不同加热方式对牛肉嫩度和杀菌率的影响

高文宏[1]，王君翠[1]，唐相伟[2]，韩忠[1]
（1.华南理工大学轻工与食品学院，广东广州 510640）（2.广东美的厨房电器制造有限公司，广东佛山 528311）

摘要：本文研究变频微波和水浴两种低温加热方式对牛肉加热过程中嫩度、保水性和微生物杀死率的影响。以牛大腿腱子肉为实验材料，在两种低温加热方式下经不同加热温度和加热时间处理后，检测肉品各项指标。结果表明：微波加热时间短；微波加热温度每降低 5 ℃，加热时间缩短且节能 10%~15%。微波加热牛肉的肉汁渗出率明显小于水浴加热。两种加热方式下牛肉的剪切力都是随加热温度的升高呈波浪形趋势；加热温度为 60 ℃时，剪切力达到最大值，继续升高到 65 ℃，剪切力为最小值。微波加热牛肉的剪切力小于水浴加热；当微波加热温度为 65 ℃保温 4~6 min 时，剪切力较小。牛肉水分保留率与肉汁渗出率密切相关，线性方程为 y=-0.323x+99.49（R^2=0.927）。两种加热方式下，温度高于 60 ℃都能杀死 99%以上的微生物。综合分析得出结论：在变频微波 500 W、控温 65 ℃条件下加热 42 g (±2)牛肉 4~6 min，肉品品质较好。

关键词：加热方式；牛肉；嫩度；杀菌率

文章篇号：1673-9078(2016)8-191-196 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.8.029

Effect of Different Heating Approaches on the Sterilization Rate and Tenderness of Beef

GAO Wen-hong[1], WANG Jun-cui[1], TANG Xiang-wei[2], HAN Zhong[1]
(1.College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)
(2. Guangdong Midea Kitchen Appliances Manufacturing Co., Ltd, Foshan 528311, China)

Abstract: The effects of two low-temperature heating methods including inverter microwave heating and water bath heating on the tenderness, water-holding capacity, and sterilization rate of beef during heating were investigated in this study. The beef topside muscle was used as the experimental material, and all indicators of the meat products were determined after the treatments were carried out using two low-temperature heating methods at different temperatures and durations. The results showed that heating time using an inverter microwave was short. For every 5 ℃ reduction in microwave heating, the heating time was shortened and the electricity consumption could be saved by 10~15%. The drip loss of beef upon microwave heating was significantly less than drip loss upon water bath heating. Both shear forces of beef for the two heating methods showed a wavy trend with increasing temperature; the maximum shear force was reached when the heating temperature was 60 ℃, and the minimum shear force was reached when the heating temperature continuously increased to 65 ℃. The shear force of beef upon microwave heating was less than the shear force after water bath heating. When the beef sample was microwave-heated at 65 ℃ for four to six minutes, the shear force of beef was relatively low. The water holding capacity of beef was closely related to its drip loss, and this relationship could be expressed by the linear equation y = -0.323x + 99.49 (R^2 = 0.927). In both heating methods, over 99% of microorganisms could be eliminated when the heating temperature was over 60 ℃. In conclusion, good beef quality could be obtained after 42 (±2) g of beef was heated by a 500 W-inverter microwave at 65 ℃ for four to six minutes.

Key words: heating methods; beef; tenderness; sterilization rate

现在人们不仅注重食物口感，而且也更注重食物的安全与营养。传统的加热方式，采用 100 ℃高温会影响食品食用品质、营养品质，因为高温会破坏肌肉组织，导致口感不佳，而且有些营养成分不耐高温，加热会使营养损失。目前在国外，低温加热方面的研究越来越多，低温烹饪不仅能保留更多的营养成分，还会提高食品的感官品质，乃至在食品安全性上也具有保障。Rolgan 等[1]的研究表明在 80 ℃温度下蒸煮羊

收稿日期：2015-09-26
基金项目：国家自然科学基金资助项目（31301559，21376094）；广东省科技计划项目（2010A080403005，2013B020311008）；华工大-美的微波食品联合研究项目
作者简介：高文宏（1970-），女，博士，副教授，主要从事食品质量安全与控制
通讯作者：韩忠（1981-），男，博士，助理研究员，主要从事食品绿色加工研究

