不同类型食品添加剂对全蛋液性质的影响

佟 平[1]，林志银[1,2]，侯裕梁[1,2]，陈红兵[1,3]，高金燕[*2]
（1. 食品科学与资源挖掘全国重点实验室，南昌大学，江西 南昌 330047；2. 南昌大学 食品学院，江西 南昌 330031；3. 南昌大学 中德联合研究院，江西 南昌 330047）

摘要：为探究食品添加剂对全蛋液理化特性和功能特性的影响，作者分别将3种不同类型食品添加剂（柠檬酸钠、*D*-异抗坏血酸钠、碳酸氢钠）添加至全蛋液中，然后对全蛋液的pH、色泽、粒径、蛋白质溶解度、浊度、起泡特性、乳化特性和凝胶特性等理化特性和功能特性进行测定。结果表明：不同类型食品添加剂的加入对全蛋液pH、粒径、蛋白质溶解度和浊度有较大影响，进而影响功能特性。添加浓度为10 mmol/L的柠檬酸钠可以增大全蛋液的pH和粒径，使全蛋液蛋白质溶解度提高了6.29%，凝胶硬度提高了11.52%。添加浓度为4 mmol/L的*D*-异抗坏血酸钠增强了全蛋液的色泽，使全蛋液蛋白质溶解度提高了17.50%，改善了全蛋液稀释液的乳化性，乳化能力和乳化稳定性分别增加了14.06%和5.45%。添加碳酸氢钠对全蛋液物料特性没有太大改善，但添加高浓度的碳酸氢钠（200 mmol/L）使全蛋液亮度降低、红色增强、黄色减弱，反而使全蛋液的色泽难以被消费者接受。该研究结果可为全蛋液加工中不同类型食品添加剂的使用提供参考。

关键词：食品添加剂；全蛋液；色泽；乳化特性；凝胶特性
中图分类号：TS 253　**文章编号：**1673-1689(2023)07-0018-10　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2023.07.003

Effect of Different Types of Food Additives on Properties of Liquid Whole Egg

TONG Ping[1]，*LIN Zhiyin*[1,2]，*HOU Yuliang*[1,2]，*CHEN Hongbing*[1,3]，*GAO Jinyan*[*2]
(1. State Key Laboratory of Food Science and Resources, Nanchang University, Nanchang 330047, China; 2. College of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330031, China; 3. Sino German Joint Research Institute, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

Abstract: To study the effects of food additives on the physicochemical and functional properties of liquid whole egg (LWE), three different food additives (sodium citrate, sodium *D*-isoascorbate, and sodium bicarbonate) were added into LWE. The physicochemical and functional properties of LWE, including pH, colour, particle size, protein solubility, turbidity, foaming properties, emulsification properties, and gelling properties, were determined. Results showed that the different types of food additives had a significant effect on the pH, particle size, protein solubility and turbidity of LWE, thereby affecting their functional properties. With the addition of 10 mmol/L sodium citrate, the pH and particle size of LWE were increased, and the protein solubility and gel hardness of LWE were improved by 6.29% and 11.52%, respectively. Adding sodium *D*-ascorbate at a concentration of 4

收稿日期：2021-12-18
基金项目：国家重点研发计划项目（2018YFD0400304）。
*通信作者：高金燕（1967—），女，硕士，教授，硕士研究生导师，主要从事食品营养与安全研究。E-mail: gaojy2013@ncu.edu.cn

mmol/L enhanced the colour of LWE with protein solubility increased by 17.50%, which also improved the emulsification properties of the diluted LWE, with emulsifying capacity and stability increasing by 14.06% and 5.45%, respectively. The addition of sodium bicarbonate did not significantly improve the material properties of LWE, however, adding high concentration of sodium bicarbonate (200 mmol/L) resulted in reduced brightness, increased redness, and decreased yellowness of LWE, which made LWE unacceptable. The results of this study could provide a theoretical reference for the use of different types of food additives in the processing of LWE.

Keywords: food additive, liquid whole egg, colour, emulsifying properties, gelling properties

鸡蛋具有丰富的蛋白质和其他高质量的营养物质，自古以来就被人们食用[1]。同时，鸡蛋因具有优良的功能特性（起泡性、乳化性、凝胶性），在食品加工行业中被广泛应用[2]。全蛋液是鲜鸡蛋去壳后蛋清和蛋黄的混合液，因其更有利于运输、储存和加工，越来越受到食品生产企业的青睐[3]。

虽然全蛋液能有效解决鲜蛋易碎、难运输、难贮藏的问题，但仍存在一些问题。在全蛋液加工过程中，其蛋白质溶解度、起泡性、乳化性和凝胶性均会发生一定程度的降低[4-6]，不能满足食品工业和消费者需求。有研究表明添加抗坏血酸可以维持全蛋液凝胶特性，但可能会使全蛋液蛋白质靠近等电点，降低蛋白质溶解度[7]。添加浓度为 1.6 mol/L 的氯化钠可以降低全蛋液的浊度，改善全蛋液的起泡性和凝胶特性[8]，但添加浓度过高，可能会危害人体健康。因此，如何建立保障全蛋液品质稳定性的加工工艺是全蛋液生产面临的一个主要问题，添加食品添加剂或许是一个有效选择，但用于全蛋液的添加剂需要既能保持全蛋液的多种功能特性又能健康无害。

柠檬酸钠和 *D*-异抗坏血酸钠提取自天然产物，较其他添加剂更健康、安全[9]。柠檬酸钠是一种有机盐，可以保护食品颜色、改善味道、抑制微生物等[10]。柠檬酸钠还可以与金属离子螯合，以增加酸奶凝胶的储存模量和损失切线值[11]。在全蛋液中添加柠檬酸钠或许能改善全蛋液的凝胶特性。*D*-异抗坏血酸钠是一种抗氧化剂，可以“捕捉”氧气，具有防腐、保鲜作用[12]，可以抑制香肠中的蛋白质氧化和脂质氧化[13]。*D*-异抗坏血酸钠还有助色作用[14]，将 *D*-异抗坏血酸钠加入全蛋液或许能起到抗氧化和助色的作用。添加碳酸氢钠可以增加乳清蛋白的水解度[15]。碳酸氢钠的浸泡还可以使花生浆的蛋白质溶解度增大[16]。添加碳酸氢钠至全蛋液中或许可以增大全蛋液的蛋白质溶解度。

