

排酸方式和时间对高档育肥安格斯牛肉品质的影响

王海波, 符健慧, 钟金城, 冯建华, 赵静, 李婷婷, 史莹华, 张兴隆, 李航

Effects of Aging Method and Time on Meat Quality of High-grade Fattening Angus Beef

WANG Haibo, FU Jianhui, ZHONG Jincheng, FENG Jianhua, ZHAO Jing, LI Tingting, SHI Yinghua, ZHANG Xinglong, and LI Hang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070269>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

美拉德反应对金枪鱼红肉酶解液挥发性物质和游离氨基酸的影响

Effects of Maillard Reaction on the Volatile Compounds and Free Amino Acids of Tuna Red Meat Hydrolysate

食品工业科技. 2020, 41(4): 205-210 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.04.035>

性别对舍饲育肥牦牛肉品质的影响

Effect of Gender on Meat Quality of House-fed Fattening Yak

食品工业科技. 2019, 40(18): 293-299,318 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.18.048>

安福火腿游离脂肪酸、风味物质及氨基酸分析

Analysis of Free Fatty Acids, Flavor Substances and Amino Acids in Anfu Ham

食品工业科技. 2021, 42(16): 236-242 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020090113>

藏式风干牦牛肉模拟加工过程中理化特性与挥发性风味物质的变化

Changes of Physicochemical Properties and Volatile Flavor Substances in Tibetan Air-dried Yak Meat Jerky during the Simulated Processing

食品工业科技. 2021, 42(2): 19-25 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.20200301018>

日粮类型及精粗比对舍饲育肥牦牛肉氨基酸和脂肪酸含量的影响

Effects of Diet Type and Concentrate-to-forage Ratio of Diet Feed on Contents of Amino Acid and Fatty Acid of House-feeding Yak Meat

食品工业科技. 2019, 40(12): 18-25 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.12.004>

基于HS-SPME-GC-MS法优化酱牛肉中挥发性风味物质萃取条件

Optimization of the Extraction Conditions of Volatile Flavors in Marinated Beef Based on HS-SPME-GC-MS Technique

食品工业科技. 2018, 39(15): 266-273 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.15.047>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

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. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070269

WANG Haibo, FU Jianhui, ZHONG Jincheng, 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. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070269

· 研究与探讨 ·

排酸方式和时间对高档育肥安格斯牛肉品质的影响

王海波^{1,2,3}, 符健慧³, 钟金城³, 冯建华², 赵静², 李婷婷², 史莹华^{1,*}, 张兴隆^{2,*}, 李航^{2,*}

(1. 河南农业大学动物科技学院, 河南郑州 450046;

2. 河南恒都食品有限公司博士后工作站, 河南驻马店 463700;

3. 西南民族大学青藏高原研究院, 四川成都 610041)

摘要:为探究高档牛肉的排酸技术, 本研究选取 12 条高档育肥安格斯牛背最长肌肉为原料, 通过干式和湿式排酸, 选择 3、5 和 7 d 三个时间点, 并对牛肉基本理化指标、游离氨基酸和挥发性风味物质综合分析。结果显示, 干式排酸 3 和 5 d 牛肉 pH 显著低于湿式排酸, 干式排酸 7 d 牛肉 pH 显著高于湿式排酸 ($P<0.05$); 干式排酸 3 d 牛肉剪切力显著低于湿式排酸 ($P<0.05$)。干式和湿式排酸 7 d 牛肉中丝氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、赖氨酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸及总游离氨基酸的含量均显著提高 ($P<0.05$); 干式排酸 7 d 牛肉中天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和鲜味氨基酸的含量显著高于湿式排酸 ($P<0.05$)。干式排酸和湿式排酸最主要的挥发性风味贡献物质均为壬醛、正辛醛和 1-辛烯-3-醇; 湿式排酸特有的挥发性风味物质为庚醛, 干式排酸 7 d 牛肉中正辛醛、苯乙醛、十一醛、肉豆蔻醛和柠檬烯相对含量显著高于湿式排酸 ($P<0.05$)。综上所述, 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。

关键词: 高档育肥, 安格斯牛肉, 理化指标, 游离氨基酸, 挥发性风味物质

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)11-0079-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023070269



本文网刊:

Effects of Aging Method and Time on Meat Quality of High-grade Fattening Angus Beef

WANG Haibo^{1,2,3}, FU Jianhui³, ZHONG Jincheng³, FENG Jianhua², ZHAO Jing², LI Tingting²,
SHI Yinghua^{1,*}, ZHANG Xinglong^{2,*}, LI Hang^{2,*}

(1. College of Animal Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China;

2. Postdoctoral Workstation of Henan Hengdu Food Co., Ltd., Zhumadian 463700, China;

3. Institute of Qinghai-Tibetan Plateau, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

Abstract: This study was conducted to explore the aging technology of high-grade beef, a total of 12 high-grade fattening Angus longissimus dorsi were selected and aged in dry or wet environment for 3, 5 and 7 d, and the meat basic physicochemical indexes, free amino acids and volatile flavor compounds were compared and analyzed. The results showed

收稿日期: 2023-08-01

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (32102577); 四川省自然科学基金项目 (2022NSFSC1623); 国家肉牛牦牛产业技术体系项目 (CARS-37); 青海省重点研发与转化项目 (2022-NK-110); 西南民族大学中央高校基本科研业务费 (ZYN2023004)。

作者简介: 王海波 (1989-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 反刍动物营养与肉品质, E-mail: wanghaibo@swun.edu.cn。

* 通信作者: 史莹华 (1976-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 牧草营养与利用, E-mail: annysyh@126.com。

