

小尾寒羊不同部位风味物质与风味前体物的相关性分析

王宇¹, 淑英¹, 王慧婷², 张旭¹, 梁孙硕¹, 焦颖雪¹, 张志胜^{1*}

(¹河北农业大学 河北保定 071000

²保定市食品药品检验所 河北保定 071000)

摘要 以 6~7 月龄、体质量为 50 kg 的小尾寒羊为实验对象,选取颈肉(NM)、里脊(LLDM)和腿肉(RG),对小尾寒羊挥发性风味物质、脂肪酸和氨基酸进行相关性分析。结果表明:在 3 个部位共检测到 45 种挥发性风味物质,其中醛类是最主要的挥发性风味物质,占总挥发性风味物质的 50%左右。经主成分分析得知,庚醛、壬醛、苯甲醛等 24 种风味物质是导致不同部位间挥发性风味物质差异的主要影响因素。LLDM 中对人体有益的单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量均为最高,脂肪酸比例更符合人体对羊肉脂肪酸营养价值的需求,对人体健康更有益。氨基酸中以谷氨酸(Glu)和赖氨酸(Lys)为主,约占总氨基酸的 17%和 10%,其中 RG 除蛋氨酸(Met)、酪氨酸(Tyr)、赖氨酸(Lys)外含量均为最高,且除谷氨酸(Glu)和脯氨酸(Pro)外与 LLDM 差异不显著,与 NM 差异均显著。相关性分析表明,多不饱和脂肪酸与大多数挥发性风味物质呈正相关,且与醛类、醇类和芳香类等挥发性风味物质呈显著正相关,这可能是因为多不饱和脂肪酸极易氧化,在氧化过程中生成醛类、醇类和芳香类等物质。氨基酸与大多数醛类和醇类都呈正相关,这可能是因为氨基酸通过转氨反应等一系列反应,最终生成醛类和醇类等物质。

关键词 小尾寒羊; 不同部位; 挥发性风味物质; 脂肪酸; 氨基酸; 相关性

文章编号 1009-7848(2024)01-0263-15 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.01.027

小尾寒羊是我国肉裘兼用的绵羊,其生长较快,有生育能力强,遗传性能稳定,适应性强,体型高大,抗病性强等优良的种族特征,被列为全国优良品种,是我国著名的地方良种,产于河北南部、河南东部和东北部、山东南部及皖北、苏北一带,其生长速度较快,饲养 6 个月就可以达到 50 kg,饲养 1 年就可以达到 100 kg,已经成年的小尾寒羊体质量能达到 140~200 kg。

肉类富含蛋白质、脂肪和矿物质等营养物质。鲜肉经过发酵成熟或热加工处理后,风味前体物降解产生大量滋味物质,呈现出肉类特有的鲜味。风味前体物是指在肉品加工过程中能产生挥发性香味物质或者滋味物质的化合物组分,脂质氧化是产生风味物质的主要途径。氨基酸降解同样对肉类风味有重要作用,是肉类甜味、苦味和鲜味的主要来源。

目前对宁夏滩羊、甘肃高山细毛羊、小尾寒羊肌肉部位肌纤维等的相关研究较多,而对于小尾

寒羊不同部位风味物质与风味前体物的相关性研究较少。本文以小尾寒羊的不同部位为研究对象,旨在为小尾寒羊品种改良、营养调控肉质、羊肉相关产品开发等提供基础数据,为下一步建立优质地方羊评价标准奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

所选羊为 6~7 月龄、体质量为 50 kg 的小尾寒羊公羊($n=6$),自由采食,宰前禁食 24 h,分析样本为颈肉(NM)、左侧背最长肌(LLDM)和右后腿肉(RG)。宰杀后立即取样用液氮冷冻后运回实验室于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮存,待测。

石油醚、硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠、乙酸镁、盐酸、苯酚、柠檬酸钠,天津市科密欧化学试剂有限公司;焦性没食子酸,上海源叶生物科技有限公司; $\text{C}_7\sim\text{C}_{40}$ 正构烷烃混标、15%三氟化硼甲醇溶液、2-甲基-3-庚酮(99%)、十一碳酸甘油三酯、37 种脂肪酸甲酯标准品,上海安谱实验科技股份有限公司。

1.2 仪器与设备

JXFSTPRP-CL-24 冷冻研磨机,上海净信实

收稿日期: 2023-01-28

基金项目: 河北省现代农业产业技术体系(HBCT2018140203)

第一作者: 王宇,男,硕士生

通信作者: 张志胜 E-mail: zhangzhisheng@hebau.edu.cn

业发展有限公司;SOX606全自动索氏提取仪、K1100全自动凯氏定氮仪,海能未来技术集团股份有限公司;7890B-5977A型GC-MS联用仪、HP-INNOWAX色谱柱(60 m×0.32 mm×0.5 μm),美国安捷伦科技有限公司;HT-1010氨基酸分析仪,青岛海泰亿诺科技有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 营养成分分析 参照国家标准方法^[1-5],测定蛋白质、粗脂肪、粗灰分、脂肪酸、总氨基酸,每组样品平行测定3次。

1.3.2 羊肉挥发性风味成分分析

1.3.2.1 HS-SPME 进样 准确称取2.00 g样品至20 mL顶空样品瓶中,加入1.0 μL(0.408 μg/μL)2-甲基-3-庚酮溶液并密封。55℃水浴平衡20 min,利用75 μm CAR/PDMS萃取头在55℃下进行吸附。40 min后,解析5 min。

1.3.2.2 GC-MS 分析 GC分析参数:进样口温度:250℃,氦气流量:1.0 mL/min,进样方式:不分流,程序升温:初始柱温为50℃保持7 min,然后以15℃/min的速率升至100℃,再以5℃/min的速率升至220℃,保持10 min,最后以10℃/min的速率升至260℃。

MS分析参数:EI,离子源温度230℃,电子能量:70 eV,质量扫描范围 m/z :20~450。

1.3.2.3 GC-O 分析 不同挥发性风味物质经GC分离后,分别进入嗅闻仪检测器和质谱检测器,分流比为1:1,由3名专业评价员进行气味特征的评价。

1.3.2.4 定性分析 采用NIST14标准谱库辅助人工图谱解析方式,对GC-MS所得挥发性成分的质谱信息进行分析,并结合C7~C40正构烷烃混标计算各挥发性风味成分保留指数RI。

1.3.2.5 定量分析 采用内标法进行定量分析。根据2-甲基-3-庚酮溶液峰面积计算各挥发性风味物质的含量。公式为:

$$C_x = \frac{C_i A_x}{A_i} \quad (1)$$

式中, C_x ——目标化合物的质量浓度(ng/g); A_x ——目标化合物峰面积; C_i ——内标物质量浓度(ng/g); A_i ——内标物峰面积。

1.3.2.6 关键挥发性风味物质的分析 以香气活

性值(OAV)对样品中关键挥发性风味物质进行确定。公式如下:

$$OAV = \frac{C_x}{C_t} \quad (2)$$

式中, C_x ——目标化合物的质量浓度(ng/g); C_t ——该物质的感觉阈值(ng/g)。

1.3.3 数据处理 试验结果平行测定3次,测定数据表示为“平均值±标准差”,以 $P<0.05$ 作为显著性检验标准,利用SPSS 22.0进行数据整理和主成分分析,Origin8.0绘图。

2 结果与分析

2.1 小尾寒羊不同部位营养成分含量

不同部位的羊肉营养物质含量分析见表1,动物性蛋白质大多属于优质蛋白质,且在人体吸收率较高,营养价值也高,RG和LLDM的蛋白质含量差异不显著,然而均显著高于NM的蛋白质含量($P<0.05$),蛋白质含量与肌间脂肪含量有关,因此肌间脂肪较少的RG和LLDM蛋白质含量高于NM;脂肪是动物所必需的一种营养物质,适量增加脂肪含量,会对肉类的风味起积极的作用,然而过量的脂肪含量会降低肉类的口感并产生油腻感,NM中的脂肪含量显著高于RG和LLDM($P<0.05$),可能因为NM中肌间脂肪含量较高导致脂肪含量相较RG和LLDM更高;灰分是用于评定肉类矿物质含量的基础,对肉类营养品质起一定的作用,RG和LLDM的灰分含量显著高于NM的灰分含量($P<0.05$),说明RG和LLDM中蕴含着更丰富的矿物质。

表1 小尾寒羊不同部位营养成分含量

Table 1 Contents of nutritional components in muscle of different parts of small-tail Han sheep

