

蒸汽—微波同步加热对排骨品质的影响

Effects of simultaneous combination of steam and microwave cooking on the quality of pork ribs

姚 青^{1,2}陈艳萍³孙颖瑛³YAO Qing^{1,2} CHEN Yan-ping³ SUN Ying-ying³方 瑩^{1,2}曹亚裙^{1,2}许艳顺³FANG Kun^{1,2} CAO Ya-qun^{1,2} XU Yan-shun³

(1. 浙江省健康智慧厨房系统集成重点实验室, 浙江 宁波 315336; 2. 宁波方太厨具有限公司, 浙江 宁波 315336; 3. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

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

摘要:目的: 探明排骨在蒸汽—微波同步加热过程中的变化规律。方法: 采用蒸汽和微波组合同步加热, 对处理后排骨的理化、质构、脂肪酸、氨基酸、蛋白总巯基和羰基含量进行研究。结果: 与单独蒸制相比, 蒸汽—微波同步加热可明显缩短烹饪时间, 微波中低火(500 W)结合蒸汽(1 300 W)加热(MS-13)缩短了48%的烹饪时间; 与其他蒸汽—微波同步加热处理组相比, MS-13组排骨肉具有最高的水分含量、蛋白质含量和巯基含量, 分别比单独蒸制组高5.91%、5.85%、101.60%, 比微波组高14.55%、4.90%、19.78%; MS-13组排骨肉具有最低的脂肪含量和羰基含量, 分别为单独蒸制组的91.87%和45.02%以及单独微波组的95.48%和67.18%; 相对于新鲜样品, MS-13组样品不饱和脂肪酸相对含量明显增加。结论: 微波中低火结合蒸汽加热13 min后的排骨肉具有较好的感官和营养品质。

关键词: 蒸汽—微波加热; 排骨; 品质; 蛋白质; 脂肪

Abstract: **Objective:** To determine the quality changes of the quality of pork ribs in simultaneous combination of steam and microwave cooking. **Methods:** The physicochemical quality, texture, fatty acids, amino acids, total thiol group, total carbonyl and vitro protein digestibility of pork ribs treated with simultaneous combination of steam and microwave were investigated. **Results:** The simultaneous combination of steam and mi-

crowave could significantly reduce the cooking time compared with the single steaming. And the combined cooking of microwave with 500 W and steam with 1 300 W for 13 min (MS-13) could reduce 48% of the cooking time. Compared with other groups, the pork ribs of MS-13 group had the highest moisture content, protein content and sulfhydryl content, which were higher than those of the individual steamed group for 5.91%, 5.85% and 101.60%, respectively, which were higher than the microwave group for 14.55%, 4.90% and 19.78%, respectively. The pork ribs of MS-13 group had the lowest fat content and carbonyl content, which were 91.87% and 45.02% of the individual steamed group, and 95.48% and 67.18% of the individual microwave group. Compared with fresh pork ribs, the relative contents of unsaturated fatty acids of MS-13 group increased significantly. **Conclusion:** It can be seen that the pork ribs cooked by microwave with 500 W and steam with 1 300 W for 13 min had better sensory and nutritional quality.

Keywords: microwave combined with steam cooking; pork ribs; quality; protein; lipid

排骨是中国传统菜肴重要的烹饪原料之一, 含有大量的蛋白质、脂质和微量元素, 味道鲜美、营养丰富, 深受人们喜爱^[1-2]。排骨中的蛋白质和脂肪会在烹饪过程中发生水解, 形成短肽、氨基酸和脂肪酸等, 其烹制后不仅能促进消化吸收, 而且通过美拉德等一系列化学反应可赋予排骨浓香风味^[2-3]。

