

不同来源生熟北京豆汁的风味物质和感官评价比较

卢晓丹, 张 敏*, 苗 菁

(北京工商大学 北京市食品添加剂工程技术研究中心, 食品添加剂与配料北京高校工程研究中心, 北京 100048)

摘 要: 为分析北京豆汁中的挥发性风味物质, 采用固相微萃取结合气相色谱-嗅闻-质谱联用技术对3家豆汁企业的生豆汁与熟豆汁共6个样品进行分析鉴定。生豆汁中共鉴定出39种风味化合物, 其中醇类18种、醛类4种、酮类1种、酸类6种、酚类3种、酯类1种、醚类2种、呋喃类1种; 熟豆汁中共鉴定出31种风味化合物, 其中醇类12种、醛类6种、酮类1种、酸类5种、酚类3种、酯类1种、醚类2种、呋喃类1种。生豆汁中风味物质的种类和含量都明显高于熟豆汁, 其中醇类物质的变化最为显著, 豆汁的关键风味物质为酸类和含硫类化合物。感官评价和风味分析结果表明, 老磁器口豆汁中醛类物质种类和含量最为丰富, 豆香味更加浓厚。

关键词: 豆汁; 风味物质; 固相微萃取; 气相色谱-质谱联用技术

Analysis of Volatile Compounds and Sensory Evaluation of Different Douzhi (Fermented Mung Bean Juice) Products

LU Xiaodan, ZHANG Min*, MIAO Jing

(Beijing Higher Institution Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients, Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: Six samples of Beijing Douzhi from 3 different manufactures were investigated for their volatile compounds by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry (GC-O-MS). The results showed that thirty-nine compounds including 18 alcohols, 4 aldehydes, 1 ketone, 6 acids, 3 phenols, 1 ester, 2 ethers and 1 furan were detected in raw Douzhi, and thirty-one compounds including 12 alcohols, 6 aldehydes, 1 ketone, 5 acids, 3 phenols, 1 ester, 2 ethers and 1 furan in cooked Douzhi. The number of volatile compounds and their concentrations in raw Douzhi were both higher than in cooked samples. The difference in alcohols between raw and cooked Douzhi was significant. Acids and sulfur compounds were the key flavor compounds. The results of volatile compounds and sensory evaluation showed that the number of aldehydes and their concentrations were the highest in Douzhi made by Laociqikou, and the mung bean fragrance was much stronger than that of others.

Key words: Douzhi; volatile compounds; solid-phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry

中图分类号: TS252.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2015) 06-0103-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201506019

豆汁是具有老北京特色的民间饮品, 是做绿豆粉丝的下脚料, 沉淀之后即是麻豆腐。根据图1, 豆汁是以绿豆为原料, 经泡豆、磨豆、淀粉分离后由菌体发酵而成, 其中乳酸细菌 (*Lactococcus lactis*) 与柠檬明串珠菌 (*Leuconostoc citreum*) 被鉴定为豆汁生产的主要产酸菌株^[1]。经混合菌发酵后即为生豆汁, 生豆汁再经慢火熬煮后即为熟豆汁。虽然豆汁的制作工艺大致相同, 但不同豆汁产品风味却不尽相同, 消费者对不同产品的偏好程度也不同, 因此可以对不同豆汁产品进行风味研究。

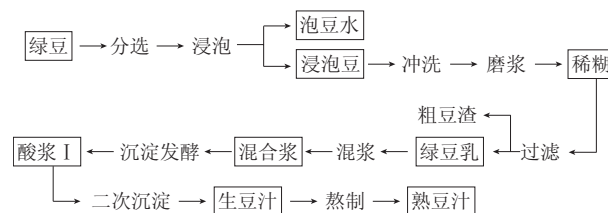


图1 豆汁的制作工艺流程

Fig.1 Flowchart of Douzhi production

收稿日期: 2014-09-25

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31371830); 北京市高等学校科研基地建设-科技创新平台项目 (19005418040); 北京市属高等学校创新团队建设与教师职业发展计划项目 (IDHT20130506)

作者简介: 卢晓丹 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: caomeishengdai12@163.com

*通信作者: 张敏 (1972—), 女, 教授, 博士后, 研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: xzm7777@sina.com

