

不同品种稻米的米饭风味分析

张敏^{1,2}, 苗菁², 苏慧敏¹, 王子元^{1,2}

(1.北京食品营养与人类健康高精尖创新中心, 北京工商大学, 北京 100048;

2.北京市食品添加剂工程技术研究中心(北京工商大学), 北京 100048)

摘要:采用固相微萃取结合气相色谱-嗅闻-质谱技术对7种籼米、4种粳米共11种米饭样品的风味化合物进行分析。结果表明, 粳米中风味化合物种类略高于籼米。米饭中关键风味化合物在粳米、籼米样品中存在显著差异, 2-乙酰基-1-吡咯啉在籼米样品中未被检出; 4-乙烯基苯酚只在粳米中被检测出; 香草醛在粳米中的相对含量显著高于籼米; 而籼米中1-辛烯-3-醇、戊醛、己醛的相对含量显著高于粳米。利用米饭风味物质的主成分分析方法, 可以区分出粳米与籼米的品种差异。

关键词: 籼稻; 粳稻; 米饭; 风味; 主成分分析

Analysis of Flavor Compounds in Different Varieties of Cooked Rice

ZHANG Min^{1,2}, MIAO Jing², SU Huimin¹, WANG Ziyuan^{1,2}

(1. Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing Technology & Business University, Beijing 100048, China; 2. Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives,

Beijing Technology & Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: Solid phase micro-extraction combined with gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry (SPME-GC-O-MS) was used to analyze the flavor compounds of cooked rice from seven indica rice cultivars and four japonica rice cultivars. The results showed that cooked japonica rice was slightly richer in volatile flavor compounds than cooked indica rice. The key flavor compounds of cooked indica and japonica rice were significantly different. Specifically, 2-acetyl-1-pyrroline was not detectable in indica rice samples while 4-vinylphenol was only detectable in japonica rice. The content of vanillin in japonica rice was significantly higher than in indica rice. However, the contents of 1-octene-3-ol, pentanal and hexanal in indica rice were significantly higher than in japonica rice. Thus, through principal component analysis (PCA) of the flavor components of cooked rice, we distinguished between indica and japonica rice.

Key words: indica rice; japonica rice; cooked rice; flavor; principal component analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716017

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)16-0110-05

引文格式:

张敏, 苗菁, 苏慧敏, 等. 不同品种稻米的米饭风味分析[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 110-114. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716017. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Min, MIAO Jing, SU Huimin, et al. Analysis of flavor compounds in different varieties of cooked rice[J]. Food Science, 2017, 38(16): 110-114. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201716017. <http://www.spkx.net.cn>

自古以来, 米饭都是中国人最重要的主食之一。我国地域辽阔, 地形气候复杂, 稻米的品种及食用品质繁杂多样。根据大米的外形、营养物质含量等差异, 通常将稻米分为粳稻、籼稻、糯稻等。一般来说, 籼稻粒型长而窄、直链淀粉含量较多、黏性小; 粳稻则与其相反。有关两类稻米制作的米饭所产生风味物质, 研究报道较少。随着生活水平的逐渐提高, 人们对于米饭的要求不再停留于果腹

之需, 而是更注重米饭的品质及风味, 对于不同地域、不同品种的米饭风味研究尤为必要。

近年来, 食品风味的研究方兴未艾。固相微萃取(solid-phase microextraction, SPME)作为一种新型风味物质提取技术, 具有操作简单、化合物提取进样一体化、样品消耗少、快速简单、重复性好等特点, 已被广泛应用于挥发性物质的测定中。杨江帆等^[1]采

收稿日期: 2016-12-14

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31371830)

