

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241015009

引用格式: 刘丽宅, 于丽, 赵洛冰, 等. 排酸时间对沃金黑牛肉嫩度和风味物质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(7): 273–281.

LIU LZ, YU L, ZHAO LB, *et al.* Effects of aging time on meat tenderness and flavor substances of Woking black cattle beef [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(7): 273–281. (in Chinese with English abstract).

排酸时间对沃金黑牛肉嫩度和风味物质的影响

刘丽宅[#], 于 丽[#], 赵洛冰, 王 蕾, 吴 健, 秦立红, 刘笑笑^{*}, 赵玉民^{*}

[吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心)/农业农村部肉牛遗传育种重点实验室/
吉林省肉用草食家畜生产技术国际联合研究中心, 长春 130033]

摘 要: **目的** 探究高档牛肉的适宜排酸时间。**方法** 选取沃金黑牛背最长肌为试验材料, 在 4 °C 的排酸库中分别排酸 12、24、48、72、96、120 h, 并对牛肉水分、加压失水率、嫩度、肌苷酸、氨基酸、脂肪酸进行综合分析, 对不同排酸时间下嫩度及风味组成的指标进行主成分分析。**结果** 不同排酸时间之间牛肉水分的差异不显著($P>0.05$), 随着排酸时间的延长加压失水率呈现逐渐增大的趋势, 排酸 120 h 时加压失水率达到最大值($34.84\pm0.39\%$); 嫩度呈现逐渐下降的趋势, 到 120 h 时嫩度达到最低值(24.42 ± 5.04) N。排酸时间为 72 h 时肌苷酸含量达到最高值(185.2 ± 10.3) mg/100 g。鲜味氨基酸、甜味氨基酸在排酸 96 h 时达到最高值, 苦味氨基酸在 12 h 时达到最小值; 排酸 120 h 时饱和脂肪酸+单不饱和脂肪酸、硬脂酸甲酯(C18:0)、油酸甲酯(C18:1n9c)的含量最高。主成分分析与综合因子评分结果显示排酸 96 h 的嫩度、挥发性风味化合物综合评分显著高于其他排酸时间, 该排酸时间最利于牛肉中挥发性风味物质的形成。**结论** 排酸 96 h 有利于提升高档牛肉的嫩度与风味。

关键词: 沃金黑牛肉; 排酸时间; 嫩度; 风味物质

Effects of aging time on meat tenderness and flavor substances of Woking black cattle beef

LIU Li-Zhai[#], YU Li[#], ZHAO Luo-Bing, WANG Lei, WU Jian, QIN Li-Hong,
LIU Xiao-Xiao^{*}, ZHAO Yu-Min^{*}

[Jilin Academy of Agricultural Sciences (Northeast Agriculture Research Center of China)/Key Laboratory of Beef Cattle Genetics and Breeding Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Jilin Provincial International Joint Research Center for Meat Herbivorous Livestock Production Technology, Changchun 130033, China]

收稿日期: 2024-10-15

基金项目: 吉林省科技厅肉牛产业化发展重大科技专项(YDZJ202203CGZH049, YDZJ202203CGZH044, YDZJ202203CGZH039); 吉林省农业科技创新工程项目(CXGC202303GH); 国家肉牛牦牛产业技术体系项目(CARS-37)

[#]刘丽宅和于丽为共同第一作者

第一作者: 刘丽宅(1900—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为畜产品质量安全评价与检测技术。E-mail: 921840792@qq.com
于丽(1989—), 女, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为畜产品质量安全评价。E-mail: yuli20150312@163.com

*通信作者: 刘笑笑(1984—), 女, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为畜产品质量安全评价与检测技术。E-mail: 843202215@qq.com
赵玉民(1964—), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为肉牛遗传育种研究。E-mail: zhaoyu-02-12@vip.163.com

ABSTRACT: Objective To explore the optimal aging time for high-quality beef. **Methods** The longissimus dorsi muscle of Wokin black cattle was selected as the experimental material. The beef was aged in a chilling room at 4 °C for 12, 24, 48, 72, 96, and 120 hours. Comprehensive analyses were conducted on the beef's moisture content, pressurized water loss rate, tenderness, inosinic acid, amino acids and fatty acids. Principal component analysis was performed on tenderness and flavor composition indicators under different aging times. **Results** The moisture content of beef showed no significant differences among different aging times ($P>0.05$). The pressurized water loss rate gradually increased with prolonged aging time, reaching its maximum value of $(34.84\pm0.39)\%$ at 120 hours. Tenderness gradually decreased, reaching its lowest value of (24.42 ± 5.04) N at 120 hours. The inosinic acid content peaked at (185.2 ± 10.3) mg/100 g after 72 hours of aging. Umami and sweet amino acids reached their highest levels at 96 hours, while bitter amino acids reached their lowest levels at 12 hours. The content of saturated fatty acids+monounsaturated fatty acids, Methyl stearate (C18:0), and methanol oleate (C18:1n9c) were highest at 120 hours. Principal component analysis and comprehensive factor scoring results indicated that the tenderness and volatile flavor compounds of beef aged for 96 hours scored significantly higher than those aged for other durations. This aging time was most conducive to the formation of volatile flavor compounds in beef. **Conclusion** Aging for 96 hours is beneficial for enhancing the tenderness and flavor of high-quality beef.

KEY WORDS: Woking black cattle beef; aging time; tenderness; flavor substances

0 引言

近年来,消费者对高档牛肉的需求明显上升,中低档牛肉难以满足人们对牛肉品质的更高追求。高档牛肉肌肉脂肪含量较高,肌肉脂肪与牛肉嫩度、风味密切相关,因此,高档牛肉肉质鲜美、营养丰富^[1]。沃金黑牛是以引进黑毛和牛为父本,以延边牛为母本经级进杂交、横交固定(黑毛和牛 3/4 血统)、自群选育提高而形成的具备生产高档雪花牛肉能力的新种群^[2-3]。沃金黑牛与普通牛肉相比大理石花纹结构更加细密,肉质剖面呈雪花状,颜色鲜亮、肉质细腻、肌纤维细嫩,香美可口。沃金黑牛已成为国内高端的肉牛品种,皓月集团最闪亮的自主商业品牌,受到市场和消费者的广泛好评。目前,沃金黑牛已申报国家肉牛新资源,未来沃金黑牛拥有更加广阔的市场前景^[4-5]。

牛宰杀后肌肉会通过糖酵解反应产生腺苷三磷酸(adenosine triphosphate, ATP)、乳酸,释放 H^+ ,降低 pH,该过程会影响牛肉的嫩度、弹性、韧性等^[6]。牛肉在常温下存储时,硬度增加,嫩度降低,风味不佳,肉品质下降^[7-8]。为了提高牛肉的品质,牛在宰杀后,需要进行一段时间的低温“排酸”处理。牛肉排酸是指牛在被屠宰后,身体内部进行无氧呼吸,产生大量乳酸,在一定的温度、湿度和风速下,使乳酸分解成二氧化碳和水,同时有鲜味物质肌苷生成,排酸肉的酸碱度被改变,使肉质鲜嫩,利于人体消化吸收^[9]。

排酸肉经过较为充分的解僵成熟过程后,可以使牛肉变得柔嫩多汁,具有良好的滋味和口感。排酸过程是一种有效提高牛肉品质的手段。排酸过程中肉的品质变化是当下的研究热点^[10-12]。严诗慧等^[13]对排酸处理后的湘南黄

