

间歇式蒸微组合加热对排骨品质的影响

陈艳萍¹, 许艳顺^{*1}, 曹亚裙^{2,3}, 方堃^{2,3}, 黄闻霞^{2,3}, 夏文水¹, 姜启兴¹

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 浙江省健康智慧厨房系统集成重点实验室, 浙江 宁波 315336;

3. 宁波方太厨具有限公司, 浙江 宁波 315336)

摘要: 组合应用气蒸和微波两种方式对排骨进行加热处理, 研究间歇式蒸微组合方式对烹饪排骨理化指标、营养成分质量分数及组成、蛋白消化率等品质特性的影响。结果表明: 相比于单独的微波和蒸制, 间歇式蒸微组合(先微 4 min 再蒸 6 min)烹饪条件下, 排骨中水分质量分数、嫩度、油酸、棕榈酸、胶原蛋白质量分数和胰蛋白消化率有明显提高。在此条件下, 排骨中总巯基质量分数相比于单独的蒸制提高了 60.1%, 羰基质量分数降低了约 35.3%。与传统蒸制排骨相比, 适当的间歇式蒸微组合加热不仅可以显著提高排骨烹饪效率, 而且烹制排骨具有较好嫩度和营养价值。

关键词: 间歇式蒸微组合; 排骨; 脂肪酸; 蛋白质; 营养

中图分类号: TS 205.9 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.01.017

Effect of Intermittent Combination of Microwave and Steam Cooking on Quality of Pork Ribs

CHEN Yanping¹, XU Yanshun^{*1}, CAO Yaqun^{2,3}, FANG Kun^{2,3},
HUANG Wenxia^{2,3}, XIA Wenshui¹, JIANG qixing¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Key Laboratory of Healthy & Intelligent Kitchen System Integration, Ningbo 315336, China; 3. Fotile Kitchenware Ltd, Ningbo 315336, China)

Abstract: This study evaluated the influence of intermittent combination of microwave and steam cooking on change of fat acid, protein and sensory properties in pork ribs. From the results, the tenderness, water, oleic acid, palmitic acid, collagen content and vitro digestibility trypsin of pork ribs on combination of microwave and steam cooking (microwaving for 4 min followed by steaming for 6 min) increased significantly. Furthermore, total free thiol group content was higher (60.1%), and carbonyl contents were lower (35.3%) comparing with individual steaming. Intermittent combination of microwave and steam cooking could increase the cooking efficiency and have positive influence on tenderness and nutrition of pork ribs.

Keywords: Intermittent combination of microwave and steam cooking, pork ribs, fat acid, protein, nutrition

收稿日期: 2016-09-23

基金项目: 浙江省博士后优先资助项目(BSH1502016)。

* 通信作者: 许艳顺(1981—), 男, 博士, 副教授, 主要从事食品加工技术研究。E-mail: xuys@jiangnan.edu.cn

引用本文: 陈艳萍, 许艳顺, 曹亚裙, 等. 间歇式蒸微组合加热对排骨品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(01): 114-118.

肉类食物是提供人们蛋白质的重要来源。烹饪过程中肉质的变化主要与肉的种类、加热速率、加热温度、加热时间和烹饪方式有关^[1-3]。

烧制排骨是一种营养美味的中国家庭菜肴。蒸制和微波是两种主要的家用烹饪方式,并且它们有着各自的特点。蒸制加热排骨受热较均匀,失水较少,口感好,但通常需要较长的烹饪时间。微波加热有加热速率快和烹饪时间短的优势^[4],但微波加热过程中伴有严重的水分损失,食物口感较差。因此,将气蒸和微波两种加热方式组合应用食物烹饪将有助于利用两种不同加热方式的优势,在提高传统蒸制排骨效率的基础上获得较好的食用品质。

尽管目前应用单独蒸制和微波加热食物的研究已有较多报道,但将微波和气蒸组合应用于肉类食物烹饪的报道还很少,作者以排骨为原料,研究蒸微组合加热方式对排骨蒸煮损失、持水性、质构等物理特性、脂肪酸组成、蛋白质氧化及组成和蛋白消化率的影响,并与传统单一蒸制和微波排骨进行比较。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜猪排骨(肋骨,长3~4 cm,厚1 cm左右):爱森肉食有限公司产品。

Agilent 1100 安捷伦氨基酸自动分析仪:美国安捷伦科技有限公司;产品 F-7000 荧光光谱仪:日立公司产品;气相色谱仪 GC-2010:岛津国际贸易(上海)有限公司产品;蒸微一体机(ZW-D1):宁波方太厨具有限公司产品。

