

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.04.025

鼋汁卤蛋风味分析及贮藏过程中蛋白质构变化

Flavor analysis of the turtle source marinated egg and the texture variation of the egg white during storage

华 霄^{1,2} 王 洋¹ 杜 航¹ 尚玉永²HUA Xiao^{1,2} WANG Yang¹ DU Hang¹ SHANG Yu-yong²

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江苏香道食品有限公司, 江苏 徐州 221699)

(1. School of Food Science and Technology, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. Jiangsu Xiangdao Food Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu 221699, China)

摘要:采用徐州特色鼋汁制作了鼋汁卤蛋,对鼋汁和鼋汁卤蛋进行风味成分分析,结果显示:白煮蛋被检出的风味物质有 13 类 36 种,主要有醇、醛、酮和烷烃类;以五香粉入味的卤蛋,其蛋白中含有风味物质 71 种,其中酮、醛、呋喃和酯类均有不同程度增加;鼋汁卤蛋蛋白含有风味物质 54 种,相比白煮蛋主要增添了酮、醇和吡嗪类物质,而相比五香粉卤蛋显著减少的是酯和醛类物质。其次对鼋汁卤蛋在不同杀菌条件下(121 °C 30 min; 126 °C 15 min; 116 °C 90 min),贮藏过程中蛋白的硬化进行表征,发现白煮蛋杀菌后无硬化;而 121 °C 处理后的卤蛋,蛋白硬度在 30 d 后从最初的 400~500 g 提高到 1 000 g 以上,而在其他杀菌条件下,45 d 贮藏期内蛋白硬度仍然可保持在 600~800 g 水平,同时蛋白弹性和咀嚼性均无明显下降。研究结果表明卤料对蛋白凝胶硬化有所促进,但选择适当的杀菌条件可延缓卤蛋蛋白硬化。

关键词: 卤蛋; 鼋汁; 风味物质; 杀菌强度; 蛋白凝胶; 硬化

Abstract: In this study, marinated eggs were made by using the special turtle source featured of Xuzhou. Firstly, the flavor of the turtle source and the marinated eggs were investigated. In the boiled eggs, totally 36 flavor compounds of 13 categories were detected including alcohols, aldehydes, ketones and alkanes. In the marinated eggs made by spice powder, totally 71 flavor compounds were found and the ketones, aldehydes, furanes and esters were increased in different levels. The marinated eggs made by turtle source released 54 flavor compounds, whereby the contents of ketones, alcohols and pyrazines were higher in comparison to the boiled eggs while the contents of esters and aldehydes were reduced in comparison to the spice powder eggs. The

texture variation of egg white of the marinated eggs pasteurized under various conditions (121 °C 30 min; 126 °C 15 min; 116 °C 90 min) during storage was characterized. It was found there was no significant hardening of egg white in boiled eggs pasteurized under all the conditions, while the hardness of the marinated eggs treated under 121 °C was increased from 400~500 g of the fresh-prepared egg to over 1 000 g after stored for 30 days. With the other conditions, the hardness of egg white could be maintained at 600~800 g. Meanwhile the springiness and chewiness of the egg white has not been obviously affected. Conclusively the hardening could be enhanced by marinade while inhibited by proper pasteurization conditions.

Keywords: marinated egg; turtle source; flavor compounds; bactericidal intensity; protein gel; hardening

鼋汁是江苏徐州沛县的传统特色调味汁,具有上千年的历史,历来是徐州地区饮食文化符号之一。鼋汁风味食品,包括各种禽蛋和禽肉制品,是当地的特产美食。其中,鼋汁卤蛋是生产和销量较大的代表性食品,当地规模企业年加工量可达 500 万~1 000 万枚。鸡蛋是高营养价值的食物,富含全年龄段人群所必须的蛋白质、脂质、维生素和微量元素等营养成分^[1]。尤其是鸡蛋蛋白质氨基酸组成全面,消化率高,吸收性好,是最佳的食物蛋白源之一^[2]。卤蛋是中国鸡蛋加工最主要的形式,其加工量约占鸡蛋加工制品的 30%,可满足超市、餐饮、节庆等快速消费食品需求。工业加工卤蛋一般经过拣选、清洗、预煮、破壳或不破壳、卤制、真空包装和杀菌等工艺^[3-4],技术已相当成熟,但产品还普遍存在一些问题,最显著的就是口味单一,调味料一般都选用五香粉,而鼋汁卤蛋作为卤蛋中风味独特、地域特色鲜明的品种,到目前为止,其有别于普通卤蛋的特征风味尚未被分析研究。另外,卤蛋杀菌一般采用较大的杀菌强度,以达到 12 个

基金项目:江苏省科技计划项目苏北专项(编号:SZ-XZ2017007)

