

微波处理对菜籽油风味的影响

付群梅, 蒋 涵, 唐 华, 张雯文, 袁永俊

(西华大学 食品与生物工程学院, 粮油工程与食品安全四川省高校重点实验室,
川渝共建特色食品重点实验室, 成都 610039)

摘要:旨在为制备不同风味品质的菜籽油提供理论依据, 通过感官风味品质评价、电子鼻分析、顶空固相微萃取气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC×GC/MS)等手段, 研究了微波处理对菜籽油风味的影响。结果表明:微波能输入总量和输入强度均影响菜籽油感官风味品质;电子鼻分析结果表明,浓香菜籽油与非浓香菜籽油的挥发性风味成分具有相似性;非浓香菜籽油主要风味物质有23种,包含醛类物质7种、硫类物质5种、醇类物质3种、酸类物质2种、酯类物质2种、杂环类物质2种、烯烃类和酚类物质各1种,为非浓香菜籽油提供辛辣味、脂香味、青草味和花香味等风味;浓香菜籽油中主要风味物质有13种,包含硫类物质5种、杂环类物质3种、醛类物质2种以及酚类、醇类和酸类物质各1种,主要赋予浓香菜籽油辛辣味、烤香味、焙烤味和脂香味等风味。综上,微波预处理技术对菜籽油的风味有显著影响,随着微波能的输入,菜籽油风味由主要以硫苷降解物和氧化挥发物为主导的辛辣味、脂香味、青草味、花香味,转变为以硫苷降解物、美拉德反应产物和氧化挥发物为主导的辛辣味、烤香味、焙烤味和脂香味。

关键词:微波处理;非浓香菜籽油;浓香菜籽油;感官风味品质;挥发性风味成分

中图分类号:TS224.2;TS225.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2024)06-0058-08

Effect of microwave treatment on rapeseed oil flavor

FU Qunmei, JIANG Han, TANG Hua, ZHANG Wenwen, YUAN Yongjun

(Key Laboratory of Speciality Food Co - Built by Sichuan and Chongqing, Key Laboratory of Grain & Oil Engineering and Food Safety of Sichuan Provincial High School, School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: Aiming to provide a theoretical basis for the preparation of rapeseed oil with different flavor qualities, the effect of microwave treatment on the flavor of rapeseed oil was investigated by means of sensory flavor quality evaluation, electronic nose analysis, and headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC×GC/MS). The results showed that the total amount and intensity of microwave energy input affected the sensory flavor quality of rapeseed oil. The electronic nose results showed that the flavor components of fragrant rapeseed oil and non-fragrant rapeseed oil were similar. There were 23 main flavor substances in non-fragrant rapeseed oil, including 7 aldehydes, 5 sulphur substances, 3 alcohols, 2 acids, 2 esters, 2 heterocyclics and 1 each of olefins and phenols, which provided pungent, oily, grassy and floral flavors to non-fragrant rapeseed oil. There were 13 main flavor substances in fragrant rapeseed oil, including 5 sulphur substances, 3 heterocyclics, 2 aldehydes, and 1 each of phenols, alcohols and acids, which mainly gave fragrant rapeseed oil pungent, roasted, bakery and oily flavors. In conclusion, microwave pretreatment technology has a significant effect on the flavor of rapeseed oil. With the input of microwave energy, the flavor of rapeseed oil mainly changes from pungent, oily, grassy and floral flavors dominated by thioglycoside

收稿日期:2023-03-20;修回日期:2024-02-19

基金项目:四川省科技厅重点研发项目(2021YFN0054);
“天府菜油”加工产业提升关键技术研究与应用(2023TFRO05)

作者简介:付群梅(1995),女,硕士研究生,研究方向为粮油加工(E-mail)1353356138@qq.com。

通信作者:袁永俊,教授,博士(E-mail)yyja9791@sina.com;
张雯文,讲师,博士(E-mail)wwzhang2021@hotmail.com。

degradation products and oxidized volatiles to pungent, roasted, bakery and oily flavors, dominated by the products of the thioglycoside degradation products Maillard reaction products and oxidized volatiles.

