不同部位牛肉对杏鲍菇牛肉菜肴品质的比较分析

潘治利[1,2]，于如梦[1,2]，黄忠民[1,3]，李航天[1,3]，马静一[4]

（1.河南农业大学食品科学技术学院，河南郑州 450002）（2.农业部大宗粮食加工重点实验室，河南郑州 450002）

（3.河南省冷链食品工程技术研究中心，河南郑州 450002）（4.河南农业大学信息与管理学院，河南郑州 450002）

摘要：为研究不同部位牛肉对杏鲍菇牛肉菜肴品质的影响，本文选择里脊、牛腩、后腿、黄瓜条和肩肉五个部位的牛肉，采用相同工艺制作杏鲍菇牛肉菜肴，进行探究不同部位牛肉对菜肴品质的影响。本文采用了质构分析仪、电子鼻、气质联用、扫描电镜等，分别从嫩度、质构、风味以及微观结构等方面进行了探讨。在嫩度方面，牛后腿的嫩度值最大，其次是黄瓜条部位。质构方面，里脊品质最好，黄瓜条次之；在风味物质方面，通过分析检测出的挥发性风味物质，肩肉 26 种、黄瓜条 20 种、里脊 16 种、后腿 15 种、牛腩 12 种；电子鼻雷达图显示 5 个部位牛肉的敏感物质类型没有显著性差异。微观结构方面，扫描电镜显示黄瓜条和肩肉部位肌纤维空隙和断裂程度最大。黄瓜条部位在感官评分中得到 85 分。结果得出，采用不同的牛肉部位制作杏鲍菇牛肉菜肴，黄瓜条部位风味物质 20 种、嫩度和质构品质较好、感官评分最高，因此，以黄瓜条部位为原料制作的杏鲍菇牛肉菜肴品质最好。

关键词：牛肉菜肴；嫩度；扫描电子显微镜；电子鼻；气相色谱-质谱联用仪

文章篇号：1673-9078(2020)06-264-273 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.6.1188

Comparative Analysis of Quality of *Pleurotus eryngii* Beef Dishes Treated by Different Parts of Beef

PAN Zhi-li[1,2], YU Ru-meng[1,2], HUANG Zhong-min[1,3], LI Hang-tian[1,3], MA Jing-yi[4]

(1.The College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(2.Key Laboratory of Staple Grain Processing, Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China)

(3.Henan Engineering Research Center of Cold-chain Food, Zhengzhou 450002, China)

(4.The College of Information and Management Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to study the effect of different parts of beef on the dishes quality of Pleurotus eryngii, this study selected the beef from the following five parts: sirloin, brisket, hind legs, cucumber strips and shoulder meat, and used the same technology to make Pleurotus eryngii beef dishes, to explore the effect of different parts of beef on the dishes quality. In this paper, texture analyzer, electronic nose, GC-MS and SEM were used to study the tenderness, texture, flavor and microstructure. In terms of tenderness, the tenderness of the hind legs of cattle was the highest, followed by cucumber strips. In the aspect of texture, the quality of loin was the best, followed by cucumber strip; in the aspect of flavor substance, the volatile flavor substance detected by analysis included 26 kinds of shoulder meat, 20 kinds of cucumber strip, 16 kinds of loin, 15 kinds of hind legs and 12 kinds of beef brisket; the electronic nose radar showed that there was no significant difference in the sensitive substance types of beef in five parts. In the aspect of microstructure, scanning electron microscopy showed that the muscle fiber gap and the degree of fracture were the largest in cucumber strips and shoulder. The sensory score of cucumber strip was 85. The results showed that there were 20 kinds of flavor substances, better tenderness and texture, and the highest sensory score in different parts of beef. Therefore, the quality of apricot abalone beef dishes made from the parts of cucumber was the best.

引文格式：

潘治利,于如梦,黄忠民,等.不同部位牛肉对杏鲍菇牛肉菜肴品质的比较分析[J].现代食品科技,2020,36(6):264-273

PAN Zhi-li, YU Ru-meng, HUANG Zhong-min, et al. Comparative analysis of quality of *Pleurotus eryngii* beef dishes treated by different parts of beef [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(6): 264-273

收稿日期：2019-12-04

基金项目：国家重点研发计划项目（2018YFD0400502）；郑州市科技重大专项（174PZDZX576）；河南省科技攻关项目（182102110064）

作者简介：潘治利（1979-），男，博士研究生，副教授，研究方向：农产品加工与控制

通讯作者：黄忠民（1963-），男，教授，研究方向：速冻食品

Key words: beef dishes; tenderness; scanning electron microscope; electronic nose; GC/MS

中式菜肴作为饮食文化的组成部分，深受我国人民的喜爱，并形成了各种风格的菜肴[1]。菜肴烹调方法有煮、蒸、烧、炖、烹、炒、炸、烩、爆、溜、卤、扒、酥、焖、拌等，丰富多样。中式菜肴包含川菜、鲁菜、粤菜、杭帮菜等[2]，因其所具有的独特风味而别具一格。

但对于菜肴的研究主要集中于工艺优化、加工方式对菜肴品质的影响、菜肴的加工技术研究、贮藏期间菜肴的品质变化等。如蒋子敬等人研究了对调理方便菜肴咖喱牛肉调味料的最佳配比的优化和预煮温度和时间的加工工艺优化[3]；赵钜阳等人探究了微波复热功率和复热时间对速冻方便菜肴红烧肉品质的影响[4]；陈新欣等人分析和探讨了方便菜肴和其他方便肉制品之间在原料的选择、肉的预处理、配菜的选择、热加工工艺优化、包装方式以及杀菌方式等过程中出现的关键瓶颈问题以及相关的解决途径与方法等[5]。

