



食品工业科技

Science and Technology of Food Industry

ISSN 1002-0306, CN 11-1759/TS



《食品工业科技》网络首发论文

题目: 宫保鸡丁烹制过程中品质的变化
作者: 杨洪浪, 华玲, 贾洪锋, 杨芳, 张淼
DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022040344
网络首发日期: 2022-08-18
引用格式: 杨洪浪, 华玲, 贾洪锋, 杨芳, 张淼. 宫保鸡丁烹制过程中品质的变化[J/OL]. 食品工业科技. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022040344>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

宫保鸡丁烹制过程中品质的变化

杨洪浪, 华玲, 贾洪锋*, 杨芳, 张淼
(四川旅游学院食品学院, 四川成都 610100)

摘要: 根据宫保鸡丁加工工艺, 采用色差仪、质构仪和气相色谱-质谱研究宫保鸡丁在烹制加工过程中(炒制 0 min、2 min、4 min、6 min 和 8 min) 色泽、质构和挥发性风味物质的变化。结果表明: 烹制会导致宫保鸡丁的 L^* 值明显下降, a^* 值明显增加; b^* 值呈现波动性变化, 并在烹制 8 min 时出现明显的增加。宫保鸡丁的硬度、内聚性和咀嚼性随着烹制时间的延长出现明显的增加; 与对照组(0 min) 相比, 烹制加热会导致弹性下降。宫保鸡丁样品中共检测出 142 种挥发性风味物质, 主要是醇类、酸类、酮类、醛类和烃类。与对照组相比, 烹制加工会导致醇类、酮类物质相对含量的增加, 说明烹饪加工可能会促进醇类和酮类物质的生成。与对照组相比, 烹制加工会导致样品中酸类和醛类物质的减少。烃类物质的相对含量在烹制 2 min 的样品中达到最高, 其余样品中其相对含量较为稳定。本研究可为宫保鸡丁等中国传统菜肴加工过程中品质控制提供一定的参考。

关键词: 宫保鸡丁; 炒制; 挥发性风味物质; 质构; 色泽

Quality changes of Kung Pao Chicken during cooking

YANG Honglang, HUA Ling, JIA Hongfeng*, YANG Fang, ZHANG Miao

(College of Food Science and Technology, Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China)

Abstract: According to the processing technology of Kung Pao Chicken, the changes of color, texture and volatile flavor compounds of Kung Pao Chicken during cooking (stir-frying 0 min, 2 min, 4 min, 6 min and 8 min) were studied by colorimeter, texture analyzer and gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that stir-frying would significantly reduce the L^* value of samples, significantly increase the a^* value. There was a fluctuating change of b^* value and increased significantly at 8 min. The hardness, cohesiveness and chewiness of samples increased significantly with the extension of cooking time. Compared with the control group (0 min), cooking would cause a decrease of springiness. 142 volatile flavor compounds were detected in samples, mainly included alcohols, acids, ketones, aldehydes and hydrocarbons. Compared with the control group, cooking processing would lead to an increase in the relative content of alcohols and ketones, indicating that cooking processing might promote the formation of alcohols and ketones. Compared with the control group, cooking processing would lead to the reduction of acids and aldehydes in samples. The relative content of hydrocarbons reached the highest in the sample which was cooked for 2 min, and were relatively stable in other samples. This study could provide some reference for the quality control of Kung Pao Chicken and other traditional Chinese dishes during processing.

基金项目: 四川省科技厅科研项目(2019YJ0343); 肉类加工四川省重点实验室科研项目(21-R-09); 四川旅游学院高水平科研项目培育专项(2022PY02); 四川旅游学院科研创新团队项目(19SCTUTY04)。

作者简介: 杨洪浪(2000-), 男, 大学本科, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: 1172789867@qq.com。

通信作者简介: 贾洪锋(1981-), 男, 硕士, 教授, 研究方向: 食品加工与检测, E-mail: jiahongfeng_cq@163.com。

Key words: Kung Pao Chicken; stir-frying; volatile flavor compounds; texture; color

中图分类号: TS251.5+5 文献标识码: A

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2022040344

宫保鸡丁由鸡肉、花生、辣椒等炒制而成,是传统川菜中的代表性菜品之一,其鸡肉鲜美,花生香脆,广受欢迎^[1]。鸡肉中的蛋白质不仅是主要营养物质的来源,也是形成产品品质(质构、风味和色泽)的物质基础^[2]。烹制加热处理会影响鸡肉的质构和风味等,并且引起肌肉中蛋白质的变化,而肌肉蛋白质的降解是其加热过程中的重要生化反应,蛋白质降解也是影响风味和质地的主要因素之一,能够形成多种低分子量化合物,如肽类、氨基酸、醛类、有机酸等重要的风味物质,以及风味前体物^[3]。