Key words: microwave treatment; non-fragrant rapeseed oil; fragrant rapeseed oil; sensory flavor quality; volatile flavor components

菜籽油是我国主要的食用植物油,在全球植物油消费中排名第三,仅次于棕榈油和大豆油^[1]。近年来浓香菜籽油良好的市场表现引起了人们对菜籽油风味的广泛兴趣^[2]。硫苷降解物、氧化挥发物、美拉德反应产物等是菜籽油中主要的挥发性风味物质^[3-5],原料产地^[4-6]、品种^[7-9]、加工工艺^[10-14]等均会影响挥发性风味物质的组成,进而导致菜籽油的风味出现一定差异。

微波加热是油料预处理技术之一,不仅可以提高出油率和油中植物甾醇、生育酚等生物活性成分的含量,进而提高油脂氧化稳定性,延长保质期^[15],还能赋予压榨油脂特有的焙烤风味^[16-18]。微波加热技术已应用于利用低温压榨技术获得清香菜籽油的研究中^[16-18],但涉及菜籽油风味的研究较少,涉及浓香菜籽油制备的更少。因此,本文采用微波加热技术对油料进行预处理,考察微波条件对菜籽油风味品质得分的影响,利用顶空固相微萃取气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC×GC/MS)结合电子鼻研究不同微波条件下菜籽油中挥发性风味物质的变化,以期为制备不同风味品质的菜籽油提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 原料与试剂

油菜籽(水分含量为9.02%),由绵阳辉达油脂有限公司提供;浓香菜籽油风味参考样(风味评分80分),由四川省粮食行业协会提供;乙酸异丁酯(GC纯度≥98%)和C7~C30饱和正构烷烃混标,美国Sigma-Aldrich公司;正己烷、甲醇均为色谱

纯,麦克林化学试剂有限公司。

1.1.2 仪器与设备

M1-L202B型微波炉,广东美的厨房电器制造有限公司;D02不锈钢螺旋家用榨油机,东都宝电气科技有限公司;50/30 μm DVB/CAR/PDMS固相萃取头,美国Supelco公司;GCMS-QP2020NX气相色谱-质谱仪(GC×MS),日本岛津公司;全二维气相色谱固态热调制器HV(C5~C30),雪景电子科技有限公司;PEN3电子鼻,德国Airsense公司。

1.2 试验方法

1.2.1 油样制备

分别取经清理、除杂的油菜籽400g置于微波容器中,于210、350、560W和700W微波功率下分别处理0、1、2、3、4、5、6、7、8、9min和10min后,立即用螺旋家用榨油机压榨,所得菜籽原油于4℃静置沉淀48h后,过滤,装于棕色玻璃瓶中并于4℃储藏备用。

1.2.2 菜籽油感官评价

采用浓香菜籽油风味参考样,参照文献[19]进行感官评价。将菜籽油样品于烘焙箱中加热至所需温度,选择经培训合格且有丰富品评经验的5名品评人员(2男3女)组成品评小组,品评人员在符合要求的品评室内独立对常温(20~25℃)、60℃的菜籽油风味类型和风味品质,40℃的菜籽油风味类型和风味强度进行评分,以5名品评人员对各子项评分的平均值作为各子项评分,以各子项评分的最低值作为最终风味评分值,风味评分值高于参考样判定为浓香菜籽油,否则判定为非浓香菜籽油。菜籽油感官评价项目及评分标准如表1所示。

表1 菜籽油感官评价项目及评分标准

项目	特性描述	分值(分)
风味类型	与风味参考样的特征香型无差异,香型纯正	90~100
	与风味参考样的特征香型基本无差异,香型较纯正	80~89
	与风味参考样的特征香型有明显差异,无异味或有异味	0~79
风味品质	辛香突出、香气浓郁醇厚、滋味顺滑鲜美	90~100
	辛香明显、香气较醇厚、滋味正常	80~89
	微弱或无	0~79
风味强度	强烈	90~100
	明显	80~89
	弱或无	0~79

1.2.3 电子鼻分析

参考文献[20]并作适当修改。取 5.0 g 菜籽油于 15 mL 顶空瓶中,密封并于 25 °C 恒温 1 h 后采用直接吸入法测量。分析条件:传感器清洗时间 180 s,测试时间 120 s,准备进样时间 5 s,采样时间 1 s。每个样品重复分析 3 次。