张兴隆 (1972-), 男, 博士, 高级畜牧师, 研究方向: 反刍动物营养和牛肉深加工, E-mail: xinglongzhang@yeah.net。

李航 (1988-), 男, 硕士, 畜牧师, 研究方向: 反刍动物营养与牛肉深加工, E-mail: 317271991@qq.com。

that the pH of beef with dry-aging for 3 and 5 days was significantly lower than that with wet-aging, the pH of beef with dry-aging for 7 d was significantly higher than that with wet-aging ($P<0.05$). The share force of beef with dry-aging for 3 d was significantly lower than that with wet-aging ($P<0.05$). The contents of serine, valine, methionine, isoleucine, tyrosine, leucine, phenylalanine, arginine, lysine, total sweet free amino acids, total bitter free amino acids and total free amino acids of beef with both dry-aging and wet-aging for 7 d were significantly higher than those for 3 and 5 days ($P<0.05$). The contents of aspartic acid, glutamic acid, alanine and total umami free amino acids of beef with dry-aging for 7 d were significantly higher than those with wet-aging ($P<0.05$). The nonanal, octanal and octenol were key volatile flavor compounds in both dry-aging and wet-aging beef according to the relative odor activity value, and heptanal was the volatile flavor compounds only existed in beef with wet-aging, the octanal, phenylethanal, undecanal, tetradecyl aldehyde and limonene of beef with dry-aging for 7 d was significantly higher than those with wet-aging ($P<0.05$). In conclusion, beef with aging for 7 d is beneficial to enhance flavor richness of Angus beef, and dry-aging is better than wet-aging to improve the flavor of high-grade Angus beef.

Key words: high-grade fattening; Angus beef; physicochemical indexes; free amino acids; volatile flavor compounds

近年来,市场对高档牛肉的需求量明显上升,中低档牛肉已难以满足人们对肉质品质更高的追求^[1]。高档育肥牛肉因富含肌肉脂肪,肌肉脂肪与牛肉嫩度、多汁性及风味密切相关,使得高档牛肉具有肉质鲜美、营养丰富等特点^[2]。2021年,我国高档牛肉的产量不到牛肉总产量的5%,高档牛肉的产品主要依赖进口,生产优质高档牛肉,树立知名品牌是我国高档牛肉产业发展的必由之路^[3]。高档牛肉具有品种优良、育肥期长、饲养科学和营养价值高等特点,培育高档牛肉的牛种包括日本和牛、韩牛、雪龙黑牛组合、安格斯牛等国内外优质品种^[4-7]。其中,安格斯牛是世界知名的肉牛品种,具有早熟、耐粗饲、生长速度快和肉质好的特点,已成为高档牛肉生产的主要牛种之一^[8-10]。

肉类行业广泛应用排酸手段来改善肉的嫩度,以获得更均匀、更易被消费者接受的产品^[11]。排酸有两种形式,湿式排酸和干式排酸。干式排酸牛肉不仅受温度的影响,还受相对湿度和气流的影响,处于氧气环境中,而湿式排酸牛肉处于厌氧环境中^[12]。相较于真空包装的湿式排酸,干式排酸的可销售率相对较低,且相关的供应链物流更复杂。近年来,消费市场对于干式排酸牛肉的需求有所增加^[13]。根据以往的研究,游离氨基酸被认为是干式排酸牛肉风味的主要贡献者^[14]。此外,排酸时间对牛肉的品质也有一定的影响,短时间的排酸即可满足既改善肉品质又不影响零售^[15]的要求,但关于高档牛肉短时间排酸方面的研究鲜有报道。

国内高档牛肉排酸技术的发展相对较为缓慢,高档牛肉排酸仍与普通牛肉的排酸手段相同,创新力的不足严重影响了高档牛肉的利润和企业品牌形象的提升,针对高档牛肉排酸的技术亟需研发。因此,本研究拟以高档育肥安格斯牛的最长肌为研究对象,通过干式和湿式两种排酸方式,选取多个排酸时间点,通过牛肉物理特性、游离氨基酸和挥发性风味物质等指标综合分析,为高档牛肉排酸技术的研发提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

安格斯牛背最长肌 河南恒都食品有限公司。

Testo 205 便携带手持式 pH 计 德国 testo AG 公司; C-LM3B 型数显式肌肉嫩度仪 东北农业大学研制; JEM-1400FLASH 透射电镜 日本电子公司; FD-1-50 冷冻干燥机 中国博医康公司; S433D 氨基酸分析仪 德国 SYKAM 公司; 7890A/5975C 气相色谱质谱联用仪 美国安捷伦公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品准备 选取饲喂方式一致的安格斯牛 30 头,从 12 月龄进行高档育肥至 23 月龄后出栏,并按照河南恒都食品有限公司标准化屠宰流程屠宰。屠宰后分别取 12 条左侧和右侧背最长肌,左侧背最长肌置于 0~4 °C 排酸间(湿度: 75%, 风速: 0.5m/s)进行干式排酸 3、5 和 7 d(D3、D5、D7); 右侧背最长肌采集后立即进行真空包装,置于 0~4 °C 排酸间进行湿式排酸 3、5 和 7 d(W3、W5、W7)。

1.2.2 牛肉理化指标测定 根据肉的食用品质客观评价方法(NY/T 2793-2015)测定牛肉肉色、pH、滴水损失、蒸煮损失和剪切力。

1.2.2.1 肉色测定 每个排酸时间点取样后 45 min 内用色差仪在室温下取 3 个点测定背最长肌肉色,用亮度(L^*)、红度(a^*)、黄度(b^*)值表示。

1.2.2.2 pH 测定 使用便携带手持式 pH 计测定背最长肌 pH。

1.2.2.3 滴水损失 沿肌纤维方向取 3 条 2 cm×3 cm×5 cm 的肉条并称量(W_1),用铁钩固定肉条一端,悬挂于塑料袋中,保持肌纤维垂直向下且不与塑料袋接触,于 4 °C 冰箱吊挂 24 h 后取出肉条,用定性滤纸吸干肉条表面水分并称量(W_2)。

$$\text{滴水损失}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

1.2.2.4 蒸煮损失 沿肌纤维方向取 2.54 cm 厚的肉块并称量(M_1),置于自封袋并放在 80 °C 的水浴锅,待中心温度达到 70 °C 后取出,冷却至室温,吸干