肉制品的色泽、风味、质构是评价其品质的重要指标^[2,4,5]。肉制品色泽主要是加工时肌红与血红蛋白的降解与变性、脂肪的氧化反应等过程中形成^[6]。肉类产品的风味源自风味前体物产生一系列复杂的化学反应,生成众多挥发性风味物质,形成肉的风味^[7]。肉类在加工过程中会发生色香味、质地等复杂的变化。孙京新等^[8]的研究表明加工或贮藏条件对鸡肉发色和护色的效果影响显著。杜超等^[9]的研究表明随着鸡汤炖煮次数的增加,挥发性物质种类和含量呈上升趋势;炖煮达到一定次数后,挥发性物质含量基本达到稳定状态。赵电波等^[2]的研究表明大盘鸡成品中游离氨基酸、必需氨基酸和呈味氨基酸的含量比原料鸡肉分别增加了 48.63%、53.78%、55.78%;与炒制后的半成品相比,炖炒加工后鸡肉肌膜发生可见溶解,肌纤维组织结构紧实。Du 等^[10]的研究表明,在反复卤煮过程中,扒鸡中共鉴定出 15 种芳香活性化合物,其浓度增加了 40%以上,尤其是单不饱和烯烃。Zhan 等^[11]的研究表明,道口扒鸡加工过程中挥发性化合物主要包括烃类、醛类、醇类、萜烯类、酮类、杂环类、酯类、酸类和酚类;其中,醛类、醇类和酮类物质含量最丰富。Yao 等^[12]的研究表明,德州扒鸡加工过程中共鉴定出 37 种挥发性物质,包括醛类、醇类、酮类、酯类、萜类、呋喃类和吡嗪类。柳艳霞等^[13]的研究表明在温度为 95 °C 和 85 °C 的卤煮条件下,鸡肉和鸡汤中滋味强度均有显著差异 ($P<0.05$)。栗俊广等^[4]的研究表明鸡肉在炒炖过程中的质构特性、水分含量和不易流动水含量具有高度相关性。

上述研究表明鸡肉在加工过程中其色泽、质构、风味等品质会发生显著变化。但是关于宫保鸡丁品质相关的研究较少,仅有汪长钢等^[14]采用电子舌对宫保鸡丁进行了味觉品质分析。目前未见关于宫保鸡丁烹制过程中色泽、质构和风味品质相关的研究。本研究以宫保鸡丁为研究对象,以色泽、质构、挥发性风味物质为考察指标,根据宫保鸡丁的加工工艺,研究鸡肉在炒制过程中的品质变化规律,弥补相关研究的空白,为宫保鸡丁品质的形成和控制研究,以及工业化产品的开发和品质提升提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鸡胸肉:产地福建福州鸡龄为 45 天的白羽鸡鸡胸肉;干花生:购于龙泉万达永辉超市;干辣椒:购于龙泉万达永辉超市;汉源花椒、葱、姜、蒜:购于龙泉万达永辉超市;食盐:四川久大制盐有限责任公司;食醋:四川保宁醋有限公司;酱油:千禾味业食品股份有限公司;白砂糖:南京甘汁园糖业有限公司;料酒:千禾味业食品股份有限公司;鸡精:上海太太乐福赐特食品有限公司;红薯淀粉:成都达恒毛实业有限公司;菜籽油:益海嘉里粮油工业有限公司。

TMS-PRO 物性分析仪:美国 FTC 公司;D3-P3 全自动色差计:北京兴光测色仪器有限公司;安捷伦-7890B-气相色谱-三重四极杆串联质谱仪:美国安捷伦公司;DB-Wax 中性柱(30

m×0.25 mm×0.25 μm)：美国安捷伦公司；KFS-A 电子秤：凯丰集团有限公司；C21-SC101 电磁炉：杭州九阳生活电器有限公司；DL3336000 测温仪：宁波得力工具有限公司；50/30 μmDVB/CAR/PDMS 固相微萃取头：美国 Supelco 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 宫保鸡丁配方

宫保鸡丁的配方见表 1。

表 1 宫保鸡丁配料表

Table 1 Ingredients list of Kung Pao Chicken

原料	质量 (%)	原料	质量 (%)	原料	质量 (%)
鸡胸肉	100.00	食盐	0.87	红薯淀粉	1.91
干花生	19.57	白砂糖	4.35	料酒	0.65
干辣椒	3.48	味精	0.43	食醋	2.61
花椒	0.43	酱油	2.83	菜籽油	26.09
大葱	30.43	老姜	3.91	大蒜	10.87

注：以鸡胸肉为 100%。

1.2.2 宫保鸡丁制备

鸡胸肉切成 1 cm×1 cm×1 cm 的鸡丁，按照表 1 中的配料，鸡胸肉：菜籽油为 1：0.2609，将油加热至 150 °C，参照 DB51/T 1728-2014 中国川菜经典菜肴制作工艺规范炒制宫保鸡丁。鸡丁倒入锅中炒制 0 min、2 min、4 min、6 min、8 min 时，分别选取不同时间下的鸡丁样品备用，其中炒制 0 min 的生鸡丁作为对照组。

1.2.3 色泽的测定

采用色差计测定鸡丁样品的颜色，测定鸡丁样品的亮度值 (L^*)、红度值 (a^*) 和黄度值 (b^*)。

1.2.4 质构特性的测定

质构仪通过对样品的两次挤压，获得时间与力之间的关系曲线，从而分析出质构参数，如弹性、内聚性及硬度等^[15]。将不同炒制时间下的样品放入质构仪中，加载 P/BS 剪切探头，测试参数设定为：测前速度 1.00 mm/s，测试速度 5.00 mm/s，测后速度 5.00 mm/s，压缩程度 50%，最小感应力为 0.375 N，停顿时间 2 s。获得硬度、内聚性、弹性和咀嚼性 4 个特性。

1.2.5 挥发性风味物质的测定

样品处理：称取切碎后混匀的样品 3.0 g 于 10 mL 顶空瓶中，60 °C 水浴平衡 5 min，顶空萃取 55 min。上机解析 5 min。

GC 条件：色谱柱为 DB-Wax (30 m×0.25 mm×0.25 μm)，载气 He。流速为 1.65 mL/min，进样口温度为 250 °C；升温程序：起始温度为 40 °C，保持 2 min，以 4 °C/min 升到 120 °C，再以 8 °C/min 升到 240 °C，保持 7 min；不分流进样。

MS 条件：电子电离 (electron ionization, EI) 离子源；离子源温度 240 °C；电子能量 70 eV；灯丝电流 150 μA；质量扫描范围：30-450 m/z。

