

# 高温加热对牛油果油、亚麻籽油及核桃油品质的影响

成钰莹<sup>1</sup>, 邓新宇<sup>1</sup>, 蔡海晴<sup>1</sup>, 姜福全<sup>2</sup>, 苏颖婷<sup>2</sup>, 黎攀<sup>1,3</sup>, 杜冰<sup>1,3</sup>

(1. 华南农业大学食品学院, 广州 510640; 2. 艾斯普瑞(广州)食品有限公司, 广州 510640;

3. 岭南现代农业科学与技术广东省实验室, 广州 510640)

**摘要:**为系统了解家庭烹饪中牛油果油、亚麻籽油、核桃油品质的变化,在200℃下对3种植物油进行加热处理,测定3种植物油在加热过程中脂肪酸、植物甾醇、维生素E以及挥发性成分组成与含量的变化。结果表明:在200℃加热15 min内,3种植物油的多不饱和脂肪酸保留率、植物甾醇及维生素E的含量只有轻微变化,说明这3种植物油在该条件下可较好地保留其功能性成分;3种植物油挥发性成分主要为烯类、醇类、醛类成分,经过200℃加热15 min,3种植物油风味成分变化总体趋势为烯类减少,醛类、酮类、酯类、呋喃类及酸类成分增加。综上,200℃加热15 min对3种植物油的品质影响较小。

**关键词:**牛油果油;亚麻籽油;核桃油;高温加热;脂肪酸;微量成分;挥发性成分

中图分类号:TS225.1;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)09-0044-07

## Effects of high temperature heating on the qualities of avocado oil, flaxseed oil and walnut oil

CHENG Yuying<sup>1</sup>, DENG Xinyu<sup>1</sup>, CAI Haiqing<sup>1</sup>, JIANG Fuquan<sup>2</sup>,  
SU Yingting<sup>2</sup>, LI Pan<sup>1,3</sup>, DU Bing<sup>1,3</sup>

(1. Food College, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China; 2. Earth Prime

(Guangzhou) Food Co., Ltd., Guangzhou 510640, China; 3. Guangdong Laboratory for

Lingnan Modern Agriculture Science and Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** In order to systematically understand the changes of the quality of avocado oil, flaxseed oil and walnut oil in home cooking, three vegetable oils were heated at 200℃ and the changes in the composition and content of fatty acid, phytosterol, vitamin E and volatile component were determined during the heating process. The results showed that the retention rates of polyunsaturated fatty acids, contents of phytosterol and vitamin E in the three vegetable oils showed a slight changes after heating at 200℃ for 15 min, indicating that the functional components in the three vegetable oils could be better retained under this condition. Alkenes, alcohols and aldehydes were the main volatile components in the three vegetable oils, and alkenes decreased, while aldehydes, ketones, esters, furans and acids increased after the oils being heated at 200℃ for 15 min. In conclusion, heating at 200℃ for 15 min has little effect on the qualities of the three vegetable oils.

**Key words:** avocado oil; flaxseed oil; walnut oil; high temperature heating; fatty acid; trace element; volatile component

收稿日期:2021-07-30;修回日期:2022-04-24

作者简介:成钰莹(1998),女,在读硕士,研究方向为食品科学与工程(E-mail)chengyy430@163.com。

通信作者:杜冰,教授,博士生导师(E-mail)dubing@scau.edu.cn;黎攀,副教授,硕士生导师(E-mail)lp19900815@scau.edu.cn。

近年来,随着国民经济的逐步提升,肥胖、高血脂、动脉粥样硬化等与脂质代谢异常相关的疾病患病率也在不断提升,促使人们希望用“健康油”代替

传统的烹饪油。一些小品种油脂,如牛油果油、亚麻籽油以及核桃油由于富含不饱和脂肪酸以及具有功能性微量成分而备受关注<sup>[1-3]</sup>。但是,这3种植物油的不饱和程度较高,在高温加热过程中易发生氧化、水解、聚合等反应,导致变质、产生不愉快风味甚至是有害物质,从而造成品质下降。