肾会产生更多的风味物质，肉味更浓。Rinaldi 等[2]研究了低温（75 ℃）长时与高温（100 ℃）烹饪牛肉之间的差异，结果表明低温烹饪的牛肉更好的保留了维生素 B_3 和维生素 B_{12}。Vaudagna 等[3]研究了在 60~65 ℃烹饪下，1.2%氯化钠和 0.25%三聚磷酸钠组合或者 0.70%氯化钠和 0.25%三聚磷酸钠组合都能把半腱肌的蒸煮损失降低到接近零。但是，国外对低温烹饪的食品安全性研究不足，主要集中于食品保藏期间的微生物情况，如 Gonzalez-Fandos 等[4]研究了在 65 ℃下加热 10 min，在 90 ℃下加热 10 min 和 15 min 的不同加热条件下，鲑鱼的微生物含量情况。结果表明，3 种加热方式灭菌效果好，无显著差异，但在 65 ℃温度下，保藏 10 d（2 ℃）微生物无明显增加，但随着在 2 ℃下保藏时间的延长，微生物含量会有所增加，尤其是厌氧菌；而在 90 ℃情况下，保藏期可高达 45 天，更能有效的消灭微生物。所以在低温 65 ℃时能很好的消灭微生物，达到食用品质。

学者们对多种加热方式都有研究，例如水浴加热、蒸汽加热、空气加热、微波加热。水浴加热是最普遍的加热方式，但加热慢，耗时长。微波加热具有加热快、破坏性小等优点，弥补了水浴加热的缺点，而且微波还有杀菌作用。但传统微波加热功率只能通过微波发射通断来换算得出，加热存在不均匀性，影响食物口感。变频微波可直接控制输出功率来实现连续加热[5]。牛肉是东西方人的主要肉类来源，是一种营养价值高的保健型肉类食品，而牛肉的食用品质并不局限于完全成熟，未完全成熟牛肉制品也走进人类视线。目前，国内外对低温烹饪牛肉和变频微波方式结合的研究还不多，也缺乏从口感、安全性两个角度进行全面的分析，所以，本文选用牛大腿腱子肉来阐述变频微波在真空低温烹饪中的应用，为开发微波方便食品提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 实验材料

牛后大腿腱子肉，为大腿肚近膝部位，购于本地世纪联华超市；平板计数琼脂（PCA）培养基，广州市鸿洲实验器材科技有限公司；实验用水均为去离子水。

1.2 实验仪器

电子天平；CP 214 分析天平；EV 025LC7-NR 变频蒸立方微波炉（频率为 10000 Hz~30000 Hz），由广东美的厨房电器制造有限公司提供；HH-501(601)恒温水浴锅；Foss-DINA-2060 荧光光纤温度探测仪；AN 2102 W 单相电参数综合测量仪；INSTRON 5944 质构仪；SPX-150B 生化培养箱；TGL-20bR 离心机。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

新鲜牛肉为宰后 24 h 内，冷藏于 4 ℃条件下，样品购于本地超市。切成 5 cm×5 cm×1.5 cm 大小，重约 45 g 的肉块。装入密封袋中，放置在 4 ℃冰箱中待用。

1.3.1.1 检测样品中心温度确定加热时间

将温度探头插入样品中心，将其放入不同温度的水浴锅中水浴加热，水浴温度分别为 55 ℃、60 ℃、65 ℃、70 ℃、75 ℃。实时监控样品的温度变化，记录样品中心温度分别达到 55 ℃、60 ℃、65 ℃、70 ℃、75 ℃时所要花费的时间。微波加热时，选择 500 W 功率。将样品浸没于一个盛有 2 L 水的微波容器中，置于微波炉中同时加热。温度探头分别插入水中和样品中，探索样品中心分别到达 55 ℃、60 ℃、65 ℃、70 ℃、75 ℃时与水温度的关系，以此来预测样品的中心温度。每个条件重复六次。