检测结果通过 NIST 2011 图库检索进行物质定性，峰面积归一法进行定量。

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 软件对试验数据进行分析处理，结果以“平均值±标准差”的形式表示。应用 SPSS 26.0 软件对数据进行差异显著性检验，当 $P < 0.05$ 时不同样品之间存在显著差异。

2 结果与分析

2.1 烹制过程中鸡丁样品的色泽变化

炒制过程中宫保鸡丁的色泽变化见表 2。相对于对照组 (炒制 0 min) 鸡丁，炒制后鸡丁

L^* 值增大后明显下降 ($P<0.05$)；鸡丁加热时间处于 2、4 min 时 a^* 值与对照组差异不显著 ($P>0.05$)，加热时间达到 6、8 min 时 a^* 值差异显著 ($P<0.05$)；炒制时间为 2、4 min 时鸡丁 b^* 值轻微波动 ($P>0.05$)，炒制过后鸡丁与对照组比较， b^* 值差异显著 ($P<0.05$)。鸡肉的色差特性与其中存在的色素和肌纤维的光反射特性有直接关系，鸡肉的红色主要由血红蛋白和肌红蛋白共同呈现；炒制过程中出现的蛋白质变性、糖的焦化、美拉德反应与炒制时加入的调味料（酱油等）共同作用^[16]，促成了宫保鸡丁的色泽变化。且在炒制时长在 4 min 内，随炒制时间的延长，鸡丁 L^* 值呈现增大， b^* 值呈现下降的趋势；若炒制的时间过长会呈现一定程度的焦灼且色泽越来越深。

表 2 不同炒制时间对鸡丁色泽的影响

Table 2 Effect of different stir-frying time on color of samples

炒制时间	L^*	a^*	b^*
对照组 (0 min)	34.12±0.09 ^d	3.25±0.90 ^b	18.97±0.38 ^b
2 min	51.89±0.06 ^a	3.13±0.08 ^b	16.11±0.02 ^d
4 min	50.02±0.02 ^b	3.20±0.30 ^b	15.89±0.02 ^d
6 min	44.49±0.04 ^c	4.91±0.07 ^a	17.75±0.16 ^c
8 min	10.12±0.03 ^e	5.74±0.05 ^a	19.37±0.01 ^a

注：同列字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)

2.2 烹制过程中鸡丁样品的质构变化

表 3 不同炒制时间对鸡丁质构特性的影响

Table 3 Effect of different stir-frying time on texture of samples

炒制时间	硬度 (N)	内聚性	弹性 (%)	咀嚼性 (mJ)
对照组 (0 min)	5.54±0.46 ^c	0.13±0.02 ^c	2.36±0.40 ^a	1.15±0.14 ^d
2min	6.58±0.46 ^c	0.14±0.02 ^{bc}	1.71±0.06 ^b	1.49±0.15 ^{cd}
4min	6.85±0.18 ^c	0.17±0.02 ^{abc}	1.80±0.06 ^b	1.85±0.21 ^c
6min	12.96±1.71 ^b	0.18±0.05 ^{ab}	1.91±0.10 ^b	3.61±0.30 ^b
8min	17.11±0.66 ^a	0.19±0.02 ^a	1.56±0.11 ^b	5.15±0.47 ^a

注：同列字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)

表3可知，与对照组相比，原料鸡胸肉在加工成宫保鸡丁的过程中，2、4 min时硬度轻微波动，略有增加 ($P>0.05$)，加热时间达到6、8 min时硬度与对照组差异显著，硬度明显增加；内聚性在炒制过程呈现递增的趋势；弹性在炒制前（对照组）与经过炒制后（2 min）比较显著降低 ($P<0.05$)，炒制过程中略有波动但变化不显著 ($P>0.05$)；宫保鸡丁咀嚼性在炒制前后、炒制过程中差异显著 ($P<0.05$)，整体呈增加趋势。在炒制时，鸡肉中的蛋白质变性收缩、鸡肉水分含量降低、表面硬化，随之引起鸡肉的弹性降低，硬度、咀嚼性增加；调料的使用致使鸡肉表面溶质浓度升高，鸡肉内部的水分透过半透膜由低浓度区域向高浓度区域扩散；溶质浓度升高，离子强度和pH发生改变，打破鸡肉与环境的渗透压平衡，造成鸡肉细胞吸水、失水等^[16]。同时，鸡肉经过热加工处理后蛋白质变性使肌肉组织发生变化^[16-17]，在多种因素的综合作用下宫保鸡丁炒制前后、炒制过程中质构特性出现一系列变化。

