

排酸时间与熟制程度对牛肉挥发性风味物质的影响

Effects of aging time and cooking degree on volatile flavors of beef

王恒鹏 吴 鹏 陈胜姝 屠明亮 高子武

WANG Heng-peng WU Peng CHEN Sheng-su TU Ming-liang GAO Zi-wu

谢 静 杨天意 陈 昌 孟祥忍

XIE Jing YANG Tian-yi CHEN Chang MENG Xiang-ren

(扬州大学, 江苏 扬州 225127)

(Yangzhou University, Yangzhou, Suzhou 225127, China)

摘要:为研究排酸时间与熟制程度对牛肉挥发性风味成分的影响,选择排酸过程中(3,5,7 d)的西门塔尔牛背最长肌分别制作五成熟、七成熟和全熟牛排,采用顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用(HS-SPME-GC-MS)法对不同排酸时间下各熟制程度牛肉进行挥发性风味物质的定性、定量与主成分分析,探究利于风味物质形成的排酸时间与熟制程度。结果表明:各牛肉样品中共鉴定出 50 种挥发性风味化合物,其中酯类化合物相对含量与排酸时间呈正相关,与熟制程度呈负相关,烃类、酮类化合物相对含量分别与排酸时间、熟制程度对应呈负相关,而醛类化合物相对含量与排酸时间和熟制程度均呈正相关,呋喃类化合物仅在排酸 7 d 的牛肉中有检出。主成分分析(PCA)与综合因子评分结果显示排酸 7 d 的五成熟牛肉中的挥发性风味化合物综合评分远高于其它样品组,该条件最利于牛肉中挥发性风味物质的形成。

关键词:牛肉;排酸时间;熟制程度;挥发性风味物质;主成分分析

Abstract: In order to study the effects of aging time, cooking degree and their interaction on beef flavor components, the longissimus dorsi of Simmental cattle in the process of aging time (3, 5, 7 d) were selected to make steaks of medium, medium well and well done. Volatile flavor components in different aging times and cooking degree were analyzed by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), explored the best aging time and cooking degree which were beneficial to flavor substances formed. Results showed that, a total of 50 volatile compounds were identified in each beef sample. The rel-

ative content of ester compounds was positively correlated with aging time, negatively correlated with cooking degree. The relative contents of hydrocarbons, ketones were negatively correlated with aging time and cooking degree respectively. However, the relative content of aldehydes was positively correlated with aging time and cooking degree. Furan compounds were only detected in beef with aging for 7 days. Principal component analysis (PCA) and comprehensive factor scores showed that the medium well beef with aging for 7 days gained the highest comprehensive score, which was the most conducive condition to form better volatile flavors in beef.

Keywords: beef; aging time; cooking degree; volatile compounds; principal component analysis

目前,牛肉已成为中国肉类消费增长的热点,消费市场呈逐步扩大之势,但中国牛肉产品主要集中于酱卤类制品^[1]。作为牛肉的一种深加工产品,牛排的引入打破了中国牛肉产品原有的单一现状。西方人将牛排的熟制程度分为一成熟、三成熟、五成熟、七成熟及全熟^[2]。牛排在煎、烤过程中会发生脂肪酸的热氧化、Maillard 反应与 Strecker 降解反应^[3],产生大量风味物质。李辉^[4]比较了直接煎制与水浴后煎制牛排的风味差异,发现 2 种加热方式对牛排挥发性风味化合物的种类与含量均有较大影响。

排酸是改善牛肉生产品质的重要工艺^[5],排酸过程主要涉及细胞凋亡与内源性蛋白酶对结构蛋白降解等变化^[6],会对肉类风味前体物产生一定的影响^[7],因此适宜的排酸时间除了能使牛肉具有较好的嫩度外,还能收获较佳的风味。Bruce 等^[8]研究发现与未经排酸的牛肉相比,排酸后的牛肉具备特殊的咸味或烧烤香味。

