

## 不同加工工艺卤蛋的质构与风味特征

张海茹<sup>1</sup>, 李祖悦<sup>1</sup>, 刘忠思<sup>2</sup>, 陈历水<sup>2</sup>, 温军辉<sup>2</sup>, 金永国<sup>1</sup>, 黄茜<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>华中农业大学食品科学技术学院 武汉 430070

<sup>2</sup>漯河市卫龙生物技术有限公司 河南漯河 462000)

**摘要** 为分析不同加工工艺卤蛋的品质差异,选取 4 种市售卤蛋产品(WT 溏心卤蛋、WY 盐焗卤蛋、XY 盐焗卤蛋和 XW 传统卤蛋),测定其基本营养成分、pH、质构、微观结构以及水分分布状态,并进行风味分析和感官评价。结果表明:4 种卤蛋蛋白的蛋白质含量、蛋黄的脂肪含量(干质量)和蛋黄 pH 分别在 64.48%~74.57%,53.19%~60.55%,6.53~7.13 之间。WT 溏心卤蛋蛋白和蛋黄的水分含量最高( $P < 0.05$ ),分别为 77.81%和 52.58%。WT 溏心卤蛋和 XW 传统卤蛋的蛋黄硬度(530.43 g 和 595.57 g)显著低于两种盐焗卤蛋( $P < 0.05$ ),蛋黄颗粒较为紧密。在 4 种卤蛋中分别检出 67,53,29,25 种风味物质,主要挥发性成分为酚类或吡嗪类。水分分布结果显示蛋白和蛋黄的水分流动性均具有显著差异( $P < 0.05$ )。72 位鉴评人员对卤蛋进行感官评价,得出 WT 溏心卤蛋的感官总分最高(76.19 分)( $P < 0.05$ ),具有蛋白嫩滑、蛋黄细腻且不噎口的特点。本研究明确了不同加工工艺卤蛋的质地和风味特点,为卤蛋加工企业选择合适的加工工艺提供了数据支持。

**关键词** 卤蛋; 质构; 风味; 感官分析

**文章编号** 1009-7848(2024)01-0315-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.01.031

鸡蛋是一种价格低廉,富含蛋白质、脂质、维生素和微量元素等营养物质的食物。此外,鸡蛋具有必需氨基酸丰富,氨基酸组成与人体内蛋白相似,蛋白质消化吸收利用率高等特点,是一种优质蛋白质来源。日常生活中人们经常食用白煮蛋和茶卤蛋,然而其口感比较寡淡。刘志伟<sup>[1]</sup>利用味精、酱油以及各种香辛料开发一种新的酱卤加工工艺,改善了传统盐茶卤蛋味感单薄的问题,使产品的色、香、味更佳。目前工业化加工卤蛋主要通过多种香辛料和调味料进行腌制、卤制等工序,以赋予其独特风味。随着国人生活水平的提高和生活节奏的加快,卤蛋等休闲蛋制品深受广大消费者的喜爱。

随着卤蛋市场规模的不断扩大,近年来针对卤蛋加工方式、工艺优化和品质提升的研究也越来越多。严佩峰等<sup>[2]</sup>研究发现真空卤制可以加快风味物质的渗透速率,缩短卤制时间。此外,高压、超声波和脉动压力技术<sup>[3-5]</sup>辅助卤制也可提高卤蛋的腌渍效率。肖朝耿等<sup>[6]</sup>在卤制基础上增加烘烤工

艺,发现在 70 °C 下烘烤 2 h 制得的新型卤蛋制品风味独特、口感优良。陈果忠<sup>[7]</sup>对高温卤蛋的烘烤温度、烘烤时间和烘烤方式进行优化,结果显示:采用远红外烤箱,50 °C 下烘烤 15 min 可将出品率由 55.0%~58.0%提高到 84.7%~86.0%。张清等<sup>[8]</sup>研究不同的灭菌温度对卤蛋脂肪氧化和品质的影响,发现利用 105 °C 中温杀菌的方式能较好地保持卤蛋脂肪酸的营养价值及感官品质。新工艺的开发使卤蛋形式多样化,市售卤蛋大致分为盐焗卤蛋、五香卤蛋、虎皮卤蛋等。传统卤蛋一般经过预煮、卤制、真空包装和高温杀菌过程。盐焗卤蛋是在传统卤蛋的基础上增加烘烤工艺,使其更具弹性和嚼劲,以获得差异化风味特征。如今,蛋黄呈半凝结态的溏心卤蛋已逐渐成为消费新趋势。丁波等<sup>[9]</sup>发现在 85 °C 煮制 8 min,冷却 15 min 制得的溏心蛋松软、香嫩,改善了全熟或过熟状态蛋黄入口干硬的问题。目前关于卤蛋的研究主要集中在特定工艺优化,不同加工工艺卤蛋的质构和风味特点的对比研究报道较少。

本研究选取低温卤制的溏心卤蛋、盐焗卤制的盐焗卤蛋和传统卤制的卤蛋,分析它们的营养组成、质构、微观结构、水分分布、风味和感官特征,明确不同加工工艺卤蛋的质地和风味特点,以期对卤蛋加工企业选择合适的加工工艺提供数据

**收稿日期:** 2023-01-25

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(32072237);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-40-K24)

**第一作者:** 张海茹,女,硕士生

**通信作者:** 黄茜 E-mail: huangxi@mail.hzau.edu.cn

支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

4种市售卤蛋产品分别为WT(溏心卤蛋,主要标识配方:白芷、红曲黄色素)、WY(盐焗卤蛋,主要标识配方:氧化羟丙基淀粉、红曲黄色素)、XY(盐焗卤蛋,主要标识配方:5'-呈味核苷酸二钠、红曲黄色素)、XW(传统卤蛋,主要标识配方:酿造酱油(含焦糖色),均来源于电商平台旗舰店,测定时间距生产日期3个月内。硫酸铜、硫酸钾、戊二醛、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、无水硫酸钠、氯化钠、无水乙醇、氯仿、甲醇、石油醚、硫酸、盐酸等均为分析纯级,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

JA503分析电子天平,常州幸运电子设备有限公司;JSM-6390LV扫描电子显微镜,日本NTC公司;Alpha 1-4 LSC型真空冷冻干燥机,德国Christ公司;雷磁PHS-3C pH计,上海仪电科学仪器股份有限公司;TAXT2i质构分析仪,英国Stable Micro Systems公司;Agilent 7000D气相色谱-质谱色谱联用仪,安捷伦科技(中国)有限公司;NMI20-015V-I核磁共振成像分析仪,上海纽迈电子科技有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 基础营养成分含量 水分含量测定参照国标GB 5009.3-2016<sup>[10]</sup>;蛋白质含量测定参照国标GB 5009.5-2016<sup>[11]</sup>;灰分含量测定参照国标GB 5009.4-2016<sup>[12]</sup>。

脂肪含量测定参考谢绿绿等<sup>[13]</sup>采用氯仿甲醇法提取蛋黄油的方法并稍作修改:称取蛋黄2g,加入60mL氯仿-甲醇(2:1,V/V)并于索氏抽提器中60℃水浴提取1h。提取结束后过滤,将滤液水浴至浓稠态,加入25mL石油醚和15g无水硫酸钠,立刻加塞振荡萃取,取上层醚层以3000r/min离心5min。吸取醚层10mL于烧杯内,蒸发去除石油醚后,于100~105℃烘箱中烘至恒重。脂肪含量按照公式(1)计算:

$$w = \frac{(m_2 - m_1) \times 2.5}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中, $w$ ——脂肪质量分数,%; $m$ ——试样质

量,g; $m_1$ ——烧杯质量,g; $m_2$ ——烧杯与脂肪质量,g;2.5——换算系数。

1.3.2 pH值 参考于晨晨<sup>[14]</sup>的方法并稍作修改,称取5g蛋白(蛋黄)样品,加入蒸馏水45mL,采用6000r/min的转速匀浆30s,静置30min后纱布过滤,取滤液25mL,用pH计测定。

