

## 不同枣粉水平对陕北白绒山羊肉挥发性风味物质的影响

孙旺斌<sup>1</sup> 付琪<sup>1,2</sup> 薛瑞林<sup>1,2</sup> 王伟萍<sup>1</sup> 张骞<sup>1</sup> 冯平<sup>1\*</sup>

(1.榆林学院生命科学学院,榆林 719000;2.榆林市佳县方塌镇瑞兴种羊场,榆林 719208)

**摘要:** 本试验旨在研究不同枣粉水平对陕北白绒山羊肉挥发性风味物质的影响。选取40只初始体重为(20.15±1.63) kg的6月龄健康陕北白绒山羊,按照每组8只(公母各4只)随机分为5组,分别饲喂枣粉水平为0(对照组)、10%(试验Ⅰ组)、15%(试验Ⅱ组)、20%(试验Ⅲ组)、25%(试验Ⅳ组)的试验饲料。饲养试验预试期10 d,正试期70 d。饲喂试验结束后屠宰全部试验羊,以背最长肌为试验材料,测定羊肉中挥发性风味物质并进行比较分析。结果表明:电子鼻显示试验Ⅲ组羊肉的WIC响应值显著高于试验Ⅳ组( $P<0.05$ ),但W1W、W2W响应值显著低于试验Ⅳ组( $P<0.05$ );在羊肉中共检出47种挥发性风味物质,关键挥发性风味物质包括己醛、辛醛、壬醛、癸醛、1-辛烯-3-醇和2,3-辛二酮等,饲料枣粉水平对羊肉中大多数挥发性风味物质的含量有影响显著( $P<0.05$ ),醛类和酮类主要由脂质氧化产生,含量过高则不利于羊肉香味,饲料枣粉水平提高时,醛类和酮类含量降低。从整体上看,饲料枣粉水平为20%时,陕北白绒山羊肉中挥发性风味物质种类多,醛类和酮类含量较低,风味品质最佳。

**关键词:** 陕北白绒山羊;枣粉;电子鼻;挥发性风味物质

**中图分类号:** S816

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2021)10-5664-13

目前,我国山羊数量及羊肉产量均位居世界第一,在世界养羊业生产中占有重要地位。陕北白绒山羊是用杂交方式培育而成的绒肉兼用型山羊新品种,具有肉质细嫩、膻味轻、口感好、肉中蛋白质高和胆固醇低等特点<sup>[1]</sup>。绒山羊以传统放牧为主,但随着我国草原面积减少,集约化舍饲养殖已成为绒山羊的主要养殖方式,这造成了羊肉风味品质的下降<sup>[2]</sup>。通过营养调控改善羊肉风味已成为一种重要的手段,大量的学者进行了相关研究。Gkarane等<sup>[3]</sup>研究发现,饲料中不同水平的青贮饲料能引起羔羊肉风味物质的改变;刘畅等<sup>[4]</sup>研究发现,饲料中添加亚麻籽能改变羊肉挥发性风味物质的组成和含量,提高羊肉的抗氧化能力,减少肉中不良风味的产生。刘旺景等<sup>[5]</sup>研究发

现,在杜寒杂交羊饲料中添加沙葱粉能改善肌肉中脂肪酸和风味物质的组成和含量,这与沙葱中含有黄酮类和挥发油等多种活性成分有关。刘瑞生等<sup>[6]</sup>在羔羊的精料中添加中草药,发现羊肉挥发物的种类和含量明显增加,羊肉风味得到改善。

枣中含有丰富的微量元素、维生素、多糖以及黄酮类物质,陕北佳县产枣量大,伴随有大量残次枣,可开发残次枣加工成枣粉,作为非常规的饲料资源<sup>[7]</sup>。解彪等<sup>[8]</sup>用枣粉替代羔羊饲料中的玉米,发现枣粉能提高羔羊的生长性能,降低料重比。本课题组研究也发现饲料中添加枣粉能提高陕北白绒山羊的生长性能以及干物质和粗蛋白质降解率,并能改善肉色,饲料枣粉水平为20%时能有效缓解山羊肉组织中的氧化应激,提高抗氧化

收稿日期:2021-03-18

基金项目:国家自然科学基金项目(31960710)

作者简介:孙旺斌(1965—),男,陕西横山人,副教授,硕士,研究方向为畜产品加工及风味。E-mail: 1181887243@qq.com

\*通信作者:冯平,副教授,硕士生导师,E-mail: fengping\_ren@126.com

能力<sup>[9]</sup>。目前在饲料中添加枣粉改善绒山羊风味物质方面的研究较少。因此,本试验在白绒山羊饲料中添加不同水平的枣粉,研究枣粉对羊肉挥发性风味物质的影响,筛选出适宜的饲料枣粉水平,为改善羊肉风味品质提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

枣粉由当地同一批次的残次陕北红枣全枣加工而成,所用枣粉均为同一批次生产,枣粉的营养成分及活性物质含量或活性如下:粗蛋白质 6.07%,粗脂肪 1.34%,粗灰分 2.56%,粗纤维 23.85%,总糖 298.1 g/kg,总酸 7.1 g/kg,总酚 9.8 g/kg,黄酮 462.1 mg/kg,皂苷 1 012.1 mg/kg,单宁 3 512.6 mg/kg,维生素 C 96.5 mg/kg,自由基清除率 41%,总抗氧化能力(T-AOC) 0.72 U/mg,超氧化物歧化酶(SOD) 37.86 U/mg,过氧化氢酶(CAT) 3.76 U/mg,谷胱甘肽过氧化物酶

(GSH-Px) 46.71 U/mg。

### 1.2 试验设计、饲料及饲养管理

本试验于 2018 年 9 月至 2018 年 12 月在陕西省榆林市佳县瑞兴羊场进行,选取舍饲条件下健康无病的 6 月龄陕北白绒山羊 40 只,初始体重为 (20.15±1.63) kg,按照每组 8 只(公母各 4 只)随机分成 5 组,分别饲喂枣粉水平为 0(对照组)、10%(试验 I 组)、15%(试验 II 组)、20%(试验 III 组)、25%(试验 IV 组)的试验饲料,其中枣粉的添加是通过等比例代替基础饲料中的玉米秸秆,试验饲料组成及营养水平见表 1。试验饲料参照配方配制并制成颗粒状,每日饲喂 2 次,分别在 08:00 和 20:00 饲喂,自由饮水,并定期清理羊舍。饲养试验预试期 10 d,试验期 70 d。饲喂试验结束后进行屠宰,宰前禁食 24 h、禁水 2 h,宰后 1 h 内取羊的背最长肌 50 g 左右于 -20 ℃ 保存,进行电子鼻和挥发性风味物质测定。

表 1 试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

%

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III	试验 IV 组 Trial group IV
原料 Ingredients					
玉米秸秆 Corn stover	25.00	15.00	10.00	5.00	
枣粉 Jujube powder		10.00	15.00	20.00	25.00
苜蓿 Alfalfa	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
玉米 Corn	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00
豆粕 Soybean meal	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
酵母粉 Yeast powder	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
石粉 Limestone	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
磷酸氢钙 CaHPO <sub>4</sub>	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
食盐 NaCl	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
碳酸氢钠 NaHCO <sub>3</sub>	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>					
代谢能 ME/(MJ/kg)	9.98	10.17	10.36	10.55	10.76
干物质 DM	90.12	89.62	89.37	89.12	88.87
粗蛋白质 CP	13.98	14.00	14.02	14.04	14.05
粗脂肪 EE	1.79	1.80	1.81	1.82	1.83
粗灰分 Ash	9.26	8.70	8.41	8.12	7.84
粗纤维 CF	11.86	11.26	10.96	10.66	10.36
钙 Ca	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
磷 P	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: Fe 50 mg, Mn 40 mg, Zn 40 mg, Co 0.2 mg, I 0.2 mg, Se 0.3 mg, VA 30 000 IU, VD<sub>3</sub> 6 250 IU, VE 500 IU。