目前,国内外对牛肉排酸机理的研究已较为深入^[9-10],但结合宰后排酸过程来指导牛肉后期加工的研究甚少,仅有的是对其食用品质如质构、感官、保水性等方面的研

基金项目:江苏省社会科学基金项目(编号:17GLD021)

作者简介:王恒鹏,男,扬州大学助理讲师,硕士。

通信作者:孟祥忍(1977—),男,扬州大学副教授,博士。

E-mail: xrmeng@yzu.edu.cn

收稿日期:2018-09-20

究^[11-12],未见有排酸期间不同熟制度牛肉挥发性风味物质的相关研究。因此,本试验选取排酸期间的牛肉,严格控制肉块中心温度制作不同熟制程度牛排,分析排酸时间与熟制程度对牛肉挥发性风味物质的影响,并结合主成分分析(principal component analysis,PCA)与综合因子评分法,整合、简化数据体系,筛选出对牛肉挥发性风味物质形成最有利的排酸时间及其对应的熟制程度,旨在为中国牛排加工行业的科学化与规范化生产提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验牛:随机选取的 5 头 12 月龄的中国西门塔尔牛,常规育肥 6 个月,无锡天鹏集团有限公司;

甲醇、正己烷:GC 级,国药集团化学试剂有限公司。

Na₂S·9H₂O、KOH:AR 级,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

热电偶接触式测温仪:MK-301 型,杭州美控自动化技术有限公司;

电子天平:BS210S(1/1 000)型,北京赛多斯仪器系统有限公司;

韩式自动恒温电扒炉:GEG-820 型,河北德科机械设备有限公司;

万能烤箱箱:SCC101E 型,北京丰汇加机电设备销售有限公司;

萃取头:Supelco 75 μm Carboxen,上海楚定分析仪器有限公司;

气质联用仪:Trace ISQ II 型,美国热电公司。

1.3 方法

1.3.1 牛排的制作 按照标准(GB/T 19477—2004)屠宰工艺进行屠宰,在胴体 12~13 根肋骨处取背最长肌肉样,置于 4℃排酸库中进行排酸处理^[13]。序时取出宰后放置 3,5,7 d 的牛肉,将其切成规格为 6 cm×6 cm×3 cm 厚块。为减少烤制过程中牛肉内部的汁液流失,将电扒炉预热至 180℃,加少许油先煎制牛排的 4 个面,每个面分别煎制 20 s 后取出置于烤盘中,以确保牛肉外层率先成熟。后将热电偶插入牛排几何中心处(为确保精确,在几何中心插入 3 个热电偶来记录温度),烤箱预热至 220℃后,将烤盘送入烤箱的中间一层进行烤制,严格控制肉块中心温度,分别制作五成熟(ME, 60~63℃)、七成熟(MW, 66~68℃)、全熟(WD, 71℃)牛排^[14]。按测试要求取样。

1.3.2 挥发性风味物质

(1) 样品预处理:取 3,5,7 d 不同熟制程度牛肉样品用高速组织捣碎机绞碎,在液氮中粉碎成粉末,在-20℃条件下储藏,直至挥发性化合物检测。

(2) 顶空固相微萃取:肉样解冻后,称取 2.0 g,加入 1 mL 的饱和食盐水,匀浆后置于 20 mL 萃取瓶中,以封口膜立即密封瓶口。将经 250℃老化 40 min 后的萃取头穿过顶空瓶口的橡胶密封塞插入到萃取瓶中,然后在 60℃水浴

条件下顶空萃取 40 min,萃取结束后迅速拔出萃取头插入气质联用仪进样口,启动气质联用仪采集数据进行分析、鉴定。

(3) GC-MS 检测:色谱条件:色谱柱为 DB-Wax(30 m×0.25 mm×0.25 μm),载气为氦气。流速为 1.0 mL/min,不分流进样,进样口温度为 250℃;升温程序:起始温度为 40℃,保持 2 min,以 4℃/min 升到 120℃,再以 8℃/min 升到 240℃,保持 7 min;质谱条件:离子源温度 240℃;电离方式 EI⁺;电子能量 70 eV;灯丝电流 150 μA;质量扫描范围:30~450 *m/z*。

