

中式烹饪应用灶具一键爆炒功能效果对比

党子建¹, 林卓佳², 张书敏², 刘思利², 丁旭君², 许芷杰³, 萧展锋¹, 万芝力^{2*}

(1. 华帝股份有限公司, 广东中山 605567) (2. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

(3. 岭南师范学院食品科学与工程学院, 广东湛江 524048)

摘要: 该研究旨在探究灶具一键爆炒功能对中式烹饪效果的影响, 选择不同肉类和胡萝卜作为研究对象, 利用华帝 JZT-i10509H 灶具进行不同模式的烹饪实验。实验分别研究了一键爆炒功能在不同烹饪时长下对温度、水分含量、脱脂率、质构特性、挥发性风味物质及感官评价的影响。结果显示, 烹饪牛肉时, 使用一键爆炒功能能够在较短时间内使牛肉达到更高的温度 (如加工 40 s 时较对照组提高 20.1 °C), 减少热加工损失, 保持较高的水分含量 (60.16%~72.34%, 而对照组为 57.46%~68.00%) 和较好的质构特性 (包括硬度、弹性和咀嚼性), 产生更多有助于风味的挥发性物质 (如醛类、呋喃类和脂类), 显著提升牛肉的感官评分; 烹饪五花肉时, 一键爆炒模式能提升肉品的脱脂率 (如加工 40 s 时较对照组提高 5.78%); 烹饪胡萝卜时, 使用一键爆炒功能可在短时间内将其熟制并保持其脆嫩口感, 同时有效防止胡萝卜素的进一步损失。综上所述, 一键爆炒功能可以显著提升中式烹饪效果, 对智能灶具的开发与应用具有重要参考价值。

关键词: 一键爆炒; 燃气灶; 肉类; 胡萝卜; 烹饪效果

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.9.1023

Comparison of the Effect of Cooktop's Click to Stir-Frying Function on Chinese Cooking

DANG Zijian¹, LIN Zhuojia², ZHANG Shumin², LIU Sili², DING Xujun², XU Zhijie³, XIAO Zhanfeng¹, WAN Zhili^{2*}

(1. Vatti Corporation Limited, Zhongshan 605567, China)

(2. School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(3. College of Food Science and Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China)

Abstract: The effect of "Click to Stir-frying" function of cooktop on the cooking effect of Chinese cuisine was investigated in this study. Different kinds of meat and carrots were selected as the research objects. Experiments of different cooking modes were carried out by using Huadi JZT-i10509H cooktop. The results showed that when cooking beef, higher beef temperature could be made in a short time to reduce heat processing loss (for example, it was 20.1°C higher than the control group when processing for 40s), higher moisture content (60.16%~72.34%, while the control group was 57.46%~68.00%) and better textural characteristics (including hardness, elasticity and chewability) could be maintained, more volatile substances that contribute to flavor (such as aldehydes, furans and lipids) could be produced, and the sensory score of beef could be significantly improved by the Click to Stir-frying function. When cooking pork belly, the degreasing rate of meat could be improved by Click to Stir-frying function (for example, it was 5.78% higher than the control group when processing for 40s). When cooking carrots, they could be cooked faster in a short time and their crisp and tender taste could be kept, and meanwhile further loss of carotene could be effectively prevented by the Click to Stir-frying function. In conclusion, the effect of Chinese cooking can be significantly improved by the Click to Stir-frying function, which is an important reference value for the development and application of smart cooktop.

Key words: click to stir-frying; gas cooktop; meats; carrots; cooking effect

在我国的传统食品操作技术中, 中式烹饪属于核心内容之一。许多传统的烹饪技巧传承至今, 如“煮”、“焖”、“爆”、“炒”、“涮”等^[1]。这些方法所制作的菜品长时间被特定的人群所享用, 并逐渐形成了独特的颜色、口感和风

收稿日期: 2024-07-17; 修回日期: 2024-09-19; 接受日期: 2024-09-26

作者简介: 党子建 (1988-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向: 烹饪与营养, E-mail: dangzijian@163.com

通讯作者: 万芝力 (1987-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 蛋白质化学与工程, E-mail: zhiliwan@scut.edu.cn

味,因此,中式烹饪成为了中国十多亿国民的主要饮食形式。而爆炒作为其中最具特色、应用最广泛的典型中式烹饪方式,其特点为加热功率高、烹饪过程激烈,且爆炒加工过的菜肴脆嫩爽口,深受国民喜爱^[2]。要获得令人满意的爆炒效果,除合适的烹饪介质、工艺和锅具之外,稳定、猛烈的大火力更是其中的关键,因此,一个能稳定提供大功率热源的灶具必不可少^[3]。

目前,行业将满足 4.7 kW 以上热负荷、65%以上热效率的燃气灶具定义为“大火力”灶具^[4],针对稳定提供大功率热源灶具的研究与开发是行业热门之一。然而,现今对灶具的研究多聚焦于多种烹饪模式灶具的开发,有关灶具的不同烹饪模式与食品理化性质和食用体验之间的关系仍缺乏理论研究^[5]。

牛肉作为中式烹饪中重要的原材料之一,不仅肉鲜味美,且具极高营养价值。如强化人体免疫系统,促进蛋白质和胰岛素的合成代谢,帮助人体更好地实现肌肉的增长等。Lee 等^[6]的研究表明,不同的烹饪处理方式可明显改变牛肉的挥发性风味物质。孙志涛等^[7]则指出,合理把控烹饪工艺与时间才能发挥出牛肉最大的营养价值。此外,Mena 等^[8]聚焦于烹饪方式对牛肉感官品质的影响,Hamadi 等^[9]则进一步关注烹饪方式与有害物质产生之间的关系。而同样备受大众喜爱的五花肉,却因其高脂肪含量所带来的健康影响而让人闻“肉”色变,因此选用合适的烹饪工艺提高其脱脂效率也是尤为重要。

胡萝卜是一种常见的中式家常蔬菜,其不但有着脆嫩香甜的口感,且富含胡萝卜素、类胡萝卜素、多酚以及纤维素等营养物质,在防治夜盲症、抗氧化、抑制癌细胞生长等方面亦发挥着重要作用。多项研究表明,经过油炒方式处理后的胡萝卜能够较好地维持矿物质、总酚、维生素 C 的含量,但类胡萝卜素会发生大量丧失^[10,11]。由此可见,探究油炒所需火力、时间等因素对胡萝卜烹饪效果的影响具有极大的研究价值。

本文以不同肉类和胡萝卜为研究对象,使用一款具有一键爆炒功能的灶具进行不同模式的烹饪,通过比对加工过程中温度、水分含量、脱脂率、质构特性、挥发性风味物质以及感官评价等的差异,探寻一键爆炒对肉类和胡萝卜烹饪效果的影响,以期为一键爆炒功能智能燃气灶具的开发与应用推广提供参考与支持。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

原切谷饲板腱牛排,卜蜂进出口贸易(上海)有限公司;鲜切牛柳,深圳市鑫润食品有限公司;冷鲜五花肉,北京宝宝爱吃餐饮管理有限公司;胡萝卜,广州象鲜科技有限公司;葵花籽油,南海油脂工业(赤湾)有限公司;其他化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

华帝 JZT-i10509H 灶具,华帝股份有限公司;CJ28AA1 芯铁真不锈煎炒锅,浙江苏泊尔股份有限公司;5943 系列万能实验系统,英国 Instron 公司;BSA2245-CW 精密电子天平,德国 Sartorius 公司;DHG-9140A 电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器公司;食品探针式电子温度计,东莞市超群五金配件有限公司;Agilent 8890-7000D 三重串联四极杆气质联用仪,美国安捷伦科技公司;Nanophotometer C40 比色皿分光光度计,德国 Implen GmbH 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

1.3.1.1 炒牛柳制备步骤

①切块。将牛柳切成大小均一的条状(30 mm×10 mm×10 mm)。②称重。称取 10 g 葵花籽油、60 g 牛柳条。③热油。将油置入锅中,使用华帝 JZT-i10509H 灶具 5 档火力加热 15 s。④炒制。热油后,开启或不开启“一键爆炒”功能,并将牛柳放入,以每秒翻动所有物料 2 次的频率持续翻炒 5、10、15、20、25、30 s。分别制得经不同烹饪时长的未使用“一键爆炒”功能的对照样品和使用“一键爆炒”功能的样品。