2) 代谢能为计算值,其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 电子鼻感官测定

将肉样于 4 ℃ 解冻后切成肉糜状,称取 5 g 放入 15 mL 进样瓶密封,60 ℃ 水浴 45 min 后,室温

条件下平衡 2 h,进行电子鼻检测。电子鼻(PEN3,德国 Airsense 公司)的试验参数:采样频率 1 Hz,进气流速 200 mL/min,清洗时间 90 s,进样时间 120 s。PEN3 电子鼻的性能和参数见表 2。

表 2 PEN3 电子鼻的性能描述

Table 2 Performance description of PEN3 electronic nose

传感器序号 Sensor number	传感器名称 Sensor name	性能描述 Performance description
S1	W1C	检测芳香类化合物
S2	W5S	响应物质范围广,检测氮氧化合物
S3	W3C	检测芳香类化合物
S4	W6S	检测氢气
S5	W5C	检测烷烃类、芳香类化合物及弱极性的化合物
S6	W1S	对甲烷敏感
S7	W1W	对无机硫化物、萜烯类和吡嗪类物质敏感
S8	W2S	检测醇类及部分芳香族化合物
S9	W2W	检测芳香族化合物、有机硫化物
S10	W3S	检测高浓度烷烃类

#### 1.3.2 挥发性风味物质测定

##### 1.3.2.1 内标物溶液配制

称取 1.68 mg 的 2-甲基-3-庚酮(色谱纯,美国 Sigma 公司),先用甲醇(色谱纯,美国 Sigma 公司)定容至 100 mL,得到 0.168 mg/mL 的 2-甲基-3-庚酮溶液,进一步用甲醇稀释成 0.168 μg/mL 的 2-甲基-3-庚酮溶液,作为内标物进行后续分析。

##### 1.3.2.2 挥发性风味物质的萃取

先将萃取头(50/30 μm DVB/CAR/PDMS,美国 Supelco 公司)置于气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)进样口进行老化;称取上述肉糜状的肉样 5 g 于 15 mL 进样瓶中,加入 1 μL 内标物溶液,萃取头插入进样瓶距离肉样 1 cm 处,于 60 ℃ 吸附 45 min,萃取结束后,取出萃取头并插入 GC-MS 进样口,在 250 ℃ 条件下解吸附 5 min<sup>[10]</sup>。

##### 1.3.2.3 GC-MS 条件

气相色谱:DB-5MS 毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),载气为氦气,流速 1 mL/min;进样口和传输线温度为 250 ℃;起始温度为 35 ℃,保持 3 min,以 4 ℃/min 升温到 80 ℃ 并保持 2 min,再以 5 ℃/min 升到 130 ℃ 并保持 2 min,最后以 8 ℃/min 升到 230 ℃ 并保持 5 min,不分流进样。

质谱:离子源温度 250 ℃,电离方式为电轰击

电离(EI),电子能量 70 eV,质量扫描范围质荷比(m/z) 30~400,溶剂延迟 1 min。

质谱图经系统自带的数据库 MEANLIB、Nist-Demo 和 Wiley Library 检索定性,匹配度大于 800 作为鉴定依据。选择已知质量浓度的 2-甲基-3-庚酮作为内标物,按内标物的峰面积对各挥发性风味物质进行定量分析。

##### 1.3.2.4 关键挥发性风味物质确定

采用气味活性值(odor activity value, OAV)法评价各挥发性风味物质对羊肉总体风味的贡献,计算公式如下:

$$OAV = C/T$$

式中:C 为挥发性风味物质含量(μg/kg);T 为气味阈值(μg/kg)。

### 1.4 数据统计与分析

试验数据采用 Excel 2003 软件进行初步整理,采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并采用 Duncan 氏法进行组间多重比较和差异显著性分析,结果以“平均值±标准差”表示。 $P < 0.05$  为差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同枣粉水平对绒山羊肉电子鼻响应值的影响

由表 3 可知,饲料枣粉水平对羊肉的 W1C、

W1W 和 W2W 响应值有显著影响 ( $P<0.05$ )。试验Ⅲ组羊肉的 W1C 响应值显著高于试验Ⅳ组 ( $P<0.05$ ); 试验Ⅳ组羊肉的 W1W 响应值显著高于试

验Ⅲ组 ( $P<0.05$ ); 试验Ⅰ、Ⅱ和Ⅳ组羊肉的 W2W 响应值显著高于试验Ⅲ组 ( $P<0.05$ )。

表 3 不同枣粉水平对绒山羊肉电子鼻响应值的影响

Table 3 Effects of different levels of jujube powder on electronic nose response values of cashmere goat meat

传感器名称 Sensor name	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group I	试验Ⅱ组 Trial group II	试验Ⅲ组 Trial group III	试验Ⅳ组 Trial group IV
W1C	0.836±0.026 <sup>ab</sup>	0.819±0.025 <sup>ab</sup>	0.827±0.033 <sup>ab</sup>	0.864±0.048 <sup>b</sup>	0.816±0.011 <sup>a</sup>
W5S	0.824±0.017	0.836±0.018	0.843±0.058	0.817±0.006	0.819±0.042
W3C	0.917±0.009	0.914±0.009	0.912±0.012	0.916±0.014	0.910±0.008
W6S	1.180±0.011	1.187±0.022	1.201±0.035	1.216±0.024	1.180±0.023
W5C	0.974±0.005	0.973±0.005	0.972±0.008	0.977±0.010	0.970±0.006
W1S	2.921±0.178	2.970±0.158	2.994±0.228	2.963±0.220	3.025±0.181
W1W	0.828±0.063 <sup>ab</sup>	0.868±0.053 <sup>ab</sup>	0.846±0.113 <sup>ab</sup>	0.748±0.102 <sup>a</sup>	0.904±0.035 <sup>b</sup>
W2S	2.291±0.129	2.385±0.163	2.379±0.193	2.235±0.205	2.362±0.054
W2W	0.730±0.038 <sup>ab</sup>	0.760±0.028 <sup>b</sup>	0.737±0.072 <sup>b</sup>	0.660±0.066 <sup>a</sup>	0.775±0.018 <sup>b</sup>
W3S	1.970±0.064	1.980±0.077	1.994±0.092	1.978±0.082	1.980±0.061

同行数据肩标不同字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 相同字母或无字母表示差异不显著 ( $P>0.05$ )。下表同。

Values in the same row with different letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), while with the same letter or no letter superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ). The same as below.