因此，选取上述 3 种不同类型的食品添加剂（柠檬酸钠、*D*-异抗坏血酸钠和碳酸氢钠），通过研究其对全蛋液理化特性及功能特性的影响，阐明不同类型食品添加剂在全蛋液生产中应用的可能性及作用，以期为生产稳态化全蛋液提供食品添加剂的使用指南。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜白壳鸡蛋（48 h 之内）：购于南昌市江大南路天虹超市；食品级柠檬酸钠、*D*-异抗坏血酸钠、碳酸氢钠：河南万邦化工科技有限公司产品；其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

PB-10 pH 计：德国 Sartorius 公司产品；S18N-19G 高速分散机、RH basic 2 磁力搅拌器：德国 IKA 公司产品；NS810 分光测色仪：深圳三恩时科技有限公司产品；Centrifuge 5804 R 高速冷冻离心机、Varioskan Lux 多功能读数仪：美国 Thermo Scientific 公司产品；激光粒度分析仪：英国 Malvern Mastersizer 公司产品；质构分析仪：英国 Stable Micro System 公司产品；恒温磁力搅拌水浴锅：常州迈科诺仪器公司产品。

1.3 样品制备

取新鲜鸡蛋，清洗后打破，使用磁力搅拌器将蛋液在 1 200 r/min 下搅拌 30 min，全蛋液的系带用 0.95 mm 筛网除去。分别制备浓度为 5、10、15、20 mmol/L 的柠檬酸钠全蛋液，浓度为 2、4、6、

8 mmol/L 的 *D*-异抗坏血酸钠全蛋液，浓度为 25、50、100、200 mmol/L 的碳酸氢钠全蛋液。

1.4 pH 测定

使用 pH 计测量各个样品的 pH。

1.5 色差测定

首先校准测色仪，然后把样品倒入相同高度和角度的透明托盘中进行测量。ΔE^* 表示色差的变化，计算公式如下：

$$\Delta E^*=\sqrt{(\Delta L^*)^2+(\Delta a^*)^2+(\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

式中：ΔE^* 表示色差的变化；ΔL^* 表示亮度的变化；Δa^* 表示红/绿值的变化；Δb^* 表示黄/蓝值的变化。

1.6 粒径测定

根据张建文等的方法[17]，粒度由激光粒度分析仪测定，并绘制粒径分布图。

1.7 蛋白质溶解度测定

样品在 4 ℃下，10 000 *g* 离心 20 min。取上清液，稀释 100 倍，作为样品。采用考马斯亮蓝法测定上清液蛋白质质量浓度和全蛋液总蛋白质质量浓度[18]。

样品的蛋白质溶解度计算公式如下：

$$S=\frac{\rho_1}{\rho_0}\times 100\% \quad (2)$$

式中：S 为蛋白质溶解度，%；ρ_1 为上清液蛋白质质量浓度，mg/mL；ρ_0 为全蛋液总蛋白质质量浓度，mg/mL。

1.8 浊度测定

使用 10 mmol/L PBS(pH 7.0)将样品稀释 100 倍，在 600 nm 处测定透过率，以超纯水为空白对照(透过率为 100%)，根据下式计算浊度[19]。

$$b=-\ln T \quad (3)$$

式中：T 为透过率，%；b 为浊度，FTU。

1.9 起泡特性测定

使用 10 mmol/L PBS(pH 7.0)将样品稀释，得到蛋白质质量浓度约为 1 mg/mL 的全蛋液稀释液。用量筒量取 40 mL 稀释液，在高速分散机下以 10 000 r/min 搅打 30 s，读取 0、60 min 时的泡沫体积[20]。根据下式计算起泡能力和起泡稳定性：

$$Q_{FA}=\frac{V_0}{40}\times 100\% \quad (4)$$

$$Q_{FS}=\frac{V_{60}}{V_0}\times 100\% \quad (5)$$

式中：Q_{FA} 为起泡能力，%；Q_{FS} 为起泡稳定性，%；V_0 表示初始的泡沫体积，cm^3；V_{60} 表示 60 min 时的泡沫体积，cm^3。

1.10 乳化特性测定

使用 10 mmol/L PBS(pH 7.0)将样品稀释，得到蛋白质质量浓度约为 1 mg/mL 的全蛋液稀释液。在烧杯中加入 30 mL 样品稀释液和 10 mL 葵花籽油，用高速分散机以 10 000 r/min 乳化 2 min。分别取 0、10 min 时的底层乳化液(50 μL)，与 5 mL 体积分数 0.1%的 SDS 溶液混匀。采用体积分数 0.1%的 SDS 溶液为空白对照。在波长 500 nm 处读取吸光度[21]。根据下式计算乳化能力和乳化稳定性：

