

# 干燥方法对猪血清物化性质的影响

张崧, 熊伟, 刘文龙, 王新惠, 张建

(成都大学肉类加工四川省重点实验室, 四川成都 610106)

**摘要:** 为了提高畜禽屠宰副产物畜禽血的综合利用, 减少资源浪费, 降低环境污染, 本文以猪血为原料, 探讨了不同干燥方式对畜禽血清物化性质的影响。通过比较真空干燥、鼓风干燥和冷冻干燥对血清蛋白, 血清粉的复水性、可溶性肽含量、水解度及色泽的影响, 发现冷冻和鼓风干燥对血清蛋白影响较小, 仅在分子量 50 ku~75 ku 之间出现部分聚合血清蛋白; 真空干燥导致较多血清蛋白聚合, 产生较多分子量大于 100 ku 的蛋白质; 冷冻干燥血清粉的复水性优于真空和鼓风干燥, 用去离子水浸泡 2 h 即可完全溶解, 而鼓风和真空干燥血清的复水性较差, 不能完全溶解; 冷冻干燥血清粉的可溶性肽及水解度均显著 ( $p<0.05$ ) 高于鼓风干燥和真空干燥, 鼓风干燥血清粉的可溶性肽及水解度均显著 ( $p<0.05$ ) 高于真空干燥; 冷冻干燥血清粉的色差值显著 ( $p<0.05$ ) 高于鼓风和真空干燥样品。

**关键词:** 血清; 干燥; 冷冻干燥

文章编号: 1673-9078(2016)10-220-225

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.10.033

## Effects of Drying Methods on the Physicochemical Properties of Pig Serum

ZHANG Yin, XIONG Wei, LIU Wen-long, WANG Xin-hui, ZHANG Jian

(Key Lab of Meat Processing of Sichuan, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

**Abstract:** To comprehensively utilize blood by-products from the livestock and poultry slaughter industries, reduce resource waste, and avoid environmental pollution, pig blood was collected as raw material and the effects of different drying methods on the physicochemical properties of blood serum were investigated. Protein patterns in blood serum, rehydration ratios, soluble-peptide content, degree of hydrolysis, and color of serum powder were adopted as indices, and the effects of vacuum, forced-air, and freeze drying on these indices were investigated and compared. The results indicated that freeze and forced-air drying altered the protein patterns in serum, with minor accumulations of new proteins at molecular weights between 50 ku and 75 ku. Vacuum drying resulted in serum-protein polymerization, producing additional protein species at molecular weights >100 ku. The ability to rehydrate for freeze dried serum powder was better than that of vacuum and forced-air drying samples. Freezed-dried serum powder was dissolved completely in deionized water after 2 h, whereas forced-air and vacuum-dried samples were partially dissolved in deionized water. The soluble-peptide content and degree of hydrolysis of the freeze-dried serum were significantly ( $p<0.05$ ) higher than those observed in forced-air and vacuum-dried serums. Additionally, the soluble-peptide content and degree of hydrolysis of the forced-air dried serum was significantly ( $p<0.05$ ) higher than that observed in the vacuum-dried serum, and the color value of the freeze-dried serum was significantly ( $p<0.05$ ) higher than that observed for the forced-air dried and vacuum dried serums.

**Key words:** serum; drying; freeze drying

畜禽血是畜禽屠宰加工主要的副产物之一, 营养物质含量丰富<sup>[1]</sup>。由于食用时血腥味较重、适性口差, 而且新鲜畜禽血很容易变质, 贮藏稳定性差, 导致畜禽血的回收利用较少, 多数屠宰企业将其作为废弃物处理<sup>[2]</sup>。这不仅造成资源的巨大浪费, 而且也带来环境污染问题。因此, 开发猪血的综合利用技术是目前

肉类工业的急需技术。

近年来从畜禽血中提取血红素成为畜禽血回收利用的新出路。血红素不仅可用于补铁类功能性食品加工<sup>[3,4]</sup>, 还可在肉制品工业中作为发色剂及人工色素应用<sup>[5]</sup>。血红素还是治疗恶性肿瘤的叶啉类药物和治疗肝炎的原叶啉二钠盐和胆红素的前体物质<sup>[6,7]</sup>。尽管血红素的利用前景很好, 但是这只是对血红细胞的利用, 还有占畜禽血全血容积约 50%的血清<sup>[8]</sup>尚未很好利用, 致使通过血红素提取利用畜禽血的技术推广应用受阻。因此, 在从畜禽血中提取血红素的同时, 如何