1.2.4 菜籽油中挥发性风味成分测定

参考文献[20]并作适当修改。采用 HS-SPME-GC×GC/MS 对菜籽油中挥发性风味成分进行测定。

HS-SPME 样品处理条件:准确称取 5.0 g 菜籽油,加入 5 μL 50 mg/mL 的乙酸异丁酯作为内标,混匀后置于 15 mL 的顶空瓶中,加盖密封,置于 60 °C 水浴中平衡 20 min 后,插入经 250 °C 老化 1 h 的萃取头,吸附萃取 40 min 后,将萃取头插入 GC 进样口中,于 250 °C 下解吸 5 min,进行 GC-MS 分析。

GC 条件:一维色谱柱为极性柱 DB-WA 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),二维色谱柱为中极性柱 DB-17 ms 色谱柱(1.2 m×0.18 mm×0.18 μm),调制柱为 HV(C5~C30)类型;升温程序为初始温度 40 °C,保持 3 min,以 5 °C/min 的速率升至 230 °C,保持 5 min;载气为 He(99.999%),流速 1.47 mL/min;进样口温度 250 °C;不分流进样。

MS 条件:EI 离子源;离子源温度 230 °C,接口温度 250 °C;电子能 70 eV;溶剂延迟时间 1 min;全扫描模式;质量扫描范围(*m/z*)41~330。

挥发性化合物的定性鉴定:参考文献[8]的方法,以正构烷烃(C7~C30)的保留指数与未知化合物的保留指数进行比对定性,利用 Canvas 化学工作站和 NIST17 质谱库进行匹配,去除柱流失的硅烷化杂质后,报道正反匹配度大于 800 的化合物。

挥发性化合物的定量^[20]:用乙酸异丁酯作内标定量,每个样品进行 3 次重复,峰面积取 3 次重复的平均值。按公式(1)计算挥发性化合物含量。

$$C_i = \frac{A_i}{A_o} \times C_o \quad (1)$$

式中: C_i 为挥发性化合物的含量,mg/kg; A_i 为挥发性化合物的峰面积; A_o 为乙酸异丁酯的峰面积; C_o 为乙酸异丁酯的含量,mg/kg。

1.2.5 关键风味物质分析

参考文献[21]的相对气味活度值(ROAV)法分析挥发性风味物质对总体风味的贡献,挥发性化合物浓度越高,气味阈值越小,对总体风味的贡献越大。定义对样品风味贡献最大的组分的 ROAV_{max} 为 100,各挥发性物质的 ROAV 按照公式(2)进行计算。

$$V_A = 100 \times \frac{C_i \times T_{\max}}{C_{\max} \times T_i} \quad (2)$$

式中: V_A 为 ROAV; T_i 为挥发性化合物的感觉阈值,mg/kg; C_i 为挥发性化合物的含量,mg/kg; T_{\max} 为对风味贡献最大的组分的感觉阈值,mg/kg; C_{\max} 为对风味贡献最大的组分的含量,mg/kg。所有组分均满足 $0 < \text{ROAV} \leq 100$,且 ROAV 越大的物质对菜籽油总体风味贡献也越大。ROAV ≥ 1 的组分为主要风味物质, $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$ 的组分对总体风味有重要的修饰和协同作用。

1.2.6 统计分析

采用 SPSS 25 进行方差分析和统计分析,样本之间的多重比较采用 Duncan 检验($p < 0.05$)进行评估,采用 Origin 2018 进行主成分分析(PCA),电子鼻数据采用 WinMuster 进行分析,全二维气相色谱-质谱(GC×GC-MS)数据采用 Canvas 分析软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 微波处理对菜籽油感官风味品质的影响