$$R_{EAI}=A_0\times 100\% \quad (6)$$

$$R_{ESI}=\frac{A_{10}}{A_0}\times 100\% \quad (7)$$

式中：R_{EAI} 为乳化能力，%；R_{ESI} 为乳化稳定性，%；A_0 表示初始的吸光度；A_{10} 表示 10 min 时的吸光度。

1.11 凝胶特性测定

1.11.1 质构特性

将样品加至方形模具，90 ℃水浴 30 min，冷却，4 ℃过夜。测样时，恢复至室温，采用质构仪的 TPA 模式测定样品的质构特性[22]。

1.11.2 凝胶持水性

称取凝胶样品的质量，然后使用高速离心机以 4 000 r/min 离心 10 min，再次称量[23]。凝胶持水性计算公式如下：

$$w=\frac{m_1}{m_0}\times 100\% \quad (8)$$

式中：w 为凝胶持水性，%；m_1 为离心后的凝胶质量，g；m_0 为离心前的凝胶质量，g。

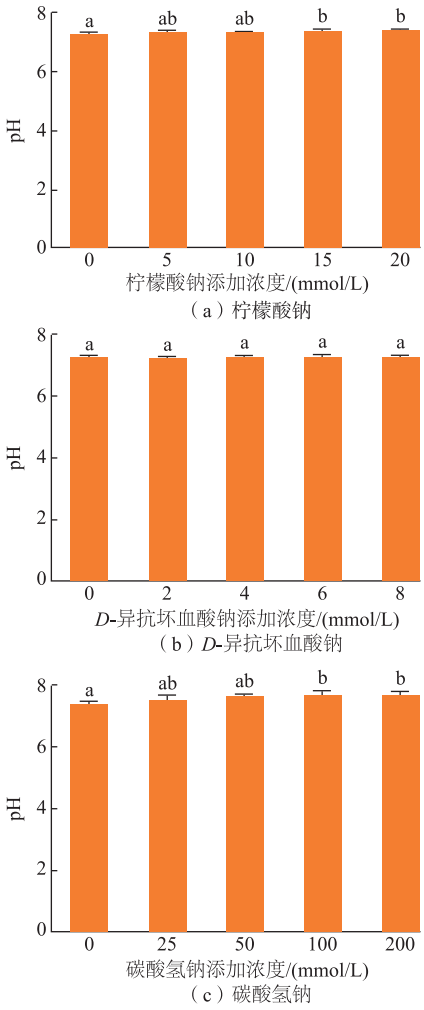
1.12 数据统计与分析

实验均进行 3 次重复，数据采用 SPSS 软件(19.0 版本)统计分析，在 95%的置信区间比较均值。使用 Graphpad 9.0 绘图。

2 结果与分析

2.1 不同食品添加剂对全蛋液 pH 的影响

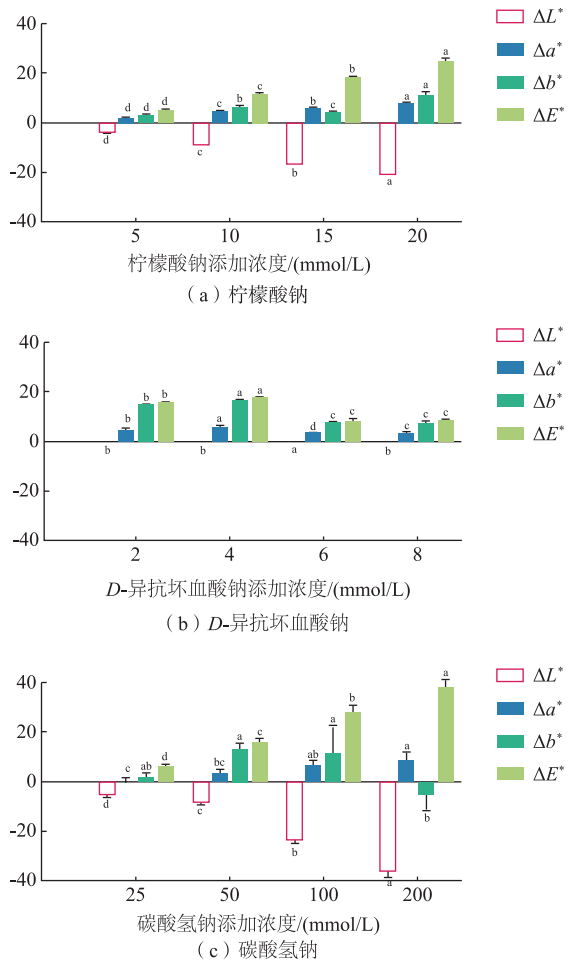
由图 1 可知，添加不同类型食品添加剂可以改变全蛋液的 pH。随着柠檬酸钠和碳酸氢钠浓度的增加，pH 显著上升。这是因为柠檬酸钠和碳酸氢钠都是强碱弱酸盐，其添加会使溶液 pH 上升。添加 *D*-异抗坏血酸钠后，全蛋液的 pH 没有明显变化。在全蛋液中，大多数蛋白质的等电点都小于 7[24]。因此，pH 的升高可以使蛋白质远离等电点，使全蛋液中的蛋白质更不易于聚集，产生沉淀。由此可见，添加柠檬酸钠和碳酸氢钠可以使全蛋液更稳定。



不同字母表示差异显著（P<0.05）。

图 1　不同食品添加剂对全蛋液 pH 的影响

Fig. 1　Effect of different food additives on the pH of liquid whole egg



同一色度指标的不同字母表示差异显著（P<0.05）。

图 2　不同食品添加剂对全蛋液色泽的影响

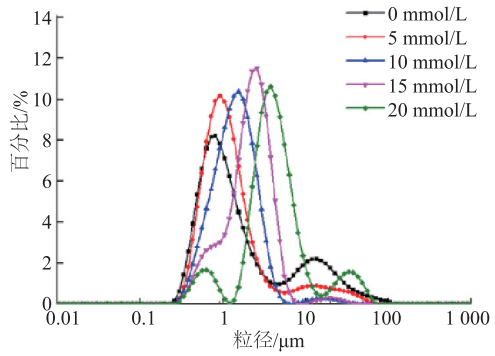
Fig. 2　Effect of different food additives on the colour of liquid whole egg

2.2　不同食品添加剂对全蛋液色泽的影响

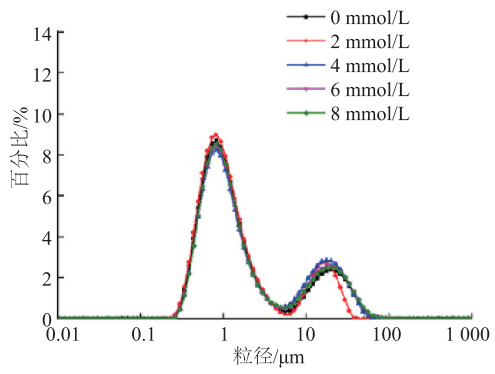
全蛋液的色泽影响消费者可接受度。图 2 显示了添加不同浓度的添加剂对全蛋液色泽的影响。随着柠檬酸钠添加浓度的增大，全蛋液的亮度减小，Δa^* 和 Δb^* 增大，色差显著增大。添加不同浓度的 *D*–异抗坏血酸钠后，全蛋液亮度减小，Δa^* 和 Δb^* 先增大后减小，色差也随之先增后降，其中添加浓度为 4 mmol/L 的 *D*–异抗坏血酸钠全蛋液的 Δa^* 和 Δb^* 最大，使该样品的色差最大。随着碳酸氢钠浓度的增加，全蛋液亮度减小，Δa^* 增加，Δb^* 先增后减，色差呈增大趋势。碳酸氢钠的添加浓度为 200 mmol/L 时，全蛋液亮度最低、Δa^* 最大、Δb^* 最小，总体偏暗、偏红，会降低消费者的感官接受度。