作者简介:华霄(1981—),男,江南大学副教授,博士。

E-mail: huaxiao@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2018-03-01

月的保质期,由此造成蛋白硬度比新鲜水煮蛋明显更大,咀嚼性不佳^[5-6]。针对上述问题,本试验拟以徐州地区传统的霉汁为调味料,制作霉汁卤蛋,用气相色谱-质谱法(GC-MS)对霉汁卤蛋及霉汁进行风味分析,对比确定其中的代表性风味物质;同时测试不同杀菌温度和时间组合条件下,卤蛋在贮藏时间内蛋白的质构变化情况,为开发品质更好的霉汁卤蛋产品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

鸡蛋:杭州益民禽蛋有限公司;
 五香粉:上海味好美食品有限公司;
 霉汁老汤:江苏香道食品有限公司;
 美吉斯真空食品包装袋:东莞市凯仕电器有限公司;
 纯净水:杭州娃哈哈集团有限公司;
 乙醇、乙酸乙酯:分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:AB104-N 型,赛多利斯(上海)贸易有限公司;
 真空包装机:美吉斯 MS1160 型,东莞市凯仕电器有限公司;
 电磁炉:C21-WH2126 型,广东美的生活电器制造有限公司;
 立式压力蒸汽灭菌器:LDZX-50KBS 型,上海申安医疗器械厂;
 物性分析仪:TA-XT Plus 型,英国 SMS 公司;
 冰箱:BCD-551WPCX 型,合肥美菱股份有限公司;
 气相色谱质谱联用仪:SCIONSQ-456-GC 型,美国布鲁克公司;
 精密鼓风干燥箱:BAO-80A 型,施都凯仪器设备(上海)有限公司;
 超声波清洗器:KQ5200DE 型,昆山市超声仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 连续煮制白煮蛋工艺 不锈钢锅中加入数个鸡蛋,然后加水,水量刚好没过鸡蛋,以 1 800 W 功率煮 20 min,取出鸡蛋冷却 3 min 后去壳,再次放入水中,以 1 800 W 功率将水烧至沸腾后换用 600 W 功率继续煮,从水沸腾开始计时,每隔 30 min 取出 2 个鸡蛋,期间补水使水量保持恒定,持续时间 3 h,共取出 6 组样品 12 个鸡蛋,待用。

1.2.2 连续煮制卤制蛋工艺 去壳前鸡蛋处理步骤同 1.2.1,去壳后鸡蛋放入不锈钢锅内,加入一定量水使其没过表面,加入 25 g 五香粉,随后用 1 800 W 将水煮沸后换

用 600 W 继续卤制,每隔 30 min 取出 2 个鸡蛋,补足一定量水,持续时间 3 h,共取出 6 组样品 12 个鸡蛋,待用。

1.2.3 连续煮制霉汁蛋工艺 整体工艺如 1.2.2,但以相同质量的自制霉汁代替五香粉。霉汁配方为:按 1:5 的质量比,将霉汁高汤(霉鱼加水炖煮而成)与五香粉进行混合。

1.2.4 顶空固相微萃取(SPME)法提取挥发性成分 鸡蛋样品煮熟后把蛋白和蛋黄切碎混匀,切碎后放入烧杯中待用。分别取 7.0 g 白煮蛋、普通卤蛋、霉汁风味卤蛋及霉汁样品,加入 25 mL 顶空进样瓶中,将 SPME 萃取纤维头(75 μm CAR/PDMS)在 GC-MS 仪器中进行老化,空白解析直至出现无色谱峰,然后将老化好的萃取头插入样品顶空部分,在 50 °C 下平衡吸附 30 min,30 min 后将萃取纤维头取出立即插入仪器进样口,在 250 °C 条件下解析 5 min,同时开启仪器收集数据。

1.2.5 气质联用(GC-MS)分析挥发性风味成分

(1) 色谱条件:采用 HP-INNOWAX 毛细管柱(60.0 m×0.25 mm,0.25 μm),进样口温度 250 °C,采用不分流进样模式。色谱柱程序升温:起始柱温 60 °C,保持 5 min,以 3 °C/min 升温到 120 °C,保持 5 min,然后再以 5 °C/min 升温到 180 °C,保持 5 min,最后再以 10 °C/min 升到 230 °C。载气为 He,流速 1.2 mL/min。

(2) 质谱条件:离子源温度 230 °C,电子能量 70 eV,EI 电离源,四级杆温度 150 °C,传输线温度 280 °C,接口温度 250 °C,扫描范围 30~450 U,溶剂延迟 5 min。

1.2.6 杀菌工艺 鸡蛋煮制、去壳、入味(去壳后煮 3 h,白煮蛋同样在沸水中煮 3 h)工艺同 1.2.1 所述。煮制结束取出样品,共 9 组样品 18 个鸡蛋,将鸡蛋表面水吸净后真空包装,然后放入杀菌机中高温杀菌,完成后将其在常温下正常冷却,待用。为研究不同杀菌强度对蛋白质构硬化的影响,选择了不同的杀菌方案,如表 1 所示。确定温度和时间组合的原则是保证卤蛋满足常温货架期标准(12 个月),即取 121 °C 下 F 值为 30 min,以此计算不同温度下的杀菌时间^[7]。