表面水分并称重(M_2)。

$$\text{蒸煮损失(\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

1.2.2.5 剪切力 用蒸煮损失称量以后的肉块,转取 5 个直径为 2.54 cm 肉柱,之后用数显式肌肉嫩度仪测定沃-布氏剪切力(WBSF),取平均值,单位用牛顿(N)表示。

1.2.3 牛肉游离氨基酸测定 称取约 200 mg 牛肉样品于 100 mL 容量瓶中,加 0.1 mol/L 盐酸 30 mL,超声提取 30 min,定容、摇匀,在 4 ℃、10000 r/min 条件下离心 10 min,取上清液,过 0.22 μm 滤膜后上机测定。采用氨基酸分析仪,色谱柱 LCA K06/Na (4.6 mm×150 mm, 7 μm), 58~74 ℃ 梯度控温;流动相柠檬酸钠 A 和 B 分别为 0.12 mol/L, pH3.45 和 0.2 mol/L, pH10.85;洗脱泵 0.45 mL/min,衍生泵 0.25 mL/min;压力为 30~40 bar;检测波长: 570 nm+440 nm。

1.2.4 牛肉挥发性风味物质测定 牛肉挥发性风味物质测定参考实验室之前的方法^[16]。前处理过程:萃取头于 250 ℃ 温度下老化 2 h,以除去萃取头残留的挥发性成分。称取 5 g 肉样切碎后置于 40 mL 顶空瓶中,加饱和氯化钠溶液 20 mL,均浆 1~2 min,带盖密封,插入 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 固相微萃取头,调整并固定萃取头,搅拌速度为 800 r/min,于 80 ℃ 恒温萃取 30 min 后取出萃取头,插入 GC-MS 进样口于 250 ℃ 解析 5 min。

色谱条件:弹性毛细管柱(HP-5MS, 30 m×0.25 mm×0.25 μm);升温程序:60 ℃ 保持 4 min,之后以 5 ℃/min 升至 160 ℃,再以 6 ℃/min 升至 270 ℃,保持 10 min;进样口温度 250 ℃,载气(He)流量 1 mL/min;手动进样。质谱条件:传输线温度 280 ℃;电子轰击(EI)离子源;电子能量 70 eV;电子倍增器电压 1560 V;离子源温度 230 ℃;四极杆温度 150 ℃;质量扫描范围:35~550 amu。

定性及定量分析:所有的化合物经 NIST 11 谱库检索,选择正反向匹配值均大于 800 的化合物进行定性分析;各物质的相对含量为其峰面积占总峰面

积的百分比。

1.2.5 关键挥发性物质评价 关键挥发性风味物质评价方法参考相对气味活度值(relative odor activity value, ROAV)分析方法^[17]。选择气味活度值(OAV)最高,即对样品风味贡献最大的挥发性组分,并定义其 ROAV 为 100,各种挥发性风味物质的 ROAV 计算公式如下:

$$\text{ROAV}_i = 100 \times \frac{C_i}{C_{\text{stan}}} \times \frac{T_{\text{stan}}}{T_i}$$

式中: C_i 为挥发性风味物质相对含量(%); T_i 为挥发性成分嗅觉阈值(μg/kg), C_{stan} 为对样品风味贡献最大的挥发性组分的相对含量(%), T_{stan} 为对样品风味贡献最大的挥发性组分的嗅觉阈值(μg/kg)。若 $\text{ROAV} > 1$,说明该挥发性风味物质对整体风味物质有重要贡献;若 $0.1 < \text{ROAV} \leq 1$,说明该挥发性风味物质对整体风味物质有一定的修饰作用。

1.3 数据处理

牛肉基本理化特性和游离氨基酸相同排酸方式不同时间数据采用 SPSS 25.0 的 Duncan 多重比较,相同时间数据采用独立样本 t 检验分析,数据用均值±标准差表示;挥发性风味物质采用 Duncan 多重比较分析其显著性,数据用均值±标准误表示。以 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 高档育肥安格斯牛肉基本理化指标分析

牛肉 pH 对嫩度的变化起重要作用。由表 1 可知,在干式排酸条件下,排酸 7 d 牛肉的 pH 显著高于排酸 3 d 和 5 d ($P < 0.05$);排酸 3 d 和 5 d,湿式排酸牛肉 pH 显著高于干式排酸 ($P < 0.05$);排酸 7 d,湿式排酸牛肉 pH 显著低于干式排酸牛肉 ($P < 0.05$)。研究表明,牛肉 pH 小于等于 5.79 或大于等于 6.20 时,均有利于牛肉伴肌动蛋白、肌联蛋白、结构蛋白和细丝蛋白的降解,提升牛肉嫩度^[18]。本研究中,虽然排酸方式和时间对牛肉 pH 有一定影响,但牛肉的 pH 范围为 5.43~5.69,均小于 5.79,说明高档育肥安格斯牛肉在干式和湿式排酸条件下均有利于其结构蛋白等蛋白的降解,提升牛肉嫩度。色泽是消费者

表 1 排酸方式和排酸时间对高档育肥安格斯牛肉基本理化指标的影响

Table 1 Effects of aging method and time on meat basic physicochemical indexes of high-grade fattening Angus beef

项目	干式排酸			湿式排酸		
	3 d	5 d	7 d	3 d	5 d	7 d
pH	5.45±0.06 ^{aA}	5.43±0.05 ^{aA}	5.69±0.19 ^{bB}	5.61±0.11 ^B	5.52±0.05 ^B	5.48±0.06 ^A
L^*	41.34±1.65	41.15±2.38	41.98±4.19	39.82±1.18	40.77±2.41	41.29±2.12
a^*	17.51±2.18	17.478±0.50	16.19±1.99	15.99±1.30	16.75±0.66	16.78±1.63
b^*	7.48±1.61	8.36±1.02	8.50±1.10	7.75±1.20	8.14±1.54	8.43±0.81
蒸煮损失(%)	26.65±2.37	27.87±0.96	24.88±3.90	28.24±2.99	25.69±3.94	26.38±3.45
滴水损失(%)	4.41±0.38	4.64±0.23	4.35±0.33	4.71±0.23	4.51±0.28	4.63±0.24
剪切力(N)	44.58±6.93 ^A	43.31±6.53	42.34±4.89	49.31±2.92 ^B	45.97±5.21	44.72±8.62