1.3.3 质构特性 采用TPA质构分析方法<sup>[15]</sup>测定样品的弹性、硬度和咀嚼性。将蛋白样品切成1.0cm×1.0cm×0.5cm的小块,蛋黄切成2个半球形,球面向上进行测试。探头距样品上表面的高度为10mm。测试条件为测前速度5.0mm/s,测试速度1.0mm/s,测后速度5.0mm/s。采用P36R平底圆柱形铝制探头压缩蛋白和蛋黄样品到原高度的60%和30%。触点力Auto-5.0g,数据采集点数200pps。

1.3.4 扫描电子显微镜(SEM) 参考余秀芳<sup>[16]</sup>的方法并稍作修改。取蛋白尖端和蛋黄中心样品切成0.5cm×0.5cm×0.5cm的薄片,室温下在2.5%戊二醛溶液中固定过夜。固定样用0.2mol/L的磷酸盐缓冲液浸泡冲洗3次,随后用乙醇溶液(50%,70%,80%,90%,100%)梯度脱水,每组20min。脱水后在-20℃冰箱预冻24h并进行冷冻干燥。样品被固定在样品盘上,经喷金镀膜和抽真空处理后,放入扫描电镜使聚焦清晰,得到清晰图像。

1.3.5 水分分布状态 参考章坦<sup>[17]</sup>的方法并稍作修改。取1g样品(切成1.0cm×0.5cm×0.5cm的小长方体),放入核磁共振测量管中进行LF-NMR扫描检测。选用CPMG序列测样品的弛豫信号,信号采集参数:重复采样等待时间3000ms,模拟增益20,数字增益3,前置放大增益1,累加次数16,回波个数2000,恢复时间0.5ms。得到的核磁信号数据,使用分析软件反演,经过单位质量化与平均化处理获得的弛豫时间和峰面积比例数据,作为分析样品组分的依据。

1.3.6 挥发性风味物质分析 采用华宵等<sup>[18]</sup>的方法并稍作修改。采用顶空固相微萃取-气质联用法(GC-MS)对卤蛋风味物质进行分析:将5g蛋白、蛋黄等量混合均匀的样品置于20mL顶空瓶中,加入5mL饱和食盐水后立即密封。在60℃下平衡10min,50℃吸附30min,250℃解吸5min。

色谱条件:HP-5MS 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),载气为 He,流速为 1.0 mL/min,不分流,进样口温度 250 ℃。升温程序:35 ℃保温 2 min 后,以 2 ℃/min 速度升温至 45 ℃,维持 2 min。再以 3 ℃/min 速度升高至 120 ℃持续 2 min;6 ℃/min 速度上升至 230 ℃保温 5 min。

质谱条件:离子源和四极体的温度分别为 230 ℃和 150 ℃,电子能量 70 eV,质量扫描范围 35~350 *m/z*。

GC-MS 图谱经自动质谱 TIC 分析和鉴定系统(MassHunter)软件处理后,与 NIST 数据库对

照,筛选匹配度大于 60%的物质,化合物相对百分含量用面积归一法计算。

1.3.7 感官分析 共招募 72 名具有食品感官鉴别能力的品评人员并分为 2 组,分别在标准化的食品感官分析实验室对卤蛋进行评分检验和嗜好性检验,具体标准参考于晨晨<sup>[14]</sup>的方法并稍作修改,如表 1 和表 2 所示。嗜好性检验中感官人员对样品从最不喜欢(秩号为 1)到最喜欢(秩号为 4)排序,评分秩和为 1+2+3+4=10,36 位感官人员总秩和为 36×10=360,最终统计每种卤蛋的秩和并进行 *F* 检验,分析感官嗜好性差异。

表 1 卤蛋感官鉴别评分标准

Table 1 Scoring standard for sensory evaluation of marinated eggs

感官指标	评分标准	得分
颜色(10分)	蛋白表面均匀呈现黄褐色或红褐色;蛋黄呈黄色且内部颜色均匀,容易接受	8~10
	蛋白表面呈现深褐色;蛋黄接近黄色,内部颜色稍显不均,较易接受	5~7
	蛋白表面颜色过淡或过深;蛋黄颜色较深,内部颜色不均匀,不易接受	0~4
光泽(10分)	蛋白表面光滑有亮度;蛋黄油亮	8~10
	蛋白表面有些光滑、亮泽;蛋黄稍油亮	5~7
	蛋白表面暗淡无光;蛋黄不油亮	0~4
香气(20分)	卤香味浓郁协调,香气厚重,无异味	16~20
	卤香味基本协调,无明显异味	9~15
	卤香味不协调、较淡,有异味或刺激味	0~8
质地(30分)	蛋白有较好的弹性,入口咀嚼有力,润滑口感好,切面平整光滑;蛋黄细腻,不噎人	20~30
	蛋白有轻微弹性,入口咀嚼软绵,口感一般,切面较平整;蛋黄有颗粒感,些许噎人	10~19
	蛋白无弹性,入口咀嚼无力,口感很软或很硬,切面粗糙;蛋黄颗粒感很强,噎人	0~9
滋味(30分)	咸淡适宜,有独特滋味,卤制味道厚重、持久、均匀	20~30
	咸淡基本适口,滋味基本协调,卤制味道较持久、均匀	10~19
	偏淡或偏咸,无独特滋味,卤制味道保留时间短	0~9

表 2 卤蛋嗜好排序表

Table 2 Hobby sorting of marinated eggs

检验内容:

分别品尝 4 种卤蛋,判断每种样品的食用感受,以嗜好递增的顺序排列样品;如果 2 个样品的嗜好相同,则在中间用“=”标示出来,对某个样品有不确定时,可重复品尝。

样品排序:(最不喜欢)1                      2                      3                      4(最喜欢)

样品名称                      \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_                      \_\_\_\_\_

#### 1.4 数据统计及分析

数据采用 Microsoft Excel 2016 软件计算,每个指标进行 3 次平行试验(除质构为 8 次),结果

表示为“平均值±标准差”。采用 Microsoft Excel 2016 软件计算结果。用 Origin2018 软件绘制图形,并用 IBM SPSS Statistics 26 软件进行差异显

著性分析( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本组分及 pH 值

由表 3 可知,4 种卤蛋的蛋白和蛋黄水分含量分别在 73.10%~77.81% 和 45.19%~52.58% 之间,其中 WT 溏心卤蛋蛋白和蛋黄水分含量均显著高于其它样品( $P < 0.05$ )。溏心卤蛋蛋白的蛋白质含量占干物质含量为 74.57%,显著高于其它样品( $P < 0.05$ ),而其它 3 种样品的蛋白中蛋白质占

干物质含量无显著差异( $P > 0.05$ )。4 种卤蛋蛋黄中蛋白质和脂质含量分别在 26.37%~28.88% 和 53.19%~60.55% 之间且无显著性差异 ( $P > 0.05$ ); 蛋白和蛋黄的灰分含量分别在 9.76%~12.08% 和 4.82%~5.78% 之间( $P < 0.05$ ),此差异可能是由蛋源不同造成; 蛋白和蛋黄 pH 值分别在 6.63~7.13 和 6.53~7.13 之间( $P < 0.05$ ),可能是因为卤料液成分及配比不同<sup>[19]</sup>,香辛料中不同的天然物质与蛋白质反应会破坏其蛋白质结构而改变 pH<sup>[20]</sup>,卤制时间的长短<sup>[16]</sup>也会影响卤蛋成品的 pH。

表 3 不同工艺卤蛋的基本组分(干质量)及 pH 值

Table 3 The basic nutrient components (dry weight) and pH of different marinated eggs