烹饪目的不仅在于使食物更可口、更易消化, 还在于确保食物的微生物安全^[4]。食物经烹饪后会发生一些物

作者简介: 姚青, 女, 宁波方太厨具有限公司中级工程师, 硕士。

通信作者: 许艳顺(1981—), 男, 江南大学研究员, 博士。

E-mail: xuys@jiangnan.edu.cn

收稿日期: 2021-07-29

理(如质构、色差、蒸煮损失、持水性等)和化学(蛋白降解、脂肪酸氧化、维生素和酚类物质降解等)变化^[5-7]。蒸制和微波是常用的家庭烹饪方法,蒸制所需时间较长,但加热均匀且水分流失较少;微波加热由于其高加热速率和较短的烹饪时间在食品加工中也较为常用^[8-9]。然而,微波加热在烹饪过程中往往会造成严重的失水,且加热不均匀^[9]。陈艳萍等^[10]研究发现,蒸汽—微波两段式加热可以在有效提高排骨烹饪效率的同时较好地保留其营养价值和口感,且先微 4 min 再蒸 6 min 的效果最好。Xu 等^[11]研究发现合适的蒸汽—微波同步加热可提高紫薯的烹饪效率,且可较好地保留紫薯中的营养物质,微波 500 W 和蒸汽 1 700 W 同步加热的效果最好。但有关蒸汽—微波同步加热对肉制品烹饪品质的影响尚未见报道。

试验拟以猪排骨为研究对象,分析蒸汽—微波同步加热对排骨的营养、质构、感官等品质的影响,探明排骨在蒸汽—微波同步加热过程中的变化规律,旨在为科学选择烹饪方法提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜猪排骨:肋骨,长 3~4 cm,厚 1 cm 左右,爱森肉食有限公司;

其他试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器设备

冷冻离心机:4K-15 型,德国 Sigma 公司;

氨基酸自动分析仪:Agilent 1100 型,美国安捷伦科技有限公司;

气相色谱仪:GC-2010 型,岛津国际贸易有限公司;

物性测定仪:TA-XT plus 型,英国 Stable Micro Systems 公司;

荧光光谱仪:F-7000 型,日本日立公司;

pH 计:FE28 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

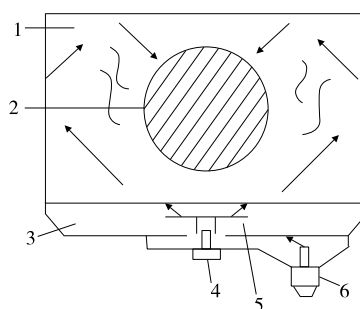
精密电子天平:PL203 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-1800 型,天美(中国)有限公司;

同步式蒸汽—微波加热装置(见图 1):ZW-C2S 型,宁波方太厨具有限公司。

1.3 蒸汽—微波同步加热排骨

取新鲜排骨约 300 g,平铺于盘中,将盘子放入同步式蒸汽—微波加热装置中,加热完后迅速将数字温度计(精确度为 0.1 ℃)的探头插入排骨几何中心,测其中心温度。每种组合模式下加热终点由中心温度达到 90 ℃和感官评定共同确定。通过预试验确定达到相近成熟度的 5 种加热程序:① 蒸汽 100 ℃蒸制(1 700 W)25 min



1. 炉腔 2. 蒸汽发生器 3. 陶瓷板 4. 电机 5. 搅拌片
6. 磁控管

图 1 同步式蒸汽—微波加热装置示意图

Figure 1 Schematic diagram of simultaneous combination of steam and microwave cooking

(S-25);② 微波高火(1 300 W)6 min(M-6);③ 微波高火(1 300 W)结合蒸汽(1 700 W)5 min(MS-5);④ 微波中高火(1 000 W)结合蒸汽(1 700 W)7 min(MS-7);⑤ 微波中低火(500 W)结合蒸汽(1 700 W)13 min(MS-13),加热结束后,将排骨快速冷却,每组重复 3 次。