自热菜肴作为调料菜肴，在复热的过程中因其不需要火、不需要电、不需要热水，仅用一个加热包和一袋水就可使菜肴在 15 min 内中心温度达到 65 ℃，具有方便、安全、快捷、加热时间短和不受地点限制的特点而受到众人的喜爱。目前自热食品主要有自热米饭、自热火锅和自热拌面等，但系列化、餐谱化程度不高，主副食种类较少。而且复热过程中存在品质不稳、风味降低、口感劣变、色泽变化等问题，从而影响自热菜肴的风味、口感、嫩度、质地和保质期等品质。目前大多数研究集中于不同部位原料肉的品质，但这种差异并不能代表自热菜肴的最终产品的品质，因此探究不同部位肉制品的食用菜肴品质差异很有必要[6]。

本文研究的杏鲍菇牛肉是一种传统的中式菜肴，深受广大人民的喜爱，原材料选用了市场能经常购买的里脊、牛腩、后腿、肩肉和黄瓜条五个部位的牛肉制作自热杏鲍菇牛肉菜肴，并通过感官、质构、剪切力、电子鼻和气质联用仪进行筛选最合适的牛肉部位，以此希望为自热荤菜食品的品质提升提供理论指导。

文中采用了电子仿生电子鼻和气质联用仪，结合感官更科学的分析品质的差异。电子鼻是由气敏传感器、信号处理系统和模式识别系统三部分组成，并采用气体感应器矩阵系统对食物的香气进行控管和评估的一种电子仿生技术[7]。气质联用技术是一种广发应用在肉制品挥发性风味物质测定，并具有分离高效、灵敏度高、分析快速、定量准确的检测分析技术[8]。挥发性风味物质是肉类制品独特风味的主要化合物，主要包含醛、酮和杂环化合物等[9]。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

不同部位原料牛肉购于郑州双汇食品有限公司；杏鲍菇、胡萝卜、盐、玉米淀粉、大豆油、干红辣椒等调味料均购于郑州某大型超市；无水乙醇：分析纯，天津市富宇精细化工有限公司；戊二醛 50%：分析纯，天津市致远化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

智能滚筒炒菜机 SMK-GT6，佛山市赛米控电子科技有限公司；TA-XT2i 物性分析仪，英国 SMS 公司；JJ3000 型电子天平，常州市双杰测试仪器厂；电子鼻 PEN3，德国 AIRSENSE 公司；Agilent GC-MS (5975C-7890 A)气质联用仪，美国 Agilent 公司；DF-101 S 集热式恒温加热磁力搅拌器，河南省予华仪器有限公司；英国 Quorum K 850 临界点干燥仪，南京覃思科技有限公司；S-3400-Ⅱ型扫描电子显微镜，日本日立公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品准备

以冷冻牛肉 100 g 为基础，新鲜杏鲍菇 180%，水 54%、植物油 14%、淀粉 8%、生抽 6%、蚝油 6%、食盐 2.8%、干辣椒 2%。冷冻牛肉在 4 ℃下解冻 12 h，顺着肌纤维方向切约 1 cm×1.6 cm×2.0 cm 片状，然后清洗干净备用。将杏鲍菇切 0.5 cm 薄片、胡萝卜 1 cm、3 cm 长切成条状备用。

1.3.2 工艺流程

杏鲍菇→清洗、切片→预熟 ↘

原料肉→解冻→切块→清洗→腌制→油炸→炒制

胡萝卜→清洗、切条 ↗ ↓

成品←复制←冷却←杀菌←装袋、真空封口

1.3.3 样品制备

牛肉 100 g、水 14 g、淀粉 8 g、食盐 1.6 g，放置小盆中用保鲜膜密封 4 ℃下腌制 30 min，然后将腌制好的牛肉于 150 ℃油炸 1 min 捞出控油备用。将杏鲍菇薄片放入沸水中，待水开计时 2 min，放入冷水中冷却，捞出控水备用。然后进行炒制，油热后放入干红辣椒，辣椒炒制 1 min，然后放入牛肉、杏鲍菇和胡萝卜炒制 1 min，再放入食盐 1.2 g、生抽 6 g、蚝油

6 g、开水 40 g 炒制 1.5 min 结束。将菜肴冷却至室温后装袋，每袋135 g，然后真空封口。再将包装于121 ℃ 15 min 进行杀菌，最后冷却至室温再使用加热包进行复热制得样品。

表 1 感官评分标准表

Table 1 sensory rating scale

项目	评分标准	分值
色泽	牛肉呈酱红色、光泽明亮、富有食欲	20~25
	牛肉呈酱黄色、色泽较明显	13~19
	牛肉呈浅黄色、色泽不明显	6~12
	色泽黑暗、呈现酱油色、无光泽感	0~5
气味	牛肉香气浓郁、杏鲍菇味鲜浓	20~25
	牛肉香气较浓、杏鲍菇味较浓	13~19
	牛肉香气一般、杏鲍菇味一般	6~12
	香味浅淡或没有、有焦糊味	0~5
滋味	杏鲍菇味浓郁、滋味丰满、咸度适中	20~25
	杏鲍菇味适中、滋味整体可以接受	13~19
	滋味单一、某一风味过于突出或平淡	6~12
	有腥味、有异味	0~5
组织口感	肉质软烂适度、细腻鲜嫩、组织富有弹性、无粗糙感	20~25
	肉质略微发干、组织较富有弹性、粗糙感较小	13~19
	肉质略微发柴干硬、组织有弹性、较粗糙	6~12
	肉质硬或散烂、组织无弹性、 肉质粗糙	0~5