微波处理条件对菜籽油感官风味品质得分的影响见图 1。

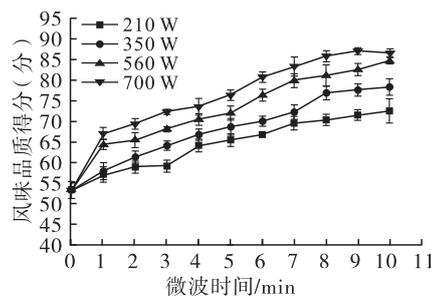


图 1 微波处理过程中菜籽油感官风味品质得分变化

由图 1 可知,菜籽油的感官风味品质得分随微波功率的增加和微波时间的延长而增加,当微波时间相同时,微波功率越高,感官风味品质得分越高。当以微波功率 210、350 W 处理油菜籽 0~10 min,560 W 处理时间小于 8 min,以及 700 W 处理时间小于 6 min 时,菜籽油的感官风味品质得分均低于浓香菜籽油参考样(风味品质得分 80 分)的,没有达到浓香菜籽油的风味要求;当微波功率 560 W 处理油菜籽时间大于 8 min、700 W 处理时间大于 6 min 时,菜籽油的感官风味品质得分均超过参考样的,达到了浓香菜籽油的风味要求,其中 700 W 处理 10 min 时因焦糊味的存在感官风味品质得分略有降低。结果表明,微波处理油菜籽时,微波能输入总量及输入强度均明显影响菜籽油感官风味品质,输入的微波能总量不足时,不能获得浓香菜籽油,输入强

度较高时,获得浓香菜籽油的时间明显缩短,且感官风味品质得分总体相对较高,微波能总量输入过大时存在感官风味品质降低的风险。

2.2 电子鼻 PCA

菜籽油的电子鼻 PCA 结果如图 2 所示。

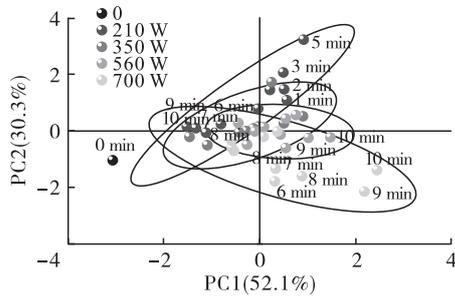


图2 菜籽油的电子鼻 PCA 结果

由图 2 可知,第一主成分(PC1)和第二主成分

(PC2)的方差贡献率分别为 52.1% 和 30.3%,总方差贡献率为 82.4%,说明 PC1 和 PC2 能较好地反映样品的整体风味信息。除未经微波处理所得的菜籽油外,其余菜籽油的椭圆区域相互部分重叠,表明浓香菜籽油与非浓香菜籽油的挥发性风味成分具有相似性。综合风味品质感官评价和 PCA 结果,选取感官风味品质得分由低到高的未经微波处理(1#)、210 W 处理 10 min(2#)、350 W 处理 10 min(3#)、560 W 处理 6 min(4#)、700 W 处理 5 min(5#)所得的非浓香菜籽油,以及 560 W 处理 8 min(6#)和 9 min(7#)、700 W 处理 7 min(8#)和 9 min(9#)所得的浓香菜籽油,进一步分析其挥发性风味成分。