作者简介: 张敏(1972—), 女, 教授, 博士, 研究方向为粮食、油脂与植物蛋白工程。E-mail: xzm7777@sina.com

用SPME结合气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 方法检测出茉莉花茶香气的关键性风味化合物。陈海涛等^[2]采用SPME-GC-MS检测出羊肉的挥发性风味成分。卢晓丹等^[3]采用SPME-GC-MS对豆汁的挥发性成分进行了研究。此外, 牛肉、猪肉、腌肉等肉类产品^[4-5], 牛奶、酸奶等奶类制品^[6-7], 花生油^[8]、油茶籽油^[9]、洋葱籽油^[10]、橄榄油^[11]等食用油类产品, 黄酒^[12]、葡萄酒^[13]、白酒^[14]等酒类产品, 苹果、桃等水果^[15-17]的风味物质分析鉴定, 均在不断报道。

随着食品风味化学测试手段和技术的进步, 关于米饭风味化合物的研究也在深入。应兴华等^[18]通过SPME-GC-MS法研究表明, 2-乙酰基-1-吡咯啉可使米饭呈现甜香气味, 而乙酸乙酯、辛酸乙酯等酯类物质可对米饭风味起烘托作用, 使米饭香气更加温润、饱满。Park等^[19]发现2-甲基-3-呋喃硫醇和2-乙酰-1-吡咯啉是韩国非香稻“Choochung”中风味活性最强的化合物, 2-甲基-3-呋喃硫醇首次被认为是非香稻潜在的风味活性化合物。Zeng Zhi等^[20]研究发现, 某些有机杂环化合物如吡嗪、吡啶及呋喃类化合物与米饭甜香味有密切关系。另有研究证实, 醛类化合物是米饭香气的主要评价指标, 而米饭中吡嗪类及吡啶类化合物含量与米饭品质呈现正相关关系^[20]。

本研究在前期确定米饭关键风味化合物成分的研究基础上^[21], 采用SPME结合气相色谱-嗅闻-质谱 (gas chromatography-olfactometry-mass spectrometry, GC-O-MS) 技术对我国不同地域生产的7种籼米、4种粳米样品所蒸煮出的米饭风味化合物进行分析鉴定, 旨在区分粳米、籼米的米饭风味组成, 为米饭主食工业化生产提供科学依据和理论参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料、试剂与仪器

7种籼米样品购自广西水稻研究所, 编号1~7的品种分别为桂育9号、龙丰优139、特优831、龙丰优1号、特优7571、美优622、丰田优533; 4种粳米样品购于黑龙江省三江平原主产地, 编号8~11的品种分别为昌优3号、稻花香、沙沙泥、稻香509。

7890A-7000B型GC-MS联用仪 (配有电子电离源及NIST 11数据库)、手动SPME装置、30/50 μm 二乙基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷 (divinylbenzene/carboxen/polydimethylsiloxane, DVB/CAR/PDMS) 萃取头、萃取手柄 美国Agilent公司; DB-Wax毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm) 美国J&W公司; Sniffer-9000嗅闻检测器 德国Gerstel公司; Sniffer 9000嗅闻仪 瑞士Brechtbuhler公司。

1.2 方法

1.2.1 大米样品的制备

11种稻谷样品经过实验砻谷机脱壳处理后, 再通过8 min实验碾米机进行碾磨处理, 得到不同品种的大米样品。

1.2.2 米饭样品的制备

参照GB/T 15682—2008《粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》小量样制备米饭, 并适当改进。称取大米样品置于带盖密闭铝盒中, 加入适量蒸馏水淘洗, 按水米质量比1.5:1向铝盒中加入蒸馏水, 在25 $^{\circ}\text{C}$ 浸泡30 min后, 上笼蒸煮30 min, 然后保温焖制15 min^[21]。

1.2.3 米饭风味物质的提取

将30/50 μm DVB/CAR/PDMS萃取头在GC进样口老化, 老化温度250 $^{\circ}\text{C}$, 时间为10 min。取5 g米饭和10 μL 质量浓度为0.163 2 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 的2-甲基-3-庚酮溶液置于40 mL顶空瓶中, 用封口膜封好, 置于50 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡20 min。萃取针顶空吸附40 min后拔出萃取针, 在温度为250 $^{\circ}\text{C}$ 的进样口中解吸5 min, 进行GC-O-MS分析^[22]。