1.3.4 感官分析

本实验使用相同的加工工艺，通过对自加热菜肴的色泽、气味、滋味和组织口感状态进行感官评价，筛选出适宜加工杏鲍菇牛肉菜肴的牛肉部位，评审人员为 10 名经过专门培训的的食品专业人员，对自加热杏鲍菇牛肉菜肴的感官评分标准见表 1。

1.3.5 质构分析

将自热牛肉菜肴中的牛肉，用吸油纸吸去表面的油脂，再用小刀将牛肉切成 1 cm×1 cm×2 cm 的小块，质构仪测定方法，每组 3 个平行。测定条件参考 Relix Rabeler[10]等人的方法稍作修改：探头型号为P50探头，测试前速度为 5.0 mm/s，测试中速度为 1.0 mm/s，测试后速度为 5.0 mm/s，压缩距离为 50%，两次压缩间隔为 5 s，触发力 10 g。

1.3.6 剪切力测定

将牛肉块顺着肌纤维方向切成 1 cm×1 cm×2 cm 的小块用质构仪测定，每组 3 个平行。测定条件：探头型号为 WBS 探头，测试前速度为 5.0 mm/s，测试中速度为 1.0 mm/s，测试后速度为 5.0 mm/s，测试距离为 30 cm，初始激发力为 10 g。

1.3.7 扫描电子显微镜（scanning electron microscope，SEM）

参考 Wenjie Liu[11]测定方法并做修改，将肉样用刀片切成 3 mm×3 mm×5 mm 的肉片，在 2.5%戊二醛溶液中固定 24 h，用 0.1 mmol/L pH 7.4 的磷酸缓冲液冲洗 3 次，室温 27~28 ℃放置 2 h 后用蒸馏水冲洗，再分别用 50%、60%、70%、80%、90%和 100%的乙醇进行 30 min 梯度脱水，其中 100%乙醇脱水 2 次，然后浸入醋酸异戊脂中置换 2 次，每次 30 min，最后将样品放入超临界干燥仪进行干燥，后用 IB.5 型离子溅射喷金仪真空喷金，最后用扫描电子显微镜观察显微结构并拍照。

1.3.8 电子鼻测定

参考王綪[12]和 Huaixiang Tian[13]等人的方法，将牛肉切成肉糜，取 10 g 放入集气瓶中水浴 40 ℃水浴 5 min，在 25 ℃环境下进行电子鼻测定。测试条件：采样间隔时间为 1 s，传感器自动清洗时间为 60 s，传感器归零时间为 10 s，样品准备时间为 5 s，进样流量为 400 mL/min，分析采样时间为 80 s。

1.3.9 气质联用仪（Gas chromatograph-Mass spectrometer-computer，GC-MS）

准确称取 3 g 剁碎后的肉样于 20 mL 的萃取瓶中，放入 SPME 装置中，60 ℃下平衡 30 min，采用 65 μm PDMS/DVB 萃取头顶空萃取，然后插入 GC-MS 进样器中，测定条件参考 Yuan-Hui Wang[14]等人。

气相色谱条件：色谱柱为 19091S-433 毛细管柱（30 m×0.25 mm×0.25 μm），解吸温度为 270 ℃，解吸时间 5.0 min，无分流模式进样。

升温程序：柱子初温为 50 ℃，以 6 ℃/min 升温至 140 ℃，然后以 10 ℃/min 升温至 250 ℃，保持 5 min，载气为氦气，流速 1.0 mL/min。

质谱条件：电离轰击（EI），离子源温度为 230 ℃，电子能量 70 eV，四级杆温度 150 ℃，扫描质谱范围 50~450 amu；扫描速率 1 scan/s。

定性方法：通过与 NIST11.L 标准谱库进行数据对比，仅相似度>80%的才保留。

定量方法：挥发性化合物的相对百分含量按峰面积归一法进行计算。

1.3.10 数据分析

用 Excel、Word 和 SPSS 对数据进行整理和方差分析，数据以均值±标准差（mean±SD）表示。

2 结果与分析

2.1 嫩度

嫩度是评价牛肉品质的关键性指标，而嫩度受肌原纤维、结缔组织等因素的影响，剪切力值能直观反映牛肉的嫩度[15]。由表 2 可知，牛后腿的剪切力值最高，牛腩最低，其中牛后腿与其他部位相比，存在极显著性差异（p<0.01），牛腩与里脊、黄瓜条、肩肉之间具有显著性差异（p<0.05）。不同部位牛肉因肌肉中肌纤维粗细的不同，结缔组织的具有很大的差异，运动量越大其结缔组织越致密，剪切力值越大[16]，导致后腿肉剪切力显著高于其他部位的牛肉，嫩度也较差。

表 2 不同部位自热牛肉剪切力值

Table 2 Shear force of autothermic beef at different parts

样品	嫩度/kg
里脊	7.61±2.26^{b}
后腿	15.51±1.18^{a}
牛腩	4.52±0.20^{c}
黄瓜条	9.78±0.39^{b}
肩肉	7.87±1.62^{b}

注：同一列不同小字母表示差异显著（p<0.05）。

2.2 TPA 分析

不同部位的自热牛肉质构特性如表 3 所示，里脊、后腿、黄瓜条与牛腩、肩肉之间硬度存在显著差异（p<0.05），而后腿、黄瓜条与牛腩、肩肉之间硬度具有极显著差异（p<0.01）。牛腩与其他四个部位弹性之间具有极显著差异（p<0.01），推测是牛腩处于牛腹部及靠近牛肋处，脂肪积累较多[17]。