牛肉进行了研究,发现湘南黄牛在排酸后脂肪酸含量改变,风味物质提高。王恒鹏等^[14]通过主成分分析得出排酸 7 d 利于牛肉中挥发性风味物质的形成。王海波等^[15]研究发现排酸 7 d 有利于提升高档育肥安格斯牛肉风味的丰富度,干式排酸较湿式排酸对高档牛肉风味改善作用更佳。然而,宰后排酸的实施在提高牛肉食用品质的同时会对肉的颜色、抗氧化性能、脂质及蛋白质稳定性产生负面影响^[16]。因此牛肉排酸时间的确定将直接决定肉的综合品质。目前,国内高档牛肉排酸技术的发展相对较为缓慢,针对沃金黑牛肉的研究较少,刘丽宅等^[17]对沃金黑牛母牛与阉公牛牛肉品质比较及影响因素进行了分析,研究表明阉公牛脂肪酸含量与母牛差异显著,氨基酸含量、质构指标之间差异不显著。沃金黑牛肉不同排酸时间下嫩度、风味物质变化规律,排酸技术的研究鲜少见报道,针对高档牛肉排酸的技术亟需研发,研究牛肉排酸过程中嫩度、风味变化规律,为高档牛肉排酸技术的研发提供理论支撑。

本研究以沃金黑牛的背最长肌为研究对象,测定牛肉排酸 12~120 h 期间的水分、加压失水率、嫩度、肌苷酸、脂肪酸,对牛肉排酸过程中的嫩度、风味物质变化规律进行研究,为沃金黑牛肉实际生产提供一定的指导,为高档牛肉排酸技术的研发提供理论支撑,提高沃金黑牛的牛肉品质。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂

选取 6 头同一品种、月龄接近的沃金黑牛,经过同一

饲养条件育肥后进行屠宰。取 12~13 肋背最长肌, 分割成块状, 将分割并包装好的牛肉放入 4 °C 冰箱进行冷却, 当牛肉中心温度达 4 °C 后, 继续成熟至 12、24、48、72、96、120 h。将经排酸 12、24、48、72、96、120 h 后的牛肉取回实验室进行检测。

16 种氨基酸混合标准品(纯度 99.9%, 德国塞卡姆公司); 37 种脂肪酸甲酯混合标准品(纯度 99.4%~99.8%, 广州广电计量检测股份有限公司); 茚三酮(纯度 99%, 德国塞卡姆公司); 三氟化硼甲醇溶液(浓度为 15%, 长春飞凯生物有限公司); 苯酚(分析纯)、高氯酸(电子纯)、三乙胺(分析纯)、石油醚(分析纯)、无水乙醚(分析纯)、无水乙醇(色谱纯)、正己烷(色谱纯)、甲醇(色谱纯)(吉林省金泰化玻有限公司)。

1.1.2 仪器与设备

XS105DU 电子天平[感量 0.0001 g, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; DHG-9123A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司); RH-1000 肉品系水力仪(广州润湖仪器有限公司); HSC-24B 氮吹浓缩装仪(天津恒奥科技有限公司); S-433D 全自动氨基酸分析仪(德国塞卡姆公司); 8890-7000D 气相色谱-质谱联用仪(美国安捷伦公司); DB-Fast Fame 色谱柱(30 m×250 μm, 0.25 μm)(美国安捷伦公司)。

1.2 检测方法

水分按照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的第一法进行测定; 加压失水率、嫩度按照 NY/T 2793—2015《肉的食用品质客观评价方法》中的检测方法进行测定; 肌苷酸按照 T/NAIA 003—2020《肌肉中肌苷 肌苷酸的测定 高效液相色谱法》中的检测方法测定; 氨基酸按照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》中的检测方法测定。

脂肪酸测定: 参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》中的第二法进行水解、提取、甲酯化。气相色谱条件: 进样口 280 °C, 进样模式为不分流, DB-Fast Fame 色谱柱(30 m×250 μm, 0.25 μm), 色谱柱流量为 1 mL/min, 传输线温度为 280 °C, 柱箱升温程序为: 初始值 80 °C, 保持 0.5 min; 梯度一速率为 40 °C/min, 至 165 °C, 保持时间 1 min; 梯度二速率为 4 °C/min, 至 230 °C, 保持时间 4 min。运行时间约为 23 min。后运行温度为 260 °C, 时间为 5 min。质谱条件: 电子能量为 70 eV, 溶剂延迟时间为 2 min, 运行时间为 1 min。

1.3 数据处理

数据均采用 SPSS 22.0 进行统计分析、方差分析、主成分分析, 差异显著采用 Duncan 及 Tukey 作多重比较, 结果均以平均值±标准偏差表示, $P<0.05$ 表示差异显著, $P<0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 不同排酸时间牛肉水分、加压失水率、嫩度的变化

由表 1 可以得出, 随着排酸时间的延长牛肉水分先缓慢增加, 到 96 h 时缓慢下降, 24、48、96、120 h 时牛肉水分相互之间差异不显著($P>0.05$), 与其余排酸时间水分之间差异显著($P<0.05$)。牛肉排酸嫩化过程中 12 h 时加压失水率为最低(20.38±1.19)%, 随着排酸时间的延长加压失水率呈现逐渐增大的趋势, 排酸 12 h 时的加压失水率与排酸 24、48、72、96、120 h 加压失水率之间均差异极显著($P<0.01$), 这是由于在排酸的前 72 h, 牛肉处于僵直状态, 牛肉组织中的自由水不断外渗, 导致加压失水率不断增大, 保水性逐渐变差; 排酸 48、72、96、120 h 加压失水率相互之间差异均不显著($P>0.05$), 排酸 96 h 时加压失水率有所降低, 排酸 120 h 时加压失水率达到最大值(34.84±0.39)%, 但是排酸 96 h 与 120 h 之间差异均不显著($P>0.05$), 说明宰后牛肉经过僵直后肌肉变硬, 保水性下降, 解僵、成熟后保水性上升, 但无法恢复热鲜肉状态^[18]。

刀具切割肉所用的剪切力峰值即为肉样的嫩度值, 剪切力是评判牛肉嫩度的最直接指标, 剪切力值越小, 说明肌肉越嫩^[13]。随着排酸时间的延长牛肉的剪切力呈现逐渐下降的趋势, 排酸 12 h 时牛肉的剪切力最大(59.17±16.18) N, 排酸 12 h 时与 24 h 时牛肉剪切力之间差异不显著($P>0.05$), 排酸 48 h 时与 72 h 时牛肉剪切力之间差异不显著($P>0.05$), 到 120 h 时剪切力达到最低值(24.42±5.04) N, 与其余排酸时间牛肉剪切力相比极显著降低($P<0.01$), 说明随着排酸时间的延长, 肉质排酸成熟变化速度较快。牛肉冷却排酸 12 h 到 96 h 进入僵直期的过程较慢, 嫩度呈现缓慢下降的变化趋势, 排酸 120 h 时进入肌肉成熟阶段, 肌肉逐渐变软、嫩度下降较快。WANG 等^[19]研究表明肌肉的保水性与肉的嫩度密切相关, 保水性越高, 肉的品质越好。嫩度下降可能的原因是排酸过程中, 牛肉的骨架蛋白发生降解、变性, 保水性提高, 导致嫩度值明显下降, 表明通过排酸技术手段可以极大地改善牛肉嫩度。

表 1 不同排酸时间牛肉水分、加压失水率、剪切力变化规律 (湿基基础, $n=6$)

