

电渗析脱盐对咸鸭蛋蛋清理化性质的影响

董华伟, 何 慧*, 陈伯雍, 赵宁宁, 王真真
(华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:目的: 为评估电渗析脱盐是否对鸭蛋清的功能性质和营养性有影响, 研究经电渗析脱盐后鸭蛋清的部分理化性质变化。结果: 脱盐后鸭蛋清的凝胶硬度在蛋白质质量浓度较低时(5~8g/100mL)与鲜鸭蛋清相比无显著差异; 当蛋白质质量浓度为3~9g/100mL时, 脱盐鸭蛋清的乳化活性及起泡性较咸鸭蛋清均有所提高, 与鲜鸭蛋清相比, 两者乳化活性相当, 但其起泡性优于鲜鸭蛋清; SDS-PAGE、DSC及氨基酸分析表明, 咸鸭蛋清脱盐前后蛋白质相对分子质量无明显变化; 脱盐后的鸭蛋清与鲜鸭蛋清的氨基酸组成、热变性温度及颜色均十分接近。结论: 经电渗析脱盐处理, 鸭蛋清的理化性质影响不大, 可作为良好的食品原辅料。

关键词: 鸭蛋清; 脱盐; 理化性质; 功能性质

Effect of Electrodialysis Desalination on Physicochemical Properties of Salted Duck Egg White

DONG Hua-wei, HE Hui*, CHEN Bo-yong, ZHAO Ning-ning, WANG Zhen-zhen
(College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Purpose: The aim of this study was to evaluate the effect of electrodialysis desalination on functional and nutritious properties of duck egg white. Results: The gel hardness of desalted duck egg white was not significantly different from that of fresh one at lower protein level (5–8 g/100 mL). At a protein concentration of 3–9 g/100 mL, both emulsifying activity and foaming capacity of desalted duck egg white increased compared to those of salted eggs. In addition, the foaming capacity of desalted egg was better than that of fresh duck egg while no significant difference in the emulsifying activity was observed between them. SDS-PAGE, DSC and amino acid analysis revealed that the relative molecular mass of salted duck egg white before and after desalination remained constant. The amino acid composition, thermal denaturation temperature and color of desalted duck egg white were very close to those of fresh duck egg white. Conclusion: The functional and nutritious properties of salted duck egg white are little affected by electrodialysis desalination and thereby, can be used as a favorable food material and ingredient.

Key words: duck egg white; desalination; physico-chemical property; functional property

中图分类号: TS253.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)07-0129-06

蛋清蛋白以清蛋白为主, 具有较高的生物学效价, 同时因其具有多种独特的功能性质, 如起泡性、乳化性、胶凝性、持水性等, 故常作为食品原料或配料^[1]。鸭蛋清蛋白的化学组成及组成模式与鸡蛋清蛋白相似, 均含有人体所需的8种必需氨基酸, 尤其是含硫氨基酸较多, 是一种优质的全价蛋白^[2-3]。由于鸭蛋鲜食有腥味, 其90%~94%用于再制蛋和咸蛋黄的加工^[4]。据初步估算, 我国每年有上百亿枚咸鸭蛋用于制作月饼、粽子等传统食品, 同时每年将遗留约数十万吨的咸蛋清。咸蛋清液中含盐量约为10%, 而咸蛋清粉含盐量甚至高达35%左右, 高含盐量极大地限制了咸蛋清在食品工业中的应用^[5]。目前, 咸蛋清仅有少量被用于饲料、法兰克福

香肠及面条等制品的加工中, 绝大部分还来不及利用就腐败了, 既污染环境, 又浪费资源。因此, 对咸蛋清进行有效的脱盐处理是咸蛋清综合利用的关键所在。

目前对于蛋白质的脱盐常采用超滤、离子交换柱层析、电渗析等方法。电渗析(electrodialysis, ED)脱盐的原理是在直流电场的作用下, 以电位差为推动力, 利用离子交换膜的选择透过性, 将电解质从中分离出来, 从而实现脱盐的目的。与超滤法相似, 在ED中的一个很突出的问题就是膜污染问题, 但ED中解决膜污染的一个有效途径是采用倒极电渗析技术(electrodialysis reversal, EDR), 即每隔一定时间倒换ED的正负电极, 使离子的迁移方向改变, 原淡室变为浓室, 原浓室变为淡室, 因