注:相同排酸方式不同排酸时间肩标小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$);相同排酸时间不同排酸方式肩标大写字母不同表示差异显著($P < 0.05$);表2同。

选购牛肉重要的感官指标, L^* 值反映肌肉亮度, a^* 值反映肌肉红度, b^* 值反映肌肉黄度, L^* 值、 a^* 值越高, b^* 值越低, 肉色越佳^[19]。一般情况下, 干式排酸牛肉因与空气直接接触, 肌红蛋白氧化程度较湿式排酸牛肉高, 导致其肉色较暗^[20]。持水力是衡量牛肉食用品质的一个重要参数之一, 通常通过滴水损失和蒸煮损失等指标反映牛肉持水力的大小。本研究中, 排酸方式和排酸时间对牛肉的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、滴水损失和蒸煮损失无显著影响($P>0.05$), 这可能是本实验研究的是排酸初级阶段, 时间相对较短未造成干式和湿式牛肉肉色以及持水力的显著差异。嫩度是反映牛肉口感的优劣的重要指标, 其大小是由牛肉成熟过程中肌肉脂肪含量、结缔组织含量以及肌纤维直径所决定, 其大小通常用剪切力表示^[21]。本研究中, 排酸 3 d 时, 干式排酸牛肉的剪切力显著低于湿式排酸($P<0.05$); 排酸 5 d 和 7 d 时, 干式排酸和湿式排酸牛肉剪切力无显著差异($P>0.05$), 其原因可能是排酸初期, 干式排酸牛肉暴露在空气中, 肌原纤维蛋白在酶的作用下逐渐降解, 使牛肉的剪切力显著降低, 嫩度得到改善^[22]。

2.2 高档育肥安格斯牛肉游离氨基酸组成分析

牛肉排酸过程中由于蛋白质的水解, 在提高牛肉嫩度的同时, 也形成了牛肉风味的主要前体物质游离氨基酸^[23]。由表 2 可知, 牛肉样品中游离氨基酸总含量为 119.58~164.26 mg/kg, 相比于排酸 3 d 和 5 d, 干式和湿式排酸 7 d 牛肉中丝氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、酪氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、赖氨酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸及总游离氨基酸的含量均显著增加($P<0.05$)。其中, 丝氨酸呈现甜味, 缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸呈现

苦味, 精氨酸呈现苦味和甜味, 蛋氨酸呈现肉味、甜味和煮熟土豆味^[24], 表明排酸 7 d 可显著提高牛肉风味的丰度。本研究中, 除干式排酸和湿式排酸均提高的游离氨基酸外, 与排酸 3 d 和 5 d 相比, 干式排酸 7 d 显著提高了牛肉中天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和鲜味氨基酸的含量, 湿式排酸 7 d 显著提高了牛肉苏氨酸的含量($P<0.05$)。此外, 结果显示, 排酸 7 d, 干式排酸牛肉中天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和鲜味氨基酸的含量显著高于湿式排酸, 干式排酸牛肉中苯丙氨酸和脯氨酸的含量显著低于湿式排酸($P<0.05$)。以上结果说明干式排酸牛肉风味的丰度更好, 这与干式排酸牛肉中游离氨基酸主要来源于蛋白质水解的观点一致^[25]。与本文的结果相似, 研究发现干式排酸牛肉的谷氨酸、天冬氨酸、总游离氨基酸含量明显高于湿式排酸牛肉^[26-27]。

2.3 高档育肥安格斯牛肉挥发性风味物质组成及相对气味活度值分析

本研究分别选取两种排酸方式 3 d 和 7 d 的样品进行挥发性风味物质的检测, 结果显示, 4 种排酸牛肉共检出 48 种挥发性风味物质, 其中 D3、D7、W3 和 W7 中分别检出 42、41、43 和 46 种挥发性风味物质(表 3)。这些挥发性风味物质主要包括醛类 13 种、酮类 2 种、醇类 9 种、烃类 14 种、酸类 2 种、酯类 4 种和其他类 4 种, 其中相对含量最高的为醛类, 其次为烃类、醇类、酮类和酯类, 相对含量最少的为酸类。

醛类主要来源于脂质氧化和氨基酸的 Strecker 降解, 在牛肉的风味中起着重要作用, 主要构成肉香味^[28]。本研究中, 排酸牛肉共检出醛类 13 种, 分别

表 2 排酸方式和排酸时间对高档育肥安格斯牛肉游离氨基酸组成的影响(mg/kg)

Table 2 Effects of aging method and time on meat free amino acids composition of high-grade fattening Angus beef (mg/kg)