(4) 挥发性化合物的定性、定量分析:用 TuborMass 4.1.1 数据处理系统,对 GC-MS 结果进行分析,通过对比系统自带的 NBS、Nist 等数据库进行人工解析,各物质峰所得质谱图与标准数据库进行比对,根据其匹配度鉴定各挥发性化合物,同时采用峰面积归一化法计算出各挥发性风味成分的相对含量。

1.4 数据分析

所有数据用平均值±标准差表示。采用 Microsoft Office Excel 2003 软件与 SPSS 17.0 全因子模型对测试结果进行数据统计分析与主成分分析,差异显著水平 α 为 0.05。

2 结果与分析

2.1 挥发性风味化合物的组分与变化

不同排酸时间下各熟制度牛肉的挥发性风味物质的变化如表 1 所示。

风味是牛肉的重要属性之一,Matsuishi 等^[15]研究表明风味是能在多种动物肉样中鉴定出不同肉类品种的首要指标,其次才是质地。由表 1 可知,在不同排酸时间下各熟制程度牛肉中共检测出 50 种挥发性风味化合物,包括酮类 6 种、醛类 7 种、醇类 12 种、烃类 11 种、酸类 2 种、酯类 5 种、其它类 7 种。这些风味物质主要是由脂肪酸的热氧化、Maillard 反应与 Strecker 降解反应所形成。由脂肪酸热氧化与降解产生的化合物主要包括醛类、醇类、酮类和烃类化合物,而由 Maillard 反应所产生的化合物主要包括含硫、含氮及杂环化合物^[16]。由表 1~3 可知,9 组样品中检测出共有的酮类化合物 2 种,酮类化合物在排酸 7 d 的五成熟牛肉中相对含量最高,占 2.87%,与其它各组差异显著(P<0.05)。酮类化合物主要由不饱和脂肪酸的氧化、降解及 Maillard 反应产生,其阈值较高,对风味影响较小,可辅助形成杂环化合物,使肉品的香味更加饱满^[17]。随着熟制程度的提高,酮类物质的相对含量在排酸 5 d 与排酸 7 d 的牛肉样品中呈明显递减趋势(P<0.05),显示牛肉中的部分酮类化合物可能转化形成了杂环类化合物。而排酸 3 d 牛肉样品中的酮类物质随熟制程度的提高呈先增加后减少趋势,可能是此排酸期间牛肉中不饱和脂肪酸的热氧化程度提高所致。

醛类化合物主要源于原料肉中脂肪酸的氧化分解与氨基酸的 Strecker 降解^[18],且阈值较低,对肉品风味有一定的贡献作用。9 组牛排样品中检测出共有的醛类化合物 4 种,排酸 3 d 的五成熟牛肉中己醛含量最高,达 49.53%,且随着熟制程度的提高总体呈明显递减趋势(P<0.05),己醛主要

表 1 不同排酸时间下各熟制度牛肉的挥发性风味物质含量[†]

Table 1 The volatile flavor substances of all mature degrees of beef under different ripening time ($n=54$)

