

高密度 CO₂ 杀菌蛋清液贮藏期间 抗氧化物活性以及过敏源特性变化分析

戴妍¹, 范蓓², 卢嘉², 侯猛¹, 韩兆鹏¹, 卢晓明^{1,*}
(1. 北京德青源农业科技股份有限公司, 北京 102115;
2. 中国农业科学院原子能利用研究所, 北京 100193)

摘要:研究高密度 CO₂ 杀菌和巴氏杀菌处理对贮藏期间蛋清液抗氧化物活性和过敏原特性变化的影响。将蛋清液分对照组、巴氏杀菌处理组(55 ℃ 水浴杀菌 3.5 min)和高密度 CO₂ 处理组(分别在 10、20、30 MPa 压力下杀菌 10 min), 然后放置于 4 ℃ 恒温贮藏, 检测 4 周贮藏期间蛋白质羧基清除能力、DPPH 自由基抑制率、还原力以及过敏源特性的变化情况。实验结果显示:高密度 CO₂ 杀菌(DPCD)10 MPa 处理组蛋清液在 1 周储藏期间中羧基清除率和还原力显著高于($p < 0.05$)对照处理组。SDS-PAGE 实验结果表明, 储藏期间 DPCD 处理并没破坏蛋清液中的重要过敏源——卵白蛋白。

关键词:高密度 CO₂ 杀菌, 抗氧化物, 过敏源, 蛋清

The changes of antioxidation parameters and antigenicity characteristics of ovalbumin in refrigerated-storage liquid egg white samples during dense phase carbon dioxide sterilization treatments

DAI Yan¹, FAN Bei², LU Jia², HOU Meng¹, HAN Zhao-peng¹, LU Xiao-ming^{1,*}
(1. Beijing DQY Egg Safety Agricultural Technology Co., Ltd., Beijing 102115, China;
2. The Chinese Academy of Agricultural Sciences Institute of Atomic Energy Use, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to investigate the changes of antioxidant parameters and antigenicity characteristics of ovalbumin in liquid egg white samples treated by dense phase carbon dioxide sterilization and pasteurization treatment during refrigerated storage, the samples of liquid egg white were divided in control, pasteurization (treated at 55 ℃ for 3.5 min in a waterbath) and dense phase carbon dioxide sterilization (treated at 10 MPa, 20 MPa and 30 MPa respectively for 10 min), and the samples were directly investigated during refrigerated storage at 4 ℃. The hydroxyl radical scavenging ability, DPPH radical scavenging ability, reducing powder and antigenicity characteristics were detected in these samples during 4 ℃ refrigerated-storage for 4 weeks. The results showed that the samples of liquid egg white under 10 MPa dense phase carbon dioxide sterilization (DPCD) treatments had significantly higher ($p < 0.05$) hydroxyl radical scavenging ability and reducing powder than control group at first week. The results of SDS-PAGE showed that dense phase carbon dioxide sterilization treatments could not destroy the main antigenicity (ovalbumin) overall.

Key words: dense phase carbon dioxide sterilization; antioxidant; antigenicity; egg white

中图分类号: TS201.3 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2016)12-0113-05
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.12.014

高密度 CO₂ 杀菌技术是一种新型非热力(冷杀菌)技术。在食品工业中使用这种杀菌技术可以最大限度地保留食品中有益成分, 是一种绿色洁净技术^[1-2]。国内外学者对高密度 CO₂ 杀菌技术处理后的绝大多数液体和部分固体食品的理化、品质以及安全特性进行了研究^[2-4]。

液态蛋可分为蛋清液、蛋黄液、全蛋液三类^[5], 液态蛋有很高的营养价值, 它可以应用于焙烤、餐饮业、面条、饼干、蛋糕、甜食以及煎蛋等食品的开发^[5]。目前液态蛋常用的杀菌方式为巴氏杀菌。工业上液态蛋巴氏杀菌条件为水浴 55~66 ℃ 杀菌 2.5~3.5 min。巴氏杀菌法效率高, 杀菌效果好, 能够延长液蛋产品