2.3　不同食品添加剂对全蛋液粒径分布的影响

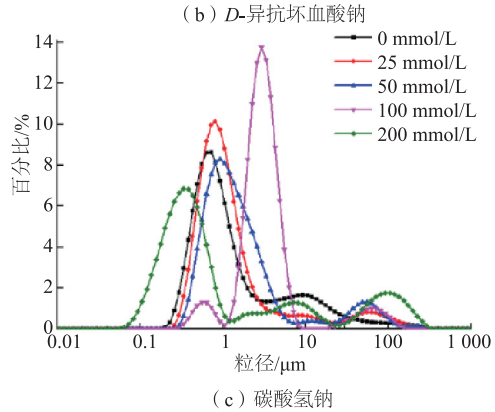
粒径分布关乎全蛋液的功能特性。添加各种不同浓度食品添加剂的全蛋液粒径分布见图 3。添加 *D*–异抗坏血酸钠后，全蛋液粒径无明显变化，可能是因为添加浓度较低。添加柠檬酸钠和碳酸氢钠后，5.0~50.0 μm 的粒子减少，而 0.2~10.0 μm 的粒子逐渐增加，这表明全蛋液中一些大颗粒物质正逐渐分离成小颗粒物质。可能是因为盐的添加增加了蛋白质分子表面电荷数量，分子胶束发生离散[25]。同时，随着碳酸氢钠添加浓度的增大，50.0~300.0 μm 的粒子也略微增加，可能是因为碳酸氢钠引起了全蛋液中蛋白质的交联[26]。



（a）柠檬酸钠



（b）*D*-异抗坏血酸钠



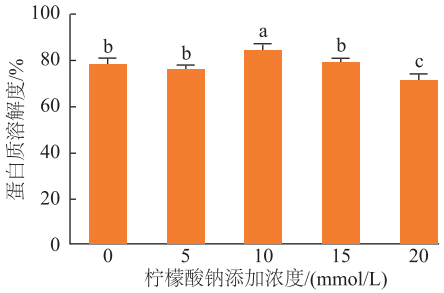
（c）碳酸氢钠

图 3　不同食品添加剂对全蛋液粒径分布的影响

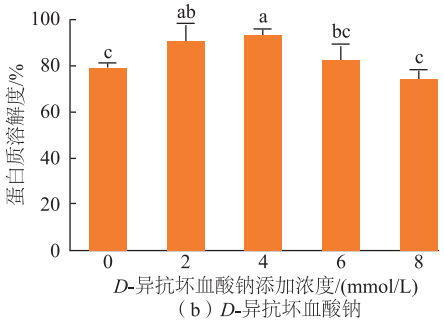
Fig. 3　Effects of different food additives on the particle size distribution of liquid whole egg

2.4　不同食品添加剂对全蛋液蛋白质溶解度的影响

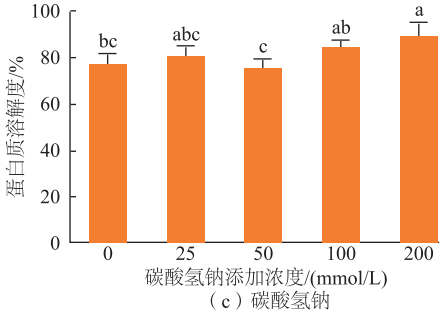
蛋白质溶解度与全蛋液的功能性相关，这一参数的降低表明全蛋液的蛋白质功能降低[27]。如图 4 所示，随着柠檬酸钠和 *D*-异抗坏血酸钠添加浓度增大，全蛋液的蛋白质溶解度均先增大后减小，柠檬酸钠添加浓度为 10 mmol/L 时，蛋白质溶解度最大，与未添加组相比，提高了 6.29%。吴梨研究发现，添加柠檬酸钠可以使全蛋液中蛋白质更稳定，在一定程度上抑制蛋白质聚集[28]。*D*-异抗坏血酸钠具有很强的抗氧化作用，可以减少全蛋液的含氧量[29]。*D*-异抗坏血酸钠添加浓度为 4 mmol/L 时，蛋白质溶解度最大，与未添加组相比，提高了 17.50%。它可能会打开蛋白质分子的二硫键，使蛋白质分散，使其溶解度增大。当添加浓度过大时，可能由于溶液电荷的增加，破坏了蛋白质的水合作用，导致蛋白质聚集，蛋白质溶解度又逐渐降低。碳酸氢钠的浓度从 0~100 mmol/L 时，全蛋液的蛋白质溶解度与未添加组没有显著性差异，但当添加浓度为 200 mmol/L 时，蛋白质溶解度显著增大，与未添加组相比，提高了 14.5%。这可能是由于高浓度的碳酸氢钠在全蛋液中会形成大量 HCO_3^-和 OH^-，能够与蛋白质相结合，使蛋白质带上相同的负电荷，产生静电斥力，聚合能力下降，蛋白质溶解度增大[30]。



（a）柠檬酸钠



（b）*D*-异抗坏血酸钠



（c）碳酸氢钠

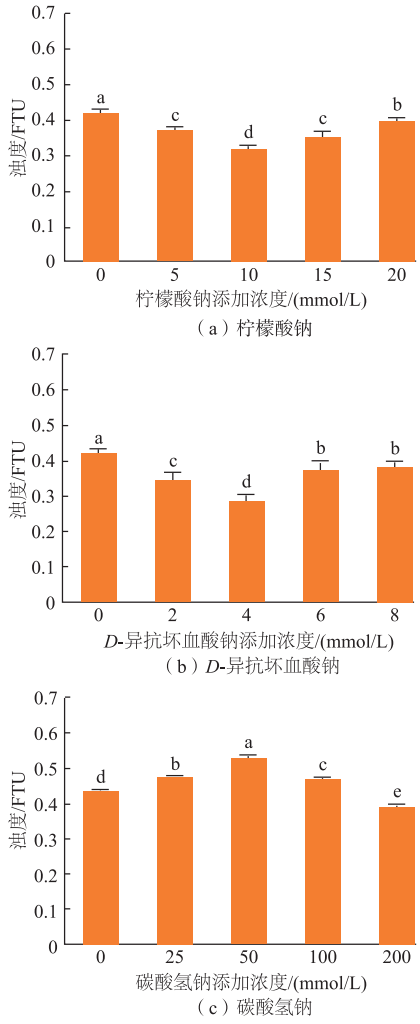
图中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