1.2.4 GC-O-MS分析条件

GC条件: DB-WAX毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm, 0.25 μm); 载气为氦气; 流速1.2 mL/min; 升温程序: 初温40 $^{\circ}\text{C}$, 保持3 min, 以1.5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温到65 $^{\circ}\text{C}$, 再以2 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到120 $^{\circ}\text{C}$, 保持1 min, 最后以15 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升到280 $^{\circ}\text{C}$, 保持5 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。

嗅觉检测器接口温度200 $^{\circ}\text{C}$; 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。

1.2.5 米饭风味物质的分析

定性分析: 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。若无标准化合物, 则通过与芳香特性进行比对鉴定, 从而确定米饭风味化合物的种类。化合物RI按下式计算, 利用系列正构烷烃换算而成。

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

式中: t_a 为样品a的保留时间/min; t_n 为正构烷烃 C_n 的保留时间/min; 样品a的保留时间在正构烷烃 C_n 和 C_{n+1} 之间。

定量分析: 采用峰面积归一法进行计算。

1.3 数据统计分析

采用Excel和DPS软件进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 米饭样品中的风味化合物相对含量

表1 籼米中鉴定出的米饭风味化合物分析
Table 1 Volatile favor compounds identified in long-shaped rice

物质名称	RI	气味特征	相对含量/%								
			1号	2号	3号	4号	5号	6号	7号		
醛类	戊醛	pentanal	975	木香、水果香	0.9	3.7	3.6	0	4.5	6.7	0
	己醛	hexanal	1070	青草味	5.5	6.2	4.7	5.2	4.4	4.1	4.6
	庚醛	heptanal	1178	水果香	1.9	3.2	2.7	2.8	2.5	2.3	3.2
	辛醛	octanal	1280	青草、柑橘味	1.1	2.8	3.1	3.1	2.5	2.2	2.4
	壬醛	nonanal	1381	柑橘、肥皂味	4.2	5.4	3.7	3.5	2.1	2.5	2.7
	反-2-己烯醛	(E)-2-hexenal	1229	绿叶香	4.9	6.1	5.9	5.8	4.9	5.5	6.4
	反-2-庚烯醛	(E)-2-heptenal	1329	草本味	0.5	1.7	2.8	3.9	4.6	3.5	5.9
	反-2-辛烯醛	(E,E)-2,4-heptadienal	1425	青草、脂肪味	4.2	4.1	4.9	5.4	3.9	4.3	3.1
	糠醛	furfural	1378	苦杏仁味	0.4	1.6	0	2.8	0.9	0	1.3
	苯甲醛	benzaldehyde	1521	坚果味、苦味	2.1	1.8	2.0	1.4	2.7	1.8	2.6
	3-甲基丁醛	3-methyl butyraldehyde		麦芽味	0	0	0.8	1.1	1.0	0	0
	香草醛	vanillin	2565	香草味	0.2	0.7	0.2	0.4	0.3	0.5	0.2
	乙醇	ethanol	947	酒精味	0	1.2	0	0	0.7	0.6	0.4
	1-辛烯-3-醇	1-octene-3-ol	1445	蘑菇味、土味	3.9	3.8	4.2	3.2	2.1	2.5	3.3
	1-戊醇	1-pentanol	1308	水果味	0.2	2.7	4.1	3.5	3.6	3.4	3.5
醇类	2-甲基-1-丁醇	2-methyl-1-butanol	1795	花香味	0.3	0	1.6	0.5	0.9	1.5	1.4
	己醇	hexanol	1300	果香味	0	0.4	0.5	0	0.5	0.3	0.7
	1-庚醇	1-heptanol	1339	甜香、坚果味	0.5	0.9	0.4	1.6	1.1	0.8	1.2
酮类	2,3-丁二酮	2,3-butanedione	1055	清香味	0.5	0.9	0.4	0.6	1.1	0.8	1.2
	3-巯基-2-丁酮	3-mercapto-2-butanone	1273	熟大米味	0.3	0	0.4	0	0.5	0	0.8
酯类	乙酸甲酯	acetate	929	清香、甜香味	0.7	1.1	0.6	0.9	0.8	1.2	0.9
	乙酸乙酯	ethyl acetate	900	水果香味	0	0	0.3	1.3	1.1	0	0.8
	4-乙基愈创木酚	4-vinyl guaiacol	2178	坚果味	0.8	1.9	1.8	1.5	1.2	1.4	2.1
酚类	4-甲基-2-甲氧基苯酚	4-methyl-2-methoxyphenol	1204	甜味	0	2.1	2.3	2.4	1.4	1.7	0
	2-甲氧基苯酚	2-methoxy-phenol	1183	烟熏味	0.4	1.3	2.1	2.4	1.1	0.9	1.6
	吲哚	indole	2430	臭味	0	0.2	0.5	1.6	1.1	0.6	1.6
	甲苯	toluene		水果味	1.4	0.7	1.3	0.7	1.2	0.3	2.3
其他	2-戊基呋喃	2-pentyl furan	1180	果香味	2.8	1.8	1.3	0.9	2.3	2.5	2.4
	2-正丁基呋喃	2-n-butyl furan	2109	特殊气味	0	0	0	2.2	2.3	0	0
	乙酸	acetic acid	1460	酸味	1.1	0	0.2	0.5	0.8	0	0.9
	萘	naphthalene	1722	刺激性气味	0.7	1.1	0.7	0.3	0.4	1.9	1.2