Table 1 Changes of moisture content, pressure loss rate, shear force during different aging time (wet base, $n=6$)			
排酸时间/h	水分/%	加压失水率/%	剪切力/N
12	70.51±0.81 ^c	20.38±1.19 ^{cB}	59.17±16.18 ^{aA}
24	71.69±0.07 ^{bd}	28.91±0.07 ^{bAC}	57.00±15.10 ^{acAC}
48	71.83±0.09 ^b	31.95±2.90 ^{abA}	50.00±8.94 ^{bB}
72	72.78±0.01 ^a	32.02±3.05 ^{abA}	49.61±18.38 ^{beBE}
96	71.76±0.06 ^b	31.93±1.89 ^{abA}	41.39±10.79 ^{dD}
120	71.24±0.49 ^b	34.84±0.39 ^{aA}	24.42±5.04 ^{fF}

注: 同一指标, 不同排酸时间相同字母表示差异不显著($P>0.05$), 小写字母不同表示差异显著($P<0.05$), 表 2~4 同; 大写字母不同表示差异极显著($P<0.01$), 表 2、4 同。

2.2 不同排酸时间牛肉肌苷酸变化

近年来,国内外学者对于如何提高畜肉质风味做了大量的研究,研究表明,在众多畜肉质风味的评价指标中肌苷酸是研究者们公认的畜肉质鲜味最重要的表达及检测物质^[20-21]。由表 2 可以得出,排酸时间为 72 h 时肌苷酸含量达到最高值(185.2±10.3) mg/100 g,说明延长排酸时间可以有效改善牛肉鲜味和风味,但是 72 h 之后再延长排酸时间肌苷酸含量极显著($P<0.01$)下降,可能是因为随着时间的延长 ATP 酶活化,ATP 在 ATP 酶的作用下分解生成二磷酸腺苷(adenosine diphosphate, ADP),ADP 在肌酸激酶的作用下分解生成一磷酸腺苷(adenosine monophosphate, AMP),AMP 在腺苷酸脱氨酶作用下脱氨形成肌苷酸,但是随着时间的延长磷酸脂酶和核苷水解酶增加,从而促进了肌苷酸的降解反应,肌苷酸含量下降明显^[22]。因此,以肌苷酸为主要的风味物质进行筛选,排酸时间 72 h 为最佳。

表 2 不同排酸时间牛肉肌苷酸变化规律(湿基基础, $n=6$)
Table 2 Changes of inosine monophosphate during different aging time (wet base, $n=6$)

排酸时间/h	肌苷酸/(mg/100 g)
12	177.8±1.4 ^{AC}
24	167.4±0.9 ^B
48	178.4±1.5 ^{AC}
72	185.2±10.3 ^A
96	117.5±4.3 ^C
120	119.9±4.9 ^C

2.3 不同排酸时间牛肉氨基酸变化

从表 3 可知,从氨基酸组成方面,随着排酸时间的延长牛肉中缬氨酸、异亮氨酸呈现先增大后减小的趋势。

表 3 不同排酸时间牛肉氨基酸变化规律(湿基基础, $n=6$)
Table 3 Changes of amino acids during different aging time (wet base, $n=6$)

氨基酸/(g/100 g)		排酸时间/h					
		12	24	48	72	96	120
FAA	天冬氨酸	2.17±0.11 ^a	2.24±0.04 ^a	2.13±0.10 ^a	2.09±0.64 ^a	2.16±0.04 ^a	2.13±0.29 ^a
	谷氨酸	3.59±0.17 ^a	3.71±0.10 ^a	3.66±0.08 ^a	3.71±0.05 ^a	3.81±0.04 ^a	3.76±0.11 ^a
	总量	5.77±0.29 ^a	5.95±0.14 ^a	5.80±0.21 ^a	5.80±0.11 ^a	5.97±0.08 ^a	5.89±0.14 ^a
SWAA	苏氨酸	1.00±0.05 ^a	1.03±0.03 ^{ab}	1.03±0.02 ^{ab}	1.03±0.02 ^{ab}	1.07±0.01 ^b	1.06±0.03 ^{ab}
	丝氨酸	0.90±0.04 ^a	0.93±0.03 ^{ab}	0.92±0.02 ^{ab}	0.93±0.02 ^{ab}	0.97±0.01 ^b	0.97±0.03 ^b
	甘氨酸	0.92±0.05 ^a	0.94±0.04 ^{ab}	0.98±0.02 ^{ab}	0.98±0.01 ^{ab}	0.98±0.00 ^{ab}	1.00±0.01 ^b
	丙氨酸	1.25±0.06 ^a	1.29±0.04 ^{ab}	1.29±0.02 ^{ab}	1.30±0.03 ^{ab}	1.34±0.01 ^b	1.34±0.04 ^b
	组氨酸	0.94±0.04 ^a	0.98±0.03 ^a	0.97±0.01 ^a	0.98±0.03 ^a	1.01±0.00 ^a	1.00±0.04 ^a
	脯氨酸	0.78±0.02 ^a	0.80±0.02 ^a	0.79±0.05 ^a	0.84±0.03 ^a	0.80±0.03 ^a	0.84±0.04 ^a
	缬氨酸	1.03±0.02 ^{ab}	1.07±0.02 ^{bc}	1.05±0.03 ^{bc}	1.05±0.04 ^{bc}	0.99±0.00 ^a	0.96±0.02 ^a
	蛋氨酸	0.55±0.01 ^a	0.57±0.06 ^a	0.54±0.02 ^a	0.56±0.03 ^a	0.58±0.01 ^a	0.56±0.02 ^a
	赖氨酸	1.89±0.10 ^a	1.95±0.06 ^a	1.93±0.04 ^a	1.91±0.04 ^a	1.96±0.01 ^a	1.92±0.01 ^a
	精氨酸	1.38±0.06 ^a	1.42±0.04 ^a	1.41±0.03 ^a	1.41±0.03 ^a	1.43±0.01 ^a	1.41±0.04 ^a
	总量	9.70±0.40 ^a	9.99±0.34 ^a	9.94±0.21 ^a	10.01±0.25 ^a	10.12±0.10 ^a	10.10±0.29 ^a
	脯氨酸	0.78±0.02 ^a	0.80±0.02 ^a	0.79±0.05 ^a	0.84±0.03 ^a	0.80±0.03 ^a	0.84±0.04 ^a
	缬氨酸	1.03±0.02 ^{ab}	1.07±0.02 ^{bc}	1.05±0.03 ^{bc}	1.05±0.04 ^{bc}	0.99±0.00 ^a	0.96±0.02 ^a
BIAA	蛋氨酸	0.55±0.01 ^a	0.57±0.06 ^a	0.54±0.02 ^a	0.56±0.03 ^a	0.58±0.01 ^a	0.56±0.02 ^a
	异亮氨酸	0.98±0.05 ^{bc}	1.00±0.03 ^c	0.98±0.02 ^{bc}	0.98±0.03 ^{bc}	0.93±0.01 ^{ab}	0.90±0.03 ^a
	亮氨酸	1.77±0.08 ^a	1.82±0.06 ^a	1.79±0.04 ^a	1.81±0.04 ^a	1.84±0.02 ^a	1.82±0.06 ^a
	酪氨酸	0.78±0.04 ^a	0.81±0.02 ^a	0.79±0.02 ^a	0.80±0.02 ^a	0.81±0.00 ^a	0.79±0.03 ^a
	苯丙氨酸	0.88±0.04 ^a	0.91±0.03 ^a	0.89±0.02 ^a	0.90±0.02 ^a	0.90±0.00 ^a	0.88±0.02 ^a
	组氨酸	0.94±0.04 ^a	0.98±0.03 ^a	0.97±0.01 ^a	0.98±0.03 ^a	1.01±0.00 ^a	1.00±0.04 ^a
	赖氨酸	1.89±0.10 ^a	1.95±0.06 ^a	1.93±0.04 ^a	1.91±0.04 ^a	1.96±0.01 ^a	1.92±0.01 ^a
	精氨酸	1.38±0.06 ^a	1.42±0.04 ^a	1.41±0.03 ^a	1.41±0.03 ^a	1.43±0.01 ^a	1.41±0.04 ^a
	总量	10.98±0.45 ^a	11.32±0.35 ^a	11.16±0.23 ^a	11.25±0.32 ^a	11.25±0.08 ^a	11.10±0.36 ^a
	氨基酸总量	20.81±0.94 ^a	21.47±0.64 ^a	21.16±0.30 ^a	21.29±0.50 ^a	21.58±0.20 ^a	21.35±0.61 ^a
SWAA/TAA/%		27.73±0.54 ^a	27.71±0.36 ^a	27.41±0.51 ^a	27.24±0.78 ^a	27.66±0.45 ^a	27.59±0.49 ^a
BIAA/TAA/%		46.61±0.58 ^a	46.53±0.84 ^a	46.98±0.81 ^a	47.02±0.86 ^a	46.90±0.91 ^a	47.31±0.74 ^a
FAA/TAA/%		52.76±0.94 ^a	52.72±0.52 ^a	52.74±0.58 ^a	52.84±0.49 ^a	52.13±0.54 ^a	51.99±0.67 ^a