表 1 鸡蛋杀菌方案

Table 1 Egg pasteurization design

方案序号	温度/°C	时间/min
1	121	30
2	116	90
3	126	15

1.2.7 质构分析 采用 TPA 质构分析方法^[8],选择 P/36R 型平底圆柱探头进行测定,在测定结果中,选择硬度、弹性、咀嚼性指标。将 18 个鸡蛋分成 9 组,每隔 5 d 取出一组进行测试(共保藏 45 d)。样品处理:将样品蛋

白切成 1 cm×1 cm×0.5 cm 的小块, 每组样品测定 6 个平行样本(每个鸡蛋取 3 个部位, 每组 2 个鸡蛋)。测试参数: 测前速率 5 mm/s, 测试速率 1 mm/s, 测后速率 5 mm/s; 探头两次测定间隔时间 5 s; 触发类型: Auto-5 g, 设定蛋白压缩率设定为 50%。

1.3 数据处理

采用 IBM SPSS Statistics 22 数据处理系统, 结果表述为平均值±标准差, 数据显著性分析方法为 one-way ANOVA, 设定 $P < 0.05$ 为显著。

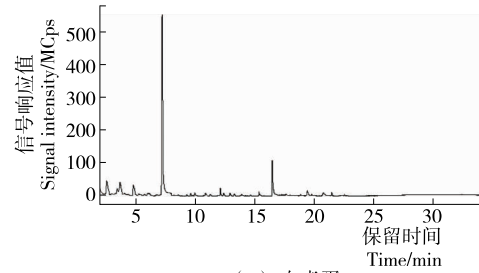
2 结果与分析

2.1 风味成分分析

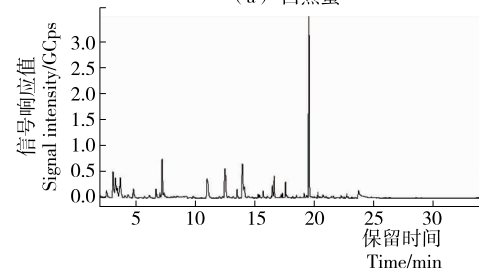
由于鸡的饲养过程, 饲料配方不同, 不同品种鸡蛋往往具有不同的特征风味组成^[9]。而对于同种鸡蛋, 在对鸡蛋的加工处理过程中, 鸡蛋中原始的风味物质分子会发生一系列可产生香味的反应, 如水解、氧化、脱水脱羧等等, 鸡蛋的加热过程促进美拉德反应和 Strecker 降解反应, 从而产生新的风味化合物^[10], 因此加工过程不同也会产生不同风味。另外, 鸡蛋蛋白与蛋黄成分不同, 且在加工过程中一般不会相混, 因此加工后它们所含风味物质也有较大差异。已报道的生蛋黄中的挥发性物质主要有 8 类, 分别为醇类、脂肪烃类、醛类、酮类、芳香族、呋喃类、硫化物与萜类化合物^[11]。

图 1 为白煮蛋、五香粉卤蛋和甬汁卤蛋蛋白的 GC-MS 分析结果, 风味物质种类统计结果如表 2 所示。从图 1 和表 2 可知, 白煮蛋检测到的风味物质有 13 类 36 种, 按百分含量计主要是醛类、酸、醇类、酮类及少量吡嗪类物质; GC 图上所示较为明显的风味物质信号有 5 个, 分别是丙酮(2.537 min)、2-丁酮(3.433 min)、3-甲基丁醛(4.801 min)、己醛(7.197 min)和乙酸(16.474 min)。醇、酮、醛和烷烃主要是由于鸡蛋中的脂肪烃类物质, 尤其是多不饱和脂肪酸, 受热分解产生, 特别是酮和醛风味阈值较低, 容易被人嗅闻感应^[12], 且醛类是熟鸡蛋中最主要的挥发性成分^[13]。相比之下, 添加五香粉煮制入味的鸡蛋, 蛋白中所检测到的风味物质增加了将近 1 倍(71 种), 最明显的变化是醛类物质显著减少而吡嗪类、脂类、呋喃类和噻唑类物质则明显增加(表 2)。从图 1 看出, 五香粉入味后的鸡蛋, 其最高响应值的己醛及丙酮、丁酮、3-甲基丁醛等物质仍然存在, 且主要增加了 2-乙酰基吡嗪(19.162 min)、2-乙酰基噻唑(19.398 min)、5-甲基-2-呋喃甲醇(20.315 min), 以及甲基吡嗪或二甲基吡嗪(10~15 min 区间内的强信号)。且由于五香粉中所含风味物质较多, 因此相比之下煮蛋本身所具有的风味物质响应信号降低。另外, 入味后鸡蛋的酮类、醛类、呋喃类和酯类物质均有不同程度的增加。甬汁蛋所采用的配方为基于五香粉的甬汁, 但被检测到的风味物质仅有 54 种