2.3 烹制过程中鸡丁样品的挥发性风味物质变化

表 4 不同炒制时间鸡丁中挥发性风味物质及相对含量

Table 4 Relative contents of volatile flavor compounds in samples

类别	编号	化学名称	相对含量 (%)				
			对照组 (0 min)	2 min	4 min	6 min	8 min
醇类	1	芳樟醇	15.58	19.27	21.4	25.52	33.42
	2	3-甲基-1-丁醇	5.1	4.91	6.28	7.33	8.31
	3	2,3-丁二醇	4.42	2.79	8.45	10.7	6.85
	4	正己醇	4.2	22.21	10.32	10.2	2.39
	5	1-壬醇	3.5	1.78	1.74	1.49	0.62
	6	1-辛烯-3-醇	2.85	4.47	1.27	1.43	0.99
	7	庚醇	0.9	1.49	0.73	0.79	—
	8	苯乙醇	0.88	0.91	1.28	1.68	1.71
	9	(E)-2-辛烯-1-醇	0.79	0.86	0.12	0.33	0.33
	10	α -松油醇	0.52	0.48	0.6	0.63	0.83
	11	2-乙基-1-己醇	0.45	—	—	—	—
	12	十八醇	0.44	—	—	—	—
	13	1,4-丁二醇	0.37	0.12	0.1	0.13	0.1
	14	香叶醇	0.34	0.23	0.45	0.46	0.42
	15	(Z)-3-壬烯-1-醇	0.26	—	—	—	—
	16	十二醇	0.26	—	—	—	—
	17	甘油 (丙三醇)	0.23	0.22	0.13	0.19	—
	18	2-庚醇	0.22	—	0.37	—	—
	19	反式-橙花叔醇	0.21	0.1	0.17	0.2	0.26
	20	3-甲基-2-丁烯醇	0.18	—	—	—	—
	21	对薄荷-8-烯-1-醇	0.18	—	0.13	—	—
	22	乙氧基乙二醇	0.15	—	—	—	—
	23	(R,R)-2-甲基-5-硝基-3-己醇	0.15	—	—	—	—
	24	3-辛醇	0.12	—	—	—	—
	25	苯甲醇	—	—	0.1	0.14	0.13
	26	正戊醇	—	1.53	0.89	0.96	0.43
	27	桉树醇	—	0.26	—	—	—
	28	(Z)-2-戊烯醇	—	0.18	—	—	—
	29	4-异丙基-1-甲基环己-2-烯醇	—	0.15	—	0.24	0.31
	30	4-侧柏醇	—	—	0.35	—	—
	31	2-辛烯-1-醇	—	—	0.27	—	—
	32	3,3-二甲基-2-丁醇	—	—	0.17	—	—
	33	癸醇	—	—	0.17	—	—
	34	2,6-二甲基-1,7-辛二烯-3,6-二醇	—	—	0.16	—	—
	35	植物醇	—	—	0.11	—	—

	36	十六醇	—	—	0.18	—	—
	37	2,6-二甲基-3,7-辛二烯-2,6-二醇	—	—	—	0.15	—
	38	十九醇	—	—	—	—	0.13
		小计	42.3	61.96	55.94	62.57	57.23
烃类	39	D-柠檬烯	2.48	1.78	1.2	1.79	2.09
	40	十六烷	3.12	3.26	3.36	0.43	1.87
	41	十四烷	1.43	0.8	0.94	0.88	1.02
	42	α -姜黄烯	0.58	—	0.34	0.36	0.38
	43	2,6,10,14-四甲基十六烷	0.32	—	—	0.5	0.6
	44	1-(1-(甲硫基)丙基)-2-丙烯	0.29	—	—	—	—
	45	β -双沙泊烯	0.24	0.11	0.17	0.17	0.19
	46	α -合金欢烯	0.16	—	0.1	0.18	0.14
	47	4,6-二甲基-十二烷	—	1.36	—	—	—
	48	十二烷	—	0.94	—	—	—
	49	3,8-二甲基-十一烷	—	0.41	—	—	—
	50	2,6,10-三甲基-十二烷	—	0.41	0.87	—	—
	51	2,4,4,6-四甲基-庚-2-烯	—	0.37	—	—	—
	52	桉烯	—	0.35	—	—	—
	53	7-十四碳烯	—	0.33	—	—	—
	54	1,2-环氧十二烷	—	0.13	—	—	—
	55	石竹烯	—	—	0.31	—	—
	56	10-甲基壬烷	—	—	0.21	—	—
	57	角鲨烯	—	—	0.13	—	—
	58	β -月桂烯	—	—	—	—	0.2
	59	1-壬烯	—	—	—	1.97	—
	60	十三烷	—	—	—	1.61	—
	61	β -水芹烯	—	—	—	0.17	—
	62	2-甲基-十四烷	—	—	—	0.13	—
	63	4,11-二甲基-十四烷	—	—	—	—	0.6
64	γ -松油烯	—	—	—	—	0.25	
65	2,10-二甲基-十一烷	—	—	—	—	0.13	
		小计	8.62	10.25	7.63	8.19	7.47
酸类	66	醋酸	17.23	3.34	9.51	6.09	3.03
	67	正十六酸	4.63	2.77	4.37	1.12	0.74
	68	己酸	1.08	0.46	0.61	0.75	0.36
	69	壬酸	0.67	0.35	0.77	0.19	0.23
	70	癸酸	0.65	0.28	0.77	0.19	0.26
	71	十四酸	0.64	0.35	0.76	0.14	0.16
	72	十七烯酸	0.63	—	—	—	—
	73	辛酸	0.6	0.28	0.32	0.27	0.21
	74	油酸	0.59	1.14	0.39	0.18	0.2
	75	十八酸	0.52	0.36	0.69	0.11	—