收稿日期: 2015-10-22
作者简介: 戴妍(1986-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 蛋品科学与加工技术, E-mail: daiyan@dqy.com.cn。
* 通讯作者: 卢晓明(1982-), 女, 高级研究员, 主要从事蛋品科学与加工技术方面的研究, E-mail: luxiaoming@dqy.com.cn。
基金项目: 蛋制品加工技术研发与产业化示范(2012BAD28B08); 公益性行业(农业)科研专项(201303084)。

货架期。但是这种加热杀菌方式在一定程度上破坏了蛋液中营养成分和功能特性,而且它不能从根本上消除蛋液中有害微生物的影响^[6]。

食品过敏特性以及抗氧化活性都是影响食品质量和安全最为重要的因素^[7-10]。国内仅刘文营^[1]初步研究了高密度 CO₂ 杀菌处理对于蛋清液在贮藏期间微生物、pH、起泡能力、乳化性、疏水性和表面疏基等方面的影响^[1],目前国内外对于高密度 CO₂ 杀菌处理对于蛋清液抗氧化物活性与过敏特性的影响仍然是空白。本文通过对蛋清液设置对照、巴氏杀菌以及高密度 CO₂ 杀菌处理,比较了它们在 4 ℃ 条件下贮藏 4 周抗氧化物活性以及过敏特性差异,从抗氧化特性和过敏特性的角度来客观阐明高密度 CO₂ 杀菌方式也能够达到或者超过未经处理或巴氏杀菌蛋液水平,从而为高密度 CO₂ 杀菌的应用前景以及后期该种技术的标准化提供有价值的参考数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜壳蛋 德青源公司;纯度为 99.5% 的二氧化碳气体 北京千禧京城气体有限公司;biolabs P7710 蛋白 Marker 北京百灵克公司;三羟甲基氨基甲烷、5,5-二硫二硝基苯甲酸、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼、十二烷基硫酸钠、丙烯酰胺、甲叉双丙烯酰胺、甘氨酸、过硫酸铵、N,N,N',N'-四甲基乙二胺、甘油、β-巯基乙醇、溴酚蓝、考马斯亮蓝 R-250、DPPH 美国 Amresco 公司;Urea 美国 Sigma 公司;lowery 蛋白浓度测试盒、牛血清白蛋白 BSA 等药品 北京索来宝公司;其它试剂 均为分析纯。

Shimadzu UV-1780 紫外可见分光光度计 日本;SL-Ⅲ型低温层析冷柜;Eppendorf 移液器 美国;XHF-D 匀浆机;H1850R 高速冷冻离心机;BG 电泳仪 北京索来宝公司;Tocan gelation image system 凝胶成像仪 南京生物技术公司;TS-2 脱色摇床 金坛仪器有限公司;DK-600B 水浴锅、SFT-HPR-1000 高密度二氧化碳 DPCD 处理仪、电子天平等。

1.2 实验方法

1.2.1 原料处理 将新鲜壳蛋破碎,分离出蛋清液,用匀浆器 3000 r/min 匀浆 30 s,取 15 mL 蛋清液直接放入 20 mL 离心管中,对照处理组蛋液直接放入 4 ℃ 冷柜中储藏备用,巴氏杀菌处理组则将蛋清液用真空包装袋密封后,置于 55 ℃ 水浴锅,杀菌 3.5 min 后取出冷却到室温,取 15 mL 蛋清液直接放入 20 mL 的离心管中,然后置于 4 ℃ 冷柜中储藏备用,在第 0 d、1、2、3、4 周进行取样分析。

将鲜蛋清液(20 mL)放入离心管中,采用高密度 CO₂ 杀菌法(10、20 和 30 MPa)处理 10 min。处理结束后取出离心管,然后迅速放入 4 ℃ 冷柜中储藏备用^[1-2],每个处理组使用 4 份蛋清液样品。