2.3 菜籽油的 HS-SPME-GC×GC/MS 分析

菜籽油的挥发性风味物质含量如表 2 所示。

表 2 菜籽油的挥发性风味物质含量

挥发性风味物质	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	mg/kg
醇类										
(±)-6-甲基-5-庚烯基-2-醇	3.74	4.63	3.81	3.50	5.87	2.89	3.84	4.32	3.06	
苯乙醇	3.75	3.80	4.44	4.44	2.92	5.12	2.95	2.77	2.78	
2-庚醇	0.25	0.35	0.21	0.18	0.26	0.16	ND	ND	ND	
1-辛烯-3-醇	1.38	1.53	1.61	1.91	0.52	1.22	ND	ND	ND	
1-壬醇	2.15	1.92	2.43	2.33	2.52	4.17	ND	ND	ND	
醛类										
己醛	7.98	8.08	11.45	11.20	2.20	9.57	0.41	2.11	4.41	
壬醛	9.33	9.36	10.12	9.47	2.70	10.47	3.10	2.78	3.82	
(E)-2-辛烯醛	0.81	0.82	1.72	1.99	0.69	2.67	1.16	1.14	1.97	
(E,E)-2,4-庚二烯醛	1.33	0.93	1.00	3.90	1.66	1.56	6.02	1.45	2.15	
苯甲醛	0.61	0.72	1.97	2.11	1.88	4.23	3.25	2.94	4.10	
(E)-2-壬烯醛	0.34	0.38	1.00	1.19	0.50	1.99	0.81	2.16	1.37	
(E)-2-癸烯醛	0.92	0.75	2.92	3.95	0.82	6.88	2.90	2.38	5.06	
正辛醛	ND	2.50	2.88	2.56	0.45	2.36	0.70	0.27	0.75	
癸醛	0.89	0.74	0.80	0.80	0.15	ND	ND	ND	ND	
苯乙醛	0.25	0.78	4.67	4.84	2.58	2.16	3.36	ND	ND	
(E,E)-2,4-癸二烯醛	ND	ND	0.87	1.36	0.60	3.09	1.53	3.01	9.37	
烯炔类										
1-石竹烯	0.61	1.02	1.14	1.64	0.45	ND	ND	ND	ND	
酚类										
4-乙基愈创木酚	0.45	0.32	1.31	1.19	2.94	4.66	10.39	11.33	21.36	
2,6-二甲氧基苯酚	ND	ND	ND	ND	ND	0.90	1.50	1.77	12.97	
酸类										
己酸	4.09	6.67	7.46	6.95	9.19	5.63	5.60	7.85	5.44	
乙酸	ND	0.72	4.98	5.06	11.22	23.50	52.73	57.48	103.81	
酮类										
甲基庚烯酮	7.04	6.84	6.43	5.59	4.37	4.46	3.98	3.19	1.97	
仲辛酮	5.51	3.15	2.09	2.31	0.45	ND	ND	ND	ND	

续表 2

mg/kg

挥发性风味物质	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
3-甲基环戊烷-1,2-二酮	ND	ND	ND	ND	0.10	0.19	1.09	1.65	3.70
酯类									
丙位壬内酯	5.42	4.71	5.32	4.97	4.64	6.71	6.39	5.97	5.99
γ -丁内酯	ND	0.52	0.75	0.77	4.57	1.23	7.35	7.93	12.39
棕榈酸甲酯	ND	0.18	0.72	0.72	0.21	1.00	0.94	0.30	1.41
醋酸甲酯	ND	ND	ND	ND	0.71	2.22	11.64	14.53	15.86
丙位己内酯	0.61	1.14	1.05	1.17	0.98	ND	ND	ND	ND
丙位辛内酯	0.65	0.76	0.67	0.79	1.75	0.84	ND	ND	ND
硫类(包含硫苷降解物)									
异硫氰酸烯丙酯	62.35	28.21	51.25	51.64	48.08	78.09	78.95	67.50	66.50
苯代丙腈	ND	0.59	6.50	6.65	11.39	22.62	39.62	18.97	59.63
3-丁烯基异硫氰酸酯	1.06	1.28	0.87	0.82	1.15	1.95	2.01	3.10	1.55
苯乙腈	ND	ND	0.42	0.64	1.14	1.96	4.04	4.54	5.58
丙腈	ND	ND	0.78	0.90	2.22	2.60	5.21	7.00	7.77
2-苯基乙基异硫代氰酸酯	ND	ND	ND	ND	0.32	0.50	1.02	1.41	2.49
二硫化碳	ND	ND	ND	ND	ND	72.92	83.68	61.19	98.61
杂环类									
糠醇	ND	ND	ND	ND	0.96	1.47	8.60	11.46	24.74
2-噻吩甲醇	ND	ND	ND	ND	0.24	1.03	2.79	3.11	6.18
4-甲基-5-(β -羟乙基)噻唑	ND	ND	ND	0.15	0.67	1.20	3.17	3.57	7.51
5-羟甲基糠醛	ND	ND	ND	ND	0.91	3.30	14.90	21.36	77.70
2,5-二甲基吡嗪	ND	ND	0.57	0.89	3.18	5.75	24.54	21.55	34.08
2-乙基-5-甲基吡嗪	ND	ND	ND	ND	0.41	0.46	2.35	2.48	4.06
2,3,5-三甲基吡嗪	ND	ND	ND	ND	0.64	0.92	3.34	3.49	5.84
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	ND	ND	ND	ND	0.64	0.88	3.80	3.55	5.91
2-乙酰基呋喃	ND	ND	ND	0.16	1.01	3.97	9.54	8.91	19.41
5-甲基呋喃醛	ND	ND	0.22	0.53	3.07	13.37	34.15	36.03	72.04
2-乙酰基吡嗪	ND	ND	ND	ND	0.39	2.31	6.07	5.89	13.58
2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4(H)-吡喃-4-酮	ND	ND	0.67	0.47	1.58	13.98	36.67	45.38	70.34
2,3-二甲基吡嗪	ND	ND	ND	ND	ND	0.14	1.00	1.15	2.93
2-吡咯甲醛	ND	ND	ND	ND	ND	3.01	10.21	12.89	37.92
2-乙酰基-3-甲基吡嗪	ND	ND	ND	ND	ND	579.47	423.26	451.86	988.78