不同植物油由于脂肪酸组成及其中的微量成分,如维生素E以及植物甾醇等内源性抗氧化物的差异<sup>[4]</sup>,导致其抵抗长时间高温加热的能力存在差异。

植物油的挥发性成分赋予油脂特殊风味,是判断油脂品质的一个重要指标。高温加热会造成油脂风味的变化。孙旭媛等<sup>[5]</sup>利用顶空固相微萃取-气质联用法探究了4种植物油在不同温度加热条件下的挥发性产物,发现同种植物油不同温度加热时挥发性产物差异不大,而不同脂肪酸组成的植物油具有明显差异。

为系统了解在家庭烹饪中牛油果油、亚麻籽油和核桃油品质的变化,本研究模拟家庭烹饪,将3种植物油在200℃条件下加热0~30 min,分析3种植物油的脂肪酸组成以及微量成分含量的变化,得出较大程度保留功能性成分的可加热时间。同时,利用全二维气相色谱-飞行时间质谱对3种植物油在常温以及200℃加热下挥发性成分进行分析,探究高温加热对植物油风味成分变化的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

亚麻籽油、核桃油、牛油果油,由爷爷的农场品牌提供;脂肪酸甲酯混合标准品、维生素E标准品、植物甾醇混合标准品,美国Sigma公司;正庚烷(色谱纯),广州化学试剂厂;甲醇、氯化钠、氢氧化钠、硫酸氢钠、无水乙醇,均为分析纯,广州化学试剂厂。

FA2204N 万分之一天平、LC-20AT 型高效液相色谱仪、QP2010 气相色谱-质谱联用仪,日本岛津公司;5804R 大容量离心机,德国艾本德公司;7890A 型气相色谱仪,美国Agilent公司;HH-WO-2L-50L 升降电热数显油浴锅,上海绪航科学公司;SSM1800-7890B-7250 全二维气相色谱高分辨率质谱联用仪,安捷伦科技有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 油脂加热处理

分别取一定量亚麻籽油、核桃油、牛油果油置于油浴锅中,在200℃分别加热0、5、10、15、30 min,期间取样、保存、待测。

#### 1.2.2 脂肪酸组成测定

按照GB 5009.168—2016 第三法测定油样的脂肪酸组成。

#### 1.2.3 植物甾醇组成测定

按照魏晓珊等<sup>[6]</sup>的方法进行衍生化后用于GC-MS测定油样的植物甾醇组成。

GC条件:DB-5 色谱柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);进样口温度260℃;柱升温程序为初始温度100℃,保持1 min,以10℃/min升温至290℃,保持10 min;载气为氦气,流速1.2 mL/min;压力2.4 kPa;进样量0.5 μL,不分流进样。

MS条件:传输线温度280℃,离子源温度230℃,电离模式EI,电离电压70 eV,质量扫描范围(*m/z*)50~550。

根据保留时间与标准品的对比,并结合质谱库检索的方法进行定性,采用内标法进行定量。

#### 1.2.4 维生素E含量测定

参考GB 5009.82—2016 测定油样的维生素E含量。

#### 1.2.5 挥发性成分测定

利用全二维气相色谱-飞行时间质谱(GC × GC × TOFM)对油样挥发性成分进行测定。3种植物油分别各取两份2 mL于2个10 mL的顶空瓶中,一份在加热器中35℃下平衡20 min(未加热油样),另一份油浴200℃下加热15 min,取出平衡5 min(加热油样)。将已老化的固相微萃取纤维头(DVB/CAR/PDMS)装置暴露在样品瓶的顶部空间中,进行顶空萃取吸附20 min,最后进入GC分析仪解吸5 min,进行GC-MS测定。

GC条件:色谱柱1(HP-HeavyWAX柱,30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);色谱柱2(DB-17柱,0.78 m × 0.18 mm × 0.18 μm);进样口温度250℃;不分流进样;载气为氦气,流速1 mL/min;升温程序为初始温度50℃,保持2 min,以5℃/min升至260℃,保持3 min。

MS条件:传输线温度280℃,离子源温度200℃,电离模式EI,电离电压70 eV,质量扫描范围(*m/z*)40~400,采集频率100 spectrum/s,溶剂延迟时间0 min。

使用ChromaTOF软件对质谱数据进行峰提取、基线矫正、解卷积、峰积分、峰对齐等分析,选取正向和反向匹配度均大于800的挥发性成分进行分析。

#### 1.2.6 统计分析

利用Excel 2016进行数据整理分析。

## 2 结果与讨论

间的变化(见表1)