收稿日期: 2015-10-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31501505)

作者简介: 张崧 (1981-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 畜禽产品加工与保藏

将血清有效利用,是实现畜禽血综合利用的关键。

将分离血红细胞后的血清进行适当干燥,在延长其贮藏稳定性同时,使其中的蛋白质变性较少,这将为后期利用干燥后的血清粉强化食品原料及饲料的蛋白质,通过酶解血清粉,再经麦拉德反应制备肉味香精香料等应用提供很好的原料。然而目前国内外对干燥方式与血清物化性质关系的研究少有报道。因此,为了全部利用畜禽血,完善畜禽血综合加工技术,并为血清干燥方式的选择提供依据,本文探讨了干燥方式对血清物化性质的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

新鲜猪血由四川欣康绿食品有限公司提供;木瓜蛋白酶(酶活力 50000 U/g),购自上海源叶生物科技有限公司;十二烷基磺酸钠(SDS)、三甲基氨基甲烷(Tris)、甘氨酸、 $\beta$ -巯基乙醇均为生化试剂,柠檬酸钠、柠檬酸、磷酸氢二钠、氢氧化钠、硫酸铜、酒石酸钾钠、三氯乙酸(TCA)等均为分析纯。

FD-1A-50型真空冷冻干燥机(上海比朗仪器制造有限公司);ZDF-A 5140鼓风干燥箱(上海智城分析仪器制造有限公司);DZF-6050型真空干燥箱(上海方瑞仪器有限公司);SHA-C恒温震荡水浴锅(常州澳华仪器有限公司);XW-80A漩涡混合器(江苏海门市麒麟医用仪器厂);FW-200A倾斜式高速万能粉碎机(北京中兴伟业仪器有限公司);JA3103N电子分析天平(常州锐品精密仪器有限公司);DZKW-4电子恒温水浴锅(北京中兴伟业仪器有限公司)。FJ-200均质机(上海标本模具厂)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 猪血血清粉的制备

鼓风干燥血清粉:新鲜猪血,加 0.3% ( $m/V$ ) 柠檬酸钠抗凝,在 3500 r/min 条件下离心 15 min,取上清液猪血清,将其置于 ZDF-A5140 鼓风干燥箱在 70 °C 中干燥至恒重。用 FW-200A 倾斜式高速万能粉碎机将干燥血清粉碎,过 100 目筛,取筛下物封装备用。

冷冻干燥血清粉:新鲜猪血,加 0.3% ( $m/V$ ) 柠檬酸钠抗凝,在 3500 r/min 条件下离心 15 min,取上清液血清,将血清置于 FD-1A-50 型真空冷冻干燥机干燥至恒重。用 FW-200A 倾斜式高速万能粉碎机将干燥血清粉碎,过 100 目筛,取筛下物封装备用。

真空干燥血清粉:新鲜猪血,加 0.3% ( $m/V$ ) 柠檬

酸钠抗凝,在 3500 r/min 条件下离心 15 min,取上清液血清,将血清置于 DZF-6050 型真空干燥箱。在 70 °C 中干燥至恒重。用 FW-200A 倾斜式高速万能粉碎机将干燥血清粉碎,过 100 目筛,取筛下物封装备用。

#### 1.2.2 血清粉复水性测定

称取 1 g 干燥后的血清粉置于 50 mL 烧杯中,按 1:10 ( $m/V$ ) 与去离子水混合,在室温下 ( $23\pm 1$  °C) 分别静置 10 min、30 min、1 h、2 h、3 h、4 h,然后用滤纸滤去上清液,在 ZDF-A5140 鼓风干燥箱于 70 °C 干燥残留不溶物至恒重,计算不同时间时的溶解率。每样做 3 次平行测定。溶解率计算如下:

$$\text{溶解率}(\%) = (m_0 - m_r) / m_0 \times 100\%$$

式中:  $m_0$  为血清粉质量, g;  $m_r$  为溶解后剩余残渣质量, g。

#### 1.2.3 十二烷基磺酸钠-凝胶电泳(SDS-PAGE)<sup>[9]</sup>

称取 0.16 g 血清粉或量取 1 mL 血清,加入 4.5 mL 10% (0.1 g/mL) 的 SDS 溶液。混合物用 FJ-200 均质机在 2000 r/min 下均质 1 min,均质液在 85 °C 的水浴中加热 1 h,然后在 20 °C, 11000 g 下离心 5 min。溶解的样品按体积比 1:1 与样品缓冲液混合 (0.5 mol/L 的 Tris-HCl, pH 6.8, 含 0.04 g/mL 的 SDS, 0.2 g/mL 的甘油和 0.1 g/mL 的  $\beta$ -巯基乙醇) 煮沸 3 min。将大约含 20  $\mu$ g 蛋白的样品液上到凝胶上,在 30 mA 的电流下电泳。电泳胶由 10% 的分离胶和 4% 的浓缩胶构成。

#### 1.2.4 电泳图分析

电泳图的光密度(Optical density,O.D)用 Gel-Pro Analyzer 4.0 软件分析<sup>[10]</sup>。

$$O.D(x, y) = \frac{-\log(INTENSITY(x, y) - BLACK)}{INCIDENT - BLACK}$$

式中:  $INTENSITY(x, y)$  表示象素点  $(x, y)$  的光强度(intensity);  $BLACK$  表示光线完全被吸收时的光强度;  $INCIDENT$  表示入射光强度。

#### 1.2.5 色差测定

血清粉及冻结血清的色差测定方法同文献<sup>[11]</sup>。

#### 1.2.6 干燥血清粉酶解

称取 2 g 血清粉,按 1:10 ( $m/V$ ) 与 pH 6.0 的磷酸盐缓冲液混合,预热至 60 °C 后,按酶活与底物浓度比 13000 U/g 加入木瓜蛋白酶,用 SHA-C 恒温震荡水浴锅在 60 °C 震荡 (80 r/min) 酶解 4 h。酶解结束后于 90 °C 水浴灭酶 15 min。取酶解液测定其中的可溶性肽含量和水解度。每样做 3 次平行测定。

#### 1.2.7 可溶性肽含量测定

血清粉酶解液经 10% TCA 沉淀 2 h 后,过滤。取

离心后的酶解液 1 mL, 将其与 5 mL 双缩脲试剂混合, 用 BDSZ-1 试管振荡器混匀 2 min。采用 UV-7502 型分光光度计测定可溶性肽含量, 测定过程参照文献 [12]。

### 1.2.8 氨基氮测定

采用甲醛电位滴定法测定氨基氮含量。先用 pH 6.86 和 9.18 的标准缓冲液校正好 pH 计, 然后将电极清洗干净。取酶解液 5 mL, 加蒸馏水 30 mL, 将复合电极放在上述溶液中, 用 0.05 mol/L NaOH 标准液滴定至 pH 值 8.2, 再加入 10 mL 中性甲醛溶液, 再用 0.05 mol/L NaOH 标准溶液继续滴定至 pH 值为 9.2, 记录消耗的 NaOH 溶液体积。空白测定时取血清粉 2 g, 加入 20 mL 蒸馏水, 混合均匀并静置一段时间后离心, 测定在加入甲醛后滴定至 pH 9.2 时所用 NaOH 标准溶液的体积 mL。利用下述计算式测定游离氨基氮的含量 [13]。

$$y = (V_1 - V_2) \times C \times 0.014 \times 100 \div (m \div 4)$$

式中:  $y$ -氨基态氮(%);  $V_1$ -酶解液在加水加入甲醛后滴定至 pH 9.2 所用 NaOH 标准溶液的体积, mL;  $V_2$ -空白滴定在加入甲醛后滴定至 pH 9.2 所用 NaOH 标准溶液的体积, mL;  $C$ -NaOH 标准溶液的浓度, mol/L;  $M$ -吸取的猪血清蛋白的质量, g; 0.014-氮的毫摩尔质量, g/mmol。

### 1.2.9 水解度的计算

水解度 (Degree of hydrolysis, DH) 定义为在水解过程中打开的肽键数占蛋白质肽键总数的百分比。当蛋白质全部水解生成游离氨基酸时 DH=100%, 没有水解时 DH=0%。计算公式如下:

$$\text{水解度}(\%) = \frac{\text{酶解液氨基氮}}{\text{酶解体系总氮}} \times 100\%$$

### 1.2.10 数据分析

实验数据采用 Excel 2010 求平均值、计算标准误差并绘图。采用 SAS 9.0 对数据显著性进行分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 干燥方法对血清蛋白种类的影响