目前挥发性风味物质提取方法有溶剂萃取法^[2]、蒸馏萃取(simultaneous distillation and extraction, SDE)法^[3]、顶空捕集(purge and trap, PT)法^[4]、固相微萃取(solid phase micro-extraction, SPME)^[5-6]等。SPME可以用来提取固体或液体样品中的风味物质,目前已被广泛应用于奶酪、酸奶、臭豆腐、豆乳等食品的检测与分析^[7-9]。其中DVB/CAR/PDMS(divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane)萃取头对于发酵奶制品中的醇类、醛类、酯类物质的提取有较好效果^[10]。气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)联用技术是目前香料研究中应用最广的分析方法之一,现已被广泛应用于食品风味物质定性定量分析过程中。气相色谱-嗅闻(GC-olfactometry, GC-O)是将气味检测仪(或使用人的鼻子检测器来分析气流中的香味活性)与分离挥发性物质的气相色谱仪结合的一种技术,现已应用于酒类、饮料、肉类、奶类、茶叶等具有挥发性气味的食品的识别^[11-14]。

本实验采用SPME与GC-O-MS联用技术^[15-16]对6种不同豆汁产品中的挥发性风味成分进行了较为细致的研究,以期对豆汁的挥发性风味物质研究提供参考,并通过这些数据的分析来改善老北京豆汁的品质,为今后豆汁的品质监控乃至混合菌发酵饮料的品质监控提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

6种成品豆汁样品分别购于北京护国寺、锦馨和老磁器口小吃店,分别为生豆汁和熟豆汁2种;系列正构烷烃 北京化学试剂公司。

1.2 仪器与设备

HH-1数显电子恒温水浴锅 常州国华电器有限公司; DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器 河南省予华仪器有限公司; 7890A-7000B气相-质谱联用仪(配有电子电离源及NIST 08数据库)、手动SPME装置、30/50 μm DVB/CAR/PDMS灰色固相微萃取头及手柄 美国Agilent公司; Sniffer-9000 嗅闻检测器 德国Gerstel公司(毛细管柱: DB-WAX (30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μm)) 美国J&W公司。

1.3 方法

1.3.1 豆汁的感官评价

根据GB/T 29605—2013《感官分析: 食品感官质量控制导则》中的要求,对不同来源的北京生熟豆汁产品进行感官评价,比较产品的颜色、风味、口感和组织状态。以未发酵的绿豆乳作为对照。

1.3.2 SPME萃取挥发性成分

将30/50 μm DVB/CAR/PDMS灰色萃取头在GC的进

样口老化,老化温度250 $^{\circ}\text{C}$,时间10 min。取14 mL样品置于40 mL顶空瓶中,用封口膜封好,于45 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡20 min。然后,将老化好的灰色SPME针插入顶空瓶上部,推出萃取头,顶空吸附40 min后拔出萃取针,在温度为250 $^{\circ}\text{C}$ 的GC-MS进样口中解吸5 min,进行GC-MS分析^[17]。

1.3.3 GC-O-MS分析条件

GC条件: 采用DB-WAX毛细管柱,载气为氦气,流速为1.2 mL/min。升温程序为: 初温40 $^{\circ}\text{C}$,保持3 min,以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温到200 $^{\circ}\text{C}$,再以10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到230 $^{\circ}\text{C}$,保持3 min。MS条件,电子电离源,电子能量70 eV,传输线温度280 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$,四极杆温度150 $^{\circ}\text{C}$,质量扫描范围 m/z 55~500^[18]。

嗅觉检测器: 接口温度200 $^{\circ}\text{C}$,为防止实验员鼻孔干燥,检测时通入湿润空气。毛细管末端流出物以1:1的分流比分别流入MS和嗅闻检测器。

1.3.4 挥发性风味物质的定性方法

化合物由质谱数据库NIST、标准化合物保留指数(retention index, RI)以及香气特征对比鉴定。NIST(107 000个化合物的数据)谱库比照时,正反匹配度大于700时结果予以采纳。若无标准化合物,则通过查阅以往文献报道的化合物RI值和芳香特性进行比对鉴定^[19],并采用峰面积归一化法算出各成分的峰面积。

化合物RI值计算方法: 利用系列正构烷烃换算而成。

$$\text{RI} = 100n + \frac{100(t_a - t_n)}{t_{n+1} - t_n}$$

式中: t_a 为样品a的保留时间; t_n 为正构烷烃 C_n 的保留时间(样品a的保留时间落在正构烷烃 C_n 和 C_{n+1} 之间)。

2 结果与分析

2.1 不同品种豆汁风味物质组成

市售6种豆汁质谱图如图2所示,其中有护国寺生豆汁、护国寺熟豆汁、锦鑫生豆汁、锦鑫熟豆汁、老磁器口生豆汁、老磁器口熟豆汁。

根据图2的质谱图,由质谱数据库NIST、标准化合物RI以及香气特征对比鉴定各种风味物质分析结果见表1。

根据图1和表1、2分析可知,护国寺生豆汁中共存在28种风味物质,其中醇类14种占被测总峰面积的62.65%,醛类1种占被测总峰面积的2.01%,酸类6种占被测总峰面积的11.99%,酚类2种占被测总峰面积的0.5%,酯类3种占被测总峰面积的15.29%,醚类2种占