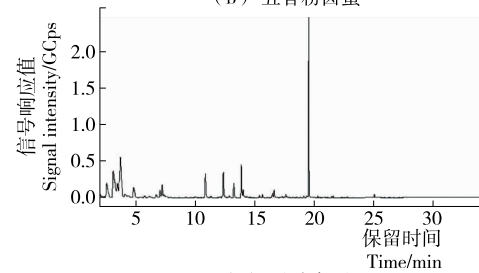
(表 2), 相比白煮蛋主要增添了酮类、醇类和吡嗪类物质, 相比五香粉, 甬汁中显著减少的主要是酯类和醛类物质, 同时醇类物质相对含量增加而吡嗪类物质相对含量明显减少, 说明在卤制过程中发生了新的化学变化, 从而赋予卤蛋不同的风味。



(a) 白煮蛋



(b) 五香粉卤蛋



(c) 甬汁卤蛋

图 1 GC-MS 测定结果

Figure 1 Result of GC-MS analysis

GC-MS 检测出 3 类鸡蛋共有的风味物质 8 种(包括 2-丁酮、己醛、苯甲醛、吡嗪、2-甲基吡嗪、1-戊醇、乙酸苯乙酯和苯乙醇), 可以认为这是原料鸡蛋在煮制过程中所产生的物质^[14], 其中吡嗪类、醛类物质与李萌等^[15]对于煎鸡蛋的风味分析结果一致。本试验发现白煮蛋中没有, 而 2 种卤蛋所共有的风味物质 27 种(包括乙酸异丙烯酯、2-甲基呋喃、2,5-二甲基呋喃、二乙酰基呋喃、5-甲基-2(3H)-呋喃、异戊醇、乳酸乙酯、乙酸丁酯、2,3-丁二酮、2,3-戊二酮、3-羟基-2-丁酮、四氢噻吩-3-酮、4-环戊烯-1,3-二酮、1,2-二噻烷-4-酮、噻吩、3-甲基噻吩、四甲基噻唑、甲苯、2,5-二甲基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪、2-乙基-5-甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪、5-甲基-2-呋喃甲醛、5-甲基-2-噻吩甲醛和呋喃甲醛), 主要是吡嗪和噻吩类物质。吡嗪类化合物是加热食品中所具有的典型的香味成分, 一般是美拉德反应

的产物,也是蛋清蛋白在加工中的常见产物^[16]。噻吩类化合物是含有硫元素的杂环芳烃,可赋予食品熟肉的香气,白煮蛋中并未检测到噻吩类化合物(表 2),可能是由于五香粉和鼈汁中均含有含硫化合物。GC-MS 分析还确定了鼈汁卤蛋所特有的风味物质 21 种(包括 2-丁醇、 α,β -二甲基-苯乙醇、正丁醇、3-环戊烯-1-醇、1,3,3-三甲基-2-氧杂双环[2.2.2]辛烷、丙二醇甲醚醋酸酯、2-正戊基呋喃、2-甲基四氢呋喃-3-酮、2-癸醇、羟基丙酮、2-乙基吡嗪、3-乙基-2,2-二甲基-环氧乙烷、4,4-二甲基-2-戊醇、5-甲基-2(3*H*)-呋喃酮、吡咯、糠醇、(±)-6-甲基-5-庚烯基-

2-醇、2,6-二甲基-4-硫代吡喃酮、2-乙酰基噻吩、1-甲氧基-4-丙烯基苯和 1-甲氧基-4-丙烯基苯),其中有 8 种为醇类物质,与此同时,分析显示鼈汁卤蛋中所含醛类物质种类明显减少(表 2),因此推测减少的醛类化合物在热加工过程中可能被还原为醇类化合物。为了找出在鼈汁卤制过程中所产生的风味成分,对鼈汁调味料也进行了 GC-MS 分析,共检测到 200 种以上挥发性成分,表 3 中列出了 16 种占比>1%的风味物质,可以发现主要是酯类、烯烃、吡嗪及胺类化合物,而醇类化合物较少。对比 GC-MS 分析结果可知,在煮制过程中,这些化合物之间发生复杂的相

表 2 白煮蛋、五香粉卤蛋、鼈汁卤蛋风味物质统计结果

Table 2 Result of the flavor compounds in boiled egg, spice egg and turtle source egg

风味物质	白煮蛋		五香粉卤蛋		鼈汁卤蛋	
	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%
酮类	4	9.25	14	14.02	12	13.06
苯类	2	1.06	2	1.18	2	0.50
醛类	7	68.73	13	22.22	5	22.03
呋喃类	2	0.75	4	8.73	4	14.31
烷烃类	5	0.83	3	0.25	4	0.24
醇类	7	5.79	6	1.35	11	21.79
吡嗪类	2	1.36	9	35.10	9	17.90
噻唑类	1	0.06	3	0.60	1	0.05
吡咯类	1	0.08	1	0.08	1	0.01
酯类	2	0.56	7	12.26	1	7.91
酸类	1	11.08	2	2.37	未检出	
酞类	1	0.43	未检出		未检出	
噻吩类	未检出		3	1.64	3	1.91
胺类	1	0.02	未检出		未检出	
酚类	未检出		1	0.04	1	0.29
烯类	未检出		2	0.11	未检出	
醚类	未检出		1	0.05	未检出	
总计	36		71		54	