类别	名称	3 d			5 d			7 d		
		ME	MW	WD	ME	MW	WD	ME	MW	WD
酮类	丙酮	0.40	1.33	1.12	1.53	0.72	0.51	1.90	0.79	0.41
	5-甲基-2-己酮	—	—	—	—	—	—	—	0.04	0.04
	3-羟基-2-丁酮	0.03	0.13	—	—	0.05	0.05	0.80	0.19	—
	2-壬酮	0.04	0.04	0.03	0.05	0.05	0.06	0.10	0.04	0.03
	6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮	0.04	0.04	0.06	—	0.09	—	0.07	0.03	0.03
	2-十三烷酮	—	—	—	—	—	0.06	—	—	—
醛类	己醛	49.50	32.49	29.68	28.04	29.73	27.23	9.28	33.03	23.87
	壬醛	11.71	14.36	17.12	11.25	15.36	18.92	9.56	13.44	20.13
	十一醛	6.48	6.62	9.14	4.26	8.23	8.73	3.53	7.58	10.06
	十二醛	0.62	0.04	0.39	0.06	—	—	—	0.14	0.15
	2-乙基丁醛	4.70	3.68	1.87	—	—	7.26	4.06	5.86	8.17
	苯甲醛	0.37	0.56	0.83	0.54	0.77	1.08	0.61	0.79	0.69
	2-甲基戊醛	—	1.60	2.11	—	—	—	—	—	—
醇类	异辛醇	0.26	0.04	0.54	1.50	0.63	1.58	4.07	0.16	0.06
	环戊醇	1.21	—	—	—	1.03	—	—	—	—
	顺-2-戊烯-1-醇	—	0.12	0.14	0.17	0.09	0.09	0.12	0.08	0.04
	1-戊醇	1.94	3.35	2.10 ^c	3.67	1.97	1.41	4.91	2.45	1.55
	1-癸醇	0.05	—	—	—	—	—	2.60	—	—
	十三醇	0.89	3.58	3.61	1.69	3.40	3.23	1.98	2.92	3.13
	1-十一醇	1.23	0.42	0.73	0.95	0.21	0.16	—	—	0.36
	正己醇	3.22	6.61	5.16	8.26	1.96	1.57	4.44	1.92	2.62
	反式-9-十四烯-1-醇	0.41	0.28	0.37	0.22	0.39	0.35	—	0.18	0.22
	反式-2-己烯-1-醇	0.06	—	—	0.10	—	—	3.67	3.42	—
	1-辛醇	3.16	3.04	4.10	3.17	3.68	2.41	—	2.56	4.07
	1-十四醇	—	0.13	0.07	0.28	0.17	0.27	0.28	—	—
烃类	丁烷	0.03	0.05	1.11	0.05	0.04	0.03	2.50	—	—
	癸烷	—	0.24	0.25	0.74	0.30	0.61	0.07	0.25	0.23
	1-辛烯	2.86	2.90	3.59	2.79	3.01	1.76	—	—	2.83
	1,2,4,5-四甲苯	0.18	—	—	0.08	0.63	—	0.10	—	0.58
	十四烷	—	—	—	—	0.25	—	1.50	0.37	0.27
	十五烷	0.12	—	—	—	0.16	—	1.45	0.42	0.60
	3-甲基-3-羟甲基氧杂环丁烷	3.56	3.62	3.59	3.35	3.36	3.33	—	—	3.69
	十六烷	—	0.05	—	—	—	—	1.74	0.53	0.33
	二十烷	0.03	0.09	0.08	0.25	0.14	0.18	0.73	0.52	0.32
	1,3-二乙基苯	0.38	0.33	0.87	—	0.54	0.39	—	0.30	0.42
	1-十三烯	0.03	0.04	0.04	0.06	0.05	0.06	0.75	0.45	0.16
酸类	反式-2-己烯基己酸	0.15	0.21	0.20	0.12	0.32	0.15	—	—	—
	己酸	0.16	0.25	0.26	0.35	0.22	0.19	0.42	0.21	0.28
酯类	乙酸烯丙酯	—	0.04	0.04	0.08	—	—	0.06	—	—
	丙位庚内酯	—	0.07	0.03	0.08	0.07	0.07	0.08	0.06	0.03
	丙位十二内酯	—	0.05	0.03	5.36	0.78	1.44	9.31	3.37	1.09
	油酸甲酯	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—
	邻苯二甲酸二丁酯	0.03	0.08	0.06	0.20	0.05	0.11	0.34	0.17	0.10