1.2 实验方法

1.2.1 加热处理 取新鲜排骨约 300 g,平铺于盘中,将数字温度计(精确度为 0.1 ℃)的探头插入排骨的几何中心,将盘子放入宁波方太蒸微一体机(ZW-D1)中。通过感官评价成熟度和肌肉中心温度确定达到相近成熟度的 4 种加热方式:1. 蒸制 25 min;2. 先蒸 6 min 后微 4 min;3. 先微 4 min 后蒸 6 min;4. 微波 6 min。加热结束后,用冰快速冷却排骨。每个加热处理重复 3 次。

1.2.2 蒸煮损失和水分质量分数测定 蒸煮损失测定依据汤亦悠等^[5]的方法。蒸煮损失按如下公式计算:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = (m_1 - m_2) \times 100 / W_1$$

式中: m_1 为加热前排骨的质量(g); m_2 为加热后排骨的质量(g)。

水分质量分数依据 GB5009.3-2010 恒重干燥法。每组重复 3 次。

1.2.3 质构的测定 质构的测定依据 Becker 等^[3]的方法,并适当修改。采用 TA.XTPlus 物性测定仪,使用 A/CKB 刀头。测试条件如下:测试前探头下降速度为 2 mm/s,测试过程中探头速度为 1 mm/s,感应应力为 50 g。每组样品重复 8 次。

1.2.4 脂肪酸组成分析 采用索氏抽提法提取粗脂肪,然后脂肪甲酯化后进行气相分析。进样量为 0.4 μ L,色谱条件如下:色谱柱:PEG 20M,30 m $\times$ 0.32 mm,液膜厚度 0.25 μ m。载气:氮气,流量 3.0 mL/min,采用程序升温:起始温度 120 ℃,保留 5 min,10 ℃/min,至 190 ℃(1 min),2 ℃/min,至 220 ℃(20 min)。采用面积归一法计算脂肪酸的质量分数。

1.2.5 蛋白总巯基质量分数和羰基质量分数的测定 蛋白总巯基质量分数的测定依照 Xu 等^[6]的方法。每组样品重复测定 3 次。

1.2.6 胶原蛋白质量分数和组成 总胶原蛋白质量分数的测定依照 GB/T 9695.23-2008,依据羟脯氨酸含量推算胶原蛋白质量分数,总胶原蛋白质量分数的计算换算系数为 7.25。胶原蛋白的提取依据 Yoshimura 等^[9]的方法,将得到的胶原蛋白冷冻干燥后进行氨基酸分析。

1.2.7 蛋白消化率的测定 蛋白消化率的测定依据 Bax 等^[10]的方法。每个实验样品重复 3 次。

1.3 数据处理

结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示,数据分析用 SPSS 11.0 软件进行处理,用 Duncan's 多重分析进行组间显著性检验,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 烹饪方式对排骨水分质量分数与蒸煮损失的影响

如表 1 所示,不同烹饪方式中排骨蒸煮损失和水分质量分数有显著性差异。加热后排骨有明显蒸煮损失,加热引起肌原纤维的收缩和蛋白的变性,导致持水性降低,进而引起水分迁移与蒸发^[11-13]。加热过程中一些脂肪从细胞中释放出来,也会造成蒸煮损失的增加^[12]。蒸微组合加热后,肉中水分质量分数与微波加热后有显著性差异。但不同烹饪方式加

热后蒸煮损失和水分质量分数的变化趋势不一致,这主要是由于加热过程中脂肪的析出造成的。从表中可以看到加热后脂肪含量有一定降低的趋势,并且加热后蛋白含量有一定增加,这可能与加热过程

中脂肪的析出有关。由结果可知,适当的蒸微组合(先微 4 min 再蒸 6 min)与微波加热相比可以减少加热过程中水分流失,达到与单独蒸制相当的水分质量分数,但加热时间比单独蒸制缩短约 60%。

表 1 烹饪方式对排骨蒸煮损失和水分质量分数的影响

Table 1 Effect of cooking methods on cooking loss, water, fat and protein content in pork ribs