1.3.1.2 样品处理

根据上述探索出的温度、时间关系，分别使用变频微波炉和水浴锅加热牛肉样品。把密封袋抽真空待用。在微波容器中装入 2 L 水，把密封后的样品浸没于水中，然后将光纤温度探头插入水中，实时检测水中的温度变化，控制水温分别保持在 55 ℃、60 ℃、65 ℃、70 ℃、75 ℃，根据 1.3.1.1 中得出的结论，使样品加热到 5 个不同温度之后，再分别保持 0 min、2 min、4 min、6 min、8 min。每个条件重复六次。水浴加热同上。

1.3.2 耗电量、温度曲线及微波加热时间的测定

将单相电参数综合测量仪连接在微波炉上，实时记录加热过程中的总耗电量。荧光光纤温度探测仪能实时监测温度变化。微波炉上可以显示微波加热时间。

1.3.3 肉汁渗出率的测定

记录样品加热前后的质量，加热前为 W_1，经水浴和微波加热后为 W_2，肉汁渗出率计算公式：

$$肉汁渗出率（\%）=(W_1 - W_2)/W_1 \times 100\%$$

1.3.4 水分含量的测定

采用 GB 5009.3-2010[6]的方法测定加热后牛肉的水分含量。

1.3.5 剪切力的测定

肉的嫩度是肉类品质的首要指标，嫩度是以剪切力为测量方法。把加热后的样品顺着纤维方向切成

1cm 宽的长条。使用质构仪切断肌肉纤维，从而测定样品剪切力。

1.3.6 菌落总数测定

本实验所用牛肉均来自大型正规超市，符合国家卫生标准。采用 GB 4789.2-2010[7]的方法测定加热后的菌落总数。

1.3.7 数据分析

每个实验数据均重复多次。采用 excel 07 版本和 SPSS 19.0 版本对数据进行分析。

2 结果与讨论

2.1 牛肉中心温度与加热时间的关系

表 1 表示两种加热方式加热牛肉到指定温度所需要的加热时间（不包括水浴锅加热时间和微波暂停的时间）。达到同一温度所用的时间，微波加热要比水浴加热节省 70~100 s。因为水浴加热时由外向内加热，而微波加热能穿透食品内部达到内外加热，加热均匀，加热速度快。总体比较，变频微波加热速度比水浴加热快，节约时间。牛肉中心温度与加热时间的关系探索结果给下面实验提供指导意义。

表 1 两种加热方式下牛肉中心温度与加热时间的关系

Table 1 Relationship between center temperature of beef and heating time in two heating modes

中心温度/℃	55	60	65	70	75
水浴加热时间/s	687	696	723	831	896
微波工作时间/s	552	629	652	747	794

2.2 微波加热牛肉的耗电量

由表 2 可知，变频微波加热温度越低，耗电量越少，每降低 5 ℃，节能 10%~15%之间。保温时间每延长 2 min，耗电量只增加 1%~2%，故保温时间的延长，耗电量并没有明显增加。所以，加热温度与耗电量关系紧密，加热温度直接影响耗电量，而保温时间并不是耗电量增加的主要因素。所以低温加热在节能方面有很大优势。

表 2 变频微波加热牛肉时的耗电量

Table 2 Electricity consumption of heating beef by inverter microwave

保温时间/min		0	2	4	6	8
电量/($\times10^{-4}$ kW·h)	55 ℃	133.441	135.108	139.081	145.859	147.522
	60 ℃	153.415	154.675	156.910	160.521	165.795
	65 ℃	181.135	181.775	184.760	186.556	197.611
	70 ℃	188.901	191.814	207.757	209.506	211.900
	75 ℃	213.195	218.567	227.069	240.082	246.098

2.3 不同加热方式对牛肉肉汁渗出率的影响

肉汁渗出率体现牛肉的多汁性[8]。肉汁渗出率越低，多汁性越好，口感更佳。图 1 表示不同加热方式在不同时间、温度条件下对牛肉肉汁渗出率的影响。在加热方式一定时，随着加热温度、加热时间的增加，肉汁渗出率也随之增加，水浴加热尤其明显。加热过程会使肌肉细胞间的水分和细胞内的水分、蛋白、少量脂肪溶出，加热温度越高，作用时间越长，细胞破坏越严重，汁液溶出越多。在确定的加热时间下，变频微波的加热方式肉汁渗出率明显小于水浴加热，在 75 ℃变频微波加热保温 8 min，肉汁渗出率从水浴加热的 38%降低到 27%，蒸煮损失明显减少，说明变频微波对细胞破坏力小，有助于保留营养成分。