收稿日期: 2012-02-24

作者简介: 董华伟(1986—), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工。E-mail: victordhw@yahoo.com.cn

*通信作者: 何慧(1960—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品科学。E-mail: hehui@mail.hzau.edu.cn

此任何一个室都不会长时间处于强烈的浓差极化的状态下, 减弱了膜的污染, 实现了ED自清洁的功能^[6], 这是ED优于超滤法之处。目前我们已对咸鸭蛋清的ED脱盐进行了系统研究, 脱盐率达95%以上, 蛋清蛋白回收率在90%以上, 并发现脱盐后的鸭蛋清腥味减弱, 该成果已申请了专利。本实验在此基础上, 对脱盐前后鸭蛋清蛋白的理化性质进行研究, 旨在考察ED脱盐处理是否使蛋清的功能性和营养性受损, 为咸蛋清的增值利用提供依据, 上述研究目前尚未见文献报道。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

市售鸭蛋; 咸鸭蛋蛋清(蛋白质质量浓度约为105g/L、NaCl质量浓度约为50g/L) 湖北神丹健康食品有限公司。

十二烷基硫酸钠、丙烯酰胺、甲叉丙烯酰胺、过硫酸铵、丙三醇、冰醋酸、四甲基乙二胺、溴酚蓝、巯基乙醇、甘氨酸均为国产分析纯; Tris Base 美国Angus化学公司; SDS-PAGE标准蛋白(14.4~97.4kD) 中国科学院上海生化研究所。

1.2 仪器与设备

FE30/EL30电导率仪、FE20/EL20 pH计 梅特勒-托利多(上海)有限公司; UV-2000分光光度计 尤尼科(上海)有限公司; UltraScan XE色度测定仪 美国Hunter Lab公司; 835-50 氨基酸自动分析仪 日本Hitachi公司; DSC 204F1差示扫描量热仪 德国耐驰公司; DYCZ-24DN电泳仪 北京六一仪器厂; ALPHA1-4LD真空冷冻干燥机 德国Marin Christ公司; TA.XT.PLUS物性测试仪 英国Stable Micro Systems公司。

1.3 方法

1.3.1 咸鸭蛋清的电渗析脱盐

按照本室建立的电渗析方法对咸鸭蛋清进行脱盐处理^[7], 脱盐率为95.02%, 蛋白质回收率为92.65%, 脱盐后鸭蛋清含盐量约为2.5g/L。脱盐后的鸭蛋清经冷冻干燥, 得到脱盐鸭蛋清粉, 备用。咸鸭蛋清和鲜鸭蛋清经冷冻干燥后作为对照。

1.3.2 凝胶性质的测定

采用物性测定仪测定鸭蛋清的凝胶性质。蛋清凝胶制备方法^[8]: 配制一定质量浓度的鸭蛋清液, 用0.1mol/L的NaOH调节pH值至7.0, 然后取5mL鸭蛋清液于10mL烧杯中, 置于玻璃真空干燥器中脱气1h, 覆保鲜膜后用橡皮经扎紧, 然后置于90℃恒温水浴中加热30min后, 立即存放于4℃冰箱中冷却过夜, 恢复至室温后, 置于物性测定仪上测定其凝胶性质。测定条件: 使用TPA模式测定蛋清凝胶的硬度, 仪器条件设置为: P/6探头, 测前速率为5mm/s, 测试速率为2mm/s, 测后速率为5mm/s, 压缩