## 2.2 不同枣粉水平对绒山羊肉挥发性风味物质的影响

采用顶空固相微萃取 (HS-SPME) 结合 GC-MS 萃取和分离鉴定不同枣粉水平下陕北绒山羊肉中的挥发性风味物质, 通过 NIST 数据库检索,

在绒山羊肉中共检出 47 种挥发性风味物质, 分别为醛类 (15 种)、醇类 (11 种)、酮类 (4 种)、烃类 (6 种)、酸类 (5 种)、酯类 (2 种)、其他化合物 (4 种)。由表 4 可知, 饲粮枣粉水平对羊肉中大多数的挥发性风味物质含量有显著影响 ( $P<0.05$ )。

表 4 不同枣粉水平对绒山羊肉挥发性风味物质的影响

Table 4 Effects of different levels of jujube powder on volatile flavor substances of cashmere goat meat

项目 Items	阈值 Threshold/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	气味描述 Order description	含量 Content/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )				
			对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group I	试验Ⅱ组 Trial group II	试验Ⅲ组 Trial group III	试验Ⅳ组 Trial group IV
醛类 Aldehydes							
丁醛 Butanal	—	—	1.605 ±0.086 <sup>d</sup>	0.900 ±0.276 <sup>c</sup>	0.689 ±0.098 <sup>bc</sup>	0.415 ±0.056 <sup>a</sup>	0.587 ±0.183 <sup>ab</sup>
戊醛 Pentanal	12	花香	2.703 ±0.611 <sup>b</sup>	1.968 ±0.161 <sup>a</sup>	1.473 ±0.169 <sup>a</sup>	1.488 ±0.389 <sup>a</sup>	1.654 ±0.239 <sup>a</sup>
3-甲基丁醛 3-methylbutanal	0.2	水果香	0.360 ±0.091 <sup>a</sup>	0.605 ±0.238 <sup>b</sup>	0.345 ±0.157 <sup>a</sup>	0.311 ±0.052 <sup>a</sup>	0.622 ±0.216 <sup>b</sup>
己醛 Hexanal	4.5	青草香	106.995 ±12.832 <sup>c</sup>	85.586 ±7.346 <sup>b</sup>	47.306 ±7.577 <sup>a</sup>	52.235 ±6.562 <sup>a</sup>	57.379 ±8.241 <sup>a</sup>
庚醛 Heptanal	3	柑橘香、花香	13.856 ±2.267 <sup>d</sup>	12.226 ±0.745 <sup>c</sup>	7.063 ±0.441 <sup>b</sup>	4.871 ±0.389 <sup>a</sup>	4.202 ±0.579 <sup>a</sup>

续表 4

项目 Items	阈值 Threshold/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	气味描述 Order description	含量 Content/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )				
			对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III	试验 IV 组 Trial group IV
顺-2-庚烯醛 ( <i>Z</i> )-2-heptenal	1.3	青草香	0.204 $\pm 0.064$	0.214 $\pm 0.067$	0.186 $\pm 0.049$	0.147 $\pm 0.038$	0.168 $\pm 0.030$
苯甲醛 Benzaldehyde	350	坚果香、 杏仁香	0.321 $\pm 0.073^a$	1.149 $\pm 0.293^{bc}$	2.298 $\pm 0.363^d$	1.393 $\pm 0.283^c$	1.017 $\pm 0.098^b$
辛醛 Octanal	0.7	焦香、柑橘香	8.668 $\pm 0.676^d$	6.930 $\pm 0.759^c$	5.834 $\pm 0.592^b$	5.231 $\pm 0.633^{ab}$	4.607 $\pm 0.496^a$
反-2-辛烯醛 ( <i>E</i> )-2-octenal	3	肉香、坚果香	1.748 $\pm 0.679^b$	1.940 $\pm 0.354^b$	1.461 $\pm 0.193^{ab}$	0.954 $\pm 0.073^a$	0.961 $\pm 0.137^a$
壬醛 Nonanal	1	脂肪味、花香、 柑橘香	29.690 $\pm 3.020^c$	19.970 $\pm 2.519^b$	16.658 $\pm 2.912^{ab}$	14.124 $\pm 2.271^a$	13.124 $\pm 2.009^a$
癸醛 Decanal	0.1	柑橘香、 脂肪味	1.689 $\pm 0.232^c$	1.850 $\pm 0.309^c$	1.561 $\pm 0.301^{bc}$	1.275 $\pm 0.171^{ab}$	1.028 $\pm 0.054^a$
反-2-癸醛 ( <i>E</i> )-2-decenal	0.3	木香	0.447 $\pm 0.047^d$	0.369 $\pm 0.037^c$	0.276 $\pm 0.016^{ab}$	0.261 $\pm 0.026^a$	0.317 $\pm 0.027^b$
反,反-2,4-十二 碳二烯醛 ( <i>E,E</i> )-2,4- dodecadienal,	0.07	—	0.395 $\pm 0.069^b$	0.309 $\pm 0.040^a$	0.259 $\pm 0.026^a$	0.275 $\pm 0.019^a$	0.309 $\pm 0.035^a$
十三醛 Tridecanal	—	木香	0.313 $\pm 0.007^b$	0.292 $\pm 0.039^b$	0.256 $\pm 0.030^a$	0.249 $\pm 0.025^a$	0.236 $\pm 0.007^a$
肉豆蔻醛 Tetradecanal	—	烧烤香	0.312 $\pm 0.025^b$	0.309 $\pm 0.060^b$	0.198 $\pm 0.028^a$	0.187 $\pm 0.007^a$	0.229 $\pm 0.023^a$
总醛 Total aldehydes			169.304 $\pm 9.107^c$	134.615 $\pm 9.670^b$	85.863 $\pm 10.291^a$	83.416 $\pm 8.730^a$	86.439 $\pm 7.842^a$
醇类 Alcohols							
正戊醇 1-pentanol	4 000	果香、酒香	1.820 $\pm 0.105^a$	2.367 $\pm 0.221^a$	3.365 $\pm 0.439^b$	3.655 $\pm 0.490^b$	3.901 $\pm 0.872^b$
正己醇 1-hexanol	2 500	花香、脂肪味、 青草香	1.632 $\pm 0.293^a$	2.181 $\pm 0.633^{ab}$	2.475 $\pm 0.515^{bc}$	3.065 $\pm 0.566^c$	3.047 $\pm 0.400^c$
正庚醇 1-heptanol	330	木香、青草香、 脂肪味	0.927 $\pm 0.081^a$	1.025 $\pm 0.161^a$	1.245 $\pm 0.390^{ab}$	1.599 $\pm 0.180^b$	1.526 $\pm 0.423^b$
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	1	蘑菇香、 蔬菜香	5.165 $\pm 0.522^a$	5.880 $\pm 0.312^b$	5.431 $\pm 0.461^{ab}$	6.924 $\pm 0.465^c$	6.625 $\pm 0.560^c$
2-乙基己醇 2-ethyl-1-hexanol	270 000	甜味、淡花香	0.221 $\pm 0.010^a$	0.273 $\pm 0.016^b$	0.280 $\pm 0.025^b$	0.256 $\pm 0.053^{ab}$	0.255 $\pm 0.029^{ab}$
正辛醇 1-octanol	110	脂肪味、 坚果香	2.712 $\pm 0.372^a$	2.661 $\pm 0.258^a$	3.510 $\pm 0.262^b$	3.735 $\pm 0.191^b$	3.934 $\pm 0.455^b$
反-2-辛烯醇 <i>E</i> -2-octen-1-ol	40	脂肪味、腥味	1.388 $\pm 0.112^a$	1.533 $\pm 0.181^a$	2.033 $\pm 0.252^b$	2.198 $\pm 0.465^{bc}$	2.523 $\pm 0.257^c$
2,7-辛二烯-1-醇 2,7-octadien-1-ol	—	—	0.138 $\pm 0.029$	0.134 $\pm 0.018$	0.142 $\pm 0.020$	0.145 $\pm 0.024$	0.126 $\pm 0.019$