2.4 不同加热方式对牛肉含水量的影响

图 2 和表 3 表示变频微波和水浴两种加热方式对牛肉含水量的影响。由此可看出，随着加热时间，加热温度的增加，水分流失随之增加。水浴加热方式下牛肉水分保留率变化比变频微波加热方式显著，水浴加热方式下随着加热温度的升高，牛肉水分保留率的变化越来越显著，最低降到 86.11%；而变频微波加热达到 65 ℃以上时，水分含量趋于稳定，均在 90%以上，所以变频微波加热方式对水分的保留更有利。由图 3 可看出，当保温时间为 4 min 时，温度越高，水分流失越多，到保温温度到达 70 ℃时，水分含量有所回升，继续增加保温温度到 75 ℃，水分含量继续降低，影响牛肉口感。水分含量在保温温度为 70 ℃时的回升可能是因为细胞内流失的水分流失到细胞间后，70 ℃保温时细胞会产生复吸，导致水分含量有小幅度提升。总体来说，加热温度为 55 ℃、60 ℃时两种加热方式下牛肉水分保留率都在 95%以上；但加热温度在 55~75 ℃之间时有所不同，只有变频微波条件下的牛肉水分保留率能达到 90%以上，水分保留率高，细胞破坏小，组织完整性好，口感更佳。