1.3.1.2 煎牛排制备步骤

①切块。将板腱牛排切成大小均一的块状(50 mm×50 mm×10 mm)。②称重。称取 10 g 葵花籽油、60 g 板腱牛排。③热油。将油置入锅中,使用华帝 JZT-i10509H 灶具 5 档火力加热 15 s。④煎制。热油后,开启或不开启“一

键爆炒”功能,并将牛排放入,每10 s翻面一次,分别煎制20、40、60、80 s。制得经不同烹饪时长的未使用“一键爆炒”功能的对照样品和使用“一键爆炒”功能的样品。

1.3.1.3 煎五花肉制备步骤

①切片。将五花肉切成大小均一的片状(20 mm×10 mm×3 mm)。②称重。称取10 g 葵花籽油、60 g 五花肉。③热油。将油置入锅中,使用华帝 JZT-i10509H 灶具5档火力加热15 s。④煎制。热油后,开启或不开启“一键爆炒”功能,并将五花肉放入,以每秒翻动所有物料2次的频率持续翻炒20、30、40、50、60、70 s。分别制得经不同烹饪时长的未使用“一键爆炒”功能的对照样品和使用“一键爆炒”功能的样品。

1.3.1.4 炒胡萝卜制备步骤

①切块。将胡萝卜切成大小均一的条状(30 mm×10 mm×10 mm)。②称重。称取10 g 葵花籽油、60 g 胡萝卜条。③热油。将油置入锅中,使用华帝 JZT-i10509H 灶具5档火力加热15 s。④炒制。热油后,开启或不开启“一键爆炒”功能,并将胡萝卜条放入,以每秒翻动所有物料2次的频率持续翻炒10、20、30、40、50、60 s。分别制得经不同烹饪时长的未使用“一键爆炒”功能的对照样品和使用“一键爆炒”功能的样品。

1.3.2 烹饪过程中肉类温度的测定

采用探针式电子温度计,样品停止加热后迅速将温度计探针插入样品的几何中心,待温度计示数平稳后立刻读数。

1.3.3 肉类和胡萝卜水分的测定

根据 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》进行。

1.3.4 肉类和胡萝卜质构特性的测定

采用英国 Instron 公司 5943 系列万能实验系统测定样品质构,使用 T1223-1021 探头测定。将样品(牛柳、板腱牛排和胡萝卜)切成同样大小的方块(18 mm×10 mm),分别进行压缩试验,以确定硬度、弹性、回复性、凝聚性与咀嚼性五项参数。测试程序设置如下:测前速度为3.0 mm/s;测试速度2.0 mm/s;测后速度为3.0 mm/s;应变为30%;时间为5.0 s;触发力为5.0 g。

1.3.5 肉类脱脂含量率的测定

参照张豪等^[12]的方法略作修改,通过比较烹饪前后样品的质量差异,计算出在烹饪过程中的液体损失质量。再通过对未处理的对照组样品和烹饪后的样品进行水分测试,得出烹饪过程中丢失的水分质量。最后计算出烹饪过程中去除的油脂所占的百分比,即脱脂率。样品的脱脂率计算如下列公式(1):

$$D = \left[\left(1 - \frac{m_2}{m_1} \right) - \left(C_1 - C_2 \times \frac{m_2}{m_1} \right) \right] \times 100\% \quad (1)$$

式中:

D ——脱脂率, %;

m_1 ——样品生重, g;

m_2 ——烹饪后样品质量, g;

C_1 ——对照组的水分含量, %;

C_2 ——烹饪后的样品水分含量, %。

1.3.6 肉类挥发性风味物质的测定

参照 Zhou 等^[13]的方法,并稍作修改。

1.3.6.1 样品处理

萃取头在250℃的温度下老化处理1 h。在20 mL 顶空萃取瓶中放入约3 g的牛排样品并放入恒温水浴锅中,将萃取头插入至萃取瓶上端约1/3处,60℃恒温萃取40 min。然后去除萃取头,插入进样口,250℃温度下解吸5 min。

1.3.6.2 色谱条件

采用 DB-1701MS 石英毛细管柱(30 mm×0.32 mm, 0.25 μm),进样口温度为250℃,检测器温度为280℃,载气为氦气(纯度>99.999%),流量为1.5 mL/min。升温程序:起始柱温在40℃保持3 min,以5℃/min的升温速率升至150℃,保持1 min;再以15℃/min的升温速率升至180℃,不保持;最后以10℃/min的升温速率

升至 280 ℃, 保持 5 min。

1.3.6.3 质谱条件

离子源温度 230 ℃, 电离方式为 EI⁺, 电子能量为 70 eV, 扫描质量范围 30~550 *m/z*。

最后, 将分析结果通过计算机普库 (NIST/Wiley) 进行检索, 选择卷积算法正匹配度超过 800 (满值为 1 000) 的检索结果。各化合物的峰面积由软件系统自动计算得出。

1.3.7 胡萝卜素的测定

采用丙酮提取比色法测定炒胡萝卜条中总类胡萝卜素的含量。分别精密称取不同炒制方式的胡萝卜条冷冻干燥样品 0.3 g, 以丙酮作为提取液, 按照 1:30 的料液比分别加入提取液。常温超声提取 60 min, 在 4 ℃ 下 4 000 r/min 离心 10 min 后, 取上清液。将提取液移入容量瓶中, 并用丙酮定容至 50 mL。以丙酮作为空白对照, 450 nm 波长下测定待测液吸光度值。样品的胡萝卜计算如下列公式 (2):

$$C = \frac{A \times V \times F}{m \times 2500} \quad (2)$$

式中:

C——类胡萝卜素含量; mg/kg;

A——提取液在 450 nm 波长下的吸光度值;

V——提取液体积, mL;

F——测定吸光度值时提取液稀释倍数;

m——样品干粉重量, kg;

2 500——450 nm 波长下 1% β-胡萝卜素溶液吸光系数的平均值。

1.3.8 肉类和胡萝卜的感官评定

邀请 12 位接受过品评训练的人员组成感官评定小组, 对肉类样品的色泽、质地、嫩度、多汁性、风味及总体喜好度和胡萝卜样品的表观形态、色泽、滋味、硬度、咀嚼性及气味进行感官品评。采用 10 分制评价体系, 分为差 (0~3 分)、良 (4~7 分)、好 (8~10 分) 三个等级进行打分。

1.3.9 数据分析

所有实验重复 3 次, 数据以平均值 ± 标准差形式呈现。实验所得数据使用 Statistix 9 软件进行单因素方差分析, 后采用最小显著性差异法 (LSD) 分析均值间的差异, *P* < 0.05 被认为具有显著性差异。采用 Origin 2021 软件进行绘图。

2 结果与讨论

2.1 一键爆炒功能对加工过程中肉类温度的影响

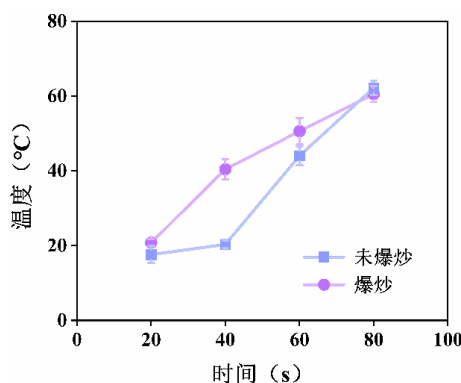


图 1 一键爆炒功能对加工过程中牛肉温度的影响

Fig.1 Effect of Click to Stir-frying function on beef temperature during processing

通过使用或不使用一键爆炒功能对板腱牛排样品进行加工, 以对比一键爆炒功能对肉类加工过程中温度变化的影响, 结果如图 1 所示。当加工时间小于 80 s 时, 使用一键爆炒功能加工的板腱温度均高于对照。在加热 40 s

时,一键爆炒板腱中心温度可达 40.4 ℃,较对照(20.3 ℃)有大幅提升,表现出更高的加热速率,即一键爆炒功能可以使肉类在更短的时间内达到同等的热加工效果,减缓由长时间加热引起的热加工损失,有利于肉品水分、风味等性质的维持^[14]。