项目		WT 溏心卤蛋	WY 盐焗卤蛋	XY 盐焗卤蛋	XW 传统卤蛋
蛋白	水分/%	77.81 ± 1.66 <sup>a</sup>	74.74 ± 0.05 <sup>b</sup>	73.95 ± 0.14 <sup>b</sup>	73.10 ± 0.13 <sup>b</sup>
	蛋白质/%	74.57 ± 0.83 <sup>a</sup>	67.01 ± 2.47 <sup>b</sup>	65.02 ± 0.97 <sup>b</sup>	64.48 ± 1.84 <sup>b</sup>
	灰分/%	12.08 ± 0.80 <sup>a</sup>	11.59 ± 0.77 <sup>a</sup>	10.16 ± 0.14 <sup>b</sup>	9.76 ± 0.34 <sup>b</sup>
	pH	6.63 ± 0.01 <sup>d</sup>	7.03 ± 0.01 <sup>b</sup>	7.13 ± 0.01 <sup>a</sup>	6.70 ± 0.01 <sup>c</sup>
蛋黄	水分/%	52.58 ± 0.35 <sup>a</sup>	45.68 ± 0.35 <sup>bc</sup>	46.98 ± 0.90 <sup>b</sup>	45.19 ± 0.82 <sup>c</sup>
	蛋白质/%	28.88 ± 1.19 <sup>a</sup>	26.37 ± 0.09 <sup>a</sup>	27.54 ± 0.79 <sup>a</sup>	28.60 ± 1.30 <sup>a</sup>
	灰分/%	5.78 ± 0.07 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.17 <sup>b</sup>	5.25 ± 0.21 <sup>b</sup>	4.82 ± 0.07 <sup>c</sup>
	脂质/%	60.55 ± 8.17 <sup>a</sup>	58.84 ± 1.61 <sup>a</sup>	60.48 ± 1.72 <sup>a</sup>	53.19 ± 4.90 <sup>a</sup>
	pH	6.53 ± 0.01 <sup>d</sup>	7.06 ± 0.01 <sup>b</sup>	7.13 ± 0.01 <sup>a</sup>	6.64 ± 0.02 <sup>c</sup>

注:横向对比,不同字母代表同一指标上存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

### 2.2 质构

蛋白凝胶的质构特性与其加工过程有关,由表 4 可知,4 种卤蛋蛋白的硬度和咀嚼度分别在 1 368.05~2 385.36 g 和 898.40~1 711.51 g 之间,其中 WT 溏心卤蛋蛋白的硬度(1 368.05 g)和咀嚼度(898.40 g)显著低于其它卤蛋( $P < 0.05$ )。而 WT 溏心卤蛋和 XW 传统卤蛋的蛋黄硬度分别为 530.43 g 和 595.57 g,显著小于两种盐焗卤蛋( $P < 0.05$ ); 两种盐焗卤蛋蛋黄的咀嚼度(分别为 1 314.40 g 和 1 287.82 g)比溏心卤蛋和传统卤蛋均高出 185%

( $P < 0.05$ ),因此溏心和传统卤蛋的蛋黄更加松软,易于咀嚼。蛋白的硬度和咀嚼度均明显高于蛋黄,与余秀芳<sup>[16]</sup>的结果一致,这可能是由于凝胶强度与蛋白质含量呈正相关,而蛋黄中蛋白质含量显著低于蛋白,从而导致蛋黄凝胶化程度较低,质地松软。硬度和弹性等质构特点不仅与配料浓度有关,烤制与盐焗工艺、卤煮时间和温度不同,以及灭菌时间的差异<sup>[9,21-22]</sup>,都会显著影响卤蛋的含水量,从而改变其质构特点。

表 4 卤蛋质构的差异比较

Table 4 Comparison of texture differences of different marinated eggs

指标		WT 溏心卤蛋	WY 盐焗卤蛋	XY 盐焗卤蛋	XW 传统卤蛋
蛋白	硬度/g	1 368.05 ± 236.14 <sup>b</sup>	2 280.25 ± 412.89 <sup>a</sup>	2 385.36 ± 464.02 <sup>a</sup>	2 145.91 ± 228.39 <sup>a</sup>
	弹性	0.95 ± 0.04 <sup>a</sup>	1.00 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.00 ± 0.05 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.02 <sup>a</sup>
	咀嚼度/g	898.40 ± 155.25 <sup>b</sup>	1 559.44 ± 374.28 <sup>a</sup>	1 711.51 ± 378.29 <sup>a</sup>	1 427.15 ± 161.06 <sup>a</sup>
蛋黄	硬度/g	530.43 ± 145.99 <sup>b</sup>	1 774.06 ± 344.19 <sup>a</sup>	1 855.17 ± 362.74 <sup>a</sup>	595.57 ± 344.02 <sup>b</sup>
	弹性	0.93 ± 0.07 <sup>a</sup>	0.94 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.93 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.77 ± 0.111 <sup>b</sup>
	咀嚼度/g	451.73 ± 72.12 <sup>b</sup>	1 314.40 ± 247.90 <sup>a</sup>	1 287.82 ± 217.41 <sup>a</sup>	434.62 ± 28.02 <sup>b</sup>

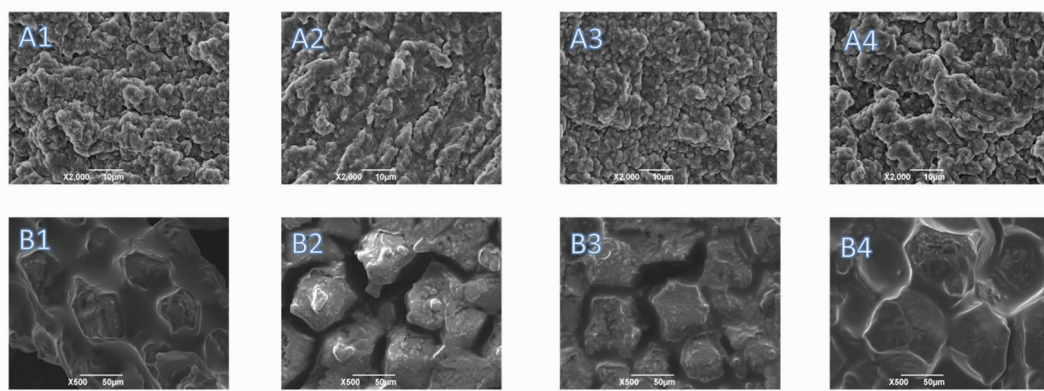
注:横向对比,不同字母代表同一指标上存在显著性差异( $P < 0.05$ )。



### 2.3 微观结构

不同卤蛋蛋白和蛋黄的电镜扫描图(SEM)如图 1 所示,蛋白和蛋黄分别放大 2 000 倍和 500 倍。从 A1、A2、A3、A4 可以看出,4 种蛋白的微观结构致密且纹理紧凑,这可能是因为卤蛋蛋白在煮制过程中,食盐等调味料使其发生脱水作用,蛋白质间相互作用增强使其连接紧密程度增加,从而导致微观结构更加紧实。卤蛋蛋黄均呈多面体颗粒状,颗粒大小在 50  $\mu\text{m}$  左右,这与 Kaewmanee

等<sup>[23]</sup>的研究结果一致,这种多面体结构可能是其具有松散口感的主要原因<sup>[24]</sup>。蛋黄表面附着脂肪球可能使脂蛋白结构在食盐的作用下受到破坏,脂肪游离出来形成脂肪球。WT 溏心卤蛋和 XW 传统卤蛋均呈球状团簇,颗粒之间呈无间隙连接的状态,这可能与蛋白质未完全变性凝固有关;而两种盐焗卤蛋蛋黄变性程度较深,颗粒间存在明显间隙,与质构中得出其硬度和咀嚼度显著较高的数据结果相对应。



注:WT 溏心卤蛋(A1、B1)、WY 盐焗卤蛋(A2、B2)、XY 盐焗卤蛋(A3、B3)、XW 传统卤蛋(A4、B4)。

图 1 不同工艺卤蛋蛋白(2 000 $\times$ ,A)和蛋黄(500 $\times$ ,B)SEM 图像

Fig.1 SEM diagram of egg white (2 000 $\times$ , A) and egg yolk (500 $\times$ , B)