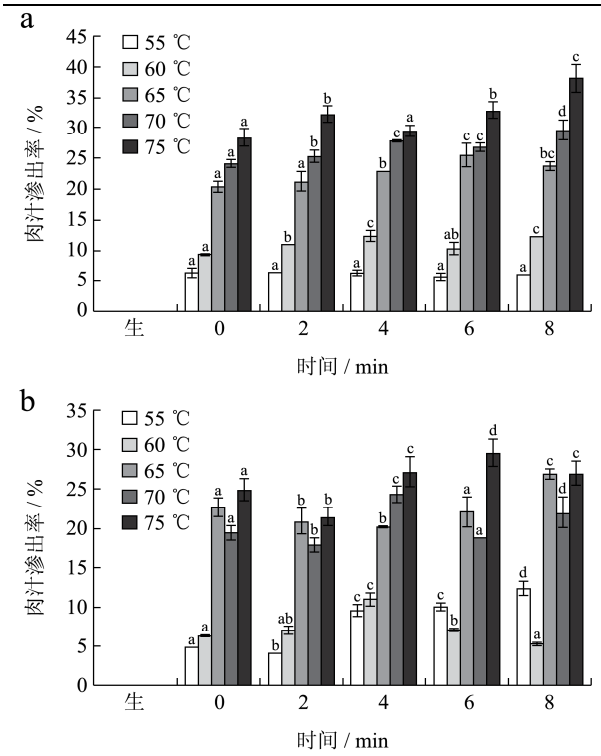


图 1 两种加热方式对牛肉肉汁渗出率的影响

Fig.1 Influence of two heating methods on beef drip loss

注：图(a)为水浴加热；图(b)为微波加热（变频 500 W）；图中不同字母表示差异显著（p>0.05）。

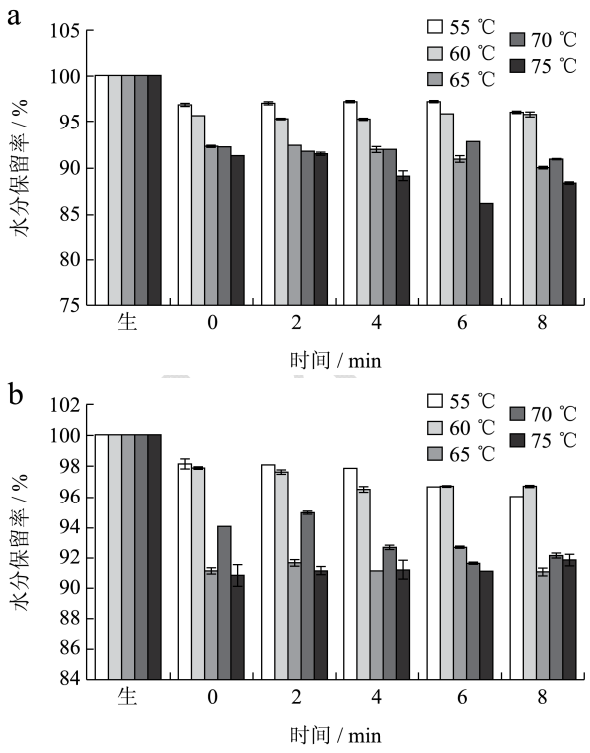


图 2 两种加热方式对牛肉含水量的影响

Fig.2 Influence of two heating methods on beef water holding capacity

注：图 a 为水浴加热；图 b 为微波加热（变频 500 W）。

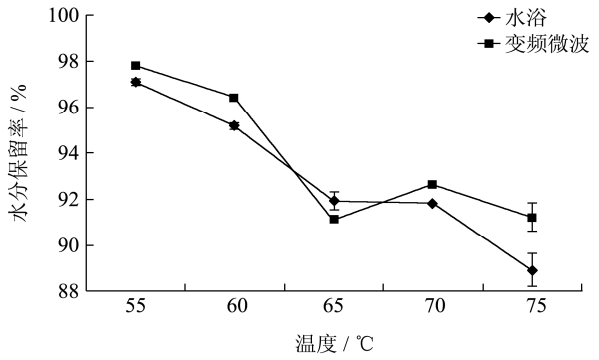


图 3 不同温度加热保持 4 min 对牛肉含水量的影响

Fig.3 Influence of incubating different temperatures for four minutes on beef water holding capacity

2.5 不同加热方式对牛肉质构特性的影响

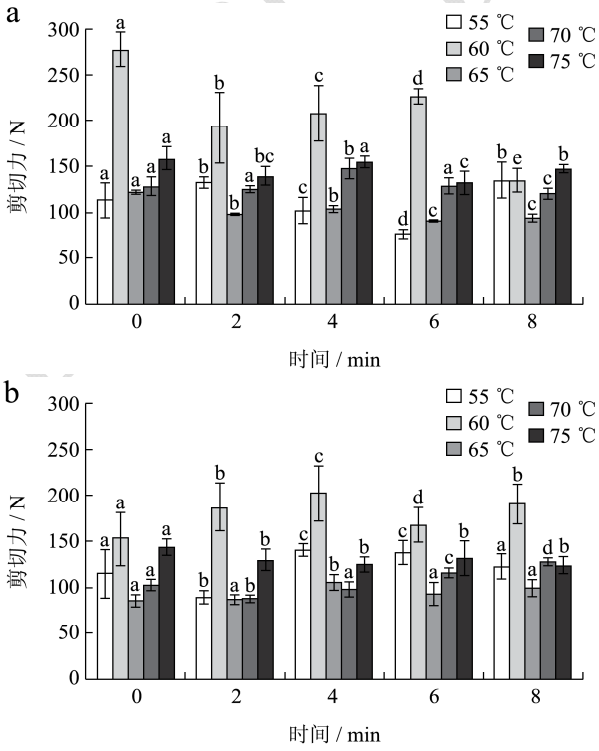


图 4 两种加热方式对牛肉质构特性的影响

Fig.4 Influence of two heating methods on the Warner-Bratzler shear force of beef

注：图 a 为水浴加热；图 b 为微波加热（变频 500 W）；图中不同字母表示差异显著（p>0.05）。

由图 4 可知，当加热温度升高时，剪切力先增大，嫩度下降，直到温度从 60 ℃升高到 65 ℃时，剪切力又降低，嫩度增大。当加热温度继续升高时，剪切力又变大，但是都低于 60 ℃。这是因为结缔组织会在 40~60 ℃之间变性，这种蛋白质的变性会导致剪切力增大[9]。肌原纤维在 60~75 ℃过程中会逐渐变性[10]，导致剪切力先变小后增大的过程。当加热温度高于

60 ℃，保温时间一定时，变频微波加热后的牛肉剪切力比水浴加热略小，说明变频微波加热方式优于水浴加热。综合来看，采用变频微波的加热方式，控制加热温度为 65 ℃，保温时间为 4~6 min，牛肉口感好。