1.4 指标测定

1.4.1 理化品质

(1) 蒸煮损失:根据陈艳萍等^[10]的方法,并按式(1)计算。

$$X = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

X ——蒸煮损失率, %;

m_1 ——烹饪前排骨的质量, g;

m_2 ——烹饪后排骨的质量, g。

(2) 水分含量:采用 GB 5009.3—2016 中的直接干燥法。

(3) 粗蛋白含量:采用 GB 5009.5—2016 中的凯氏定氮法。

(4) 脂肪含量:采用 GB 5009.6—2016 中的索氏抽提法。

1.4.2 质构特性 根据陈艳萍等^[10]的方法。

1.4.3 脂肪酸含量 根据陈艳萍等^[10]的方法。

1.4.4 氨基酸含量 准确称取 300 mg 冷冻干燥后的肉,加入 8 mL 6 mol/L 的 HCl 溶液,121 ℃水解 22 h,加入一定量 NaOH 溶液使其呈中性并定容至 25 mL,过滤,10 000×g 离心 10 min,分析上清液中氨基酸的组成和含量。

1.4.5 蛋白总巯基和羰基 参照 Xia 等^[12]的方法,每组样品重复 3 次。

1.5 数据处理

结果以平均值±标准差表示,采用 SPSS 11.0 软件进行数据分析,用 Duncan's 多重分析进行组间显著性检

验,显著水平为 $P < 0.05$,数据作图均采用 Origin 7.5 软件。

2 结果与分析

2.1 理化品质

由表 1 可知,蒸煮损失主要与水分流失和脂肪析出有关。S-25 组排骨蒸煮损失最低,MS-13 组的介于单独蒸制和微波之间,而 MS-5 和 MS-7 组的与单独微波无显著性差异($P > 0.05$)。MS-13 组排骨肉的水分含量最高,S-25 组次之,MS-5 和 MS-7 组的与单独微波无显著性差异($P > 0.05$)。烹饪处理后排骨肉的蛋白质含量不同程

度增加,MS-13 组的最高,其他组的无显著性差异($P > 0.05$)。不同烹饪条件下蛋白含量有一定差异,而加热后脂肪的析出是导致蛋白含量变化的主要原因。烹饪处理后排骨的脂肪含量显著降低,MS-13 组的最低,单独蒸制组的最高,可能是由于微波加热促进脂肪析出。蒸制 25 min 和微波 6 min 处理的排骨中水分含量、蛋白含量和蒸煮损失与陈艳萍等^[10]的结果一致。综上,微波中低火结合蒸汽 13 min 处理的排骨肉具有较高的水分含量和蛋白质含量及较低的脂肪含量,且蒸汽—微波同步加热较单一蒸制可显著缩短加热时间。

表 1 烹饪方式对排骨理化品质的影响[†]

Table 1 Effect of cooking methods on physicochemical quality in pork ribs ($n=3$)

处理组	蒸煮损失/%	水分含量/%	蛋白含量/($10^{-2}\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{DM}$)	脂肪含量/($10^{-2}\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{DM}$)
S-25	26.64 ± 3.33^a	46.68 ± 0.35^b	56.62 ± 0.59^b	38.61 ± 0.31^d
M-6	32.18 ± 0.06^b	43.16 ± 0.21^a	57.13 ± 0.24^b	37.15 ± 0.06^b
MS-5	32.86 ± 1.99^b	42.71 ± 0.45^a	57.09 ± 0.36^b	37.86 ± 0.13^c
MS-7	32.68 ± 1.15^b	43.72 ± 0.33^a	57.02 ± 0.11^b	37.19 ± 0.15^b
MS-13	30.65 ± 0.90^{ab}	49.44 ± 0.36^c	59.93 ± 0.04^c	35.47 ± 0.32^a
鲜肉		64.68 ± 0.34^d	55.34 ± 0.91^a	40.10 ± 0.09^e

[†] 同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$);DM 为干基。

2.2 质地特性

由表 2 可知,排骨肉的硬度整体上与水分含量呈反比,MS-5 组的硬度最大,MS-13 组的最低。加热后排骨肉的咀嚼性变化与硬度的一致。蒸汽—微波同步加热处理过程中,排骨肉的硬度和咀嚼性随微波功率的增加而增加。与单独微波或者蒸制相比,微波中低火蒸汽 13 min 处理的排骨肉质地软嫩,微波功率过高会导致肉质过硬。MS-5 组的水分含量略低于 M-6 和 MS-7 组,但 MS-5 组的硬度和咀嚼性显著高于 M-6 和 MS-7 组,可能与 MS-5 组的取样部位有关。