1.2.2 羟自由基清除能力分析 羟自由基(OH)清除能力测定方法参考杨瑾^[11]的方法,具体如下:用蒸馏水稀释将蛋清液样品至蛋白浓度为 5 mg/mL,蛋清蛋白质浓度用 lowery 试剂盒测定,然后用羟自由基测定试剂盒测定稀释液的羟自由基(OH)清除

能力,在 550 nm 下比色,羟自由基清除力(%) = $[\text{OD}_{\text{对照组}} - \text{OD}_{\text{样品}} / \text{OD}_{\text{对照组}}] \times 100$,式中,OD_{样品} 为样品的吸光度值;OD_{对照组} 为对照样吸光值(含双蒸水、底物应用液,但不含样品和 H₂O₂)。

1.2.3 DPPH 自由基清除率分析 蛋清液样品的 DPPH 自由基抑制率测定参考文献^[10]。称取 0.03 g 蛋清液迅速和 3 mL 0.004% DPPH-乙醇溶液混合,振荡摇匀。在室温下放置 30 min 后,以无水乙醇为空白,于 517 nm 处测定吸光值。吸光值越小代表其清除 DPPH 自由基能力越强。

1.2.4 还原力分析 用蒸馏水稀释将蛋清液样品至蛋白浓度为 0.5 mg/mL,蛋清液蛋白质浓度用 lowery 蛋白试剂盒测定。取样品溶液 2 mL,加入 2 mL 1% 的 K₃(CN)₆ 溶液,置于 50 ℃ 的水浴锅中反应 80 min,迅速冷却后离心(3000 × g, 10 min, 20 ℃),取上清液 2 mL,加入 2 mL 去离子水和 0.5 mL 浓度为 0.1% 的 FeCl₃ 溶液。混合均匀后静置 60 min,于 700 nm 处测定吸光值,吸光值越大,说明样品的还原力越强^[11]。

1.2.5 过敏源特性分析 特异性过敏源卵白蛋白(ovalbumin)采用 SDS-PAGE 进行分析:取蛋清液(1 g),加入 20 mL 蒸馏水,然后使用 XHF-D 型匀浆机搅拌。搅拌后的蛋清液样品用 lowery 蛋白浓度测试盒法进行测试。将蛋清液的蛋白质浓度 1 mg/mL,然后进行 SDS-PAGE 分析。SDS-PAGE 采用的分离胶浓度为 12%,浓缩胶浓度为 4%。将蛋清液样品按 1:5 与样品缓冲液(含有 2% SDS,10% 甘油,1% β-巯基乙醇,pH=6.8 的 Tris-HCl 以及 0.05% 溴酚蓝)混合,混合后的样品液置于 100 ℃ 沸水中加热 5 min。取大约含 20 μg 的样品液上样(使用 biolabs P7710 蛋白 Marker 做对照)。电泳分离采用恒流模式(30 mA)保持 2.5 h 后,取出凝胶后,用考马斯亮蓝 R-250 染液(1 g/L)染色 1 h 后,用脱色液(120 mL/L 甲醇和 75 mL/L 乙酸)隔夜脱色。脱色后的凝胶用凝胶成像仪拍照^[12-14]。

1.2.6 数据处理 用 SPSS 16.0 数据分析软件对各指标进行分析,Unpaired Student T-test 用于分析各处理组蛋清液各指标显著性差异($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 巴氏杀菌和高密度 CO₂ 杀菌对蛋清液样品 DPPH 自由基能力的影响

在 0~4 周的储藏时间中,对照组、巴氏杀菌处理组以及高密度 CO₂(10、20、30 MPa)杀菌处理组蛋清液中 DPPH 吸光值呈现出一种先上升后缓慢下降的趋势(图 1),这与 Liu 等^[15]研究储藏期内蛋液的 DPPH 变化趋势一致。原因可能是储藏期间导致蛋清液发生水解和氧化,水解作用强于氧化作用,因此会使蛋清液中产生更多的 DPPH 自由基抑制产物^[16]。