不同干燥方式对血清蛋白种类的影响见图 1。图 1a 为血清蛋白的聚丙烯凝胶 (SDS-PAGE) 电泳图, 图 1b 为图 1a 中血清蛋白条带的光密度 (OD) 分布。图 1a 中分离胶和浓缩胶的蛋白质条带显示, 条带 1 和 3、4 较相似, 条带 2 在浓缩胶部分有较多分子量大于 250 ku 的蛋白被截留。图 1b 中 OD 分布显示, 尽管条带 1 和 3、4 在分子量 50 ku~75 ku 之间有所区别, 条带 3、4 在分子量 50 ku~75 ku 之间出现了部分聚合蛋白, 但是其他部分均与原血清的蛋白形式类似; 条带 3 的分离胶 OD 分布显示, 干燥过程中有分子量大

于 100 ku 的蛋白质形成。

条带 1、2、3、4 分别为血清、真空干燥血清粉、鼓风干燥血清粉和冻干血清粉。由此可知, 与未干燥血清蛋白相比, 真空干燥使血清蛋白的种类发生了较大变化, 出现了部分蛋白质分子发生聚合, 形成分子量更大的蛋白质; 鼓风干燥血清粉、冷冻干燥血清粉主要在分子量 50 ku~75 ku 之间出现了少量蛋白质聚合现象, 其他部分与未干燥血清的蛋白质形式较相似。因此, 相比较而言, 鼓风干燥和冷冻干燥对血清蛋白种类的影响较真空干燥小。由于冷冻干燥成本高 [14], 所以在血清干燥中, 可用鼓风干燥代替冷冻干燥以确保血清蛋白在干燥过程中发生较小变化。

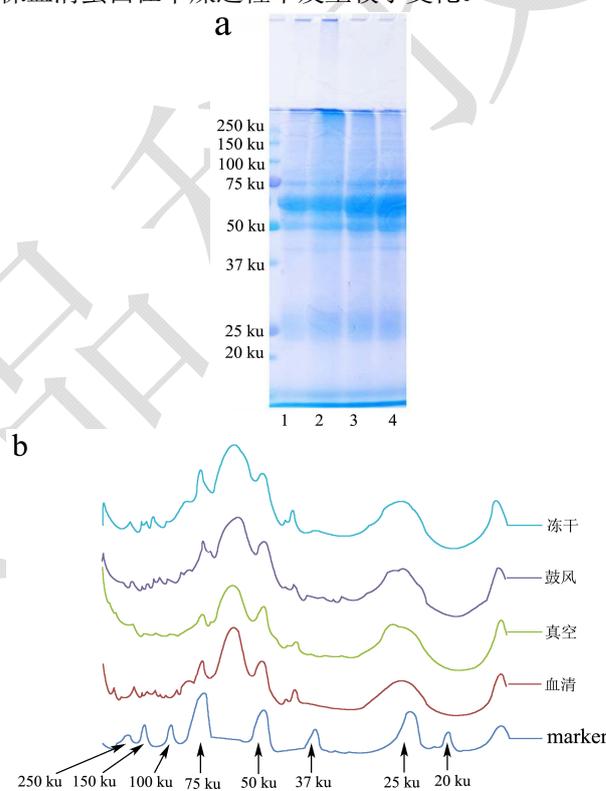


图 1 不同干燥方式对血清蛋白的影响

Fig.1 Effect of drying methods on protein patterns in blood serum

注: 电泳条带中 1 为血清; 2 为真空干燥血清粉; 3 为鼓风干燥血清粉; 4 为冻干血清粉。

真空干燥时, 血清在抽真空的同时还受到 70 °C 的热处理。真空使血清中的大部分空气被排除, 导致在干燥初期血清中干物质始终保持较近的间距。这很容易导致血清蛋白在 70 °C 条件下发生聚合反应; 鼓风干燥血清时, 由于是常压操作, 所以血清中存在一定量空气, 血清干物质分子间结合不紧密, 这在一定程度上防止了血清蛋白在 70 °C 条件下发生过多聚合; 冷冻干燥时, 虽然抽真空使得血清蛋白干燥初期分子间距缩小, 但是由于干燥温度很低 (-50 °C), 致