注: FAA 为鲜味氨基酸(umami amino acids); SWAA 为甜味氨基酸(sweet amino acid); BIAA 为苦味氨基酸(bitter amino acid); TAA 为氨基酸总量(total amino acids)。

当排酸时间为 96 h 时, 苏氨酸的含量显著高于排酸 12 h 时 ($P<0.05$)。当排酸时间为 96 h、120 h 时, 丝氨酸的含量显著高于排酸 12 h 时 ($P<0.05$)。当排酸时间为 120 h 时, 甘氨酸的含量显著高于排酸 12 h 时 ($P<0.05$)。当排酸时间为 96 h、120 h 时, 丙氨酸的含量显著高于排酸 12 h ($P<0.05$)。当排酸时间为 96 h、120 h 时, 缬氨酸的含量显著高于排酸 24、48、72 h ($P<0.05$), 其余各氨基酸各排酸时间之间的氨基酸含量差异均不显著 ($P>0.05$)。

研究表明, 氨基酸的种类及含量与肉质和风味紧密相关。在氨基酸分类组成中, 鲜味氨基酸、甜味氨基酸在排酸 96 h 时达到最高值, 苦味氨基酸在 12 h 时达到最小值。鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸各排酸时间之间的氨基酸含量差异均不显著 ($P>0.05$)。排酸后牛肉各个排酸时间之间的氨基酸总量差异不显著 ($P>0.05$)。氨基酸的种类、含量直接影响牛肉的口感滋味。谷氨酸是主要的鲜味氨基酸, 一般认为谷氨酸含量高, 能增加肉的滋味与香气, 改善肉品质, 属于优质型牛肉, 适合于加工成风味食品, 本研究中排酸时间为 96 h 时谷氨酸含量最高。赖氨酸、精氨酸、甘氨酸是主要的甜味氨基酸, 排酸 96 h 时甜味氨基酸含量最高。亮氨酸和赖氨酸在苦味氨基酸中占比高, 随着排酸时间的延长, 苦味氨基酸变化较缓慢。因此排酸 96 h 的处理有改善牛肉风味和滋味的潜质。

2.4 不同排酸时间牛肉脂肪酸变化

脂肪酸被认为是肉类风味的主要来源^[23-24], 其组成及含量是肉品质评价的重要依据。在沃金黑牛牛肉样品中共检出 29 种脂肪酸, 包括 11 种饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA), 18 种不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA), 其中 7 种单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)以及 11 种多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA), 如表 4。脂肪酸总含量在排酸 12~24 h 明显增大, 差异显著 ($P<0.01$)。在排酸 24~72 h 过程中逐渐减小, 72~120 h 过程中逐渐增大, 这主要与牛肉中水分变化、肌内脂肪含量不均匀以及排酸过程中脂肪氧化裂解有关。脂肪酸含量可作为牛肉品质评价指标之一, 可在一定程度上反映牛肉的多汁性和嫩度^[25]。随着排酸时间的延长, 脂肪酸含量增高, 说明在排酸 120h 时肉具有较好的多汁性和嫩度等品质。研究发现肉中 SFA+MUFA 的含量越高, 肉的嫩度、多汁性和风味越好, 而 PUFA 含量过高则相反^[26], SFA+MUFA 的含量在排酸 120 h 时达到最高值, 占脂肪酸总量的 93%左右, PUFA 含量较低, 说明排酸 120 h 肉的风味较好。牛肉的营养价值一般常用 PUFA 与 SFA 的比例 (P/S)衡量^[11], 合理的营养推荐值 ≥ 0.45 ^[27], 排酸 96 h 时 PUFA:SFA 最高为 0.39, 接近于营养建议值。

UFA、PUFA 的含量均在 96 h 达到最高值, SFA、MUFA 均在 120 h 达到最高值。SFA 的含量占比最高的是

二十一烷酸, 研究发现, 硬脂酸甲酯(C18:0)是肉膻味产生的主要物质^[28]。排酸 12~48 h 硬脂酸甲酯(C18:0)逐渐减小, 48~120 h 硬脂酸甲酯(C18:0)显著增大 ($P<0.01$), 排酸 120 h 时硬脂酸甲酯(C18:0)达到最高值, 说明随着排酸时间的延长膻味越来越强烈。MUFA 含量以油酸甲酯(C18:1n9c)含量最高, 排酸 12~24 h, 油酸甲酯(C18:1n9c)含量显著降低 ($P<0.01$), 排酸 24~120 h 油酸甲酯(C18:1n9c)含量显著增大 ($P<0.01$), 排酸 120 h 时油酸甲酯(C18:1n9c)含量达到最高值。研究表明, 油酸(C18:1n9c)甲酯含量较高, 可改善肉品风味。油酸(C18:1n9c)甲酯被认为是脂质氧化反应中 2-庚烯醛、2-辛烯醛、1-辛醇、1-壬醇等物质的前体物质^[29]。在 PUFA 中主要以花生酸甲酯(C20:0)为主, 含量远高于其他 PUFA; 排酸 12~48 h, 花生酸甲酯(C20:0)含量显著降低 ($P<0.01$), 排酸 48~120 h 花生酸甲酯(C20:0)含量呈现显著增大趋势 ($P<0.01$)。按照种类来看, 属于 ω -6 型 PUFA 有 3 种, 为顺-8,11,14-二十碳三烯酸甲酯(C20:3n6)、反亚油酸甲酯(C18:1n9t)、亚油酸甲酯(C18:1n9c)。 ω -3 型 PUFA 有 3 种, 分别为亚麻酸甲酯(C18:2n6c)、反亚麻酸甲酯(C18:2n6t)、顺-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸甲酯(C20:5), 亚麻酸甲酯(C18:2n6c)必须通过饮食摄取, 亚麻酸甲酯(C18:2n6c)在排酸 24 h 时达到最大值。综上所述, 硬脂酸甲酯(C18:0)、油酸甲酯(C18:1n9c)、SFA+MUFA 的含量为影响沃金黑牛风味的主要脂肪酸, 排酸时间 120 h 时牛肉风味较好。