## 2.1 高温加热下3种植物油脂肪酸含量随加热时

表1 高温加热下3种植物油脂肪酸含量随加热时间的变化

脂肪酸	牛油果油含量/%					亚麻籽油含量/%					核桃油含量/%				
	0 min	5 min	10 min	15 min	30 min	0 min	5 min	10 min	15 min	30 min	0 min	5 min	10 min	15 min	30 min
棕榈酸	15.40	15.40	15.60	15.90	18.40	5.64	5.71	5.97	6.63	9.41	6.87	6.98	7.52	8.07	9.33
棕榈一烯酸	3.15	3.18	3.19	3.20	3.25	0.08	0.07	0.08	0.09	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.13
十七碳一烯酸	0.12	0.12	0.12	0.12	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
硬脂酸	2.16	2.17	2.17	2.22	2.57	0.18	0.18	0.19	0.21	0.30	2.67	2.71	2.88	3.10	3.62
油酸	64.90	64.90	64.90	65.30	66.30	21.60	21.90	22.50	24.30	30.60	22.10	22.90	23.20	24.40	26.80
亚油酸	12.50	12.50	12.30	11.70	8.02	15.50	15.50	15.50	15.60	15.10	56.90	56.10	55.60	54.30	51.40
亚麻酸	0.66	0.66	0.64	0.58	0.27	51.60	51.10	50.10	46.90	35.50	10.60	10.20	9.68	8.90	7.27
花生酸	0.35	0.35	0.35	0.36	0.41	0.37	0.38	0.38	0.42	0.47	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
二十碳一烯酸	0.23	0.23	0.23	0.24	0.26	0.18	0.18	0.19	0.22	0.30	0.21	0.21	0.22	0.24	0.28
二十二碳二烯酸	0.27	0.25	0.24	0.21	0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
二十碳三烯酸	0.11	0.10	0.11	0.11	0.14	0.18	0.18	0.19	0.21	0.30	-	-	-	-	-
木焦油酸	0.07	0.07	0.07	0.08	0.12	0.10	0.10	0.12	0.14	0.27	0.14	0.14	0.24	0.30	0.56
SFA	17.98	17.99	18.19	18.56	21.50	10.69	10.87	11.33	12.59	17.87	9.95	10.10	10.91	11.74	13.78
UFA	81.94	81.94	81.73	81.46	78.48	89.14	88.93	88.56	87.32	81.92	89.93	89.53	88.83	87.98	85.88
MUFA	68.40	68.43	68.44	68.86	69.97	21.86	22.15	22.77	24.61	31.02	22.43	23.23	23.55	24.78	27.21
PUFA	13.54	13.51	13.29	12.60	8.51	67.28	66.78	65.79	62.71	50.90	67.50	66.30	65.28	63.20	58.67
PUFA 保留率		99.78	98.15	93.06	62.85		99.26	97.79	93.21	75.65		98.22	96.71	93.63	86.92

注:SFA. 饱和脂肪酸;UFA. 不饱和脂肪酸;MUFA. 单不饱和脂肪酸;PUFA. 多不饱和脂肪酸;-表示未检出

从表1可知,3种植物油在脂肪酸组成种类上相似,但含量上差异较大。在组成上,牛油果油以单不饱和脂肪酸为主,亚麻籽油和核桃油则均以多不饱和脂肪酸为主。在200℃下,随着加热时间的延长,3种植物油的不饱和脂肪酸含量下降,饱和脂肪酸含量上升,与文献[7]所报道的趋势相符。

随加热时间延长,3种植物油的单不饱和脂肪酸含量增加,而多不饱和脂肪酸因受到氧化破坏其含量下降。多不饱和脂肪酸保留率在前15 min的加热中呈缓慢下降的趋势,在15 min时3种植

物油的多不饱和脂肪酸保留率均在93%以上,在加热时间延长至30 min时才表现出较大幅度的下降,30 min时牛油果油的多不饱和脂肪酸保留率为62.85%,亚麻籽油的多不饱和脂肪酸保留率为75.65%,而核桃油的多不饱和脂肪酸保留率为86.92%。总体上,在200℃加热15 min情况下,3种植物油的多不饱和脂肪酸稳定性较好。