参数	不同部位羊肉		
	NM	LLDM	RG
蛋白质/%	18.01 ± 1.97 ^b	20.82 ± 0.48 ^a	21.44 ± 1.69 ^a
脂肪/%	4.32 ± 0.02 ^a	1.82 ± 0.01 ^c	3.48 ± 0.01 ^b
灰分/%	0.73 ± 0.17 ^b	1.22 ± 0.01 ^a	1.19 ± 0.04 ^a

注:同行不同肩标小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 小尾寒羊不同部位挥发性风味物质分析

小尾寒羊不同部位挥发性风味物质含量如表2所示。

表2 小尾寒羊不同部位挥发性风味物质含量

类别	中文名称	英文名称	阈值/ ng·g ⁻¹	RI 值	风味特征	含量/ng·g ⁻¹			
						NM	LJDM	RC	
醛类	己醛	Hexanal	5	801	鲜草	195.04 ± 7.13 ^b	609.62 ± 15.25 ^a	280.06 ± 29.90 ^b	
	庚醛	Heptaldehyde	3	898	柑橘、花香	57.96 ± 0.27 ^b	274.47 ± 0.63 ^a	24.23 ± 0.45 ^c	
	正辛醛	Octanal	1	1003	脂肪、柑橘	-	267.78 ± 35.35 ^a	128.48 ± 0.51 ^b	
	壬醛	1-Nonanal	1	1106	花香、柑橘	67.16 ± 1.25 ^b	109.30 ± 0.42 ^a	53.91 ± 11.71 ^b	
	反-2-辛烯醛	(E)-2-Octenal	0.08	1547	脂肪、绿色	15.61 ± 2.31 ^b	44.79 ± 3.76 ^a	58.90 ± 8.63 ^a	
	癸醛	Decanal	0.1	1508	肥皂、柑橘	-	-	2.48 ± 0.38	
	反式-2-壬烯醛	2-Nonenal, (2E)-	0.08	1547	脂肪、绿色	-	4.59 ± 0.06	-	
	(E,E)-2,4-壬二烯醛	trans,trans-2,4-Nonadienal	-	1707	脂肪、肉香味	-	-	1.10 ± 0.15	
	(E,E)-2,4-癸二烯醛	(E,E)-2,4-Decadien-1-al	0.7	1824	肉香、肉油味	-	86.94 ± 1.94	-	
	十七碳醛	Heptadecanal	-	1872	-	-	5.92 ± 1.46	-	
	十八碳醛	Octadecanal	-	1809	-	-	-	6.18 ± 0.54	
	合计					335.77 ± 2.74 ^c	1403.41 ± 7.36 ^b	555.34 ± 13.07 ^b	
	醇类	戊醇	1-Pentanol	4000	762	面包香、果香、酒香	51.69 ± 0.67 ^a	48.92 ± 4.72 ^a	2.97 ± 0.29 ^b
		己醇	Hexyl alcohol	2500	1354	花香、脂肪	1.795 ± 2.49 ^b	86.83 ± 14.45 ^a	28.34 ± 2.84 ^b
		1-辛烯-3-醇	1-Octen-3-ol	1	988	蘑菇、柑橘气味	-	41.87 ± 6.14	-
		1-辛醇	1-Octanol	110	1559	脂肪、坚果	9.29 ± 0.13 ^b	49.51 ± 5.97 ^a	53.29 ± 5.88 ^a
		2,3-丁二醇	2,3-Butanediol	4500	1568	果香、洋葱味	-	5.91 ± 0.374	-
		反式-2-癸烯醇	Decen-1-ol, (2E)-	-	1028	青草香	-	107.54 ± 12.07	-
环辛醇		Cyclooctanol	-	1700	-	-	-	6.86 ± 0.48	
2-环己烯醇		2-Cyclohexen-1-ol	-	1480	-	-	-	3.56 ± 0.27	
合计						60.98 ± 1.1 ^c	340.58 ± 7.29 ^a	95.02 ± 1.95 ^b	
酸类		乙酸	Acetic acid	-	665	酸、醋味	7.22 ± 0.08	-	-
	丁酸	Butyric acid	-	819	-	-	2.37 ± 0.21	-	
	己酸	Hexanoic acid	1846	996	腐臭奶酪味	84.27 ± 4.89 ^b	134.23 ± 25.66 ^a	10.94 ± 5.74 ^c	
	庚酸	Heptanoic acid	30000	1014	奶酪味	-	2.27 ± 0.10	-	
	辛酸	Octanoic acid	2060	1054	酸败味	-	1.90 ± 0.22 ^a	0.38 ± 0.06 ^b	
	壬酸	Nonanoic acid	2171	1123	油脂味	-	5.90 ± 0.83 ^b	7.35 ± 0.54 ^a	
	癸酸	Decanoic acid	100000	2147	腐败味	2.51 ± 0.43 ^b	5.57 ± 0.81 ^a	0.78 ± 0.09 ^c	

(续表2)

类别	中文名称	英文名称	限值/ ng·g ⁻¹	RI 值	风味特征	含量/ng·g ⁻¹		
						NM	LLDM	RG
酯类	棕榈酸	Palmitic acid	10 000	1 964	-	55.70 ± 1.53 ^a	37.56 ± 3.15 ^b	4.13 ± 0.71 ^c
	油酸	Oleic acid	-	2 935	-	19.26 ± 4.26	-	-
	反-6-十八烯酸	6-Octadecenoic acid, (6E)-	-	-	-	-	6.04 ± 2.91	-
	合计	-	-	-	-	168.96 ± 2.24 ^b	195.84 ± 4.24 ^a	23.58 ± 1.43 ^c
酮类	N,N-二乙基二硫代氨基甲酸酯	Methyl N, N - diethylcarbamodithioate	-	-	-	-	1.02 ± 0.27	-
	棕榈酸甲酯	Methyl hexadecanoate	-	2 213	-	6.75 ± 0.54 ^a	2.30 ± 0.26 ^b	-
	邻苯二甲酸二丁酯	Dibutyl phthalate	-	1 603	-	6.99 ± 0.59 ^b	12.75 ± 0.26 ^c	0.99 ± 0.01 ^c
	合计	-	-	-	-	13.74 ± 0.57 ^b	16.07 ± 0.20 ^b	0.99 ± 0.01 ^c
醇类	3-羟基-2-丁酮	Acetoin	8 000	720	奶油味	-	1.35 ± 0.30	1.28 ± 0.02
	4-壬酮	4-Nonanone	-	1 322	-	-	26.03 ± 2.01	-
	2,3-辛二酮	2,3-Octanedione	1 500	1 327	奶油香味	-	15.84 ± 3.68	-
	合计	-	-	-	-	-	43.22 ± 2.00 ^b	1.28 ± 0.02 ^b
烃烷类	环辛四烯	Cyclooctatetraene	-	1 226	-	1.39 ± 0.12	-	-
	3-乙基-2-甲基-1,3-二烯	3-Ethyl-2-methyl-1,3-hexadien	-	-	-	-	13.07 ± 1.83 ^a	1.86 ± 0.09 ^b
	合计	-	-	-	-	1.39 ± 0.12 ^c	13.07 ± 1.83 ^a	1.86 ± 0.09 ^b
	D-柠檬烯	D-Limonene	10	1 197	鲜花香	5.68 ± 0.16 ^a	1.84 ± 0.24 ^b	1.67 ± 0.14 ^b
萜烯类	合计	-	-	-	-	5.68 ± 0.16 ^a	1.84 ± 0.24 ^b	1.67 ± 0.14 ^b
	甲苯	Toluene	-	770	胭脂味	6.75 ± 0.18	-	-
	对二甲苯	1,4-Xylene	530	945	塑料味	2.45 ± 0.46	3.83 ± 0.50	1.54 ± 0.37
	苯乙烯	Phenylethylene	730	1 268	芳香味	1.38 ± 0.10	-	-
杂环类	苯甲醛	Benzaldehyde	3	968	坚果、杏仁	5.58 ± 1.64 ^b	122.41 ± 8.90 ^a	8.33 ± 1.19 ^b
	苯酚	Phenol	59 000	2 007	甜香	-	0.89 ± 0.03	-
	合计	-	-	-	-	16.16 ± 0.60 ^b	127.13 ± 3.14 ^a	9.87 ± 0.78 ^c
	2-正戊基呋喃	2-Pentylfuran	6	995	黄油	19.71 ± 0.67 ^b	20.28 ± 9.04 ^a	15.11 ± 2.86 ^b
甲氧基苯基丙酮类	甲氧基苯基丙酮	Oxime-, methoxy-phenyl-	-	934	-	574.51 ± 19.40 ^a	559.19 ± 14.04 ^a	375.89 ± 33.09 ^b
	合计	-	-	-	-	594.22 ± 10.4 ^a	579.47 ± 11.54 ^b	391 ± 17.98 ^c