项目	干式排酸			湿式排酸		
	3 d	5 d	7 d	3 d	5 d	7 d
天冬氨酸	4.48±0.65 ^a	4.70±0.60 ^{ab}	5.40±0.36 ^{bb}	4.28±0.41	4.02±0.36	3.94±0.45 ^A
谷氨酸	6.10±0.89 ^a	7.36±1.63 ^a	12.80±2.28 ^{bb}	8.40±2.11	8.64±1.49	9.62±1.33 ^A
苏氨酸	24.40±2.97 ^B	22.80±1.79 ^B	25.20±1.92	19.60±2.61 ^{aA}	18.20±3.27 ^{aA}	29.40±4.51 ^b
甘氨酸	6.84±0.62 ^a	7.54±0.97 ^{ab}	8.40±0.91 ^b	7.06±0.93	7.34±0.85	7.52±0.83
丙氨酸	24.60±2.41 ^a	27.20±2.28 ^a	34.60±4.93 ^{bb}	26.60±2.30	26.80±2.59	27.40±2.61 ^A
脯氨酸	1.02±0.24	1.02±0.13	1.08±0.24 ^A	1.48±0.51	1.64±0.65	1.74±0.30 ^B
丝氨酸	5.86±0.84 ^a	6.48±1.07 ^a	9.68±1.04 ^b	6.62±0.53 ^a	7.04±0.85 ^a	10.70±1.20 ^b
蛋氨酸	5.96±0.91 ^a	6.44±0.96 ^a	8.22±0.81 ^b	5.94±0.70 ^a	6.56±0.90 ^a	8.38±1.03 ^b
缬氨酸	4.62±0.77 ^a	5.48±0.66 ^a	6.80±0.78 ^b	4.92±0.83 ^a	5.56±0.74 ^a	7.88±0.70 ^b
异亮氨酸	4.50±0.59 ^a	4.86±0.68 ^a	6.84±1.08 ^b	4.58±0.82 ^a	5.54±0.96 ^a	7.50±0.95 ^b
亮氨酸	8.10±1.08 ^a	8.98±1.43 ^a	12.00±1.58 ^b	8.42±1.21 ^a	10.42±1.39 ^b	13.00±1.00 ^c
苯丙氨酸	3.84±0.52 ^a	4.70±0.67 ^b	5.76±0.63 ^{aA}	3.60±0.45 ^a	4.18±0.80 ^a	7.00±0.78 ^{bb}
精氨酸	6.86±1.24 ^a	7.40±1.17 ^a	9.42±1.51 ^b	6.90±0.64 ^a	7.62±0.76 ^a	9.76±1.18 ^b
酪氨酸	4.38±0.62 ^a	4.84±0.60 ^a	6.46±0.97 ^b	4.14±0.80 ^a	4.94±0.70 ^a	7.24±0.63 ^b
赖氨酸	8.02±1.24 ^a	8.62±1.82 ^a	11.60±1.34 ^b	8.42±1.12 ^a	9.54±0.92 ^{ab}	11.10±1.43 ^b
鲜味氨基酸	10.58±1.39 ^a	12.06±1.68 ^a	18.20±2.37 ^{bb}	12.68±2.20	12.66±1.56	13.56±1.33 ^A
甜味氨基酸	68.68±7.30 ^a	71.48±6.82 ^a	87.18±8.88 ^b	67.30±5.93 ^a	67.58±3.35 ^a	85.14±4.56 ^b
苦味氨基酸	40.32±5.73 ^a	44.88±6.01 ^a	58.88±7.53 ^b	40.98±5.07 ^a	47.8±5.84 ^a	63.48±6.30 ^b
总游离氨基酸	119.58±14.21 ^a	128.42±13.64 ^a	164.26±17.81 ^b	120.96±11.72 ^a	128.04±9.02 ^a	162.18±10.12 ^b

表 3 排酸方式和排酸时间对高档育肥安格斯牛肉挥发性风味物质相对含量的影响 (%)
Table 3 Effects of aging method and time on relative content of meat volatile flavor compounds of high-grade fattening Angus beef (%)