比40%, 时间间隔5s, 每个样品进行3次平行实验, 结果取其平均值。

1.3.3 乳化活性及乳化稳定性的测定

采用乳化活性指数(emulsifying activity index, EAI)和乳化稳定性指数(emulsifying stability index, ESI)来评价乳化活性和乳化稳定性^[9]。配制一定质量浓度的鸭蛋清液, 用0.1mol/L的NaOH调节pH值至7.0, 然后取3mL鸭蛋清液与1mL豆油于10mL离心管中混合, 在10000r/min分散1min, 在距离离心管底部0.5cm处取50μL乳浊液, 加入5mL 0.1%十二烷基硫酸钠(SDS)溶液, 混匀后于500nm波长处测定吸光度(A_0), 静置10min后, 测定其吸光度(A_{10})。EAI和ESI按式(1)、(2)计算。

$$EAI/(m^2/g) = \frac{2 \times 2.303 \times A_0 \times N}{\rho \times l \times (1 - \varphi) \times 10000} \quad (1)$$

$$ESI/min = \frac{A_0}{A_0 - A_{10}} \times 10 \quad (2)$$

式中: ρ 为蛋白质的质量浓度/(g/mL); N 为稀释倍数, $N=100$; φ 为油料体积比, $\varphi=1:3$; l 为比色皿厚度, $l=1cm$ 。

1.3.4 起泡性及泡沫稳定性的测定

参照文献[10]的方法, 配制一定质量浓度的鸭蛋清液, 用0.1mol/L的NaOH调节pH值至7.0, 然后量取鸭蛋清液20mL于100mL烧杯中, 使用数显搅拌器(1500r/min)搅拌3min后, 立即转入100mL量筒, 记录搅拌停止时溶液体积 V_1 和泡沫体积 V_f , 静置30min后溶液体积 V_{30} 。起泡性(foaming capacity, FC)和泡沫稳定性(foaming stability, FS)按式(3)、(4)计算。

$$FC/\% = \frac{V_f}{V_0} \times 100 \quad (3)$$

$$FS/\% = \frac{V_0 - (V_{30} - V_1)}{V_0} \times 100 \quad (4)$$

式中: V_0 为鸭蛋清液体积, $V_0=20mL$; V_1 为搅拌停止时溶液体积/mL; V_f 为搅拌停止时泡沫体积/mL; V_{30} 为静置30min后溶液体积/mL。

1.3.5 蛋白质相对分子质量的测定

参照文献[11]的方法, 选用12.5%分离胶、5%浓缩胶的聚丙烯酰胺凝胶体系。配制质量浓度为2mg/mL的鸭蛋清蛋白溶液, 并与样品缓冲液(由双蒸水4mL、0.5mol/L Tris缓冲液(pH6.8) 1mL、甘油0.8mL、10% SDS 1.6mL、巯基乙醇0.4mL、0.1%溴酚蓝0.2mL组成)按体积比1:1混合, 沸水浴保温3~4min, 冰水冷却后, 4000r/min离心10min后进样。电泳条件: 进样量15μL, 样品进入浓缩胶电压80V, 进入分离胶电压100V, 电泳2~3h。

1.3.6 氨基酸组成分析

参照国标GB/T 5009.124—2003《食品中氨基酸的测

定》^[12]，采用氨基酸自动分析仪测定各种鸭蛋清粉的氨基酸组成。

1.3.7 热变性温度的测定

参照文献[13]方法，配制质量浓度为10g/100mL的鸭蛋清蛋白溶液，取25μL样品置于铝盒中，以空铝盒为空白对照，使用差示扫描量热仪(DSC)进行测定。测定条件为：初温50℃，终温100℃，升温速率5℃/min，样品吹扫气和保护气(氮气，纯度>99%)，流速分别为20mL/min和60mL/min。

1.3.8 色度的测定

使用色度测定仪直接测定各种鸭蛋清粉的 L^* 、 a^* 、 b^* 值，色差值由计算得出 $\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ 。Lab色彩模式是国际照明委员会规定的一种颜色模式，式中： L^* 表示亮度(0~100)， a^* 表示红(+)或绿(-)， b^* 表示黄(+)或蓝(-)。

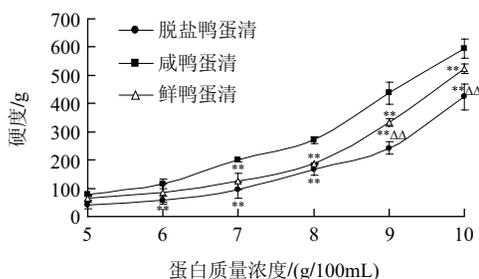
1.4 统计分析

应用SPSS19.0软件进行统计学分析，数据采用 $\bar{x} \pm s$ ($n=3$)表示，组间差异的显著性检验采用LSD法，以 $\alpha=0.05$ 为显著性检验水准。