注:ND代表未检出

由表 2 可知,9 种菜籽油中共检出挥发性物质 52 种,包括醇类 5 种、醛类 11 种、烯炔类 1 种、酚类 2 种、酸类 2 种、酮类 3 种、酯类 6 种、硫类 7 种、杂环类 15 种,其中菜籽油 1#、2#、3#、4#、5#、6#、7#、8#、9# 分别检出 24、29、35、37、47、48、44、43、43 种挥发性物质。微波处理所得菜籽油的挥发性风味成分由硫苷降解物、美拉德反应产物和氧化挥发物组成,其中硫苷降解物赋予菜籽油浓郁的辛辣味,美拉德反应产物赋予菜籽油烤香味等^[4]。

本文微波处理所得菜籽油的硫苷降解物和美拉德反应产物与文献[4-9]报道不尽相同,微波处理与常规炒籽加热机制不同、原料品种不同等可能是导致这些差异的原因。由表 2 还可以看出,52 种挥发性成分在浓香菜籽油(6#~9#)和非浓香菜籽油(1#~5#)中的分布不同。为了进一步研究非浓香菜籽油和浓香菜籽油中风味物质的差异,对其挥发性物质的 ROAV 进行计算,结果如表 3 所示。

表3 菜籽油中挥发性风味物质的 ROAV

挥发性风味物质	阈值 ^[22] / (mg/kg)	ROAV								
		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#
醇类										
(±)-6-甲基-5-庚烯基-2-醇	2.00	0.14	0.15	0.12	0.09	0.28	0.01	0.01	0.02	0.01
苯乙醇	0.21	1.29	1.18	1.31	1.10	1.32	0.17	0.08	0.11	0.07
2-庚醇	0.01	1.81	2.29	1.30	0.94	2.49	0.11	-	-	-
1-辛烯-3-醇	0.001	100	100	100	100	49.75	8.37	-	-	-
1-壬醇	0.28	0.56	0.45	0.54	0.44	0.86	0.10	-	-	-
烯烃类										
1-石竹烯	0.064	0.69	1.04	1.11	1.34	0.67	-	-	-	-
酚类										
4-乙基愈创木酚	0.05	0.65	0.42	1.63	1.25	5.63	0.64	1.24	1.85	2.17
醛类										
己醛	0.08	7.23	6.60	8.89	7.33	2.63	0.82	0.03	0.22	0.28
壬醛	0.15	4.51	4.08	4.19	3.31	1.72	0.48	0.12	0.15	0.13
正辛醛	0.32	-	0.51	0.56	0.42	0.14	0.05	0.01	0.01	0.01
(E)-2-辛烯醛	0.004	14.67	13.40	26.71	26.05	16.50	4.58	1.73	2.33	2.50
(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.057	1.69	1.07	1.09	3.58	2.79	0.19	0.63	0.21	0.19
苯甲醛	0.06	0.74	0.78	2.04	1.84	3.00	0.48	0.32	0.40	0.35
(E)-2-壬烯醛	0.15	0.16	0.17	0.41	0.42	0.32	0.09	0.03	0.12	0.05
(E)-2-癸烯醛	0.01	6.67	4.90	18.14	20.68	7.85	4.72	1.73	1.95	2.57
癸醛	0.65	0.10	0.07	0.08	0.06	0.02	-	-	-	-
苯乙醛	0.025	0.73	2.04	11.60	10.14	9.87	0.59	0.80	-	-
(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.18	-	-	0.30	0.40	0.32	0.12	0.05	0.14	0.26
酸类										
己酸	0.70	0.42	0.62	0.66	0.52	1.26	0.06	0.05	0.09	0.04
乙酸	0.50	-	0.09	0.62	0.53	2.15	0.32	0.63	0.94	1.05
酮类										
甲基庚烯酮	1.0	0.51	0.45	0.40	0.29	0.42	0.03	0.02	0.03	0.01
仲辛酮	0.5	0.80	0.41	0.26	0.24	0.09	-	-	-	-
酯类										
丙位壬内酯	0.15	2.62	2.05	2.20	1.73	2.96	0.31	0.26	0.33	0.21
丙位己内酯	0.26	0.17	0.29	0.25	0.24	0.36	-	-	-	-
丙位辛内酯	0.12	0.39	0.41	0.35	0.35	1.40	0.05	-	-	-
硫类(包含硫苷降解物)										
异硫氰酸烯丙酯	0.046	98.22	40.08	69.20	58.78	100	11.64	10.26	11.99	7.33
苯代丙腈	0.015	-	2.57	26.92	23.21	72.65	10.34	15.78	10.33	20.16
3-丁烯基异硫氰酸酯	0.017	4.52	4.92	3.18	2.53	6.47	0.79	0.71	1.49	0.46
丙腈	0.068	-	-	0.71	0.69	3.12	0.26	0.46	0.84	0.58
2-苯基乙基异硫代氰酸酯	0.006	-	-	-	-	5.10	0.57	1.02	1.92	2.10
二硫化碳	0.005	-	-	-	-	-	100	100	100	100
杂环类										
2,5-二甲基吡嗪	2.6	-	-	0.01	0.02	0.12	0.02	0.06	0.07	0.07
2-乙基-5-甲基吡嗪	0.32	-	-	-	-	0.12	0.01	0.04	0.06	0.06
2,3,5-三甲基吡嗪	0.29	-	-	-	-	0.21	0.02	0.07	0.10	0.10
3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	0.024	-	-	-	-	2.55	0.25	0.95	1.21	1.25
5-甲基呋喃醛	1.11	-	-	0.01	0.03	0.27	0.08	0.18	0.27	0.33
2-乙酰基吡嗪	0.01	-	-	-	-	3.73	1.58	3.63	4.81	6.89
2-乙酰基-3-甲基吡嗪	0.98	-	-	-	-	-	4.05	2.58	3.77	5.12