	76	十二酸	0.37	—	0.16	0.11	0.18
	77	十五酸	0.17	0.3	0.59	—	—
	78	(Z,Z)-9,12-十八碳二烯酸	0.17	0.65	—	—	—
	79	8-甲基壬酸	—	—	0.15	—	—
	80	(Z)-6-十八烯酸	—	0.49	0.61	—	—
	81	L-乳酸	—	0.33	0.33	—	—
	82	4-氧代-戊酸	—	—	0.11	—	—
	83	十一酸	—	—	0.11	—	—
	84	1,2,3-丙二醇,1-乙酸	—	—	—	0.11	—
		小计	27.95	11.1	20.25	9.26	5.37
酯类	85	丁内酯	0.85	—	—	—	—
	86	十一酸十一酯	0.36	—	—	—	—
	87	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	0.3	—	0.13	—	—
	88	2-羟基戊酸甲酯	0.28	0.12	0.12	0.1	0.1
	89	4-甲基-2-氧代戊酸甲酯	0.17	—	—	—	0.77
	90	油酸乙酯	0.15	—	—	—	—
	91	乙二醇月桂酸酯	0.11	—	—	—	—
	92	柠檬酸丁酯	—	0.32	0.73	0.22	0.4
	93	亚硫酸异丁基 2-戊酯	—	0.11	—	—	—
	94	乙酸己基酯	—	—	0.47	—	—
	95	2-羟基丁酸十六酯	—	—	0.13	—	—
	96	乙酸乙酯	—	—	0.1	0.1	—
	97	2-氧代-4-甲基戊酸甲酯	—	—	—	0.34	—
	98	硫代乙酸丙酯	—	—	—	—	2.18
	99	乙酸芳樟酯	—	2.64	1.77	—	1.56
	100	十一烯基乙酸酯	—	—	—	—	0.1
			小计	2.22	3.19	3.45	0.76
醛类	101	十七烷醛	2.93	—	0.18	0.27	0.62
	102	壬醛	2.43	1.02	0.57	1.42	1.44
	103	苯甲醛	1.73	1.78	0.68	1.26	1.42
	104	辛醛	0.84	0.35	0.25	0.43	0.46
	105	苯乙醛	0.81	—	0.33	0.49	0.52
	106	癸醛	0.64	—	0.19	0.2	0.25
	107	庚醛	0.58	—	—	0.1	—
	108	(Z)-壬-2-烯醛	0.29	—	—	0.21	0.14
	109	十四烷醛	0.13	—	—	—	—
	110	反-2-十一烯醛	—	—	—	0.11	—
	111	(E)-2-辛烯醛	—	0.35	0.18	0.28	0.14
	112	柠檬醛	—	0.28	0.38	0.46	0.43
	113	(E)-2-癸醛	—	0.18	0.11	0.26	0.27
	114	反式-2-壬烯醛	—	0.13	—	—	—
	115	十六醛	—	0.11	—	—	—

	116	3,7-二甲基-(E)-2,6-辛二烯醛	—	—	0.98	0.94	—
	117	4-乙基-苯甲醛	—	—	—	0.15	—
	118	十八醛	—	—	—	0.1	—
	119	桃金娘烯醛	—	—	—	—	0.1
		小计	10.38	4.2	3.85	6.68	5.79
酮类	120	3-羟基-2-丁酮	2.26	3.09	2.9	4.58	12.86
	121	6,10-二甲基-5,9-十一烯-2-酮	0.4	—	—	0.1	0.12
	122	2-壬酮	0.29	—	0.12	—	0.24
	123	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.2	0.13	0.13	0.16	0.35
	124	2,3-辛二酮	0.14	—	0.15	0.36	0.16
	125	2-庚酮	—	0.41	—	—	0.11
	126	2,3-己酮	—	0.33	—	—	—
	127	3-辛酮	—	0.32	—	—	—
	128	甲基-2-吡咯基酮	—	0.18	0.24	0.24	0.21
	129	侧柏酮	—	—	0.12	0.1	0.11
	130	2,5-二甲基-4-羟基-3-己酮	—	—	0.15	—	—
	131	1-羟基-2-丙酮	—	—	0.84	3.53	—
	132	3,4-二甲基苯乙酮	—	—	—	0.15	—
			小计	3.29	4.46	4.65	9.22
其他	133	甲氧基苯基-肟	1.36	0.71	0.27	0.32	0.3
	134	二烯丙基二硫	0.5	0.53	0.82	0.67	1.61
	135	1,4-二氯苯	0.21	—	—	—	—
	136	2-异戊基噻吩	0.14	—	—	—	—
	137	2-正戊基呋喃	—	0.37	—	—	—
	138	茴香脑	—	0.19	0.21	0.16	0.18
	139	二丙基二硫	—	—	0.59	—	—
	140	1,3-二氯苯	—	—	0.16	—	—
	141	(E)-1-烯丙基-2-(丙-1-烯-1-基)二硫化物	—	—	—	—	0.16
	142	1,2-二氯-苯	—	—	—	0.22	0.19
		小计	2.21	1.8	2.05	1.37	2.44

采用 GC-MS 检测不同炒制时间下宫保鸡丁样品中的挥发性风味物质。从表 4 可知，鸡丁中共检测出 142 种化合物，分别是 38 种醇类物质、27 种烃类物质、19 种酸类物质、16 种酯类物质、19 种醛类物质、13 种酮类物质和 10 种其他类物质。对照组（鸡肉生样）、加热时间分别为 2、4、6、8 min 的宫保鸡丁鸡肉共有的挥发性风味物质为 32 种。加热时间的不同对宫保鸡丁中挥发性物质的影响不同。表 4 列出了不同加热时间下宫保鸡丁中检测出的不同化合物的种类与数量。从统计结果可以看出，对照组中共有 70 种挥发性风味物质，主要是醇类物质、酸类物质和醛类物质（相对含量分别为 42.30%、27.95%和 10.38%）；加热时间 2 min 鸡肉中检测出 65 种挥发性物质，主要是醇类物质、酸类物质、烃类物质（相对含量分别为 61.96%、11.10%、10.25%）；加热时间 4 min 鸡肉中检测出 81 种挥发性物质，主要是醇类物质、酸类物质（相对含量分别为 55.94%、20.25%）；加热时间 6 min、8 min 鸡肉中分别检测出 71、66 种挥发性物质，主要是醇类物质、酸类物质、酮类物质（相对含量分别为 62.57%、9.26%、9.22%）；醇类物质、酮类物质（相对含量分别为 57.23%、14.16%）。

对照组中的挥发性风味物质含量较高的是：醋酸、芳樟醇（相对含量分别为 17.23%和 15.58%）。加热时间 2 min 鸡丁样品中挥发性风味物质含量较高的是：正己醇、芳樟醇（相对含量分别为 22.21%和 19.27%）。加热时间 4 min 鸡丁样品中挥发性风味物质含量较高的是：芳樟醇、正己醇、醋酸（相对含量分别为 21.40%、10.32%和 9.51%）加热时间 6 min 鸡丁样品中挥发性风味物质含量较高的是：芳樟醇、2,3-丁二醇、正己醇、3-甲基-1-丁醇、醋酸（相对含量分别为 25.52%、10.70%、10.20%、7.33%和 6.09%）。加热时间 8 min 鸡丁样品中挥发性风味物质含量较高的是：芳樟醇、3-羟基-2-丁酮、3-甲基-1-丁醇（相对含量分别为 33.42%、12.86%和 8.31%）。