第 0 d 高密度 CO₂ 30 MPa 杀菌处理组蛋清液中 DPPH 吸光值显著高于($p < 0.05$)巴氏杀菌处理组吸光值。第 1 周高密度 CO₂(10 MPa 和 20 MPa)杀菌处理组蛋清液的 DPPH 值显著高于($p < 0.05$)对照处理组,其余各组无明显差别($p > 0.05$)。第 3 周高密

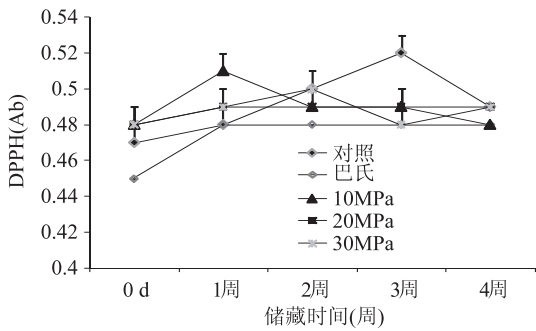


图1 储藏期间 DPPH 的变化分析
Fig.1 DPPH variation during storage

度 CO₂30 MPa 杀菌处理组 DPPH 值显著低于 ($p < 0.05$) 对照处理组。第 4 周高密度 CO₂10 MPa 杀菌处理组 DPPH 值显著低于 ($p < 0.05$) 对照处理组,其他各处理组无显著性差异 ($p > 0.05$)。Tong^[17] 等认为食品 DPPH 吸光度升高则代表 DPPH 自由基抑制率 (抗氧化特性) 下降,反之如果食品 DPPH 吸光值降低则代表 DPPH 自由基抑制率的增强。上述结果可以看出在储藏后期高密度 CO₂ 杀菌处理组蛋清液 DPPH 自由基抑制率略好于对照处理组,而它与巴氏杀菌处理组蛋清液相比则无任何差别。

2.2 蛋清液样品羟自由基清除能力分析

羟自由基是一种最具有反应特性,对临近生物分子最具有损伤特性的含氧自由基^[16]。在 0~4 周储藏时间中,对照处理组、巴氏杀菌处理组以及高密度 CO₂ (10、20、30 MPa) 杀菌处理组蛋清液中羟自由基清除率呈现上升的趋势 (图 2)。原因可能是 4 ℃ 储藏期间可能导致蛋清液中卵粘蛋白-溶菌酶等复合体水解,从而产生更多羟自由基抑制产物^[18],引起自身抗氧化能力在一定程度的增加。

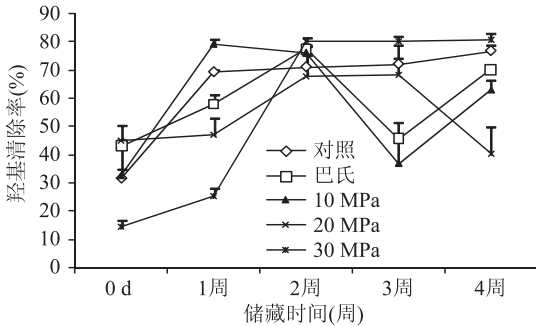


图2 储藏期间羟自由基清除率的变化分析
Fig.2 Hydroxyl radical scavenging ability variation during storage

高密度 CO₂ 30 MPa 杀菌处理组蛋清液在 0 d 和 1 周羟自由基清除率显著低于 ($p < 0.05$) 其他处理组。第 1 周高密度 CO₂ 10 MPa 杀菌处理组蛋清液羟自由基清除率显著高于巴氏杀菌、高密度 CO₂ 20 MPa 和 30 MPa 杀菌处理组 ($p < 0.05$)。第 3 周高密度 CO₂ 20 MPa 和 30 MPa 杀菌处理组蛋清液羟自由基清除率显著高于 ($p < 0.05$) 巴氏杀菌处理组。第 4 周高密度 CO₂20 MPa 杀菌处理组蛋清液羟自由基清除率显著低于 ($p < 0.05$) 对照处理组和巴氏杀菌处理组,其