表 3 鼈汁中的挥发性风味成分 GC-MS 分析结果(含量≥1%)

Table 3 Result of GC-MS analysis of the volatile flavor compounds in turtle source (content ≥1%)

名称	相对含量	名称	相对含量
乙酸叶醇酯	3.46	N-甲基酪胺	1.13
2-氨基苯甲酸-3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇酯	2.79	2-(氮杂环丙烷-1-基)乙胺	1.13
芳樟醇	2.79	壬二酸,双(三甲基甲硅烷基)酯	1.08
2,5-二甲基吡嗪	2.08	罗勒烯	1.04
2,6-二甲基吡嗪	2.08	乙酸	1.01
氨基甲酸铵	1.85	环戊烯-3-羧酸,1-(三甲基硅烷)环氧基-甲酯	1.00
柠檬烯	1.40	1-羟基-3-甲氧基-6-甲基蒎酮, TMS	1.00
5-氯-1,3-二甲基-1 <i>H</i> -吡唑-4-磺酸	1.19	乙酰甲基原醇	1.00
2-甲基-5-三氟甲基-2 <i>H</i> -吡唑-3-基酯	1.19	总计	26.03

互作用,特别是酯类发生的水解作用产生了各种醇,或交换反应生成了各种酮类化合物,最终呈现出卤蛋特定的风味感官。

2.2 质构分析

2.2.1 卤制时间对蛋白质构的影响 蛋白在持续受热状态下会发生热变性,鸡蛋熟制过程中,蛋清蛋白在煮制约 15 min 后完全凝胶,而蛋黄则在约 20 min 后完全凝胶^[17],蛋清中水分含量一般在 80%~85%,煮熟后蛋清蛋白形成蛋白凝胶,水分则被不均匀地截留分布在蛋白凝胶中。尽管目前对热诱导的蛋白凝胶的形成机制尚不完全清楚,但加热温度对蛋清凝胶特性的影响显著,而加热时间的影响则不明显,且加热时间对蛋白凝胶的弹性和保水性的影响也不显著^{[18]40-42}。文献^{[18]52-57}研究表明,在持续受热的状态下,蛋白凝胶持续变性收缩,硬度逐渐增大。现实中,新鲜热加工(如水煮 20 min)得到的水煮蛋具有较好的质构和口感,而贮藏 12 个月的卤蛋制品相比之下硬度明显提高、口感不佳。为了探究卤蛋质构劣变的原因,对卤蛋制作过程中的热加工、杀菌强度和储藏时间等因素进行研究。

按照工厂实际卤制操作时间将加热时间为 3 h,以

水煮 20 min 制作的白煮蛋作为对照(0 h 样品),研究了白煮蛋和五香粉卤蛋在入味煮制过程中蛋白的质构变化,结果见表 7。如表 7 所示,白煮蛋的硬度为(774±114) g;弹性接近 1(即 100%),表明凝胶蛋白弹性良好,当撤去压缩外力时能够接近完全恢复形状^[8];其咀嚼性为 596±86.0,该指标反映了咀嚼蛋白所需消耗的能量。在卤制期间,随时间延长,白煮蛋的硬度反而明显下降($P<0.05$),下降幅度约为 15%,是由于水煮过程中蛋白凝胶始终处于水环境中,其凝胶结构中的水分充足,水分为蛋白凝胶维持了良好的弹性,因此降低了硬度。基于相同原因,蛋白弹性始终保持 0.94~0.98 的水平;水煮过程也略微降低蛋白咀嚼性,相比 0 h 样品,白煮蛋的咀嚼性略微有所降低,说明水分含量提高后咀嚼所需能量更少。相比白煮蛋,五香粉卤蛋在硬度、弹性和咀嚼性 3 个指标上也均呈现出相似的变化,是由于卤蛋的入味是在鸡蛋水煮之后,蛋白凝胶已经形成,卤蛋中各种化合物分子在 3 h 热处理期间,虽然一定程度上渗透进入蛋白凝胶内部而达到入味效果,但并未明显改变固态蛋白质的分子构象,对蛋白凝胶网络结构影响不大。

表 4 白煮蛋和五香粉卤蛋在入味煮制期间的蛋白质构变化[†]