里脊、黄瓜条与后腿、肩肉之间弹性和咀嚼性都具有显著差异性（p<0.05）。五个部位之间内聚性没有差异性。里脊、后腿、黄瓜条与牛腩、肩肉之间粘附性具有显著差异性（p<0.05），因只有部位不同，其它加工工艺都一致，所以推测不同部位的蛋白和脂肪在自加热的复热过程中发生了不同的变化导致品质出现了差异。

表 3 不同部位的自热牛肉质构特性

Table 3 Characteristics of self-heating beef texture in different parts

样品	硬度/N	弹性/mm	内聚性/%	咀嚼性/mJ	粘附性/(N·mm)
里脊	23516.60±1596.88^{a}	0.61±0.04^{b}	0.55±0.03^{a}	7908.60±1188.26^{a}	12936.30±1343.80^{a}
后腿	29756.30±7994.70^{a}	0.23±0.04^{c}	0.48±0.05^{a}	3380.16±1545.72^{b}	14179.10±4243.61^{a}
牛腩	12821.60±2978.83^{b}	0.74±0.09^{a}	0.55±0.04^{a}	5646.66±1424.047^{ab}	7119.30±1972.89^{b}
黄瓜条	28279.40±2193.95^{a}	0.54±0.03^{b}	0.52±0.02^{a}	8014.90±1373.42^{a}	14774.70±1847.06^{a}
肩肉	10085.80±1852.09^{b}	0.24±0.07^{c}	0.54±0.08^{a}	1269.40±216.01^{b}	5446.00±1395.93^{b}

注：同一列不同小字母表示差异显著（p<0.05）。

2.3 电子鼻

电子鼻较传统感官分析具有简单、快速、客观和直观的特点。电子鼻的 10 个传感器对应的敏感物质类型如下：

W1C：芳烃化合物；W5S：氮氧化合物；W3C：氨，芳香分子；W6S：氢化物；W5C：烯烃，芳族，极性分子；W1S：烷类；W1W：硫化合物；W2S：醇，部分芳香族化合物；W2W：芳烃化合物，硫的有机化合物；W3S：烷类和脂肪类。

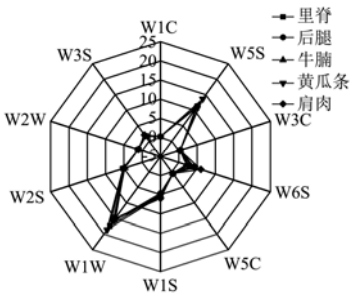


图 1 不同部位自热牛肉菜肴的电子鼻风味成分雷达图

Fig.1 Radar chart of electronic nose flavor components in different parts of self-heated beef dishes

根据电子鼻传感器对不同部位牛肉的香气成分的响应值不同，建立了直观雷达图如图 1 所示。不同部位自热牛肉挥发性风味差异主要在感应器 W1W、W5S、W6S、W2S 和 W1S，即硫化合物、氮氧化合物、氢化合物、醇，部分芳香族化合物和烷类等挥发性物质，具体挥发性成分还需要 GC-MS 的进一步验证。从雷达图可得，五个部位牛肉的风味在硫化物和氮氧化合物上较为突出。

2.4 GC-MS 分析

不同部位的自热牛肉菜肴风味成分物质见表 4、5、6、7、8，离子流图见图 2、3、4、5、6。由表可知，五个部位的自热牛肉菜肴检出的挥发性风味物质组分分别为里脊 16 种、后腿 15 种、牛腩 12 种、黄瓜条 20 种、肩肉 26 种。

挥发性物质包括为醛类、烷类、酯类、醇类、脂肪酸、含硫化合物、烯类、呋喃类等化合物，检测出的风味物质都是牛肉挥发性风味的重要成分物质[18]，而牛肉中的挥发性风味物质主要由美拉德反应和脂肪热降解产生[19]。

