之间增加的幅度较大,在1%~3%之间时上升的趋势比较平缓,差异性不显著( $p>0.05$ )。这是因为蛋白质浓度较大时,蛋白质与蛋白质的相互作用导致形成较厚的吸附膜,因而对泡沫的稳定是有益的<sup>[16]</sup>。



I、II 分别代表蛋白浓度对猪血浆蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响；III、IV 分别代表 pH 值对猪血浆蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响；V、VI 分别代表 NaCl 浓度对猪血浆蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响。

图4 不同环境条件对蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响

Fig.4 Effects of different environmental conditions on FC and FS of porcine plasma protein

在蛋白浓度 1%, 不加 NaCl 条件下, 考察 pH 值对蛋白起泡性和泡沫稳定性的影响, 从图 4 III 中可知, 最低的起泡性出现在 pH5 (猪血浆蛋白的等电点), 此点的膨胀率为 136.5%, 与其他 pH 值相比, 蛋白分子以比较紧凑的形式存在; 在等电点两侧 (酸性或碱性范围) 起泡性较好, pH3 和 pH8 的膨胀率分别为 150.8% 和 148.3%。好的起泡剂的基本要求是在形成泡沫的过程中能够快速地在气-水界面, 易于在界面上展开和重排<sup>[20]</sup>。pH 值对起泡性的影响与其对溶解性的影响类似。这可能是因为蛋白质净电荷的增加削弱了表面疏水性, 增加了蛋白质的溶解性和弹性, 使蛋白质能够迅速地在气-水界面展开, 卷入更多的空气, 因此能增加泡沫的形成量。Akintayo<sup>[21]</sup>和 Lawal 等<sup>[22]</sup>也有过类似的报告。图 4 IV 是不同 pH 值条件下, 不同时间血浆蛋白的稳定性, 从图 4 IV 可以看出, 血浆蛋白在 pH5 (等电点) 处泡沫稳定性最好, 酸性和碱性次之, 而且相差大小与时间有关。已有报道说, 由蛋白稳定的泡沫, 等电点处形成的泡沫比其他 pH 值处形成的泡沫稳定性要好<sup>[8]</sup>。处在或接近等电点, 由于缺乏排斥相互作用, 这有利于在界面上的蛋白质-蛋白质相互作用和形成黏稠的膜, 这有利于气-水界面形成稳定的分子膜, 这增加了气泡的稳定性<sup>[10,22]</sup>。

盐对蛋白质起泡性的影响取决于盐的种类和蛋白质的性质, 本实验选择在蛋白浓度 1%, pH7 条件下, NaCl 作为影响因素。NaCl 对起泡性和泡沫稳定性的影响与盐的浓度有很大关系。由图 4 V 中可知, 在 0~0.2 mol/L 范围内起泡性随 NaCl 浓度的增加而增大, 在 0.2~0.8 mol/L 范围内起泡性随 NaCl 浓度的增加而减小。这是由于 NaCl 浓度较低时, 溶解的蛋白质较少, 仍有部分蛋白质以固体状态存在, 这时液体经过搅拌, 生成固、液、气三相泡沫, 固体和液膜的接触面适中, 则可吸附在界面上, 阻止气泡粗化, 起泡性增加, 但是 NaCl 浓度超过一定值后, 溶解的蛋白质增多而使溶液中以固体形式存在的蛋白质减少, 不能形成三相泡沫, 故起泡性

降低<sup>[23]</sup>。由图 4 VI 可知, NaCl 的加入对猪血浆蛋白的泡沫稳定性有增强作用。

### 3 结 论

本实验所用的猪血浆粉蛋白含量为 62.5%, 蛋白质的等电点为 pH5, 在等电点血浆蛋白的溶解性、起泡性和乳化稳定性最小。这主要是由于在等电点时, 蛋白质分子以两性离子存在, 总净电荷为零, 由于缺乏静电排斥作用, 导致蛋白质的聚集和沉淀, 进而影响蛋白质的一些功能性质。该蛋白质在温度为 70℃ 时开始变性, 高于 70℃ 时蛋白质的溶解度性降低。通过测定不同环境条件下血浆蛋白的各种功能性质, 可知环境条件对血浆蛋白的功能性质有很大影响, 因此在把猪血浆蛋白作为功能性成分加入到食品中时要考虑到环境因素对其的影响, 要选择合适的条件使其发挥最好的功能性质。