2.3.1 烹制过程中鸡丁样品的醇类挥发性风味物质变化

醇类物质主要来源于脂肪的氧化分解。对照组、加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品中共检测出 38 种醇类物质，其中有 24 种醇类物质是生鸡肉中就含有。对照组中含量最多的为芳樟醇（好闻的铃兰型香^[18]），炒制过后鸡丁样品中除芳樟醇外，3-甲基-1-丁醇、2,3-丁二醇（令人愉快的奶油香^[19]）和正己醇含量较多。从表 4 中可以看出，与对照组中含有的醇类物质相比，炒制 4 min 后，鸡肉中醇类物质种类基本保持不变，原因可能与加入的芡汁有关，加热时间为 2 min、6 min、8 min 的样品中醇类物质种类出现不同程度的降低。对照组、加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品中醇类物质的相对含量分别为：42.30%、61.96%、55.94%、62.57%、57.23%。对照组的醇类物质中相对含量较高的挥发性风味物质是芳樟醇，相对含量为 15.58%，加热时间为 2 min、6 min、8 min 的样品中芳樟醇的相对含量分别为 19.27%、21.40%、25.52%、33.42%，均有不同程度上升。从相对含量上来看，炒制对醇类物质影响较大，随着加热时间的延长，影响越大；从种类上来看，炒制时间的延长对醇类物质影响较小。

2.3.2 烹制过程中鸡丁样品的烃类挥发性风味物质变化

烃类化合物可由脂肪及氨基酸氧化产生^[20]，在风味中贡献度低^[21]。对照组、加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品中，共检测出 27 种烃类物质，共同存在的有 4 种烃类物质。炒制前后烃类物质种类差异较大，但随着炒制的进行，烃类物质种类差异较小。其原因可能是烃类物质大多在加热初期形成。对照组、加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品中烃类物质含量分别为：8.62%、10.25%、7.63%、8.19%、7.47%。对照组中相对含量最高的烃类物质是十六烷，相对含量为 3.12%，经过不同时间的炒制后，相对含量分别为：3.26%、3.36%、0.43%、1.87%，炒制 6 min 后含量最低。

2.3.3 烹制过程中鸡丁样品的酯类挥发性风味物质变化

脂质氧化生成的醇类物质和游离脂肪酸之间相互反应可生成一定的酯类物质^[22]。来源于长链脂肪酸与醇生成的酯具有油脂味道，短链脂肪酸与醇生成的酯具有果香气息。从表 4 中可以看出，对照组、加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品中酯类物质的相对含量分别为：2.22%、3.19%、3.45%、0.76%、5.11%。从表 4 中可以看出，对照组、加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品中酯类物质的种类分别为：7、4、6、4、6。酯类物质种类和含量波动较大。对照组中，主要的酯类物质是丁内酯（相对含量为 0.85%），经过炒制之后相对含量降至 0。同时，在炒制过程中产生了一些在对照组中不存在的酯类物质。炒制时间达到 8 min 时，产生了较多此前不存在的硫代乙酸丙酯和乙酸芳樟酯（相对含量分别为 2.18%和 1.51%）。

2.3.4 烹制过程中鸡丁样品的酸类挥发性风味物质变化

酸类物质中相对含量最高的是对照组中的醋酸（17.23%），它也是加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品共有的酸类物质，醋酸的相对含量分别为 3.34%、9.51%、6.09%、3.03%。对照组、加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品中，酸类物质的相对总含量分别为：27.95%、11.10%、20.25%、9.26%和 5.37%。酸类物质随着炒制

的进行挥发到空气中,其含量降低,在接近 4 min 时加入的芡汁再次引入了酸类物质,其含量显著升高,但随着炒制的继续,其含量仍然呈现下降趋势。其种类在前期高温炒制时由相应的醇和醛等氧化生成而增加,但随着炒制时间的延长最终呈现出减少的趋势。

2.3.5 烹制过程中鸡丁样品的醛类挥发性风味物质变化

醛类物质大多也来自于脂肪的氧化分解^[23]。醛类物质挥发性强,是熟肉产品中的重要风味化合物^[24]。对照组、加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品中,醛类物质的种类分别为 9、8、10、15、11;相对含量分别为 10.38%、4.20%、3.85%、6.68%、5.79%。其中,共有的醛类物质有 3 种:壬醛、苯甲醛、辛醛;对照组相对含量最高的醛类物质是十七醛、壬醛,炒制之后,相对含量均有不同程度的降低。其中壬醛清香风味明显,主要来源于油酸氧化产生^[25]。鸡肉炒制前后醛类物质种类略有增加,但相对含量较对照组有明显下降。

2.3.6 烹制过程中鸡丁样品的酮类挥发性风味物质变化

酮类物质来源于不饱和脂肪受热氧化后降解产生^[26],和美拉德反应产生^[27],清香味明显,对风味起到微小作用,但是一部分酮类物质是生成杂环类化合物的重要中间物,对肉香的形成起着重要作用^[27]。由表 4 可知,对照组中含有 5 种酮类物质,总相对含量为 3.29%;加热炒制 2 min、4 min、6 min、8 min 后,酮类物质的种类分别是:6、8、8、8;总相对含量分别是:4.46%、4.65%、9.22%、14.16%。其中最主要的酮类物质均为 3-羟基-2-丁酮,相对含量分别为:2.26%、3.09%、2.90%、4.58%、12.86%,随着炒制时间的延长,其含量逐渐升高。