续表 4

项目 Items	阈值 Threshold/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	气味描述 Order description	含量 Content/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )				
			对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III	试验 IV 组 Trial group IV
1-十二烯-3-醇 1-dodecen-3-ol	—	—	0.221 $\pm 0.023^c$	0.195 $\pm 0.011^b$	0.167 $\pm 0.013^a$	0.194 $\pm 0.014^b$	0.168 $\pm 0.009^a$
苯甲醇 Benzyl alcohol	—	—	—	0.324 $\pm 0.094^a$	0.583 $\pm 0.067^b$	0.664 $\pm 0.010^b$	0.566 $\pm 0.057^b$
2,4-二甲基环己醇 2,4-dimethyl- cyclohexanol	—	—	—	—	0.253 $\pm 0.030$	0.215 $\pm 0.045$	—
总醇 Total alcohols			14.224 $\pm 0.704^a$	16.573 $\pm 0.782^b$	19.483 $\pm 0.441^c$	22.650 $\pm 0.934^d$	22.672 $\pm 0.368^d$
酮类 Ketones							
2,3-辛二酮 2,3-octanedione	2.52	果香	46.219 $\pm 5.897^d$	37.937 $\pm 5.589^c$	25.535 $\pm 2.138^b$	20.062 $\pm 3.239^{ab}$	19.213 $\pm 2.567^a$
4-十二酮 4-dodecanone	—	—	0.852 $\pm 0.143$	0.844 $\pm 0.136$	0.995 $\pm 0.036$	0.948 $\pm 0.113$	0.996 $\pm 0.102$
甲基庚烯酮 6-methyl-5-hepten- 2-one	50	果香、霉香、 酮香	—	—	0.181 $\pm 0.051$	0.185 $\pm 0.026$	0.186 $\pm 0.029$
3,5-庚二烯-2-酮 3,5-octadien-2-one	—	—	0.167 $\pm 0.024^c$	0.129 $\pm 0.014^b$	0.079 $\pm 0.011^a$	0.083 $\pm 0.022^a$	0.091 $\pm 0.022^a$
总酮 Total ketones			47.238 $\pm 5.912^d$	38.910 $\pm 5.673^c$	26.791 $\pm 2.120^b$	21.278 $\pm 3.124^{ab}$	20.486 $\pm 2.641^a$
烃类 Hydrocarbons							
乙苯 Ethylbenzene	29	花香	0.744 $\pm 0.046^c$	0.628 $\pm 0.060^b$	0.556 $\pm 0.022^a$	0.553 $\pm 0.013^a$	0.544 $\pm 0.017^a$
十三烷 Tridecane	—	—	0.475 $\pm 0.061^c$	0.429 $\pm 0.042^c$	0.345 $\pm 0.032^b$	0.251 $\pm 0.020^a$	0.230 $\pm 0.019^a$
十六烷 Hexadecane	—	—	—	0.829 $\pm 0.177^b$	0.557 $\pm 0.103^a$	0.548 $\pm 0.067^a$	0.527 $\pm 0.070^a$
$\beta$ -蒎烯 $\beta$ -copaene	—	—	—	—	0.364 $\pm 0.071^b$	0.185 $\pm 0.015^a$	0.192 $\pm 0.017^a$
对二甲苯 <i>p</i> -xylene	—	—	—	—	0.295 $\pm 0.044$	—	0.278 $\pm 0.050$
十二烷 Dodecane	—	—	0.787 $\pm 0.091^c$	0.733 $\pm 0.107^c$	0.509 $\pm 0.062^b$	0.199 $\pm 0.028^a$	0.289 $\pm 0.057^a$
总烃 Total hydrocarbons			2.006 $\pm 0.052^b$	2.620 $\pm 0.330^c$	2.628 $\pm 0.181^c$	1.734 $\pm 0.059^a$	2.060 $\pm 0.146^b$
酸类 Acids							
丁酸 Butanoic acid	204	—	1.605 $\pm 0.188$	1.542 $\pm 0.278$	1.589 $\pm 0.246$	1.568 $\pm 0.162$	1.600 $\pm 0.273$
己酸 Hexanoic acid	3 000	—	4.024 $\pm 0.725^d$	3.418 $\pm 0.282^c$	2.534 $\pm 0.288^b$	1.727 $\pm 0.215^a$	1.646 $\pm 0.088^a$

续表 4

项目 Items	阈值 Threshold/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	气味描述 Order description	含量 Content/( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )				
			对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III	试验 IV 组 Trial group IV
辛酸 Octanoic acid	—	—	0.793 $\pm 0.038^b$	0.570 $\pm 0.131^a$	0.629 $\pm 0.055^a$	0.542 $\pm 0.056^a$	0.573 $\pm 0.093^a$
4-甲基辛酸 4-methyloctanoic acid	—	—	4.370 $\pm 0.896^d$	3.517 $\pm 0.589^c$	2.704 $\pm 0.377^b$	1.509 $\pm 0.405^a$	1.450 $\pm 0.246^a$
4-甲基壬酸 4-methylnonanoic acid	—	—	3.132 $\pm 0.137^d$	2.386 $\pm 0.266^c$	1.982 $\pm 0.301^b$	1.557 $\pm 0.186^a$	1.346 $\pm 0.181^a$
总酸 Total acids	—	—	13.924 $\pm 0.786^d$	11.432 $\pm 0.706^c$	9.440 $\pm 0.641^b$	6.902 $\pm 0.400^a$	6.615 $\pm 0.731^a$
酯类 Esters							
丙烯酸辛酯 2-ethylhexyl acrylate	—	—	—	—	0.294 $\pm 0.050^a$	0.521 $\pm 0.043^b$	0.527 $\pm 0.062^b$
甲酸己酯 Formic acid, hexylester	—	—	—	0.263 $\pm 0.039$	0.225 $\pm 0.037$	0.245 $\pm 0.030$	—
总酯 Total esters	—	—	—	0.263 $\pm 0.039^a$	0.519 $\pm 0.049^b$	0.766 $\pm 0.016^c$	0.527 $\pm 0.062^b$
其他类物质 Other substances							
3-羟基-2-丁酮 3-hydroxy-2-butanone	800	甜香、奶香、 油腻脂肪香	0.114 $\pm 0.007^a$	0.131 $\pm 0.012^{ab}$	0.150 $\pm 0.018^b$	0.209 $\pm 0.029^c$	0.266 $\pm 0.015^d$
甲氧基苯基肼 Methoxy-phenyl-oxime	—	—	0.393 $\pm 0.022$	0.426 $\pm 0.098$	0.389 $\pm 0.083$	0.388 $\pm 0.050$	0.410 $\pm 0.060$
2-乙基丁酸烯丙酯 Allyl 2-ethyl butyrate	—	—	—	—	0.193 $\pm 0.040$	0.166 $\pm 0.025$	0.179 $\pm 0.040$
茴香脑 Anethole	—	—	—	0.157 $\pm 0.016^a$	0.188 $\pm 0.009^a$	0.233 $\pm 0.054^b$	0.285 $\pm 0.036^c$
苯并噻唑 Benzothiazole	80	甜橙香、 脂肪蜜香	—	0.171 $\pm 0.025^a$	0.263 $\pm 0.035^b$	0.294 $\pm 0.040^b$	0.269 $\pm 0.037^b$
总的其他类物质 Total other substances	—	—	0.507 $\pm 0.018^a$	0.885 $\pm 0.107^b$	1.182 $\pm 0.107^c$	1.290 $\pm 0.074^{cd}$	1.409 $\pm 0.144^d$