2.2 一键爆炒功能对加工过程中肉类水分的影响

肉品在加工过程中的水分流失程度是评判加工方法质量的重要因素之一。肉品含水量的高低直接影响食用时肉品的嫩度、多汁性等感官体验。肉品被加热后,肌细胞被部分或完全破坏,肌纤维收缩,随即发生不同程度的水分流失^[15]。选用水分含量较高的牛柳样品作为实验对象。由图 2 可见,在所有加工时长内,经一键爆炒功能加工的样品水分含量均高于对照样品。对照样品的水分含量在 57.46%~68.00%区间,经一键爆炒功能加工的样品水分含量在 60.16%~72.34%区间,且随烹饪时间的增加,水分含量总体呈下降趋势。这是因为使用更大功率的一键爆炒功能时,食品颗粒处在更剧烈的非稳态传热状态中,在同等的加工时间内,可以更快地焦化肉体表面的水分子通道,减少肉类水分的流失,从而达到更好的持水、保水效果^[16]。

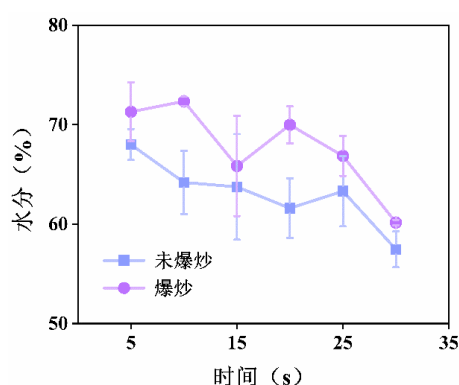


图 2 一键爆炒功能对加工过程中牛肉水分含量的影响

Fig.2 Effect of Click to Stir-frying function on moisture content of beef during processing

2.3 一键爆炒功能对加工过程中肉类质构的影响

质构性质是消费者接触肉品后触碰、咀嚼与吞咽全过程的反映,而不同部位的牛肉在质构、风味等性质上存在较大的差异,在中式烹饪中均有不同的应用场景,故本研究选择牛柳、板腱两种不同质地的牛肉部位进行加工后的质构研究,以探究一键爆炒功能对牛柳、板腱的硬度、弹性、回复性、凝聚性与咀嚼性的影响。

咀嚼性是硬度、弹性及内聚性的综合体现,反映了肉品从咀嚼到吞咽的整个过程中需要消耗的能量。过高的咀嚼性会使消费者在食用过程中疲劳感增加,而适中的咀嚼性能够维持消费者在食用时的愉悦口感^[17]。由表 1 与表 2 可见,随加工时间的增加,一键爆炒牛柳样品咀嚼性由 23.01 下降至 2.48,对照组咀嚼性由 36.59 下降至 5.36,且经一键爆炒加工的牛柳下降趋势更缓,并在 15~25 s 区间有更高的咀嚼性,即一键爆炒功能可提供牛柳更理想的食用体验。牛柳的硬度也表现出类似的变化趋势,硬度表示牙齿咬断该样品所需的力,其大小取决于样品组织结构的疏松程度。一键爆炒加工的牛柳与对照组样品的硬度均呈先下降后上升的趋势,对照组样品在加热 15 s 时达到硬度最低值 3.25 N,而使用一键爆炒的样品在加工 20 s 时达到硬度最低值 3.07 N,且在加工时长大于 15 s 后,经一键爆炒的牛肉硬度(3.22~3.79 N)均低于对照组(4.11~4.22 N),表明一键爆炒的肉品适口性可能更好。Zhang 等^[18]对牛肉经不同加工强度后的质构进行了研究对比,同样发现最接近爆炒的油炸能赋予牛肉最低的剪切力。这是因为在加热过程中,牛柳的肌周结缔组织首先扩张,随热诱导发生蛋白的结构变化,以致硬度下降;而加热时间逐渐增长时,肌原纤维蛋白发生变性,引起肉质增韧^[19]。

与牛柳硬度先下降后上升的趋势不同,经一键爆炒加工板腱硬度由 0.25 N 上升至 0.91 N,对照的硬度由 0.53 N 上升至 1.15 N,均随加工时间增加而增大,且一键爆炒加工的板腱硬度均高于对照。由 2.1 可知,在加工时长相同时,一键爆炒可赋予肉品更高的温度,可能使肉体表面更快形成了坚硬的焦化层结构。而板腱在结构上含更多的胶原蛋白与更少的水分^[20,21],这种高胶原蛋白结构使其在热加工后有更强的维持组织能力,蛋白降解程度低^[22],水分、油脂的损失程度更高,从而引起了硬度的持续增大。同时,较高的胶原蛋白含量也使经一键爆炒加

工板腱的弹性、回复性与凝聚性均高于对照，咀嚼性变化则未见明显趋势，在 0.22~0.76 区间波动；而水分与油脂含量更高的牛柳则未在弹性、回复性与凝聚性三种性质上呈现出随加工时间变化的显著趋势（ $P<0.05$ ）。综上，一键爆炒功能可以在更短的加工时间内赋予不同结构肉品良好的热加工质量，并较好地维持了肉品的弹性、咀嚼性等性质。

表 1 一键爆炒功能对加工过程中牛柳质构的影响

Table 1 Effect of Click to Stir-frying function on texture of beef fillet during processing										
时间/s	硬度/N		弹性		回复性		凝聚性		咀嚼性	
	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒
5	8.83±0.32 ^a	4.83±0.15 ^a	0.82±0.03 ^a	0.84±0.03 ^a	0.16±0.01 ^c	0.21±0.03 ^{bc}	0.78±0.01 ^a	0.71±0.08 ^{ab}	36.59±0.34 ^a	23.01±4.23 ^a
10	3.01±0.08 ^c	4.23±0.65 ^a	0.82±0.07 ^a	0.84±0.07 ^a	0.19±0.03 ^{bc}	0.23±0.01 ^{ab}	0.74±0.05 ^a	0.80±0.07 ^a	27.73±1.55 ^b	21.97±9.75 ^a
15	3.25±0.62 ^{bc}	3.45±0.29 ^{ab}	0.83±0.02 ^a	0.85±0.02 ^a	0.25±0.02 ^{ab}	0.19±0.00 ^c	0.81±0.04 ^a	0.76±0.00 ^{ab}	5.30±1.67 ^c	22.62±3.48 ^a
20	3.77±0.45 ^{bc}	3.07±0.35 ^b	0.84±0.05 ^a	0.83±0.04 ^a	0.22±0.03 ^{ab}	0.21±0.01 ^{bc}	0.74±0.02 ^a	0.76±0.04 ^{ab}	3.66±1.08 ^c	16.28±5.26 ^{ab}
25	4.11±1.60 ^{bc}	3.22±0.44 ^b	0.84±0.05 ^a	0.81±0.01 ^a	0.25±0.03 ^a	0.16±0.01 ^d	0.80±0.04 ^a	0.67±0.05 ^b	4.95±2.34 ^c	10.89±0.72 ^{ab}
30	4.22±1.00 ^b	3.79±0.55 ^{ab}	0.85±0.04 ^a	0.89±0.03 ^a	0.22±0.03 ^{ab}	0.24±0.00 ^a	0.76±0.04 ^a	0.82±0.04 ^a	5.36±2.30 ^c	2.48±0.85 ^b

注：不同的字母表示经方差分析在 $P<0.05$ 的水平下显著差异。

表 2 一键爆炒功能对加工过程中板腱牛排质构的影响

Table 2 Effect of Click to Stir-frying function on the tendinous texture of beef tendon during processing										
时间/s	硬度/N		弹性		回复性		凝聚性		咀嚼性	
	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒
20	0.25±0.03 ^c	0.53±0.09 ^c	0.71±0.04 ^b	0.79±0.03 ^b	0.18±0.03 ^b	0.26±0.02 ^b	0.70±0.05 ^b	0.81±0.03 ^b	0.58±0.23 ^b	0.53±0.20 ^b
40	0.53±0.04 ^b	0.93±0.14 ^b	0.86±0.07 ^a	0.88±0.03 ^a	0.31±0.01 ^a	0.28±0.01 ^{ab}	0.90±0.05 ^a	0.90±0.03 ^{ab}	0.67±0.02 ^a	0.33±0.15 ^c
60	0.84±0.16 ^a	1.07±0.05 ^{ab}	0.90±0.02 ^a	0.91±0.02 ^a	0.30±0.00 ^a	0.30±0.02 ^a	0.90±0.01 ^a	0.91±0.01 ^a	0.37±0.00 ^c	0.66±0.25 ^a
80	0.91±0.15 ^a	1.15±0.18 ^a	0.92±0.03 ^a	0.92±0.05 ^a	0.32±0.01 ^a	0.31±0.02 ^a	0.93±0.01 ^a	0.94±0.05 ^a	0.22±0.06 ^d	0.76±0.11 ^a