2.3.7 烹制过程中鸡丁样品的其他类挥发性风味物质变化

其他类挥发性风味物质共检出 10 种。对照组、加热时间分别为 2 min、4 min、6 min、8 min 的宫保鸡丁样品中种类分别为:4、4、5、4、5;总相对含量分别为:2.21%、1.80%、2.05%、1.37%、2.44%。

其中共有的化合物是甲氧基苯基-肟、二烯丙基二硫。对照组中相对含量最高的化合物是甲氧基苯基-肟、二烯丙基二硫,相对含量为 1.36%、0.50%。结合表 4 可知,炒制之后,宫保鸡丁样品中被检出的其他类物质种类各不相同,和对照组样品差异性很大,原因可能为炒制条件下各种物质相互作用,不断生成不同种类的其他类物质。

3 结论

对不同炒制时间(2 min、4 min、6 min、8 min)宫保鸡丁色泽、质构以及挥发性风味物质分析的结果表明,烹制会导致宫保鸡丁的 L^* 值明显下降, a^* 值明显增加, b^* 值呈现波动性变化,并在烹制 8 min 时出现明显的增加,说明烹制过程对宫保鸡丁色泽的影响较为明显。

烹制过程对宫保鸡丁质构具有明显的影响。宫保鸡丁的硬度、内聚性和咀嚼型随着烹制时间的延长出现明显的增加;弹性虽然有一定的变化,但是烹制后的宫保鸡丁样品的弹性没有差异,与对照组相比差异显著,说明烹制加热会导致弹性下降。

宫保鸡丁样品中共检测出 142 种挥发性风味物质,主要是醇类、酸类、酮类、醛类和烃类。未加热的对照组中主要是醇类物质、酸类物质和醛类物质(相对含量分别为 42.30%、27.95% 和 10.38%);加热时间 2 min 鸡肉中主要是醇类物质、酸类物质、烃类物质(相对含量分别为 61.96%、11.10%、10.25%);加热时间 4 min 鸡肉中主要是醇类物质、酸类物质(相对含量分别为 55.94%、20.25%);加热时间 6 min、8 min 鸡肉中主要是醇类物质、酸类物质、酮类物质(相对含量分别为 62.57%、9.26%、9.22%);醇类物质、酮类物质(相对含量分别为 57.23%、14.16%)。醇类物质是包括对照组在内的所有样品中相对含量最高的挥发性物质。与对照组样品相比,烹制加工会导致醇类物质的增加。与对照组相比,烹制加工会导致样品中酸类物质的减少。在烹制过程中,烹制 4 min 的样品中酸类物质相对含量与其他烹制样品相比有明显增加,继续烹制会导致酸类物质相对含量减少。烹制加工会导致酮类物质相对含量持续且大幅增加,说明烹制加工可能会促进酮类物质的生成。与对照组相比,烹制加工会导

致醛类物质相对含量的降低。烃类物质的相对含量在烹制 2 min 的样品中达到最高, 其余样品中其相对含量较为稳定。

本研究初步揭示了宫保鸡丁在烹制加工过程中色泽、质构和挥发性物质的变化规律, 但是并未深层次的探讨色泽、质构和挥发性物质变化的内在机理。在未来的研究中有必要深入研究宫保鸡丁品质变化的影响因素及其影响程度, 从而为宫保鸡丁品质的控制、质量改进提供参考。

参考文献

- [1]黄静, 罗丹, 邓楷, 等. 工业化宫保鸡丁产品中莴笋前处理加工品质关键技术研究[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(5): 25-31.
- Huang J, Luo D, Deng K, et al. The research of key technologies for pretreatment of lettuce in industrial kung pao chicken cuisine[J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2018, 54(5): 25-31.
- [2]赵电波, 栗俊广, 柳红莉, 等. 大盘鸡炒炖加工过程中蛋白质降解和微观结构变化[J]. 食品与机械, 2021, 37(12): 40-45.
- Zhao D B, Li J G, Liu H L, et al. Changes of proteolysis and microstructure of Dapanji during the stir-fried and stewed processing[J]. Food & Machinery, 2021, 37(12): 40-45.
- [3]周婷, 陈霞, 刘毅, 等. 加热处理对北京油鸡和黄羽肉鸡质构以及蛋白特性的影响[J]. 食品科学, 2007, 28(12): 74-77.
- Zhou T, Chen X, Liu Y, et al. Effects of heat treatment on breast meat texture changes and protein properties of Beijing fatty chicken and yellow plumage broiler[J]. Food Science, 2007, 28(12): 74-77.
- [4]栗俊广, 柳红莉, 相启森, 等. 鸡肉炒炖加工过程中品质的变化[J]. 食品工业科技, 2017, 38(20): 6-10.
- Li J G, Liu H L, Xiang Q S, et al. Changes of quality in the process of chicken fried and stewed[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(20): 6-10.
- [5]Jara M, Silvia L B, Ana F M, et al. Color changes in beef meat during pan cooking: kinetics, modeling and application to predict turn over time[J]. European Food Research and Technology, 2021, 247(11): 2751-2764.
- [6]程学勋, 刘巧瑜, 陈海光, 等. 卤牛肉加工过程中色度与质构特性的变化[J]. 农产品加工, 2019, (22): 57-60.
- Cheng X X, Liu Q Y, Chen H G, et al. Changes of color parameters and TPA textural attributes of braised beef during processing[J]. Farm Products Processing, 2019, (22): 57-60.
- [7]李少颢. 肉类风味影响因素研究进展[J]. 中国调味品, 2020, 45(2): 188-191.
- Li S J. Research progress of meat flavor influencing factors[J]. China Condiment, 2020, 45(2): 188-191.
- [8]孙京新, 罗欣, 周光宏, 等. 不同加工和贮藏条件对鸡肉制品颜色的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 69-71+75.
- Sun J X, Luo X, Zhou G H, et al. Effect of different processing and storage conditions on the color of chicken product[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(6): 69-71+75.
- [9]杜超, 戚军, 姚文生, 等. 基于气相-离子迁移谱分析反复炖煮过程中鸡肉风味物质的变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(9): 265-271.
- Du C, Qi J, Yao W S, et al. Detection of volatile compounds in re-stewed chicken by GC-IMS[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(9): 265-271.