Table 4 Result of texture analysis of boiled egg and source egg after stewing

时间/h	白煮蛋			五香粉卤蛋		
	硬度/g	弹性	咀嚼性	硬度/g	弹性	咀嚼性
0.0	774±114.0 ^a	0.96±0.01 ^a	596±86.0 ^a	774±86.0 ^a	0.96±0.01 ^b	596±86.0 ^a
0.5	571±20.6 ^b	0.98±0.02 ^a	435±16.5 ^b	550±173.3 ^b	0.97±0.02 ^{ab}	441±147.4 ^b
1.0	583±83.5 ^b	0.97±0.04 ^a	461±28.8 ^{ab}	569±28.2 ^b	0.93±0.03 ^{bc}	442±116.2 ^b
1.5	510±28.8 ^b	0.95±0.03 ^a	371±20.6 ^{bc}	642±20.9 ^b	0.97±0.02 ^{ab}	514±47.0 ^{ab}
2.0	531±71.5 ^b	0.97±0.01 ^a	400±48.7 ^b	635±48.0 ^b	0.95±0.02 ^{ab}	502±60.0 ^{ab}
2.5	549±100.2 ^b	0.94±0.05 ^a	357±20.0 ^c	708±20.3 ^a	0.98±0.01 ^a	578±73.6 ^{ab}
3.0	550±164.1 ^b	0.96±0.02 ^a	440±13.4 ^{ab}	696±131.0 ^{ab}	0.91±0.03 ^c	515±105.2 ^{ab}

† 同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2.2 杀菌方案对贮藏期间蛋白质构的影响 由于温度对蛋白凝胶的影响比时间因素更明显^{[18]42-44[19]},因此对不同杀菌方案下的蛋白凝胶质构进行研究。表 5 为白煮蛋和葡汁卤蛋在真空包装后,经工业常用杀菌条件(121 °C, 30 min)处理后的质构数据。从表 5 中看出,杀菌后贮藏的 45 d 内,白煮蛋的硬度在 500~850 g 范围内变化,而且在一些包装袋中发现鸡蛋表面有少量水析出(实测<2 mL),说明杀菌期间蛋白凝胶内少量水分从凝胶内蒸发逸出,且杀菌后常温贮藏期间蛋白凝胶发生收缩,凝胶中物理截留的游离水分析出。同时需要指出的是,蛋白凝胶质地并不均匀,每份样品之间的硬度相差比较明显,造成检测结果的标准偏差较大,是由于鸡蛋蛋白

极易受热凝胶,在高温热诱导条件下的不可逆凝胶几乎是瞬时发生^[19],且在凝胶过程中,蛋白在壳中并没有被搅拌均匀,因此蛋白不同部位的凝胶强度不同。卤蛋硬度从第 10 天开始逐渐升高,特别是在 30 d 以后硬度明显提高($P<0.05$),达到 1 000 g 以上;值得指出的是,商业卤蛋在储藏 3 个月后的硬度基本可达到 1 800~2 000 g。根据文献^{[18]38-40}报道,低浓度的 NaCl(0.1 mol/L)即能显著提高鸡蛋蛋白凝胶的强度,因此卤蛋蛋白硬化可能是卤料中含有盐分及其他有机物引起的。2 个样品的弹性均没有很明显的变化,咀嚼性均在 400~900 范围内变化,部分数据的标准偏差也比较大,也是由于蛋白凝胶的不均匀性所造成的。

表 5 121 °C 杀菌 30 min 的白煮蛋和電汁卤蛋在储藏期间的质构变化[†]

Table 5 Result of texture analysis of boiled egg and turtle source egg pasteurized at 121 °C for 30 min

时间/d	白煮蛋			電汁卤蛋		
	硬度/g	弹性	咀嚼性	硬度/g	弹性	咀嚼性
5	517±66.6 ^b	0.96±0.04 ^a	941±291.2 ^a	560±28.9 ^c	1.08±0.16 ^a	460±31.6 ^b
10	587±88.7 ^b	0.97±0.04 ^a	871±183.1 ^a	525±147.1 ^c	0.93±0.07 ^a	493±49.6 ^b
15	809±228.1 ^a	0.97±0.02 ^a	644±183.4 ^{ab}	750±121.2 ^b	1.04±0.03 ^b	657±57.3 ^{ab}
20	569±64.4 ^b	0.95±0.04 ^a	429±68.4 ^b	711±81.2 ^b	0.97±0.02 ^a	566±68.4 ^{ab}
25	836±149.2 ^a	0.98±0.02 ^a	674±120.4 ^{ab}	697±207.4 ^{bc}	1.00±0.02 ^a	555±149.1 ^{ab}
30	749±103.4 ^a	0.98±0.01 ^a	610±78.8 ^{ab}	787±133.2 ^b	0.96±0.03 ^a	598±103.2 ^{ab}
35	608±134.1 ^{ab}	1.54±0.62 ^b	774±308.3 ^{ab}	1 032±167.4 ^a	1.00±0.01 ^a	823±126.3 ^a
40	671±164.2 ^{ab}	1.22±0.50 ^{ab}	639±85.6 ^{ab}	1 091±92.2 ^a	1.07±0.05 ^a	595±71.2 ^{ab}
45	843±151.2 ^a	0.97±0.05 ^a	691±137.1 ^{ab}	996±62.2 ^a	1.13±0.19 ^a	535±125.2 ^{ab}

