

真空冷冻与喷雾干燥对鸡蛋全蛋粉理化性质及超微结构的影响

沈青, 赵英, 迟玉杰, 王欢

(东北农业大学食品学院, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要: 本文以鲜蛋为原料, 目的是比较两种干燥方式对全蛋粉的理化性质和功能性质的影响。采用的方法是使用喷雾干燥与真空冷冻干燥两种干燥方式制备全蛋粉并对干燥后得到的全蛋粉的理化性质和功能性质进行了对比研究, 探讨了两种干燥方式对全蛋粉的水分含量, 水分活度, 颗粒分布情况, 溶解度, 起泡性, 乳化性的影响。同时分析比较了两种干燥方式制备的全蛋粉的微观结构图。结果表明, 两种干燥方式制成的全蛋粉水分含量和水分活度差异不显著 ($p > 0.05$), 冷冻干燥全蛋粉的溶解度为 93.32%, 喷雾干燥全蛋粉溶解度 87.88%, 真空冷冻干燥全蛋粉的乳化活性和起泡力的最大值分别为 0.338, 62.6%, 喷雾干燥全蛋粉的乳化活性和起泡力的最大值为 0.248, 53.4%。数据表明真空冷冻干燥制成的全蛋粉功能性质优于冷冻干燥制成的全蛋粉。而两种干燥方式制成的全蛋粉的颗粒分布情况与微观结构表征也存在显著差异。

关键词: 冷冻干燥; 喷雾干燥; 全蛋粉; 理化性质; 功能性质

文章编号: 1673-9078(2015)1-147-152

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.1.027

Effects of Freeze-drying and Spray-drying on the Physicochemical Properties and Ultrastructure of Whole-egg Powder

SHEN Qing, ZHAO Ying, CHI Yu-jie, WANG Huan

(Department of Food Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In this study, the effects of two drying methods, spray-drying and freeze-drying, on the physicochemical properties and functional properties of whole-egg powder were compared. Moisture content, water activity, solubility, particle size distribution, foaming properties, and emulsifying properties of the whole-egg powder were investigated. The microscopic structures of the whole-egg powders dried by the two methods were also compared. The results showed no significant difference in the moisture content and water activity of whole-egg powders prepared by the two drying methods ($p > 0.05$), and the solubility of freeze-dried and spray-dried whole-egg powders were 93.32% and 87.88%, respectively. The maximum emulsifying activity and foaming power of the freeze-dried whole-egg powder were 0.338 and 62.6%, respectively, and those of the spray-dried whole-egg powder were 0.248 and 53.4%, respectively. The data indicated that the functional properties of freeze-dried whole-egg powder were better than those of spray-dried whole-egg powder. In addition, there were significant differences found in particle size distribution and microstructure between the whole-egg powders prepared by the two drying methods.

Key words: freeze-drying; spray-drying; whole-egg powder; physicochemical properties; functional properties

全蛋粉是以新鲜鸡蛋为原料, 通过抽检验照、洗蛋、消毒、喷淋、吹干、打蛋、过滤、均质、巴氏杀菌、喷雾干燥等工序制成的干蛋制品, 可通过加水的方法还原为鸡蛋液, 是新鲜鸡蛋最为理想的替代品。

收稿日期: 2014-06-16

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助 (CARS-41-K25); 黑龙江省“十二五”科技攻关项目 (GC12B402); 哈尔滨市高新技术产业化项目 (2012DB6BN050)

作者简介: 沈青, 博士, 主要从事农产品加工与贮藏工程方向研究

通讯作者: 迟玉杰, 教授, 博士生导师, 主要从事研究方向为食品化学与农产品深加工

这不仅克服了鲜蛋易变质、易破碎的弊端, 还能明显地减轻体积和重量, 更便于大批量运输和储存, 使运输和储存费用大幅度下降^[1]。采用现代化的先进设备将鲜蛋粉末化, 其加工过程中没有高温长时间等条件剧烈的操作, 因此, 全蛋粉具有良好的溶解、乳化、起泡等特性^[2]。全蛋粉包含了鲜蛋中所有的蛋白质, 具有与鲜蛋相同的营养价值。全蛋粉不但在平衡膳食、均衡营养方面具有重要作用, 同时还具有帮助大脑发育、增加肌肉量、预防老年性眼病、保护肝脏和预防癌症等作用。由于其在贮藏中细菌不易侵入、繁殖, 因此贮存期可长达 1 年。成分均一, 并且在食物配方