### 2.2.1 醛类

绒山羊肉中检出的醛主要为饱和醛,包括己醛、庚醛、辛醛和壬醛等。对照组的己醛含量最高,显著高于试验 I、II、III 和 IV 组 ( $P < 0.05$ ),并随着饲料枣粉水平的提高先降低后升高,以试验 II 组最低 ( $47.306 \mu\text{g}/\text{kg}$ );对照组的壬醛、庚醛和辛醛含量显著高于试验 I、II、III 和 IV 组 ( $P < 0.05$ );癸醛、十三醛和肉豆蔻醛为长链直链醛,这 3 种醛的含量均为对照组、试验 I 组显著高于试验 II、III 和 IV 组 ( $P < 0.05$ )。在不饱和醛中,对照组、试验 I 组的反-2-辛烯醛含量显著高于试验 II、III 和 IV 组 ( $P < 0.05$ )。苯甲醛为芳香醛,其含量以试验 II 组

最高 ( $2.298 \mu\text{g}/\text{kg}$ ),显著高于其他 4 组 ( $P < 0.05$ )。支链醛为 3-甲基丁醛,试验 IV 组中 3-甲基丁醛含量 ( $0.622 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) 显著高于其他 4 组 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2.2 醇类

绒山羊肉中含量较高的醇为正戊醇、正辛醇、1-辛烯-3-醇和反-2-辛烯醇等。正戊醇和正己醇含量均随饲料中枣粉水平的提高而增加,试验 III 和 IV 组的正戊醇和正己醇含量显著高于对照组和试验 I 组 ( $P < 0.05$ );试验 II、III 和 IV 组的正辛醇含量显著高于对照组和试验 I 组 ( $P < 0.05$ )。不饱和醇中,试验 III 和 IV 组中 1-辛烯-3-醇含量显著

高于对照组和试验 I 组 ( $P<0.05$ ), 试验 II、III 和 IV 组的反-2-辛烯醇含量显著高于对照组、试验 I 组 ( $P<0.05$ )。此外, 对照组中没有检测到苯甲醇和 2,4-二甲基环己醇, 在挥发性风味物质丰富度上不及 4 个试验组。

### 2.2.3 酮类

羊肉中检出的酮类挥发性风味物质种类比较少, 其中 2,3-辛二酮是最具代表性的物质, 对照组的含量最高 (46.219  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 与对照组相比, 试验 I、II、III 和 IV 组均显著降低 ( $P<0.05$ ), 分别降低了 17.92%、44.75%、56.59% 和 58.43%。

### 2.2.4 烃类

羊肉中共检出 6 种烃, 其中试验 II 和 IV 组检测到了 6 种, 种类最多; 试验 III 组检测到了 5 种, 试验 I 组检测到了 4 种, 对照组仅检测出 3 种, 种类最少。在对照组中, 乙苯、十三烷和十二烷的含量最高, 其中乙苯含量显著高于试验 I、II、III 和 IV 组 ( $P<0.05$ ), 而十三烷和十二烷含量显著高于试验 II、III 和 IV 组 ( $P<0.05$ )。

### 2.2.5 酸类

羊肉中共检出了 5 种酸, 分别为丁酸、己酸、辛酸、4-甲基辛酸和 4-甲基壬酸, 均为短链脂肪酸, 其中己酸、4-甲基辛酸和 4-甲基壬酸含量均

以对照组最高, 显著高于试验 I、II、III 和 IV 组 ( $P<0.05$ )。

### 2.2.6 酯类

羊肉中检出的酯类较少, 试验 II 和 III 组检测到了 2 种, 试验 I 和 IV 组检测到了 1 种, 而对照组则没有检测到酯类, 其中, 试验 III 和 IV 组的丙烯酸辛酯含量显著高于试验 II 组 ( $P<0.05$ )。

### 2.2.7 其他类物质

在羊肉还检测到了 5 种其他类物质, 其中对照组 2 种, 试验 I 组 4 种, 试验 II、III 和 IV 组各 5 种。其中, 试验 IV 组的 3-羟基-2-丁酮含量显著高于对照组以及试验 I、II 和 III 组 ( $P<0.05$ ), 试验 II、III 和 IV 组的苯并噻唑含量显著高于试验 I 组 ( $P<0.05$ )。

## 2.3 绒羊肉关键挥发性风味物质确定

通常认为  $\text{OAV}>1$  的挥发性风味物质对肉风味有贡献,  $\text{OAV}>5$  认为是重要香气物质; 在一定范围内,  $\text{OAV}$  越大, 说明该物质对总体风味贡献越大。根据挥发性风味物质的  $\text{OAV}$  共筛选出 13 种关键挥发性风味物质 (表 5), 整体上对羊肉总体风味贡献较大 ( $\text{OAV}>5$ ) 的主要为己醛、辛醛、壬醛、癸醛、1-辛烯-3-醇和 2,3-辛二酮。

表 5 关键挥发性风味物质及对应  $\text{OAV}$

Table 5 Critical volatile flavor substances and theirs  $\text{OAV}$

项目 Items	对照组 Control group	试验 I 组 Trial group I	试验 II 组 Trial group II	试验 III 组 Trial group III	试验 IV 组 Trial group IV
戊醛 Pentanal	0.225±0.051 <sup>b</sup>	0.164±0.013 <sup>a</sup>	0.123±0.014 <sup>a</sup>	0.124±0.032 <sup>a</sup>	0.139±0.019 <sup>a</sup>
3-甲基丁醛 3-methylbutanal	1.800±0.455 <sup>a</sup>	3.025±1.190 <sup>b</sup>	1.725±0.785 <sup>a</sup>	1.555±0.260 <sup>a</sup>	3.110±1.080 <sup>b</sup>
己醛 Hexanal	23.777±2.852 <sup>c</sup>	19.019±1.632 <sup>b</sup>	10.512±1.684 <sup>a</sup>	11.608±1.458 <sup>a</sup>	12.751±1.831 <sup>a</sup>
庚醛 Heptanal	4.619±0.756 <sup>d</sup>	4.075±0.248 <sup>c</sup>	2.354±0.147 <sup>b</sup>	1.634±0.130 <sup>a</sup>	1.407±0.193 <sup>a</sup>
顺-2-庚烯醛 (Z)-2-heptenal	0.157±0.049	0.164±0.052	0.143±0.038	0.113±0.029	0.129±0.023
辛醛 Octanal	12.382±0.966 <sup>d</sup>	9.900±1.084 <sup>c</sup>	8.334±0.846 <sup>b</sup>	7.473±0.904 <sup>ab</sup>	6.581±0.709 <sup>a</sup>
反-2-辛烯醛 (E)-2-octenal,	0.583±0.226 <sup>b</sup>	0.647±0.115 <sup>b</sup>	0.487±0.064 <sup>ab</sup>	0.318±0.024 <sup>a</sup>	0.320±0.046 <sup>a</sup>
壬醛 Nonanal	29.690±3.020 <sup>c</sup>	19.970±2.519 <sup>b</sup>	16.658±2.912 <sup>ab</sup>	14.124±2.271 <sup>a</sup>	13.124±2.009 <sup>a</sup>
癸醛 Decanal	16.89±2.32 <sup>c</sup>	18.50±3.09 <sup>c</sup>	15.61±3.01 <sup>bc</sup>	12.75±1.71 <sup>ab</sup>	10.28±0.54 <sup>a</sup>
反-2-癸醛 (E)-2-decenal	1.490±0.157 <sup>d</sup>	1.230±0.123 <sup>c</sup>	0.920±0.053 <sup>ab</sup>	0.870±0.087 <sup>a</sup>	1.057±0.090 <sup>b</sup>
反,反-2,4-十二碳二烯醛 (E,E)-2,4-dodecadienal	5.643±0.956 <sup>b</sup>	4.414±0.571 <sup>a</sup>	3.700±0.371 <sup>a</sup>	3.929±0.271 <sup>a</sup>	4.414±0.500 <sup>a</sup>
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	5.165±0.522 <sup>a</sup>	5.880±0.312 <sup>b</sup>	5.431±0.461 <sup>ab</sup>	6.924±0.465 <sup>a</sup>	6.625±0.560 <sup>a</sup>
2,3-辛二酮 2,3-octanedione	18.341±2.340 <sup>d</sup>	15.054±2.218 <sup>c</sup>	10.133±0.848 <sup>b</sup>	7.961±11.290 <sup>a</sup>	7.624±1.019 <sup>a</sup>