2.3 脂肪酸组成变化

由表 3 可知,排骨中共检测到 17 种脂肪酸,其中油酸是排骨中最主要的脂肪酸,占 41.22%~50.96%,棕榈

酸次之,占 21.42%~24.95%。与新鲜排骨相比,M-6 和 MS-5 组中不饱和脂肪酸相对含量降低,饱和脂肪酸相对含量增加;S-25、MS-7 和 MS-13 组中不饱和脂肪酸相对含量增加,饱和脂肪酸相对含量降低。脂肪酸相对含量因烹饪方式的不同而不同,与烹饪过程中脂肪的流失和脂肪酸的氧化有关。综上,适度蒸汽—微波同步加热有助于保留排骨中不饱和脂肪酸的相对含量,微波功率过高会导致不饱和脂肪酸氧化加剧。

2.4 氨基酸分析

由表 4 可知,烹饪后排骨肉中的氨基酸总含量均有一定程度的下降,且单独蒸制的排骨肉中的总氨基酸含量最低。MS-7 组排骨肉的总氨基酸含量比单独蒸制高约 12.2%。这表明合适的蒸汽—微波加热在缩短加热时间的同时可适当减少氨基酸的损失。此外,加热后天冬氨酸、赖氨酸、谷氨酸和缬氨酸等含量有一定下降的趋势。从人体必需氨基酸的角度可以看出,加热后排骨中必需氨基酸含量降低。蒸制加热后排骨中的必需氨基酸含量最低,约为 18.18%,而 MS-7 排骨的必需氨基酸含量最高,约为 21.05%。相比于单独的蒸制,适当的蒸汽—微波可减少排骨烹饪过程中必需氨基酸的损失。

2.5 蛋白总巯基和羰基含量

由表 5 可知,加热后巯基含量显著降低,不同处理条件下排骨肉中蛋白巯基含量差异显著($P < 0.05$)。MS-13 组的巯基含量最高,是单独蒸制的 2 倍;MS-5 和 M-6 组

表 2 烹饪方式对排骨肉质构的影响[†]

Table 2 Effect of different cooking methods on change of texture of pork ribs ($n=8$)

处理组	硬度/N	咀嚼性/N
S-25	10.93 ± 0.67^b	33.86 ± 2.14^b
M-6	12.36 ± 0.83^c	25.86 ± 2.98^a
MS-5	15.46 ± 0.72^d	50.01 ± 2.54^c
MS-7	11.39 ± 0.30^b	34.10 ± 2.63^b
MS-13	7.50 ± 0.24^a	23.63 ± 2.12^a

[†] 同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

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	S-25	M-6	MS-5	MS-7	MS-13	鲜肉
癸酸(C _{10:0})	0.10	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09
月桂酸(C _{12:0})	0.09	0.08	0.07	0.08	0.08	0.10
肉豆蔻酸(C _{14:0})	1.31	1.17	1.18	1.25	1.27	1.31
十五烷酸(C _{15:0})	0.03	0.04	0.02	0.04	0.04	0.04
棕榈酸(C _{16:0})	21.42	23.84	24.95	23.48	23.05	23.85
棕榈油酸(C _{16:1})	2.72	2.16	2.40	2.34	2.41	2.45
珍珠酸(C _{17:1})	0.12	0.21	0.12	0.19	0.17	0.17
硬脂酸(C _{18:0})	8.48	12.78	12.85	11.14	10.62	10.98
油酸(C _{18:1})	50.96	41.22	45.96	42.13	44.14	44.45
亚油酸(C _{18:2})	12.44	15.85	10.31	16.68	15.64	14.15
亚麻酸(C _{18:3})	0.53	0.89	0.39	0.92	0.81	0.82
花生酸(C _{20:0})	0.13	0.16	0.18	0.15	0.15	0.16
二十碳烯酸(C _{20:1})	0.81	0.55	0.74	0.59	0.62	0.64
二十碳二烯酸(C _{20:2})	0.54	0.56	0.45	0.59	0.57	0.51
二十碳三烯酸(C _{20:3})	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.07
花生四烯酸(C _{20:4})	0.25	0.29	0.22	0.26	0.27	0.21
山嵛酸(C _{22:0})	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
饱和脂肪酸	31.56	38.18	39.34	36.23	35.30	36.54
不饱和脂肪酸	68.32	61.61	60.54	63.59	64.53	63.29