### 参考文献:

- [1] BENJAKUL S, VISESSANGUAN W, SRIVILAI C. Porcine plasma protein as proteinase inhibitor in bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) muscle and surimi[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2001, 81: 1039-1046.
- [2] 陈力力, 马美湖, 谭周进. 猪血蛋白在农畜业生产上的开发利用[J]. 广西农业生物科学, 2006, 25(1): 123-126.
- [3] 余奕珂, 胡建恩, 白雪芳, 等. 以猪血为蛋白源的生物活性肽的研究进展[J]. 精细与专用化学品, 2004, 12(18): 10-13.
- [4] SILVA V D M, SILVESTRE M P C. Functional properties of bovine blood plasma intended for use as a functional ingredient in human food[J]. Lebensm Wiss u Technol, 2003, 36: 709-718.
- [5] PARÉS D, LEDWARD D A. Emulsifying and gelling properties of porcine blood plasma as influenced by high-pressure processing[J]. Food Chemistry, 2001, 74: 139-145.
- [6] HOYO P D, RENDUELES M, DÍAZ M. Effect of processing on functional properties of animal blood plasma[J]. Meat Science, 2008, 78: 522-528.
- [7] MWASARU M A, MUHAMMAD K, BAKAR J, et al. Influence of altered solvent environment on the functionality of pigeonpea (*Cajanus cajan*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) protein isolates[J]. Food Chemistry, 2000, 71: 157-165.
- [8] ALUKO R E, YADA R Y. Structure-function relationship of cowpea (*Vigna unguiculata*) globulin isolates: influence of pH and NaCl on physicochemical and functional properties[J]. Food Chemistry, 1995, 53: 259-265.
- [9] PARÉS D, SAGUER E, TOLDOUÀ M, et al. Effect of high pressure processing at different temperatures on protein functionality of porcine blood plasma[J]. Food Engineering and Physical Properties, 2000, 65: 486-490.
- [10] 王璋, 许时婴, 汤坚. 食品化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 151-166.
- [11] 张涛, 江波, 王璋. 鹰嘴豆分离蛋白的功能性质[J]. 食品科技, 2005 (4): 19-22.
- [12] TANG C H. Functional properties and *in vitro* digestibility of buckwheat protein products: influence of processing[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 82: 568-576.
- [13] AGYARE K K, ADDO K, XIONG Y L. Emulsifying and foaming properties of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate as influenced by pH, temperature and salt[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23: 72-81.
- [14] AROGUNDADE L A. Functional characterization of Tef (*Eragrostis tef*) protein concentrate: influence of altered chemical environment on its gelation, foaming, and water hydration properties[J]. Food Hydrocolloids, 2006, 20: 831-838.
- [15] 银玉容, 刘婉乔, 肖凯军. 芝麻蛋白的溶解度和乳化性的研究[J]. 食品科学, 1996, 17(3): 3-6.
- [16] 寇明钰. 花椒籽蛋白质分离提取及功能性质的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2006.
- [17] SZE-TAO K W C, SATHE S K. Functional properties and *in vitro* digestibility of almond (*Prunus dulcis* L.) protein isolates[J]. Food Chemistry, 2000, 69: 153-160.
- [18] 赵冬艳, 王金水, 叶涛. 微波处理提高谷朊粉乳化性的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(5): 25-28.
- [19] 张鸣镝, 姚惠源. 玉米胚芽分离蛋白溶解性和乳化性质的研究[J]. 中国油脂, 2003, 31(8): 36-39.
- [20] EIL NASRI N A, EL TINAY A H. Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate[J]. Food Chemistry, 2007, 103: 582-589.
- [21] AKINTAYO E T, OSHODI A A, ESUOSO K O. Effects of NaCl, ionic strength and pH on the foaming and gelation of pigeon pea (*Cajanus cajan*) protein concentrates[J]. Food Chemistry, 1999, 66: 51-56.
- [22] LAWAL O S, ADEBOWALE K O, OGUNSANWO B M, et al. On the functional properties of globulin and albumin protein fractions and flours of African locust bean (*Parkia biglobosa*) [J]. Food Chemistry, 2005, 92: 681-691.
- [23] 银玉容, 肖凯军, 刘婉乔. 芝麻蛋白发泡性、持水力的理论研究[J]. 食品与发酵工业, 1996(3): 33-36.