### 3 讨论

#### 3.1 枣粉对绒山羊肉电子鼻响应值的影响

电子鼻传感器能敏感获取羊肉的气味信息,较好反映出肉中总体挥发性风味物质<sup>[11]</sup>。马小明等<sup>[12]</sup>通过电子鼻检测了饲喂不同配方饲料的滩羊肉风味,发现不同的饲料配方能影响滩羊肉的风味,且电子鼻能很好地区分。本试验结果显示,饲料枣粉水平影响羊肉电子鼻响应值,W1C传感器对芳香类物质比较敏感,试验Ⅲ组羊肉的W1C响应值最高,说明枣粉水平为20%时,羊肉中的芳香类化合物比较丰富;W1W传感器对含硫有机物、萜烯类和吡嗪类物质敏感,这类物质气味阈值低,对肉香味的贡献很大,试验Ⅳ组的W1W响应值最高,说明添加25%的枣粉能有效提高羊肉中萜烯类和吡嗪类物质的含量,改善羊肉的香味;W2W传感器则对芳香族化合物、有机硫化物敏感,试验Ⅰ、Ⅱ和Ⅳ组羊肉的W2W响应值高于其他组,说明在试验Ⅰ、Ⅱ和Ⅳ组羊肉含有丰富的芳香族化合物以及有机硫化物。本研究显示,饲料中添加25%的枣粉时羊肉的挥发性风味物质含量较高,会使羊肉产生良好嗅感,但还需要结合固相微萃取-气相色谱-质谱(SPME-GC-MS)法针对单一挥发性风味物质进行分析。

#### 3.2 枣粉对绒山羊肉挥发性风味物质的影响

羊肉中醛类、醇类及酮类含量不同可能是造成羊肉风味有差异的原因<sup>[13]</sup>。醛类物质多由脂肪氧化产生,阈值较低,有强烈的果香、花香味,对肉香味的贡献很大<sup>[14]</sup>。试验结果显示,己醛在羊肉中的含量最高,其次为壬醛,己醛来源于亚油酸和花生四烯酸的氧化<sup>[15]</sup>,辛醛则由油酸氧化产生<sup>[16]</sup>,这两者在羊肉的风味中均是关键物质(OAV>5),在各试验组的趋势一致,均随饲料枣粉水平的提高而减少,且在试验Ⅳ组含量最低;己醛有青草香味,但含量高时有酸败味、腥味,其在对照组含量最高(106.995 μg/kg);壬醛在含量低时兼具脂肪味、花香和柑橘香味,饱和醛在肉中含量过高时会形成酸败味,对肉的香味不利<sup>[17]</sup>。本团队前期研究发现,饲料中添加枣粉能显著提高绒山羊肌肉的抗氧化能力,并且在饲料枣粉水平为20%时抗氧化酶活性达到最大<sup>[18]</sup>。本试验发现,饲料枣粉水平为20%时,羊肉中的醛类含量最低,这可能是因为在枣粉中含有大量的抗氧化物质

(多酚、黄酮等),绒山羊长期摄入能抑制脂质自由基的链式反应,并降低肌肉中的直链醛,从而达到抗氧化的效果<sup>[19]</sup>;随着饲料枣粉水平的提高,直链醛含量稳定不变,说明添加20%枣粉时羊肉中的抗氧化成分达到了极值。肉中长链直链醛有癸醛(柑橘香和脂肪味)、十三醛(木香)和肉豆蔻醛(烧烤香),在肉中的含量较少,对羊肉的整体风味起到修饰作用(OAV<1)<sup>[20]</sup>;羊肉中检测到的3-甲基丁醛为支链醛,阈值较低(0.3 μg/kg),3-甲基丁醛源于支链氨基酸(如亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸)的降解,对羊肉的香味有一定贡献<sup>[21]</sup>,在饲料枣粉水平为25%时含量最高(0.622 μg/kg),其原因可能是枣粉能促进支链氨基酸在肉中的积累,从而引起3-甲基丁醛含量的增加。一般来说,醛的含量越高,代表其氧化程度越严重,对羊肉的香味越不利<sup>[22]</sup>,将醛类控制在适当范围内能改善羊肉的香味,因此20%和25%的枣粉水平能降低羊肉中醛类的含量,改善羊肉的香味。

醇类是脂肪酸在脂肪氧合酶和过氧化氢酶作用下生成或由羰基化合物还原生成的<sup>[23]</sup>。饱和醇的阈值比较高,对肉香味的贡献小,不饱和醇阈值低,对肉香味的贡献大<sup>[24]</sup>。本研究结果显示,羊肉正辛醇和正戊醇含量均随饲料枣粉水平的提高而增加,这与醛类的研究结果相反。正辛醇有强烈的脂肪味和坚果香,阈值比较低(110 μg/kg),在饲料枣粉水平为25%时含量最高;正戊醇有果香和酒香,正己醇有花香和脂肪味,两者的阈值分别为4 000和2 500 μg/kg,对羊肉的气味有加和作用。不饱和醇中,1-辛烯-3-醇是亚油酸酯或亚麻酸酯的氢过氧化物的降解产物<sup>[25]</sup>,以饲料枣粉水平为20%时含量最高,是关键挥发性风味物质(OAV>5),赋予羊肉浓郁的蘑菇香和玫瑰香气味;反-2-辛烯醇含量随饲料枣粉水平的提高而增加,其风味特征为脂肪味和腥味<sup>[26]</sup>。本试验中,对照组中没有检测到苯甲醇和2,4-二甲基环己醇,在丰富度上不及其他4组,说明枣粉有改善羊肉醇类风味的作用。

2,3-辛二酮(OAV>5)是脂质氧化的另一重要产物,在含量低时有果香,含量高时能促进腥味的形成<sup>[27]</sup>。试验Ⅳ组的2,3-辛二酮含量最低,说明枣粉中的抗氧化成分能够抑制肉质氧化,从而将羊肉中的2,3-辛二酮含量控制在较低范围内,在对照组和试验Ⅰ组中均没有检测到甲基庚烯