### 2.4 水分分布状态测定

低场核磁共振技术是表征样品内部水分子结合状态的有效手段,横向弛豫时间  $T_2$  可以指示凝胶中质子信号迁移率的变化,判断不同结合状态水分子的移动性<sup>[25]</sup>。Pearce 等<sup>[26]</sup>提出  $T_2$  小于 10 ms ( $T_{21}$ 、 $T_{22}$ )定义为结合水(根据结合能力分为强结合

水和弱结合水),在 10~100 ms ( $T_{23}$ )表示不容易流动的束缚水,大于 100 ms ( $T_{24}$ )则表示流动性较强的自由水。弛豫峰面积百分数( $P_{21}$ 、 $P_{22}$ 、 $P_{23}$ 、 $P_{24}$ )分别对应各种状态水分的体积分数。测得蛋白和蛋黄的弛豫时间  $T_2$  分布如图 2 所示, $T_2$  相应数值及含量占比  $P_2$  如表 5 所示。

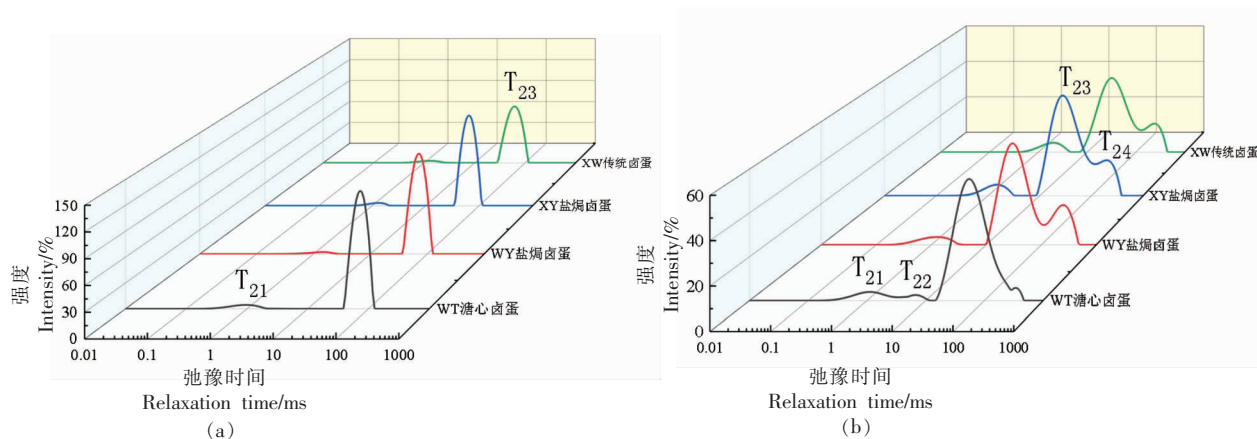


图 2 不同工艺卤蛋的蛋白(a)、蛋黄(b)水分分布图像

Fig.2 Diagrams of egg white (a) and egg yolk (b) moisture distribution of different marinated eggs

从图 2a 和表 5 可以看出,4 种卤蛋蛋白中,WT 溏心卤蛋和 WY 盐焗卤蛋的不易流动水弛豫时间  $T_{23}$ (72.33 ms) 大于 XY 盐焗卤蛋和 XW 传统卤蛋(62.95 ms)( $P < 0.05$ )。弛豫时间较长对应更小的约束力,表明 WT 溏心卤蛋和 WY 盐焗卤蛋的水分流动性较强<sup>[27]</sup>,煮制温度不同导致蛋白质的空间构象和凝胶网络结构不同,可能使不易流

动水与蛋白质等物质的结合能力有异<sup>[28]</sup>。4 种卤蛋蛋白均有 2 种水分形式:与蛋白质或其它大分子紧密结合的结合水  $T_{21}$  和松散在基质中的不易流动水  $T_{23}$ ,且主要存在形式为不易流动水,含量均在 94% 以上,这与范萌萌等<sup>[29]</sup>在腌制蛋清中发现 2 个弛豫峰结果相符。

表 5 不同工艺卤蛋水分分布状态

Table 5 The moisture distribution of different marinated eggs

		WT 溏心卤蛋	WY 盐焗卤蛋	XY 盐焗卤蛋	XW 传统卤蛋
蛋白	$T_{21}/\text{ms}$	$0.98 \pm 0.60^c$	$1.48 \pm 0.57^a$	$1.29 \pm 0.01^b$	$1.29 \pm 0.12^b$
	$T_{23}/\text{ms}$	$72.33 \pm 0.01^a$	$72.33 \pm 0.01^a$	$62.95 \pm 0.01^b$	$62.95 \pm 0.01^b$
	$P_{21}/\%$	$5.49 \pm 0.01^a$	$2.54 \pm 0.01^c$	$3.41 \pm 0.02^b$	$4.43 \pm 0.11^b$
	$P_{23}/\%$	$94.51 \pm 0.01^d$	$97.46 \pm 0.02^a$	$96.59 \pm 0.03^b$	$95.57 \pm 0.11^c$
蛋黄	$T_{21}/\text{ms}$	$0.94 \pm 0.21^c$	$1.29 \pm 0.18^b$	$1.48 \pm 0.21^b$	$2.10 \pm 0.52^a$
	$T_{22}/\text{ms}$	$6.19 \pm 1.66^a$	$0.00 \pm 0.00^b$	$0.00 \pm 0.00^b$	$0.00 \pm 0.00^b$
	$T_{23}/\text{ms}$	$57.41 \pm 1.86^a$	$29.33 \pm 0.93^c$	$27.36 \pm 1.55^c$	$31.44 \pm 0.01^b$
	$T_{24}/\text{ms}$	$349.09 \pm 11.29^a$	$252.35 \pm 7.98^b$	$191.16 \pm 14.24^c$	$235.43 \pm 7.89^b$
	$P_{21}/\%$	$6.46 \pm 2.81^c$	$6.41 \pm 0.83^c$	$6.67 \pm 1.83^b$	$7.33 \pm 0.19^a$
	$P_{22}/\%$	$2.17 \pm 2.41^a$	$0.00 \pm 0.00^b$	$0.00 \pm 0.00^b$	$0.00 \pm 0.00^b$
	$P_{23}/\%$	$89.32 \pm 0.25^a$	$72.67 \pm 0.95^d$	$77.43 \pm 1.95^b$	$75.86 \pm 1.42^c$
	$P_{24}/\%$	$2.05 \pm 0.17^c$	$20.92 \pm 0.84^a$	$15.90 \pm 1.42^b$	$16.81 \pm 1.22^b$

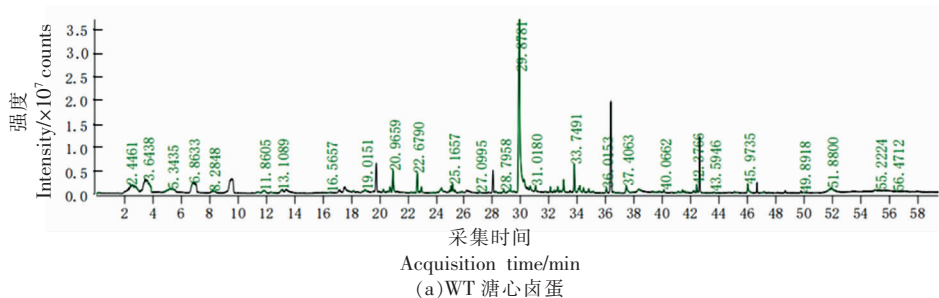
注:横向对比,不同字母代表同一指标上存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