注: -, 未检出; 同行不同肩标小写字母表示差异显著(P<0.05)。

通过采用谱库检索(MS)、计算正构烷烃的保留指数(LRI)对挥发性风味物质进行定性分析,在小尾寒羊的 NM、RG 和 LLDM 中共检测出 45 种挥发性风味物质,其中包括醛类(11 种)、醇类(8 种)、酸类(10 种)、酯类(3 种)、酮类(3 种)、烷烃类(2 种)、萜烯类(1 种)、芳香类(5 种)、杂环类(2 种)。

醛类化合物主要是由肉类氧化降解所产生,是对羊肉风味贡献较大的一类化合物^[9],庚醛、己醛和壬醛在 LLDM 中含量最高,反式-2-壬烯醛、十七碳醛和 (*E,E*)-2,4-癸二烯醛只有在 LLDM 中检出,正辛醛只有在 LLDM 和 RG 中检测出,癸醛、十八碳醛、反-2-辛烯醛、(*E,E*)-2,4-壬二烯醛只有在 RG 中检出,在 3 个部位中均检出己醛、壬醛、庚醛、反式-2-壬烯醛。其中己醛、壬醛、庚醛含量最高,这一结果与席嘉佩等^[7]的结果一致,这可能是因为羊肉中的脂肪氧化和美拉德反应导致^[8],庚醛中具有让人不愉快的脂肪气味,壬醛中具有青草味,己醛中也具有青草味,这可能是因为小尾寒羊的喂养方式不同所导致^[9-10]。

醇类化合物主要是脂肪氧化的产物,在醇类中除 1-辛烯-3-醇外,阈值都普遍较高,对于羊肉风味的贡献相对不大,而 1-辛烯-3-醇只有在 LLDM 中检出,其阈值很低(1 ng/g),因此对羊肉风味的贡献相对较大^[11],1-辛烯-3-醇具有蘑菇香和柑橘气味,对小尾寒羊的风味形成也具有重要作用^[12-13]。

酸类化合物共检测出 11 种,酯类化合物检测出 3 种,所检测到的化合物阈值都较高,且含量较低,对羊肉的风味贡献不大。

酮类化合物也是脂肪氧化的产物,酮类对于风味的贡献比醛类化合物和醇类化合物低,然而对羊肉的风味也有较大的贡献^[14]。2,3-辛二酮只有在 LLDM 中检出且具有奶油香味,3-羟基-2-丁酮具有奶香气,只有在 LLDM 和 RG 中有检出且差异不明显。

芳香类化合物共检出 5 种,其中甲苯和苯乙烯只有在 NM 中检出,苯酚只有在 LLDM 中检出,苯甲醛在 LLDM 中的含量显著高于 NM 和 RG($P < 0.05$)且阈值相对较小,具有坚果和杏仁味,对小尾寒羊风味也有一定的贡献。

烃类化合物的阈值相对较高,对于小尾寒羊的风味贡献都相对较低^[15]。

萜烯类物质 *D*-柠檬烯在 NM 中的含量显著高于 LLDM 和 RG($P < 0.05$),杂环类物质 2-正戊基呋喃在 NM 和 LLDM 中的含量显著高于 RG($P < 0.05$),因为其阈值较低,具有鲜花香和黄油味,在小尾寒羊的风味中有重要的作用^[16]。

2.2.1 小尾寒羊挥发性风味物质 OAV 值与贡献率 通过结果分析得出, OAV 值大于 1 的挥发性风味物质共 11 种,其中醛类 8 种,醇类 1 种,芳香类 1 种,杂环类 1 种,由此得出小尾寒羊的风味中醛类的贡献率最高,对小尾寒羊整体风味有重要影响。

为进一步说明挥发性风味物质在小尾寒羊整体风味中的贡献度,对每种挥发性风味物质的贡献度进行分析,醛类为庚醛($8 \leq OAV \leq 92$)、壬醛($53 \leq OAV \leq 110$)、反式-2-壬烯醛($195 \leq OAV \leq 737$)、己醛($39 \leq OAV \leq 122$)、正辛醛($128 \leq OAV \leq 268$)、癸醛($OAV=24.8$)、反-2-辛烯醛($OAV=1.53$)、(*E,E*)-2,4-癸二烯醛($OAV=124.2$)、醇类为 1-辛烯-3-醇($OAV=41.8$),芳香类为苯甲醛($1 \leq OAV \leq 41$),杂环类为 2-正戊基呋喃($2 \leq OAV \leq 34$),通过计算说明在小尾寒羊的 NM、LLDM、RG 中贡献率较高的挥发性风味物质为反式-2-壬烯醛和正辛醛。

2.2.2 小尾寒羊不同部位风味物质的主成分分析

由表 3 可知,第 1 主成分和第 2 主成分的特征值依次为 27.183, 17.817, 其累积贡献率达 60.406%, 100%, 按照贡献率大于 85% 的原则^[17]。故提取这 2 个因子来反映小尾寒羊不同部位中所有风味物质的原始信息。

表 3 因子总方差解析结果

Table 3 Results of factorial total variance analysis

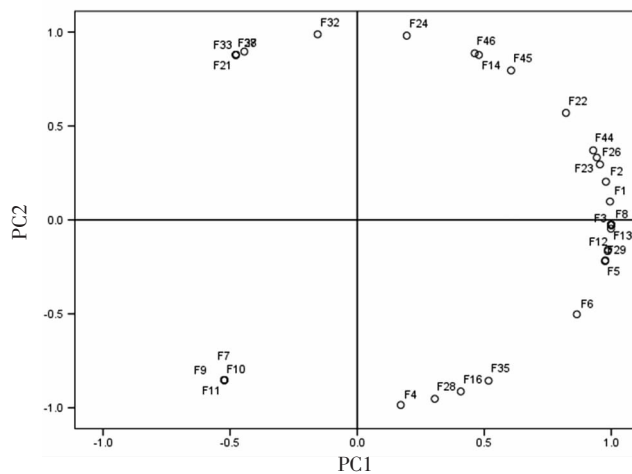
成分	初始特征值		
	总计	方差百分比	累积/%
1	27.183	60.406	60.406
2	17.817	39.594	100

从表 4 的主成分载荷矩阵中可以得出,第 1 主成分中的各类化合物可视作不同部位间存在差异的主要风味化合物,推测庚醛、壬醛、苯甲醛、己

表4 小尾寒羊不同部位挥发性风味物质主成分载荷矩阵

Table 4 Principal component loading matrix of flavor compounds in different parts of small tail Han sheep

物质	成分		物质	成分	
	1	2		1	2
庚醛	0.999	-0.039	棕榈酸	0.252	-0.968
壬醛	0.989	-0.145	庚酸	0.996	0.085
苯甲醛	0.994	0.106	油酸	-0.425	-0.905
反式-2-壬烯醛	0.113	0.994	壬酸	0.248	0.969
己醛	0.961	0.277	辛酸	0.962	0.272
正辛醛	0.833	0.553	丁酸	0.996	0.085
癸醛	-0.572	0.82	反-6-十八烯酸	0.996	0.085
十七碳醛	0.996	0.085	棕榈酸甲酯	-0.097	-0.995
十八碳醛	-0.572	0.82	邻苯二甲酸二丁酯	-0.91	0.414
反-2-辛烯醛	-0.572	0.82	<i>N,N</i> -二乙基二硫代氨基甲酸甲酯	0.996	0.085
(<i>E,E</i>)-2,4-壬二烯醛	-0.572	0.82	3-羟基-2-丁酮	0.466	0.885
(<i>E,E</i>)-2,4-癸二烯醛	0.996	0.085	4-壬酮	0.996	0.085
反式-2-癸烯醛	0.996	0.085	2,3-辛二酮	0.996	0.085
戊醇	0.53	-0.848	环辛四烯	-0.425	-0.905
己醇	0.975	0.224	苯乙烯	-0.425	-0.905
1-辛醇	0.353	0.936	<i>D</i> -柠檬烯	0.977	0.215
1-辛烯-3-醇	0.996	0.085	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	-0.39	-0.921
2,3-丁二醇	0.996	0.085	苯酚	0.996	0.085
环辛醇	-0.572	0.82	甲苯	-0.425	-0.905
2-环己烯醇	-0.572	0.82	对二甲苯	0.949	-0.315
乙酸	-0.425	-0.905	2-正戊基咪喃	0.651	-0.759
己酸	0.854	-0.52	甲氧基苯基丙酮脞	0.514	-0.858
癸酸	0.961	-0.276			