续表 1

类别	名称	3 d			5 d			7 d		
		ME	MW	WD	ME	MW	WD	ME	MW	WD
其它类	2-烯丙基-6-甲基苯酚	0.16	—	—	—	0.68	—	0.05	—	0.41
	甘菊蓝	0.18	0.08	0.06	0.27	0.43	0.14	0.38	0.17	0.51
	草蒿脑	—	0.04	—	0.04	0.11	—	—	—	—
	2-正戊基呋喃	—	—	—	—	—	—	8.76	2.17	1.08
	1-甲基萘	0.21	—	—	—	—	—	—	—	0.46
	2-甲基萘	0.11	—	—	—	—	—	—	—	0.31
	环十五(烷)酰	0.12	0.49	3.38	0.82	3.42	3.75	2.15	2.55	1.76

† “—”表示未检出。

由亚油酸氧化产生,具有刺激性的辛辣味,是肉品重要的风味物质^[19]。排酸7 d的全熟牛肉中壬醛与十一醛的含量最高,随着熟制程度的提高呈明显递增趋势($P<0.05$),壬醛、十一醛具有柑橘、玫瑰等香气,油脂气味浓厚,可赋予牛排浓郁的肉香味^[20]。不同排酸时间下各熟制程度牛肉的醛类化合物含量差异较大,可能与排酸和熟制过程中牛肉的脂肪酸氧化程度有关。

醇类化合物主要由脂肪氧化产生,其阈值较高,对肉品风味贡献较小,对整体风味起协同作用^[21]。表1显示,9组牛排样品中检测出共有的醇类化合物4种,每组检出数均在8种以上。表2显示,排酸7 d的五成熟牛肉中醇类物质的相对含量最高,达22.07%,而排酸5 d全熟牛肉中醇类物质的相对含量最低,仅占11.07%。反式-2-己烯-1-醇为脂肪族

不饱和醇,具有蘑菇香气,阈值较低,对风味起重要作用^[22],此化合物的相对含量在排酸7 d的五成熟牛肉中达到最高。

烃类化合物主要来自脂肪酸烷氧自由基的均裂,萜烯类除外^[23],其阈值较高,对肉品风味贡献较小,但可作为形成杂环化合物的重要中间体^[24]。五成熟牛肉中烃类化合物的相对含量随排酸时间的延长逐渐增加,全熟牛肉的变化趋势则与之相反,可能因排酸过程中的牛肉发生脂质过氧化反应进一步产生烷氧自由基,而熟制程度的提升则使部分烃类化合物转化为杂环类化合物。

酸类化合物主要由中性脂肪降解及氨基酸脱氨反应产生,挥发性较低,对肉品风味有微弱的调节作用。从表1可以看出,不同排酸时间下各熟制程度牛肉样品中酸类化合物的相对含量较低,检出量少。且在排酸7 d制作的牛排中未

表 2 不同排酸时间下各熟制程度牛肉挥发性化合物的种类

Table 2 The volatile flavorspecies of all mature degrees of beef under different ripening time ($n=54$)

种类	3 d			5 d			7 d		
	ME	MW	WD	ME	MW	WD	ME	MW	WD
酮类	4	4	3	2	4	4	4	5	4
醛类	6	7	7	5	4	5	5	6	6
醇类	10	9	9	10	10	9	8	8	8
烃类	8	8	7	7	10	7	8	7	10
酸类	2	2	2	2	2	2	1	1	1
酯类	2	4	4	4	3	3	4	3	3
其它类	5	3	2	3	4	2	4	3	6

表 3 不同排酸时间下各熟制程度牛肉挥发性化合物的含量

Table 3 The volatile flavor contents of all mature degrees of beef under different ripening time ($n=54$)

种类	3 d			5 d			7 d		
	ME	MW	WD	ME	MW	WD	ME	MW	WD
酮类	0.51	1.54	1.21	1.58	0.91	0.68	2.87	1.09	0.51
醛类	73.41	59.35	61.14	44.15	54.09	63.22	26.86	60.84	63.07
醇类	12.43	17.57	16.82	20.01	13.53	11.07	22.07	13.69	12.05
烃类	7.19	7.32	9.58	7.32	8.48	6.36	8.84	2.84	6.37
酸类	0.31	0.46	0.46	0.47	0.54	0.34	0.42	0.21	0.28
酯类	0.14	0.24	0.16	5.72	0.90	1.62	9.79	3.60	1.22
其它类	0.78	0.61	3.44	1.13	4.64	3.89	11.34	4.89	4.53