从图 2b 和表 5 可以看出,WT 溏心卤蛋蛋黄中不易流动水  $T_{23}$  和自由水  $T_{24}$  的弛豫时间(57.41 ms 和 349.09 ms)显著高于其它 3 种卤蛋( $P < 0.05$ ), $P_{23}$  含量(89.32%)最高,说明溏心卤蛋蛋黄中水分的流动性较强;特殊峰  $T_{22}$  的存在(6.19 ms,弱结合水)说明其水分存在形式多于其它 3 种卤蛋,这可能由于低温卤煮工艺导致溏心卤蛋蛋黄中一部分水与蛋白质结合程度较弱,从而出现弱结合水,而其它卤蛋在高温卤煮条件下各种水分相互转变,弱结合水消失<sup>[30]</sup>。蛋黄结构复杂,在加热过程中,蛋黄中的脂质、蛋白或两者之间均会发生相互作用,从而与脂质和水相关的质子会相互干扰<sup>[31]</sup>,所

有样品的蛋黄均存在质子峰  $T_{21}$ 、 $T_{23}$  和  $T_{24}$ ,这些质子信号可能也与脂质相关,且与鹌鹑蛋和油脂较高的肉糜中质子分布呈 3 种组合状态的结果相似<sup>[32-34]</sup>。

## 2.5 挥发性风味物质分析

卤蛋香气特征的形成既与卤料成分相关,又与卤煮和烘制过程中的化学反应有关,例如:羰氨反应、蛋白自身降解形成的氨基酸以及后续氨基酸与其它化合物重新组合,都会赋予卤蛋香气特征<sup>[14]</sup>。4 种工艺卤蛋的风味物质经过 GC-MS 检测得到的香气成分总离子流图,如图 3 所示。



(a) WT 溏心卤蛋

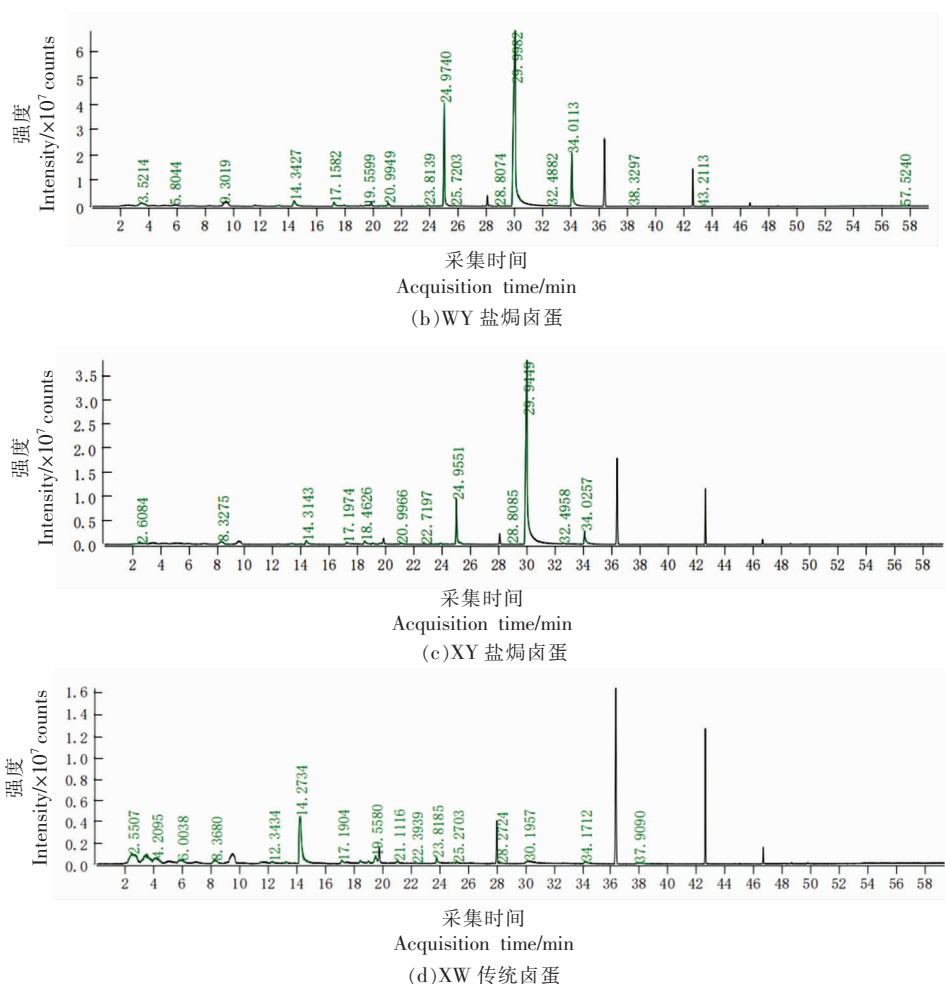


图 3 不同工艺卤蛋香气成分总离子流图

Fig.3 TIC of volatile compounds in different marinated eggs

对 GC-MS 检测到的各类卤蛋的香气化合物进行种类数量统计,结果如图 4 所示。从 WT 溏心卤蛋中检测到的风味物质种类最多,共检出 67 种,其中醇类 12 种、醛酮类 3 种、酯类 8 种、酚类 1 种、芳香族 10 种、烷烃类 19 种、烯酸等其它类 14 种,未检出吡嗪类物质;WY 盐焗卤蛋共检出 53 种,其中醇类 9 种、醛酮类 6 种、酯类 6 种、酚类 2 种、芳香族 8 种、烷烃类 1 种、吡嗪类 4 种、其它类 17 种;XY 盐焗卤蛋检测出 29 种,其中醇类 6 种、醛酮类 7 种、酯类 3 种、酚类 2 种、芳香族 2 种、烷烃类 1 种、吡嗪类 3 种、其它类 5 种;XW 传统卤蛋检出 25 种风味物质,其中醇类 5 种、醛酮类 4 种、酯类 2 种、酚类 2 种、芳香族 2 种、烷烃类 1 种、吡嗪类 2 种、其它类 7 种。

对卤蛋的香气成分类别进行相对含量统计,

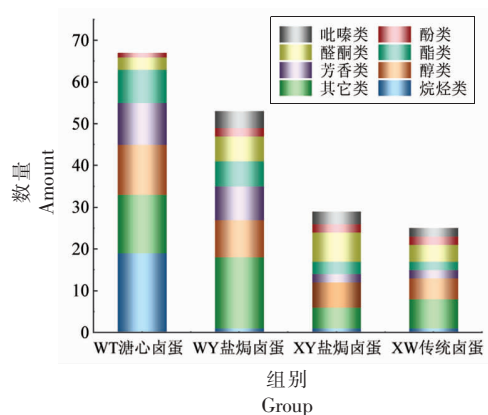


图 4 不同工艺卤蛋风味物质数量分布

Fig.4 Distribution of flavor substances in different marinated eggs

结果如图 5 所示。WT 溏心卤蛋和盐焗卤蛋的主要挥发性风味物质为酚类,且两种盐焗卤蛋的主

要风味成分百分比类似,如酚类分别为72.82%和78.06%,醇类分别为17.54%和12.35%,而传统卤蛋主要为吡嗪类(41.26%)。由表6可知,溏心卤蛋与2种盐焗卤蛋的主要挥发性成分均为增香添加剂乙基麦芽酚,含量分别为48.78%,62.80%,73.18%。然而XW传统卤蛋中乙基麦芽酚仅占0.81%,2,5-二甲基吡嗪(38.87%)为其主要风味成分。吡嗪类物质是加热食品中典型的香味成分,一般是蛋白质和脂质、美拉德反应的产物<sup>[35]</sup>。脂肪

烃类物质受热分解会产生醇、酮、醛和烷烃,其中酮醛风味阈值较低,容易被识别<sup>[36]</sup>,醛类是熟鸡蛋中主要的挥发性成分<sup>[37]</sup>,XW传统卤蛋中醛酮类占比最大,且与酯类和其它各种风味物质分布较为均衡。煮制温度差异会使蛋白质和脂肪氧化程度不同,从而产生不同的醛酮醇等小分子物质<sup>[38]</sup>,卤制方式和卤料配方的不同也会造成卤蛋风味间的差异<sup>[39]</sup>。