	蒸煮损失率/%	质量分数/%		
		水分	脂肪(干基)	蛋白质(干基)
蒸 25 min	26.20±2.28 ^a	49.03±0.83 ^c	39.01±1.35 ^c	56.91±0.57 ^b
先蒸 6 min 再微 4 min	32.79±0.93 ^b	47.37±0.22 ^b	36.16±2.67 ^b	58.15±0.31 ^c
先微 4 min 再蒸 6 min	31.04±1.12 ^b	49.85±0.86 ^c	35.80±0.75 ^a	59.65±0.04 ^d
微 6 min	34.63±1.77 ^b	43.39±0.93 ^a	40.37±1.13 ^d	56.66±0.18 ^b
鲜肉	0	60.53±1.35 ^d	41.07±1.05 ^e	55.10±0.58 ^a

2.2 烹饪方式对排骨肉质构的影响

质构作为肉感官特性的评价指标,可间接反应肌原纤维蛋白的降解和肌肉纤维收缩^[12]。从表 2 中可以看出,与单独蒸或微波加热相比,蒸微组合加热排骨肉的硬度和咀嚼性较小,单独微波加热肉的硬度最大。Lorenzo 等^[12]也发现相比于其他的烹饪方式(烤制、油炸等),微波烹饪后羊肉的硬度最大。适当的蒸微组合(先微 4 min 再蒸 6 min)相比于单独蒸制,肉硬度降低 21.73%。不同蒸微组合顺序对肉的硬度也有显著影响。结果表明,适当蒸微组合在增加加热效率的同时,也可显著提高肉的嫩度。

表 2 烹饪方式对排骨质构的影响

Table 2 Effect of different cooking methods on change of texture of pork ribs

烹饪方式	硬度	咀嚼性
蒸 25 min	1882.65±206.02 ^b	2693.13±764.15 ^b
先蒸 6 min 再微 4 min	1742.09±147.09 ^b	2490.91±100.98 ^b
先微 4 min 再蒸 6 min	1473.20±45.70 ^a	2441.84±238.88 ^a
微 6 min	2297.4±170.32 ^c	2566.75±172.61 ^b

2.3 烹饪方式对脂肪酸组成的影响

脂肪酸组成是评价食物营养品质特性的重要指标。如表 3 所示,排骨中共检测到 13 种脂肪酸,生排骨中主要脂肪酸是棕榈酸(质量分数 25.9%)、硬脂酸(质量分数 13.7%)和油酸(质量分数 45.5%),Li 等^[14]在猪肉脂肪酸的研究中发现相同结果。采用不同烹饪方式加热后亚油酸和亚麻酸质量分数发生不同程度变化。Salcedo-Sandoval 等^[15]在不同烹饪方式对猪肉脂肪脂肪酸影响的研究中也发现不同烹饪方式对这些脂肪酸发生不同程度的增加,

这是由于蒸煮损失过程中脂肪酸的保留不同。不同烹饪方式对排骨总饱和脂肪酸含量没有明显影响,而不同加热组排骨中不饱和脂肪酸含量有一定的差异,其中蒸制排骨中不饱和脂肪酸较高,且蒸微组合(先微 4 min 再蒸 6 min)排骨中不饱和脂肪酸质量分数与单独蒸制差异不大。与生鲜肉相比,加热后排骨中一些脂肪酸(癸酸、油酸、肉豆蔻酸、棕榈酸)质量分数降低,这与脂肪酸氧化有关^[16]。

2.4 烹饪方式对蛋白总巯基和羰基质量分数的影响

蛋白总巯基质量分数与羰基质量分数可表征蛋白的氧化程度。排骨加热后蛋白总巯基质量分数均显著降低,这与 Sante-Lhoutellier 等^[8]的结论一致。经蒸微组合(先微 4 min 再蒸 6 min)加热后排骨中蛋白总巯基含量显著高于单独蒸制和微波,这可能是蒸制时间比较长和微波比较剧烈引起的。蒸制加热后,蛋白中羰基质量分数最高,是生肉中羰基质量分数的 2.6 倍,相比于其他烹饪方式,蒸微组合(先微 4 min 再蒸 6 min)蛋白羰基质量分数最低,是生肉中蛋白羰基质量分数的 1.7 倍。Roldan 等^[17]在不同温度时间组合对羊肉蛋白氧化影响的研究中也发现蛋白羰基质量分数随加热时间延长而增加。不同烹饪方式加热后,蛋白中羰基质量分数有显著性差异。合适蒸微组合烹饪方式可以降低蛋白氧化,有利于提高烹饪排骨品质。

2.5 烹饪方式对排骨胶原蛋白及其组成的影响

如表 4 所示,加热后排骨中胶原蛋白质量分数显著增加,这可能是由于加热会促进结缔组织和细胞基质中胶原蛋白的释放引起的。此外,蒸微组合加热后,排骨中胶原蛋白质量分数显著高于单独的