使血清蛋白较少地发生聚合。这可能是图 1 中真空干燥使血清蛋白出现较多的蛋白质分子聚合，而鼓风和冷冻干燥时有较少血清蛋白发生聚合的主要原因。这一推测可以通过不同干燥方式对玉米醇溶蛋白及改性小麦面筋蛋白的影响证实。真空干燥的玉米醇溶蛋白的微观结构较冷冻干燥致密且坚硬；真空干燥的玉米醇溶蛋白的电泳及红外光谱图显示，真空干燥较冷冻干燥导致更多的玉米醇溶蛋白发生聚合<sup>[15]</sup>。喷雾干燥较冷冻干燥导致更多的改性小麦面筋蛋白发生聚合<sup>[16]</sup>。

## 2.2 干燥方法对血清粉复水性的影响

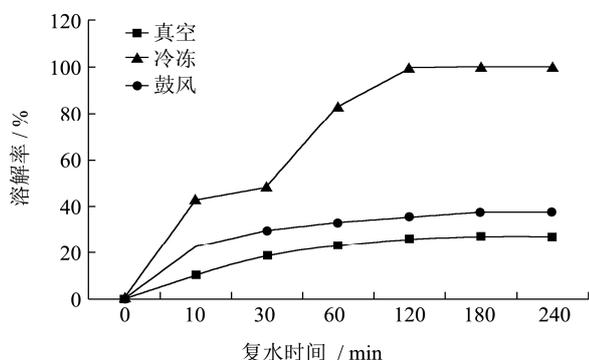


图 2 不同干燥方式对血清粉复水性的影响

Fig.2 Effect of drying methods on the rehydration of blood serum

血清粉干燥后的复水性比较见图 2。图中数据显示，溶解 10 min 后，冷冻、鼓风、真空干燥血清粉的溶解率分别为 43.4%、22.7%、10.8%；30 min 后，冷冻干燥血清粉溶解率显著提高 ( $p < 0.05$ )，鼓风和真空干燥血清粉的溶解率提高幅度较冷冻干燥小，基本呈稳定上升趋势 ( $p > 0.05$ )；当溶解 2 h 后，冷冻干燥血清已 100% 溶解，但鼓风干燥和真空干燥血清粉的溶解率变化很小。由此可见，冷冻干燥血清粉的复水性较真空和冷冻干燥都好。类似现象在大豆分离干燥中出现<sup>[17]</sup>。因此，从血清粉复水性考虑，应选择冷冻干燥血清粉以确保血清的复水性受较小影响。

热风与冷冻干燥相比，热风干燥导致改性小麦面筋蛋白发生更多的凝聚<sup>[16]</sup>，冷冻干燥与热风和真空干燥相比，使鱼肉凝胶产生较多的空隙、凝胶的吸水性更优<sup>[18]</sup>。热风、冷冻、真空干燥对大豆分离蛋白的溶解性、乳化性有较大影响<sup>[19]</sup>。因此，导致鼓风干燥和真空干燥血清粉的溶解率低的原因很可能使热导致血清蛋白变性严重所致；冷冻干燥血清粉的溶解率高，可能是因为血清蛋白变性小，同时冷冻干燥形成的空隙使得血清粉更容易复水溶解。

## 2.3 干燥方法对血清可溶性肽的影响

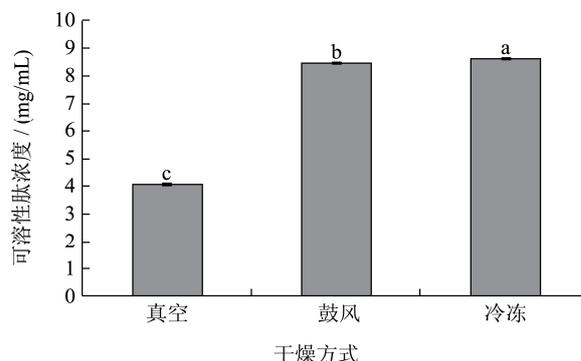


图 3 不同干燥方式对血清可溶性肽释放能力的影响

Fig.3 Effect of drying methods on soluble-peptide release from blood serum

注：图中字母 a, b, c 表示显著性水平 ( $p < 0.05$ )。

为了分析干燥方式对血清粉的消化吸收情况及释放肽分子能力的影响，对干燥血清粉的蛋白酶水解释放可溶性肽能力进行了测定 (图 3)。图 3 中血清粉的可溶性肽含量结果显示，冷冻干燥血清粉的可溶性肽含量显著 ( $p < 0.05$ ) 高于鼓风和真空干燥血清粉；鼓风干燥血清粉的可溶性肽含量显著 ( $p < 0.05$ ) 高于真空干燥。鼓风干燥和冷冻干燥血清粉的可溶性肽含量分别是真空干燥血清粉的 2.09 和 2.14 倍。由此可见，鼓风干燥和冷冻干燥血清粉的更容易被蛋白酶水解。