2 结果与分析

2.1 脱盐前后鸭蛋清的功能性质分析结果

2.1.1 脱盐前后鸭蛋清的凝胶性质比较



**与咸鸭蛋清相比，差异极显著($P<0.01$)； $\Delta\Delta$ 与鲜鸭蛋清相比，差异极显著($P<0.01$)。下同。

图1 脱盐前后不同蛋白质浓度鸭蛋清的凝胶硬度比较

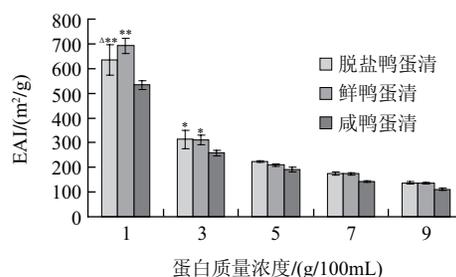
Fig.1 Effect of protein concentration on gel hardness of duck egg white before and after desalination

蛋清蛋白通过加热方式形成凝胶的过程就是蛋白质变性和聚合形成三维网络结构的过程。由图1可知，随着蛋白质质量浓度的增大，3种鸭蛋清的凝胶强度均不断增加；当蛋白质质量浓度在5~8g/100mL之间时，其凝胶强度上升趋势变化不明显，当蛋白质质量浓度大于8g/100mL时，3种鸭蛋清的凝胶强度上升幅度均比较明显。蛋白凝胶网络是通过疏水相互作用、氢键、静电相互作用等非共价键和少量共价键如二硫键组成的，在凝胶形成过程中，疏水基团的暴露会促进巯基(-SH)转化为二硫键

(S-S)，增加凝胶的强度和稳定性^[14]。随着蛋白质质量浓度的增加，分子间疏水相互作用增强，分子间交联程度增加，有利于凝胶网络结构的形成。

此外，咸鸭蛋清的凝胶硬度大于脱盐鸭蛋清和鲜鸭蛋清，当蛋白质质量浓度大于6g/100mL时，这种差异极显著($P<0.01$)。这可能是因为咸鸭蛋清中的盐离子在蛋白质形成凝胶过程中，对蛋白质间的相互作用有影响；这种现象在其他蛋白质如大豆蛋白^[15]、豌豆蛋白^[16]等中亦能观察到。与鲜鸭蛋清相比，当蛋白质质量浓度小于8g/100mL时，脱盐鸭蛋清的凝胶硬度略低，但差异不显著；当蛋白质质量浓度大于8g/100mL时，鲜鸭蛋清的凝胶硬度极显著高于脱盐鸭蛋清($P<0.01$)。这表明脱盐后的鸭蛋清在蛋白质质量浓度低于8g/100mL时凝胶硬度与鲜鸭蛋清比较接近。

2.1.2 脱盐前后鸭蛋清的乳化性质比较



*与咸鸭蛋清相比，差异显著($P<0.05$)； Δ 与鲜鸭蛋清相比，差异显著($P<0.05$)。下同。

图2 脱盐前后不同蛋白质浓度鸭蛋清的乳化活性比较

Fig.2 Effect of protein concentration on EAI of duck egg white before and after desalination