表1 不同来源豆汁风味物质分析
Table 1 Volatile compounds isolated in Douzhi from different manufactures

类别	保留时间/min	物质名称	匹配度	RI (DB-WAX)	气味特征 ^a	峰面积比/% ^b						鉴定方法 ⁱ
						HGS-R ^c	HGS-C ^d	JX-R ^e	JX-C ^f	CQK-R ^g	CQK-C ^h	
醇类	3.105	甲硫醇 methanethiol	716	<800	恶臭	16.16	30.61	19.88	15.63	1.54	18.52	MS, RI, GCO
	5.999	乙醇 ethanol	719	953	酒精味	1.22	3.12	2.39	0.38	7.11	2.54	MS, RI, GCO
	8.247	2-丁醇 2-butanol	722	1047	葡萄酒味	1.73	3.72	4.72	1.62	4.55	0	MS, RI
	15.069	正戊醇 1-pentanol	788	1282	油气味	0	0	0	0	0.96	0.36	MS, RI, GCO
	16.534	反-2-戊烯-1-醇 (E)-2-penten-1-ol	798	1334	未成熟果香	0	0	0.22	0	0	0	MS, RI
	16.784	顺-2-戊烯-1-醇 (Z)-2-penten-1-ol	759	1343	清香	1.04	1.41	0.9	0.52	0	0.89	MS, RI
	17.595	己醇 1-hexanol	912	1372	果香	26.14	16.29	23.53	9.91	23.68	17.77	MS, RI, GCO
	17.857	反-3-己烯-1-醇 (E)-3-hexen-1-ol	728	1382	青草香	0.87	0	0	0	0	0	MS, RI, GCO
	18.425	顺-3-己烯-1-醇 (Z)-3-hexen-1-ol	916	1402	青草香	4.29	3.11	3.57	1.78	6.46	3.95	MS, RI, GCO
	18.576	3-辛醇 3-octanol	840	1408	蘑菇香	1.41	0	1.5	0	0	0	MS, RI, GCO
	18.964	反-2-己烯-1-醇 (E)-2-hexen-1-ol	917	1422	未成熟果香	4.72	3.87	5.01	3.02	7.26	3.7	MS, RI, GCO
	20.246	1-庚醇 1-heptanol	755	1471	青草, 甜香, 坚果香	1.84	0	1.54	0	0	0	MS, RI, GCO
	21.086	2-乙基-1-己醇 2-ethyl-1-hexanol	728	1503	特殊气味	0.59	0.96	0.72	0.56	0	0	MS, RI
	22.818	正辛醇 1-octanol	748	1572	青草香	1.16	0	0.77	0	0	0	MS, RI, GCO
	25.272	1-壬醇 1-nonanol	729	1675	玫瑰香, 橙花香	1.04	0	0.6	0	0	0	MS, RI
醛类	25.739	3-呋喃甲醇 3-furanmethanol	787	1694	苦辣味	0.44	1.15	0.33	0	0.69	0.77	MS, RI, GCO
	30.173	苯甲醇 benzyl alcohol	756	1895	花香	0	0	0.55	0.64	0	1.31	MS, RI, GCO
	30.954	苯乙醇 phenylethyl alcohol	764	1932	玫瑰香	0	0	0.24	0.20	0	0.29	MS, RI, GCO
	9.632	己醛 hexanal	757	1098	刺激性气味	0	3.55	0	3.14	0	3.45	MS, RI
	13.572	反-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	775	1231	绿叶香, 水果香	2.01	2.5	1.19	1.09	2.88	1.43	MS, RI, GCO
	15.86	反-2-庚烯醛	724	1314	青草香, 刺激臭	0	0	0	0	1.63	0	MS, RI, GCO
	18.328	壬醛 nonanal	754	1398	玫瑰香	0	0.54	0	0	0	0.52	MS, RI, GCO
	19.401	反-2-辛烯醛 (E)-2-octenal	754	1424	青叶香	0	0	0	0	0.32	0.26	MS, RI, GCO
	20.408	糠醛 furfural	731	1477	苦杏仁味	0	0	0	0	0	1.56	MS, RI
	21.969	苯甲醛 benzaldehyde	792	1538	杏仁味	0	0	0	3.16	0.86	3.43	MS, RI, GCO
酮类	5.3	2-丁酮 2-butanol	756	920	辛辣甜味	0	0	4.86	0	0	2.17	MS, RI, GCO
酸类	20.068	乙酸 acetic acid	858	1464	酸味	5.43	9.44	5.4	7.66	7.95	11.82	MS, RI, GCO
	22.344	丙酸 propanoic acid	805	1554	酸臭	1.56	2.97	5.13	14.35	1.15	6.29	MS, RI, GCO
	24.559	丁酸 butanoic acid	714	1645	干酪香	1.52	2.37	2.78	6.16	1.3	3.78	MS, RI, GCO
	27.112	戊酸 pentanoic acid	889	1755	酸败味	2.02	4.23	3.59	23.55	1.17	4.63	MS, RI, GCO
	29.517	己酸 hexanoic acid	767	1864	汗臭味	1.27	1.91	1.06	0.92	0	0	MS, RI, GCO
	33.98	辛酸 octanoic acid	795	2082	羊脂香	0.19	0	0	0	0	0	MS, RI, GCO
酚类	32.752	苯酚 phenol	781	2020	特殊臭味	0.17	0.32	0.12	0.20	0	0	MS, RI, GCO
	34.274	对甲苯酚 p-cresol	765	2097	特殊臭味	0	0	0.21	0.50	0.09	0.20	MS, RI
	36.003	4-乙基苯酚 4-ethyl-phenol	781	2191	药香, 酚香	0.33	0.53	0.23	0.11	0.15	0.20	MS, RI, GCO
酯类	5.106	乙酸乙酯 ethyl acetate	724	910	水果香	8.46	0	0	0	0	0	MS, RI, GCO
	14.887	乙酸己酯 acetic acid, hexyl ester	938	1276	梨香, 苹果香	6.53	0	0	0	0	0	MS, RI, GCO
	14.927	乙酸戊酯 acetic acid, pentyl ester	730	1278	果香	0	0	0.77	0	0	0	MS, RI
	33.404	γ-壬内酯 dihydro-5-pentyl-2(3H)-furanone	785	2053	椰子香	0.30	0.48	0.24	0	0	0.4	MS, RI, GCO
醚类	9.385	二甲基二硫醚 dimethyl disulfide	860	1089	洋葱香	6.56	6.52	5.22	3.36	28.76	9.55	MS, RI, GCO
	18.066	二甲基三硫醚 dimethyl trisulfide	738	13896	蔬菜香	1	0	2.05	0.81	1.49	0	MS, RI, GCO
呋喃	12.235	2-戊基呋喃 2-pentyl-furan	796	1186	果香, 青香	0	0.40	0.68	0.73	0	0.21	MS, RI