检测出反式 2-己烯基己酸。酯类化合物主要因游离脂肪酸与脂肪氧化产生的醇酯化反应形成,短链脂肪酸酯化产生的酯具有果香味,而长链脂肪酸酯化生成酯呈油脂味^[25]。牛肉中酯类化合物的相对含量随排酸时间的延长总体呈明显递增趋势($P<0.05$),可能与排酸牛肉中游离脂肪酸的释放程度增加有关(表 3)。排酸 7 d 的五成熟牛肉中的丙位十二内酯相对含量最高,与其它各组差异显著($P<0.05$),丙位十二内酯具有油脂香气与桃子香韵,香气较持久,使牛排的风味更具层次感(表 1)。

其它类化合物主要由醚类、呋喃类、杂环类等物质组成,仅在排酸 7 d 的牛肉中检测出 2-正戊基呋喃,2-正戊基呋喃主要由 Maillard 反应产生,具有豆香、果香及类似蔬菜的香味^[26],对牛排风味形成具有重要的调节作用,且在排酸 7 d 的五成熟牛肉中相对含量最高。

2.2 挥发性化合物的主成分分析(PCA)

通常选取特征根 >1 的成分与累积贡献率 $\geq 80\%$ 的主成分数目作为研究对象^[27]。由表 4 可知,第 1 主成分和第 2 主成分的特征根为 4.299 和 1.751,均 >1.000 ,其累计贡献率分别达 61.419%和 86.438%,能较好地反映出不同排酸时间下各熟制程度牛肉中风味物质构成的原始信息。牛肉中挥发性风味化合物主成分的载荷矩阵与特征向量如表 5 所示。

根据第 1、第 2 主成分的特征根,结合因子载荷系数 a_{ij}

表 4 挥发性风味化合物的主成分因子特征值及方差贡献率
Table 4 Eigenvalue and variance contribution rate of principal component factor of volatile compounds

成分	初始特征根			提取因子载荷平方和		
	合计	方差贡献率/%	累计贡献率/%	合计	方差贡献率/%	累计贡献率/%
1	4.299	61.419	61.419	4.299	61.419	61.419
2	1.751	25.019	86.438	1.751	25.019	86.438
3	0.602	8.600	95.039			
4	0.204	2.912	97.950			
5	0.118	1.689	99.639			
6	0.019	0.277	99.916			
7	0.006	0.084	100.000			

表 5 挥发性风味化合物的主成分载荷矩阵与特征向量
Table 5 Principal component load matrix and eigenvector of volatile compounds

化合物	第 1 主成分(PC ₁)		第 2 主成分(PC ₂)	
	载荷 a	特征向量 u	载荷 a	特征向量 u
酮类	0.959	0.463	-0.082	-0.062
醛类	-0.974	-0.470	0.114	0.086
醇类	0.903	0.436	0.141	0.107
烃类	0.474	0.229	0.773	0.584
酸类	0.484	0.233	0.824	0.623
酯类	0.849	0.409	-0.464	-0.351
其它类	0.661	0.319	-0.468	-0.035

与主成分系数 u_{ij} 之间的关系 $a_{ij} = u_{ji} \sqrt{\lambda_j}$,计算出特征向量,可得主成分系数表达式:

$$Y_1 = 0.463X_1 - 0.470X_2 + 0.436X_3 + 0.229X_4 + 0.233X_5 + 0.409X_6 + 0.319X_7, \tag{1}$$

$$Y_2 = -0.062X_1 + 0.086X_2 + 0.107X_3 + 0.584X_4 + 0.623X_5 - 0.351X_6 - 0.035X_7. \tag{2}$$

式中:
 Y_1 ——表示第 1 主成分的评分;
 Y_2 ——表示第 2 主成分的评分;
系数——各化合物的特征向量;
 $X_1 \sim X_7$ ——分别为醛类、酮类、醇类、酯类、其它类、酸类、烃类化合物标准化后的数据。