由图2可知，当蛋白质质量浓度为1g/100mL时，脱盐鸭蛋清的乳化活性极显著高于咸鸭蛋清($P<0.01$)，但却显著低于鲜鸭蛋清($P<0.05$)。随着蛋白质质量浓度的提高，脱盐鸭蛋清与咸鸭蛋清及鲜鸭蛋清乳化活性的差异不断缩小，当蛋白质质量浓度为5g/100mL时，脱盐鸭蛋清乳化活性与鲜鸭蛋清相当、略高于咸鸭蛋清，但无显著差异。此外，当蛋白质质量浓度在1~9g/100mL之间时，3种鸭蛋清的乳化活性均随蛋白质质量浓度的增加不断降低；有文献报道，其他蛋白如杏仁蛋白^[17]、小麦面筋蛋白^[18]、甘薯蛋白^[9]等其乳化活性的变化规律也是如此。蛋白质质量浓度对乳化活性的影响可以通过吸附动力学理论来解释：当蛋白质质量浓度较低时，蛋白质在油-水界面的吸附以简单扩散为主，低质量浓度蛋白质的扩散系数较大，使得蛋白质在油-水界面能被快速吸附，因而增强了油相和连续相的相互作用，从而提高了乳化活性；而当蛋白质质量浓度较高时，蛋白质的迁移除了简单扩散外，还受到静电斥力、空间位阻等其他因素的影响，故随着蛋白质质量浓度的增大，蛋白吸附效率降低，导致乳化活性降低^[9,18-19]。

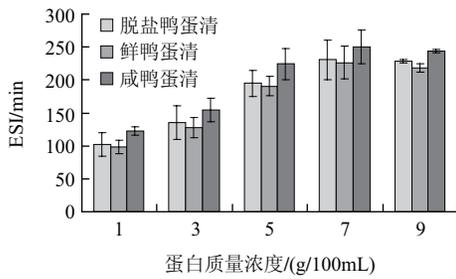


图3 脱盐前后不同蛋白质质量浓度鸭蛋清的乳化稳定性比较

Fig.3 Effect of protein concentration on ESI of duck egg white before and after desalination

由图3可知，脱盐鸭蛋清的乳化稳定性高于鲜鸭蛋清，但却略低于咸鸭蛋清，但差异均不显著。当蛋白质质量浓度在1~7g/100mL之间时，随着其质量浓度的增加，3种鸭蛋清的乳化稳定性均不断提高，当蛋白质质量浓度增加到9g/100mL时，乳化稳定性有所下降，但差异不显著。这可能是因为先随着蛋白质质量浓度增大时，蛋白质吸附层厚度和黏度均增大，使乳化稳定性增强；而当蛋白质质量浓度继续增大时，其空间位阻和静电斥力也相应增大，因而乳化稳定性增加趋势变缓，甚至在蛋白质质量浓度为9g/100mL时反而下降。综合考虑，在实际应用中宜选用质量浓度为3g/100mL的蛋白质溶液作为乳化剂。

2.1.3 脱盐前后鸭蛋清的起泡性质比较

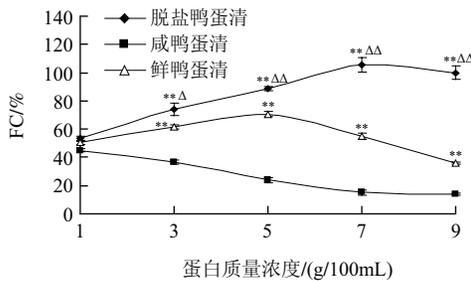


图4 脱盐前后不同蛋白质质量浓度鸭蛋清的起泡性

Fig.4 Effect of protein concentration on FC of duck egg white before and after desalination

蛋清蛋白具有优异的起泡性，在食品工业中是很好的配料。由图4可知，当蛋白质质量浓度在3~9g/100mL之间时，咸鸭蛋清的起泡性呈下降趋势，并极显著低于脱盐鸭蛋清和鲜鸭蛋清($P < 0.01$)，说明高质量浓度的盐使起泡性变差，因此，脱盐是必要的。脱盐鸭蛋清和鲜鸭蛋清的起泡性均随蛋白质质量浓度的增加呈先增后减的趋势，其起泡性分别在蛋白质质量浓度为7g/100mL和5g/100mL时达到最大。这是因为蛋白质质量浓度越高，其黏度越大，有利于在空气-水界面形成有弹性的厚膜，膜的机械强度大且稳定，但当黏度过大时，却又会抑制泡沫的形成，导致起泡性降低^[20]。当蛋白质质量浓度大于1g/100mL时，脱盐鸭蛋清的起泡性高于鲜鸭蛋清，并