由表3可知,微波处理制备的菜籽油挥发性成分中ROAV大于1的共有25种。非浓香菜籽油(1#~5#)中主要风味物质共有23种,其中:醛类物质7种,包含(*E*)-2-辛烯醛、(*E*)-2-癸烯醛、己醛、壬醛、苯乙醛、(*E,E*)-2,4-庚二烯醛和苯甲醛;硫类物质5种,包含异硫氰酸烯丙酯、苯代丙腈、3-丁烯基异硫氰酸酯、2-苯基乙基异硫代氰酸酯和丙腈;醇类物质3种,包含1-辛烯-3-醇、苯乙醇和2-庚醇;酸类物质2种,包含己酸和乙酸;酯类物质2种,包含丙位壬内酯和丙位辛内酯;杂环类物质2种,包含3-乙基-2,5-二甲基吡嗪和2-乙酰基吡嗪;烯炔类物质1-石竹烯和酚类物质4-乙炔基愈创木酚。另外,己酸、乙酸、丙位辛内酯、丙腈、2-苯基乙基异硫代氰酸酯、3-乙基-2,5-甲基吡嗪和2-乙酰基吡嗪仅为5#菜籽油中的主要风味成分。非浓香菜籽油中的主要风味物质主要集中在醛类、醇类和硫类物质,醛类物质为非浓香菜籽油贡献独特的果香味、花香味及脂香味等^[9, 21],醇类物质为非浓香菜籽油贡献青草味和花香味,硫类物质为非浓香菜籽油贡献辛辣味。