注：不同的字母表示经方差分析在 $P<0.05$ 的水平下显著差异。

2.4 一键爆炒功能对加工过程中肉类脂肪含量的影响

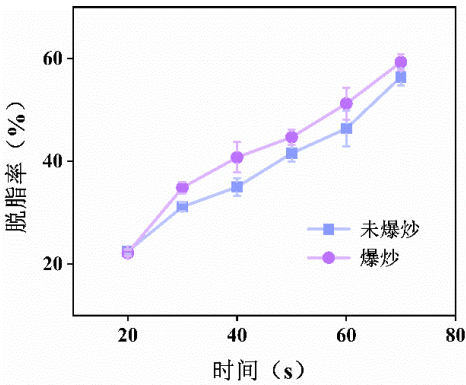


图 3 一键爆炒功能对五花肉脱脂程度的影响

Fig.3 Effect of Click to Stir-frying function on degreasing degree of pork belly

由图 3 可见，一键爆炒五花肉的脱脂率由加工 20 s 的 22.15% 上升至加工 70 s 的 59.30%，而对照组的脱脂率则由加工 20 s 的 22.47% 上升至 70 s 的 56.40%，可见经一键爆炒加工的五花肉在 20~70 s 加工时长内的脱脂率均高于对照，并在加工 40 s 取得最好的脱脂率提升效果，较对照提高 5.78%，表现出更优良的脱脂性能。五花肉中的固体猪油熔点为 30~45 ℃^[23]，当体系温度高于熔点时，油脂便融化流出；而肉品中的脂肪细胞也会因受热后结构破裂而导致脂质外流。上文已述，一键爆炒功能具有更高的加热效率，可以在相同的加工时间内使加热对象达到更高的温度，因此在适当的加工时段内会具有更强的脱脂能力。梁峰等^[24]的研究结果也表明，随加热温度由 180 ℃ 提高至 220 ℃ 时，肥猪肉的脱脂率可由 40% 提升至 65%，此结果与该研究的结论匹配。

2.5 一键爆炒功能对加工过程中肉类挥发性风味的影响

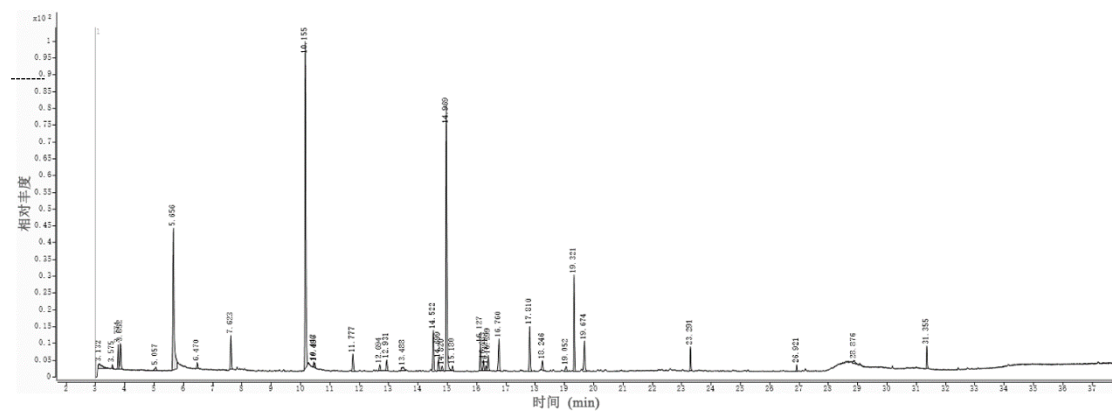


图 4 一键爆炒牛柳挥发性风味物质的 GC-MS 总离子流图

Fig.4 GC-MS total ionogram of volatile flavor substances in beef fillet with Click to Stir-frying function

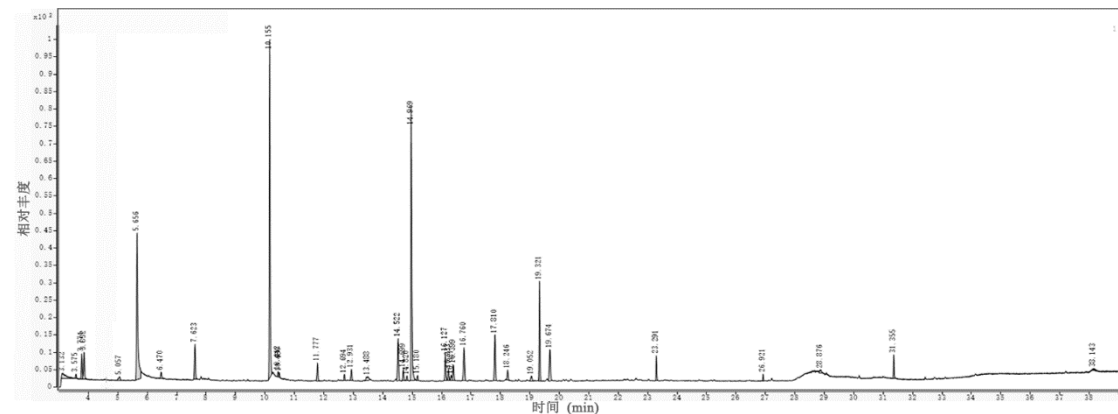


图 5 对照牛柳挥发性风味物质的 GC-MS 总离子流图

Fig.5 GC-MS total ionogram of volatile flavor substances in beef fillet without Click to Stir-frying function

表 3 牛柳挥发性风味物质的 GC-MS 分析结果（使用一键爆炒功能与否）

Table 3 GC-MS analysis results of volatile flavor compounds in beef fillet (with or without Click to Stir-frying function)

化合物类别	化合物名称	保留时间 /min	峰面积百分比含量/%		风味描述
			未爆炒	爆炒	
醛类	正己醛	7.631	4.35±0.19	6.94±0.35	蔬菜香
	正辛醛	13.437	0.22±0.02	0.40±0.03	甜橙香
	壬醛	16.311	0.78±0.06	0.91±0.04	甜瓜香
	苯甲醛	19.674	0.24±0.01	0.39±0.03	坚果香
醇类	三叔丁基甲醇	12.696	0.49±0.04	0.50±0.02	
	(2,5-二甲基四氢-2H-吡喃-2-基)甲醇	18.515	0.07±0.01	/	
	八甘醇	33.342	/	0.04±0.00	
醚类	八聚乙二醇一甲醚	37.213	0.05±0.00	/	
	六乙二醇单十二醚	38.171	1.61±0.13	0.94±0.08	
酸类	壬酸	31.359	0.58±0.03	0.86±0.07	脂肪和椰子香
	癸酸	32.423	/	0.09±0.01	油脂香与甜香

烃类	六甲基环三硅氧烷	3.232	0.05±0.00	0.96±0.02	
	八甲基环四硅氧烷	5.650	20.42±2.75	25.70±1.84	
	十甲基环五硅氧烷	10.127	29.51±1.98	35.31±3.01	
	十二甲基环六硅氧烷	14.938	18.59±1.32	17.94±0.76	
	十四甲基环七硅氧烷	19.314	5.26±0.46	4.61±0.48	
	十六烷基环八硅氧烷	23.286	1.36±0.21	1.38±0.27	
	十八甲基环九硅氧烷	26.916	0.33±0.04	0.33±0.04	
呋喃类	2-戊基呋喃	11.764	0.16±0.02	0.27±0.03	水果与青草香
酯类	丁位十二内酯	14.432	0.28±0.01	0.43±0.04	奶油香
其他	2,5-二甲基正己烷-2,5-二甲基基过氧化物	16.112	2.11±0.37	2.00±0.08	