且蛋白质质量浓度越大，差异越显著，推测可能是因为盐的存在使蛋白质由有序排列变得无序伸展，即发生了变性，一旦脱盐后，其空间构象难以复原，且带电荷状况发生了变化，伸展的蛋白质有利于在界面吸附，导致界面张力降低，使起泡性质改善。

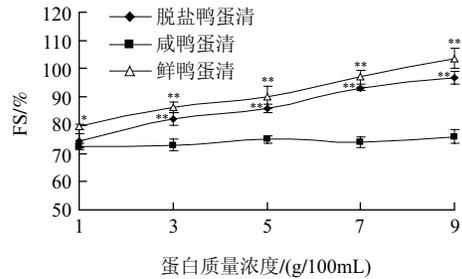
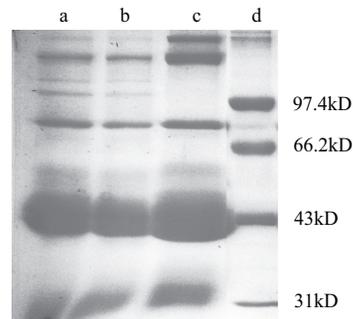


图5 脱盐前后不同蛋白质质量浓度鸭蛋清的泡沫稳定性

Fig.5 Effect of protein concentration on FS of duck egg white before and after desalination

由图5可知，当蛋白质质量浓度在3~9g/100mL之间时，咸鸭蛋清的泡沫稳定性无明显变化，而脱盐鸭蛋清和鲜鸭蛋清的泡沫稳定性均随蛋白质质量浓度的增加不断增强，极显著高于咸鸭蛋清($P < 0.01$)，脱盐鸭蛋清泡沫稳定性略低于鲜鸭蛋清，但差异不显著。咸鸭蛋清之所以泡沫稳定性低于脱盐蛋清和鲜蛋清，是因为NaCl使蛋白质溶液黏度下降，因而泡沫稳定性下降。

2.2 脱盐前后鸭蛋清SDS-PAGE分析结果



a.咸鸭蛋清蛋白; b.脱盐鸭蛋清蛋白; c.鲜鸭蛋清蛋白; d. Marker。

图6 脱盐前后鸭蛋清蛋白SDS-PAGE图

Fig.6 SDS-PAGE image of duck egg white before and after desalination

图6为3种鸭蛋清的SDS-PAGE图，咸鸭蛋清蛋白和脱盐后的鸭蛋清蛋白均含有7条谱带，且无论是谱带位置、宽度，还是颜色深浅，两者之间均无明显差异，这表明咸鸭蛋清在脱盐前后，蛋白质组成和含量没有发生显著变化。与鲜鸭蛋清蛋白相比，咸鸭蛋清和脱盐鸭蛋清在100kD附近均多出了2条谱带，这可能是因为鸭蛋清在腌制过程中，大分子蛋白链发生断裂降解所致。

2.3 脱盐前后鸭蛋清氨基酸组成分析

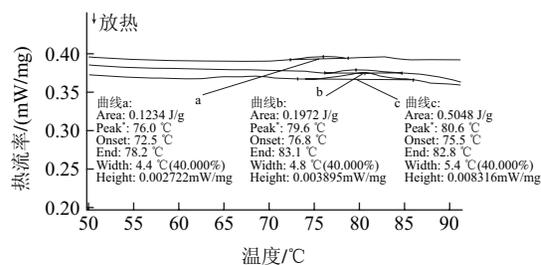
表1 脱盐前后鸭蛋清粉的氨基酸分析

Table 1 Amino acid composition of duck egg white powder before and after desalination

氨基酸种类	氨基酸含量/(mg/100mg)		
	咸鸭蛋清粉	脱盐鸭蛋清粉	鲜鸭蛋清粉
Asp	5.21	8.03	7.80
Thr	3.45	5.27	5.25
Ser	4.50	6.83	6.73
Glu	6.12	12.45	12.30
Gly	1.99	3.00	2.97
Ala	2.66	4.09	4.00
Cys	3.10	4.91	4.93
Val	3.40	5.16	5.16
Met	3.69	5.56	5.75
Ile	2.03	3.14	3.07
Leu	3.91	5.96	5.88
Tyr	1.20	1.94	1.98
Phe	3.17	4.91	4.83
Lys	3.67	5.53	5.34
His	0.70	1.05	1.02
Arg	2.47	3.76	3.70
Pro	2.45	3.85	3.72
总和	55.65	85.43	84.42