## 2.2 高温加热下3种植物油的微量成分含量随加热时间的变化(见表2)

表2 高温加热下3种植物油的微量成分含量随加热时间的变化

微量成分	牛油果油含量/(mg/100 g)					亚麻籽油含量/(mg/100 g)					核桃油含量/(mg/100 g)				
	0 min	5 min	10 min	15 min	30 min	0 min	5 min	10 min	15 min	30 min	0 min	5 min	10 min	15 min	30 min
菜籽甾醇	-	-	-	-	-	5.56	5.49	5.04	5.04	4.81	-	-	-	-	-
菜油甾醇	9.53	9.65	9.06	8.95	8.50	82.10	84.20	85.80	86.40	82.30	5.11	4.75	5.12	4.65	4.91
豆甾醇	-	-	-	-	-	32.90	34.10	34.40	33.90	32.50	-	-	-	-	-
$\beta$ -谷甾醇	198.00	200.00	184.00	194.00	182.00	170.00	172.00	175.00	174.00	166.00	81.70	83.10	84.70	85.20	80.00
$\Delta^5,24$ -豆甾二烯醇	20.60	21.60	18.90	19.80	18.20	30.50	31.10	32.20	32.60	30.30	6.09	6.34	6.16	6.38	6.34
环阿屯醇	23.10	24.30	22.70	21.50	20.70	169.00	167.00	160.00	149.00	155.00	13.60	13.40	10.50	14.40	13.30
植物甾醇总量	251.23	255.55	234.66	244.25	229.40	490.06	493.89	492.44	480.94	470.91	106.50	107.59	106.48	110.63	104.55
维生素E	26.00	26.20	25.30	19.40	-	47.00	46.40	45.60	44.20	24.20	19.80	19.30	15.80	14.40	4.39

注:维生素E为 $\delta$ -、 $\gamma$ -、 $\beta$ -、 $\alpha$ -生育酚总和;-表示未检出

植物油中的天然维生素E与植物甾醇是重要的内源性抗氧化物<sup>[8]</sup>。由表2可见,3种植物油均

含有一定的植物甾醇和维生素 E,其中,亚麻籽油的植物甾醇和维生素 E 含量均最高,分别为 490.06、47.00 mg/100 g。随着加热时间的延长,3种植物油中维生素 E 含量呈下降趋势,在 200℃加热 15 min 内,3种植物油中维生素 E 的含量缓慢下降,保留率大于 70%,展现出了较好的稳定性。

由表 2 可见,3种植物油的植物甾醇含量相差

较大,含量由高到低排序为亚麻籽油 > 牛油果油 > 核桃油。随着加热时间的延长,3种植物油中植物甾醇含量呈现波动,但变化不大,最终到 30 min 时表现为小幅度下降。总体上,在 200℃加热 15 min 下,3种植物油的微量成分保留程度良好。

2.3 未加热与高温加热下 3种植物油挥发性成分及含量对比(见表 3)