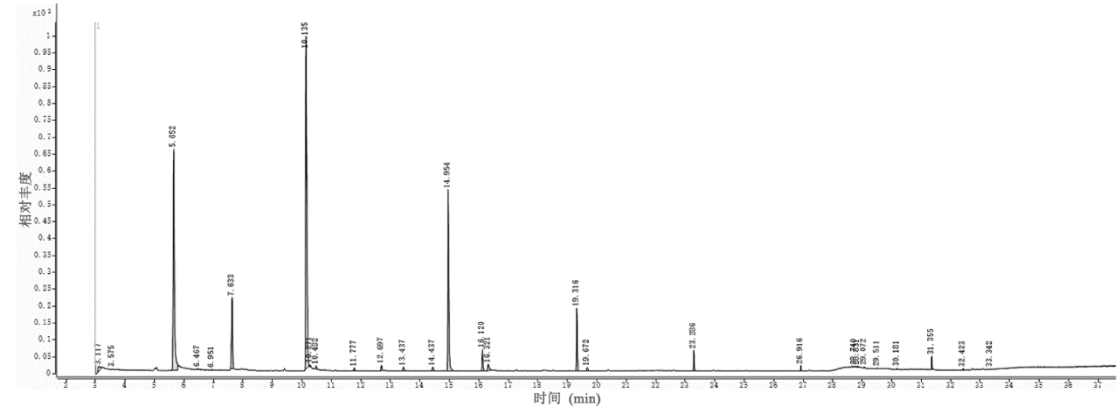


图 6 一键爆炒板腱牛排挥发性风味物质的 GC-MS 总离子流图

Fig.6 GC-MS total ionogram of volatile flavor substances in beef tendon with Click to Stir-frying function

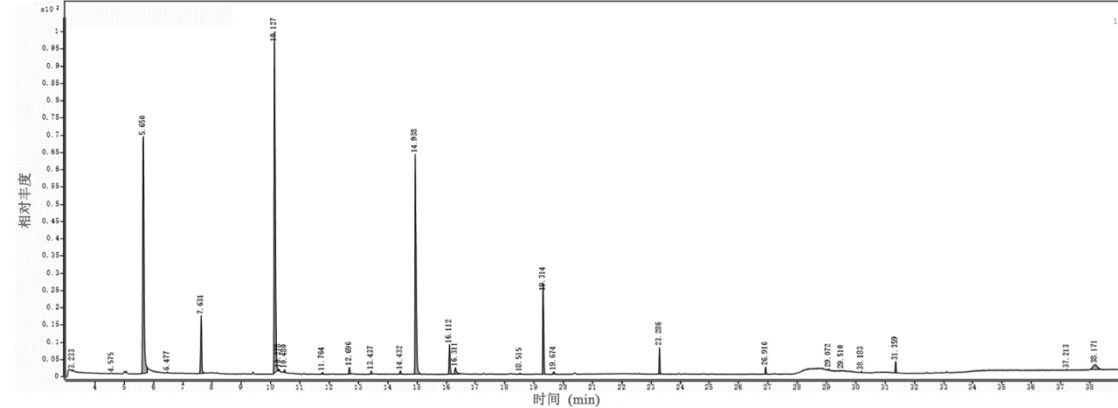


图 7 对照板腱牛排挥发性风味物质的 GC-MS 总离子流图

Fig.7 GC-MS total ionogram of volatile flavor substances in beef tendon without Click to Stir-frying function

表 4 板腱牛排挥发性风味物质的 GC-MS 分析结果（使用一键爆炒功能与否）

Table 4 GC-MS analysis results of volatile flavor compounds in beef tendon (with or without Click to Stir-frying function)

化合物类别	化合物名称	保留时间/min	峰面积百分比含量/%		风味描述
			未爆炒	爆炒	
酮类	3-羟基-2-丁酮	13.488	0.74±0.23	0.10±0.01	
醛类	2-甲基丁醛	3.774	1.74±0.25	0.92±0.05	巧克力香
	异戊醛	3.852	1.99±0.15	0.78±0.02	香蕉和葡萄香
	正己醛	7.623	2.57±0.08	2.21±0.16	蔬菜香
	正辛醛	13.432	/	0.12±0.01	甜橙香
	壬醛	16.321	0.46±0.03	0.16±0.01	甜瓜香
	苯甲醛	19.674	2.95±0.24	1.66±0.24	坚果香

醇类	三叔丁基甲醇	12.694	0.48 ±0.10	0.47 ±0.03	
	八甘醇	36.886	0.51 ±0.05	0.04 ±0.00	
	七聚乙二醇	38.118	/	0.21 ±0.01	
醚类	八聚乙二醇一甲醚	37.191	0.21 ±0.02	0.07 ±0.02	
	18-冠醚-6	38.168	/	0.19 ±0.01	
酸类	3,4-双（甲氧羰基）苯甲酸	3.575	0.27 ±0.02	0.20 ±0.03	
	壬酸	31.355	1.26 ±0.18	0.67 ±0.09	脂肪和椰子香
烃类	八甲基环四硅氧烷	34.532	15.43 ±2.57	26.06 ±4.03	
	十甲基环五硅氧烷	41.132	23.00 ±3.89	29.89 ±1.63	
	十二甲基环六硅氧烷	14.969	19.53 ±3.01	18.85 ±1.07	
	十四甲基环七硅氧烷	19.321	5.71 ±0.65	5.16 ±0.87	
	十六烷基环八硅氧烷	23.291	1.36 ±0.21	1.28 ±0.58	
	十八甲基环九硅氧烷	26.921	0.34 ±0.03	0.27 ±0.03	
	六甲基环三硅氧烷	31.225	1.71 ±0.21	0.88 ±0.10	
呋喃类	2-戊基呋喃	11.777	1.39 ±0.29	/	水果与青草香
	2,5-二甲基吡嗪	14.522	3.42 ±0.56	1.96 ±0.34	坚果香
吡嗪类	2,6-二甲基吡嗪	14.699	0.89 ±0.08	0.50 ±0.09	咖啡与坚果香
	2-乙基吡嗪	14.820	0.41 ±0.03	0.22 ±0.04	可可和坚果香
	2-甲基吡嗪	12.931	0.93 ±0.14	0.50 ±0.07	可可和坚果香
	2-乙基-5-甲基吡嗪	16.399	1.33 ±0.27	0.57 ±0.05	巧克力和奶油香
	2,3,5-三甲基吡嗪	16.760	2.91 ±0.66	1.59 ±0.21	坚果与巧克力香
	2,3-二甲基-5-乙基吡嗪	17.810	3.68 ±0.83	2.18 ±0.25	坚果香
	3-乙基-2,5-甲基吡嗪	18.246	0.82 ±0.09	0.49 ±0.03	坚果香
	3,5-二乙基-2-甲基-吡嗪	19.052	0.52 ±0.03	0.24 ±0.01	坚果香
	2,3-二甲基吡嗪	15.180	0.40 ±0.05	0.21 ±0.04	可可香
	2-乙基-6-甲基吡嗪	16.233	0.90 ±0.04	0.29 ±0.03	坚果香
	2-乙基-3,5,6-三甲基吡嗪	19.568	0.17 ±0.02	0.06 ±0.00	坚果香
其他	2,5-二甲基正己烷,2,5-二甲基羟基过氧化物	16.127	1.96 ±0.42	1.86 ±0.15	

通过气相色谱质谱联用，分别在加工的牛柳和板腱中检测出 21 种和 38 种风味物质。牛柳中检出物质包括醛类 4 种、醇类 3 种、烃类 7 种、酸类 2 种、酯类 1 种、醚类 2 种、呋喃类 1 种以及过氧化物 1 种。对应 GC-MS 总粒子流图见图 4 与图 5。炒制牛排中检出物质包括酮类 1 种、醛类 6 种、醇类 3 种、烃类 10 种、酸类 2 种、醚类 2 种、呋喃类 1 种、吡嗪类 12 种与过氧化物 1 种，对应 GC-MS 总粒子流图见图 6 与图 7。