注: a. 实验员在嗅闻口闻到的香味描述; b. 定性定量结果; c. HGS-R为护国寺生豆汁; d. HGS-C为护国寺熟豆汁; e. JX-R为锦馨生豆汁; f. JX-C为锦馨熟豆汁; g. CQK-R为老磁器口生豆汁; h. CQK-C为老磁器口熟豆汁; i. MS指在质谱中检测到、RI指根据文献报道或标样的RI值确定、GCO指在嗅闻口处嗅闻到。

被测总峰面积的7.56%。其中含量较为丰富的物质有甲硫醇、己醇、反-2-己烯-1-醇、乙酸、乙酸乙酯、乙酸己酯、二甲基二硫醚。与其他2家豆汁相比, 护国寺豆汁酸臭味明显, 颜色灰绿, 发酵程度恰当, 浓稠度适中。嗅闻结果表明, 醇类、酸类、酯类是对护国寺豆汁贡献较大的风味物质。

根据表2可知, 护国寺熟豆汁中共存在22种风味物质, 其中醇类9种占被测总峰面积的64.24%, 醛类3种占被测总峰面积的6.59%, 酸类5种占被测总峰面积的20.92%, 酚类2种占被测总峰面积的0.85%, 酯类1种占被测总峰面积的0.48%, 醚类1种占被测总峰面积的

表 2 不同来源豆汁的风味物质构成及相对含量
Table 2 Volatile composition of Douzhir from different manufactures