表 4 烹饪方式对排骨氨基酸组成的影响[†]

Table 4 Effect of cooking methods on amino acids composition in pork ribs g/100 g DM

氨基酸	S-25	M-6	MS-5	MS-7	MS-13	鲜肉
天冬氨酸	3.94	4.39	4.32	4.35	4.17	5.41
谷氨酸	6.41	7.28	7.16	7.17	6.84	9.03
丝氨酸	1.28	1.42	1.35	1.37	1.33	1.73
组氨酸	2.06	2.22	2.53	2.76	2.41	3.37
甘氨酸	2.14	2.26	2.08	2.11	2.29	2.69
苏氨酸	2.89	3.32	3.19	3.27	3.13	4.08
精氨酸	2.38	2.63	2.60	2.60	2.45	3.20
丙氨酸	2.14	2.36	2.27	2.33	2.49	2.89
酪氨酸	1.33	1.33	1.46	1.35	1.44	1.61
半胱氨酸	0.09	0.12	0.14	0.16	0.08	0.14
缬氨酸	2.55	2.91	2.79	2.89	2.95	3.51
蛋氨酸	0.81	0.76	0.90	0.83	0.85	0.88
苯丙氨酸	1.58	1.80	1.72	1.75	1.72	2.18
异亮氨酸	2.01	2.34	2.29	2.35	2.22	2.86
亮氨酸	2.81	3.18	3.09	3.14	3.05	3.91
赖氨酸	3.47	3.90	3.87	4.06	3.62	4.95
脯氨酸	1.07	1.76	1.18	1.19	1.17	1.39
必需氨基酸	18.18	20.43	20.38	21.05	19.95	25.74
总含量	38.95	43.99	42.92	43.70	42.21	53.82

[†] DM 为干基。

表5 烹饪方式对排骨蛋白总巯基和羰基含量的影响[†]

Table 5 Effect of cooking methods on contents of total thiol group and carbonyl in pork ribs ($n=3$)

处理条件	总巯基含量/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$)	羰基含量/ ($\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1}$ 蛋白)
S-25	7.51 ± 0.23^a	8.64 ± 0.25^d
M-6	12.64 ± 0.56^c	5.79 ± 0.05^e
MS-5	12.31 ± 0.32^c	5.62 ± 0.16^e
MS-7	9.37 ± 0.14^b	9.75 ± 0.21^e
MS-13	15.14 ± 0.27^d	3.89 ± 0.43^b
鲜肉	20.32 ± 0.07^e	1.79 ± 0.02^a

[†] 同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

的巯基含量无显著性差异($P > 0.05$), S-25 组的最低。加热后排骨中羰基含量显著增加($P < 0.05$), 与韦婕好^[13]的结果一致; MS-13 组的最低, 而 MS-7 组的最高, 约为鲜肉的 5.4 倍。综上, 单独蒸制处理的排骨肉中蛋白氧化程度最高, 微波中低火结合蒸汽同步加热 13 min 可以有效减缓蛋白质氧化。