余各处理组之间差异不大。这种高密度 CO₂ 30 MPa 杀菌处理比起单纯的巴氏杀菌处理可能会引起蛋清液中更多抗氧化物活性酶钝化,因此在储藏第 0~1 周时它的羟自由基清除率低于其他处理组,后期可能随着蛋清液的水解产生更多羟自由基抑制产物,部分抗氧化物酶活性恢复,引起储藏第 4 周时高密度 CO₂ 30 MPa 杀菌处理组蛋清液羟自由基清除率的提高。

2.3 蛋清液样品还原力分析

还原力 (reducing powder) 是表征食品抗氧化特性的重要指标。食品还原力吸光度值越高,其抗氧化能力越强^[10]。对照组、巴氏杀菌处理组以及高密度 CO₂ (10、20、30 MPa) 杀菌处理组蛋清液在 0 d 到第 4 周储藏期中还原力吸光值呈现先上升后缓慢下降的趋势 (图 3),所有处理组蛋清液的还原力吸光值在第 1 周达到最大,随后则呈现下降趋势。第 0 d 高密度 CO₂ 10 MPa 杀菌处理组蛋清液还原力值显著低于 ($p < 0.05$) 巴氏杀菌处理组。在第 1 周时,高密度 CO₂ 10 MPa 杀菌处理组蛋清液还原力值显著高于 ($p < 0.05$) 对照处理组。第 2 周高密度 CO₂ 30 MPa 杀菌处理组蛋清液的还原力值显著高于 ($p < 0.05$) 巴氏杀菌处理组。在其他储藏期间,各处理组还原力值无显著性差异 ($p > 0.05$)。在储藏前期 (1~2 周) 时间,高密度 CO₂ 杀菌处理组蛋清液还原力水平可能略高于对照和巴氏杀菌处理组,但后期高密度 CO₂ 杀菌与其他处理组之间差异性不大。

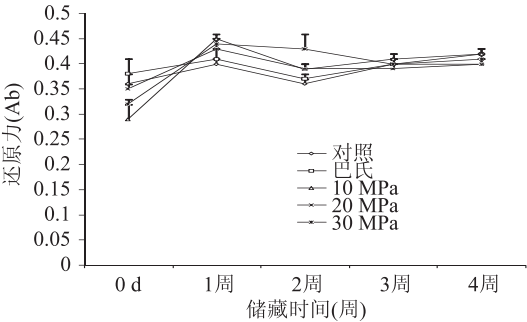


图3 储藏期间还原力变化分析

Fig.3 Reducing power variation during storage

2.4 蛋清液样品过敏特性分析

图 4 表示对照、巴氏杀菌、高密度 CO₂ (10、20、30 MPa) 杀菌处理组蛋清液 SDS-PAGE 分析。图 4 显示蛋清液经 SDS-PAGE 处理后显示的主要蛋白条带有 5 条,分子量约为 60、52、40、32、27 ku。本实验结果与吴序栋等^[8] 和赵伟^[19] 等研究的蛋清液主要蛋清液电泳条带结果基本吻合。在前人文献已经鉴定出的蛋清液蛋白电泳条带中^[20],卵粘蛋白、卵转铁蛋白、卵白蛋白和溶菌酶分子量分别为 250、78、43 和 14.3 ku。蛋清液中卵白蛋白和卵转铁蛋白是主要过敏源^[8],卵白蛋白对水解以及人体消化作用具有很强抵抗性,因此这种蛋白质非常容易和人体中 IgE 和 IgG 等免疫球蛋白结合引发过敏^[21]。从图 4 中的 SDS-PAGE 图谱可以看出,储藏期间所有处理组过敏源卵白蛋白并未发生明显变化,高密度 CO₂ 杀菌处理并未使蛋清液中卵白蛋白更大程度的变性。各组样品蛋清液卵白蛋白电泳条带无明显差异。