中数量能够准确控制。可用于开发许多新的方便食品。

近几年,国内外有大量的关于蛋粉的研究报道。2012年刘静波,马爽^[3]对蛋粉冲调特性以及复合蛋粉的开发进行了研究。王洁等人探究了鸡蛋清的真空冷冻干燥,为蛋白质物质的真空冷冻干燥工艺设计和过程控制提供了参考^[4]。2003年王璋等人研究了喷雾干燥条件对豆粉速溶性的影响^[5]。2012年Chen, Yu-Jie Chi等人对比研究了喷雾干燥与真空冷冻干燥蛋清肽的功能性质和抗氧化性,得出喷雾干燥更适合制备蛋清肽^[6]。2007年Valerie Lechevalier和Romain Jeantet^[7]研究了蛋白粉工业化生产中影响蛋白质结构和功能特性的关键因素。Caboni MF, Boselli E, Messia MC研究了加工和储藏条件对喷雾干燥全蛋粉的影响^[8]。Mehmet Koç等人研究喷雾干燥条件对全蛋粉的物理和化学和功能性质的影响^[9]。

目前,但是通过对比喷雾干燥和真空冷冻干燥对全蛋粉理化性质和超微结构研究还鲜有,本研究的目的是通过比较两种干燥方式制备的全蛋粉理化性质和超微结构,了解不同干燥方式生产制备全蛋粉的功能特性,根据不同的功能特性,来满足全蛋粉的不同市场需求,解决了全蛋粉在市场上应用的单一性、局限性,为全蛋粉的生产加工提供理论依据。可为社会带来更大的经济效益。

1 材料与方法

1.1 主要原料和试剂

新鲜鸡蛋,大豆油,市售;其他化学试剂均为分析纯。

1.2 主要设备

磁力搅拌器,金坛市康华电子仪器制造厂;JJ-1精密增力电动搅拌器,上海浦东物理光学仪器厂;恒温水浴锅,余姚市东方电工仪器厂;ALC-310.3电子分析天平,北京赛多利斯仪;pH S-3C精密pH计,上海精密仪器有限公司;BUCHI 290喷物干燥塔,瑞士BUCHI Spray Dryer;FS-1可调高速匀浆器,金坛荣华仪器制造有限公司;TU-1810紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;真空冷冻干燥机FDU-1100, YELA, 日本;HYP-消化炉,凯氏定氮仪,上海纤检仪器有限公司;S-3400N扫描电镜,日本日立公司;MB35卤素水分测定仪,奥豪斯国际贸易有限公司;Mastersizer 2000激光粒度仪,英国马尔文公司。

1.3 实验方法

1.3.1 全蛋粉的制备

全蛋粉的制备方法类似于奶粉的生产,以下是生产蛋粉产品的工艺流程

真空冷冻干燥工艺流程:

鲜蛋→打蛋→搅拌、过滤→热处理(90 min, 55℃)→冷却→预冻(-20℃, 2h)→冷冻干燥(压力15 Mpa, 温度-45℃, 24h)→出粉冷却→包装

喷雾干燥工艺流程:

鲜蛋→打蛋→搅拌、过滤→热处理(90 min, 55℃)→喷雾干燥(进风温度180℃, 出风温度80℃)→出粉冷却→包装^[10]

1.3.2 全蛋粉水分含量测定

使用快速水测定仪,采用直接干燥法,根据GB/T 5009.3-2010。

1.3.3 全蛋粉水分活度测定

称取3~5g全蛋粉全蛋粉平铺在全蛋粉盒中,放在水分活度仪中直接进行测定。

1.3.4 两种干燥方式制得全蛋粉颗粒分布测定

使用Mastersizer 2000激光粒度仪,将1~2g全蛋粉散布于去离子水中,颗粒分布均匀时开始测定全蛋粉的粒径分布。

1.3.5 两种干燥方式制得全蛋粉微观结构观察

微观结构的表征采用S-3400N扫描电镜(SEM)进行测定。将待测全蛋粉借助牙签均匀涂在粘有双面胶的全蛋粉台上,用E-1010(Giko)型离子溅射镀膜仪进行离子溅射喷金,将处理好的全蛋粉放入全蛋粉盒中待检^[10]。