表 3 未加热与高温加热下 3种植物油挥发性成分及含量对比

种类	化合物	牛油果油含量/%		亚麻籽油含量/%		核桃油含量/%		气味特征
		未加热	200℃,15 min	未加热	200℃,15 min	未加热	200℃,15 min	
醛类	壬醛	0.23	4.45	0.38	3.29	-	3.17	脂肪香、柑橘香
	2-庚烯醛	-	3.01	0.17	2.89	3.57	6.91	辣、清香
	2-己烯醛	6.70	0.19	0.48	3.49	0.30	2.04	果香、清香、蔬菜香
	(E,Z)-2,4-癸二烯醛	-	1.05	-	0.86	-	2.83	清香、脂肪香、蜡香
	(Z)-十八碳-9-烯醛	-	0.38	-	0.09	-	0.22	
	2-十一烯醛	-	2.39	-	1.64	-	2.20	果香、橙子香、梨香
	4-氧单醛	-	0.83	-	0.03	-	3.06	
	(E)-4-癸醛	-	0.46	-	0.23	-	-	醛香、脂肪香
	(E)-2-壬醛	-	0.95	-	0.38	-	-	脂肪香、醛香
	正辛醛	-	1.77	-	0.98	-	0.88	醛香、脂肪香、蜡香
	3-糠醛	0.11	-	-	-	10.18	-	烤香、坚果香
	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	-	0.12	-	-	-	-	柠檬香
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	-	-	-	-	0.50	-	油炸味、蜡香、脂肪香
	酮类	4-(4-甲氧苯基)-2-丁酮	-	0.20	0.16	0.62	0.05	0.26
开司米酮		-	-	0.20	0.05	0.05	0.37	辛香、木香
2-十五烷酮		-	0.33	-	0.06	-	0.08	茉莉花、芹菜
5-十一烷基二氢-2(3H)-呋喃酮		-	1.08	-	1.16	-	1.44	
7-癸氧杂环庚烷-2-酮		-	0.34	-	0.68	-	0.52	
环十五烷酮		-	0.55	-	0.10	-	0.19	麝香、脂肪香
十七烷酮		-	0.34	-	0.15	-	0.33	
亚油基甲基酮		-	-	-	0.11	-	0.51	
5-(羟基甲基)二氢呋喃-2(3H)-酮		-	0.38	-	-	-	-	
烯类	(+)-柠檬烯	4.90	0.39	4.70	0.62	3.59	-	柑橘香
	3-萜烯	4.29	0.13	0.84	-	0.27	-	木香、药草香、松木香
	$\alpha$ -蒎烯	20.25	0.45	13.33	-	1.63	-	松香
	$\beta$ -蒎烯	8.91	0.19	0.71	-	-	-	松香
	$\beta$ -石竹烯	0.79	0.52	0.45	0.10	-	-	干香、木香、松木香
	$\gamma$ -松油烯	-	-	1.32	-	-	-	木香、辛香、丁香
	对薄荷-1,3,8-三烯	0.38	-	-	-	-	-	油脂味、木香、药草香、柠檬香
	环庚三烯	4.20	0.14	2.10	1.02	0.95	0.40	药草香、木香、樟脑味
	蒎烯	4.25	-	0.14	0.44	-	0.10	
	(E)-B-罗勒烯	1.39	0.24	-	-	-	0.32	木香、药草香
2,4-辛二烯	-	1.29	-	8.27	-	-	甜香、药草香	
$\alpha$ -法呢烯	-	0.27	-	-	-	0.16		

续表 3

种类	化合物	牛油果油含量/%		亚麻籽油含量/%		核桃油含量/%		气味特征
		未加热	200 °C, 15 min	未加热	200 °C, 15 min	未加热	200 °C, 15 min	
	$\beta$ -卡地烯	0.21	0.13	-	-	-	-	柑橘香、药草香、薰衣草香
	$\gamma$ -紫罗兰烯	0.11	0.35	-	-	-	-	
	罗勒烯	1.50	-	-	-	-	-	药草香、木香、辛香
	(Z)-葫芦烯	0.26	-	-	-	-	-	柑橘香、木香
	新植二烯	-	0.13	-	0.27	-	0.19	
	(E,E)-2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯	0.34	-	-	-	-	-	
	$\beta$ -可巴烯	0.12	0.21	-	-	-	-	甜香、花香
	$\gamma$ -卡地烯	0.11	-	-	-	-	-	
	新异罗勒烯	0.79	-	-	-	-	-	
	$\beta$ -红没药烯	-	0.14	-	-	-	-	
	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	-	-	2.68	-	-	0.04	
	马来酸二丁酯	-	0.13	-	-	-	-	
	3-甲基环戊基乙酸酯	-	-	-	0.14	-	0.10	
	(Z,Z,Z)-3,9,12-十八碳三烯酸甲酯	-	0.17	-	0.16	-	0.23	
酯类	9,12-十八碳二烯酸正丙酯	-	0.21	-	0.11	-	-	
	丙位壬内酯	-	0.43	-	0.69	-	0.26	椰子香、蜡样油脂味
	丙位辛内酯	-	0.26	-	0.41	-	3.11	甜香、椰子香、蜡香、脂肪香
	反油酸乙酯	-	0.66	-	0.21	-	0.51	
	油酸甲酯	-	0.95	-	0.25	-	0.25	脂肪香
	棕榈酸甲酯	-	0.25	-	0.07	-	0.41	油脂味、蜡香
	苯乙醇(天然)	0.26	0.10	0.29	-	-	-	
	冰片	0.27	0.12	1.30	0.51	0.66	-	松木香、木香、膏香、樟脑味
	环己醇	1.55	-	0.19	-	-	-	薄荷香
	(Z)-A,A-5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇	-	-	0.16	0.77	-	-	花香、木香、甜香
	叶醇	0.94	-	0.97	0.12	-	-	药草香、油脂味、蔬菜香、清香
	异戊烯醇	0.28	-	1.02	-	-	-	果香、薰衣草香
	4-乙基环己醇	-	0.17	-	0.15	-	0.53	
醇类	7-十四碳烯-1-醇	-	0.10	-	0.06	-	0.10	
	(E)-10-十五烯醇	-	0.40	-	0.14	-	0.49	
	$\alpha$ -松油醇	0.15	0.12	-	0.13	0.17	-	花香、木香、柑橘香
	对羟基苯乙醇	-	0.90	-	0.67	-	0.17	甜香、果香、花香
	石竹-4(12),8(13)-二烯5 $\alpha$ 醇	-	0.18	-	-	-	-	
	(Z)-2-戊烯醇	-	-	-	0.48	-	0.21	金属气、果香、樱桃味
	(Z)-3-癸醇	-	0.32	-	0.25	-	0.19	
	叶绿醇	-	-	-	0.19	-	-	
	(-)-匙羹藤醇	-	0.12	-	-	-	-	蜂蜜味
	(Z)-6-十五碳烯-1-醇	-	0.15	-	-	-	-	
	糠醇	-	-	-	-	1.98	-	酒香、咖啡味、甜香