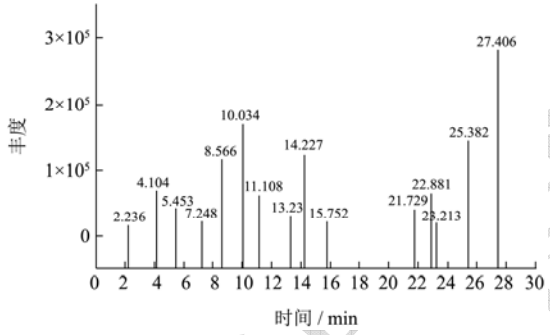


图 2 里脊部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴离子流图

Fig.2 Ion flow diagram of *Pleurotus eryngii* beef dish prepared on the fillet

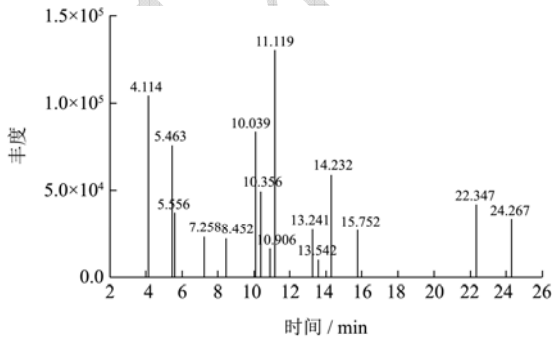


图 3 后腿部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴离子流图

Fig.3 Ion flow diagram of *Pleurotus eryngii* beef dish prepared on hind legs

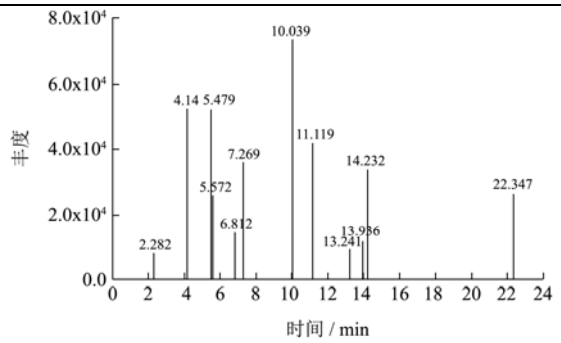


图 4 牛腩部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴离子流图

Fig.4 Ion flow diagram of *Pleurotus eryngii* beef dish prepared from burdock

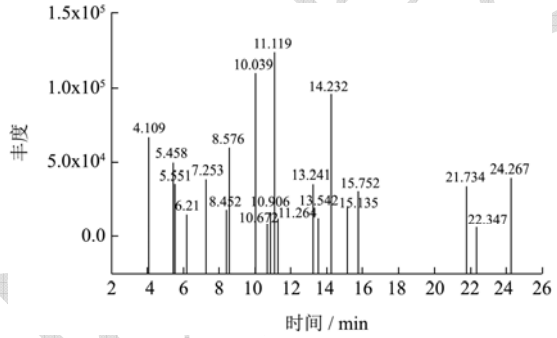


图 5 黄瓜条部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴离子流图

Fig.5 Ion flow diagram of *Pleurotus eryngii* beef dish prepared from cucumber strips

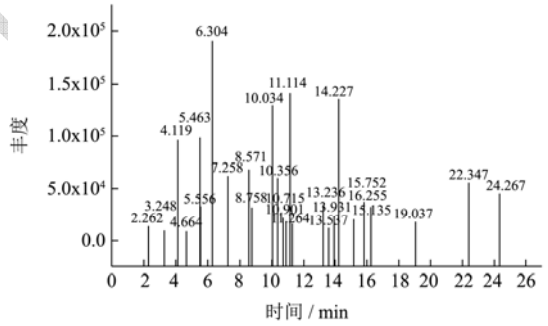


图 6 肩肉部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴离子流图

Fig.6 Ion flow diagram of *Pleurotus eryngii* beef dish made from shoulder meat

醛类是熟牛肉中重要的香味构成部分，如苯甲醛、壬醛、2,4-癸二烯醛、癸醛、苯甲醛二甲缩醛、反式-2,4-癸二烯醛和肉豆蔻醛，这五个部位的牛肉共检出七种醛类物质，其中反式-2,4-辛二烯醛具有牛肉的肪脂香和瓜香，只有肩肉部位检测出。肉豆蔻醛具有脂肪香，只在里脊部位检测出。醇类物质的阈值比醛类高且种类少，所以检出种类较少，本实验只在里脊中检出 1-辛烯-3-醇 6.839%、黄瓜条中检出 1,15-十五烷二醇 2.340%共两种物质。里脊部位检测出脂类物

质棕榈酸甲酯 3.492%和己二酸二己辛酯 19.302%两种，后腿部位检测出邻苯二甲酸二异丁酯 3.176%、牛腩部位邻苯二甲酸二异丁酯 0.844%，肩肉部位邻苯二甲酸二异丁酯 2.263%。其他挥发性物质，如呋喃、烯烃、烷类等物质受不同部位牛肉气味而呈现出差异性。

表 4 GC-MS 检测里脊部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴风味化合物

Table 4 Flavor-flavored compounds of *Pleurotus eryngii* prepared by GC-MS

化合物编号	保留时间/min	分子量	风味物质名称	相对含量/%
3	2.236	151.063	肟-，甲氧基-苯基-	2.341
8	4.104	106.042	苯甲醛	9.402
10	4.794	128.12	1-辛烯-3-醇	6.839
14	5.453	142.172	癸烷	3.850
23	7.248	136.125	萜品烯	2.412
30	8.566	142.136	壬醛	8.790
35	10.034	370.094	十甲基环五硅氧烷	12.519
43	11.108	170.203	十二烷	4.318
51	13.23	148.089	茴香脑	4.200
57	14.227	444.113	十二甲基环六硅氧烷	8.827
63	15.752	212.25	十五烷	1.512
99	21.729	212.214	肉豆蔻醛	2.371
110	22.881	270.256	棕榈酸甲酯	3.492
112	23.213	256.24	棕榈酸	1.451
122	25.382	228.115	双酚 A	8.374
128	27.406	370.308	己二酸二己辛酯	19.302

表 5 GC-MS 检测后腿部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴风味化合物

Table 5 GC-MS detection of flavour compounds of *Pleurotus eryngii* beef dishes prepared on the hind legs

化合物编号	保留时间/min	分子量	风味物质名称	相对含量/%
8	4.114	106.042	苯甲醛	22.533
15	5.463	142.172	癸烷	11.506
16	5.556	296.075	八甲基环四硅氧烷	5.938
24	7.258	136.125	萜品烯	3.828
28	8.452	156.188	十一烷	2.950
38	10.039	370.094	十甲基环五硅氧烷	9.613
41	10.356	170.203	3-甲基十一烷	6.340
44	10.906	254.149	癸基三氟乙酸盐	2.345
46	11.119	170.203	十二烷	14.162
51	13.241	148.089	茴香脑	3.787
52	13.542	386.173	十八烷基三氯硅烷	1.112
55	14.232	444.113	十二甲基环六硅氧烷	6.904
63	15.752	198.235	十四烷	2.557
75	22.347	278.152	邻苯二甲酸二异丁酯	3.176
78	24.267	255.777	环状八原子硫	3.248

表 6 GC-MS 检测牛腩部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴风味化合物

Table 6 GC-MS detection of flavor compounds in *Pleurotus eryngii* prepared from burdock