如表1、2所示，在1~7号籼米品种中，分别检测出24、25、28、27、31、25、27种风味物质。这与彭智辅等^[23]获得的大米香气成分结果相类似。醛类^[24]物质所占的比例为25.9%~37.3%，在所有物质类别中所占比例最大，是风味成分的主要贡献者；其次是醇类物质，1号样品中的醇类物质所占比例最小，仅为4.9%，而3号品种的醇类物质高达相对含量10.8%，醇类物质在不同籼稻样品间的相对含量差异较明显。具有熟大米气味的3-巯基-2-丁酮只存在于部分品种的籼米米饭风味中；2-乙酰基-1-吡咯啉这一香米特有的米饭特征风味物质并未在籼米米饭中检出，这与已有文献^[25]报道相一致。

8、9、10、11号4种籼稻米饭分别检测到28、31、

30、34种风味物质。从风味化合物的种类上，籼米略高于粳米。醛类物质在种类和相对含量上均为粳稻米饭风味的主要贡献者，8号样品的醛类物质相对含量最高，达32.9%，其次是9号样品相对含量为29.4%，11号样品相对含量为26.8%，10号样品相对含量为24.4%。相对含量居第2位的是醇类物质，具有蘑菇风味的1-辛烯-3-醇^[26]相对含量不高，但因其阈值较低，故在4种籼米样品中都可以在嗅闻口处清晰地嗅闻到。酮类物质种类较少，只有2种，但9号样品中其相对含量高达10.7%；特别是3-巯基-2-丁酮作为含硫化合物，可以给米饭中增添熟大米风味。酯类及酚类物质的相对含量较低，它们烘托出米饭香气，使米饭风味更加浓厚。

表2 粳米中鉴定出的米饭风味化合物分析
Table 2 Volatile favor compounds identified in round-shaped rice