研究表明，在肉制品由加热而形成风味的过程中，大量挥发性风味成分来源于脂肪氧化，脂肪降解会产生醛、酮、酸、酯与呋喃等物质^[25]。其中，本研究在牛柳和板腱中检出的醇、醚类如三叔丁基甲醇、八聚乙二醇一甲醚的饱和度均较高，对肉品风味贡献较小。由表 3 与表 4 可见，经一键爆炒加工牛柳的醛类、呋喃类与酯类物质的峰面积百分比含量均高于对照，如具蔬菜香气的正己醛的峰面积百分比含量由 4.35% 上升至 6.94%，具水果与青草香的 2-戊基呋喃峰面积百分比含量由 0.16% 上升至 0.27%，具奶油香的丁位十二内酯峰面积百分比含量由 0.28% 上升至 0.43%。而此三类挥发性物质大多具有对肉品风味有助益的特征风味物质^[26]。

板腱中则更多检出了吡嗪类物质，如 2,5-二甲基吡嗪、2,3-二甲基-5-乙基吡嗪等。吡嗪类物质来源于美拉德反应，具有类坚果和奶油的特殊香气^[27]。但经一键爆炒加工的板腱检出的烃类物质峰面积百分比含量较对照更多，故具有肉品特征风味的物质峰面积百分比含量较对照更少。与对照组相较，经一键爆炒加工的牛柳新检测出了具油脂香气的癸酸。Takakura 等^[28]的研究表明，癸酸对肉制品的风味贡献起特殊作用，可使肉制品获得醇厚、圆润的口感体验；经一键爆炒的板腱相比对照则新检出了具类甜橙香气的正辛醛，其峰面积百分比含量为 0.12%；但对照样品中检出的 2-戊基呋喃并未检出，而 2-戊基呋喃已被研究证明为烤制肉品种关键的呈气味物质^[29]。这说明，一键爆炒功能会同时引起挥发性化合物种类和含量的变化，产生新的风味组合。值得注意的是，经一键爆炒加工

的牛柳与板腱检出的 2,5-二甲基正己烷-2,5-二甲羟基过氧化物的峰面积百分比含量均低于对照, 由此推测, 一键爆炒功能可在一定程度上降低过氧化物的形成量。

2.6 一键爆炒功能对加工过程中肉类感官特性的影响

邀请专业感官评定人员对使用或不使用一键爆炒功能加工牛柳的色泽、质地、嫩度、多汁性、风味与喜好度进行评分, 结果如图 8 所示。在所有经实验的加工时长范围内, 一键爆炒加工牛柳的风味得分在加工 25 s 时达到 7.6 的最高值, 嫩度则在加工 10 s 时达到 8.2 的最高值, 且在所有加工时长中, 一键爆炒牛柳的风味与嫩度得分均高于对照组; 除加工 5 s 的牛柳外, 一键爆炒牛柳的多汁性、质地得分均高于对照组, 上述结果与关于水分含量与质构特性的分析匹配。而色泽得分则以对照组为优, 源于高功率的一键爆炒模式易使肉品表面发生更剧烈的美拉德反应, 形成较深的色泽。综上说明, 一键爆炒功能可提升牛柳除色泽外的多项感官体验。同时, 全加工时段的一键爆炒牛柳获得的喜好度得分均高于未经一键爆炒加工牛柳的得分, 即经一键爆炒加工的牛柳更受消费者喜爱。其中, 一键爆炒加工牛柳的最高喜好度得分在加工 20 s 处获得。这说明一键爆炒功能在多维度上均能更好地满足消费者的牛肉产品的加工需求。

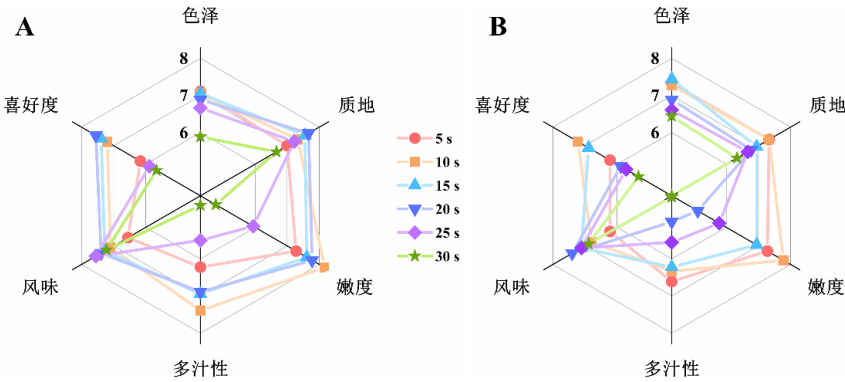


图 8 一键爆炒 (A) 与对照组 (B) 牛柳感官评定结果

Fig.8 Sensory evaluation results of Click to Stir-frying (A) and control group (B) beef fillet

2.7 一键爆炒功能对加工过程中胡萝卜水分的影响

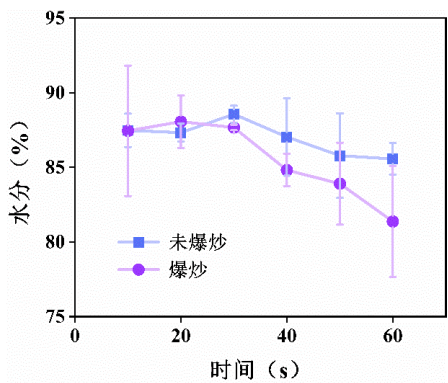


图 9 一键爆炒功能对胡萝卜水分含量的影响

Fig.9 Effect of Click to Stir-frying function on water content of carrot

使用或不使用一键爆炒加工胡萝卜在加工过程中的水分含量变化如图 9 所示。在烹饪时间 10~30 s 内一键爆炒与对照组的胡萝卜水分差距不大, 都在 87.48%~88.57% 区间; 但在 40~60 s 烹饪时间内, 经一键爆炒加工的胡萝卜水分流失更多, 从 84.82% 降至 81.37%; 而对照组胡萝卜水分流失较少, 仅从 87.04% 降至 85.57%。这可能是由于在较短烹饪时间内 (10~30 s), 一键爆炒功率更高、温度更高, 因此能在更快地熟制胡萝卜的同时锁住胡萝卜水分, 从而保持胡萝卜脆嫩的口感。但长时间的高温烹饪会使得胡萝卜细胞结构被破坏、组织软化, 从而导致

胡萝卜的水分大量流失，而一键爆炒的高温也使得胡萝卜水分流失比对照组更严重。因此，使用一键爆炒模式适用于短时间内烹饪胡萝卜，该模式能在快速熟制胡萝卜的同时保持其内部的水分。

2.8 一键爆炒功能对加工过程中胡萝卜质构的影响

质构是反映胡萝卜口感的重要因素，主要分为硬度、弹性、回复性、凝聚性以及咀嚼性五个指标^[30]。一键爆炒与对照处理对胡萝卜质构的影响如表 5 所示。在弹性、回复性、凝聚性方面，10~60 s 烹饪时间内，两种烹饪方式处理的胡萝卜没有太大变化与差异；但在硬度与咀嚼性方面，随着烹饪时间的增加，两种烹饪方式处理的胡萝卜都呈现出整体下降的趋势。一键爆炒胡萝卜的硬度由 51.86 N 下降至 8.36 N，对照组则由 34.29 N 下降至 4.13 N。硬度与咀嚼性的降低可能是由于在烹饪过程中胡萝卜随着温度的升高和水分的蒸发产生细胞壁收缩、细胞间的粘性物质分解、结合力降低等变化，从而导致胡萝卜的质地变软^[31]。烹饪时间为 20 s 时，对照组的硬度（31.85 N）与咀嚼性（142.87）高于一键爆炒组（28.04 N 与 95.90），这可能是由于一键爆炒模式具高功率、烹饪温度更高，可以更快地熟制胡萝卜从而导致硬度与咀嚼性降低更快。结合胡萝卜水分流失的结果来看，此时一键爆炒模式加工的胡萝卜水分开始大量流失，因此烹饪时间增长与水分流失两种因素的共同作用反而使得胡萝卜硬度与咀嚼性降低较慢。而对照组由于加热功率低，水分流失较慢，所以随着加热时长增加胡萝卜变软程度更高，硬度与咀嚼性降低更加迅速。综上，使用一键爆炒模式烹饪胡萝卜由于熟制速度更快，能够更好地保持其脆嫩程度，减缓胡萝卜软化速度。