1.4 全蛋粉功能性质测定

1.4.1 溶解度测定

全蛋粉溶解性的测定方法选择的是考马斯亮蓝法,通过使用每毫升全蛋粉中存在的可溶性蛋白质含量进行表示。取6支10mL的带塞试管,分别加入1000μg/mL的牛血清白蛋白溶液0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5mL后补足蒸馏水到1mL,相当于蛋白质含量为0~500μg/mL。然后分别加入100μg/mL的考马斯亮蓝G250溶液5mL,混匀,2min后用分光光度计测定595nm下各试管的吸光值。以蛋白质含量(μg/mL)为横坐标,吸光度值(OD_{595nm})为纵坐标,绘制标准曲线。

将全蛋粉全蛋粉配制成浓度为1%的溶液,室温下搅拌30min,然后在4000r/min条件下离心20min,

取上清液 1 mL 于 10 mL 具塞试管中,加入 100 μg/mL 考马斯亮蓝 G-250 溶液 5 mL,漩涡振荡 2 min,以考马斯亮蓝 G250 溶液调零,在 595 nm 下测定其吸光值。根据此吸光度和标准曲线查得相应的可溶性蛋白质含量。

1.4.2 乳化性质测定

采用的是浊度法:用 pH 7.0, 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲溶液配制 100 mL 质量分数为 0.2% (m/V) 的全蛋粉溶液,取 30 mL 溶液与 10 mL 大豆油混合,使用高速匀浆机在 10000 r/min 的条件下均质 1 min 以形成乳浊液,均质后分别在 0 min 与 10 min 时从底部吸取 100 μL 乳状液分散于 10 mL 0.1% 的 SDS (m/V) 中,于 500 nm 处测定吸光度值,以 A₀ 表示乳化活性 (EAI), 乳化稳定性 (ESI) 的表示方法为:

$$ESI = \frac{A_0 \times \Delta T}{A_0 - A_{10}} \quad (1)$$

式中: ESI 单位为 min; A₀-0min 时的吸光度值; ΔT-两次测定吸光度的时间间隔,本试验取 10 min; A₁₀-10 min 时的吸光度值。

1.4.3 起泡性测定

取全蛋粉 2.0 g 于小烧杯中,量取 150 mL pH 7.0 磷酸缓冲溶液,先用少量缓冲溶液溶解全蛋粉,然后全部倒入高速组织捣碎机中,以 2000 r/min 的速率搅打 2 min,将产生的泡沫全部转移到 500 mL 的量筒中,读取泡沫体积 V₁,将泡沫静止放置 20 min,读取泡沫体积 V₂,试验中数据为三次测定的平均值,其中 FA 和 FS 分别代表起泡能力和泡沫稳定性。

$$FA (\%) = \frac{V_1}{100} \times 100\% \quad (2)$$

$$FS (\%) = \frac{V_2}{V_1} \times 100\% \quad (3)$$

1.4.4 数据分析

采用 Origin 8.0 软件与方差分析软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

表 1 喷雾干燥与真空冷冻干燥全蛋粉理化指标

Table 1 Physicochemical indicators of whole-egg powder prepared by spray-drying and freeze-drying methods

	水分含量/%	水分活度	溶解度/%
喷雾干燥	3.15±0.12 ^a	0.353±0.22 ^a	87.88±0.12 ^a
真空冷冻干燥	3.05±0.21 ^a	0.299±0.15 ^a	93.32±0.34 ^b

2.1 两种干燥方式测定的指标

从表 1 中可看出,冷冻干燥制备的全蛋粉和喷雾干燥制备的全蛋粉水分含量无显著差异 (p≥0.05)。喷雾干燥的水分活度略高于冷冻干燥,水分活度差异性不显著 (p≥0.05),水分活度低的全蛋粉更有利于保藏。两种全蛋粉的溶解度测定是选择 pH 为 7.0 的中性环境测定,由于在此 pH 环境下小分子的大小和暴露的可电离的氨基和羧基基团,可与水形成较强氢键,从而更加易溶于水溶液^[11]。结果表明冷冻干燥制得的全蛋粉的溶解度高于喷雾干燥制得的全蛋粉。原因可能是喷雾干燥采用的是小型压力式喷雾干燥塔,喷嘴直径较小,产生的全蛋粉颗粒较小,易结块,不易分散。而冷冻干燥制得的全蛋粉颗粒较大,能快速分散于水溶液中。