注: F1. 庚醛; F2. 壬醛; F3. 苯甲醛; F4. 反式-2-壬烯醛; F5. 己醛; F6. 正辛醛; F7. 癸醛; F8. 十七碳醛; F9. 十八碳醛; F10. 反-2-辛烯醛; F11. (*E,E*)-2,4-壬二烯醛; F12. (*E,E*)-2,4-癸二烯醛; F13. 反式-2-癸烯醛; F14. 戊醇; F15. 己醇; F16. 1-辛醇; F17. 1-辛烯-3-醇; F18. 2,3-丁二醇; F19. 环辛醇; F20. 2-环己烯醇; F21. 乙酸; F22. 己酸; F23. 癸酸; F24. 棕榈酸; F25. 庚酸; F26. 油酸; F27. 壬酸; F28. 辛酸; F29. 丁酸; F30. 反-6-十八烯酸; F31. 棕榈酸甲酯; F32. 邻苯二甲酸二丁酯; F33. *N,N*-二乙基二硫代氨基甲酸甲酯; F34. 3-羟基-2-丁酮; F35. 4-壬酮; F36. 2,3-辛二酮; F37. 环辛四烯; F38. 苯乙烯; F39. *D*-柠檬烯; F40. 3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯; F41. 苯酚; F42. 甲苯; F43. 对二甲苯; F44. 2-正戊基咪喃; F45. 甲氧基苯基丙酮脞。

图1 小尾寒羊不同部位挥发性风味物质主成分载荷图

Fig.1 Principal component loading diagram of flavor compounds in different parts of small tail Han sheep

醛、正辛醛、十七碳醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、反式-2-癸烯醇、己醇、1-辛烯-3-醇、2,3-丁二醇、己酸、癸酸、庚酸、辛酸、丁酸、反-6-十八烯酸、邻苯二甲酸二丁酯、N,N-二乙基二硫代氨基甲酸甲酯、4-壬酮、2,3-辛二酮、D-柠檬烯、苯酚、对二甲苯,这24类风味物质是致使不同部位挥发性风味物质产生差异的主要影响因素。

2.3 小尾寒羊不同部位脂肪酸分析

小尾寒羊不同部位脂肪酸含量及不同部位饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量对比如表5和图2~4所示。

由图、表可知,饱和脂肪酸检测出9种,棕榈酸和硬脂酸为主要的饱和脂肪酸,羊肉中膻味的产生可能与这两种脂肪酸有关^[18],饱和脂肪酸中肉豆蔻酸、硬脂酸、棕榈酸、珍珠酸等含量较高。肉

豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸、珍珠酸在NM和RG的含量均显著高于LLDM($P<0.05$)。

单不饱和脂肪酸检测出6种,以棕榈油酸、油酸和反油酸为主。NM和LLDM中棕榈油酸含量显著高于RG($P<0.05$),棕榈油酸对某些慢性疾病有积极作用^[19],同时还可以促进细胞代谢,改善皮肤状态^[20];LLDM中的油酸含量显著高于其它2个部位($P<0.05$)。油酸对于一些血管疾病有益处,然而人体日常所需的油酸不能全部由自身产生,需要通过外界的摄取来补充^[21]。反油酸在RG和NM中的含量显著高于LLDM($P<0.05$),反油酸会造成内皮细胞损伤,增加对人体健康有害的炎症因子的表达^[22]。

多不饱和脂肪酸检测出5种,其中亚油酸和花生四烯酸含量较高,NM中的亚油酸含量明显

表5 小尾寒羊不同部位脂肪酸含量

Table 5 Fatty acid content in different parts of small tail Han sheep

脂肪酸	脂肪酸含量/ $\text{g} \cdot (100 \text{g})^{-1}$		
	NM	LLDM	RG
饱和脂肪酸(SFA)	3.1715 ± 0.02^a	0.9984 ± 0.01^c	2.3940 ± 0.01^b
癸酸(C10:0)	0.0180 ± 0.01^b	0.0473 ± 0.01^a	-
十二烷酸(C12:0)	0.0209 ± 0.01^b	0.0159 ± 0.01^c	0.0502 ± 0.01^a
肉豆蔻酸(C14:0)	0.3133 ± 0.03^a	0.0163 ± 0.01^c	0.2432 ± 0.02^b
十五烷酸(C15:0)	0.0375 ± 0.01^b	0.0222 ± 0.01^c	0.0396 ± 0.01^a
棕榈酸(C16:0)	1.5032 ± 0.10^a	0.5918 ± 0.01^c	1.4796 ± 0.06^b
珍珠酸(C17:0)	0.2314 ± 0.01^a	0.0160 ± 0.01^c	0.1667 ± 0.01^b
硬脂酸(C18:0)	0.9884 ± 0.01^a	0.0741 ± 0.01^c	0.3953 ± 0.02^b
花生酸(C20:0)	0.0525 ± 0.01^a	0.0464 ± 0.01^b	0.0068 ± 0.01^c
二十一烷酸(C21:0)	0.0062 ± 0.01^c	0.1684 ± 0.01^a	0.0127 ± 0.01^b
单不饱和脂肪酸(MUFA)	0.6355 ± 0.01^b	0.3888 ± 0.01^c	0.8890 ± 0.01^a
十四碳烯酸(C14:1)	0.0014 ± 0.01^c	0.0370 ± 0.01^a	0.0062 ± 0.01^b
棕榈油酸(C16:1)	0.0701 ± 0.01^c	0.0579 ± 0.01^b	0.2071 ± 0.01^a
十七碳烯酸(C17:1)	0.0386 ± 0.01^b	0.0389 ± 0.01^b	0.1172 ± 0.01^a
反油酸(C18:1n9t)	0.4427 ± 0.01^b	0.0335 ± 0.01^c	0.5294 ± 0.03^a
油酸(C18:1n9c)	0.0560 ± 0.01^b	0.0968 ± 0.01^a	0.0250 ± 0.02^c
二十碳烯酸(C20:1)	0.0268 ± 0.01^b	0.1247 ± 0.01^a	0.0041 ± 0.01^c
多不饱和脂肪酸(PUFA)	0.2073 ± 0.02^b	0.3371 ± 0.01^a	0.0712 ± 0.01^c
亚油酸(C18:2n6c)	0.0875 ± 0.01^a	0.0352 ± 0.01^b	0.0344 ± 0.01^b
γ -亚麻酸(C18:3n6)	0.0022 ± 0.01^c	0.0494 ± 0.01^a	0.0073 ± 0.01^b
α -亚麻酸(C18:3n3)	0.0289 ± 0.01^a	0.0229 ± 0.01^b	0.0074 ± 0.01^c
二十碳三烯酸(C20:3n3)	0.0034 ± 0.01^c	0.0793 ± 0.01^a	0.0200 ± 0.01^b
花生四烯酸(C20:4n6)	0.0853 ± 0.02^b	0.1504 ± 0.01^a	0.0020 ± 0.01^c

注:-, 未检出。同行不同肩标小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

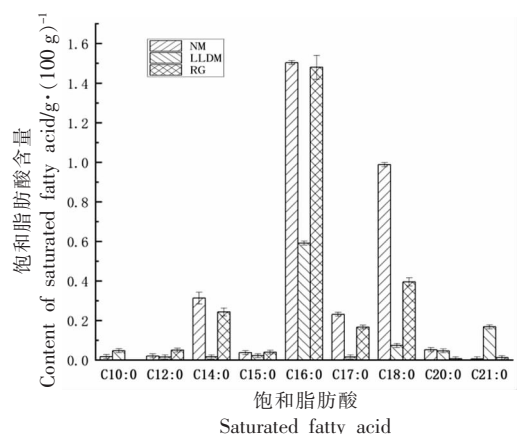


图2 小尾寒羊不同部位饱和脂肪酸组成及含量

Fig.2 Composition and content of saturated fatty acids in different parts of small tail Han sheep

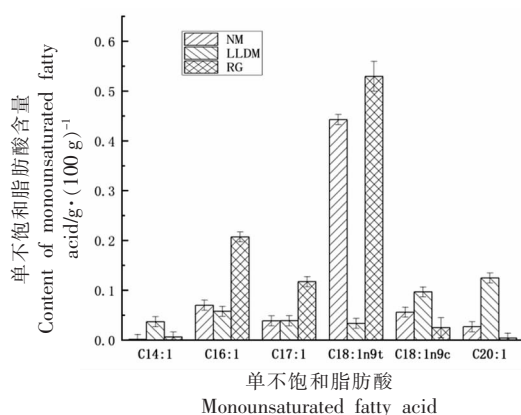


图3 小尾寒羊不同部位单不饱和脂肪酸组成及含量

Fig.3 Composition and content of monounsaturated fatty acids in different parts of small tail Han sheep