冷冻、鼓风和真空干燥导致血清蛋白变性、凝聚和结构发生不同程度的变化<sup>[16,18,19]</sup>，真空干燥较鼓风和冷冻干燥使血清蛋白变性和絮凝严重，这可能是导致真空干燥血清蛋白在木瓜蛋白酶作用下释放可溶性肽的能力较冷冻和鼓风干燥弱的主要原因。

## 2.4 干燥方法对血清水解度的影响

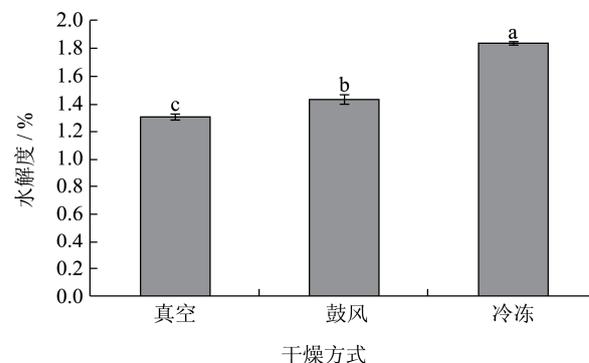


图 4 不同干燥方式对血清水解度的影响

Fig.4 Effect of drying methods on the degree of hydrolysis of blood serum

注：图中字母 a, b, c 表示显著性水平 ( $p < 0.05$ )。

为了进一步分析干燥对血清粉水解特性的影响,对冷冻、鼓风和真空干燥血清粉的水解度进行了测定(图4)。图中水解度的显著性分析结果显示,干燥对血清粉水解度的影响类似可溶性肽含量。冷冻干燥血清粉的水解度显著( $p<0.05$ )高于鼓风和真空干燥血清粉;鼓风干燥血清粉的水解度显著( $p<0.05$ )高于真空干燥。鼓风干燥和冷冻干燥血清粉的水解度分别是真空干燥血清粉的1.10和1.41倍。由此可见,鼓风干燥和冷冻干燥血清粉的更容易被蛋白酶水解。

水解度是分析酶解血清蛋白释放氨基态氮的参数。因此,导致冷冻干燥血清粉的水解度较鼓风干燥和真空干燥高、鼓风干燥血清的水解度较真空干燥高的可能原因与可溶性肽含量相似。由血清粉的可溶性肽含量及水解度结果可知,冷冻干燥和鼓风干燥均可以使血清粉在酶解条件下释放更多的游离氨基。这对水解血清粉,然后通过麦拉德反应制备肉味香精类产品的开发非常有益,也对血清蛋白的改性和消化吸收非常有帮助。