表 3 牛肉样品水分的统计分析

Table 3 Statistical analysis of beef water content

保温时间		0 min	2 min	4 min	6 min	8 min
55 ℃	水浴	96.71±0.27^{a}	96.89±0.24^{a}	97.10±0.12^{a}	97.07±0.14^{a}	95.91±0.16^{ac}
	变频	96.09±0.39^{a}	98.05±0.00^{b}	97.78±0.00^{ab}	96.60±0.03^{a}	95.96±0.13^{a}
60 ℃	水浴	95.59±0.04^{c}	95.23±0.20^{c}	95.21±0.11^{c}	95.78±0.07^{c}	95.75±0.23^{c}
	变频	97.82±0.11^{b}	97.55±0.18^{a}	96.47±0.22^{a}	96.60±0.10^{a}	97.92±0.03^{b}
65 ℃	水浴	92.26±0.11^{d}	92.36±0.03^{d}	91.89±0.38^{d}	91.13±0.19^{e}	89.97±0.10^{ef}
	变频	91.13±0.20^{e}	91.61±0.26^{d}	91.04±0.03^{e}	92.58±0.11^{d}	91.01±0.34^{e}
70 ℃	水浴	92.14±0.02^{d}	91.69±0.00^{d}	91.86±0.00^{d}	92.77±0.04^{d}	90.85±0.12^{e}
	变频	94.02±0.03^{cd}	94.94±0.07^{c}	92.66±0.17^{d}	91.61±0.04^{d}	92.12±0.14^{d}
75 ℃	水浴	91.21±0.01^{de}	91.34±0.34^{de}	88.93±0.74^{g}	86.11±0.07^{h}	88.26±0.17^{g}
	变频	90.80±0.74^{ef}	91.10±0.35^{e}	91.18±0.61^{e}	91.04±0.00^{e}	91.77±0.48^{d}

注：图中不同字母表示差异显著（p>0.05）。

2.6 指标相关性分析

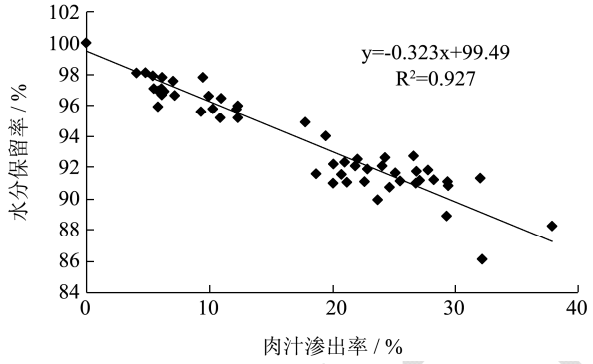


图 5 牛肉的水分保留率与肉汁渗出率之间的相关性

Fig.5 Correlation between beef water holding capacity and drip loss

综合水浴与微波处理方式的数据，以肉汁渗出率为因变量 y，水分保留率为自变量 x，得出方程为：y=-0.323x+99.49，R^2=0.927，如图 5 表示。以肉汁渗出率为因变量 y，以剪切力为自变量，进行分析得方程$y=0.003x^4-0.183x^3+2.828x^2-10.68x+121.1$，$R^2$=0.391。通过分析得出，水分保留率与肉汁渗出率的相关性要远远高于剪切力，关系也最为紧密。加热中的物质流出大部分为水分，故与水分含量有密切关系。而剪切力的大小除了与水分含量有关外，还与蛋白变性有很大关系，所以剪切力与肉汁渗出率的相关性不大。

2.7 不同加热方式对牛肉杀菌率的影响

图 6 表示两种加热方式在不同加热温度时灭菌情况的影响。由图 6 可看出，随着加热温度的升高，不管是水浴加热，还是变频微波加热，菌落总数的数量均大幅度减少。当加热温度为 55 ℃时，菌落总数多，微生物含量高，不符合卫生标准[11]。施邑屏[12]研究发现温度高于大约 50 ℃条件下，保持足够的时间，会使呼吸酶钝化，这些呼吸酶的变性会导致微生物的死亡。所以加热温度高于 65 ℃时，消灭了大约 99%的微生物，符合卫生标准。