风味物质	护国寺				锦馨				老磁器口			
	生豆汁		熟豆汁		生豆汁		熟豆汁		生豆汁		熟豆汁	
	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%
醇类	14	62.65	9	64.24	16	66.47	10	34.26	8	52.25	10	50.1
醛类	1	2.01	3	6.59	1	1.19	3	7.39	4	5.69	6	10.65
酮类	0	0	0	0	1	4.86	0	0	0	0	1	2.17
酸类	6	11.99	5	20.92	5	17.96	5	52.64	4	11.57	4	26.52
酚类	2	0.5	2	0.85	3	0.56	3	0.81	2	0.24	2	0.4
酯类	3	15.29	1	0.48	2	1.01	0	0	0	0	0	0.4
醚类	2	7.56	1	6.52	2	7.27	2	4.17	2	30.25	1	9.55
呋喃类	0	0	1	0.4	1	0.68	1	0.73	0	0	1	0.21
总量	28	100	22	100	31	100	24	100	20	100	25	100

6.52%，呋喃类1种占被测总峰面积的0.4%。其中含量较为丰富的有甲硫醇、己醇、乙酸、二甲基二硫醚，这些物质的含量较生豆汁已大大减少，使口感更为柔和圆润，刺激性大大减少。

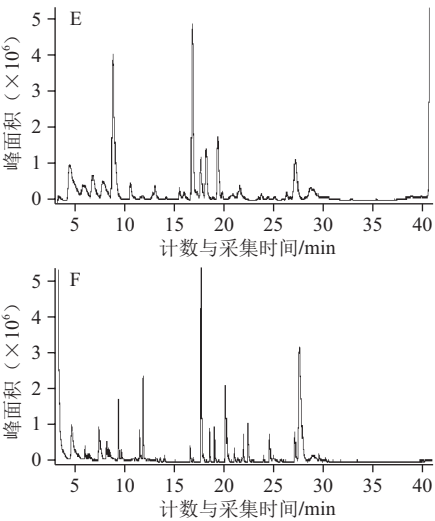
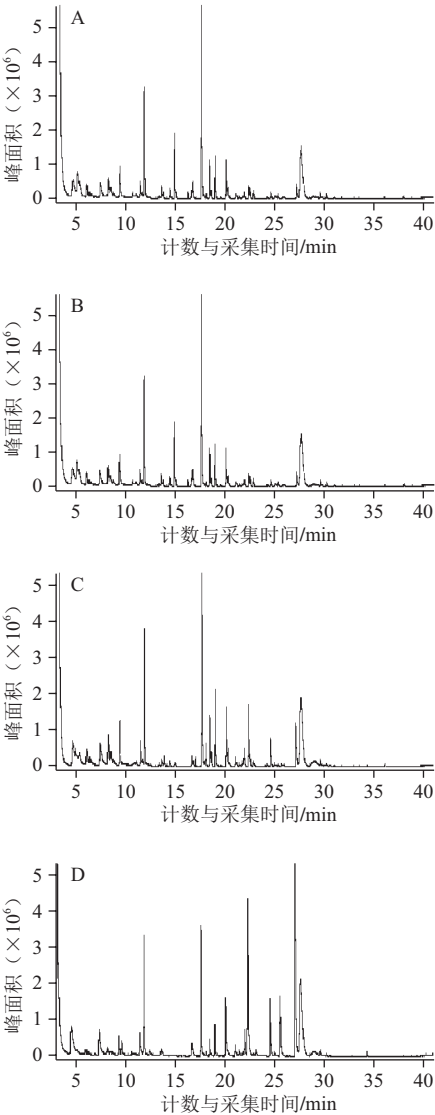


图 2 护国寺生豆汁 (A)、护国寺熟豆汁 (B)、锦馨生豆汁 (C)、锦馨熟豆汁 (D)、老磁器口生豆汁 (E)、老磁器口熟豆汁 (F) 的挥发性风味物质质谱图

Fig.2 Mass spectra of raw Huguosi Douzhir (A), cooked Huguosi Douzhir (B), raw Jinxin Douzhir (C), cooked Jinxin Douzhir (D), cooked Laociqikou Douzhir (E) and cooked Laociqikou Douzhir (F)

锦馨生豆汁所含的风味物质种类最多，为31种，其中醇类16种占被测总峰面积的66.47%，醛类1种占被测总峰面积的1.19%，酮类1种占被测总峰面积的4.86%，酸类5种占被测总峰面积的17.96%，酚类3种占被测总峰面积的0.56%，酯类2种占被测总峰面积的1.01%，醚类2种占被测总峰面积的7.27%，呋喃类1种占被测总峰面积的0.68%。其中含量较为丰富的物质有甲硫醇、乙醇、2-丁醇、己醇、顺-3-己烯-1-醇、2-丁酮、乙酸、丙酸、丁酸、戊酸、二甲基二硫醚，这些物质使锦馨豆汁的酸臭味更加突出，口感上酸味更加强烈。