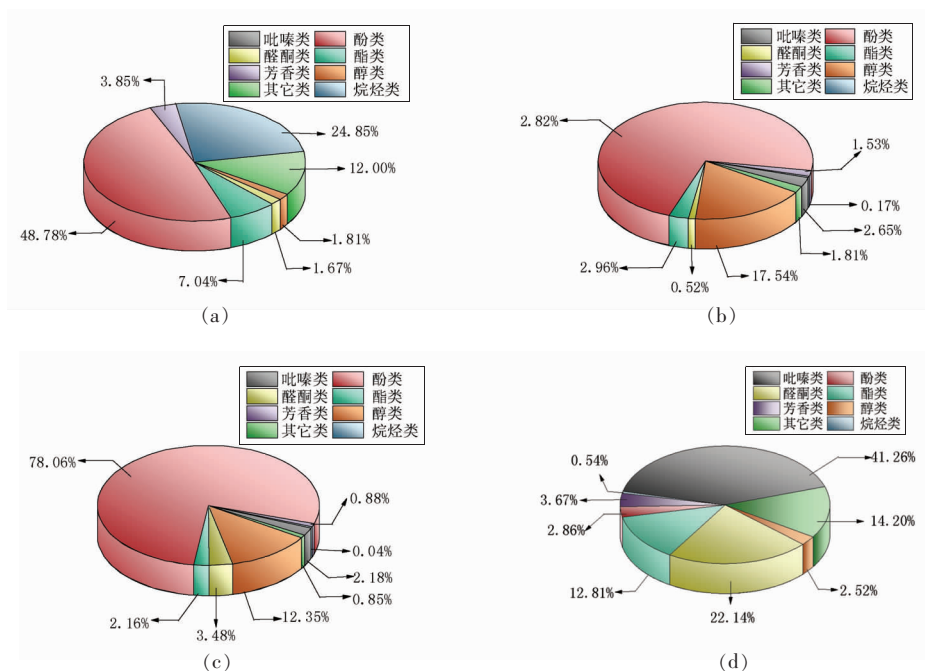


图5 WT 溏心卤蛋(a)、WY 盐焗卤蛋(b)、XY 盐焗卤蛋(c)、XW 传统卤蛋(d)风味物质相对含量

Fig.5 Relative content of flavor substances in WT Tangxin (a), WY baked salted (b), XY baked salted (c) and XW traditional (d) marinated egg

表6 不同工艺卤蛋挥发性风味成分(GC-MS)分析结果(含量 $\geq 1\%$ )

Table 6 Result of GC-MS analysis of the volatile flavor compounds of different marinated eggs (content $\geq 1\%$ )

名称	相对含量/%			
	WT 溏心卤蛋	WY 盐焗卤蛋	XY 盐焗卤蛋	XW 传统卤蛋
间二甲苯	1.25	-	-	-
庚酸	1.19	-	-	-
<i>d</i> -柠檬烯	4.35	0.67	0.23	0.12
2,6,10-三甲基十四烷	1.95	-	-	-
2,6-二甲基壬烷	4.51	-	-	-
2,5-二甲基十二烷	1.26	-	-	-
正二十一烷	4.14	-	-	-
正十五烷	5.62	-	-	-
乙基麦芽酚	48.78	62.80	73.18	0.81
茴香脑	-	8.38	4.89	2.04



(续表 6)

名称	相对含量/%			
	WT 溏心卤蛋	WY 盐焗卤蛋	XY 盐焗卤蛋	XW 传统卤蛋
甘油醋酸酯	2.19	-	-	-
乙酸乙酯	-	2.71	-	11.79
乙酸丙酯	3.94	-	-	-
2,5-二甲基吡嗪	-	2.30	1.74	38.87
苯甲醛	-	1.19	0.69	1.73
正己醛	-	-	2.23	3.75
2-甲基丁醛	-	-	-	7.36
1-甲氧基-2-丙酮	-	-	-	10.26
蘑菇醇	-	-	1.31	1.15
芳樟醇	-	16.73	10.69	0.32
2-甲氧基-5-丙基-2-烯基苯酚	-	-	-	1.95
2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	-	0.25	0.26	2.39
2,6-二甲基-4-氨基吡啶	-	0.10	-	3.37
1,3-二氮唑	-	-	-	3.49

注:-. 未检出。

## 2.6 感官分析

由图 6 所示,从外观和切面图可以看出,4 种卤蛋在颜色和形状上具有明显差异。感官人员鉴

评完毕后收集评价分数,数据如表 7 所示;嗜好性排序和综合评价结果如表 8 和表 9 所示。

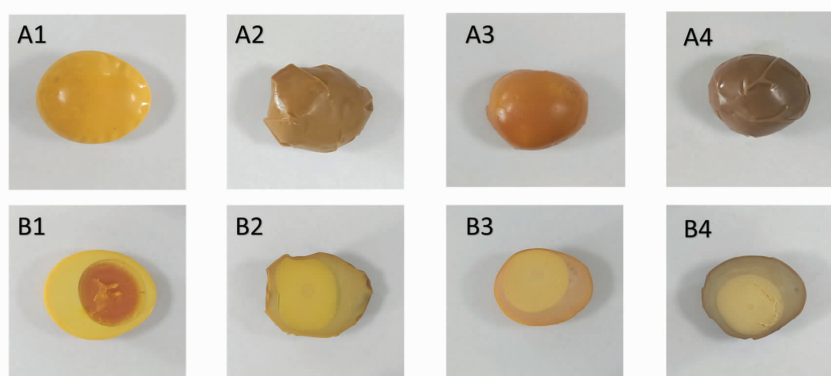


图 6 WT 溏心卤蛋 (A1、B1)、WY 盐焗卤蛋 (A2、B2)、XY 盐焗卤蛋 (A3、B3)、XW 传统卤蛋 (A4、B4) 的外观和切面图  
Fig.6 Appearance and diagrams of WT Tangxin (A1, B1), WY baked salted (A2, B2), XY baked salted (A3, B3) and XW traditional (A4, B4) marinated egg

从表 7 可以看出感官评价中 WT 溏心卤蛋的总分(76.19 分)和光泽得分(8.67 分)显著高于其它 3 种卤蛋( $P < 0.05$ ),且香气和滋味得分较高,这与其风味物质检出数量较多相一致。表 8 中溏心卤蛋总秩和最大为 110,对秩和进行  $F$  检验后得出  $F=10.425 > F_{(3, 0.05)}=7.815$ ,表明鉴评人员对 4 种产品的喜好程度存在显著性差异,且溏心卤蛋较受青睐。从表 9 综合评价中可知,4 种卤蛋的香气和滞留度具有明显差异,且 2 种盐焗卤蛋和传

统卤蛋的余味稍有腥味或苦味,而溏心卤蛋余味呈辣味,具有蛋黄不噎口的明显特征,蛋白嫩滑,蛋黄细腻松沙,这与其质地得分较高,蛋白和蛋黄硬度较小,水分含量较高相对应;蛋白存在偏咸,与蛋黄滋味稍不协调的问题,其原因可能是卤汁由蛋白慢慢渗入蛋黄,导致盐分和风味物质分布不均。市售软包装卤蛋的总体可接受性与其含水率、质构数值、风味指标显著相关<sup>[40]</sup>,且蛋形美观和颜色均匀程度、蛋黄外部是否存在黑圈也是重