酮(果香、霉香和酮香),说明随着饲粮枣粉水平的提高,羊肉中的酮类种类增多,这有益于羊肉的风味。

烃类可能是来源于烷基自由基的脂质自氧化,能够赋予清香和甜香的气味,但由于其香味阈值高,需要在高含量下才能引起嗅觉反应,因此对羊肉嗅感的整体贡献不大<sup>[28]</sup>。随着饲粮枣粉水平的提高,羊肉中的烃类种类增多,整体上,对照组中烃类含量高,种类少,而在添加枣粉后,烃类种类增加,含量降低,能够对羊肉的香味起到改善作用<sup>[29]</sup>。羊肉中的酸类均为短链脂肪酸,部分酸类是由脂肪酸甘油酯和磷脂加热氧化或酶解产生的,其中己酸、4-甲基辛酸和4-甲基壬酸含量较高,是羊肉中主要的致膻物质<sup>[30]</sup>。本试验结果显示,随着饲粮枣粉水平的提高,羊肉中己酸、4-甲基辛酸和4-甲基壬酸含量逐渐降低,说明添加枣粉能够抑制羊肉膻味,这可能是因为枣粉中特殊的活性成分能够分解肉中的己酸、4-甲基辛酸和4-甲基壬酸,从而抑制羊肉的膻味,并在饲粮枣粉水平为20%时羊肉中的膻味物质较低。酯类能产生特定的香味,但在羊肉中的含量较低<sup>[31]</sup>,饲粮枣粉水平为20%的组羊肉中酯类含量较其他组高,能够对羊肉的香味起到积极作用。在其他类物质中,3-羟基-2-丁酮是一些风味的中间产物,有甜香、奶香和油腻脂肪香,在饲粮枣粉水平为25%时含量最高(0.266 μg/kg);苯并噻唑是含氮含硫类化合物,其阈值比较低(80 μg/kg),含量低有甜橙香、脂肪蜜香,对香味的贡献较大<sup>[32]</sup>。本试验结果显示,枣粉能增加上述这类物质的含量,丰富羊肉的香味。

#### 4 结 论

电子鼻结果显示枣粉能提高白绒山羊肉的风味强度,通过GC-MS分析羊肉中挥发性风味物质,确定对羊肉风味贡献较大挥发性风味物质主要是己醛、辛醛、壬醛、癸醛、1-辛烯-3-醇和2,3-辛二酮,醛类和酮类主要由脂质氧化产生,含量过高时不利于羊肉香味,枣粉能影响挥发性风味物质的含量和构成,并降低羊肉中醛类和酮类的含量,平衡羊肉风味。从整体上看,饲粮枣粉水平为20%时,羊肉中挥发性风味物质的种类较多,醛类和酮类含量低,香味最好。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 孙旺斌,张寿,屈雷,等.陕北白绒山羊周岁羯羊肌肉常规营养成分及肉质特性[J].食品科学,2011,32(17):357-361.  
SUN W B, ZHANG Q, QU L, et al. Nutritional components and quality characteristics of yearling wether muscle from north Shaanxi white cashmere goat[J]. Food Science, 2011, 32(17): 357-361. (in Chinese)
- [ 2 ] BOUGHLMI A, ARABA A. Effect of feeding management from grass to concentrate feed on growth, carcass characteristics, meat quality and fatty acid profile of Timahdite lamb breed[J]. Small Ruminant Research, 2016, 144: 158-163.
- [ 3 ] GKARANE V, BRUNTON N P, ALLEN P, et al. Effect of finishing diet and duration on the sensory quality and volatile profile of lamb meat[J]. Food Research International, 2019, 115: 54-64.
- [ 4 ] 刘畅,罗玉龙,窦露,等.亚麻籽饲喂对苏尼特羊肉风味品质的影响[J].农业工程学报,2019,35(21):304-311.  
LIU C, LUO Y L, DOU L, et al. Effect of feeding flaxseed on meat flavor quality of Sunit lambs[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(21): 304-311. (in Chinese)
- [ 5 ] 刘旺景,丁赫,李书仪,等.沙葱粉或复合益生菌制剂对杜寒杂交肉羊背最长肌脂肪酸和挥发性风味物质组成的影响[J].动物营养学报,2019,31(9):4349-4362.  
LIU W J, DING H, LI S Y, et al. Effects of *Allium mongolicum* regel powder or probiotic complex preparation on fatty acid and volatile flavor compound composition in *longissimus dorsi* muscle of Dorper×thin-tailed Han crossbred mutton lambs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(9): 4349-4362. (in Chinese)
- [ 6 ] 刘瑞生,王珂,徐建峰,等.复方中草药添加剂对羊肉挥发性风味化合物种类和含量的影响[J].畜牧与兽医,2018,50(10):38-42.  
LIU R S, WANG K, XU J F, et al. Effects of compound Chinese herbal medicine additives on the types and contents of volatile flavor compound in mutton[J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2018, 50(10): 38-42. (in Chinese)
- [ 7 ] 张玲,席琳乔,张凡凡,等.残次枣粉添加青贮苜蓿中微生物、发酵和营养品质动态规律[J].新疆农业科学,2019,56(10):1929-1938.

- ZHANG L, XI L Q, ZHANG F F, et al. Dynamics of microorganism, fermentation and nutritional quality in alfalfa silage with inferior jujube powder[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, 56(10): 1929-1938. (in Chinese)
- [8] 解彪, 延志伟, 崔德汶, 等. 枣粉替代日粮中玉米对绵羊生长性能和瘤胃发酵参数的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2017, 53(3): 88-92.
- XIE B, YAN Z W, CUI D W, et al. Effects of jujube meal replacing corn on growth performance and rumen fermentation parameters of sheep[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2017, 53(3): 88-92. (in Chinese)
- [9] 冯平, 孙旺斌, 张骞, 等. 枣粉对陕北白绒山羊肉抗氧化性能的影响[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(11): 310-317.
- FENG P, SUN W B, ZHANG Q, et al. Effects of jujube powder on the antioxidant capability of north Shaanxi white cashmere goat meat[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(11): 310-317. (in Chinese)
- [10] 刘登勇, 赵志南, 吴金城, 等. 基于 SPME-GC-MS 分析熏制材料对熏鸡腿挥发性风味物质的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(24): 220-227.
- LIU D Y, ZHAO Z N, WU J C, et al. Effects of different smoking materials on volatile flavor compounds in smoked chicken thighs[J]. *Food Science*, 2019, 40(24): 220-227. (in Chinese)
- [11] BOOTHE D D H, ARNOLD J W. Electronic nose analysis of volatile compounds from poultry meat samples, fresh and after refrigerated storage[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 82(3): 315-322.
- [12] 马小明, 丁伟. 电子鼻对不同饲料配方饲喂后羊肉风味的评价[J]. *现代农业科技*, 2015(2): 258-260.
- MA X M, DING W. Evaluation of mutton flavor by electronic nose after feeding with different feed formulas[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2015(2): 258-260. (in Chinese)
- [13] 罗玉龙, 王柏辉, 赵丽华, 等. 苏尼特羊和小尾寒羊的屠宰性能、肉品质、脂肪酸和挥发性风味物质比较[J]. *食品科学*, 2018, 39(8): 103-107.
- LUO Y L, WANG B H, ZHAO L H, et al. Slaughter performance, meat quality, fatty acids and volatile components of Sunit lambs and small-tailed Han lambs[J]. *Food Science*, 2018, 39(8): 103-107. (in Chinese)
- [14] RASINSKA E, RUTKOWSKA J, CZARNIECKA-SKUBINA E, et al. Effects of cooking methods on changes in fatty acids contents, lipid oxidation and volatile compounds of rabbit meat[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 110: 64-70.
- [15] RUIZ J, GARCÍA C, MURIEL E, et al. Influence of sensory characteristics on the acceptability of dry-cured ham[J]. *Meat Science*, 2002, 61(4): 347-354.
- [16] TANIMOTO S, KITABAYASHI K, FUKUSIMA C, et al. Effect of storage period before reheating on the volatile compound composition and lipid oxidation of steamed meat of yellowtail *Seriola quinqueradiata* [J]. *Fisheries Science*, 2015, 81: 1145-1155.
- [17] MARIUTTI L R B, BRAGAGNOLO N. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: a review[J]. *Food Research International*, 2017, 94: 90-100.
- [18] SOHAIB M, ANJUM F M, ARSHAD M S, et al. Oxidative stability and lipid oxidation flavoring volatiles in antioxidants treated chicken meat patties during storage[J]. *Lipids in Health and Disease*, 2017, 16(1): 27.
- [19] WEERAWATANAKORN M, ASIKIN Y, TAKAHASHI M, et al. Physico-chemical properties, wax composition, aroma profiles, and antioxidant activity of granulated non-centrifugal sugars from sugarcane cultivars of Thailand[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, 53(11): 4084-4092.
- [20] 窦露, 刘畅, 巴吉木色, 等. 日粮添加乳酸菌对苏尼特羊生长、肉品质、风味物质和抗氧化能力的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(1): 25-32.
- DOU L, LIU C, BA J M S, et al. Effects of dietary lactic acid bacteria on growth, meat quality, flavor compounds and antioxidant capacity of Sunit sheep[J]. *Food Science*, 2021, 42(1): 25-32. (in Chinese)
- [21] 王德宝, 胡冠华, 苏日娜, 等. 发酵剂对羊肉香肠中蛋白、脂质代谢与风味物质的影响[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(3): 336-344.
- WANG D B, HU G H, SU R N, et al. Effects of artificial starter cultures on lipolysis, proteolysis and flavor formation in mutton sausages[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2019, 50(3): 336-344. (in Chinese)
- [22] 罗玉龙. 放牧与舍饲条件下苏尼特羊肉风味差异及形成机制研究[D]. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019.
- LUO Y L. Study on flavor difference and formation mechanism of Sunit mutton under grazing and house