化合物编号	保留时间/min	分子量	风味物质名称	相对含量/%
3	2.282	151.063	肟-，甲氧基-苯基-	3.918

转下页

接上页

8	4.14	106.042	苯甲醛	20.841
14	5.479	142.172	癸烷	14.238
15	5.572	296.075	八甲基环四硅氧烷	7.545
20	6.812	281.139	6-（3,5-二甲基-1H-吡唑-1-基）-N-苄基-1,2,4,5-四嗪-3-胺	5.205
23	7.269	136.125	萜品烯	9.531
30	10.039	370.094	十甲基环五硅氧烷	15.514
35	11.119	170.203	十二烷	8.201
37	13.241	148.089	茴香脑	1.932
38	13.936	152.12	2,4-癸二烯醛	2.493
39	14.232	444.113	十二甲基环六硅氧烷	1.711
48	22.347	278.152	邻苯二甲酸二异丁酯	0.844

表 7 GC-MS 检测黄瓜条部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴风味化合物

Table 7 GC-MS detection of flavor compounds of *Pleurotus eryngii* prepared from cucumber strips

化合物编号	保留时间/min	分子量	风味物质名称	相对含量/%
6	4.109	106.042	苯甲醛	14.217
12	5.458	142.172	癸烷	7.083
13	5.551	296.075	八甲基环四硅氧烷	5.332
15	6.21	134.11	邻异丙基甲苯	2.036
22	7.253	136.125	萜品烯	5.604
26	8.452	156.188	十一烷	1.852
27	8.576	142.136	壬醛	6.878
35	10.039	370.094	十甲基环五硅氧烷	11.870
38	10.672	128.063	萘	1.030
41	10.906	168.188	环丙烷，1-甲基-2-辛基-	2.086
43	11.119	170.203	十二烷	12.474
44	11.264	156.151	癸醛	2.032
51	13.241	148.089	茴香脑	4.505
53	13.542	184.219	十三烷	1.325
56	14.232	444.113	十二甲基环六硅氧烷	10.614
61	15.135	296.1	1-碘-2-甲基十一烷	1.835
64	15.752	198.235	十四烷	2.740
75	21.734	244.24	1,15-十五烷二醇	2.340
77	22.347	334.214	3,4-环氧四氢呋喃	0.435
78	24.267	255.777	环状八原子硫	3.713

表 8 GC-MS 检测肩肉部位制作的杏鲍菇牛肉菜肴风味化合物

Table 8 Flavor-flavored compounds of *Pleurotus eryngii* and beef dishes prepared by GC-MS

化合物编号	保留时间/min	分子量	风味物质名称	相对含量/%
3	2.262	151.063	肟-，甲氧基-苯基-	1.536
4	3.248	136.125	蒎烯	1.053
8	4.119	106.042	苯甲醛	10.321
11	4.664	136.125	左旋-β-蒎烯	0.964
15	5.463	142.172	癸烷	7.483
16	5.556	296.075	八甲基环四硅氧烷	2.645

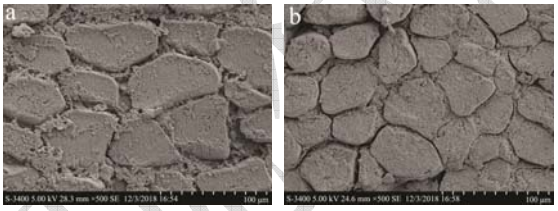
转下页

接上页

19	6.304	170.203	2,2,4,4-四甲基辛烷	17.127
24	7.258	136.125	萜品烯	4.840
32	8.571	142.136	壬醛	4.799
34	8.758	152.084	苯甲醛二甲缩醛	2.502
43	10.034	370.094	十甲基环五硅氧烷	7.900
46	10.356	170.203	3-甲基十一烷	3.889
48	10.745	168.188	十一烷，3-亚甲基-	1.220
49	10.901	396.19	3-七氟丁氧基十三烷	1.313
51	11.114	170.203	十二烷	8.073
52	11.264	156.151	癸醛	1.235
57	13.236	148.089	茴香脑	2.396
59	13.537	282.329	二十烷	1.041
61	13.931	152.12	反式-2,4-癸二烯醛	1.464
62	14.227	444.113	十二甲基环六硅氧烷	7.943
69	15.135	198.235	十三烷，3-甲基-	1.079
72	15.752	198.235	十四烷	1.901
73	16.255	204.188	1-石竹烯	1.757
82	19.037	226.266	十六烷	0.999
91	22.347	278.152	邻苯二甲酸二异丁酯	2.263
96	24.267	255.777	环状八原子硫	2.257

2.5 扫描电镜

不同部位自热牛肉的横截面扫描电镜图如图 7 所示，牛肉菜肴在经过自加热处理之后肌纤维微观结构有很大差异。里脊、后腿和牛腩部位牛肉的肌纤维排列较为紧密，纤维之间空隙小，而黄瓜条和肩肉部位横截面微观结构显示，纤维束不平整且有肌束膜，肌纤维束排列松散，纤维之间空隙大。