种类	化合物	干式排酸		湿式排酸		
		3 d	7 d	3 d	7 d	
醛类	正己醛	2.87±0.84 ^b	1.05±0.46 ^{ab}	0.48±0.18 ^a	1.93±1.11 ^{ab}	
	庚醛	—	—	6.18±1.23	3.72±0.40	
	苯甲醛	7.31±0.41	6.22±0.09	5.78±1.19	4.89±1.01	
	正辛醛	1.69±0.55 ^a	7.97±1.09 ^c	7.40±0.93 ^c	4.32±0.51 ^b	
	苯乙醛	2.08±0.24 ^b	1.90±0.19 ^b	0.51±0.09 ^a	0.30±0.08 ^a	
	壬醛	13.89±2.13 ^a	15.60±1.14 ^a	28.32±4.97 ^b	15.21±3.66 ^a	
	癸醛	0.72±0.13	1.42±0.51	0.83±0.15	0.72±0.23	
	十一醛	0.57±0.09 ^a	1.23±0.29 ^b	0.63±0.07 ^a	0.73±0.19 ^a	
	2,4-癸二烯醛	0.98±0.24 ^b	0.80±0.13 ^b	0.34±0.07 ^a	0.35±0.05 ^a	
	肉豆蔻醛	1.75±0.19 ^b	3.19±0.50 ^c	0.49±0.25 ^a	0.23±0.06 ^a	
	十五醛	0.77±0.36	0.35±0.11	0.53±0.08	0.27±0.10	
	十六醛	0.44±0.21	0.36±0.15	0.37±0.14	0.39±0.12	
	十八醛	0.20±0.05	0.33±0.11	0.36±0.12	0.45±0.07	
	酮类	2-庚酮	2.78±0.25 ^b	1.29±0.63 ^a	0.71±0.17 ^a	0.86±0.12 ^a
		2,3-辛二酮	2.38±0.45 ^a	2.40±0.36 ^a	4.73±0.49 ^b	3.33±0.87 ^{ab}
醇类	正己醇	3.95±0.24 ^b	1.46±0.55 ^a	0.79±0.18 ^a	1.06±0.25 ^a	
	庚醇	—	2.17±0.10	1.21±0.09	1.59±0.12	
	1-辛烯-3-醇	1.94±0.39 ^a	2.39±0.29 ^{ab}	5.48±0.51 ^c	4.33±1.09 ^{bc}	
	反-2-十一烯醇	2.10±0.35 ^b	0.87±0.18 ^a	0.68±0.21 ^a	1.39±0.13 ^a	
	正辛醇	1.16±0.33 ^a	3.71±0.49 ^b	3.59±0.30 ^b	2.35±0.82 ^{ab}	
	1-壬醇	1.00±0.15 ^b	0.84±0.11 ^{ab}	0.32±0.05 ^a	0.60±0.06 ^{ab}	
	1-癸醇	0.72±0.11	—	0.16±0.04	0.24±0.03	
	月桂醇	0.73±0.17	0.86±0.23	0.49±0.20	—	
	1-十五醇	1.15±0.38	0.83±0.06	1.11±0.45	0.55±0.21	
	烃类	对二甲苯	—	—	—	1.57±0.67
间二甲苯		5.92±0.75 ^b	2.16±0.89 ^{ab}	0.69±0.34 ^a	6.44±2.66 ^b	
邻二甲苯		5.46±0.25 ^c	1.73±0.93 ^a	0.59±0.12 ^a	3.60±0.73 ^b	
柠檬烯		1.64±0.19 ^{ab}	2.22±0.13 ^b	2.01±0.79 ^{ab}	0.75±0.19 ^a	
2,6-二甲基辛烷		1.52±0.13	—	—	0.83±0.19	
十一烷		1.56±0.27 ^a	0.97±0.38 ^a	0.82±0.22 ^a	5.57±1.29 ^b	
萘		—	—	—	0.82±0.12	
十二烷		1.02±0.20 ^{ab}	1.14±0.18 ^{ab}	0.82±0.35 ^a	2.36±0.83 ^b	
顺-2-辛烯		—	1.24±0.25	1.12±0.27	—	
正十三烷		0.56±0.14	0.54±0.12	0.64±0.19	0.78±0.11	
正癸烯		1.11±0.33	0.78±0.17	0.99±0.48	0.42±0.17	
十四烷		0.69±0.16	0.80±0.18	0.75±0.18	0.96±0.13	
十七烷		0.29±0.08	0.28±0.06	0.23±0.04	0.30±0.03	
十八烷		0.19±0.03	0.23±0.09	0.18±0.04	0.27±0.12	
酸类		辛酸	—	—	—	0.70±0.13
	壬酸	0.48±0.07	0.49±0.17	0.70±0.17	0.82±0.24	
酯类	酞酸二甲酯	0.35±0.11	—	—	0.08±0.01	
	酞酸二乙酯	0.89±0.31	1.21±0.16	1.37±0.29	1.72±0.54	
	邻苯二甲酸二丁酯	0.98±0.15	2.28±0.73	1.42±0.56	1.98±0.51	
	己二酸二(2-乙基己)酯	0.40±0.21	0.52±0.26	0.34±0.12	1.04±0.46	
其他	甲氧基-苯环-脞	13.87±0.44 ^b	13.89±1.12 ^b	7.23±0.61 ^a	7.70±0.63 ^a	
	2-戊基呋喃	2.58±0.27 ^b	2.35±0.26 ^{ab}	1.72±0.40 ^{ab}	1.40±0.33 ^a	
	1,6-己内酰胺	0.63±0.08 ^{ab}	0.94±0.19 ^{ab}	0.42±0.09 ^a	1.27±0.40 ^b	
	2,4-二叔丁基苯酚	0.71±0.29 ^a	4.13±0.58 ^b	1.61±0.61 ^a	1.22±0.23 ^a	

注: —表示未检测到; 同行数据肩标小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

占 D3、D7、W3 和 W7 总挥发性风味物质的 33.27%、40.42%、52.22% 和 33.51%，主要包括壬醛、苯甲醛、正辛醛和肉豆蔻醛。壬醛主要来源于花生四烯酸的氧化分解，具有果香和脂肪香味^[29]，本研究中，

W3 组中壬醛的相对含量高于其它 3 组，说明湿式排酸 3 d 牛肉有较浓的果香味和脂肪味。结果显示，干式排酸牛肉中苯乙醛、2,4-癸二烯醛、肉豆蔻醛的相对含量显著高于湿式排酸牛肉 ($P < 0.05$)；相比于排

表4 高档育肥安格斯牛肉挥发性风味物质的相对气味活度值
Table 4 Relative odor activity value of meat volatile flavor compounds of high-grade fattening Angus beef

化合物	香气特征 ^[35]	CAS	阈值($\mu\text{g}/\text{kg}$)	干式排酸		湿式排酸	
				3 d	7 d	3 d	7 d
正己醛	青草味	66-25-1	5	4.55	1.48	0.37	2.79
庚醛	脂肪味, 柑橘味	111-71-7	2.8	—	—	8.57	9.61
正辛醛	油脂味, 柠檬味	124-13-0	0.587	22.80	95.74	48.97	53.22
苯乙醛	山楂味, 蜂蜜味, 甜味	122-78-1	6.3	2.61	2.13	0.31	0.34
壬醛	油脂味, 柑橘味	124-19-6	1.1	100.00	100.00	100.00	100.00
癸醛	橘子皮味, 脂肪味	112-31-2	3	1.90	3.34	1.07	1.74
十一醛	油味, 辛辣味, 甜味	112-44-7	12.5	0.36	0.69	0.20	0.42
肉豆蔻醛	花香味, 蜡味	124-25-4	110	0.13	0.20	0.02	0.02
正己醇	树脂味, 花香味	111-27-3	5.6	5.59	1.84	0.55	1.37
庚醇	化学试剂味	111-70-6	5.4	—	2.83	0.87	2.13
1-辛烯-3-醇	蘑菇味	3391-86-4	1.5	10.24	11.24	14.19	20.88
月桂醇	油脂味, 蜡味	112-53-8	16	0.36	0.38	0.12	—
柠檬烯	柑橘味, 薄荷味	5989-27-5	34	0.38	0.46	0.23	0.16
2-戊基呋喃	青豆味, 黄油味	3777-69-3	5.8	3.52	2.86	1.15	1.75

注: —表示未检测到。

酸 3 d, 干式排酸 7 d 显著提高了正辛醛、十一醛、肉豆蔻醛的相对含量($P<0.05$)。说明延长干式排酸时间对改善牛肉的风味有一定作用。此外, 本研究中, 湿式排酸牛肉中检测出庚醛, 干式排酸牛肉中则未检出, 庚醛呈现柑橘味, 可能对湿式排酸牛肉呈现酸味有一定作用^[30]。