表 5 一键爆炒功能对加工过程中胡萝卜质构的影响

Table 5 Effect of Click to Stir-frying function on texture of carrot during processing

时间 /s	硬度/N		弹性		回复性		凝聚性		咀嚼性	
	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒	未爆炒	爆炒
10	34.29±4.47 ^a	51.86±7.64 ^a	0.69±0.02 ^c	0.71±0.00 ^c	0.22±0.02 ^c	0.22±0.01 ^b	0.53±0.05 ^e	0.52±0.03 ^d	94.32±6.46 ^c	196.71±42.01 ^a
20	31.85±8.19 ^a	28.04±6.06 ^b	0.66±0.02 ^d	0.62±0.01 ^d	0.25±0.01 ^{ab}	0.22±0.04 ^b	0.58±0.03 ^d	0.53±0.09 ^d	142.87±1.54 ^a	95.50±18.10 ^c
30	18.25±3.28 ^b	19.05±3.24 ^c	0.76±0.06 ^b	0.73±0.00 ^{bc}	0.26±0.02 ^a	0.25±0.01 ^a	0.62±0.01 ^c	0.63±0.00 ^b	113.77±11.04 ^b	143.23±34.38 ^b
40	15.21±0.55 ^{bc}	20.94±3.62 ^c	0.78±0.08 ^b	0.72±0.02 ^{bc}	0.23±0.00 ^{bc}	0.25±0.15 ^a	0.63±0.02 ^c	0.58±0.15 ^c	71.18±16.96 ^d	73.27±20.15 ^d
50	9.38±1.24 ^{bc}	16.74±1.42 ^c	0.83±0.00 ^a	0.74±0.02 ^b	0.22±0.00 ^c	0.26±0.00 ^a	0.66±0.05 ^b	0.65±0.00 ^b	34.35±0.32 ^e	74.10±25.78 ^d
60	4.13±1.38 ^c	8.36±1.84 ^d	0.77±0.08 ^b	0.82±0.08 ^a	0.25±0.02 ^{ab}	0.22±0.03 ^b	0.74±0.04 ^a	0.68±0.00 ^a	29.63±7.52 ^e	60.69±24.17 ^e

注：不同的字母表示经方差分析在 $P < 0.05$ 的水平下显著差异。

2.9 一键爆炒功能对加工过程中胡萝卜感官特性的影响

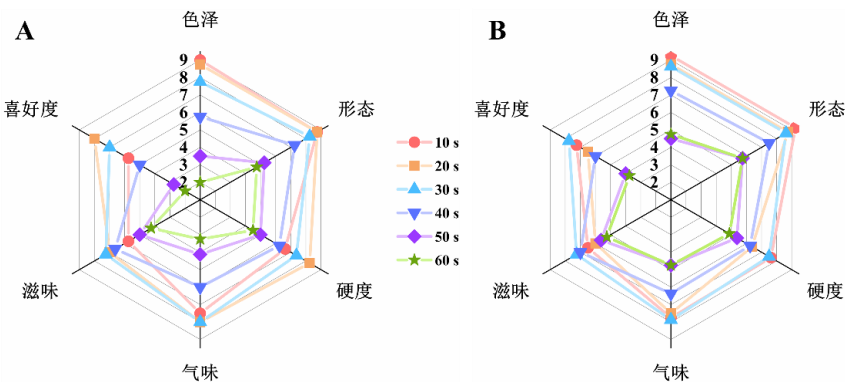


图 10 一键爆炒 (A) 与对照组 (B) 胡萝卜的感官评定结果

Fig.10 Sensory evaluation results of Click to Stir-frying function of carrot (A) and control group (B)

邀请专业感官评定人员对使用或不使用一键爆炒功能加工胡萝卜的色泽、形态、硬度、气味、滋味与喜好度进行评分，结果如图 10 所示。在所有实验的加工时长范围内，一键爆炒与对照组总体感官评分均呈现为在烹饪初期随着烹饪时长增加而上升，而随着烹饪时长进一步增加而下降。这可能是由于在烹饪初期时，烹饪时间太短会不足以熟制胡萝卜，不能激发出胡萝卜的香味，且硬度较大、口感较差，所以评分较低；进一步烹饪使得胡萝卜

口感较好、软硬适中并呈现出较好的色泽、风味、形态，所以评分达到最佳状态；再次增加烹饪时间使得胡萝卜水分大量流失、表面发黑并且组织发软，降低整体形态的完整性，因此评分降低。

一键爆炒胡萝卜在烹饪时间为 20 s 时总体感官评分最高，达 8.0 分；而对照组在 30 s 时总体感官评分最高，为 7.0 分，可见一键爆炒组的可达到的最佳喜好度评分高于对照组。这与胡萝卜的水分以及质构的研究结果一致，即一键爆炒可以更快地熟制胡萝卜（20 s），并在此时维持胡萝卜较多的水分、较好的硬度与咀嚼性，使得此时的胡萝卜感官体验较好。而对照组需要更长的烹饪时间才可以熟制胡萝卜（30 s），且加工后的胡萝卜质地偏软，不能维持胡萝卜较好的脆嫩程度，从而使感官评分低于一键爆炒组。综上，相较对照组，在较短烹饪时间内使用一键爆炒模式能快速熟制胡萝卜并达到最佳感官体验。

2.10 一键爆炒功能对加工过程中胡萝卜素的影响

维生素 A 是人体所需的重要脂溶性维生素，但因蔬菜中含有较少的维生素 A，含有更多的前体物质胡萝卜素，因此把烹饪后总类胡萝卜素的含量变化作为衡量胡萝卜烹饪后营养价值的指标^[32]。使用或不使用一键爆炒功能加工胡萝卜后的胡萝卜素含量如表 6 所示。结果表明，在 20 s 与 30 s 烹饪时间下，一键爆炒胡萝卜中的总类胡萝卜素含量比对照组的含量低，但在两个烹饪时间下两组的总类胡萝卜素都保持稳定，一键爆炒组为 31.89~32.61 mg/kg，对照组为 36.20~36.55 mg/kg。

胡萝卜素的损失一方面是由于炒制时的高温可以软化细胞壁、快速破坏细胞结构，且胡萝卜素对光、热均敏感，在烹饪过程中易受热分解^[33]；另一方面是由于胡萝卜素易溶于食用油，烹饪过程中会有油脂粘附于容器上，造成脂溶性损失。因此，由于一键爆炒功能加热温度更高，类胡萝卜素在烹饪过程中受热损失更多，相比对照组类胡萝卜素含量更低。在 20 s 与 30 s 两组不同烹饪时间造成的胡萝卜素含量损失差异不大，Buratti 等^[34]和 Castro 等^[35]的研究也发现，随热加工时间的增加，胡萝卜中胡萝卜素会随细胞结构裂解而渗出，从而表现为在一定加工时间内胡萝卜素的含量随加工时长的上升而增加。由此表明，在 20 s 与 30 s 烹饪时间内可以很好地熟制胡萝卜并且不会造成胡萝卜素的进一步损失。

表 6 一键爆炒功能对胡萝卜在加工过程中胡萝卜素含量的影响

Table 6 Effect of Click to Stir-frying function on carotene content of carrot during processing

时间/s	加工方式	胡萝卜素含量/(mg/kg)
20	不爆炒	36.20±0.20 ^a
	爆炒	31.89±0.34 ^c
30	不爆炒	36.55±0.24 ^a
	爆炒	32.61±0.31 ^b

注：不同的字母表示经方差分析在 $P<0.05$ 的水平下显著差异。

3 结论

本研究系统探讨了灶具一键爆炒功能对中式烹饪效果的影响，研究对象为不同肉类和胡萝卜，重点分析了一键爆炒功能对烹饪过程中温度、水分含量、脱脂率、质构特性、挥发性风味物质以及感官评价的影响。