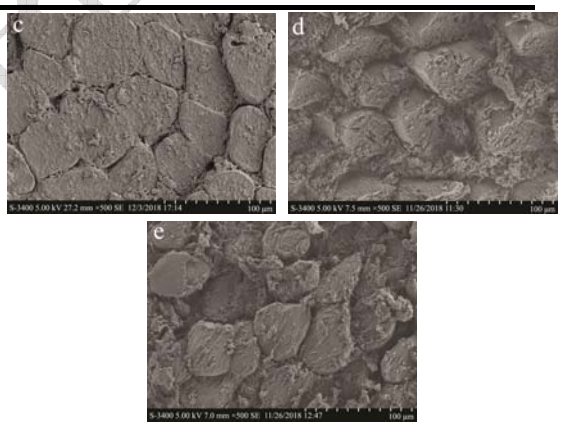


图 7 不同部位自热牛肉的扫描电镜图（500×）

Fig.7 scanning electron microscope (500×) of autoheated beef in different parts

注：a：里脊；b：后腿；c：牛腩；d：黄瓜条；e：肩肉。

2.6 感官分析

表 9 不同部位自热牛肉菜肴感官评价得分

Table 9 Sensory Evaluation Score of Self-heated Beef at Different Parts

不同部位	色泽	气味	滋味	组织口感	总分
里脊	21 ± 0.58^{a}	19 ± 0.58^{bc}	21 ± 1.00^{a}	21 ± 1.15^{a}	82
后腿	20 ± 0.58^{ab}	18 ± 0.58^{c}	21 ± 1.00^{a}	19 ± 1.53^{ab}	78
牛腩	21 ± 1.00^{a}	20 ± 0.58^{ab}	21 ± 1.00^{a}	21 ± 1.00^{a}	83
黄瓜条	21 ± 1.00^{a}	22 ± 1.00^{a}	21 ± 1.15^{a}	21 ± 1.00^{a}	85
肩肉	19 ± 1.00^{b}	22 ± 1.00^{a}	20 ± 1.00^{a}	18 ± 1.00^{b}	79

注：同一列不同小字母表示差异显著（p<0.05）。

感官评定结果见表 9，如表中所示，黄瓜条部位感官总分最高为 85 分，五个部位牛肉之间气味和组织口感存在显著性差异（p<0.05），色泽和滋味没有差异性，说明色泽和滋味对不同部位自热牛肉的感官品质影响不明显。感官分析发现，里脊肉味浓郁、色泽酱黄、咀嚼过程中较为细腻鲜嫩、滋味鲜美，后腿肉味一般、色泽较暗、咀嚼过程中组织富有弹性，牛腩肉味鲜浓、色泽浅黄、软烂油腻，可能与其高脂肪含量有关，而黄瓜条香味扑鼻、色泽酱黄、咀嚼起来较为爽滑细腻口感鲜美。

3 结论

通过对牛里脊、后腿、牛腩、黄瓜条和肩肉五个部位的自加热菜肴品质进行分析研究，结果表明在嫩度方面，牛后腿的剪切力值与其他部位相比具有极显著性差异（p<0.01），里脊、黄瓜条、肩肉与牛腩之间剪切力具有显著性差异（p<0.05），后腿和黄瓜条部位嫩度值最大，这与王勇峰[16]等人研究得出的肌肉部位显著影响牛肉嫩度品质结果相符合；在质构方面，里脊、后腿、黄瓜条与牛腩、肩肉之间硬度存在显著差异（p<0.05），而后腿、黄瓜条与牛腩、肩肉之间硬度具有极显著差异（p<0.01）。牛腩与其他四个部位弹性之间具有极显著差异（p<0.01），里脊、黄瓜条与后腿、肩肉之间弹性和咀嚼性都具有显著差异性（p<0.05）。五个部位之间内聚性没有差异性。里脊、后腿、黄瓜条与牛腩、肩肉之间粘附性具有显著差异性（p<0.05）。综合硬度、弹性、内聚性、咀嚼性和粘附性五个指标分析可得，牛肉菜肴经过自加热处理之后，里脊和黄瓜条部位质构品质较为相似；在风味方面，牛肉菜肴经过自加热处理之后挥发性风味物质种类依次为肩肉 26 种、黄瓜条 20 种、里脊 16 种、后腿 15 种、牛腩 12 种，肩肉部位风味物质最多，黄瓜条部位次之；微观结构方面，通过扫描电子显微镜观察，黄瓜条和肩肉部位纤维束破坏最为严重；感官评定结果显示，在色泽和组织口感上，肩肉与里脊、后腿、牛腩、黄瓜条部位具有显著差异性。气味上，里脊、后腿与牛腩、黄瓜条、肩肉具有显著差异性。滋味上，五个部位之间没有差异性。感官评分总分上黄瓜条部位最高 85 分；结果发现，采用不同的牛肉部位制作杏鲍菇牛肉菜肴，黄瓜条部位风味物质 20 种、嫩度和质构品质较好、感官评分最高，因此，以黄瓜条部位为原料制作的杏鲍菇牛肉菜肴品质最好。

参考文献

[1] 刘玲玲,申明月,聂少平,等.中式菜肴红烧肉烹饪过程中丙烯酰胺含量变化的动态监测[J].食品科学,2015,36(22):147-151
LIU Ling-ling, SHEN Ming-yue, NIE Shao-ping, et al. Dynamic monitoring of the changes in acrylamide content in chinese braised pork in brown sauce during cooking [J]. Food Science, 2015, 36(22): 147-151

[2] 宋泽,徐晓东,许锐,等.不同部位牛肉炖煮风味特征分析[J].食品科学,2019,40(4):206-214
SONG Ze, XU Xiao-dong, XU Rui, et al. Analysis of flavor characteristics of stewed beef from different carcass parts [J]. Food Science, 2019, 40(4): 206-214

[3] 蒋子敬,郭训练,李文秀,等.咖喱牦牛肉方便菜肴生产工艺优化[J].食品工业科技,2018,39(9):181-188,193
JIANG Zi-jing, GUO Xun-lian, LI Wen-xiu, et al. Optimization of production processing of the convenient dishes of curry yak meat [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(9): 181-188, 193