- [10]Du C, Qi J, Yang C, et al. Enrichment of taste and aroma perceptions in chicken meat stewed in braised soup used repeatedly[J]. Journal of Food Science, 2022, 87(6): 2563-2577.
- [11]Zhan F L, Sun L X, Zhao G M, et al. Multiple Technologies Combined to Analyze the Changes of Odor and Taste in Daokou Braised Chicken during Processing[J]. Foods, 2022, 11(7): 963.
- [12]Yao W S, Cai Y X, Liu D Y, et al. Analysis of flavor formation during production of Dezhou braised chicken using headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry (HS-GC-IMS)[J]. Food Chemistry, 2022, 370: 130989.
- [13]柳艳霞, 于家欢, 赵改名, 等. 基于多元统计联合分析的卤煮鸡肉与鸡汤滋味差异研究[J]. 河南农业大学学报, 2022, 56(2): 301-311.
- Liu Y X, Yu J H, Zhao G M, et al. Study on taste characteristics differences between braised chicken and its broth based on multivariate statistical analysis[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2022, 56(2): 301-311.
- [14]汪长钢, 贾红亮, 潘妍, 等. 基于电子舌对 27 份宫保鸡丁样品进行味觉品质分析[J]. 食品安全导刊, 2021(20): 118-120.
- Wang C G, Jia H L, Pan Y, et al. Taste quality analysis of 27 Kung Pao Chicken samples based on electronic tongue[J]. China Food Safety Magazine, 2021(20): 118-120.
- [15]张秋会, 宋莲军, 黄现青, 等. 质构仪在食品分析与检测中的应用[J]. 农产品加工, 2017, 446(24): 58-62.
- Zhang Q H, Song L J, Huang X Q, et al. Implication of texture analyzer in food analysis and detection[J]. Farm Products Processing, 2017, 446(24): 58-62.
- [16]高爽, 沈菲, 罗瑞明, 等. 新疆大盘鸡炒制过程中香气形成与品质的关联性分析[J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 38-44.
- Gao S, Shen F, Luo R M, et al. Correlation analysis between aroma formation and quality of Xinjiang big plate chicken during cooking[J]. Meat Research, 2020, 34(11): 38-44.
- [17]侯大军, 杨雨馨, 范淑英, 等. 香辣鸡丁加工工艺研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(4): 78-87.
- Hou D J, Yang Y X, Fan S Y, et al. Study on the processing technology of spicy chicken snack food[J]. Journal of Southwest University(Natural Science Edition), 2022, 44(4): 78-87.
- [18]盛金凤, 陈坤, 唐雅园, 等. 不同干燥方式茉莉花理化性质及挥发性成分分析[J/OL]. 现代食品科技. [2022-07-04]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.8.1033>.
- Sheng J F, Chen K, Tang Y Y, et al. Analysis of physicochemical properties and volatile components of Jasmine under different drying methods[J/OL]. Modern Food Science and Technology. [2022-07-04].<https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.8.1033>.DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.8.1033.
- [19]王斌, 许浩, 徐俊, 等. 内蒙古野葱干的特征挥发性香气成分分析[J/OL]. 食品工业科技. [2022-07-04]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022020214>.
- Wang B, Xu H, Xu J, et al. Analysis of characteristic volatile aroma components in Inner Mongolia dried *Allium Chrysanthum*[J/OL]. Science and Technology of Food Industry. [2022-07-04]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022020214>. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2022020214.
- [20]Stahnke L H. Dried sausages fermented with staphylococcus xylosus at different temperatures and with different ingredient levels[J]. Meat Science, 1995, 41(2): 211-223.
- [21]孙宝国, 何坚. 香料化学与工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 85-87.
- Sun B G, He J. Spice chemistry and technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003: 85-87.
- [22]朱文政, 严顺阳, 徐艳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同烹制时间红烧肉挥发性风

味成分[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 247-253.

Zhu W Z, Yan S Y, Xu Y, et al. Analysis of volatile flavor components of braised pork with different cooking time by SPME-GC-MS[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(2): 247-253.

[23]Yang Y, Zhang X, Wang Y, et al. Study on the volatile compounds generated from lipid oxidation of Chinese bacon (unsmoked) during processing[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2017, 119: 1600512.

[24]刘登勇, 赵志南, 吴金城, 等. 基于 SPME-GC-MS 分析熏制材料对熏鸡腿挥发性风味物质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 220-227.

Liu D Y, Zhao Z N, Wu J C, et al. Effects of different smoking materials on volatile flavor compounds in smoked chicken thighs[J]. Food Science, 2019, 40(24): 220-227.

[25]Tanimoto S, Kitabayashi K, Fukusima C, et al. Effect of storage period before reheating on the volatile compound composition and lipid oxidation of steamed meat of yellowtail *Seriola quinqueradiata*[J]. Fisheries Science, 2015, 81(6): 1145-1155.

[26]Ruiz J, Ventanas J, Cava R. New device for direct extraction of volatiles in solid samples using SPME[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2001, 49(11): 5115-5121.

[27]Wettasinghe M, Vasanthan T, Temelli F, et al. Volatiles from roasted by products of the poultry processing industry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(8): 3485-3492.