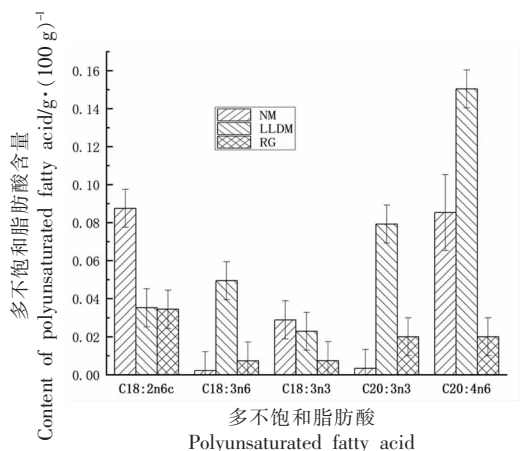


图4 小尾寒羊不同部位多不饱和脂肪酸组成及含量

Fig.4 Composition and content of polyunsaturated fatty acids in different parts of small tail Han sheep

高于LLDM和RG ($P < 0.05$), 具有保持血脂平衡等作用^[23-24]; LLDM中花生四烯酸的含量明显高于NM和RG ($P < 0.05$), 花生四烯酸在人体免疫、心血管和神经系统中起重要作用^[25], 已被国家食品药品监督管理局证实是安全的^[26], 可用于婴幼儿配方奶粉、化妆品、医药等领域^[27-29]。

综合以上分析可以得出, LLDM脂肪酸配比更符合人体对高营养价值的需要, 对身体健康更有利。

2.4 小尾寒羊不同部位总氨基酸分析

小尾寒羊不同部位氨基酸含量如表6所示。

表6 小尾寒羊不同部位氨基酸含量

Table 6 Amino acid content of different parts of small tail Han sheep

氨基酸(AA)	滋味特性	氨基酸含量/g·(100 g) ⁻¹		
		NM	LLDM	RG
苏氨酸(Thr)	甜味(+)	0.86 ± 0.04 ^b	1.05 ± 0.07 ^a	1.06 ± 0.03 ^a
缬氨酸(Val)	苦味(-)	0.87 ± 0.01 ^b	1.02 ± 0.04 ^a	1.08 ± 0.04 ^a
蛋氨酸(Met)	苦味(-)	0.50 ± 0.01	0.59 ± 0.04	0.57 ± 0.03
异亮氨酸(Ile)	苦味(-)	0.85 ± 0.03 ^b	0.97 ± 0.03 ^a	0.97 ± 0.03 ^a
亮氨酸(Leu)	苦味(-)	1.48 ± 0.07 ^b	1.66 ± 0.04 ^a	1.74 ± 0.01 ^a
苯丙氨酸(Phe)	苦味(-)	0.75 ± 0.03 ^b	0.88 ± 0.04 ^a	0.89 ± 0.04 ^a
赖氨酸(Lys)	甜味(+)	1.70 ± 0.01 ^b	1.99 ± 0.03 ^a	1.98 ± 0.01 ^a
必需氨基酸(EAA)	-	7.01 ± 0.07 ^b	8.16 ± 0.16 ^a	8.29 ± 0.11 ^a
天门冬氨酸(Asp)	鲜味(+)	1.61 ± 0.04 ^b	1.84 ± 0.04 ^a	1.91 ± 0.03 ^a
丝氨酸(Ser)	甜味(+)	0.58 ± 0.03 ^b	0.67 ± 0.04 ^a	0.69 ± 0.01 ^a
谷氨酸(Glu)	鲜味(+)	3.06 ± 0.06 ^b	3.40 ± 0.03 ^a	3.51 ± 0.01 ^a

(续表6)

氨基酸(AA)	滋味特性	氨基酸含量/g·(100 g) ⁻¹		
		NM	LLDM	RG
甘氨酸(Gly)	甜味(+)	0.87 ± 0.06 ^b	0.96 ± 0.03 ^b	1.18 ± 0.01 ^a
丙氨酸(Ala)	甜味(+)	1.05 ± 0.06 ^b	1.20 ± 0.04 ^a	1.27 ± 0.01 ^a
酪氨酸(Tyr)	-	0.60 ± 0.06	0.69 ± 0.01	0.68 ± 0.03
组氨酸(His)	苦味(-)	0.47 ± 0.03 ^b	0.62 ± 0.01 ^a	0.64 ± 0.01 ^a
精氨酸(Arg)	苦味(-)	1.30 ± 0.04 ^b	1.44 ± 0.03 ^a	1.45 ± 0.03 ^a
脯氨酸(Pro)	甜味(+)	0.78 ± 0.03 ^b	0.83 ± 0.01 ^b	0.94 ± 0.03 ^a
非必需氨基酸(NEAA)	-	10.32 ± 0.03 ^c	11.65 ± 0.08 ^b	12.27 ± 0.07 ^a
总氨基酸(TAA)	-	17.33 ± 0.10 ^c	19.81 ± 0.07 ^b	20.56 ± 0.04 ^a
必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA)	-	0.40 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.40 ± 0.01
必需氨基酸/非必需氨基酸(EAA/NEAA)	-	0.68 ± 0.01	0.70 ± 0.01	0.68 ± 0.01

注:同行不同肩标小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

如表6所示,检出的氨基酸包括7种EAA和9种NEAA,3个部位的氨基酸组成相同,而含量却存在一定差异,在测出的氨基酸中以Asp、Glu、Ala、Leu、Lys、Arg为主,其中RG除Met、Tyr、Lys外,含量均为最高,且除Gly和Pro外,与LLDM差异不显著($P > 0.05$);3个部位的EAA/TAA比值均超过了60%,LLDM的EAA/TAA比值甚至达到了70%,除此之外,3个部位EAA/TAA的比例均超过了40%,而相互之间差异不显著($P > 0.05$),由此说明,小尾寒羊的3个部位均为优质蛋白质,而LLDM在其中营养价值最高^[30]。

EAA包括His、Ile等,RG中7种EAA的总含量显著高于NM($P < 0.05$),且与LLDM差异不显著($P > 0.05$),本研究中的RG和LLDM具有较高的EAA含量,每日摄入EAA的多少对人体健康很重要,由于EAA不能在体内合成,必须从日常饮食中摄取,EAA的存在会使矿物质和维生素发挥其应有的生理功能^[31]。然而每天大量食用肉类同样会引发肥胖、心脏病和癌症等疾病^[32]。

NEAA包括Asp、Ser等,RG的NEAA含量也最高,LLDM次之,NM最低,NM、LLDM和RG的总NEAA含量差异显著($P < 0.05$),RG是更好的NEAA来源。

小尾寒羊3个部位检测出的呈味物质分别为甜味氨基酸(Thr、Lys、Ser、Gly、Ala、Pro)、苦味氨基酸(Val、Met、Ile、Leu、Phe、Tyr、His、Arg)和鲜味氨基酸(Asp、Glu),呈味氨基酸会赋予肉类甜、苦、鲜等口感,而其含量会直接影响肉类的味觉^[33]。由图

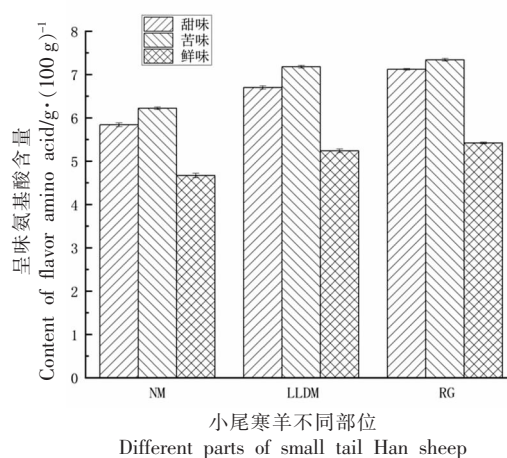


图5 小尾寒羊不同部位呈味氨基酸组成及含量

Fig.5 Composition and content of flavor amino acids in different parts of small tail Han sheep

5可知,3个部位苦味氨基酸的含量均为最高,这与马龙等^[34]的研究结果一致,RG和LLDM甜味氨基酸、苦味氨基酸和鲜味氨基酸的含量显著高于NM,通过对于各呈味氨基酸含量的对比,结果表明RG和LLDM的风味比NM好。