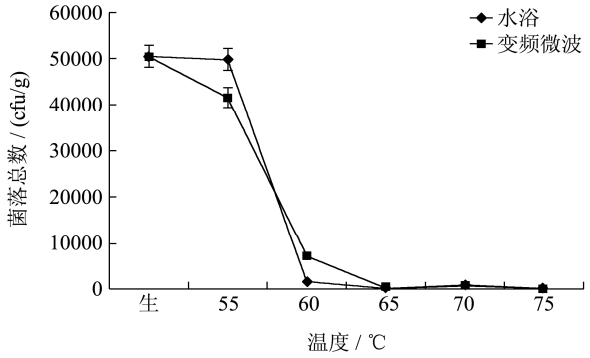


图 6 两种加热方式对牛肉样品菌落总数的影响

Fig.6 Influence of two heating methods on the total colony count in beef

3 结论

本文以牛大腿腱子肉为实验原料，采用变频微波和水浴加热进行低温烹饪，进行牛肉在低温条件下口感、安全等方面的研究，得出结论如下：隔水微波加热控温方便，与水浴加热相比，加热时间短。微波加热温度每降低 5℃节省加热时间，并且节省电量 10%~15%。加热温度越高，肉汁渗出越多；两种加热方式对水分保留无明显差异，低温加热都使水分保留率在 90%以上。在质构品质方面，变频微波加热的牛肉剪切力小，嫩度大；加热温度为 65 ℃，保温时间

为 4~6 min，口感佳。牛肉水分保留率与肉汁渗出率密切相关，对有关指标的快速检测具有指导意义。65 ℃低温加热时，灭菌效果良好，达到可食用品质。综合考虑口感、安全性，变频微波加热到 65 ℃保持 4~6 min 为最佳烹饪条件，为以后的低温快餐食品提供了一个参考依据。

参考文献

[1] Mar Roldán, Jorge Ruiz, José Sánchez delPulgar, et al. Volatile compound profile of sous-vide cooked lamb loins at different temperature-time combinations [J]. Meat Science, 2013, 100: 52-57

[2] Rinaldi M, Dall'Asta C, Paciulli M, et al. A novel time/temperature approach to sous vide cooking of beef muscle [J]. Food Bioprocess Technology, 2014, 7(10): 2969-2977

[3] S R Vaudagna, A A Pazos, S M Guidi, et al. Effect of salt addition on Sous vide cooked whole beef muscles from Argentina [J]. Meat Science, 2008, 79: 470-482

[4] Gonzalez-Fandos, E Villarino-Rodriguez A, Garcia-Linares M C, et al. Microbiological safety and sensory characteristics of salmon slices processed by the sous vide method [J]. Food Control, 2005, 16(1): 77-85

[5] Huang L H, Sites J. New automated microwave heating process for cooking and pasteurization of microwaveable foods containing raw meats [J]. Journal of Food Science, 2010, 75(2): 110-115

[6] GB 5009.3-2010,食品中水分的测定[S]
GB 5009.3-2010,Determination of moisture in foods [S]

[7] GB 4789.2-2010,食品微生物学检测菌落总数测定[S]
GB 4789.2-2010, Food microbiological examination aerobic plate count [S]

[8] H C Schönfeldt, P E Strydom. Effect of age and cut on cooking loss, juiciness and flavour of south African beef [J]. Meat Science, 2011, 89: 180-190

[9] Sims T J, Bailey A J. Structural aspects of cooked meat [M]. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1992: 106-127

[10] 汤晓艳,周光宏,徐幸莲,等.肉嫩度决定因子及牛肉嫩化技术研究进展[J].中国农业科学,2007,40(12):2835-2841
TANG Xiao-yan, ZHOU Guang-hong, XU Xing-lian, et al. Advances of research on factors affecting meat tenderness and techniques for beef tenderization [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(12): 2835-2841

[11] GB 2726-2005,熟肉制品卫生标准[S]
GB 2726-2005, Hygienic standard for cooked meat products [S]

[12] 施邑屏.温度与微生物[J].微生物学通报,1982,6:291-294
SHI Yi-ping. Temperature and Microorganism [J]. Microbiology China, 1982, 6: 291-294

现代食品科技