蒸制和微波加热。从胶原蛋白氨基酸组成结果看来, 加热后脯氨酸和甘氨酸质量分数明显下降, 这与氨基酸氧化有关^[18]。合适的蒸微组合(先微 4 min 再蒸 6 min)加热后排骨中胶原蛋白必需氨基酸(除色氨酸)总质量分数(24.15%)和单独蒸制的质量分数(24.28%)接近。由此可以看出, 蒸微组合(先微 4

min 再蒸 6 min)可以显著提高排骨肉中胶原蛋白质量分数。

2.6 烹饪方式对排骨蛋白消化率的影响

蛋白的消化率是评价蛋白质营养价值的重要指标。加热后肌原纤维蛋白的胃蛋白酶和胰蛋白酶消化率显著下降, 这和 Sante-Lhoutellier 等^[8]的发现

表 3 烹饪方式对排骨脂肪酸组成的影响

Table 3 Effect of cooking methods on fat acid composition in pork ribs

脂肪酸		质量分数/%				
		蒸 25 min	先蒸 6 min 再微 4 min	先微 4 min 再蒸 6 min	微 6 min	鲜肉
C _{10:0}	癸酸	0.07	0.065	0.069	0.067	0.076
C _{12:0}	月桂酸	0.065	0.062	0.062	0.067	0.11
C _{14:0}	肉豆蔻酸	1.211	1.207	1.192	1.201	1.257
C _{16:0}	棕榈酸	24.613	25.052	25.061	25.003	25.878
C _{16:1}	棕榈油酸	2.044	1.796	2.043	1.961	2.27
C _{18:0}	硬脂酸	13.468	14.763	14.357	14.315	13.666
C _{18:1}	油酸	43.334	42.456	43.817	43.445	45.458
C _{18:2}	亚油酸	12.791	12.305	11.143	11.652	9.308
C _{18:3}	亚麻酸	0.637	0.633	0.503	0.502	0.4
C _{20:0}	花生酸	0.198	0.231	0.259	0.248	0.221
C _{20:1}	二十碳烯酸	0.746	0.693	0.758	0.775	0.73
C _{20:2}	二十碳二烯酸	0.586	0.522	0.492	0.526	0.417
C _{20:4}	花生四烯酸	0.238	0.216	0.244	0.238	0.19
饱和脂肪酸		28.201	28.413	28.686	28.547	29.812
不饱和脂肪酸		60.376	58.621	59	59.099	58.773

表 4 不同烹饪方式对排骨胶原蛋白质量分数与组成的影响

Table 4 Effect of cooking methods on collagen content and collagen composition in pork ribs

氨基酸	质量分数/%				
	蒸 25 min	先蒸 6 min 再微 4 min	先微 4 min 再蒸 6 min	微 6 min	鲜肉
胶原蛋白	14.12±0.19 ^c	15.60±0.12 ^d	16.86±0.19 ^c	11.72±0.10 ^b	9.73±0.04 ^a
天冬氨酸	7.82	7.88	7.78	7.72	6.42
谷氨酸	12.56	12.71	12.62	12.52	11.11
丝氨酸	3.52	3.38	3.40	3.19	2.89
组氨酸	1.46	1.52	1.47	1.42	0.92
甘氨酸	20.38	20.89	20.57	19.42	25.41
苏氨酸	2.33	2.18	2.27	2.22	1.69
精氨酸	8.34	7.14	8.40	8.17	8.10
丙氨酸	9.37	9.41	9.35	8.80	10.49
酪氨酸	1.46	1.65	1.42	1.59	0.84
半胱氨酸	0.01	0.07	0.11	0.13	0.03
缬氨酸	4.46	4.65	4.44	4.29	4.15
蛋氨酸	1.25	1.53	1.21	1.47	0.55
苯丙氨酸	3.37	3.41	2.97	3.26	2.70
异亮氨酸	2.76	2.76	2.70	2.75	1.86
亮氨酸	5.34	5.42	5.28	5.26	3.83
赖氨酸	4.77	3.33	4.73	4.90	3.69
脯氨酸	10.80	12.07	11.26	12.90	15.32
总含量	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