表7 不同工艺卤蛋感官指标得分

Table 7 Sensory index scores of different marinated eggs

感官指标	WT 溏心卤蛋	WY 盐焗卤蛋	XY 盐焗卤蛋	XW 传统卤蛋
颜色(10分)	7.36 ± 2.40 <sup>ab</sup>	6.47 ± 1.83 <sup>bc</sup>	7.83 ± 1.69 <sup>a</sup>	5.90 ± 1.99 <sup>c</sup>
光泽(10分)	8.67 ± 1.12 <sup>a</sup>	5.94 ± 1.67 <sup>bc</sup>	6.82 ± 1.41 <sup>b</sup>	5.25 ± 1.93 <sup>c</sup>
香气(20分)	16.25 ± 3.29 <sup>a</sup>	14.47 ± 3.67 <sup>ab</sup>	13.81 ± 3.88 <sup>c</sup>	14.33 ± 3.85 <sup>ab</sup>
质地(30分)	21.72 ± 6.73 <sup>a</sup>	19.92 ± 6.48 <sup>ab</sup>	19.56 ± 6.46 <sup>ab</sup>	17.06 ± 5.38 <sup>c</sup>
滋味(30分)	22.19 ± 6.56 <sup>a</sup>	18.08 ± 6.42 <sup>b</sup>	19.50 ± 6.33 <sup>ab</sup>	17.58 ± 6.18 <sup>b</sup>
总分(100分)	76.19 ± 15.59 <sup>a</sup>	64.89 ± 13.50 <sup>b</sup>	67.51 ± 15.62 <sup>ab</sup>	60.13 ± 15.73 <sup>b</sup>

注:横向对比,不同字母代表同一指标上存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

表8 不同工艺卤蛋嗜好性秩和统计

Table 8 Statistical preference rank sum of different marinated eggs

	WT 溏心卤蛋	WY 盐焗卤蛋	XY 盐焗卤蛋	XW 传统卤蛋
秩和	110	79	91	80

表9 不同工艺卤蛋的综合评价

Table 9 Comprehensive evaluation of different marinated eggs

样品	综合评价
WT 溏心卤蛋	蛋形美观,表面光滑,个头较大,颜色金黄,色泽均匀,可接受度高。卤香味突出,口味独特,滞留度长;蛋白微弹细腻、嫩滑,蛋黄湿润、松沙、不噎口,蛋白偏咸且大料味明显,与蛋黄滋味稍不协调,余味有些辣味
WY 盐焗卤蛋	表面有皱褶,且蛋白表面颜色偏青,内部色泽不均匀,蛋黄外围有黑绿色黑圈;有明显肉香和酱香;蛋白较硬、少弹性,蛋黄瓷实、有粉质感;整体滞留度较长,余味稍苦
XY 盐焗卤蛋	颜色呈哑光暗黄色,有烧烤香;咸度适口,品尝时略有甜味;蛋白咀嚼有力而弹性较小,蛋黄较沙和细腻,滞留度较长,余味略有腥味
XW 传统卤蛋	蛋形美观,而颜色过深且暗淡无光,个头较小;有茶香味且卤味均匀;蛋白有弹性且蛋黄细腻,余味有蛋腥味和苦味,滞留度较短

要因素,因此卤蛋的感官品质需要协调各个方面,从而提供更好的口感。

### 3 结论

本研究结果表明不同加工工艺卤蛋的水分分布、微观结构、质构和风味等方面均存在差异。4种卤蛋的基本营养物质含量差异不大,其中WT溏心卤蛋蛋白的蛋白质占干物质含量最高,蛋白和蛋黄水分含量较高,且其对不易流动水的束缚能力较弱,水分流动性较强,具有蛋白嫩滑、蛋黄松沙、不噎口的特点;XW传统卤蛋和溏心卤蛋蛋黄的硬度和咀嚼度显著低于盐焗卤蛋,更加松软、细腻。不同卤蛋的风味物质含量和种类各有不同,其中传统卤蛋的风味物质分布较为均衡,卤味更加均匀。感官评价表明4种卤蛋滋味和余味等方面存在差异,溏心卤蛋在感官评价中总分最高,感

官人员对其嗜好性最强。本研究明确了不同加工工艺卤蛋的质地和风味特点,发现溏心卤蛋更受消费者喜爱,该结果为卤蛋加工企业选择合适的加工工艺提供了一定数据支持,然而关于低温卤制的溏心卤蛋的工艺优化还需要进一步研究。

### 参 考 文 献

- [1] 刘志伟. 特色风味酱卤蛋的研制[J]. 食品科学, 2000, 21(8): 65-66.  
LIU Z W. Development of marinated egg with special flavor sauce[J]. Food Science, 2000, 21(8): 65-66.
- [2] 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, 35(16): 74-76.  
YAN P F, ZHOU F. Technological optimization studies on spiced brine egg[J]. Food Research and

- Development, 2014, 35(16): 74-76.
- [3] 刘丽莉, 杨协力, 康怀彬, 等. 高压卤蛋加工工艺优化及其品质变化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 312-315, 328.  
LIU L L, YANG X L, KANG H B, et al. Optimization of marinated eggs produced by high pressure and changing of egg characteristics[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(10): 312-315, 328.
- [4] 袁诺, 张清, 白洁, 等. 脉动压力技术对卤蛋腌制效率和品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(15): 164-170.  
YUAN N, ZHANG Q, BAI J, et al. Effect of pulsed pressure on pickling efficiency and quality attributes of marinated eggs[J]. Food Science, 2020, 41(15): 164-170.
- [5] 孙秀秀, 何立超, 杨海燕, 等. 间歇超声辅助加快咸蛋腌制速度工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(22): 204-211.  
SUN X X, HE L C, YANG H Y, et al. Intermittent ultrasound assisted in speeding up the pickling speed of salted eggs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(22): 204-211.
- [6] 肖朝耿, 陈黎洪, 沈国华, 等. 真空包装卤蛋加工工艺研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2006(9): 108-109.  
XIAO C G, CHEN L H, SHEN G H, et al. Study on processing technology of vacuum packaged salted egg[J]. Heilongjiang Animal Husbandry Veterinarian, 2006(9): 108-109.
- [7] 陈果忠. 提高高温卤蛋出品率和完好率的工艺研究[J]. 甘肃农业科技, 2010(1): 21-23.  
CHEN G Z. Study on the technology of improving the yield and intact rate of high-temperature marinated eggs[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2010(1): 21-23.
- [8] 张清, 袁诺, 张小飞, 等. 杀菌温度对卤蛋脂肪氧化和品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(5): 69-75.  
ZHANG Q, YUAN N, ZHANG X F, et al. Effect of sterilization temperature on lipid oxidation and quality attributes of marinated eggs[J]. Food Science, 2022, 43(5): 69-75.
- [9] 丁波, 陈育林, 窦玉萍, 等. 溏心蛋加工工艺优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 135-141, 148.  
DING B, CHEN Y L, DOU Y P, et al. Optimization of processing technology of soft-boiled egg[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(4): 135-141, 148.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会. 食品中水分的测定: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-2.  
National Health and Family Planning Commission. Determination of moisture in food: GB 5009.3-2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-2.
- [11] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-3.  
National Health and Family Planning Commission, China Food and Drug Administration. Determination of protein in food: GB 5009.5-2016 [S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-3.
- [12] 国家卫生和计划生育委员会. 食品中灰分的测定: 5009.4-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-3.  
National Health and Family Planning Commission. Determination of ash in food: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-3.
- [13] 谢绿绿, 马美湖, 皮劲松, 等. 6个品种鸡蛋黄中脂肪酸营养成分分析[J]. 营养学报, 2011, 33(5): 534-536.  
XIE L L, MA M H, PI J S, et al. Analysis of fatty acid composition of different varieties of egg yolk[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2011, 33(5): 534-536.
- [14] 于晨晨. 特色风味卤蛋工艺及其物理特性研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2017.  
YU C C. Study on the process and physical characteristics of featured marinated egg [D]. Wulumuqi: Xinjiang Agricultural University, 2017.
- [15] 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(2): 1-4.  
SUN C L, TIAN J C, ZHANG Y X. Application of TPA test mode in the study of food[J]. Experiment Science and Technology, 2007(2): 1-4.
- [16] 余秀芳. 卤蛋加工技术与品质变化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.  
YU X F. The development of processing technology and quality changes in pot-roast egg [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- [17] 章坦. 基于低场核磁共振研究咸鸭蛋品质形成和贮藏品质变化的机理[D]. 大连: 大连工业大学, 2018.