图 4　不同食品添加剂对全蛋液蛋白质溶解度的影响

Fig. 4　Effects of different food additives on the protein solubility of liquid whole egg

2.5　不同食品添加剂对全蛋液稀释液浊度的影响

浊度可以反映全蛋液组分的聚集、交联程度，蛋白质溶解度和浊度呈一定的负相关性[31]。不同食品添加剂对全蛋液稀释液浊度的影响如图 5 所示。随着添加浓度的增大，柠檬酸钠和 *D*–异抗坏血酸钠都使全蛋液稀释液浊度先减小后增大，全蛋液稀释液浊度分别在柠檬酸钠浓度为 10 mmol/L 和 *D*–异抗坏血酸钠浓度为 4 mmol/L 时最小，与未添加组相比，分别降低了 24.00%、33.11%。而随着碳酸氢钠添加浓度的增大，全蛋液稀释液浊度先增大后减小。在碳酸氢钠添加浓度为 50 mmol/L 时，全蛋液稀释液蛋白质溶解度最小，而浊度最大，为 0.53 FTU；在碳酸氢钠添加浓度为 200 mmol/L 时，浊度最小，为 0.39 FTU。



图中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

图 5　不同食品添加剂对全蛋液稀释液浊度的影响

Fig. 5　Effects of different food additives on the turbidity of diluted liquid whole egg

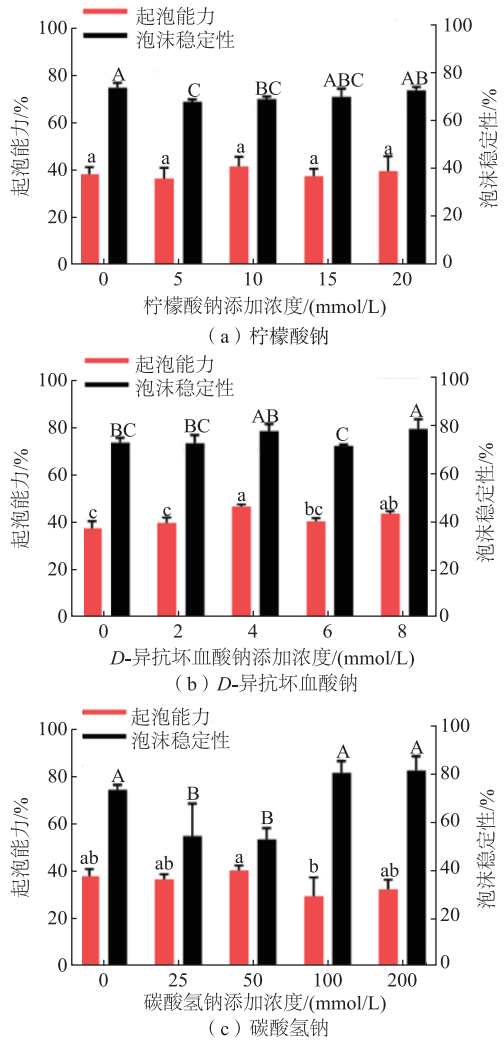
2.6　不同食品添加剂对全蛋液稀释液起泡特性的影响

全蛋液起泡特性主要取决于蛋清蛋白和卵磷脂。蛋清蛋白在搅拌过程中可以快速吸附到空气–水界面，因此具有天然的优良发泡性能[32]。蛋黄的卵磷脂作为两性分子，具有良好的乳化能力[33]，也可增强全蛋液的起泡性能。全蛋液起泡特性通常用起泡能力和起泡稳定性这两个参数表征。如图 6 所示，添加柠檬酸钠没有增强全蛋液稀释液的起泡能力和起泡稳定性，不能改善全蛋液稀释液的起泡特性。当 *D*–异抗坏血酸钠添加浓度为 8 mmol/L 时，起泡能力和起泡稳定性有显著提升，可以改善全蛋液稀释液的起泡特性。可能是高浓度的 *D*–异抗坏血酸钠抑制了卵磷脂的氧化，增强了全蛋液稀释液的起泡能力和起泡稳定性[34]。碳酸氢钠的添加对全蛋液稀释液的起泡特性没有显著改变，添加低浓度的碳酸氢钠反而会减小全蛋液稀释液的起泡稳定性，不利于维持全蛋液稀释液的起泡特性。可能是由于蛋白质分子分散使全蛋液稀释液黏度降低，泡沫稳定性也降低[35]。随着碳酸氢钠添加浓度的增大，蛋白质溶解度增大，起泡稳定性回升。

2.7　不同食品添加剂对全蛋液稀释液乳化特性的影响

由乳化能力和乳化稳定性来表征全蛋液稀释液的乳化特性。由图 7 可知，添加浓度为 5 mmol/L 和 10 mmol/L 的柠檬酸钠增大了全蛋液稀释液的乳化能力，由 47.18%显著提高至 59.97%、60.70%。但柠檬酸钠的添加却会降低全蛋液稀释液的乳化稳定性。乳化稳定性是指维持蛋白质乳化液稳定且不出现油水两相明显分离的能力[36]。添加柠檬酸钠导致乳化稳定性降低可能是因为粒径变大，使蛋白质更容易积聚，油滴更容易絮凝[37]。*D*–异抗坏血酸钠添加浓度为 2 mmol/L 和 4 mmol/L 时使全蛋液稀释液的乳化能力从 49.07%显著提高至 57.33%和 55.97%，使乳化稳定性从 20.18%显著提高至 24.71%和 21.28%。由此可知，添加浓度为 2 mmol/L 和 4 mmol/L *D*–异抗坏血酸钠的全蛋液稀释液的乳化特性得到增强。乳化能力增强可能是因为蛋白质溶解度增大，蛋白质与水分子作用增强，乳化能力增大[38]。随着添加浓度的增大，蛋白质又重新聚合，乳化能力下降。碳酸氢钠的添加不会显著改变全蛋液稀释液的乳化能力，但添加浓度为 100 mmol/L 的