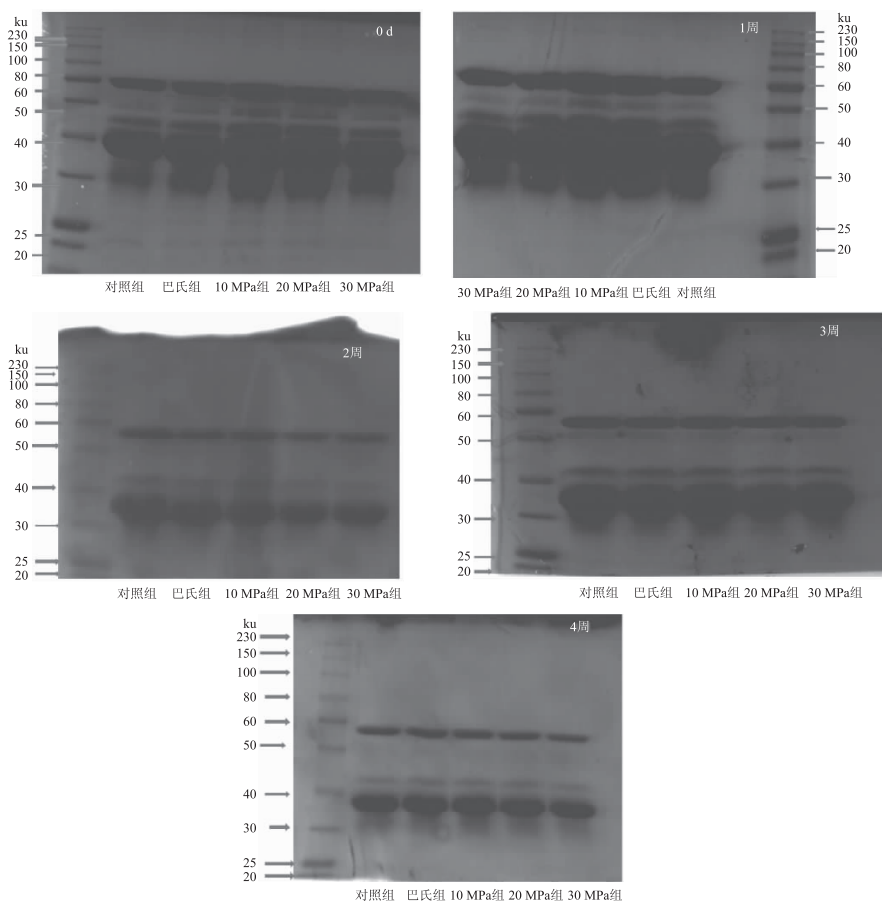


图4 储藏期间各处理组蛋清液电泳分析

Fig.4 SDS-PAGE patterns of liquid egg white treatment groups during storage

3 结论

在4℃储藏期间,对照组、巴氏杀菌以及高密度CO₂(10、20、30 MPa 杀菌处理组)蛋清液DPPH 自由基清除率和还原力呈现出先上升后下降的趋势,而羟自由基(OH·)清除能力呈现出缓慢上升的趋势。第0 d~1 周时,高密度CO₂ 杀菌处理组蛋清液DPPH 较高,因此这种处理方式的DPPH 自由基抑制率较差,第3~4 周时,高密度CO₂(10、30 MPa)杀菌处理组蛋清液的DPPH 较低,它的DPPH 自由基抑制率显著高于对照处理组。第1~3 周时,高密度CO₂ 10 MPa 和30 MPa 杀菌处理组蛋清液显示了较高的还原力,分别高于对照处理组和巴氏杀菌处理组。第1 周高密度CO₂ 10 MPa 杀菌处理组蛋清液的羟自由基清除率显著高于巴氏杀菌处理组,高密度CO₂ 20 MPa 和30 MPa 杀菌处理组。第3~4 周高密度CO₂ 30 MPa 杀菌处理组蛋清液具有较高的羟自由基清除率。高密度CO₂ 10 MPa 杀菌处理蛋液组具有较好的抗氧化物活性水平,因此采用这种高密度杀菌方式可以达到短期钝化蛋清液中的抗氧化物酶水平或是降低了水解和氧化作用,从而在一定程度上提升了蛋清液的抗氧化能力。单纯采用高密度CO₂ 杀菌技术并没有起到破坏蛋清液中重要过敏源(卵白蛋白)的作用。在抗氧化物活性与过敏源特性方面,高密度CO₂ 杀菌、对照组和巴氏杀菌处理组蛋液差异性不大。针对高密度二氧化碳处理影响蛋清液功能性的机理