2.5 脂肪酸对挥发性风味物质的影响

脂肪是肉类风味的主要贡献者,风味在不同部位之间存在差异,而不同部位之间的差异主要来源于脂肪,由于脂肪酸的不同,脂肪组织也会赋予肉特定的风味,众所周知,反刍动物多不饱和脂肪酸的组成和含量主要取决于饮食,以不饱和脂肪酸和氧为原料,通过自由基链机制合成过氧化物、醛类、酯类、酮类^[35-36]。

脂肪在风味发展中起重要作用,Shahidi^[37]研究得出,在生产、处理和热处理过程中,脂肪作为一种溶剂来溶解肉类中的挥发性化合物,牛肉风味受氧化变化过程中产生的某些化合物的影响,并与瘦肉组织重新结合产生独特的风味化合物。Mottram 和 Edwards^[38]研究得出 C14:1,C16:1,C18:0,C18:1,C18:2,C18:3 脂肪酸与牛肉风味之间存在一定的关系。另一方面,不同部位之间风味主要取决于酮类、饱和醛类、脂肪酸和不饱和醛

类,它们都在肉类风味中起主要作用^[39]。不同部位之间的肉类风味在加热后具有相似的机制,即肉类中都含有糖和氨基酸,而风味可能有所不同,肉味是由所有熟肉共有的瘦肉组织提供的前体产生的,在脂质降解后,醛类在某些物种中具有典型特征。例如:反式-2-壬烯醛、辛醛、壬醛和癸醛,都与特定的风味和香气有关,因此,由于脂肪酸的差异,风味会受到影响^[40]。

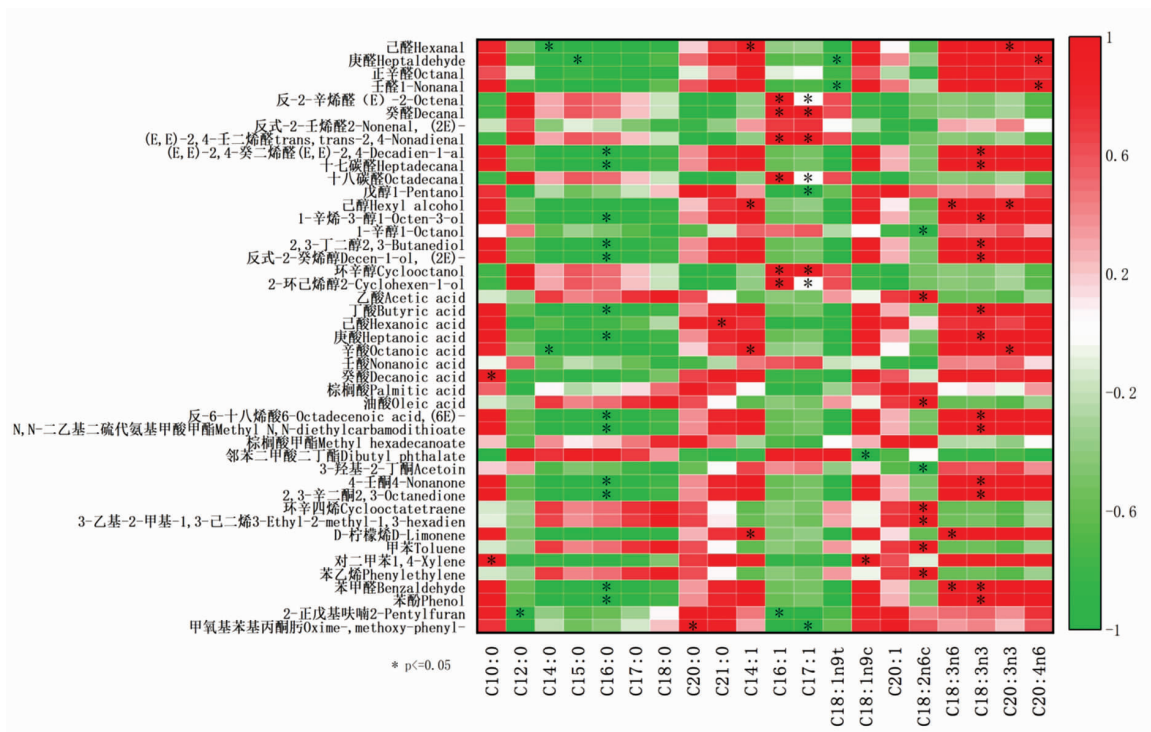


图6 挥发性风味物质与脂肪酸的相关性分析

Fig.6 Correlation analysis of flavor compounds and fatty acids

挥发性风味物质与脂肪酸的相关性分析如图6所示,图中横坐标代表脂肪酸,纵坐标代表挥发性风味物质,颜色代表它们之间的相关性,红色代表正相关,绿色代表负相关,颜色的深浅代表了它们之间的相关系数。由图可知,大多数的挥发性风味物质与脂肪酸呈负相关,而多不饱和脂肪酸与大多数挥发性风味物质间呈显著正相关,不饱和脂肪酸对风味的影响很大,尤其是多不饱和脂肪酸,因为多不饱和脂肪酸相较于单不饱和脂肪酸来说更容易发生氧化反应产生挥发性风味物质,进而影响羊肉的整体风味^[41]。在本研究中,LLDM中的花生四烯酸的含量高于RG和NM,1-辛烯-

3-醇和己醛主要来源于花生四烯酸的氧化^[42-43];这可能是LLDM中己醛和1-辛烯-3-醇含量较高的主要原因。油酸氧化可产生庚醛、壬醛等,因此LLDM油酸含量最高,与此对应的LLDM庚醛、辛醛、壬醛的含量也最高,呋喃和油酸之间存在显著相关性,与之前的研究一致^[44]。

2.6 氨基酸对挥发性风味物质的影响

蛋白水解会产生肽和氨基酸,这些肽和氨基酸通过Strecker降解和美拉德反应促进肉类风味的产生。氨基酸是动物体内用于构成蛋白质的基本单位,是肉类鲜味的主要来源^[45]。因此,肉类氨基酸组成被认为是肉类营养价值的重要参数^[46]。

其中还原糖和氨基酸之间的反应是形成熟肉香气化合物的主要途径,半胱氨酸和 Met 被认为是肉类风味发展的最大贡献者,鲜肉的挥发性成分包括糖、肽、氨基酸、无机盐和有机酸等都是促成熟肉基本味道(甜、咸、苦和酸)的风味前体^[47]。此

外,氨基酸中包括呈味氨基酸,其与肉的味道有关^[37],有专家学者认为适当的苦味对肉类的总体滋味有利,而过量苦味则会对肉类的风味有所损坏。

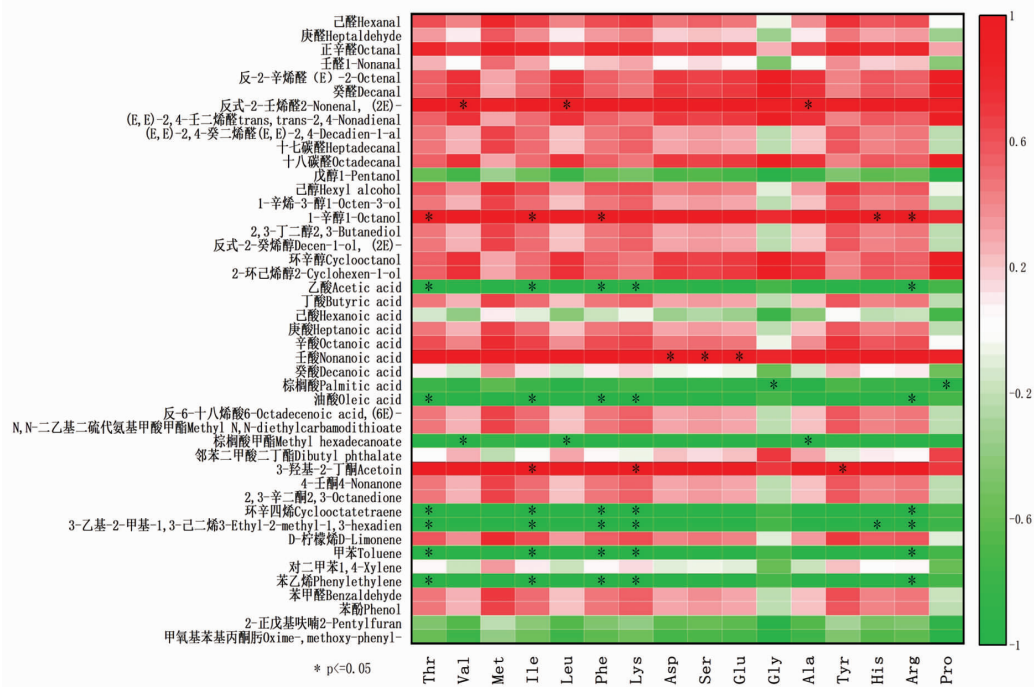


图 7 挥发性风味物质与脂肪酸的相关性分析

Fig.7 Correlation analysis between flavor compounds and amino acids

由图 7 可知,氨基酸与大多数的醛类和醇类都呈正相关,与杂环类物质和大多数的芳香类物质呈负相关,其中含硫氨基酸是对食品风味影响较大的一类氨基酸,降解后会产生具有强烈挥发性味道的物质,如吲哚、硫化氢、氨等。Phe、Leu、Ile、Tyr、Val、Asp 等通过转氨反应、脱羧反应、脱氢反应、氧化反应后生成醇、醛、酸、酯等挥发性风味物质^[48],这可能就是与大多数醇、醛、酸、酯呈正相关的原因,如 Asp 通过反应就可生成 3-羟基-2-丁酮和 2,3-丁二酮,在脱羟酶的作用下,还可以转化为苏氨酸,最后生成乙醛、乙醇等物质,这与本试验的结果一致。