[4] 赵钜阳,石长波,张琪.微波复热功率及时间对速冻红烧肉品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2017,8(9):3519-3525
ZHAO Ju-yang, SHI Chang-bo, ZHANG Qi. Effects of different microwave re-heating powers and time on quality of quick-frozen pork braised in brown sauce [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(9): 3519-3525

[5] 陈新欣,张春江,张泓,等.腊肉方便菜肴加工技术研究进展[J].肉类研究,2016,30(3):33-38
CHEN Xin-xin, ZHANG Chun-jiang, ZHANG Hong, et al. Progress in processing technology for prepared dishes with smoked dry-cured meat [J].Meat Research, 2016, 30(3): 33-38

[6] 王静,孙宝国.中国主要传统食品和菜肴的工业化生产及其关键科学问题[J].中国食品学报,2011,11(9):1-7
WANG Jing, SUN Bao-guo. Industrialization of Chinese traditional food and dishes and the scientific problems [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(9): 1-7

[7] 金颖,董玉影,李官浩,等.成熟期间不同部位延边黄牛肉嫩度及质构特性的相关性分析[J].食品科技,2015,40(3):132-135
JIN Ying, DONG Yu-ying, LI Guan-hao, et al. Correlation analysis of tenderness and texture characteristics in different parts of Yanbian yellow beef during ripening time [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(3): 132-135

[8] 张迪雅,谢丹婷,李晔.应用电子鼻和 GC-MS 比较牛肉不同部位的挥发性物质组成[J].食品工业科技,2017,38(21):241-246
ZHANG Di-ya, XIE Dan-ting, LI Ye. Comparison of volatile components in different parts of beef by electronic nose and GC-MS [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(21): 241-246

[9] Watanabe A, Kamada G, Imanari M, et al. Effect of aging on volatile compounds in cooked beef [J]. Meat science, 2015, 107

[10] Felix Rabeler, Aberham Hailu Feyissa. Kinetic modeling of texture and color changes during thermal treatment of chicken breast meat [J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(8)

[11] Wenjie Liu, Tyre C. Lanier. Combined use of variable pressure scanning electron microscopy and confocal laser scanning microscopy best reveal microstructure of comminuted meat gels [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(2)

[12] 王綪,李璐,王佳奕,等.电子鼻结合气相色谱-质谱法对宁夏小尾寒羊肉中鸭肉掺假的快速检测[J].食品科学,2017,38(20):222-228
WANG Qing, LI Lu, WANG Jia-yi, et al. Rapid detection of ningxia small-tailed han sheep meat adulterated with duck by electronic nose combined with GC-MS [J]. Food Science and Technology, 2017, 38(20): 222-228

[13] Huaixiang Tian, Fenghua Li, Lan Qin, et al. Quality evaluation of beef seasonings using gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose: correlation with sensory attributes and classification according to grade level [J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(6)

[14] Yuan-Hui Wang,Xiao-Yu Yu. Biological activities and chemical compositions of volatile oil and essential oil from the leaves of *Blumea balsamifera* [J]. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 2018, 21(6)

[15] 郎玉苗,谢鹏,李敬,等.熟制温度及切割方式对牛排食用品质的影响[J].农业工程学报,2015,31(1):317-325
LANG Yu-miao, XIE Peng, LI Jing, et al. Effect of cooking final temperature and cutting method on eating quality of pan-fried steak [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(1): 317-325

[16] 王勇峰,丰永红,万红兵,等.新疆褐牛不同部位牛肉肌纤维类型及品质差异研究[J].食品工业科技,2018,39(6):19-24,37
WANG Yong-feng, FENG Yong-hong, WAN Hong-bing, et al. Study on the difference of muscle fiber types and quality in different parts of Xinjiang brown cattle [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(6): 19-24, 37

[17] 原琦,罗爱平,何光中,等.不同部位奶公犊小白牛肉挥发性风味物质分析[J].食品与机械,2015,31(5):39-42
YUAN Qi, LUO Ai-ping, HE Guang-zhong, et al. Study on volatile flavor compounds in different parts of dairy veal calf [J]. Food & Machinery, 2015, 31(5): 39-42

[18] 滕迪克,许洪高,袁芳,等.脂质降解产物在肉类香气形成中的作用[J].中国调味品,2008,6:71-76,83
TENG Di-ke, XU Hong-liang, YUAN Fang, et al. The contribution of lipids degradation products to meat aroma [J]. China Condiment, 2008, 6: 71-76, 83

[19] 李迎楠,刘文营,张顺亮,等,成晓瑜.反应时间对牛肉、牛骨美拉德反应产物风味品质的影响[J].肉类研究,2016,30(5):1-5
LI Ying-nan, LIU Wen-ying, ZHANG Shun-liang, et al. Effect of reaction time on the flavor quality of maillard reaction products from beef meat and bone hydrolysates [J]. Meat Research, 2016, 30(5): 1-5

（上接第 197 页）

[21] 董晓伟.全麦粉对曲奇饼干品质影响研究[D].郑州:河南工业大学,2016
DONG Xiao-wei. Study on effects of whole wheat flour on quality characteristics of cookies [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016

[22] 王鹏璞,朱雨辰,刘炎冰,等.煎炸和焙烤过程中油脂对丙烯酰胺形成影响研究进展[J].中国粮油学报,2017,32(2):140-146
WANG Peng-pu, ZHU Yu-chen, LIU Yan-bing, et al. Research process of effect of lipid on acrylamide formation during frying and baking [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(2): 140-146

[23] 王荣浩,李林林,陈栋,等.美拉德反应在烟草加工中的应用研究进展[J].食品工业科技,2019,40(3):345-350,356
WANG Rong-hao, LI Lin-lin, CHEN Dong, et al. Research progress on application of maillard reaction in tobacco production and processing [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3): 345-350, 356