由表1脱盐前后鸭蛋清粉氨基酸分析结果可知,与鲜鸭蛋清粉相比,脱盐后鸭蛋清粉17种氨基酸成分的变化相差不大,并且氨基酸总量均在85%左右,这表明鲜鸭蛋清经腌制及电渗析脱盐后,氨基酸成分和含量没有显著变化,说明脱盐后的蛋清粉仍是优质蛋白质源。咸鸭蛋清氨基酸总量与脱盐鸭蛋清相比,减少约30%,这是由于咸蛋清粉中含有高含量的盐分所致,文献[5]报道咸蛋清粉中盐含量高达35%左右。

2.4 脱盐前后鸭蛋清DSC分析结果



a.咸鸭蛋清; b.脱盐鸭蛋清; c.鲜鸭蛋清。

图7 脱盐前后鸭蛋清的DSC曲线

Fig.7 DSC curve of duck egg white before and after desalination

由图7可知,咸鸭蛋清、脱盐鸭蛋清和鲜鸭蛋清的热变性温度分别为76.0、79.6、80.6℃。脱盐鸭蛋清与鲜鸭蛋清相比,热变性温度变化不大,却高于咸鸭蛋清,这可能与咸蛋清中NaCl对蛋清蛋白凝胶网络形成及流变性质的影响有关^[8]。Na⁺能够屏蔽蛋白质负电荷,降低蛋白质之间的静电排斥力,使水-蛋白质相互作用减小、蛋白

质-蛋白质相互作用增强,蛋白质更易产生聚集体。有研究^[21]认为NaCl具有诱导蛋白质变性的作用。Thammarat等^[22]采用共聚焦激光扫描荧光显微镜(CLSM)观察了咸鸭蛋清在加热形成凝胶过程中的微观结构,指出NaCl含量越高,CLSM观察到凝胶体的荧光结构越粗糙,即形成的蛋白聚集体越大;反之,NaCl含量越低,观察到的荧光结构越均匀;在不含NaCl情况下,鸭蛋清蛋白能形成较小的蛋白簇,即盐对蛋白质的有序结构有扰乱作用。

2.5 脱盐前后鸭蛋清的色度分析结果

表2 脱盐前后鸭蛋清粉的色度分析

Table 2 Color analysis of duck egg white powder before and after desalination

蛋白质粉种类	L*	a*	b*	ΔE*
咸鸭蛋清粉	96.09±0.27	0.40±0.10	4.40±0.20	5.02±0.70
脱盐鸭蛋清粉	91.97±0.81**	1.21±0.09* ^{ΔΔ}	6.92±0.31**	2.82±0.10
鲜鸭蛋清粉	91.99±0.66**	-1.52±0.07**	6.50±0.23**	

注:ΔE*为咸鸭蛋清粉、脱盐鸭蛋清粉与鲜鸭蛋清粉相比的色差值。

从表2可以看出,脱盐鸭蛋清粉与鲜鸭蛋清粉相比,L*、b*值无显著差异,两者的L*值均极显著低于咸鸭蛋清粉(P<0.01),但三者之间的a*值均有不同。这是因为本实验采用的咸鸭蛋清为生产咸蛋黄后的副产物,可能因有少量的杂质存在,使脱盐鸭蛋清粉的a*值高于鲜鸭蛋清粉(P<0.01);此外,咸鸭蛋清粉含有约1/3的NaCl晶体使其亮度增加,因此咸鸭蛋清粉的L*值高于脱盐鸭蛋清粉和鲜鸭蛋清粉。总的来讲,脱盐鸭蛋清粉与鲜鸭蛋清粉色差值ΔE*较小(ΔE* < 1,肉眼分辨不出颜色差异),这表明脱盐鸭蛋清粉与鲜鸭蛋清粉颜色比较接近。