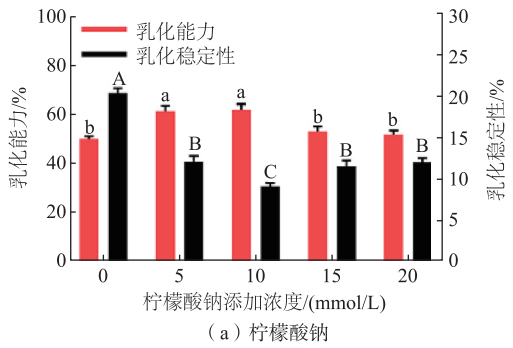
碳酸氢钠可以增强全蛋液稀释液的乳化稳定性。可能是由于蛋白质分子静电斥力的增强,导致液滴不易重聚[38]。

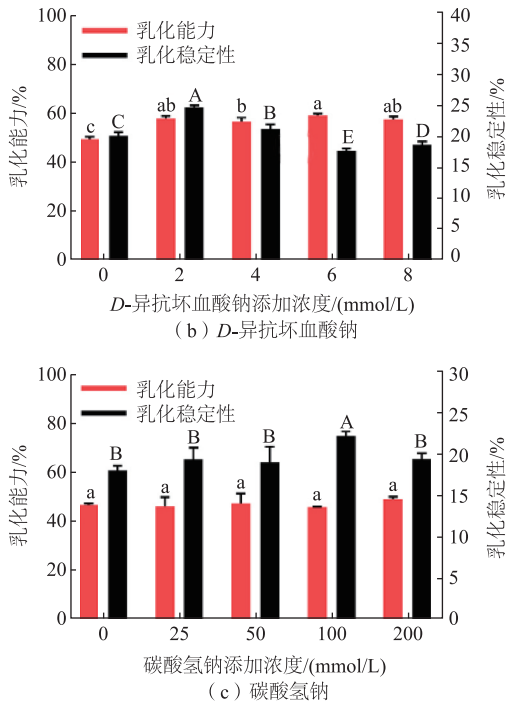


图中不同字母表示差异显著(P<0.05)。

图 6 不同食品添加剂对全蛋液稀释液起泡特性的影响

Fig. 6 Effects of different food additives on the foaming properties of diluted liquid whole egg





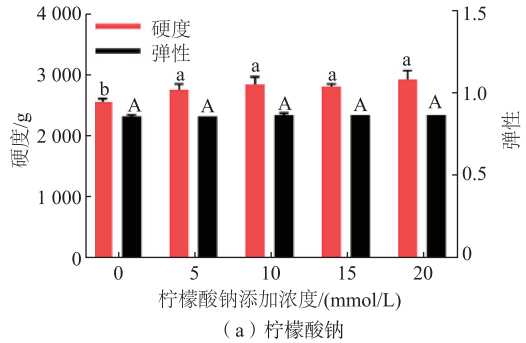
图中不同字母表示差异显著(P<0.05)。

图 7 不同食品添加剂对全蛋液稀释液乳化特性的影响

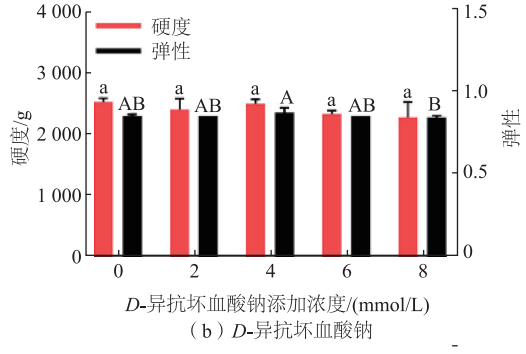
Fig. 7 Effects of different food additives on the emulsifying properties of diluted liquid whole egg

2.8 不同食品添加剂对全蛋液凝胶质构特性的影响

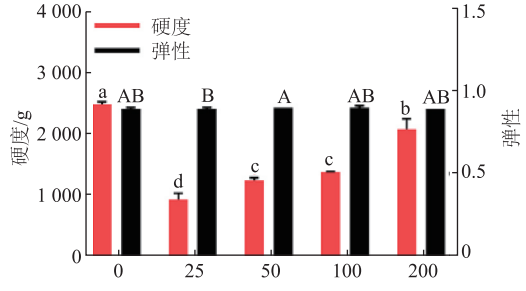
凝胶化是变性蛋白质分子在一定作用力条件下有秩序地发生聚合,最终形成一个持续网状结构的过程[39]。由图 8 可知,柠檬酸钠的添加使全蛋液凝胶的硬度上升,添加浓度为 5、10、15、20 mmol/L 时,硬度分别提高了 8.09%、11.52%、10.14%、14.69%。原因可能是柠檬酸钠螯合了全蛋液中的金属离子,有效地防止了少量金属离子引起的凝胶硬度下降[40]。马洁等研究发现柠檬酸钠能使全蛋液凝胶的硬度增加[41],与该实验结果相同。添加柠檬酸钠对全蛋液凝胶弹性没有改变。因此,添加柠檬酸钠可以提高全蛋液凝胶质构特性。D-异抗坏血酸钠的添加对全蛋液凝胶质构特性无显著改善。添加不同浓度的碳酸氢钠均会降低全蛋液凝胶的硬度,在添加浓度为 25 mmol/L 时,硬度最小,之后逐渐增大。可能是因为碳酸氢钠在加热过程中分解, 释放二氧化碳,使凝胶疏松,硬度降低[42]。随着添加浓度的增大,可能由于 pH 升高,蛋白质分子的静电斥力增大,无序聚集减缓,使凝胶硬度增加[43]。添加碳酸氢钠对弹性没有影响,因此,添加碳酸氢钠反而会降低全蛋液凝胶的质构特性。



（a）柠檬酸钠



（b）*D*-异抗坏血酸钠



（c）碳酸氢钠

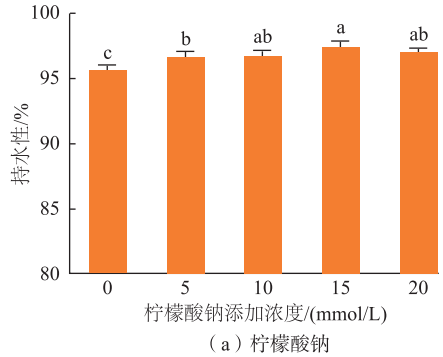
图中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