一致,这主要是由于蛋白变性所致。相比于单独的蒸制和微波,蒸微组合加热后排骨中蛋白的羰基质量分数较低,蛋白氧化降低,从而蛋白消化率相对较高。

3 结 语

间歇式蒸微组合加热不仅可以显著提高排骨的烹饪效率,而且可以较好保存其营养价值。相比

于单独的蒸制和微波,经过适当的间歇式蒸微组合加热(先微 4 min 再蒸 6 min)后,排骨水分质量分数和嫩度有一定程度的提高,可以较好满足消费者的感官要求。与单独的蒸制烹饪相比,间歇式蒸微组合(先微 4 min 再蒸 6 min)加热后排骨中胶原蛋白、蛋白巯基含量和胰蛋白消化率明显提高,所以在感官特性和营养价值方面,间歇式蒸微组合烹饪排骨可以达到甚至超过单独蒸制,更好满足消费者需求。

参考文献:

- [1] TURKMEN N, SARI F, VELIOGLU Y. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables[J]. **Food Chemistry**, 2005, 93: 713-718.
- [2] MORA B, CURTI E, VITTADINI E, et al. Effect of different air/steam convection cooking methods on turkey breast meat: physical characterization, water status and sensory properties[J]. **Meat science**, 2011, 88: 489-497.
- [3] BECKER A, BOULAABA A, PINGEN S, et al. Low temperature, long time treatment of porcine M. longissimus thoracis et lumborum in a combi steamer under commercial conditions[J]. **Meat science**, 2015, 110: 230-235.
- [4] S. Chandrasekaran, S. R., Tanmay Basak, Microwave food processing—A review [J]. **Food Research International**, 2013, 53: 243-261.
- [5] TANG Yiyou, ZHANG Min, TANG Wenlin, et al. Effect of combined treatment on the tenderness of pork [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**, 2015, 34(6): 584-591. (in Chinese)
- [6] XU Y, XIA W, YANG F, et al. Protein molecular interactions involved in the gel network formation of fermented silver carp mince inoculated with *Pediococcus pentosaceus*[J]. **Food Chemistry**, 2010, 120: 717-723.
- [7] XU Y, XIA W, JIANG Q. Aggregation and structural changes of silver carp actomyosin as affected by mild acidification with D-gluconic acid delta-lactone[J]. **Food Chemistry**, 2012, 134: 1005-1010.
- [8] SANTE-LHOUTELLIER V, ASTRUC T, MARINOVA P, et al. Effect of meat cooking on physicochemical state and in vitro digestibility of myofibrillar proteins[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2008, 56: 1488-1494.
- [9] YOSHIMURA K, TERASHIMA M, HOZAN D, et al. Preparation and dynamic viscoelasticity characterization of alkali-solubilized collagen from shark skin[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2000, 48: 685-690.
- [10] BAX M L, AUBRY L, FERREIRA C, et al. Cooking temperature is a key determinant of in vitro meat protein digestion rate: investigation of underlying mechanisms[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2012, 60: 2569-2576.
- [11] LORENZO J M, DOMINGUEZ R. Cooking losses, lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat as affected by cooking procedure[J]. **Flavour and Fragrance Journal**, 2014, 29: 240-248.
- [12] LORENZO J M, CITTADINI A, MUNEKATA P E, et al. Physicochemical properties of foal meat as affected by cooking methods[J]. **Meat Science**, 2015, 108: 50-54.
- [13] GONI S M, SALVADORI V O. Prediction of cooking times and weight losses during meat roasting [J]. **Journal of Food Engineering**, 2010, 100: 1-11.
- [14] LI Y, LI C, LI H, et al. Physicochemical and fatty acid characteristics of stewed pork as affected by cooking method and time[J]. **International Journal of Food Science & Technology**, 2016, 51: 359-369.
- [15] SALCEDO-SANDOVAL L, COFRADES S, RUIZ-CAPILLAS C, et al. Effect of cooking method on the fatty acid content of reduced-fat and PUFA-enriched pork patties formulated with a konjac-based oil bulking system [J]. **Meat Science**, 2014, 98: 795-803.
- [16] DOMINGUEZ R, GOMEZ M, FONSECA S, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of volatile compounds in foal meat[J]. **Meat Science**, 2014, 97: 223-230.
- [17] ROLDAN M, ANTEQUERA T, ARMENTEROS M, et al. Effect of different temperature-time combinations on lipid and protein oxidation of sous-vide cooked lamb loins[J]. **Food Chemistry**, 2014, 149: 129-136.
- [18] PROMEYRAT A, DAUDIN J D, GATELLIER P, et al. Kinetics of protein physicochemical changes induced by heating in meat using mimetic models: (1) relative effects of heat and oxidants[J]. **Food Chemistry**, 2013, 138: 581-589.