2.2 两种干燥方式制备全蛋粉的乳化性质

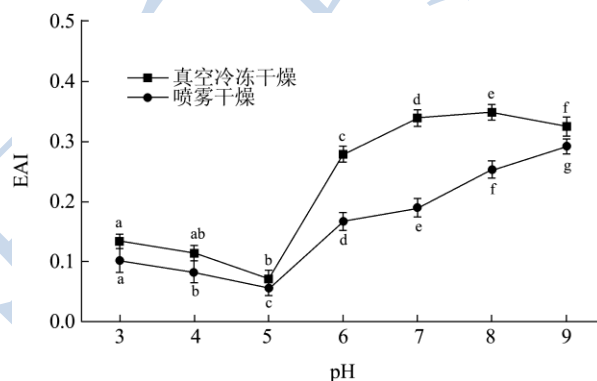


图 1 两种干燥方式制得全蛋粉的乳化活性

Fig.1 Emulsifying activity of whole-egg powder prepared by the two drying methods

注: 显著性分析在 95% 的置信区间。

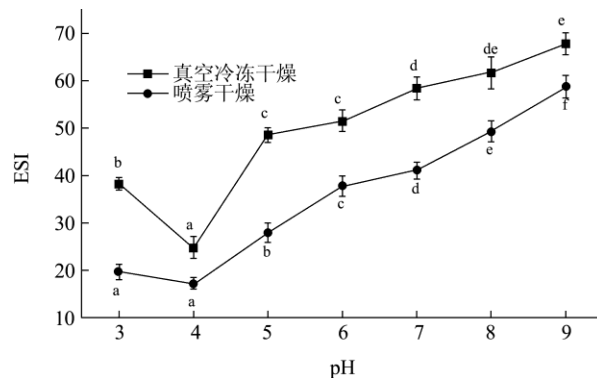


图 2 两种干燥方式制得全蛋粉的乳化稳定性

Fig.2 Emulsifying stability of whole-egg powder prepared by the two drying methods

注: 显著性分析在 95% 的置信区间。

乳化性质 (EAI, ESI) 测定结果如图 1, 图 2 所示。从图中可以看出,两种干燥方式制备的全蛋粉的乳化性和乳化稳定性都是先降低后升高,在 pH=5.0

时乳化活性最低, 在 pH=4.0 时, 乳化稳定性最低, 而冷冻干燥全蛋粉的乳化性和乳化稳定性都显著高于喷雾干燥全蛋粉($p < 0.5$)。总的来说, 在 pH=4.0~9.0 之间, 全蛋粉的乳化性与 pH 值呈正相关, 可能是由于全蛋粉蛋白质中亲水和亲油基团以及电荷的影响, 它可以促进油包水乳状液的形成。由于在蛋白质等电点 4.0~5.0 之间, 所以导致溶解度最小, 使得蛋白质的乳化性质降低。在碱性条件下, 由于 OH⁻的作用, 使-COO⁻增多, 增加了分子间的静电斥力, 使分散双电层加厚, 溶液界面膜增厚, 同时也有利于胶束的形成, 因而, 乳化性达到提高。当 pH=9 以后溶液中-COO⁻也呈上升趋势, 乳化性也随之上升^[21]。冷冻干燥全蛋粉的乳化性好于喷雾干燥全蛋粉, 可能是由于喷雾干燥过程会使蛋白质发生一定程度的变性^[13], 影响了其乳化性质。