2.5 不同排酸时间下影响沃金黑牛肉嫩度、风味物质成分指标主成分分析

随着排酸时间的延长, 影响沃金黑牛肉嫩度、风味物质成分指标差异无明显规律, 无法直接通过检测数据判断牛肉风味品质的优劣, 且指标较多, 很难直接采用数据进行对比分析。为避免对评价结果判定干扰, 选择水分、肉嫩度、肌苷酸、加压失水率、鲜味氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸、硬脂酸甲酯(C18:0)、油酸甲酯(C18:1n9c)、SFA+MUFA 等 10 个指标, 采用 SPSS 22.0 软件对数据进行标准化处理, 主成分分析是利用降维方式, 将多指标简化为少数综合性指标, 并能保留原指标的大部分信息, 比单一评价更加准确^[30-32]。标准化处理后的结果见表 5。对数据进行标准化处理后, 得到影响沃金黑牛牛肉风味物质成分指标主成分的特征值、方差贡献率和累积方差贡献率见表 6。提取主成分的依据为特征值大于 1 或累计方差贡献率大于 85%, 此时提取的主成分能损失较少的信息并对数据进行充分的概括。由表 6 和图 1、2 可知, 各个成分指标含量对不同时间排酸牛肉影响较大, 不同排酸时间的各成分指标都在 95%置信区间内。同时, 主成分和各测定指标之间存在相关性。排名前 3 的主成分方差贡献率分别为 51.645%、28.330%、13.438%, 累积方差贡献率为 93.413%, 特征值分别为 5.165、2.833、1.344。

表 4 不同排酸时间牛肉脂肪酸变化规律(湿基基础, n=6)
Table 4 Changes of fatty acids during different aging times (wet base, n=6)

脂肪酸/(mg/100 g)	排酸时间/h					
	12	24	48	72	96	120
十三烷酸甲酯(C13:0)	0.07±0.09 ^a	0.05±0.01 ^a	0.12±0.00 ^a	0.06±0.01 ^a	0.04±0.03 ^a	0.07±0.06 ^a
肉豆蔻酸甲酯(C14:0)	1.34±0.02 ^{bcB}	0.60±0.01 ^{bdB}	0.21±0.02 ^{dB}	0.97±0.03 ^{bdB}	2.97±0.57 ^{aA}	2.45±0.10 ^{acAB}
肉豆蔻烯酸甲酯(C14:1)	3.50±0.07 ^{cB}	5.08±0.10 ^{bAC}	3.60±0.06 ^{cB}	2.78±0.10 ^{ccBE}	0.84±0.15 ^{dD}	6.36±0.59 ^{aA}
十五烷酸甲酯(C15:0)	0.21±0.01 ^{dC}	3.37±0.00 ^{aA}	0.05±0.00 ^{dC}	0.12±0.01 ^{dC}	0.49±0.10 ^{cBC}	0.68±0.10 ^{bBD}
顺-10-十五碳烯酸甲酯(C15:1)	1.86±0.01 ^{bdB}	3.10±0.00 ^{aA}	1.91±0.02 ^{bb}	1.04±0.02 ^{cB}	1.27±0.47 ^{bcB}	1.00±0.03 ^{cB}
棕榈酸甲酯(C16:0)	11.02±2.13 ^{bAB}	43.26±8.90 ^{aA}	3.68±1.10 ^{bb}	4.64±0.03 ^{bb}	26.66±7.11 ^{abAB}	24.16±2.14 ^{abAB}
棕榈油酸甲酯(C16:1)	21.63±0.51 ^{cfBE}	27.74±1.74 ^{abAC}	12.09±1.23 ^{cD}	21.92±3.56 ^{cB}	25.62±2.07 ^{bdAB}	29.46±0.21 ^{aA}
十七酸甲酯(C17:0)	1241.29±27.66 ^{bdB}	1173.42±17.39 ^{bcBD}	665.69±4.98 ^{cC}	851.36±10.52 ^{cBC}	2256.49±282.94 ^{aA}	1314.09±151.56 ^{bcB}
顺-10-庚酸甲酯(C17:1)	2.08±0.11 ^a	5.07±0.12 ^a	6.24±0.87 ^a	1.57±0.37 ^a	2.94±0.80 ^a	2.57±0.25 ^a
硬脂酸甲酯(C18:0)	17.13±0.03 ^{bcBC}	16.15±0.64 ^{bcBC}	8.56±0.03 ^{cC}	19.72±0.29 ^{bdBD}	24.83±1.69 ^{abAB}	31.13±4.42 ^{aA}
反油酸甲酯(C18:1n9t)	22.63±0.15 ^{cBC}	16.38±0.03 ^{cBC}	10.08±0.01 ^{cC}	29.49±0.46 ^{bcBC}	40.57±2.68 ^{bBDd}	76.67±10.61 ^{aA}
油酸甲酯(C18:1n9c)	21.39±0.07 ^{bcBC}	15.07±0.97 ^{cC}	9.74±0.52 ^{cC}	26.57±0.93 ^{bcBC}	33.98±4.04 ^{bdBD}	55.93±6.93 ^{aA}
反亚油酸甲酯(C18:2n6t)	25.30±0.28 ^{acAB}	34.17±0.13 ^{aA}	26.64±0.78 ^{aAB}	14.52±1.92 ^{bb}	14.58±2.86 ^{bb}	28.17±4.73 ^{aAB}
亚油酸甲酯(C18:2n6c)	18.32±0.59 ^{abAB}	23.90±0.31 ^{aA}	18.57±0.38 ^{abAB}	11.92±0.73 ^{cb}	9.11±0.78 ^{cb}	16.16±1.25 ^{bdAb}
反亚麻酸甲酯(C18:3n6)	19.06±1.80 ^{ab}	28.22±0.24 ^a	9.54±0.12 ^b	13.72±0.21 ^b	16.56±2.07 ^{ab}	27.07±6.06 ^{ac}
亚麻酸甲酯(C18:3n3)	23.13±0.62 ^{bcB}	45.47±0.13 ^{aA}	20.96±0.03 ^{bcBC}	5.04±0.12 ^{cC}	12.22±1.58 ^{cBC}	28.19±5.54 ^{bAB}
花生酸甲酯(C20:0)	85.36±2.07 ^{abAB}	51.96±1.37 ^{bb}	86.03±1.87 ^{abAB}	70.80±0.75 ^{bAB}	110.17±11.44 ^{abAB}	136.25±30.39 ^{aA}
顺-11-二十碳烯酸甲酯(C20:1)	0.85±0.52 ^a	1.37±0.08 ^a	0.78±0.03 ^a	0.90±0.69 ^a	1.06±0.21 ^a	1.30±0.58 ^a
顺-11,14 二十碳二烯酸甲酯(C20:2)	555.27±25.89 ^{bdB}	63.87±17.75 ^{dC}	592.41±14.73 ^{bb}	284.25±13.25 ^{cb}	1326.12±16.37 ^{aA}	254.97±11.29 ^{ccBD}
二十一烷酸甲酯(C21:0)	1545.84±123.44 ^{BE}	3216.66±45.59 ^A	1647.19±58.62 ^B	762.41±35.47 ^D	823.16±63.17 ^D	2849.52±404.47 ^{AC}
顺-8,11,14-二十碳三烯酸甲酯(C20:3n6)	1.06±0.03 ^C	1.23±0.02 ^C	1.11±0.01 ^C	1.99±0.01 ^B	0.99±0.03 ^C	2.89±0.33 ^A
顺-11,14, 17-二十碳三烯酸甲酯(C20:3n3)	1.56±0.06 ^{aA}	1.60±0.01 ^{bdB}	1.41±0.01 ^{bcB}	1.58±0.01 ^{bcB}	1.93±0.09 ^{bcB}	3.49±0.43 ^{cB}
顺-5,8,11,14,17-二十碳五烯酸(C20:5)	3.19±0.09 ^B	4.17±0.03 ^A	3.17±0.00 ^{BD}	2.57±0.01 ^C	2.53±0.09 ^C	2.69±0.17 ^C
二十二烷酸甲酯(C22:0)	769.22±12.69 ^{aA}	290.47±5.65 ^{cdCD}	426.38±23.19 ^{cC}	338.83±7.59 ^{cdCD}	209.75±46.40 ^{dD}	602.74±68.80 ^{bb}
芥酸甲酯(C22:1)	6.53±0.16 ^a	4.99±0.17 ^a	5.68±0.15 ^a	4.70±0.93 ^a	2.34±2.05 ^a	3.00±0.44 ^a
顺-13,16-二十二碳二烯酸(C22:2)	-	15.59±0.22 ^A	1.61±1.14 ^C	0.98±1.32 ^C	0.80±0.26 ^C	11.30±0.96 ^B
二十三碳酸甲酯(C23:0)	72.17±3.76 ^{abAB}	10.35±0.84 ^{bb}	41.03±0.20 ^{bAB}	70.47±1.57 ^{abAB}	117.51±14.21 ^{aA}	52.13±10.93 ^{abAB}
木蜡酸甲酯(C24:0)	4.39±0.11 ^{aA}	2.41±0.11 ^{bAC}	4.63±0.00 ^{cB}	3.72±0.02 ^{dD}	2.90±0.13 ^{ceE}	1.06±0.00 ^{fF}
神经酸甲酯(C24:1)	1.99±0.33 ^{aA}	1.89±0.57 ^{aA}	1.72±0.10 ^{acAB}	1.84±0.01 ^{aAC}	0.80±0.08 ^{bb}	0.80±0.02 ^{bb}
SFA	3748.03±124.56 ^{cB}	4808.64±87.14 ^{bAC}	2883.56±184.25 ^{dB}	2123.09±214.29 ^{DD}	3574.97±321.59 ^{ccB}	5014.23±365.56 ^{aA}
UFA	729.35±45.26 ^{bb}	298.92±23.54 ^{dD}	727.26±32.05 ^{bdB}	427.40±54.26 ^{cc}	1494.25±21.49 ^{aA}	552.04±32.56 ^{cb}
MUFA	82.45±15.24 ^b	80.70±8.71 ^b	51.84±6.12 ^a	90.83±9.06 ^b	109.42±7.16 ^b	177.10±5.48 ^c
PUFA	646.90±69.79 ^{bdBC}	218.23±45.56 ^{cC}	675.42±25.56 ^{bdD}	336.57±18.59 ^{ceC}	1384.83±359.26 ^{aA}	374.94±65.21 ^{cBC}
TUFA	4475.40±245.21 ^b	5105.68±184.26 ^{ac}	3609.10±154.48 ^d	2548.65±256.56 ^f	5068.42±96.25 ^{abc}	5565.47±326.25 ^a
UFA:SFA	0.19±0.01 ^b	0.06±0.01 ^a	0.25±0.02 ^{bd}	0.20±0.01 ^b	0.42±0.03 ^c	0.11±0.06 ^{ab}
MUFA:SFA	0.02±0.01 ^a	0.02±0.02 ^a	0.02±0.01 ^a	0.04±0.02 ^a	0.03±0.02 ^a	0.04±0.02 ^a
PUFA:SFA	0.17±0.03 ^b	0.05±0.03 ^a	0.23±0.05 ^{bc}	0.16±0.03 ^{bd}	0.39±0.06 ^c	0.07±0.04 ^{ac}
SFA+MUFA	3830.48±65.58 ^c	4889.34±114.24 ^{ab}	2935.40±38.94 ^c	2213.92±74.15 ^d	3684.39±69.45 ^c	5191.33±248.25 ^a