图 8　不同食品添加剂对全蛋液凝胶质构特性的影响

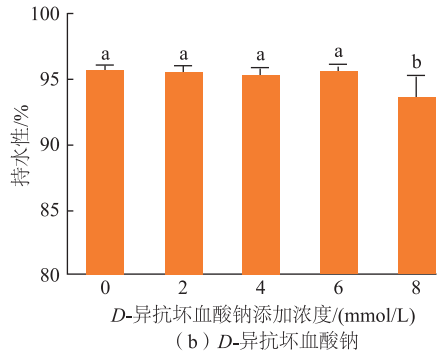
Fig. 8　Effects of different food additives on the texture properties of gelled liquid whole egg

2.9　不同食品添加剂对全蛋液凝胶持水性的影响

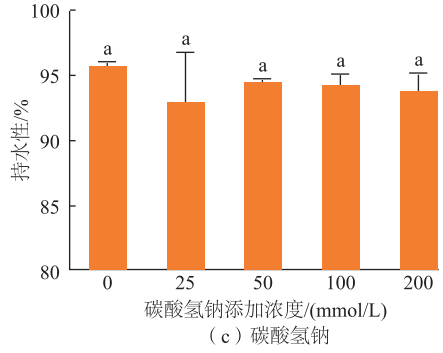
全蛋液凝胶具有良好的持水能力，持水性为95.87%。如图 9 所示，柠檬酸钠的添加可以增大全蛋液凝胶的持水性。添加浓度为 5、10、15、20 mmol/L 的柠檬酸钠使持水性分别增大至 96.91%、97.14%、97.61%、97.30%。可能是因为柠檬酸钠螯合金属离子，减少金属离子与水的结合，使蛋白质结合更多水分，从而提高持水性[44]。较低浓度 *D*-异抗坏血酸钠的添加对全蛋液凝胶持水性没有显著影响，当添加浓度为 8 mmol/L 时，凝胶持水性下降。可能是蛋白质分子分散，形成网状结构时不紧密导致的。碳酸氢钠的添加对凝胶持水性没有显著影响。



（a）柠檬酸钠



（b）*D*-异抗坏血酸钠



（c）碳酸氢钠

图中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

图 9　不同食品添加剂对全蛋液凝胶持水性的影响

Fig. 9　Effects of different food additives on the water holding capacity of gelled liquid whole egg

3　结　语

作者研究了食品添加剂柠檬酸钠、*D*-异抗坏血酸钠和碳酸氢钠对全蛋液理化特性和功能特性的影响。结果表明，食品添加剂的类型和浓度对全蛋液理化特性和功能特性有重要影响。添加 3 种食品添加剂都使全蛋液色泽有较大改变。添加柠檬酸钠和碳酸氢钠会使全蛋液 pH 显著增大，粒径发生较大改变。添加浓度为 10 mmol/L 的柠檬酸钠使蛋白质溶解度较未添加组提高了 6.29%，改善了凝胶的

质构特性和持水性,凝胶硬度和持水性分别提高了11.52%、1.32%。添加浓度为4 mmol/L的*D*-异抗坏血酸钠使蛋白质溶解度提高了17.50%,改善了全蛋液稀释液的乳化性,乳化能力和乳化稳定性分别增加了14.06%、5.45%,还使全蛋液色泽得到增强。添加碳酸氢钠对全蛋液功能特性没有太大改善,添加高浓度的碳酸氢钠(200 mmol/L)反而会使全蛋液的色泽难以被消费者接受。不同食品添加剂对全蛋液功能特性的改变不尽相同。考虑到食品添加剂种类的不同,作者并没有设置相同添加量。在实际生产过程中,食品添加剂并不是单一使用,混合的食品添加剂对全蛋液的功能特性影响还需更多的研究。

参考文献:

[1] RÉHAULT-GODBERT S,GUYOT N,NYS Y. The golden egg:nutritional value,bioactivities,and emerging benefits for human health[J]. **Nutrients**,2019,11(3):1-26.

[2] UYSAL R S,MENTES Y O,BOYACI I H. Determination of liquid egg composition using attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy and chemometrics[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**,2019,99(7):3572-3577.

[3] 张根生,吕云雄,遇世友,等. 超高压处理对鸡全蛋液杀菌效果和品质的影响[J]. 包装工程,2020,41(5):74-82.

[4] 乔立文,杨新宇,杨严俊. 热处理对于鸡蛋全蛋液功能性质的影响[J]. 食品工业科技,2011,32(11):134-137.

[5] 郑恺,张志鹏,胥伟,等. 巴氏杀菌对全蛋液加工性能的影响[J]. 食品科技,2020,45(1):109-113.

[6] LECHEVALIER V,PÉRINEL E,JEANTET R,et al. Statistical analysis of effects of industrial processing steps on functional properties of pasteurised liquid egg white[J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**,2005,85(5):757-769.

[7] 何志勇,陈俊博,曾茂茂,等. 抗坏血酸对全蛋液贮藏中凝胶性能下降的抑制研究[J]. 食品工业科技,2014,35(17):67-70.

[8] 侯裕梁. 盐类对全蛋液物料特性的影响及新型全蛋液的工厂设计[D]. 南昌:南昌大学,2021.

[9] HEDAYATI S,NIAKOUSARI M. Microstructure,pasting and textural properties of wheat starch-corn starch citrate composites[J]. **Food Hydrocolloids**,2018,81:1-5.

[10] IBRAHIM S K. Antimicrobial and antioxidant effects of sodium acetate,sodium lactate,and sodium citrate in refrigerated sliced salmon[J]. **Food Control**,2007,18(5):566-575.

[11] OZCAN-YILSAY T,LEE W J,HORNE D,et al. Effect of trisodium citrate on rheological and physical properties and microstructure of yogurt[J]. **Journal of Dairy Science**,2007,90(4):1644-1652.

[12] 高愿军,南海娟,郝亚勤. 鲜切苹果品质保持研究[J]. 食品科学,2006,27(8):254-258.