2.3 两种干燥方式制备全蛋粉的起泡性

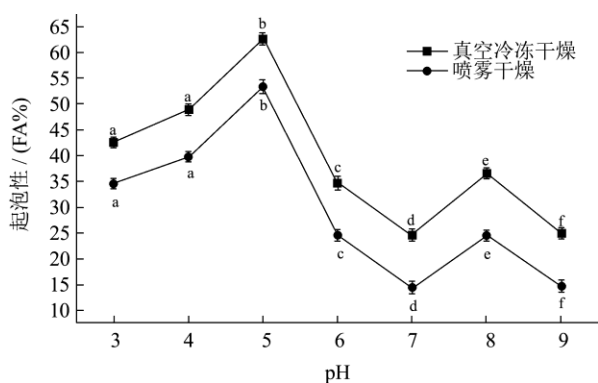


图3 两种干燥方式制得全蛋粉的起泡性

Fig.3 Foaming property of whole-egg powder prepared by the two drying methods

注: 显著性分析在95%的置信区间。

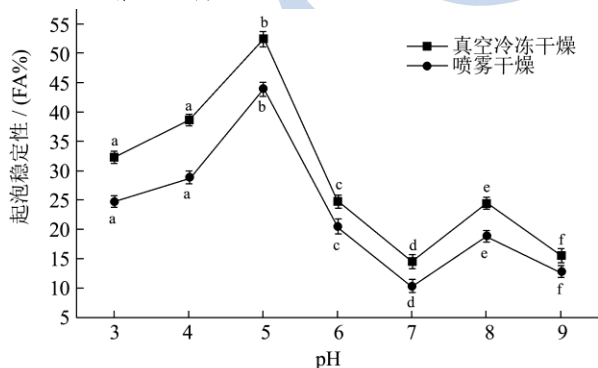


图4 两种干燥方式制得全蛋粉的泡沫稳定性

Fig.4 Foam stability of whole-egg powder prepared by the two drying methods

注: 显著性分析在95%的置信区间。

真空冷冻干燥和喷雾干燥两种全蛋粉的起泡性和泡沫稳定性如图3、4所示。在 pH=3.0~7.0 之间真空

冷冻干燥和喷雾干燥两种干燥方式制备的全蛋粉的起泡力和泡沫稳定性呈先升高后降低的趋势, 在 pH=7.0~9.0 之间, 同样呈现先增高后降低的趋势, 这种起泡性趋势与前人研究结果一致^[14]。在 pH=5.0 时, 两种全蛋粉的起泡力和泡沫稳定性均达到最大值, 在 pH=7.0 时, 两种全蛋粉的起泡力和泡沫稳定性均达到最小值, 真空冷冻干燥全蛋粉的起泡力和泡沫稳定性显著高于喷雾干燥全蛋粉 ($p \leq 0.5$)。在 pH=3.0 与 pH=4.0 时起泡力和泡沫稳定性差异不显著 ($p > 0.05$), pH 5.0~9.0 之间起泡力和泡沫稳定性两两比较之间的差异显著 ($p < 0.05$)。形成泡沫需要蛋白质具有迅速吸附到界面的能力, 因此降低表面张力, 可以促进泡沫的形成^[15]。有研究表明干燥方式影响全蛋粉结构和疏水性, 进一步影响在空气-水界面的吸收速率^[16]。应该进行进一步的实验确定喷雾干燥的加工步骤会破坏全蛋粉的起泡性质, 并证明结构-功能的相关性。