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 6 列举了经过 126 °C 杀菌 15 min 后白煮蛋和電汁卤蛋在贮藏期间的质构变化。改变杀菌条件后,鸡蛋的渗水现象有所减轻,且水析出量基本<1 mL,表明虽然温度升高了 5 °C,但处理时间减少后凝胶的收缩程度减轻。白煮蛋的质构检测结果与表 5 类似,硬度均在 650~950 g 范围内变化,弹性保持在 1.00 左右,咀嚼性在 650~850 范围内变化。而对于電汁卤蛋,发现在测试的 45 d 贮藏期内,其硬度也无显著提高,始终维持在 600~800 g 的水平,该结果表明调整杀菌强度对于改善卤蛋蛋白硬度有一定作用,但由于未进一步延长检测时间,因此尚无法确定在 12 个月货架期时产品的硬度。与白煮蛋相比,卤蛋蛋白弹性也保持在 1.00 左右,但咀嚼性数值稍低,可能是杀菌温度虽提高 5 °C 但杀菌时间缩短为原来的 1/2,

热效应持续时间明显降低,有利于蛋凝胶内水分的保持。

考虑到工业上对大批量产品进行短时间杀菌的操作可行性差,又进行了另一组低温长时间(116 °C, 90 min)的杀菌试验,之后同样进行了 45 d 贮藏试验。在该组中未发现有明显的蛋白表面析水现象,表明降低温度也有利于凝胶内水分保持温度。表 7 列出了白煮蛋和卤蛋在 45 d 内的质构变化数据。从表 7 中看出,白煮蛋的硬度在 500~900 g 范围内变化,而卤蛋硬度保持在 400~750 g,硬度检测数据与表 6 中结果相当,说明在降低热强度的条件下,延长加热时间也可以减少热处理对蛋白凝胶结构的影响。白煮蛋和卤蛋的弹性也保持得较好,无明显弱化;咀嚼性同样保持了适当水平。考虑到 90 min 热处理的可操作性,在工业上显然该条件更为适合。

表 6 126 °C 杀菌 15 min 的白煮蛋和電汁卤蛋在储藏期间的质构变化[†]

Table 6 Result of texture analysis of boiled egg and turtle source egg pasteurized at 126 °C for 15 min

时间/d	白煮蛋			電汁卤蛋		
	硬度/g	弹性	咀嚼性	硬度/g	弹性	咀嚼性
5	679±92.3 ^b	0.99±0.02 ^a	667±77.0 ^b	600±72.5 ^b	1.06±0.17 ^a	523±108.4 ^{bc}
10	845±70.4 ^{ab}	0.98±0.01 ^a	673±78.0 ^b	652±97.2 ^{ab}	0.98±0.01 ^a	525±68.6 ^{bc}
15	691±77.3 ^b	1.19±0.63 ^a	786±40.1 ^{ab}	807±77.5 ^a	2.25±0.79 ^b	772±56.3 ^{ab}
20	694±80.0 ^b	1.29±0.69 ^a	757±37.6 ^{ab}	780±60.0 ^a	0.98±0.01 ^a	619±45.0 ^b
25	793±63.5 ^b	0.97±0.01 ^a	635±82.5 ^{ab}	733±68.8 ^a	0.98±0.01 ^a	589±54.0 ^b
30	742±80.6 ^b	0.97±0.03 ^a	698±68.5 ^{ab}	612±88.8 ^b	1.35±0.70 ^a	646±219.1 ^{ab}
35	703±85.7 ^b	0.96±0.01 ^a	766±77.2 ^{ab}	715±93.3 ^{ab}	1.33±0.22 ^a	795±54.6 ^a
40	861±88.5 ^{ab}	1.03±0.02 ^a	842±78.5 ^a	767±62.0 ^a	1.17±0.33 ^a	724±66.9 ^a
45	903±43.7 ^a	0.99±0.11 ^a	852±83.1 ^a	650±73.9 ^b	1.03±0.08 ^a	469±56.5 ^c

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 7 116 °C 杀菌 90 min 的白煮蛋和電汁卤蛋在储藏期间的质构变化[†]

Table 7 Result of texture analysis of turtle source egg pasteurized at 116 °C for 90 min