## 2.5 干燥对血清色差的影响

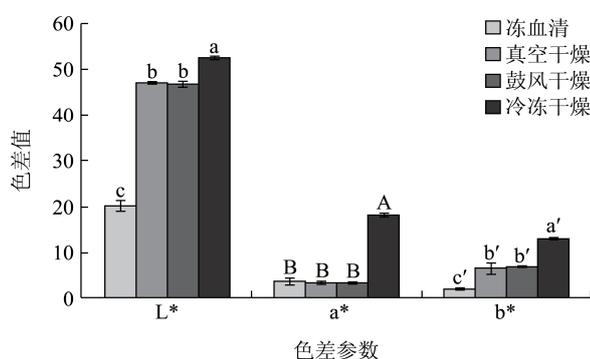


图5 不同干燥方式对血清色差的影响

Fig.5 Effect of drying methods on the color value of blood serum

注:图中L\*表示亮度,a\*表示红值,b\*表示黄值;其他字母表示显著性水平( $p<0.05$ )。

不同干燥方式对血清的色差影响见图5。图中数据显示,冷冻干燥血清粉的亮度(L\*)显著( $p<0.05$ )高于鼓风干燥、真空干燥及冻血清,鼓风干燥和真空干燥血清粉的亮度(L\*)间无显著差异( $p>0.05$ ),但显著( $p<0.05$ )高于冻血清;冷冻干燥血清粉的红值(+a\*)显著( $p<0.05$ )高于鼓风干燥、真空干燥及冻血清,鼓风干燥、真空干燥及冻血清的红值(+a\*)间无显著差异( $p>0.05$ );冷冻干燥血清粉的黄值(+b\*)显著( $p<0.05$ )高于鼓风干燥、真空干燥及冻血清,鼓风干燥和真空干燥血清粉的黄值(+b\*)间无显著差异( $p>0.05$ ),但显著( $p<0.05$ )高于冻血清。冷冻

干燥血清粉的亮度(L\*)、红值(+a\*)和黄值(+b\*)均显著( $p<0.05$ )高于鼓风、真空干燥及冻血清;鼓风干燥和真空干燥血清的亮度(L\*)、红值(+a\*)和黄值(+b\*)均无显著( $p>0.05$ )差异;冻血清的黄值(+b\*)与真空、鼓风和冷冻干燥均无显著( $p>0.05$ )差异,但亮度(L\*)和黄值(+b\*)均显著( $p<0.05$ )低于真空、鼓风和冷冻干燥血清。由此可见,冷冻干燥的血清粉的亮度、红值和黄值均优于鼓风和真空干燥对血清粉,鼓风和真空干燥对血清粉色泽的影响相似。

冷冻、鼓风和真空干燥对血清蛋白和大豆分离蛋白的色泽均有不同程度影响<sup>[14,20]</sup>。血清与这些蛋白不同之处在于,在从鲜血中分离血清时,会有部分血红蛋白残留。这些残留的血红蛋白在干燥过程中会因为血红素发生氧化反应而导致血清粉出现深褐色。由于鼓风和真空干燥时,血清不仅会与氧气接触,而且在70℃的温度下干燥,因此会导致更多血红素被氧化;冷冻干燥由于干燥温度低,而且干燥环境中氧气含量低,在一定程度上避免了血红素的氧化。这可能是导致冷冻干燥的血清粉的亮度、红值和黄值均优于鼓风和真空干燥血清粉,鼓风和真空干燥对血清粉色泽的影响相似的主要原因。

## 3 结论

通过比较真空、鼓风和冷冻干燥对血清蛋白种类、复水性、可溶性肽含量、水解度及色泽的影响,发现冷冻和鼓风干燥对血清粉的蛋白质形式影响较小,而真空干燥导致较多血清蛋白聚合成分子量大于100 ku的蛋白质;冷冻干燥血清粉的复水性优于真空和鼓风干燥;冷冻干燥血清粉的可溶性肽及水解度均显著( $p<0.05$ )高于鼓风干燥和真空干燥,鼓风干燥血清粉的可溶性肽及水解度均显著( $p<0.05$ )高于真空干燥;冷冻干燥血清粉的色泽均显著( $p<0.05$ )高于鼓风和真空干燥。

## 参考文献

- [1] 刘任民,范万东,王摇风,等.猪血中高纯度血红素的提取工艺[J].现代医药卫生 2007,23(18):2687-2689  
LIU Ren-min, FAN Wan-dong, WANG Yao-feng et al. Extraction of heme from porcine blood [J]. Modern Medicine & Health, 2007, 23(18): 2687-2689
- [2] 王洪江,谢跻,柳婷,等.猪血的综合开发与应用研究进展[J].肉类研究,2009,12:81-83  
WANG Hong-jiang, XIE Ji, LIU Ting, et al. Progress of comprehensive development and application research of