2.4 两种干燥方式制备的全蛋粉样的粒径分布

布图

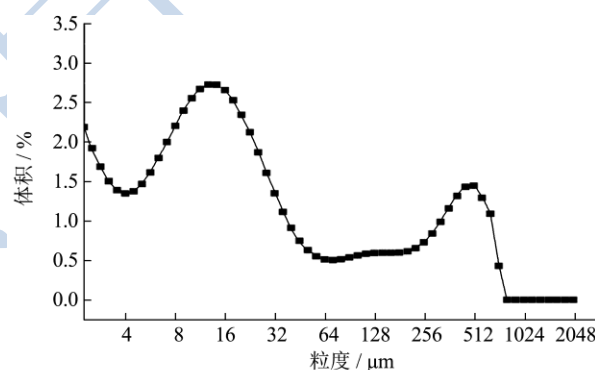


图5 真空冷冻干燥全蛋粉粒径分布图

Fig.5 Partide size distribution of freeze-dried whole-egg

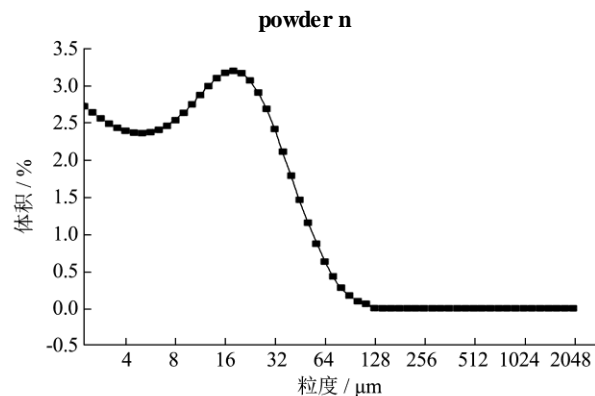


图6 喷雾干燥全蛋粉粒径分布图

Fig.6 Partide size distribution of spray-dried whole-egg powder

真空冷冻干燥全蛋粉和喷雾干燥全蛋粉的粒径分布如图5、6所示, 根据图示与粒度分析报告, 真空冷

冻干燥全蛋粉的表面平均粒径 $D[3, 2]$ 为 $2.632 \mu\text{m}$, 体积平均粒径 $D[4, 3]$ 为 $61.723 \mu\text{m}$, 也就是说颗粒的平均粒径为 $61.723 \mu\text{m}$, 而喷雾干燥全蛋粉颗粒的表面平均粒径 $D[3, 2]$ 为 $2.771 \mu\text{m}$, 颗粒体积平均粒径 $11.720 \mu\text{m}$ 。喷雾干燥全蛋粉颗粒的体积平均粒径比真空冷冻干燥全蛋粉颗粒的平均粒径要小得多, 而喷雾干燥得到的颗粒粒径比冷冻干燥分布更为均匀, 这可能与喷雾干燥塔的类型以及冷冻干燥每个工艺流程的参数有关^[9], 本实验采用的是小型压力式喷雾干燥塔, 所以喷雾干燥全蛋粉的颗粒粒径较小。而真空冷冻干燥经过冷冻升华, 可保持食品原有的形状并具有很好的速溶性和复水性。由于物料在升华前先冻结, 形成了稳定的固体骨架, 所以水分升华后固体骨架基本保持不变^[17], 所以说冷冻干燥的颗粒粒径分布相对不均匀。

2.5 两种干燥方式制备的全蛋粉全蛋粉扫描电镜图

电镜图

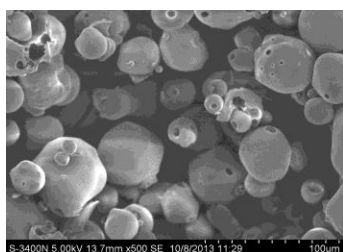


图 7 喷雾干燥全蛋粉扫描电镜

Fig.7 SEM image of spray-dried whole-egg powder

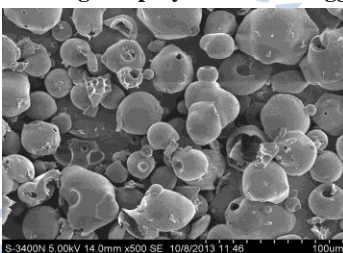


图 8 冷冻干燥全蛋粉扫描电镜图

Fig.8 SEM image of freeze-dried whole-egg powder

图 7、图 8 为 5000 倍放大倍数下真空冷冻干燥与喷雾干燥全蛋粉的扫描电镜图, 图 7 颗粒大小适中, 分布比较均匀, 呈球状, 颗粒与颗粒之间的孔隙大小适中, 整体呈现海绵状的多孔结构, 对水分子的吸附作用强, 在复水的过程中可以最大程度地恢复颗粒组织结构^[3]。图 8 颗粒度较不均匀, 受到不同程度破坏, 发生中空塌陷现象, 颗粒与颗粒之间的空隙较大, 并出现轻微的粘结现象, 不利于水分的截留, 故复水性能较差^[18]。

3 结论

3.1 真空冷冻干燥和喷雾干燥制成的全蛋粉水分含量分别为 3.05% 和 3.15%, 差异不显著 ($p > 0.05$) 冷冻干燥和喷雾干燥的水分活度分别为 0.299 和 0.353, 差异不显著 ($p > 0.05$), 冷冻干燥制备的全蛋粉的溶解度为 93.32% 高于喷雾干燥制备的全蛋粉的溶解度 87.88%。

3.2 真空冷冻干燥制成的全蛋粉乳化活性为 0.338 高于喷雾干燥全蛋粉的乳化活性 0.248。冷冻干燥全蛋粉的起泡性 62.6% 高于喷雾干燥全蛋粉的起泡性 10% 左右。

3.3 冷冻干燥制成的全蛋粉的颗粒粒径大于喷雾干燥制成的全蛋粉颗粒直径。从微观表征上也能看出喷雾干燥颗粒分布较均匀, 喷雾干燥颗粒体积平均直径远小于冷冻干燥体积平均直径, 冷冻干燥颗粒分布相对不均匀。