时间/d	白煮蛋			電汁卤蛋		
	硬度/g	弹性	咀嚼性	硬度/g	弹性	咀嚼性
5	668±44.9 ^{ab}	1.09±0.11 ^a	614±25.3 ^b	693±48.2 ^a	0.99±0.01 ^a	557±61.0 ^{bc}
10	759±90.1 ^{ab}	1.05±0.06 ^a	665±92.3 ^{ab}	701±68.8 ^a	0.97±0.01 ^a	559±51.8 ^{bc}
15	622±20.3 ^b	1.12±0.23 ^a	599±88.6 ^{bc}	720±127.2 ^a	1.05±0.07 ^a	742±52.3 ^a
20	772±122.3 ^{ab}	0.93±0.06 ^a	721±22.4 ^a	718±82.0 ^a	0.98±0.02 ^a	559±65.0 ^{bc}
25	853±103.0 ^a	0.92±0.08 ^a	789±100.1 ^b	706±34.8 ^a	1.00±0.04 ^a	586±29.5 ^b
30	691±77.9 ^{ab}	0.97±0.03 ^a	521±33.8 ^c	470±57.1 ^b	1.01±0.03 ^a	602±22.7 ^b
35	842±142.2 ^a	1.06±0.22 ^a	733±66.2 ^{ab}	476±40.5 ^b	0.98±0.02 ^a	499±14.1 ^c
40	830±88.6 ^a	0.92±0.06 ^a	611±77.4 ^{bc}	490±47.1 ^b	1.06±0.05 ^a	640±28.5 ^b
45	636±102.3 ^{ab}	1.03±0.05 ^a	823±125.0 ^a	623±87.3 ^{ab}	1.09±0.07 ^a	593±18.5 ^b

[†] 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

3 结论

本试验通过对電汁卤蛋进行风味物质分析, 鉴定了電汁的主要特征风味物质, 其中含量较高的风味物质包括乙酸叶醇酯、2-氨基苯甲酸-3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇酯、芳樟醇和二甲基吡嗪等; 通过对卤蛋贮藏期间的质构分析, 发现降低杀菌温度同时延长杀菌时间, 或提高杀菌温度同时缩短杀菌时间, 均可适当延迟卤蛋蛋白的质构硬化。本文研究结果对改善電汁卤蛋食品感官品质具有一定参考价值, 但要完全抑制贮藏过程中卤蛋质构的硬化, 尚需要进一步在分子水平研究蛋白分子的构象改变、持水和聚集等变化, 揭示蛋白凝胶在贮藏环境中的变化机理。

参考文献

- [1] 葛庆联, 高玉时, 唐修君, 等. 不同鸡种及不同产蛋周龄鸡蛋营养成分比较分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(9): 3 323-3 328.
- [2] 江潇潇, 叶宇飞, 章豪, 等. 鸡蛋清、鸡蛋黄中 17 种氨基酸成分比较[J]. 浙江农业科学, 2015(9): 1 498-1 499.
- [3] 严佩峰, 周枫. 香卤蛋加工工艺优化研究[J]. 食品研究与开发, 2014(16): 74-76.
- [4] 刘志伟. 特色风味酱卤蛋的研制[J]. 食品科学, 2000, 21(8): 65-66.
- [5] 谭莉, 李汴生, 阮征, 等. 市售软包装卤蛋产品品质特性分析[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(1): 205-211.
- [6] 赵节昌, 曹浩杰, 张涵, 等. 加工工艺对卤蛋品质的影响[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 108-111, 116.
- [7] 夏文水. 食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2017: 87-90.
- [8] 孙彩玲, 田纪春, 张永祥. TPA 质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术, 2007, 5(2): 1-4.
- [9] 张俊楠, 王喜琼, 李凤宁, 等. 不同蛋鸡品种和产蛋量对鸡

蛋风味物质的影响[J]. 中国家禽, 2018, 40(7): 6-9.

- [10] 冯月超, 刘美玉, 任发政, 等. 不同蛋黄组分对蛋黄风味的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 58-62.
- [11] RIU-AUMATELL M, CASTELLARI M, LOPEZ-TAMAMES E, et al. Characterization of volatile compounds of fruit juices and nectars by HS/SPME and GC/MS[J]. Food Chemistry, 2004, 87(4): 627-637.
- [12] 徐桂云, 王喜琼. 鸡蛋风味物质研究现状及存在问题[J]. 中国家禽, 2017, 39(23): 1-4.
- [13] UMANO K, HAGI Y I, SHOJI A, et al. Volatile compounds formed from cooked whole egg, egg yolk, and egg white[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(2): 461-464.
- [14] 张蕾曼. 不同类型鸡蛋挥发性成分的比较分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012: 67-78.
- [15] 李萌, 章慧莺, 张宁, 等. HS-SPME 结合 GC-MS 分析煎鸡蛋的挥发性风味成分[J]. 精细化工, 2014, 31(2): 218-224.
- [16] SCALONE G L L, LAMICHHANE P, CUCU T, et al. Impact of different enzymatic hydrolysates of whey protein on the formation of pyrazines in Maillard model systems[J]. Food Chemistry, 2019, 278(25): 533-544.
- [17] 何立超, 马素敏, 李成梁, 等. 不同煮制时间对水煮鸡蛋质构及蛋黄脂质成分的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 25-30, 37.
- [18] 周长旭. 鸡蛋热诱导凝胶形成及凝胶特性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [19] 徐保立. 鸡蛋清蛋白凝胶特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010: 13-16.