和影响方式,至今还不清晰,尚需更深入的研究。

参考文献

- [1]刘文营.高密度二氧化碳杀菌蛋清液贮藏期间微生物和理化功能性质变化[J].食品研究与开发,2014,35(10):119-123.
- [2]饶伟丽,刘琳,张德权,等.高密度CO₂对生鲜调理鸡肉杀菌动力学模型构建[J].食品工业科技,2013,34(11):320-324.
- [3]张静,肖建,杨新涛,等.高密度CO₂和常压处理对哈密瓜汁浊度、色度、褐变度变化的研究[J].中国酿造,2009,203(2):43-46.
- [4] Galvanin F, De Luca R, Ferrentino G, et al. Bacterial inactivation on solid food matrices through supercritical CO₂: A correlative study [J]. Journal of Food Engineering, 2014, 120: 146-157.
- [5]黄小波,马美湖,傅鹏,等.液态蛋全蛋液辐照冷杀菌技术的研究[J].食品科学,2008,29(3):216-219.
- [6]刘彭,张佳程,孙宝忠,等.基于液态蛋研究中存在问题及对策的探讨[J].食品科技,2009,34(8):56-59.
- [7]王国政,徐彦渊.食品过敏原的安全管理[J].食品科学,2007,28(4):355-359.
- [8]吴序标,杨志华,刘志刚,吉坤美.鸡蛋过敏原分离、鉴定与纯化[J].中国公共卫生,2009,25(1):127-128.
- [9] Soyer A, Özalp B, Dalmış ü, et al. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein

(下转第121页)

Cancer Institute, 1943(4):309-319.

[2] Xinrui Zhao, Guocheng Du, Huijun Zou, et al. Progress in preventing the accumulation of ethyl carbamate in alcoholic beverages[J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 32: 97-107.

[3] 邹明强, 杨蕊, 金钦汉. 化学农药与农药污染[J]. 大学化学, 2004, 19(6): 1-8.

[4] 江丰, 刘晓宇, 赵静, 等. 有机磷农药和氨基甲酸酯类农药对鲫鱼 AChE 活性影响研究[C]. 北京: 中国农业产业经济发展协会, 2010: 54-59.

[5] 杨丽娟, 郑文刚, 赵春江, 等. 用于农药残留检测的酶生物传感器[J]. 化学通报, 2009(3): 208-214.

[6] 刘岩, 马育松. 固相萃取技术在农药残留分析中的应用[J]. 河北大学学报, 2005, 25(1): 109-115.

[7] 李英, 周艳明, 牛森. 蔬菜、水果中氨基甲酸酯类农药多残留分析方法的研究[J]. 现代科学仪器, 2005(6): 68-70.

[8] 佟玲, 李重九. 含硫蔬菜中 50 种农药多残留的气相色谱-串联质谱检测技术研究[J]. 分析测试学报, 2008, 27(9): 930-935.

[9] 吴卫平, 彭少杰, 李洁, 等. 蔬菜中有机磷类和氨基甲酸酯类农药残留快速检测方法的研究及验证[J]. 食品工业, 2006(1): 54-55.

[10] 丁运华, 严松溪, 谢汝朋, 等. 几种淡水鱼肌肉乙酰胆碱酯酶的盐析提取及农药敏感性研究[J]. 热带农业科学, 2011, 31(6): 21-23.

[11] 孙霞, 王相友, 王小瑜. 用于农药残留快速检测的生物传感器灵敏度筛选实验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 295-297.

[12] Ellman G L, Courtney K O, Andres V, et al. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity[J]. Biochem Pharmacol, 1961(7): 88-95.

[13] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 369-370, 373.

[14] 陈清西. 酶学及其研究技术[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2010: 79.