结合第 1、第 2 主成分初始特征根的方差贡献率,可得每组样品的综合评分表达式:

$$Y = \frac{0.614 \ 19Y_1 + 0.250 \ 19Y_2}{0.864 \ 38}, \tag{3}$$

式中:
 Y ——样品综合评分;
系数——各主成分的方差贡献率。

通过计算可得 9 组风味样品的第 1、第 2 主成分评分与综合评分,如表 6 所示。

载荷绝对值越大,对主成分的贡献越大^[28],由表 4 可知,酮类、醛类、醇类、酯类是第 1 主成分的重要风味物质,贡献率大小依次为醛类 $>$ 酮类 $>$ 醇类 $>$ 酯类。第 2 主成分的重要风味物质只有烃类和酸类,贡献率大小为酸类 $>$ 烃类。

表 6 第 1、第 2 主成分评分及综合得分
Table 6 First and second principal component scores and comprehensive scores

排酸时间/d	熟制程度	Y_1 (PC ₁ 评分)	Y_2 (PC ₂ 评分)	Y (综合评分)
3	ME	-2.158	-0.055	-1.550
	MW	-0.104	0.809	0.160
	WD	0.073	1.483	0.481
5	ME	1.485	0.242	1.125
	MW	0.010	1.412	0.415
	WD	-1.397	-0.440	-1.120
7	ME	4.703	-0.298	3.255
	MW	-1.109	-2.445	-1.495
	WD	-1.503	-0.707	-1.272

由表 6 可知,排酸 7 d 的五成熟牛肉 PC₁评分最高,且综合评分远高于其它样品组。结合不同排酸时间下各熟制程度牛肉挥发性风味物质的变化情况,显示排酸 7 d 的五成熟牛肉中反式-2-己烯-1-醇、丙位十二内酯、2-正戊基呋喃等物质的相对含量最高(表 1),这些化合物阈值较低,均具有特殊的果蔬香气,对风味有重要的贡献作用,该条件下牛肉样品风味物质的综合评分最高。因此,从利于挥发性风味物质形成的角度考虑,宜选择排酸 7 d 的牛肉来制作五成熟牛排。

3 结论

采用 HS-SPME-GC-MS 法分析牛肉的风味品质,发现排酸时间与熟制程度对牛肉挥发性风味物质的组分与其含量变化有显著影响。在不同排酸时间下的各熟制程度牛肉中共检测出 50 种挥发性风味化合物,有且仅在排酸 7 d 的牛肉中检测出对风味组成具有重要贡献作用的呋喃类化合物。PCA 与综合因子评分结果显示醛类、醇类、酮类、酯类与其它类、酸类与烃类化合物的共同作用构成了牛肉的主体特征风味,排酸 7 d 的五成熟牛肉的风味化合物综合评分最高,此条件最利于风味物质的形成。本研究仅对排酸过程中的不同熟制度牛肉的挥发性风味化合物进行了测定与分析,并未深入探究风味物质的形成机理,后续研究可通过监测相关风味前体物质的变化情况,阐明排酸期间的不同熟制度牛肉挥发性风味化合物的形成机理。

参考文献

[1] 周荣新, 杨富民. 西冷牛排加工过程中食用品质保证关键控制点的研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2008(2): 251-254.

[2] SOTIROPOULOU M, BOKIAS G, STAIKOS G. Water-soluble complexe through coulombic interactions between bovine serum albumin and anionic polyelectrolytes grafted with hydrophilic nonionic dide chains[J]. Biomacromolecules, 2005, 6(4): 1 835-1 838.

[3] RESCONI V C, ESCUDERO A, CAMPO M M. The development of aromas in ruminant meat[J]. Molecules, 2013, 18: 6 748-6 781.

[4] 李辉. 低压环境下烹饪牛排的营养及工艺优化研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2012: 15-19.

[5] 张丽, 孙宝忠, 余群力. 牦牛肉宰后成熟嫩度预测模型与验证[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 286-292.