3 结论

当蛋白质量浓度为5~8g/100mL时,脱盐后鸭蛋清的凝胶硬度与鲜鸭蛋清相比无显著差异;当蛋白质量浓度为3~9g/100mL时,咸鸭蛋清脱盐后的乳化活性和起泡性均有所提高,与鲜鸭蛋清相比其乳化活性无显著差异,但起泡性显著增强,这可能要归因于NaCl对蛋白质结构、电荷分布、流变性等性质的影响;咸鸭蛋清脱盐前后蛋白质相对分子质量无明显变化;脱盐后的鸭蛋清与鲜鸭蛋清的氨基酸组成、热变性温度及颜色均十分接近,提示经电渗析脱盐处理,对鸭蛋清的理化性质影响不大,可作为良好的食品原辅料。

参考文献:

[1] MINE Y. Recent advances in the understanding of egg white protein functionality[J]. Trends in Food Science and Technology, 1995, 6: 225-231.
 [2] THAMMARAT K, SOOTTAWAT B, WONNOP V. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck

- egg as influenced by salting[J]. Food Chemistry, 2009, 112: 560-569.
- [3] 杨万根, 王璋, 徐玉娟, 等. 蛋清利用研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 456-459.
- [4] 马美湖. 我国禽蛋产业发展现状及需解决的重大科技问题[J]. 华中农业大学学报, 2010(5): 12-18.
- [5] 肖丹华, 林捷, 郑华. 咸蛋清的利用和研究现状[C]//“科技创新和食品产业可持续发展”学术研讨会暨2008年广东省食品学会年会论文集. 2008: 51-53.
- [6] 何光伟. 电渗析过程的数学模拟的研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [7] 何慧, 董华伟, 赵宁宁. 一种咸蛋清的脱盐方法: 中国, 201110409843.3[P]. 2011-12-15
- [8] 王明媚. 咸鸭蛋清的超滤脱盐及脱盐蛋清功能性质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [9] GUO Q, MU T H. Emulsifying properties of sweet potato protein: effect of protein concentration and oil volume fraction[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25: 98-106.
- [10] CHANG Y I, CHEN T C. Functional and gel characteristics of liquid whole egg as affected by pH alteration[J]. Journal of Food Engineering, 2000, 45: 237-241.
- [11] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 183-185.
- [12] GB/T 5009.124—2003 食品中氨基酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社.
- [13] ESRA I, EMINE A E. Thermal denaturation and functional properties of egg proteins in the presence of hydrocolloid gums[J]. Food Chemistry, 2007, 101: 626-633.
- [14] MINE Y. Effect of pH during the dry heating on the gelling properties of egg white proteins[J]. Food Research International, 1996, 29(2): 155-161.
- [15] CASTIMPOOLAS N, MEYER C. Gelation phenomenon of soybean globulins I : protein- protein interactions[J]. Cereal Chemistry, 1970, 47: 559-570.
- [16] XIANG D S, SUSAN D A. Dynamic oscillatory rheological measurement and thermal properties of pea protein extracted by salt method: effect of pH and NaCl[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 105(3): 577-582.
- [17] SZE-TAO K W C, SATHE S K. Functional properties and *in vitro* digestibility of almond (*Prunus dulcis* L.) protein isolate[J]. Food Chemistry, 2000, 69: 153-160.
- [18] KINGSLEY K A, KWAKU A, XIONG YoulingL. Emulsifying and foaming properties of transglutaminase-treated wheat gluten hydrolysate as influenced by pH, temperature and salt[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23: 72-81.
- [19] WILDE P J. Interfaces: their role in foam and emulsion behavior[J]. Current Opinion in Colloid and Interface Science, 2000, 5: 176-181.
- [20] 谢笔钧. 食品化学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 275-291.
- [21] AÑÓN M C, LAMBALLERIE M, SPERONI F. Influence of NaCl concentration and high pressure treatment on thermal denaturation of soybean proteins[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011, 12(4): 443-450.
- [22] THAMMARAT K, SOOTTAWAT B, WONNOP V. Effect of NaCl on thermal aggregation of egg white proteins from duck egg[J]. Food Chemistry, 2011, 125: 706-712.