续表 3

种类	化合物	牛油果油含量/%		亚麻籽油含量/%		核桃油含量/%		气味特征
		未加热	200 °C, 15 min	未加热	200 °C, 15 min	未加热	200 °C, 15 min	
烷烃	丙基环丙烷	1.85	0.37	11.75	0.37	0.83	0.24	
	二十五烷	-	0.38	-	-	-	0.35	
	戊基环丙烷	-	1.23	-	1.10	-	-	
呔喃类	(E)-鳄梨二烯呔喃	-	0.19	-	0.11	-	-	
	2-N-辛基呔喃	-	0.36	-	0.27	-	0.23	
	2-庚基呔喃	-	0.31	-	0.14	-	0.08	脂肪香、坚果香、清香
	2-正戊基呔喃	-	0.97	-	2.13	-	5.09	果香、蔬菜香、金属气
	十七碳二烯基呔喃	-	1.12	-	0.01	-	0.08	
	2-((1E,8Z,11Z)-十七烷-1,8,11-三烯-1-基)呔喃	-	0.22	-	-	-	-	
	2-(12-十三碳烯-1-基)呔喃	-	0.59	-	-	-	-	
酸类	丁酸	-	0.38	-	0.44	-	0.19	辛辣味、醋味、黄油、果香
	(E)-2-十一烯酸	-	0.24	-	0.43	-	0.15	汗味、奶酪
	辛酸	-	0.52	-	0.77	-	0.43	脂肪香、蜡香、油脂味、蔬菜香
	棕榈油酸	-	2.68	-	0.82	-	-	脂肪香
	正癸酸	-	0.19	-	-	-	0.30	令人不愉快的味道
	十八烷酸	-	0.07	-	-	-	0.16	
	(Z)-13-十八碳烯酸	-	0.03	-	-	-	0.57	
	丙基丙二酸	-	1.40	-	-	-	1.40	
	(10E,12Z)-十八碳二烯酸	-	2.47	-	-	-	-	
$\alpha$ -亚麻酸	-	5.66	-	-	-	0.49	脂肪香	

注：-表示未检出或含量在0.1%以下

由表3可见:未加热时,牛油果油挥发性成分中含量较高的主要为 $\alpha$ -蒎烯(20.25%)和 $\beta$ -蒎烯(8.91%),主要的香气特征是松香;亚麻籽油中烯类挥发性成分含量也较高,其中(+)-柠檬烯(4.70%)、 $\alpha$ -蒎烯(13.33%)含量较高,呈现柑橘香、松香;而核桃油中烯类成分较少,主要是醛类成分,其中含量最高的是3-糠醛(10.18%),具有坚果香和烤香<sup>[9]</sup>。200 °C加热15 min,3种植物油挥发性成分中醛类含量均为最高。