随着微波能的输入,非浓香菜籽油向浓香型菜籽油转变,醛类物质风味贡献度逐渐减弱,浓香菜籽油中的挥发性风味成分主要表现为硫类、杂环类和醛类物质,浓香菜籽油主要风味物质有13种,其中:硫类物质5种,包含二硫化碳、异硫氰酸烯丙酯、苯代丙腈、2-苯基乙基异硫代氰酸酯和3-丁烯基异硫氰酸酯;杂环类物质3种,包含2-乙酰基-3-甲基吡嗪、2-乙酰基吡嗪、3-乙基-2,5-二甲基吡嗪;醛类物质2种,包含(*E*)-2-辛烯醛和(*E*)-2-癸烯醛;以及酚类物质4-乙炔基愈创木酚、醇类物质1-辛烯-3-醇和酸类物质乙酸。硫类物质赋予菜籽油独特的辛辣味,二硫化碳对浓香菜籽油具有最大的风味贡献,杂环类物质赋予菜籽油烤香味、焙烤味,醛类物质赋予菜籽油花香味、果香味和脂香味。因此,非浓香菜籽油具有以硫苷降解物和氧化挥发物为主的辛辣味、脂香味、青草味和花香味的复合风味,而浓香菜籽油具有以硫苷降解物、美拉德反应产物和氧化挥发物为主的辛辣味、烤香味、焙烤味和脂香味的复合风味。

3 结论

本文研究了微波处理条件下制备的非浓香菜籽油和浓香菜籽油的感官品质及风味物质的差异性。结果表明:微波处理油菜籽可改善菜籽油的风味品质得分,获得浓香菜籽油;非浓香菜籽油中有23种主要风味物质,主要风味物质集中在醛类、醇类和硫

类物质,为非浓香菜籽油提供脂香味、青草味、花香味和辛辣味等风味;浓香菜籽油中有13种主要风味物质,主要表现为硫类、杂环类和醛类物质,赋予浓香菜籽油辛辣味、烤香味、焙烤味和脂香味等风味。综上,不同微波处理条件下产生的菜籽油的关键风味特征存在差异,且感官评价结果和关键风味化合物分析结果存在一定的联系,今后可继续深入研究,为微波工艺在菜籽油生产过程中的应用提供参考。

参考文献:

- [1] ZHANG Y, WU Y, CHEN S, et al. Flavor of rapeseed oil: An overview of odorants, analytical techniques, and impact of treatment[J]. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 2021, 20(4): 3983-4018.
- [2] 王瑞元. 2021年我国粮油产销和进出口情况[J]. *中国油脂*, 2022, 47(6): 1-7.
- [3] 苏晓霞, 刘雄飞, 黄一珍, 等. 基于GC-MS和GC-O的浓香菜籽油特征风味物质分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(1): 239-245.
- [4] 张谦益, 包李林, 熊巍林, 等. 不同产地浓香菜籽油中特征风味物质的研究[J]. *中国油脂*, 2018, 43(8): 23-28.
- [5] 蒋林利. 菜籽油加工与储藏过程中挥发性风味物质变化规律研究[D]. 成都: 西华大学, 2019.
- [6] 仲琴, 杨玲, 薛寒, 等. 不同产地初榨菜籽油挥发性风味成分比较分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(14): 70-78.
- [7] 孙国昊, 刘玉兰, 连四超, 等. 油菜籽品种对浓香菜籽油风味及综合品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(8): 190-197.
- [8] 初柏君, 扈柏文, 李晓龙, 等. 不同品种菜籽原料与浓香菜籽油风味品质的相关性[J]. *食品科学*, 2022, 43(14): 272-279.
- [9] 张欢欢, 张玲, 黄桃翠, 等. 油菜籽品种对浓香菜籽油风味的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(2): 187-194.
- [10] 杨涓, 刘昌盛, 周琦, 等. 加工工艺对菜籽油主要挥发性风味成分的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2010, 32(4): 551-557.
- [11] TAN M, CHEN C, FU X, et al. Roasting treatments affect physicochemical, aroma and nutritional quality of strong fragrant rapeseed oil [J/OL]. *J Food Compos Anal*, 2022, 111: 104648 [2023-03-20]. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104648>.
- [12] 袁桥娜, 涂梦婕, 董志文, 等. 不同制备工艺菜籽油的风味成分比较研究[J]. *中国油脂*, 2020, 45(8): 32-38.
- [13] 扈柏文, 武州, 于森, 等. 不同炒籽工艺对低芥酸浓香菜籽油风味的影响[J]. *中国油脂*, 2022, 47(7): 33-37, 55.

(下转第97页)