3 结论

试验表明, 蒸汽—微波加热模式对排骨感官和营养品质具有显著影响, 单独蒸制有助于保留排骨中的不饱和脂肪酸, 但微波功率过高会导致肉质过硬和不饱和脂肪酸氧化加剧。适当蒸汽—微波同步加热在提高烹饪效率的同时, 可以减少水分和蛋白损失, 降低脂肪含量, 较好地保持排骨的嫩度和多汁口感。与单独微波或蒸制相比, 微波中低火结合蒸汽 13 min 加热处理的排骨肉质软嫩, 具有较低的蛋白质氧化程度, 且较传统蒸制可缩短 48% 的烹饪时间。综上, 适当的蒸汽—微波同步加热不仅可以缩短加热时间, 而且在感官特性和营养价值方面可以提高排骨的烹饪品质。试验仅研究了蒸汽—微波对排骨食用品质的影响, 对于其作用机制和对其他食材的影响仍有待进一步研究。

参考文献

[1] 刘树萍. 电子鼻和电子舌技术在排骨汤风味评价中的应用[J]. 肉类研究, 2018, 32(1): 58-63.
LIU Shu-ping. Electronic nose and electronic tongue for flavor evaluation of pork chop soup[J]. Meat Research, 2018, 32(1): 58-63.
[2] 杨坤, 韦云路, 谢雨菡, 等. 豉汁排骨菜肴的加工工艺优化[J]. 食品工业, 2020, 41(1): 47-51.
YANG Kun, WEI Yun-lu, XIE Yu-han, et al. Optimization of processing technology of pork chops with fermented soya beans sauce[J]. The Food Industry, 2020, 41(1): 47-51.
[3] 柯海瑞, 康怀彬, 程伟伟, 等. 高温处理对牛肉脂肪酸及脂肪氧化的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(12): 69-75.
KE Hai-rui, KANG Huai-bin, CHENG Wei-wei, et al. Effect of high

temperature treatment on beef fatty acid and fat oxidation[J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 69-75.
[4] 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(3): 489-497.
[5] BARAKAT H, ROHN S. Effect of different cooking methods on bioactive compounds in vegetarian, broccoli-based bars[J]. Journal of Functional Foods, 2014, 11: 407-416.
[6] ZOU Jian, XU Mei-juan, ZOU Yi-fan, et al. Chemical compositions and sensory characteristics of pork rib and Silkie chicken soups prepared by various cooking techniques[J]. Food Chemistry, 2021, 345: 128755.
[7] 章杰, 何航, 熊子标. 烹饪方式对猪肉品质及营养成分的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 21-25.
ZHANG Jie, HE Hang, XIONG Zi-biao. Effect of cooking methods on the quality and nutritive contents of pork[J]. Food & Machinery, 2018, 34(6): 21-25.
[8] CHANDRASEKARAN S, RAMANATHAN S, BASAK T. Microwave food processing: A review[J]. Food Research International, 2013, 52(1): 243-261.
[9] 陈佳奇, 刘天毅, 贾逾泽, 等. 水煮鱼微波烹饪过程中鱼肉水分及组织变化对嫩度的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(4): 57-61.
CHEN Jia-qi, LIU Tian-yi, JIA Yu-ze, et al. Effects of moisture and tissue changes on tenderness of boiled fish during microwave cooking[J]. Food & Machinery, 2020, 36(4): 57-61.
[10] 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(1): 114-118.
CHEN Yan-ping, XU Yan-shun, CAO Ya-qun, et al. Effect of intermittent combination of microwave and steam cooking on quality of Pork Ribs[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(1): 114-118.
[11] XU Yan-shun, CHEN Yan-ping, CAO Ya-qun, et al. Application of simultaneous combination of microwave and steam cooking to improve nutritional quality of cooked purple sweet potatoes and saving time[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 36: 303-310.
[12] XIA Xiu-fang, KONG Bao-hua, LIU Qian, et al. Physicochemical change and protein oxidation in porcine longissimusdorsi as influenced by different freeze-thaw cycles[J]. Meat Science, 2009, 83: 239-245.
[13] 韦婕好. 热加工方式对羊肉制品蛋白质氧化及体外模拟消化性的影响研究[D]. 成都: 西南民族大学, 2019: 29-30.
WEI Jie-yu. Effects of thermal processing on protein oxidation and digestive simulation of mutton products in vitro [D]. Chengdu: Southwest Minzu University, 2019: 29-30.