- ZHANG T. Mechanism research of quality formation of salted duck egg and quality changes in storage process by LF-NMR[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2018.
- [18] 华霄, 王洋, 杜航, 等. 霉汁卤蛋风味分析及贮藏过程中蛋白质构变化[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 133-139.
- HUA X, WANG Y, DU H, et al. Flavor analysis of the turtle source marinated egg and the texture variation of the egg white during storage[J]. Food Machinery, 2019, 35(4): 133-139.
- [19] 朱建勇, 游玉明, 帅雄, 等. 不同品种茶叶对卤蛋加工品质的影响[J]. 中国调味品, 2019, 44(2): 80-82, 99.
- ZHU J X, YOU Y M, SHUAI X, et al. Effects of different varieties of tea on the processing quality of marinated egg[J]. China Condiment, 2019, 44(2): 80-82, 99.
- [20] 刘静波, 程懂坤, 赵颂宁, 等. 预煮方式对卤蛋加工过程中理化性质的影响[J]. 肉类工业, 2021(6): 25-30.
- LIU J B, CHENG D K, ZHAO S N, et al. Effect of pre-cooking methods on physicochemical property of halogen egg during processing[J]. Meat Industry, 2021(6): 25-30.
- [21] 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.
- HE L C, MA S M, LI C L, et al. Effect of different cooking time on the textural profile and lipid composition of hard-boiled egg[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(6): 25-30, 37.
- [22] 黄丽燕, 张强, 刘文营, 等. 不同热处理方式对卤蛋蛋白的质构影响[J]. 食品工业, 2012, 33(9): 75-78.
- HUANG L Y, ZHANG Q, LIU W Y, et al. Effect of different heat treatments on texture of stewed egg white[J]. Food Industry, 2012, 33(9): 75-78.
- [23] KAEWMANEE T, BENJAKUL S, VISESSANGUAN W. Changes in chemical composition, physical properties and microstructure of duck egg as influenced by salting[J]. Food Chemistry, 2009, 112(3): 560-569.
- [24] LAI K M, CHI S P, KO W C. Changes in yolk states of duck egg during long-term brining[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(2): 733-736.
- [25] XUE H, TU Y G, XU M, et al. Changes in physicochemical properties, gel structure and *in vitro* digestion of marinated egg white gel during braising[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127321.
- [26] PEARCE K L, ROSENVOLD K, ANDERSEN H J, et al. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes - A review[J]. Meat Science, 2011, 89(2): 111-124.
- [27] NORONHA N, DUGGAN E, ZIEGLER G R, et al. Investigation of imitation cheese matrix development using light microscopy and NMR relaxometry[J]. International Dairy Journal, 2008, 18(6): 641-648.
- [28] 李素, 王守伟, 朱宁, 等. 加工工艺对酱牛肉蛋白质结构和水分分布的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(7): 74-80.
- LI S, WANG S W, ZHU N, et al. Effect of processing technology on protein structure and water distribution of spiced beef[J]. Food Science, 2022, 43(7): 74-80.
- [29] 范萌萌, 蒋爱民, 张献伟, 等. 不同碱处理蛋清与蛋黄碱诱导凝胶低场 NMR  $T_2$  弛豫时间分析[J]. 食品工业, 2016, 37(1): 72-75.
- FAN M M, JIANG A M, ZHANG X W, et al. Low field NMR  $T_2$  transverse relaxation spectrum of different alkali treatments egg white and yolk gels[J]. Food Industry, 2016, 37(1): 72-75.
- [30] 王永瑞, 薛美芳, 罗瑞明, 等. 羊肉烤制过程中水分的分布与迁移规律[J]. 中国食品学报, 2022, 22(3): 297-308.
- WANG Y R, XUE M F, LUO R M, et al. Moisture distribution and migration law of mutton during the roasting process[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(3): 297-308.
- [31] YANG H J, ZHANG W G, LI T, et al. Effect of protein structure on water and fat distribution during meat gelling[J]. Food Chemistry, 2016, 204: 239-245.
- [32] YANG Y, ZHAO Y, XU M S, et al. Changes in physico-chemical properties, microstructure and intermolecular force of preserved egg yolk gels during pickling[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 89: 131-142.



- [33] SHAARANI S M, NOTT K P, HALL L D. Combination of NMR and MRI quantitation of structure and structure changes for convection cooking of fresh chicken meat[J]. *Meat Science*, 2006, 72(3): 398–403.
- [34] BAO Z J, KANG D, LI C, et al. Effect of salting on the water migration, physicochemical and textural characteristics, and microstructure of quail eggs[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2020, 132: 109847.
- [35] 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: 533–544.
- [36] 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.  
XU G Y, WANG X Q. Research status and existing problems of egg flavor substances[J]. *China Poultry*, 2017, 39(23): 1–4.
- [37] UMANO K, HAGI Y, 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.
- [38] 任柳阳. 热处理过程中鸭蛋蛋黄腥味物质的鉴定及其形成机制[D]. 北京: 北京农学院, 2021.  
REN L Y. Identification and formation mechanism of off-flavor of duck egg yolk during heat treatment[D]. Beijing: Beijing University of Agriculture, 2021.
- [39] 吴慧清, 董婷婷, 曾齐, 等. 不同烤制方式工艺优化及其对卤蛋品质的改善[J]. *食品科技*, 2022, 47(2): 109–117.  
WU H Q, DONG T T, ZENG Q, et al. Optimization of different baking methods and their improvement on the quality of marinated eggs[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(2): 109–117.
- [40] 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.  
TAN L, LI B S, RUAN Z, et al. Analysis of quality characteristic of market marinated eggs [J]. *Food and Fermentation Industry*, 2016, 42(1): 205–211.

### Analysis of Texture and Flavor Characteristics of Marinated Eggs with Different Processing Technology

Zhang Hairu<sup>1</sup>, Li Zuyue<sup>1</sup>, Liu Zhongsi<sup>2</sup>, Chen Lishui<sup>2</sup>, Wen Junhui<sup>2</sup>, Jin Yongguo<sup>1</sup>, Huang Xi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070

<sup>2</sup>Luohe Weilong Biology Technology Co., Ltd., Luohe 462000, Henan)

**Abstract** The purpose of this study was to analyze the quality difference between marinated eggs processed by different technologies. The basic nutrient content, pH, textures, microstructure, and water distribution status of four kinds of commercially available marinated eggs (WT Tangxin egg, WY and XY baked salted egg, and XW traditional marinated egg) were investigated. Moreover, the flavor analysis and sensory evaluation were determined. The results showed that the egg white protein content, egg yolk fat content (dry weight) and pH of the four kinds of marinated egg were between 64.48%–74.57%, 53.19%–60.55% and 6.53–7.13, respectively. The water content of WT Tangxin egg white and egg yolk was the highest ( $P < 0.05$ ), which were 77.81% and 52.58%, respectively. Egg yolk hardness numbers of WT Tangxin egg and XW traditional marinated egg (530.43 g and 595.57 g) were significantly lower than two kinds of baked salted egg ( $P < 0.05$ ), and the yolk particles were more compact. 67, 53, 29 and 25 flavor substances were detected in four marinated eggs respectively, and the main volatile components were phenols or pyrazines. The results of water distribution showed that the water fluidity of four kinds of marinated egg white and egg yolk were significantly different ( $P < 0.05$ ). Sensory evaluation by 72 appraisers showed that the total score of WT Tangxin egg was the highest (76.19 points) ( $P < 0.05$ ), which was characterized by smooth egg white and delicate yolk. This study clarified the texture and flavor characteristics of marinated eggs with different processing technologies and provided theoretical support for the selection of appropriate processing technologies for marinated egg processing enterprises.

**Keywords** marinated egg; texture; flavor; sensory analysis