[6] OUALI A, HERRERA-MENDEZ C H, COULIS G, et al. Re-visiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms[J]. Meat Science, 2006, 74(1): 44-58.

[7] SHAHIDI F. 肉制品与水产风味[M]. 2 版. 李洁, 朱国斌, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 1-10.

[8] BRUCE H L, BEILKEN S L, LEPPARD P. Variation in flavor textural descriptions of cooked steaks from bovine M. longissimus thoracis et lumborum from different production and aging regimes [J]. Journal of Food Science, 2005, 70: S309-S316.

[9] HOU Xu, LIANG Rong-rong, MAO Yan-wei, et al. Effect of suspension method and aging time on meat quality of Chinese fattened cattleM. *Longissimus dorsi* [J]. Meat Science, 2014, 96: 640-645.

[10] 丰永红, 王勇峰, 李海鹏, 等. 新疆褐牛不同部位肉宰后成熟过程中蛋白降解变化研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(5): 382-389.

[11] 扶庆权, 张万刚, 王海鸥, 等. 包装方式对宰后牛肉成熟过程中食用品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 127-132.

[12] 程佳佳, 胡胜杰, 马汉军, 等. 成熟时间和斩拌时间对低盐牛肉

丸品质的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(5): 9-14.

[13] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 19477—2004 牛屠宰操作规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 1-4.

[14] 韦恩·吉斯伦. 专业烹饪[M]. 4 版. 李正喜, 译. 大连: 大连理工大学出版社, 2005: 179-181.

[15] MATSUISHI M, IGETA M, TAKEDA S, et al. Sensory factors contributing to the identification of the animal species of meat[J]. Journal of Food Science, 2004, 69: S218-S220.

[16] BRUCE H L, BEILKEN S L, LEPPARD P. Variation in flavor textural descriptions of cooked steaks from bovine M. longissimus thoracis et lumborum from different production and aging regimes[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(4): S309-S316.

[17] TIAN Huai-xiang, LI Feng-hua, QIN Lan. 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): 1 522-1 534.

[18] REINDL B, STAN H J. Determination of volatile aldehydes in meat as 2, 4-dinitrophenylhydrazones using reversed-phase high-performance liquid chromatography[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1982, 30(5): 849-854.

[19] FLORES M, GRIMM C C, TOLDRÁ F, et al. Correlations of sensory and volatile compounds of Spanish “Serrano” dry-cured ham as a function of two processing times[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1997, 45(6): 2 178-2 186.

[20] 綦艳梅, 孙宝国, 黄明泉, 等. 同时蒸馏萃取-气质联用分析月盛斋酱牛肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2010, 31(18): 370-374.

[21] 张雷亮, 李晟, 郭鸽, 等. 1-辛烯-3-醇的合成工艺优化研究[J]. 山东化工, 2017, 46(2): 3-4.

[22] MA Q L, HAMID N, BEKHIT A E D, et al. Evaluation of pre-rigor injection of beef with proteases on cooked meat volatile profile after 1day and 21 days post-mortem storage[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 430-439.

[23] 陈海涛, 张宁, 孙宝国. SPME 或 SDE 结合 GC-MS 分析贾永信十香酱牛肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 171-175.

[24] 张宁, 陈海涛, 孙宝国, 等. 固相微萃取和同时蒸馏萃取方法比较传统腊牛肉的风味成分[J]. 中国食品学报, 2016, 16(6): 247-258.

[25] 宋国新, 余应新, 王林祥. 香气分析技术与实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 21-22.

[26] 金冬双, 龚淑英, 林宇皓, 等. 小叶种夏秋茶渥堆加工过程中香气成分研究[J]. 茶叶科学, 2009, 29(2): 111-119.

[27] 李小胜, 陈珍珍. 如何正确应用 SPSS 软件做主成分分析[J]. 统计研究, 2010, 27(8): 105-108.

[28] 丁晔, 刘敦华, 雷建刚, 等. 不同处理羊羔肉挥发性风味物质的比较及主成分分析[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 16-20.