- feeding conditions [ D ]. Ph. D. Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [ 23 ] SELLI S, CAYHAN G G. Analysis of volatile compounds of wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by simultaneous distillation-extraction (SDE) and GC-MS [ J ]. *Microchemical Journal*, 2009, 93 ( 2 ): 232-235.
- [ 24 ] 王清, 陈舜胜. 油爆工艺对上海熏鱼风味物质的影响 [ J ]. *食品科学*, 2019, 40 ( 2 ): 171-179.  
WANG Q, CHEN S S. Influence of deep-frying process on the flavor compounds of *Shanghai* smoked fish [ J ]. *Food Science*, 2019, 40 ( 2 ): 171-179. (in Chinese)
- [ 25 ] WU K, XIE J H, WANG Q Q, et al. Effect of *Monascus* fermentation on aroma patterns of semi-dried grass carp [ J ]. *Food and Nutrition Sciences*, 2019, 10 ( 8 ): 923-936.
- [ 26 ] ZHANG H Y, PU D D, SUN B G, et al. Characterization and comparison of key aroma compounds in raw and dry porcini mushroom (*Boletus edulis*) by aroma extract dilution analysis, quantitation and aroma recombination experiments [ J ]. *Food Chemistry*, 2018, 258: 260-268.
- [ 27 ] RESCONI V C, BUENO M, ESCUDERO A, et al. Ageing and retail display time in raw beef odour according to the degree of lipid oxidation [ J ]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 288-300.
- [ 28 ] 荣建华, 熊诗, 张亮子, 等. 基于电子鼻和 SPME-GC-MS 联用分析脆肉鲩鱼肉的挥发性风味成分 [ J ]. *食品科学*, 2015, 36 ( 10 ): 124-128.  
RONG J H, XIONG S, ZHANG L Z, et al. Analysis of volatile flavor components in crisp grass carp muscle by electronic nose and SPME-GC-MS [ J ]. *Food Science*, 2015, 36 ( 10 ): 124-128. (in Chinese)
- [ 29 ] LUO Y L, WANG B H, LIU C, et al. Meat quality, fatty acids, volatile compounds, and antioxidant properties of lambs fed pasture versus mixed diet [ J ]. *Food Science & Nutrition*, 2019, 7 ( 9 ): 2796-2805.
- [ 30 ] GRAVADOR R S, HARRISON S M, MONAHAN F J, et al. Validation of a rapid microwave-assisted extraction method and GC-FID quantification of total branched chain fatty acids in lamb subcutaneous adipose tissue [ J ]. *Journal of Food Science*, 2019, 84 ( 1 ): 80-85.
- [ 31 ] GKARANE V, BRUNTON N P, HARRISON S M, et al. Volatile profile of grilled lamb as affected by castration and age at slaughter in two breeds [ J ]. *Journal of Food Science*, 2018, 83 ( 10 ): 2466-2477.
- [ 32 ] FENG Y Z, CAI Y, FU X, et al. Comparison of aroma-active compounds in broiler broth and native chicken broth by aroma extract dilution analysis (AEDA), odor activity value (OAV) and omission experiment [ J ]. *Food Chemistry*, 2018, 265: 274-280.

## Effects of Different Levels of Jujube Powder on Volatile Flavor Substances of North Shaanxi White Cashmere Goat Meat

SUN Wangbin<sup>1</sup> FU Qi<sup>1,2</sup> XUE Ruilin<sup>1,2</sup> WANG Weiping<sup>1</sup> ZHANG Qian<sup>1</sup> FENG Ping<sup>1\*</sup>

(1. College of Life Sciences, Yulin University, Yulin 719000, China; 2. Ruixing Sheep & Goat Breeding Farm in Fangta Town of Jia County of Yulin City, Yulin 719208, China)

**Abstract:** This study aimed to investigate the effects of different levels of jujube powder on volatile flavor substances of north Shaanxi white cashmere goat meat. Forty healthy north Shaanxi white goats with an initial body weight of  $(20.15 \pm 1.63)$  kg were randomly selected and allotted to 5 groups with 8 goats (4 male goats and 4 female goats) per group. Goats in the 5 groups were fed experimental diets containing 0 (control group), 10% (trial group I), 15% (trial group II), 20% (trial group III) and 25% (trial group IV), respectively. The pre-feeding period was 10 days, and the formal trial period was 70 days. All goats were slaughtered at the end of the feeding experiment. The volatile flavor substances of *longissimus dorsi* muscle were detected. The results showed that the W1C response value of goat meat detected by electronic nose in trial group III was significantly higher than that in trial group IV ( $P < 0.05$ ), while the W1W and W2W response value were significantly lower than those in trial group IV ( $P < 0.05$ ). A total of 47 volatile flavor substances were detected in goat meat, and the critical volatile flavor substances included hexanal, octanal, nonanal, decanal, 1-octen-3-ol and 2,3-octanedione, etc. Dietary jujube powder level had significant impacts on the contents of most volatile flavor substances in goat meat. Aldehydes and ketones are mainly produced by lipid oxidation, which is not conducive to meat aroma at high content. With the improvement of dietary jujube powder level, aldehydes and ketones in goat meat gradually decreased. On the whole, when dietary jujube powder level is 20%, north Shaanxi white cashmere goat meat shows the best flavor quality with high variety of volatile flavor substances and low aldehydes, ketones. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(10):5664-5676]

**Key words:** north Shaanxi white cashmere goat; jujube powder; electronic nose; volatile flavor substance

\* Corresponding author, associate professor, E-mail: fengping\_ren@126.com

(责任编辑 管景颖)