实验结果显示，一键爆炒功能能够在较短时间内迅速提升食材温度并具有较强的水分保持能力。牛板腱在使用一键爆炒功能且加工时长为 20~80 s 时，其温度明显高于对照组。一键爆炒加工五花肉的脱脂效率在 20~70 s 的加工时长内更高，最高提升效果可达 5.78%。在 5~30 s 的加工时长内，使用一键爆炒功能的牛肉样品水分含量（60.16%~72.34%）均高于对照组（57.46%~68.00%），且随烹饪时间增加呈现出较小的水分流失趋势。胡萝卜在 10~30 s 的烹饪时长内也表现出较高的水分含量，水分含量均在 87.48%~88.57% 区间，说明一键爆炒功能对蔬菜类食材也具有较好的水分保持效果。

同时，一键爆炒功能显著改善了牛肉和胡萝卜的质构特性，其硬度、弹性和咀嚼性均优于对照组。并且使用一键爆炒功能能够增加牛肉中有助于风味的挥发性物质的种类和含量，如醛类、呋喃类和酯类物质的含量显著增加。感官评价结果显示，使用一键爆炒功能的牛肉和胡萝卜在色泽、形态、硬度、气味和滋味等方面的评分更高。

综上所述，本研究证实了灶具一键爆炒功能在提升烹饪效率、优化食材质构、增强风味物质和提高感官评价方面具有显著优势。这些发现不仅为一键爆炒功能燃气灶具的智能开发和应用推广提供了科学依据，也为未来中

式烹饪技术的进一步研究提供了新的思路和方向。

参考文献

- [1] LIANG C B, CUI B, WANG F R, et al. Promoting healthy cooking patterns in China: Analysis of consumer clusters and the evolution of cooking pattern trends [J]. *Plos One*, 2023, 18(11): e0293919.
- [2] 谢乐,邓力,李静鹏,等.考虑收缩的爆炒热/质传递过程模拟与验证[J].*农业工程学报*,2020,36(18):251-262.
- [3] 邓鹏飞,张蒙恩.大火力高效率燃气灶的研究与应用[C]//中国家用电器协会.2015 年中国家用电器技术大会论文集.海尔集团厨房电器灶具产品部,2015:942-945.
- [4] 张丽.打造纯正中国味老板智能大火力燃气灶引领数字烹饪新潮流[J].*家用电器*,2022,10:53.
- [5] 黄石,李重重,王金花,等.家用智能燃气灶智能化水平评价方法研究[J].*日用电器*,2024,3:53-58+88.
- [6] LEE D, LEE H J, YOON J W, et al. Effects of cooking conditions on the physicochemical and sensory characteristics of dry-and wet-aged beef [J]. *Animal Bioscience*, 2021, 34(10): 1705.
- [7] 孙志涛.不同中式牛肉烹饪工艺对营养价值的影响研究[J].*中国食品工业*,2022,19:102-105.
- [8] MENA B, FANG Z, ASHMAN H, et al. Influence of cooking method, fat content and food additives on physicochemical and nutritional properties of beef meatballs fortified with sugarcane fibre [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020, 55(6): 2381-2390.
- [9] HAMADI E N, HAJEB P, SELAMAT J, et al. Bioaccessibility of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in grilled meat: The effects of meat doneness and fat content [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(2): 736.
- [10] 卜俊芝,徐迅,唐振兴,等.不同热加工方式对胡萝卜品质的影响[J].*食品与发酵工业*,2022,48(6):225-232.
- [11] LEE K, CHUNG H. Nutritional compositions and their retention rates of carrots by different cooking methods [J]. *Korean Journal of Food Preservation*, 2020, 27(3): 311-324.
- [12] 张豪,龚艳玲,张权,等.2 种空气炸锅烹饪肉类脱脂率的测试方法比对分析[J].*实验室检测*,2023,1(4):21-25.
- [13] ZHOU X, CHONG Y, DING Y, et al. Determination of the effects of different washing processes on aroma characteristics in silver carp mince by MMSE-GC-MS, e-nose and sensory evaluation [J]. *Food Chemistry*, 2016, 207: 205-213.
- [14] 徐若瑗,薛纪元,王敏,等.不同热处理方式对牛肉嫩度和挥发性风味物质的影响[J].*食品工业科技*,2023,44(4):77-87.
- [15] VASKOSKA R, HA M, ONG L, et al. Myosin sensitivity to thermal denaturation explains differences in water loss and shrinkage during cooking in muscles of distinct fibre types [J]. *Meat Science*, 2021, 179: 108521.
- [16] 赵钜阳,石长波,方伟佳.基于近红外光谱仪分析中式爆炒猪肉的水分含量[J].*肉类研究*,2018,32(7):42-48.
- [17] 安红周,王莉芬,徐献忠,等.不同熟度牛肉与高水分组织蛋白品质特性的比较研究[J].*食品科技*,2021,46(3):74-80.
- [18] ZHANG Y, LI S, ZHAO L. Effects of thermal processing and temperature on the quality, protein oxidation, and structural characteristics of yak meat [J]. *Journal of Texture Studies*, 2023, 54(5): 659-670.
- [19] 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+29.
- [20] NYQUIST K M, O'QUINN T G, DREY L N, et al. Palatability of beef chuck, loin, and round muscles from three USDA quality grades [J]. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(10): 4276-4292.
- [21] 罗杰琼,张淼,贾洪峰,等.不同部位原切牛排品质对比分析[J].*食品工业科技*,2023,44(10):270-279.
- [22] WANG T Z, HAN D, ZHAO L Y, et al. Binding of selected aroma compounds to myofibrillar protein, sarcoplasmic protein, and collagen during thermal treatment: role of conformational changes and degradation of proteins [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 71(46): 17860-17873.
- [23] ZHANG L S, ZHANG K B, YANG H, et al. Characterization of lard from different adipose tissues: Physicochemical properties, thermodynamics characteristics and crystallization behaviors [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2023, 115: 105021.
- [24] 梁峰,张志艳,张智,等.烤箱热风烘烤条件下的脱脂因素研究[C]//中国家用电器协会.2021 年中国家用电器技术大会论文集.广东美的厨房电器制造有限公司,2021:1246-1250.
- [25] SONG S, ZHENG F, TIAN X, et al. Evolution analysis of free fatty acids and aroma-active compounds during tallow oxidation [J]. *Molecules*, 2022, 27(2): 352.
- [26] WATANABE A, KAMADA G, IMANARI M, et al. Effect of aging on volatile compounds in cooked beef [J]. *Meat Science*, 2015,

107: 12-19.

- [27] WALL K R, KERTH C R, MILLER R K, et al. Grilling temperature effects on tenderness, juiciness, flavor and volatile aroma compounds of aged ribeye, strip loin, and top sirloin steaks [J]. *Meat Science*, 2019, 150: 141-148.
- [28] TAKAKURA Y, OSANAI H, MASUZAWA T, et al. Characterization of the key aroma compounds in pork soup stock by using an aroma extract dilution analysis [J]. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry*, 2014, 78(1): 124-129.
- [29] LIU H, HUI T, FANG F, et al. Characterization and discrimination of key aroma compounds in pre- and postrigor roasted mutton by GC-O-MS, GC E-Nose and aroma recombination experiments [J]. *Foods*, 2021, 10(10): 2387.
- [30] 张红敏.超高压处理对鲜切胡萝卜质地和颜色品质影响的研究[D].杭州:浙江大学,2013.
- [31] 姜雯.烹饪热处理对茭白食用价值、功能性成分和营养品质的影响及营养茭白粉的初步研制[D].扬州:扬州大学,2014.
- [32] 郝世松,赵予畅.烹饪对蔬菜中功能成分及其营养评价[J].*食品安全导刊*,2017,27:72.
- [33] SUN T, RAO S, ZHOU X, et al. Plant carotenoids: recent advances and future perspectives [J]. *Molecular Horticulture*, 2022, 2(1): 3.
- [34] BURATTI S, CAPP A C, BENEDETTI S, et al. Influence of cooking conditions on nutritional properties and sensory characteristics interpreted by e-senses: case-study on selected vegetables[J]. *Foods*, 2020, 9(5): 607.
- [35] DE CASTRO N T, DE ALENCAR E R, ZANDONADI R P, et al. Influence of cooking method on the nutritional quality of organic and conventional Brazilian vegetables: a study on sodium, potassium, and carotenoids [J]. *Foods*, 2021, 10(8): 1782.