3 结论

小尾寒羊 NM 中的脂肪含量显著高于 RG 和 LLDM;RG 和 LLDM 的蛋白质含量显著高于 NM 的蛋白质含量;RG 和 LLDM 的灰分含量显著高于

NM 的灰分含量。

运用 HS-SPME-GS-MS 对小尾寒羊 3 个部位中挥发性风味物质进行测定。在小尾寒羊的 NM、RG 和 LLDM 中共检测出 45 种挥发性风味物质,其中 NM 22 种,LLDM 33 种,RG 26 种。通过主成分分析结果表明,庚醛、壬醛、苯甲醛、己醛、正辛醛、十七碳醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、反式-2-癸烯醇、己醇、1-辛烯-3-醇等 24 种风味物质是导致不同部位之间挥发性风味物质有差异的主要影响因素。

运用 GS-MS 对小尾寒羊不同部位中脂肪酸组成及含量进行分析,小尾寒羊的 NM、LLDM、RG 中分别检出 20,20,19 种脂肪酸,饱和脂肪酸检测出 9 种,单不饱和脂肪酸检测出 6 种,多不饱和脂肪酸检测出 5 种,LLDM 中对人体有益的单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量都很高。因此,LLDM 脂肪酸配比更符合人体对高营养价值的需

要,对人身健康更有利。

氨基酸在3个部位都检测出16种,包括7种EAA和9种NEAA,在测出的氨基酸中以Asp、Glu、Ala、Leu、Lys、Arg为主,其中RG除蛋氨酸、酪氨酸、赖氨酸外,含量均为最高,3个部位的EAA/TAA比值均超过了60%,EAA/TAA的比例均超过了40%,说明3个部位均为优质蛋白质的肉类,并结合呈味氨基酸的分析说明RG和LLDM的风味比NM好。

多不饱和脂肪酸与大多数挥发性风味物质间呈正相关,且与醛类、醇类和芳香类等挥发性物之间呈显著正相关,这可能是因为多不饱和脂肪酸极易氧化,在氧化过程中生成醛类、醇类和芳香类等物质;氨基酸与大多数醛类和醇类都呈正相关,这可能是因为氨基酸通过转氨反应等一系列反应,最终生成醛类和醇类等物质。

参 考 文 献

- [1] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会.食品中脂肪的测定:GB 5009.6-2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1-2.
The China Food and Drug Administration, the National Health and Family Planning Commission. Determination of fat in food: GB 5009.6-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-2.
- [2] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会.食品中蛋白质的测定:GB 5009.5-2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1-3.
The China Food and Drug Administration, the National Health and Family Planning Commission. Determination of protein in food: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-3.
- [3] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会.食品中灰分的测定:GB 5009.4-2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1-3.
The China Food and Drug Administration, the National Health and Family Planning Commission. Determination of ash in food: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-3.
- [4] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会.食品中脂肪酸的测定:GB 5009.168-2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1-6.
The China Food and Drug Administration, the National Health and Family Planning Commission. Determination of fatty acids in food: GB 5009.168-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-6.
- [5] 国家食品药品监督管理总局,国家卫生和计划生育委员会.食品中氨基酸的测定:GB 5009.124-2016[S].北京:中国标准出版社,2016:1-5.
The China Food and Drug Administration, the National Health and Family Planning Commission. Determination of amino acids in food: GB 5009.124-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2016: 1-5.
- [6] PENNARUN A L, PROST C, HAURE J, et al. Comparison of two microalgal diets. 2. Influence on odorant composition and organoleptic qualities of raw oysters (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(7): 2011-2018.
- [7] 席嘉佩,詹萍,田洪磊,等.基于感官模糊综合评价法与价值工程评价法的市售烤羊肉质量分析评价[J].食品科学,2019,40(7):60-67.
XI J P, ZHAN P, TIAN H L, et al. Quality analysis and evaluation of roast lamb on the market based on sensory fuzzy comprehensive evaluation and value engineering evaluation[J]. Food Science, 2019, 40(7): 60-67.
- [8] 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.
- [9] 臧明伍,张凯华,王守伟,等.基于SPME-GC-O-MS的清真酱牛肉加工过程中挥发性风味成分变化分析[J].食品科学,2016,37(12):117-121.
ZANG M W, ZHANG K H, WANG S W, et al. Analysis of flavor components during processing of beef in halal sauce based on SPME-GC-O-MS[J]. Food Science, 2016, 37(12): 117-121.
- [10] 张爱萍,李杨,翟玉秀,等.顶空固相微萃取结合气质联用技术结合相对气味活度值对甘肃细毛羊肉特征挥发性风味物质的研究[J].肉类工业,2020,39(3):5-10.
ZHANG A P, LI Y, ZHAI Y X, et al. Study on characteristic flavor compounds of Gansu fine-wool mutton by headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry and relative odor activity values[J]. Meat Industry, 2020, 39(3): 5-10.
- [11] SHI Y, LI X, HUANG A. A metabolomics-based approach investigates flavor formation and character-

- istic compounds of the Dahe black pig dry-cured ham[J]. *Meat Science*, 2019, 158: 107904.
- [12] 李敬, 杨媛媛, 赵青余, 等. 肉风味前体物质与风味品质的关系研究进展[J]. *中国畜牧杂志*, 2019, 55(11): 1-7.
- LI J, YANG Y Y, ZHAO Q Y, et al. Research progress on the relationship between meat flavor precursors and flavor quality[J]. *China Animal Husbandry*, 2019, 55(11): 1-7.
- [13] 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 types and contents of flavor compounds in mutton[J]. *Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2018, 50(10): 38-42.
- [14] XIONG Y L, LOU X, WANG C, et al. Protein extraction from chicken myofibrils irrigated with various polyphosphate and NaCl solutions[J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(1): 96-100.
- [15] 李伟, 罗瑞明, 李亚蕾, 等. 宁夏滩羊肉的特征香气成分分析[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(5): 1173-1177.
- LI W, LUO R M, LI Y L, et al. Analysis of characteristic aroma components of Ningxia Tan mutton [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(5): 1173-1177.
- [16] 陈学敏, 朱国茵, 罗海玲, 等. 基于指纹图谱的欧拉羊肉挥发性风味物质定量分析[J]. *农业机械学报*, 2020, 51(5): 349-355.
- CHEN X M, ZHU G Y, LUO H L, et al. Quantitative analysis of flavor compounds in Euler mutton based on fingerprints[J]. *Journal of Agricultural Machinery*, 2020, 51(5): 349-355.
- [17] 顾赛麒, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 基于主成分分析和聚类分析评价中华绒螯蟹蟹肉香气品质的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(24): 120-125.
- GU S Q, WANG X C, TAO N P, et al. Evaluation of aroma quality of Chinese mitten crab meat based on principal component analysis and cluster analysis [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2012, 33(24): 120-125.
- [18] 刘安军, 杨书文, 曹东旭, 等. 两种鱼中各部位脂肪酸的GC分析[J]. *粮油加工*, 2007(1): 57-59.
- LIU A J, YANG S W, CAO D X, et al. GC analysis of fatty acids in two kinds of fish[J]. *Grain and Oil Processing*, 2007(1): 57-59.
- [19] 刘平. 棕榈油酸功能的研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(3): 4-6.
- LIU P. Research progress on the function of palmitoleic acid[J]. *Food and Oil*, 2020, 33(3): 4-6.
- [20] 涂行浩, 杜丽清, 魏芳, 等. 澳洲坚果中棕榈油酸理化性质及功效研究进展[J]. *农业研究与应用*, 2021, 34(4): 35-43.
- TU X H, DU L Q, WEI F, et al. Research progress on the physicochemical properties and efficacy of palm oleic acid in macadamia nuts[J]. *Agricultural Research and Application*, 2021, 34(4): 35-43.
- [21] 杜雪莉, 张凌晶, 杨欣怡, 等. 4种饲料养殖小龙虾营养分析及品质评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(2): 576-584.
- DU X L, ZHANG L J, YANG X Y, et al. Nutritional analysis and quality evaluation of crayfish cultured with four feeds[J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2022, 13(2): 576-584.
- [22] 胡盛本, 蔡澄亮, 卓成飞, 等. 银离子固相萃取法测定反刍动物反式脂肪酸异构体含量[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(2): 280-288.
- HU S B, CAI C L, ZHUO C F, et al. Determination of trans fatty acid isomers in ruminants by silver ion solid phase extraction[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(2): 280-288.
- [23] WANG S H, WANG W W, ZHANG H J, et al. Conjugated linoleic acid regulates lipid metabolism through the expression of selected hepatic genes in laying hens [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(10): 4632-4639.
- [24] KHADIGA S I, EMAN M E. Dietary conjugated linoleic acid and medium-chain triglycerides for obesity management[J]. *Journal of Biosciences*, 2021, 46(1): 1-14.
- [25] YAGAMI T, YAMAMOTO Y, KOMA H. Physiological and pathological roles of 15-deoxy- Δ 12, 14-prostaglandin J2 in the central nervous system and neurological diseases [J]. *Molecular Neurobiology*, 2018, 55(3): 2227-2248.
- [26] BRENNAN J T. Arachidonic acid needed in infant formula when docosahexaenoic acid is present [J]. *Nutrition Reviews*, 2016, 74(5): 329-336.