注: -表示无此数值, TUFA 为总不饱和脂肪酸(total unsaturated fatty acid)。

表 5 标准化数据						
Table 5 Standardized data						
指标	排酸 12 h	排酸 24 h	排酸 48 h	排酸 72 h	排酸 96 h	排酸 120 h
X_1 水分	-1.51	0.07	0.26	1.53	0.17	-0.53
X_2 肉嫩度	0.96	0.79	0.24	0.21	-0.44	-1.77
X_3 肌苷酸	0.66	0.31	0.67	0.89	-1.31	-1.23
X_4 加压失水率	-1.90	-0.22	0.38	0.40	0.38	0.95
X_5 鲜味氨基酸	-1.09	1.02	-0.74	-0.74	1.25	0.31
X_6 甜味氨基酸	-1.82	0.09	-0.24	0.22	0.95	0.81
X_7 苦味氨基酸	-1.59	1.16	-0.14	0.59	0.59	-0.62
X_8 硬脂酸甲酯 (C18:0)	-0.32	-0.44	-1.42	0.02	0.68	1.49
X_9 油酸甲酯 (C18:1n9c)	-0.35	-0.73	-1.05	-0.03	0.42	1.75
X_{10} SFA+MUFA	0.04	0.97	-0.76	-1.39	-0.09	1.24

表 6 主成分特征值和贡献率						
Table 6 Eigenvalue and contribution rate of principal component						
主成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差 贡献率/%	累积方差 贡献率/%	合计	方差 贡献率/%	累积方差 贡献率/%
1	5.165	51.645	51.645	5.165	51.645	51.645
2	2.833	28.330	79.975	2.833	28.330	79.975
3	1.344	13.438	93.413	1.344	13.438	93.413

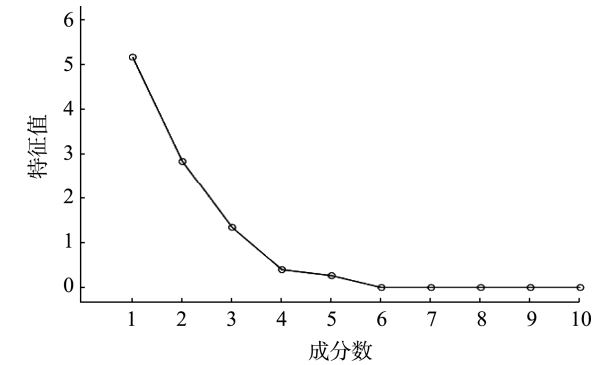


图 1 碎石图
Fig.1 Rubble map

由主成分得分系数阵表 7 所得模型如公式(1)~(3):
 $F_1=0.026X_1-0.172X_2-0.174X_3+0.144X_4+0.138X_5+0.170X_6+0.057X_7+0.162X_8+0.160X_9+0.095X_{10}$ (1)
 $F_2=0.332X_1+0.059X_2+0.097X_3+0.185X_4+0.060X_5+0.166X_6+0.299X_7-0.124X_8-0.141X_9-0.199X_{10}$ (2)
 $F_3=-0.187X_1+0.281X_2-0.092X_3-0.197X_4+0.494X_5+0.000X_6+0.312X_7-0.119X_8-0.248X_9+0.407X_{10}$ (3)
式中: $F_1\sim F_3$ 表示第 1~3 个主成分的特征向量权重值; $X_1\sim X_{10}$ 表示不同排酸时间影响沃金黑牛肉风味物质成分指标的含量数据标准化后的结果。以各主成分对应方差贡献率为权重, 根据主成分得分和对应的权重线性加权求和得到主成分的综合得分模型为: $F=0.51645F_1+0.28330F_2+$