参考文献

- [1] 迟玉杰. 蛋制品加工技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009
CHI Yu-jie. Egg products processing technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2009
- [2] 马美湖. 禽蛋制品生产技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2003
MA Maywood. Egg products production technology [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2003
- [3] 马爽, 刘静波. 蛋粉冲调特性及复合型功能蛋粉的研究与开发[D]. 吉林大学, 2012
MA Shuang, LIU Jing-bo. Reconstituted egg powder and complex function characteristics egg powder research and development [D]. Jilin University, 2012
- [4] 王洁, 江斌. 鸡蛋清的真空冷冻干燥试验研究[J]. 农产品加工, 2012, 4: 81~83
WANG Jie, JIANG Bin. Vacuum freeze-dried egg experimental study [J]. Processing of Agricultural Products, 2012, 4: 81-83
- [5] 钟芳, 王璋. 喷雾干燥条件对豆粉速溶性的影响[J]. 食品工业科技, 2003, 12(24): 17-20
ZHONG Fang, WANG Zhang. Effect of spray-drying conditions of the instant flour [J]. Food Science and Technology, 2003, 12(24): 17-20
- [6] Chen Chen, Yu-Jie Chi, Wei Xu. Comparisons on the functional properties and antioxidant activity of spray-dried and freeze-dried egg white protein hydrolysate [J]. Food

- Bioprocess Technol, 2012, 5: 2342-2352
- [7] Lechevalier V, Jeantet R, Ahaliass A, et al. Egg white drying: influence of industrial processing steps on protein structure and functionalities [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83(3): 404-413
- [8] Caboni MF, Boselli E, Messia MC, et al. Effect of processing and storage on the chemical quality markers of spray-dried whole egg [J]. Food Chemistry, 2005, 92(2): 293-303
- [9] Mehmet Koç Banu Koç Gonca Susyal. Functional and physicochemical properties of whole egg powder: effect of spray drying conditions [J]. Food Sci Technol (Mar-Apr 2011) 48(2): 141-149
- [10] 于翠,迟玉杰.酶法改性提高全蛋粉起泡性能的研究[J].食品工业科技,2012,7:16-28
YU Chui, CHI Yu-jie. Enzymatic Modification to Improve the Whole Egg Blistering Performance [J]. Food Science and Technology, 2012, 7: 16-28
- [11] Q Kong, B Xiong, Y L, et al. Antioxidant activity and functional properties of porcine plasma protein hydrolysate as influenced by the degree of hydrolysis [J]. Food Chemistry, 2010, 118, 403-410
- [12] 张根生,岳晓霞.大豆分离蛋白乳化性影响因素的研究[J].食品科学,2006,7(27):48-51
ZHANG Gen-sheng, YUE Xiao-xia. Emulsifying properties of soybean protein isolate influencing factors [J]. Food Science, 2006, 7(27): 48-51
- [13] 孙颜君,吕加平.不同喷雾干燥温度对乳蛋白浓缩物加工性质的影响[J].食品科技,2014,1(39):44-47
SUN Yan-jun, LV Jia-ping. Effect of different spray drying temperature on milk protein concentrate processing properties [J]. Food Science and Technology, 2014, 1(39): 44-47
- [14] Sun M J, Chi Y J, Zhang M J. Technology for improving foaming properties of egg albumen powders [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(11), 274-278 (in china)
- [15] Belitz H D, Grosch W, Schieberle P. Food Chemistry(4th revised and extended.) (p. 62). Verlag Berlin Heidelberg: Springer,2009
- [16] Kuropatwa M, Tolkach A, Kulozik U. Impact of pH on the interactions between whey and egg white proteins as assessed by the foamability of their mixtures [J]. Food Hydrocolloids, 2029, 23: 2174-2181
- [17] 许韩山,张慤.真空冷冻干燥在食品中的应用[J].干燥技术与设备,2008,2(6):102-106
XU Han-shan, ZHANG Min. Vacuum freeze-drying in food applications [J]. Drying Technology and Equipment, 2008, 2(6): 102-106
- [18] 刘静波,马爽,刘博群.不同干燥方式对全蛋粉冲调性能的影响[J].农业工程学报,2011,27(12):383-388.
LIU Jing-bo, MA Shuang, LIU Bo-qun. Influence of different drying methods on the performance of the reconstituted whole egg powder [J] CSAE, 2011, 27 (12): 383-388