[15] 邱朝坤, 范露, 吉义平, 等. 鲫鱼乙酰胆碱酯酶性质及对有机磷农药的敏感性研究[J]. 食品工业, 2015, 36(1): 181-184.

[16] 帅玉英. γ -谷氨酰转肽酶的纯化和性质及其用于 L-茶氨酸的生物制备研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011: 60.

[17] 郭晶. 乙酰胆碱酯酶的动力学机制及其应用[D]. 上海: 上海师范大学, 2007: 8.

[18] 王浩. 猪脑乙酰胆碱酯酶的分离纯化及性质和功能基团的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014: 37.

[19] 魏辉, 沈晋良, 吴玮, 等. 家蝇乙酰胆碱酯酶的纯化、生化性质及其对杀虫剂敏感性的研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(1): 156-160.

[20] 朱小山, 孟范平, 何东海, 等. 鲈鱼脑组织 AChE 的分离纯化及某些生化性质[J]. 青岛大学学报: 工程技术版, 2006, 21(2): 35-41.

[21] 黄永春, 刘红梅, 谭悠久, 等. 胎牛血清乙酰胆碱酯酶的酶学性质研究[J]. 安全与环境学报, 2009, 9(4): 29-31.

[22] 刘丽斌. 基于酶抑制法的酒精饮料中氨基甲酸乙酯的快速检测的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 22.

[23] 李少南, 樊德方. 几种淡水鱼脑乙酰胆碱酯酶的动力学特征[J]. 中国环境科学, 1997, 12(2): 163-165.

(上接第 116 页)

oxidation in chicken meat[J]. Food Chemistry, 2010, 120(4): 1025-1030.

[10] Huang B, He J, Ban X, et al. Antioxidant activity of bovine and porcine meat treated with extracts from edible lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome knot and leaf[J]. Meat Science, 2011, 1(87): 46-53.

[11] 杨瑾, 唐传核. 鸡蛋清蛋白水解物的抗氧化性研究[J]. 现代食品科技, 2011, 27(12): 1446-1450.

[12] 李铮. 草鱼主要过敏原小清蛋白亚型纯化鉴定及加工对过敏原影响的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 15-16.

[13] Marcos B, Kerry J P, Mullen A M. High pressure induced changes on sarcoplasmic protein fraction and quality indicators[J]. Meat Science, 2010, 85(1): 115-120.

[14] Ryu Y C, Choi Y M, Kim B C. Variations in metabolite contents and protein denaturation of the longissimus dorsi muscle in various porcine quality classifications and metabolic rates[J]. Meat Science, 2005, 71(3): 522-529.

[15] Liu X D, Jang A, Lee B D, et al. Effect of dietary inclusion of medicinal herb extract mix in a poultry ration on the physico-chemical quality and oxidative stability of eggs[J]. Asian -

Australasian Journal of Animal Sciences, 2009, 22(3): 421-427.

[16] Sakanaka S, Tachibana Y. Active oxygen scavenging activity of egg - yolk protein hydrolysates and their effects on lipid oxidation in beef and tuna homogenates[J]. Food Chemistry, 2006, 95(2): 243-249.

[17] Tong P, Gao J, Chen H, et al. Effect of heat treatment on the potential allergenicity and conformational structure of egg allergen ovomucoid[J]. Food Chemistry, 2012, 131(2): 603-610.

[18] 陈飞. 鸡蛋气调包装贮藏技术研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2013: 17-19.

[19] 赵伟, 杨瑞金, 张文斌等. 高压脉冲电场作用下蛋清蛋白功能性质和结构的变化[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 91-96.

[20] Lassé M, Deb-Choudhury S, Haines S, et al. The impact of pH, salt concentration and heat on digestibility and amino acid modification in egg white protein[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 38: 42-48.

[21] Ma X, Lozano-Ojalvo D, Chen H, et al. Effect of high pressure-assisted crosslinking of ovalbumin and egg white by transglutaminase on their potential allergenicity[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015, 29: 143-150.