- porcine blood [J]. Meat Research, 2009, 12: 81-83
- [3] 李美良,蒲彪,赵广华.铁蛋白:一种新型矿质元素营养强化剂载体[J].食品科学,2014,35,(13):326-328  
LI Mei-liang, PU Biao, ZHAO Guang-hua. Ferritins: a novel type of mineral nutritional fortifier carrier [J]. Food Science, 2014, 35(13): 326-328
- [4] Miquel E, Farré R. Effects and future trends of casein phosphopeptides on zinc bioavailability [J]. Trends in Food Science & Technology, 2007, 18(3): 139-143
- [5] 瞿桂香,黄耀江,董明盛.血红素制备工艺研究进展[J].中央民族大学学报(自然科学版),2007,16(1):19-22  
QU Gui-xiang, HUANG Yao-jiang, DONG Ming-sheng. Research development of heme preparation techniques [J]. Journal of the Central University for Nationalities (Natural Sciences Edition), 2007, 16(1): 19-22
- [6] 周淡宜,徐水祥,江月仙.血红素纯化技术研究[J].药物生物技术,2004,11(3):181-183  
ZHOU Dan-yi, XU Shui-xiang, JIANG Yue-xian. Purification technology of heme [J]. Pharmaceutical Biotechnology, 2004, 11(3): 181-183
- [7] 宋照军,张延生,刘玺,等.猪血中血红素提取纯化新技术研究[J].肉类工业,2004,8:23-25  
SONG Zhao-jun, ZHANG Yan-sheng, LIU Xi, et al. Research on the new technology of extraction and purification of heme from pig blood [J]. Meat Industry, 2004, 8: 23-25
- [8] 吴立芳.利用猪血制备氯化血红素技术的研究[D].湖南农业大学,2006  
WU Li-fang. Studies on preparing hemin from porcine blood [D]. Agriculture University of Hunan, 2006
- [9] LI L. Cleavage of structure proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 [J]. Nature, 1970, 277: 680-685
- [10] Zhang Y, Zeng Q X, Zhu Z W. Effect of ultrasonic treatment on the activities of endogenous transglutaminase and proteinases in tilapia (*Sarotherodon nilotica*) surimi during gel formation [J]. Journal of Food Process Engineering, 2011, 34(5): 1695-1713
- [11] 张崑,陶红丽,曾庆孝,等.不同漂洗处理对罗非鱼浆的影响[J].现代食品科技,2007,23(10):50-61  
ZHANG Yin, TAO Hong-li, ZENG Qing-xiao, et al. Effects of washing conditions on the quality of minced tilapia [J]. Modern Food Science & Technology, 2007, 23(10): 50-61
- [12] 刘达玉,张崑,王卫,等.响应面法优化骨素酶解制备可溶性肽工艺研究[J].食品工业科技,2012,33(14):316-370  
LIU Da-yu, ZHANG Yin, WANG Wei, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis processing of bone extracts for preparation of soluble peptide by response surface method [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(14): 316-370
- [13] 牟利辉.木瓜蛋白酶的研究[J].广东化工,2008,10:96-98  
MOU Li-hui. Study on the application of papaya protease [J]. Guangdong Chemical Industry, 2008, 10: 96-98
- [14] Zhou B, Zhang M, Fang Z X, et al. A combination of freeze drying and microwave vacuum drying of duck egg white protein powders [J]. Drying Technology: An International Journal, 2014, 32(15): 1840-1847
- [15] 刘婷婷,张婷婷,王大为.真空干燥与冷冻干燥对 Zein 性质及结构的影响[J].食品科技,2013,38(11):158-163  
LIU Ting-ting, ZHANG Ting-ting, WANG Da-wei. Effect of vacuum drying and freeze drying on the properties and structure of Zein [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(11): 158-163
- [16] Liao L, Wang Q, Zhao M M, et al. Functional, conformational and topographical changes of succinic acid deamidated wheat gluten upon freeze-and spray-drying: a comparative study [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(1): 177-184
- [17] 张钟,王华.不同干燥方法对大豆分离蛋白功能性质的影响[J].食品与机械,2003,2:11-12  
ZHANG Zhong, WANG Hua. Effects of different drying methods on functional properties of soybean protein [J]. Food and Machinery, 2003, 2: 11-12
- [18] Hu Y Q, Que T T, Fang Z X, et al. Effect of different drying methods on the protein and product quality of hairtail fish meat gel [J]. Drying Technology: An International Journal. 2013, 31(13-14): 1707-1714
- [19] 袁德保,李芬芳,杨晓泉,等.大豆蛋白的热处理改性及热聚集行为研究进展[J].现代食品科技,2012,28(12):1829-1833  
YUAN De-bao, LI Fen-fang, YANG Xiao-quan, et al. The progress of heat treatment and heat-induced aggregation of soy protein [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(12): 1829-1833
- [20] Hu X Z, Cheng Y Q, Fan J F, et al. Effects of drying method on physicochemical and functional properties of soy protein isolates [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2010, 34(3): 520-540