烃类化合物主要来源于脂肪酸烷氧自由基的断裂^[31], 脂肪氧化的次级产物, 烯烃则大多来自于香辛料^[32]。本次排酸肉共检出烃类 14 种, 分别占 D3、D7、W3 和 W7 总挥发性风味物质的 19.96%、12.09%、8.84% 和 24.67%。在本研究中, 干式排酸 7 d 柠檬烯的相对含量显著高于湿式排酸 7 d, 湿式排酸 7 d 间二甲苯、邻二甲苯和十一烷的相对含量显著增加($P<0.05$), 但烃类阈值较高, 对牛肉干整体风味影响较小。醇类化合物是清香类物质的代表, 主要来自脂肪氧化、香辛料或醛类还原所得^[33]。本次排酸肉共检出醇类 9 种, 分别占 D3、D7、W3 和 W7 总挥发性风味物质的 12.75%、13.13%、13.83% 和 12.11%。其中, 湿式排酸牛肉 1-辛烯-3-醇高于干式排酸($P<0.05$), 同时 1-辛烯-3-醇也是醇类化合物中占比最高的挥发性风味物质, 能赋予产品蘑菇香气, 对牛肉风味贡献较大^[34], 说明湿式排酸通过 1-辛烯-3-醇对牛肉风味产生影响。结果显示, D3 组牛肉中正己醇的相对含量显著高于其它组($P<0.05$)。正己醇可通过正己醛还原或亚油酸氧化产生, 呈现青绿香味, 对牛肉风味起到一定的修饰作用^[14], 说明干式排酸 3 d 牛肉产生更多正己醇对牛肉风味进行修饰。

根据 $\text{ROAV}>1$ 的挥发性风味物质对整体风味物质有重要贡献, $0.1<\text{ROAV}\leq 1$ 的挥发性风味物质对整体风味物质有一定的修饰作用, 本研究中 D3、D7、W3 和 W7 中分别检测出 12、13、14 和 13 种对整体风味物质有重要贡献或有一定修饰作用的物质(表 4)。整体来看, 4 种排酸牛肉壬醛的 ROAV 均最

高为 100, 其次是正辛醛(22.80~95.74)、1-辛烯-3-醇(10.24~20.88)、庚醛(8.57~9.61)、2-戊基呋喃(1.15~3.52)、癸醛(1.07~3.34)和正己醇(0.55~5.59)。本研究中, 风味物质相对含量结果显示, 排酸 7 d, 干式排酸牛肉中正辛醛、苯乙醛、十一醛、肉豆蔻醛和柠檬烯的相对含量显著高于湿式排酸牛肉($P<0.05$)。根据 ROAV 值, 正辛醛是牛肉关键挥发性风味物质, 苯乙醛、十一醛、肉豆蔻醛和柠檬烯则对牛肉风味具有一定的修饰作用, 说明干式排酸 7 d 较湿式排酸 7 d 对牛肉风味修饰作用更强。