锦馨熟豆汁中共含有24种风味物质，其中醇类10种占被测总峰面积的34.26%，醛类3种占被测总峰面积的7.39%，酸类5种占被测总峰面积的52.64%，酚类3种占被测总峰面积的0.81%，醚类2种占被测总峰面积的4.17%，

呋喃类1种占被测总峰面积的0.73%。其中含量较为丰富的物质有甲硫醇、己醇、反-2-己烯-1-醇、己醛、苯甲醛、乙酸、丙酸、丁酸、戊酸、二甲基二硫醚,其中大部分物质的含量较生豆汁大大减少,但乙酸、丙酸、丁酸、戊酸的含量有所增加,口感酸味更加强烈。

老磁器口生豆汁中共含有21种物质,其中检测出醇类8种占被测总峰面积的52.25%,醛类4种占被测总峰面积的5.69%,酸类4种占被测总峰面积的11.57%,酚类2种占被测总峰面积的0.24%,醚类2种占被测总峰面积的30.25%。豆汁颜色呈豆沙色,酸臭味适中,口感较为浓稠。此豆汁中的醛类物质丰富,特别是反-2-辛烯醛、苯甲醛、10-十八烯醛等是老磁器口豆汁区别于其他2家豆汁的主要风味物质,它们赋予豆汁脂肪香、苦杏仁味,使豆汁整体风味更加柔和,更易被人们接受。

老磁器口熟豆汁中共含有26种风味物质,其中醇类10种占被测总峰面积的50.1%,醛类6种占被测总峰面积的10.65%,酮类1种占被测总峰面积的2.17%,酸类4种占被测总峰面积的26.52%,酚类2种占被测总峰面积的0.4%,酯类1种占被测总峰面积的0.4%,醚类1种占被测总峰面积的9.55%,呋喃类1种占被测总峰面积的0.21%。其中含量最为丰富的物质有甲硫醇、乙醇、己醇、顺-3-己烯-1-醇、反-2-己烯-1-醇、己醛、糠醛、乙酸、丙酸、戊酸、己酸、二甲基二硫醚,老磁器口豆汁中的醛类物质的种类和含量特别丰富,使其风味较其他2家更为强烈、独特,香气更加浓郁,具有独特的粮食香味。

以上结果分析表明,豆汁风味物质相对含量较丰富的主要是醇类、醛类、酸类和醚类(含硫化物),而形成豆汁酸臭味的关键性物质为酸类和含硫化物,酸类物质包括乙酸、丙酸、丁酸、戊酸、己酸、辛酸,其种类和相对含量十分丰富,这些物质的阈值较低^[20-21],使得豆汁的风味更具有穿透性。含硫化物包括甲硫醇、二甲基二硫醚、二甲基三硫醚,这些物质具有葱蒜味及烂白菜的味道,且其含量丰富,因此赋予豆汁独特的“臭味”^[22-24]。

2.2 不同品种豆汁产品的感官品质分析

		表3 豆汁产品感官评价			
		Table 3 Sensory evaluation of Douzhir products			
品种	来源	感官指标			
		颜色	风味	口感	组织形态
生豆汁	护国寺	灰绿色	酸臭味适中	口感柔和,绿豆味较香,细腻爽口	浓稠度适中
	锦馨	灰绿色	酸臭味稍浓	口感较为柔和,绿豆味明显,细腻爽口	浓稠度适中
	老磁器口	豆沙色	酸臭味适中	口感柔和,绿豆味浓郁,细腻爽口	浓稠度适中
熟豆汁	护国寺	浅黄绿色	酸臭味较轻,有豆香味	入口清甜,其后酸味较重	浓稠度适中
	锦馨	灰白色	酸味较浓	入口酸味较重,风味甘甜	较为浓稠
	老磁器口	深黄灰色	酸味很淡,有浓厚的粮食香味	酸味较为尖锐,酸味较重	浓稠度适中

由表3可知,比较3家豆汁店的豆汁产品,风味物质种类最为丰富的是锦馨小吃店产品,其次为护国寺小吃

店产品,最后为老磁器口豆汁店产品。其中护国寺与锦馨小吃店的产品在色泽、口感,组织状态及风味物质的组成上较为相似,而老磁器口小吃店的豆汁产品较其他2家有很大不同,其产品在色泽上为豆沙色,不同于其他的灰绿色;在风味物质组成上,含有较多的醛类物质(己醛、反-2-己烯醛、反-2-庚烯醛、壬醛、反-2-辛烯醛、糠醛、苯甲醛),醛类物质的阈值较低,它们赋予豆汁青香、坚果香和脂肪香,因此使得老磁器口豆汁产品香气更加浓厚。