$0.13438F_3$ 。将不同排酸时间影响沃金黑牛肉风味物质成分指标的含量数据标准化后的数据分别代入 $F_1\sim F_3$ 函数式中, 再将该得分代入 F 式中, 即可得到不同排酸时间沃金黑牛肉风味物质品质综合评分, 随后进行排序, 且综合主成分 F 值越大, 说明该排酸时间段沃金黑牛肉产生的风味物质最佳。由表 8 可知, 依据得分大小对沃金黑牛肉进行评价, 排酸 96 h 得分最高, 排酸 12 h 肉风味物质综合排名最低。

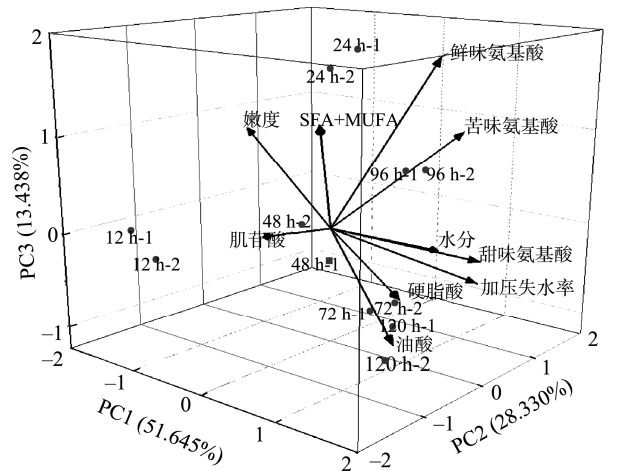


图 2 主成分分析图
Fig.2 Diagram of principal component analysis

表 7 主成分得分系数矩阵			
Table 7 Principal component score coefficient matrix			
指标	主成分		
	1	2	3
X_1 水分	0.026	0.332	-0.187
X_2 嫩度	-0.172	0.059	0.281
X_3 肌苷酸	-0.174	0.097	-0.092
X_4 加压失水率	0.144	0.185	-0.197
X_5 鲜味氨基酸	0.138	0.060	0.494
X_6 甜味氨基酸	0.170	0.166	0.000
X_7 苦味氨基酸	0.057	0.299	0.312
X_8 硬脂酸甲酯(C18:0)	0.162	-0.124	-0.119
X_9 油酸甲酯(C18:1n9c)	0.160	-0.141	-0.248
X_{10} SFA+MUFA	0.095	-0.199	0.407

表 8 主成分得分和综合得分					
Table 8 Principal component score and composite score					
排酸时间/h	F_1	F_2	F_3	F	排序
12	-1.247	-1.494	-0.028	-1.071	6
24	-0.093	0.447	1.718	0.309	3
48	-0.718	0.585	-0.407	-0.259	5
72	-0.258	1.128	-1.130	0.034	4
96	0.899	0.257	0.470	0.600	1
120	1.426	-0.935	-0.619	0.388	2

3 结 论

本研究通过研究不同排酸时间对沃金黑牛肉嫩度和风味物质的影响,发现排酸时间为 120 h 时,嫩度最好,嫩度值达 (24.42 ± 5.04) N;排酸时间为 72 h 时,风味最好,肌苷酸值达 (185.2 ± 10.3) mg/100 g;排酸 96 h 时鲜味氨基酸、甜味氨基酸达到最高值;排酸时间 120 h 时,风味脂肪酸硬脂酸甲酯(C18:0)、油酸甲酯(C18:1n9c)、SFA+MUFA 的含量最高。

通过主成分特征值和特征向量分析,发现排酸 96 h 时综合评分最高。研究表明随着排酸时间的延长,沃金黑牛肉嫩度改善较为明显,在适宜排酸时间下,对沃金黑牛肉嫩度具有显著的影响,综合考虑沃金黑牛肉嫩度与风味的变化规律,经测定与分析,最终确定冷却排酸时间为 96 h 时,沃金黑牛肉嫩度与风味较好。