3 结论

相较于排酸 3 d 和 5 d, 排酸 7 d 可显著提高多种游离氨基酸、甜味氨基酸、苦味氨基酸及总游离氨基酸的含量($P<0.05$); 此外, 干式排酸 7 d 牛肉中天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸和鲜味氨基酸的含量显著高于湿式排酸($P<0.05$)。干式排酸和湿式排酸最主要的风味贡献物质均为壬醛、正辛醛和 1-辛烯-3-醇; 湿式排酸特有的风味贡献物质为庚醛。干式排酸 7 d 牛肉中正辛醛、苯乙醛、十一醛、肉豆蔻醛和柠檬烯相对含量显著高于湿式排酸($P<0.05$)。综上所述, 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。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 钟佳琳, 郑祎宁, 贺花, 等. 高档牛肉生产现状及开发前景[J]. 中国牛业科学, 2018, 44(6): 40-43. [ZHONG J L, ZHENG W N, HE H, et al. Production status and development prospect of high-grade beef[J]. Chinese Cattle Science, 2018, 44(6): 40-43.]
- [2] 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.
- [3] 冉桂霞, 李双, 田天, 等. 高档肉牛生产现状及发展方向[J]. *中国畜牧业*, 2022, 614(23): 34–35. [RAN G X, LI S, TIAN T, et al. Production status and development direction of high-grade beef cattle[J]. *China Animal Husbandry*, 2022, 614(23): 34–35.]
- [4] 张路培, 袁嵘嵘. 中国高档牛肉市场现状及发展趋势展望[J]. *中国畜牧杂志*, 2012, 48(4): 34–37, 40. [ZHANG L P, YUAN Z R. The present situation and development trend of Chinese high-end beef market[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2012, 48(4): 34–37, 40.]
- [5] DROUILLARD J S. Current situation and future trends for beef production in the United States of America-A review[J]. *Asian-Australas Journal of Animal Science*, 2018, 31(7): 1007–1016.
- [6] MOTOYAMA M, SASAKI K, WATANABE A. Wagyu and the factors contributing to its beef quality: A Japanese industry overview[J]. *Meat Science*, 2016, 120: 10–18.
- [7] CHUNG K Y, LEE S H, CHO S H, et al. Current situation and future prospects for beef production in South Korea-A review[J]. *Asian-Australas Journal of Animal Science*, 2018, 31(7): 951–960.
- [8] 丁得利, 韩永胜, 李伟, 等. 安格斯牛的种质资源利用现状[J]. *现代畜牧科技*, 2022, 88(4): 15–17. [DING D L, HAN Y S, LI W, et al. Utilization of germplasm resources in Angus cattle[J]. *Modern Animal Science and Technology*, 2022, 88(4): 15–17.]
- [9] OLIVER C. Artisan beef: An alternative view of beef quality[J]. *Animal Frontiers*, 2012, 2(4): 68–73.
- [10] THERKILDSEN M, SPLETH P, LANGE E M, et al. The flavor of high-quality beef-A review[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science*, 2018, 67(3-4): 85–95.
- [11] JIN S K, YIM D G. Comparison of effects of two aging methods on the physicochemical traits of pork loin[J]. *Food Science of Animal Resources*, 2020, 40(5): 844–851.
- [12] LEE D, LEE H J, YOON J W, et al. Effect of different aging methods on the formation of aroma volatiles in beef strip loins[J]. *Foods*, 2021, 10(1): 1–16.
- [13] DASHDORJ D, TRIPATHI VK, CHO S, et al. Dry aging of beef; Review[J]. *Journal of Animal Science and Technology*, 2016, 58: 20.
- [14] AL-DALALI S, LI C, XU B. Effect of frozen storage on the lipid oxidation, protein oxidation, and flavor profile of marinated raw beef meat[J]. *Food Chemistry*, 2021, 376: 131881.
- [15] VITALE M, PEREZ-JUAN M, LLORET E, et al. Effect of aging time in vacuum on tenderness, and color and lipid stability of beef from mature cows during display in high oxygen atmosphere package[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 270–277.
- [16] 牛茵, 尹礼国, 杨梓垚, 等. 不同加工环境自然发酵羊肉香肠细菌多样性与挥发性风味物质关联分析[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(1): 270–280. [NIU Y, YIN L G, YANG Z Y, et al. Correlation analysis of bacterial communities and volatile flavor compounds of naturally fermented mutton sausages from different processing environments[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(1): 270–280.]
- [17] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: “ROAV”法[J]. *食品科学*, 2008, 344(7): 370–374. [LIU D Y, ZHOU G H, XU X L. “ROAV” method: A new method for determining key odor compounds of Rugao ham[J]. *Food Science*, 2008, 344(7): 370–374.]
- [18] WU G, FAROUK M M, CLERENS S, et al. Effect of beef ultimate pH and large structural protein changes with aging on meat tenderness[J]. *Meat Science*, 2014, 98(4): 637–645.
- [19] JEONG J Y, KIM G D, YANG H S, et al. Effect of freeze-thaw cycles on physicochemical properties and color stability of beef semimembranosus muscle[J]. *Food Research International*, 2011, 44(10): 3222–3228.
- [20] KIM Y H, KEMP R, SAMUELSSON L M. Effects of dry-aging on meat quality attributes and metabolite profiles of beef loins[J]. *Meat Science*, 2016, 111: 168–176.
- [21] KEMP C M, SENSKY P L, BARDSLEY R G, et al. Tenderness-An enzymatic view[J]. *Meat Science*, 2010, 84(2): 248–256.
- [22] HULÁNKOVÁ R, KAMENÍK J, SALÁKOVÁ A, et al. The effect of dry aging on instrumental, chemical and microbiological parameters of organic beef loin muscle[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 89: 559–565.
- [23] FU H, PAN L, WANG J, et al. Sensory properties and main differential metabolites influencing the taste quality of dry-cured beef during processing[J]. *Foods*, 2022, 11(4): 1–18.
- [24] DASHDORJ D, AMNA T, HWANG I. Influence of specific taste-active components on meat flavor as affected by intrinsic and extrinsic factors: An overview[J]. *European Food Research and Technology*, 2015, 241(2): 157–171.
- [25] ZHANG R, ROSS A B, YOO M J Y, et al. Metabolic fingerprinting of in-bag dry- and wet-aged lamb with rapid evaporative ionization mass spectroscopy[J]. *Food Chemistry*, 2021, 347(1): 1–10.
- [26] KIM J H, KIM D H, JI D S, et al. Effect of aging process and time on physicochemical and sensory evaluation of raw beef top round and shank muscles using an electronic tongue[J]. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 2017, 37(6): 823–832.
- [27] LEE H J, CHOE J, KIM M, et al. Role of moisture evaporation in the taste attributes of dry- and wet-aged beef determined by chemical and electronic tongue analyses[J]. *Meat Science*, 2019, 151(1): 82–88.
- [28] LI Z, HA M, FRANK D, et al. Volatile profile of dry and wet aged beef loin and its relationship with consumer flavour liking[J]. *Foods*, 2021, 10(12): 1–14.
- [29] WANG Y, BU X, YANG D, et al. Effect of cooking method and doneness degree on volatile compounds and taste substance of Pingliang red beef[J]. *Foods*, 2023, 12(3): 1–23.
- [30] KIM M, CHOE J, LEE H J, et al. Effects of aging and aging method on physicochemical and sensory traits of different beef cuts[J]. *Food Science of Animal Resources*, 2019, 39(1): 54–64.
- [31] 毛永强, 李彦虎, 负建民, 等. 传统陇西腊肉制作过程中挥发性风味物质变化分析[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 144–152. [MAO Y Q, LI Y H, YUN J M, et al. The analysis of the volatile flavor compounds in traditional Longxi bacon production[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2021, 47(4): 144–152.]
- [32] GONG H, YANG Z, LIU M, et al. Time-dependent categorization of volatile aroma compound formation in stewed Chinese spicy beef using electron nose profile coupled with thermal desorption GC-MS detection[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2017, 6(3): 137–146.
- [33] 谭雪梅, 唐善虎, 李思宁, 等. 反复式冻融-风干对风干牦牛肉的理化特性和挥发性成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(4): 131–138. [TAN X M, TANG S H, LI S N, et al. Effects of air-drying with repeated freeze-thaw on the physicochemical properties and volatile compounds of dried yak meat[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2020, 46(4): 131–138.]
- [34] WENG K, SONG L, BAO Q, et al. Comparative characterization of key volatile compounds in slow- and fast-growing duck raw meat based on widely targeted metabolomics[J]. *Foods*, 2022, 11(24): 3975.
- [35] VAN GEMERT L. Compilations of odour threshold values in air, water and other media[M]. The Netherlands, Oliemans Punter & Partners BV, 2011.