[13] 周恒悦,邓绍林,周昌瑜,等. 添加蓝莓发酵汁对法兰克福香肠抗氧化及感官品质的影响[J]. 食品科学,2019,40(19):69-76.

[14] 林君,姜元欣,黄春秋. *D*-异抗坏血酸钠在橄榄汁中的护色效果[J]. 南方农业学报,2013,44(2):308-311.

[15] ESPINOZA A D,MORAWICKI R O. Effect of additives on subcritical water hydrolysis of whey protein isolate[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2012,60(20):5250-5256.

[16] 张文杰. 和田玉枣、花生固体蛋白饮料加工工艺研究[D]. 西安:陕西师范大学,2009.

[17] 张建文,王跃,邢志强,等. 高稳定性高浊度粉末油脂的研制及其在鱼头汤中的应用[J]. 食品与生物技术学报,2013,32(10):1106-1110.

[18] 王文平,郭祀远,李琳,等. 考马斯亮蓝法测定野木瓜多糖中蛋白质的含量[J]. 食品研究与开发,2008,29(1):115-117.

[19] CHOI S J,LEE S E,MOON T W. Influence of sodium chloride and glucose on acid-induced gelation of heat-denatured ovalbumin[J]. **Journal of Food Science**,2008,73(5):313-322.

[20] CHEN Y X,SHENG L,GOUDA M,et al. Studies on foaming and physicochemical properties of egg white during cold storage[J]. **Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects**,2019,582:1-9.

[21] XIE Y X,WANG J Q,WANG Y,et al. Effects of high-intensity ultrasonic (HIU) treatment on the functional properties and assemblage structure of egg yolk[J]. **Ultrasonics Sonochemistry**,2020,60:1-9.

[22] 唐婷婷,杨玲玲,蒋艳,等. 卵白蛋白和大豆分离蛋白相互作用对凝胶结构及性质的影响[J]. 食品与生物技术学报,2022,41(4):31-37.

[23] KHEMAKHEM M,ATTIA H,ALIAYADI M. The effect of pH,sucrose,salt and hydrocolloid gums on the gelling properties and

water holding capacity of egg white gel[J]. **Food Hydrocolloids**,2019,87:11-19.
[24] 苏宇杰,徐珍珍,乔立文,等. 全蛋液 pH 值对其功能性质的影响[J]. 食品与发酵工业,2012,38(11):63-67.
[25] 谭文,张钦俊,万鹏宇,等. 球磨处理对鸡蛋清蛋白结构、性质及起泡性的影响[J]. 食品科学,2021,42(11):124-129.
[26] 杨双,郭晓娜,朱科学. 碳酸氢钠添加对荞麦馒头品质的影响[J]. 中国粮油学报,2018,33(6):6-12.
[27] MONFORT S,MAÑAS P,CONDÓN S,et al. Physicochemical and functional properties of liquid whole egg treated by the application of pulsed electric fields followed by heat in the presence of triethyl citrate[J]. **Food Research International**,2012,48(2):484-490.
[28] 吴梨. 高压脉冲电场作用下蛋清蛋白聚集机理与抑制聚集方法研究[D]. 无锡:江南大学,2015.
[29] 朱臻怡,冯民,熊华萱,等. 食品中抗氧化剂的应用及其检测技术研究进展[J]. 化学分析计量,2013,22(5):104-108.
[30] LI Y P,ZHANG X H,LU F,et al. Effect of sodium bicarbonate and sodium chloride on aggregation and conformation of pork myofibrillar protein[J]. **Food Chemistry**,2021,350:1-6.
[31] 杜清普,赵英,王瑞红,等. 不同解冻方法对冰蛋黄功能特性、理化特性及蛋白质结构的影响[J]. 食品科学,2021,42(11):8-16.
[32] CHEN Y X,MA M H. Foam and conformational changes of egg white as affected by ultrasonic pretreatment and phenolic binding at neutral pH[J]. **Food Hydrocolloids**,2020,102:1-12.
[33] 闫馨月,贾亦佳,孙诗艳,等. 火麻油复合纳米乳液的制备及稳定性研究[J]. 食品与生物技术学报,2022,41(6):84-90.
[34] NIELSEN J H,KRISTIANSEN G H,ANDERSEN H J. Ascorbic acid and ascorbic acid 6-palmitate induced oxidation in egg yolk dispersions[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2000,48(5):1564-1568.
[35] 王一博. 高起泡性蛋清液制备与应用研究[D]. 武汉:华中农业大学,2016.
[36] 曾志红,王强,林伟静,等. 绿豆蛋白营养及功能特性分析[J]. 中国粮油学报,2012,27(6):51-55.
[37] GAO Y,LI J H,CHANG C H,et al. Effect of enzymatic hydrolysis on heat stability and emulsifying properties of egg yolk[J]. **Food Hydrocolloids**,2019,97:1-7.
[38] 安兆祥,蔡志鹏,黄占旺,等. 黑木耳蛋白提取工艺优化及其功能特性研究[J]. 食品工业科技,2021,42(18):157-166.
[39] 邵瑶瑶,赵燕,徐明生,等. 金属离子对蛋白质凝胶化行为的影响研究进展[J]. 食品科学,2017,38(5):299-304.
[40] SILVA N F N,CASANOVA F,GAUCHERON F,et al. Combined effect of transglutaminase and sodium citrate on the microstructure and rheological properties of acid milk gel[J]. **Food Hydrocolloids**,2018,82:304-311.
[41] 马洁,孙潇雨,刘雨薇,等. 抗氧化剂和金属离子螯合剂对全蛋热诱导凝胶风味及质构特性的影响[J]. 食品与发酵工业,2019,45(12):198-206.
[42] KANG Z L,ZHANG X H,LI K,et al. Effects of sodium bicarbonate on the gel properties,water distribution and mobility of low-salt pork batters[J]. **LWT – Food Science and Technology**,2021,139:1-6.
[43] 侯裕梁,胡巍,贾果禧,等. 磷酸盐对巴氏杀菌全蛋液理化及功能性质的影响[J]. 食品科学,2021,42(22):38-44.
[44] 曾虹艳,刘福权,赵志峰,等. 磷酸盐对鸡蛋凝胶持水性的影响研究[J]. 食品研究与开发,2016,37(8):216-220.