参考文献

- [1] LISTRAT A, GAGAOUA M, ANDUEZA D, *et al.* What are the drivers of beef sensory quality using metadata of intramuscular connective tissue, fatty acids and muscle fiber characteristics? [J]. *Livestock Science*, 2020, 240(1): 1–12.
- [2] 刘笑笑, 赵云辉, 王多伽, 等. 雪花型沃金黑牛肉滴水损失率的分析研究[J]. *现代食品*, 2022, 28(7): 172–174.
- LIU XX, ZHAO YH, WANG DJ, *et al.* Study on dripping loss rate of snow type Woking black cattle [J]. *Modern Food*, 2022, 28(7): 172–174.
- [3] 刘笑笑, 张鑫, 王蕾, 等. 性别对沃金黑牛肉食用品质的影响[J]. *食品安全导刊*, 2022(10): 74–76.
- LIU XX, ZHANG X, WANG L, *et al.* Effects of gender on meat quality of woking black cattle [J]. *China Food Safety Magazine*, 2022(10): 74–76.
- [4] 王蕾, 刘笑笑, 刘丽宅, 等. 排酸处理对沃金黑牛肉品质的影响[J]. *东北农业科学*, 2024, 49(6): 65–71.
- WANG L, LIU XX, LIU LZ, *et al.* The effect of acid discharge on meat quality of woking black cattle [J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2024, 49(6): 65–71.
- [5] 孙翠翠. “牛芯片”的破局之路[N]. *吉林日报*, 2023-07-03(007).
- SUN CC. The road to breaking the monopoly of “Beef Chip” [N]. *Jilin Daily*, 2023-07-03(007).
- [6] 王文浩. 不同品种及排酸成熟时间对南方黄牛肉色和色素物质含量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(18): 228–231.
- WANG WH. Effects of different breeds and acid-excreting maturity time on meat color and pigment content of southern yellow cattle [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2019, 47(18): 228–231.
- [7] 许兰娇, 江浩筠, 瞿明仁, 等. 排酸处理对锦江牛肉品质的影响研究[J]. *江西农业大学学报*, 2018, 40(2): 345–349.
- XU LJ, JIANG HY, QU MR, *et al.* The effect of acid discharge on meat quality of jinjiang cattle [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2018, 40(2): 345–349.
- [8] XU Y, HUANG JC, HUANG M, *et al.* The effects of different chilling methods on meat quality and calpain activity of pork muscle longissimus dorsi [J]. *Journal of Food Science*, 2012, 77(1): 27–32.
- [9] 杨文婷, 柏霜, 罗瑞明, 等. 排酸方式对成熟过程中滩羊肉品质和水分变化的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 40–44.
- YANG WT, BAI S, LUORM, *et al.* Effect of different acid discharge methods on tan lamb meat quality and its moisture in maturing process [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(19): 40–44.
- [10] 张成龙, 李锐, 樊永亮, 等. 不同品种及排酸成熟时间对南方黄牛嫩度的影响[J]. *中国牛业科学*, 2015, 41(4): 21–23.
- ZHANG CL, LI R, FAN YL, *et al.* Effects of different breeds and time to mature to Southern beef tenderness [J]. *China Cattle Science*, 2015, 41(4): 21–23.
- [11] 刘腾. 分割牛肉冷却成熟及贮藏对其品质的影响研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016.
- LIU T. Study on the effect of different pre-rigor chilling, ageing and storage temperature on quality characteristics of cut beef [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016.
- [12] HUANG YN, AO QW, JIANG QY, *et al.* Comparisons of different myosin heavy chain types, AMPK, and PGC-1 α gene expression in the longissimus dorsi muscles in Bama Xiang and Landrace pigs [J]. *Genetics and Molecular Research*, 2016. DOI: 10.4238/gmr.15028379
- [13] 严诗慧, 郭谦, 沈清武, 等. 排酸处理对湘南黄牛肉质影响[J]. *湖南畜牧兽医*, 2020(4): 47–50.
- YAN SH, GUO Q, SHEN QW, *et al.* Effect of acid drainage on meat quality of Xiangnan yellow cattle [J]. *Hunan Animal Husbandry Veterinarian*, 2020(4): 47–50.
- [14] 王恒鹏, 吴鹏, 陈胜妹, 等. 排酸时间与熟制程度对牛肉挥发性风味物质的影响[J]. *食品与机械*, 2018, 34(12): 16–21.
- WANG HP, WU P, CHEN SS, *et al.* Effects of aging time and cooking degree on volatile flavors of beef [J]. *Food and Machinery*, 2018, 34(12): 16–21.
- [15] 王海波, 符健慧, 钟金城, 等. 排酸方式和时间对高档育肥安格斯牛肉品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(11): 79–85.
- WANG HB, FU JH, ZHONG JC, *et al.* Effects of aging method and time on meat quality of high-grade fattening angus beef [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(11): 79–85.
- [16] 喻倩倩, 李诗萌, 程蓓, 等. 肉类宰后成熟机制及成熟进程监测研究进展[J]. *食品科学*, 2023, 44(1): 337–344.
- YU QQ, LI SM, CHENG B, *et al.* Progress in understanding the postmortem aging mechanism of meat and monitoring the aging process [J]. *Food Science*, 2023, 44(1): 337–344.
- [17] 刘丽宅, 瞿子惠, 刘洪亮, 等. 沃金黑牛母牛与阉公牛牛肉品质比较及影响因素分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(21): 7004–7011.
- LIU LZ, QU ZH, LIU HL, *et al.* Meat quality comparison and influencing factors analysis of female cattle and steers of Woking black cattle [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(21): 7004–7011.
- [18] 付丽, 杨兆华, 高雪琴, 等. 牛肉排酸成熟过程中的品质变化[J]. *肉类研究*, 2018, 32(11): 9–14.
- FU L, YANG ZH, GAO XQ, *et al.* Beef quality changes during postmortem aging [J]. *Meat Research*, 2018, 32(11): 9–14.
- [19] WANG Z, XU W, KANG N, *et al.* Microstructural, protein denaturation and water holding properties of lamb under pulse vacuum brining [J]. *Meat Science*, 2016, 113: 132–138.
- [20] 唐修君, 樊艳凤, 葛庆联, 等. 不同贮藏条件下鸡肉肌苷酸含量的变化规律[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(2): 266–270.
- TANG XJ, FAN YF, GE QL, *et al.* Change law of inosine monophosphate

- acid in chicken muscle under different storage conditions [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(2): 266–270.
- [21] 张楠, 暴雪艳, 郝瑞荣, 等. 葡萄籽原花青素对猪背最长肌肌苷酸和肌内脂肪含量的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(6): 981–985.
- ZHANG N, BAO XY, HAO RR, *et al.* Effect of grape seed proanthocyanidins on inosinic acid and intramuscular fat content of longissimus dorsi in pigs [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(6): 981–985.
- [22] 陈宁, 尹君亮, 李国庆, 等. 不同营养调控剂对牛肉中肌苷和肌苷酸含量的影响[J]. 家畜生态学报, 2009, 30(1): 65–67.
- CHEN N, YIN JL, LI GQ, *et al.* The Effects of different nutrition additives on inosine monophosphate and inosine monophosphate content of beef [J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici, 2009, 30(1): 65–67.
- [23] JIE S, NIAN YQ, DA DD, *et al.* Characterization of flavor volatile compounds in sauce spareribs by gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 124: 109182.
- [24] 张孝红, 张季, 秦臻, 等. 基于脂肪酸差异分析黔北麻羊腿肉品质[J]. 肉类研究, 2023, 37(12): 39–45.
- ZHANG XH, ZHANG J, QIN Z, *et al.* Qianbei brown goat leg meat: Comparison of its fatty acid profile with that of sheep [J]. Meat Research, 2023, 37(12): 39–45.
- [25] LI J, YANG YY, ZHAN TF, *et al.* Effect of slaughter weight on carcass characteristics, meat quality, and lipidomics profiling in longissimus thoracis of finishing pigs [J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 140(4): 110705.
- [26] 王永瑞, 柏霜, 罗瑞明, 等. 焙烤对宁夏滩羊肉脂肪酸、氨基酸及核苷酸含量的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(11): 289–302.
- WANG YR, BAI S, LUO RM, *et al.* Effects of roasting on the content of fatty acids, amino acids and nucleotides of tan mutton from Ningxia [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2023, 23(11): 289–302.
- [27] MARGETTS B. FAO/WHO launch expert report on diet, nutrition and prevention of chronic diseases [J]. Public Health Nutrition, 2003, 6(4): 323–325.
- [28] MADRUGA M, DANTAS I, QUEIROZ A. Volatiles and water-and fat-soluble precursors of Saanen goat and cross Suffolk lamb flavour [J]. Molecules, 2013, 18(2): 2150–2165.
- [29] 吴娜, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 动物源食品中脂质氧化降解对香气物质形成的作用[J]. 中国食品学报, 2016, 16(7): 209–215.
- WU N, WANG XC, TAO NP, *et al.* Contribution of lipid oxidation and degradation to the formation of aroma compounds in animal-derived foods [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(7): 209–215.
- [30] 雷月, 宫彦龙, 邓茹月, 等. 基于主成分分析和聚类分析综合评价蒸谷米的品质特性[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 258–267.
- LEI Y, GONG YL, DENG RY, *et al.* Comprehensive evaluation of quality characteristics of parboiled rice based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Technology in the Food Industry, 2021, 42(7): 258–267.
- [31] 常虹, 张翼钊, 钱建平, 等. 不同品种猕猴桃多酚和类胡萝卜素组成的主成分分析[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(15): 155–163.
- CHANG H, ZHANG YZ, QIAN JP, *et al.* Principal component analysis of polyphenols and carotenoids in different kiwifruit cultivars [J]. Food Research and Development, 2024, 45(15): 155–163.
- [32] 秦力悦, 石萍萍, 李荣辉, 等. 基于主成分分析和聚类分析的烘烤类澳洲坚果果仁综合品质评价[J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 331–341.
- QIN LY, SHI PP, LI RH, *et al.* Comprehensive quality evaluation of roasted kernels in macadamia nuts based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(18): 331–341.

(责任编辑: 韩晓红 安香玉)