- [27] 陈晓婵, 贾军燕, 曹金丽, 等. 花生四烯酸粉剂粒径对婴幼儿配方奶粉混合均匀度的影响[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(8): 21-23, 37.
CHEN X C, JIA J Y, CAO J L, et al. Effect of arachidonic acid on the mixing uniformity of infant formula milk powder[J]. China Dairy Industry, 2020, 48(8): 21-23, 37.
- [28] 刘红. 花生四烯酸——功能性、活性化妆品原料[J]. 中国化妆品, 2002(4): 68-69.
LIU H. Arachidonic acid -- functional, active cosmetic ingredients[J]. China Cosmetics, 2002(4): 68-69.
- [29] NAGENDRA S Y, ANUPAM B, GAUTAM S, et al. Targeting arachidonic acid pathway by natural products for cancer prevention and therapy[C]. Seminars in Cancer Biology, 2016: 48-81.
- [30] CAMPO M M, NUTE G R, WOOD J D, et al. Modelling the effect of fatty acids in odour development of cooked meat *in vitro*: Part I—sensory perception[J]. Meat Science, 2003, 63(3): 367-375.
- [31] İBRAHİM A, ARDA S. Importance of methionine for immune system development and performance in broiler nutrition[J]. Agricultural and Food Sciences, 2016, 13(1): 5-8.
- [32] SHIRA Z S. High red and processed meat consumption is associated with non-alcoholic fatty liver disease and insulin resistance[J]. Journal of Hepatology, 2018, 68(6): 1239-1246.
- [33] MUHAMMAD I K, CHEORUN J, MUHAMMAD R T. Meat flavor precursors and factors influencing flavor precursors -- A systematic review [J]. Meat Science, 2015, 110: 278-284.
- [34] 马龙, 尤汉宏, 党永庆, 等. 银川地区 3 种羊肉氨基酸组成及营养价值分析[J]. 农业科学研究, 2020, 41(1): 28-32.
MA L, YOU H H, DANG Y Q, et al. Analysis of amino acid composition and nutritional value of three kinds of mutton in Yinchuan area[J]. Agricultural Sciences Research, 2020, 41(1): 28-32.
- [35] 欧全文, 王卫, 张崑, 等. 肉类风味的研究进展[J]. 食品科技, 2012, 37(12): 107-111.
OU Q W, WANG W, ZHANG Y, et al. Research progress on meat flavor[J]. Food Science and Technology, 2012, 37(12): 107-111.
- [36] BERDAGUÉ J L, MONTEIL P, MONTEL M C, et al. Effects of starter cultures on the formation of flavor compounds in dry sausage[J]. Meat Science, 1993, 35(3): 275-287.
- [37] SHAHIDI F. Flavor of meat and meat products[J]. Springer US, 1994, 38(1): 1-67.
- [38] MOTTRAM D S, EDWARDS R A. The role of triglycerides and phospholipids in the aroma of cooked beef[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1983, 34(5): 517-522.
- [39] MELTON S L. Effects of feeds on flavor of red meat: A review [J]. Journal of Animal Science, 1990, 68(12): 4421-4435.
- [40] ARSHAD M S. Ruminant meat flavor influenced by different factors with special reference to fatty acids [J]. Lipids in Health and Disease, 2018, 17(1): 223.
- [41] ELMORE J S, COOPER S L, ENSER M, et al. Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb[J]. Meat Science, 2005, 69(2): 233-242.
- [42] ELMORE J S, MOTTRAM D S, ENSER M, et al. Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(4): 1619-1625.
- [43] XIA C L. Free fatty acids responsible for characteristic aroma in various sauced-ducks[J]. Food Chemistry, 2020, 343(1): 128493.
- [44] JOSÉ M L, DANIEL F, JAVIER C. Effect of the inclusion of chestnut in the finishing diet on volatile compounds during the manufacture of dry-cured "Lacón" from Celta pig breed [J]. Meat Science, 2014, 96(1): 211-223.
- [45] GAN S F. High altitude adaptability and meat quality in Tibetan pigs: A reference for local pork processing and genetic improvement[J]. Animals, 2019, 9(12): 1080.
- [46] LI M Q, YANG R W, ZHANG H, et al. Development of a flavor fingerprint by HS-GC-IMS with PCA for volatile compounds of *Tricholoma matsutake* Singer[J]. Food Chemistry, 2019, 290: 32-39.
- [47] XIAN L G. Characterization of taste and aroma compounds in Tianyou, a traditional fermented wheat flour condiment [J]. Food Research International,

2018, 106: 156-163.

[48] 解春芝. 基于氨基酸代谢的腐乳酱风味促熟及机理研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.

XIE C Z. Study on the flavor and mechanism of fermented bean curd sauce based on amino acid metabolism[D]. Guiyang: Guizhou University, 2019.

Analysis of the Correlation between Flavor Substances and Flavor Precursors in Different Parts of Small Tailed Han Sheep

Wang Yu¹, Shu Ying¹, Wang Huiting², Zhang Xu¹, Liang Sunshuo¹, Jiao Yingxue¹, Zhang Zhisheng^{1*}

¹Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei

²Baoding Institute for Food and Drug Control, Baoding 071000, Hebei

Abstract In this paper, 6-7 month-old small tailed Han sheep weighing 50 kg were used as experimental objects, and NM, LLDM and RG were selected for correlation analysis of flavor substances, fatty acids and amino acids of small tailed Han sheep. The results showed that 45 flavor compounds were detected in three parts, among which aldehydes were the most important flavor compounds, accounting for about 50% of the total compounds. By principal compounds analysis, 24 flavor substances such as heptanal, nonanal and benzaldehyde were the main influencing factors leading to the difference of flavor substances in different parts. The content of monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids beneficial to human body in LLDM was the highest, and the proportion of fatty acids was more in line with human body's demand for the nutrition in mutton fatty acids, which was more beneficial to human health. Glutamic acid (Glu) and lysine (Lys) were the main amino acids, accounting for about 17% and 10% of the total amino acids. The content of RG was the highest except methionine (Met), tyrosine (Tyr) and lysine (Lys), and there was no significant difference between RG and LLDM except glutamic acid (Glu) and proline (Pro), but difference between RG and NM were to the contrary. The correlation analysis showed that polyunsaturated fatty acids were positively correlated with most flavor compounds, and significantly positively correlated with aldehydes, alcohols and aromatic compounds. This could be that polyunsaturated fatty acids were easily oxidized, and aldehydes, alcohols and aromatic compounds are produced in that oxidation process. There was a positive correlation between amino acids and most aldehydes and alcohols, which may be that amino acids eventually produced aldehydes and alcohols through a series of reactions such as transamination.

Keywords small tail Han sheep; different parts; flavor substances; fatty acid; amino acid; correlation