物质名称	RI	气味特征	相对含量/%					
			8号	9号	10号	11号		
戊醛	pentanal	975	木香、水果香	0	2.1	1.2	2.2	
己醛	hexanal	1070	青草味	3.1	4.0	1.6	3.9	
庚醛	heptanal	1178	水果香	2.8	2.8	1.9	2.4	
辛醛	octanal	1280	青草、柑橘味	0.9	2.2	3.4	4.9	
壬醛	nonanal	1381	柑橘、肥皂味	4.4	1.4	3.5	2.4	
反-2-己烯醛	(E)-2-hexenal	1229	绿叶香	7.1	0	0	0.5	
反-2-庚烯醛	(E)-2-heptenal	1329	草本味	2.2	1.6	2.8	2.3	
反反-2,4-庚二烯醛	(E,E)-2,4-heptadienal	1638	脂肪味	4.9	1.2	0.5	0.6	
反-2-辛烯醛	(E)-2-octenal	1425	青草、脂肪味	0	2.4	0	1.9	
糠醛	furfural	1378	苦杏仁味	4.5	5.7	3.6	1.5	
4-羟基-3-甲氧基苯甲醛	vanilla		苦味	0	1.5	0.7	1.5	
苯甲醛	benzaldehyde	1521	坚果味、苦味	2.0	0.9	1.6	0.6	
3-甲基丁醛	3-methyl butyraldehyde		麦芽味	0.4	2.9	2.1	1.3	
香草醛	vanillin	2565	香草味	0.6	0.7	1.5	0.8	
乙醇	ethanol	947	酒精味	0	3.3	3.3	3.1	
1-辛烯-3-醇	1-octene-3-ol	1445	蘑菇味、土味	2.9	1.2	0.3	0.4	
1-戊醇	1-pentanol	1308	水果味	2.5	1.4	1.3	0.9	
醇类	2-甲基-1-丁醇	2-methyl-1-butanol	1795	花香味	0.9	0	0	
	己醇	hexanol	1300	果香味	1.0	2.8	2.4	1.5
	1-庚醇	1-heptanol	1339	甜香、坚果味	1.2	1.1	0.9	0.9
	2-乙基己醇	2-ethyl-1-hexanol	1483	特殊气味	5.3	3.5	2.8	1.1
酮类	2,3-丁二酮	2,3-butanedione	1055	清香味	1.4	5.9	3.6	1.6
	3-巯基-2-丁酮	3-mercapto-2-butanone	1273	熟大米味	0.9	4.8	2.9	1.3
酯类	乙酸甲酯	acetate	929	清香、甜香味	0	0	0	0.4
	乙酸乙酯	ethyl acetate	900	水果香味	0.4	0	0	0.3
	4-乙基愈创木酚	4-vinyl guaiacol	2178	坚果味	0.9	1.0	1.8	0.6
	4-乙基苯酚	4-vinylphenol	2185	药香味	0.9	1.5	1.4	0.6
酚类	4-甲基-2-甲氧基苯酚	4-methyl-2-methoxyphenol	1204	甜味	0	1.6	0.5	0.4
	2-甲氧基苯酚	2-methoxy-phenol	1183	烟熏味	0.8	2.6	1.9	1.8
	2-乙酰基-1-吡咯啉	2-acetyl-1-pyrroline	1326	爆米花味	1.1	0.9	0	1.6
	吲哚	indole	2430	臭味	0	1.9	0.9	0
	甲苯	toluene		水果味	1.9	1.3	0.5	1.2
其他	2-戊基呋喃	2-pentyl furan	1180	果香味	1.1	1.0	1.5	2.3
	2-正丁基呋喃	2-n-butyl furan	2109	特殊气味	0	0	5.2	2.3
	乙酸	acetic acid	1460	酸味	1.6	0.2	0.5	0.8
	萘	naphthalene	1722	刺激性气味	2.1	0.1	0.3	0.6

2.2 米饭关键风味化合物的相对含量差异

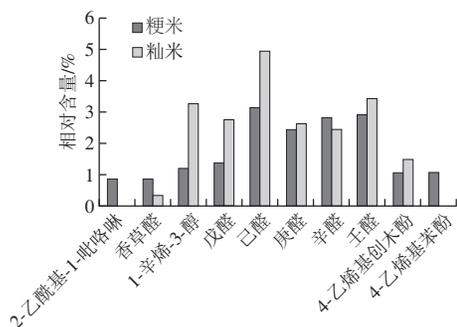


图1 粳稻与籼稻中关键风味化合物相对含量的平均值

Fig. 1 Average contents of the key flavor compounds in japonica rice and indica rice