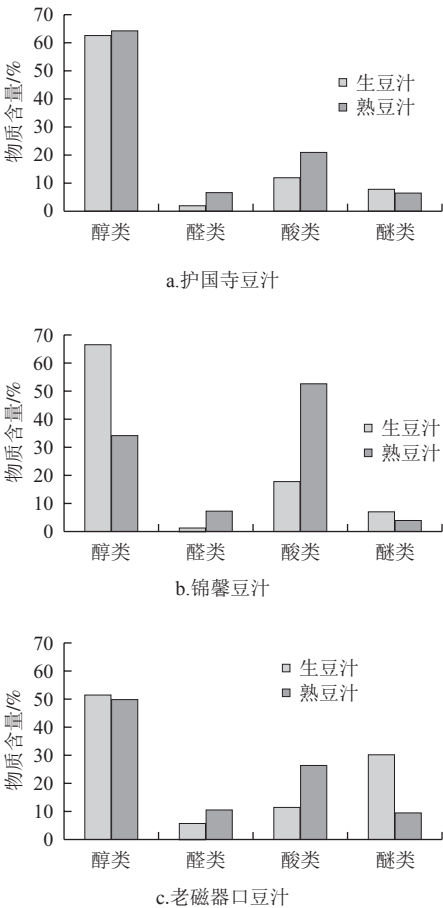


图3 生、熟豆汁各类风味物质含量对比
Fig.3 Comparison of the contents of different chemical classes of compounds in raw and cooked Douzhir

根据表1和图3分析可见,豆汁加热后损失较多的为醇类和醚类物质。一些物质,特别像正己醇、顺-3-己烯-1-醇、反-2-己烯-1-醇、乙酸乙酯、二甲基二硫醚,具有低沸点、高挥发性的特点^[25-26],因此在加热过程中更容易损失。醚类物质的减少,使豆汁的臭味减轻,风味更加柔和。豆汁加热后醛类和酸类物质相对含量增加明显。熟豆汁中酸类物质占有风味化合物的含量较生豆汁大大增加,与感官评价结果相一致,生豆汁入口酸味较淡,而熟豆汁入口酸味明显,这也是熟豆汁较生豆汁口感上酸味更浓厚的主要原因。在豆汁加热蒸煮的过程

中,会发生一些新的化学反应,因此产生了新的风味物质:己醛、壬醛、糠醛、苯甲醛。与生豆汁相比,醛类物质含量的增加使熟豆汁风味更加醇厚香甜。它们的产生,可能是由于加热使醇类物质脱水形成醛类物质,也可能是多肽、氨基酸遇热分解产生。其中所有豆汁样品中共同含有的醛类物质为反-2-己烯醛(C_6 化合物),己醛、己烯醛类芳香族醛类主要是通过脂肪氧合酶-氢过氧化物裂解酶途径生成^[27]。

由于蒸煮处理,部分具有酸味、奶酪味、腐败味的风味物质的损失,熟豆汁的口感更加柔和饱满,更易被消费者接受。

3 讨论

采用SPME方法提取老北京豆汁中的挥发性成分,经GC-O-MS分析生豆汁中共鉴定出39种风味化合物,其中醇类18种、醛类4种、酮类1种、酸类6种、酚类3种、酯类1种、醚类2种、呋喃类1种;熟豆汁中共鉴定出31种风味化合物,其中醇类12种、醛类6种、酮类1种、酸类5种、酚类3种、酯类1种、醚类2种、呋喃类1种。风味物质种类最为丰富的是锦馨小吃店产品,其次为护国寺小吃店产品,最后为老磁器口豆汁店产品。由于豆汁是采用天然混合菌发酵,不同地区所存在的天然菌种类和含量存在差异,因此造成风味物质差异的原因可能是由于发酵菌种的不同引起,也可能与原料品种差别有关。

从豆汁中鉴定出的挥发性成分的香气特征来看,酸类和含硫类化合物是豆汁主要的呈香成分,分别赋予豆汁酸香和硫臭气息。构成豆汁风味的主要物质是醇类、醛类、酸类和醚类(含硫化合物)。熟豆汁中酸类物质的相对含量较生豆汁大大增加,使熟豆汁较生豆汁口感上酸味更浓厚。部分具有酸味、奶酪味、腐败味的风味物质的损失,使熟豆汁的口感更加柔和饱满。

参考文献:

- [1] 丁玉振,张绍英,梁尽祎,等.北京传统小吃“豆汁”制作工艺研究[J].食品科学,2010,31(2):280-283.
- [2] 孟鹭,乔宇,康旭,等.同时蒸馏萃取、溶剂萃取和顶空固相微萃取与GC-MS联用分析甜面酱的挥发性成分[J].中国调味品,2011,36(1):97-100.
- [3] GOMEZ E, LEDBETTER C A. Development of volatile compounds during fruit maturation: characterization of apricot and plum× apricot hybrids[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997, 74(4): 541-546.
- [4] TAKEOKA G R, FLATH R A, MON T R, et al. Volatile constituents of apricot (*Prunus armeniaca*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(2): 471-477.
- [5] 黄江艳,李秀娟,潘思铁.固相微萃取技术在食品风味分析中的应用[J].食品科学,2012,33(7):289-298.
- [6] EISERT R, LEVSEN K. Solid-phase microextraction coupled to gas chromatography: a new method for the analysis of organics in water[J]. Journal of Chromatography A, 1996, 733(1): 143-157.
- [7] 李锋,华欲飞.大豆酸奶的风味物质研究[J].中国乳品工业,2004,32(12):19-21;42.
- [8] CHUNG H Y. Volatile components in fermented soybean (*Glycine max*) curds[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47(7): 2690-2696.
- [9] DELGADO F J, GONZALE C J, CAVA R, et al. Formation of the aroma of a raw goat milk cheese during maturation analysed by SPME-GC-MS[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 1156-1163.
- [10] LI Ning, ZHENG Fuping, CHEN Haitao, et al. Identification of volatile components in Chinese Sinkiang fermented camel milk using SAFE, SDE, and HS-SPME-GC/MS[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 1242-1252.
- [11] FRIEDRICH J E, ACREE T E. Gas chromatography olfactometry (GC/O) of dairy products[J]. International Dairy Journal, 1998, 8(3): 235-241.
- [12] PLUTOWSKA B, WARDENCKI W. Application of gas chromatography-olfactometry (GC-O) in analysis and quality assessment of alcoholic beverages: a review[J]. Food Chemistry, 2008, 107(1): 449-463.
- [13] MARTI M P, MESTRES M, SALA C, et al. Solid-phase microextraction and gas chromatography olfactometry analysis of successively diluted samples. A new approach of the aroma extract dilution analysis applied to the characterization of wine aroma[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(27): 7861-7865.
- [14] LIN J, ROUSEFF R L. Characterization of aroma-impact compounds in cold-pressed grapefruit oil using time-intensity GC-olfactometry and GC-MS[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2001, 16(6): 457-463.
- [15] MARILLEY L, CASEY M G. Flavours of cheese products: metabolic pathways, analytical tools and identification of producing strains[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 90(2): 139-159.
- [16] ACHOURI A, BOYE J I, ZAMANI Y. Identification of volatile compounds in soymilk using solid-phase microextraction-gas chromatography[J]. Food Chemistry, 2006, 99(4): 759-766.
- [17] POVOLO M, CABASSI G, PROFIAZER M, et al. Study on the use of evolved gas analysis FT-IR (EGA FT-IR) for the evaluation of cheese volatile fraction[J]. Open Food Science Journal, 2011, 5: 10-16.
- [18] SONG H, CADWALLADER K R. Aroma components of American country ham[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(1): C29-C35.
- [19] IWASAWA A, SUZUKI-IWASHIMA A, IIDA F, et al. Effects of flavor and texture on the desirability of cheddar cheese during ripening[J]. Food Science and Technology Research, 2014, 20(1): 23-29.
- [20] RACKIS J J, SESSA D J, HONIG D H. Flavor problems of vegetable food proteins[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 1979, 56(3): 262-271.
- [21] 汪立君,李里特,齐藤昌义,等.大豆发酵食品风味物质的研究[J].食品科学,2004,25(1):66-69.
- [22] 黄友如,华欲飞,裘爱泳.大豆蛋白制品风味物质分析[J].粮食与油脂,2005(7):7-10.
- [23] 苗志伟,刘玉平,黄明泉,等.豆汁熬制过程中挥发性香成分的变化[J].中国食品学报,2013,13(2):199-204.
- [24] BESHKOVA D, SIMOVA E, FRENGOVA G, et al. Production of flavour compounds by yogurt starter cultures[J]. Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, 1998, 20(3/4): 180-186.
- [25] 张美艳,孟宏昌.蒸煮工艺对砀山梨汁香气组成的影响[J].食品与发酵工业,2013,39(4):142-145.
- [26] 周非白,孙为正,赵谋明.广式腊肠挥发性风味物质的形成机理及贮存与发酵的影响[J].食品与发酵工业,2012,38(3):18-23.
- [27] 贾惠娟.水果香气物质研究进展[J].福建果树,2007(2):31-34.