前期研究表明, 2-乙酰基-1-吡咯啉、香草醛、1-辛烯-3-醇、壬醛、4-乙烯基苯酚^[27]、4-乙烯基创木酚、己醛、辛醛、庚醛、戊醛为米饭中关键风味化合物^[21]。如图1所示, 米饭香气最关键的风味化合物2-乙酰基-1-吡咯啉只在3种粳米样品中被检测出来, 其相对含量为0.9%~1.6%, 因其阈值很低, 呈味作用明显。育种研究表明, 香稻生长过程中通过一对隐性基因 (*fgr*) 控制2-乙酰基-1-吡咯啉的产生, 从而产生香味^[28]。由此实验结果可推测, 这3种粳米与香稻间具有一定的亲缘关系。

此外, 4-乙烯基苯酚只在粳米中被检测出来; 香草醛在粳米中相对含量显著高于籼米; 1-辛烯-3-醇、戊醛、己醛则在籼米中相对含量显著高于粳米。付深造^[29]通过对粳米与籼米的蛋白电泳图谱对比发现, 45.2 kD与46.5 kD两个条带是粳米的特征条带, 而籼稻并不存在这2个特征条带。那么这2个蛋白条带的差异与两类稻米风味物质间是否存在关联, 还需进一步研究。

2.3 米饭风味化合物的主成分分析

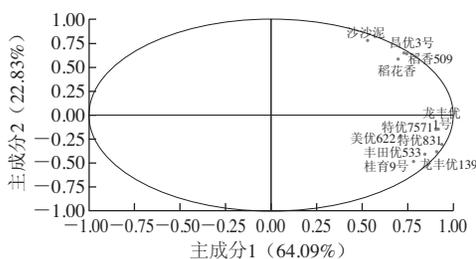


图2 不同样品米饭风味物质的主成分分析平面图

Fig. 2 PCA of the key flavor compounds in different rice samples

根据风味物质的定性定量及嗅闻检测结果, 结合相关文献, 对不同品种的米饭特征风味进行主成分分析。如图2所示, 主成分1为64.09%, 主成分2为22.83%, 主成分1与主成分2相加大于85%, 可以用这2个主成分来表征样品的风味物质组成。主成分分析结果显示, 所有样品

明显分为2大族群, 4个粳稻样品均集中于第1象限内, 7个籼米样品则集中于第4象限内。利用风味物质的主成分分析手段, 很好地将稻米品种进行了区分。

3 结论

采用SPME-GC-O-MS技术对籼米及粳米11个品种的米饭样品进行风味分析。米饭中关键风味化合物香草醛、1-辛烯-3-醇、戊醛、己醛等物质相对含量在粳米、籼米样品中有明显差异。2-乙酰基-1-吡咯啉未在籼米样品中检出, 4-乙烯基苯酚只在粳米中检测出来。经主成分分析, 粳米与籼米米饭风味化合物存在明显差异。

参考文献:

- [1] 杨江帆, 杨广, 梁小虾, 等. 茉莉花茶香气的SPME/GC-MS检测方法[J]. 热带作物学报, 2009, 30(11): 1698-1705.
- [2] 陈海涛, 张宁, 徐晓兰, 等. SPME和SDE-GC-MS分析贾永信腊羊肉挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 187-191. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201314038.
- [3] 卢晓丹, 张敏. 豆汁的风味物质分析[J]. 中国食品学报, 2014, 14(12): 164-172. DOI:10.16429/j.1009-7848.2014.12.005.
- [4] 贺家亮, 康怀彬, 刘丽莉, 等. 肉制品风味研究进展[J]. 中国食物与营养, 2014, 20(5): 34-37.
- [5] 冯宇隆, 谢明, 黄苇, 等. 鸭肉的风味及其形成的研究[J]. 动物营养学报, 2013, 25(7): 1406-1411.
- [6] 刘景, 张雪洪, 王荫榆, 等. 酸奶保存期内风味物质与风味变化研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(7): 154-156. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2011.07.080.
- [7] 胡珍. 牛奶风味活性物质的研究进展[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2011, 27(3): 183-183.
- [8] 刘晓君, 金青哲, 王珊珊, 等. HS-SPME-GC/MS分析花生油挥发性成分技术的优化[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(4): 500-507.
- [9] 况小玲, 徐俐, 张红梅. 不同加工工艺对油茶籽油风味物质的影响[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(6): 89-93.
- [10] 张亚双. 洋葱籽油和洋葱叶油提取工艺研究与成分分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [11] KANDYLIS P, VEKIARI A S, KANELAKI M, et al. Comparative study of extra virgin olive oil flavor profile of Koroneiki variety (*Olea europaea* var. *Microcarpa alba*) cultivated in Greece and Tunisia during one period of harvesting[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(5): 1333-1341.
- [12] 王家林, 张颖, 于秦峰. 黄酒风味物质成分的研究进展[J]. 酿酒科技, 2011(8): 96-98. DOI:10.13746/j.njkj.2011.08.050.
- [13] 孔程仕, 王振. 静态顶空萃取GC-MS联用测定赤霞珠葡萄酒酿造中挥发性成分[J]. 酿酒科技, 2012(9): 20-29. DOI:10.13746/j.njkj.2012.09.034.
- [14] 康文怀, 徐岩. 中国白酒风味分析及其影响机制的研究[J]. 北京工商大学学报(自然科学版), 2012, 30(3): 53-58.
- [15] 王海波, 李林光, 陈学森, 等. 中早熟苹果品种果实的风味物质和风味品质[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2300-2306.
- [16] BOSCAINI E, VAN RUTH S, BIASIOLI F, et al. Gas chromatography-olfactometry (GC-O) and proton transfer reaction-mass spectrometry (PTR-MS) analysis of the flavor profile of Grana Padano, Parmigiano Reggiano, and Grana Trentino cheeses[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(7): 1782-1790.

- [17] 胡花丽, 王贵禧, 李艳菊. 桃果实风味物质的研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 280-287.
- [18] 应兴华, 徐霞, 欧阳由男, 等. 固相微萃取-气相色谱/质谱联用快速鉴定香稻香味特征化合物2-乙酰基吡咯啉[J]. 分析科学学报, 2011, 27(1): 69-71.
- [19] PARK J S, KIM K Y, BAEK H. Potent aroma-active compounds of cooked Korean non-aromatic rice[J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(5): 1403-1407. DOI:10.1007/s10068-010-0200-1.
- [20] ZENG Z, ZHANG H, CHEN J Y, et al. Flavor volatiles of rice during cooking analyzed by modified headspace SPME/GC-MS[J]. Cereal Chemistry, 2008, 85(2): 140-145. DOI:10.1094/cchem-85-2-0140.
- [21] 苗菁, 苏慧敏, 张敏. 米饭中关键风味化合物的分析[J]. 食品科学, 2016, 37(2): 82-86. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201602014.
- [22] 严留俊, 张艳芳, 陶文沂, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法快速测定酱油中的挥发性风味成分[J]. 色谱, 2008, 26(3): 285-291. DOI:10.1021/jf7037373.
- [23] 彭智辅, 李杨华, 练顺才, 等. 大米、糯米蒸煮香气成分的研究[J]. 酿酒科技, 2014(12): 42-46. DOI:10.13746/j.njkj.2014.0291.
- [24] 谢伟, 刘登勇, 徐幸莲, 等. 不同卤水复卤对盐水鸭风味的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(3): 664-666.
- [25] 应兴华, 徐霞, 陈铭学, 等. 气相色谱-质谱技术分析香稻特征化合物2-乙酰基吡咯啉[J]. 色谱, 2010, 28(8): 782-785.
- [26] IGLESIAS J, MEDINA I, BIANCHI F, et al. Study of the volatile compounds useful for the characterisation of fresh and frozen-thawed cultured gilthead sea bream fish by solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2009, 115(4): 1473-1478. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.01.076.
- [27] TSUGITA T. Aroma of cooked rice[J]. Food Reviews International, 1985, 1(3): 497-520. DOI:10.1080/87559128509540781.
- [28] JODON N. The inheritance of flower fragrance and other characters in rice[J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1944, 36: 844-848.
- [29] 付深造. 热稳定蛋白与水稻籼粳分化的关系研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.