烯类成分的风味阈值一般较低,是植物油风味成分中呈植物清香的重要成分。经过高温加热处理,3种植物油烯类成分的含量均下降,而醛类、呔喃类成分逐渐增加,风味逐渐向烤香、坚果香转变。醛类成分主要来自于加热过程中的油脂氧化,阈值一般较低<sup>[10]</sup>。经过高温加热,3种植物油新增的醛类成分主要来自不饱和脂肪酸的氧化,在一定范围内呈现出脂肪香、烤香风味<sup>[11]</sup>。呔喃类成分的生成与美拉德反应有关,属于低阈值成分,大多呈现焦糖

香、坚果香以及烤香<sup>[10]</sup>。高温加热后,3种植物油呔喃类成分的增加主要来自于油酸和亚油酸氧化成氢过氧化物的进一步裂解<sup>[12]</sup>。

### 3 结论

200 °C下加热15 min,3种植物油的多不饱和脂肪酸保留率、植物甾醇以及维生素E的含量呈下降趋势且只有轻微变化,多不饱和脂肪酸以及微量成分热稳定性较好。3种植物油挥发性成分多为烯类、醛类、醇类成分,经过200 °C加热15 min,3种植物油风味成分变化总体趋势为烯类减少,醛类、酮类、酯类、呔喃类及酸类成分增加。综上所述,200 °C下加热15 min,对3种植物油的品质影响较小,同时,总体风味呈现从植物清香向坚果香、烤香味转变。

### 参考文献:

- [1] BERASATEGI I, BARRIUSO B, ANSORENA D, et al. Stability of avocado oil during heating: comparative study to olive oil [J]. Food Chem, 2012, 132(1): 439-446.

(下转第64页)

- [28] O'REGAN J, MULVIHILL D M. Heat stability and freeze – thaw stability of oil – in – water emulsions stabilised by sodium caseinate – maltodextrin conjugates [J]. Food Chem, 2010, 119(1):182 – 190.
- [29] CHEN W J, WANG W J, GUO M M, et al. Whey protein isolate – gum Acacia Maillard conjugates as emulsifiers for nutraceutical emulsions; impact of glycation methods on physicochemical stability and in vitro bioaccessibility of  $\beta$  – carotene emulsions [J/OL]. Food Chem, 2022, 375: 131706 [2021 – 07 – 07]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131706>.
- [30] NOOSHKAM M, VARIDI M. Physicochemical stability and gastrointestinal fate of  $\beta$  – carotene – loaded oil – in – water emulsions stabilized by whey protein isolate – low acyl gellan gum conjugates [J/OL]. Food Chem, 2021, 347: 129079 [2021 – 07 – 07]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129079>.
- [31] DEGNER B M, CHUNG C, SCHLEGEL V, et al. Factors influencing the freeze – thaw stability of emulsion – based foods [J]. Compr Rev Food Sci F, 2014, 13 (2): 98 – 113.
- [32] GHOSH S, CRAMP G L, COUPLAND J N. Effect of aqueous composition on the freeze – thaw stability of emulsions [J]. Colloids Surf A Physicochem Eng Asp, 2006, 272(1/2):82 – 88.
- [33] 王博, 张书文, 刘鹭, 等. 酪蛋白酸钠美拉德反应产物的制备及其乳化特性 [J]. 食品科学, 2018, 39(16): 98 – 104.
- [34] HOU C, WU S, XIA Y, et al. A novel emulsifier prepared from *Acacia seyal* polysaccharide through Maillard reaction with casein peptides [J]. Food Hydrocolloid, 2017, 69 (8):236 – 241.
- [35] ZHANG X X, LI X D, LIU L, et al. Covalent conjugation of whey protein isolate hydrolysates and galactose through Maillard reaction to improve the functional properties and antioxidant activity [J/OL]. Int Dairy J, 2020, 102: 104584 [2021 – 07 – 07]. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104584>.
- [36] PAXIMADA P, HOWARTH M, DUBEY B N. Double emulsions fortified with plant and milk proteins as fat replacers in cheese [J/OL]. J Food Eng, 2020, 288: 110229 [2021 – 07 – 07]. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110229>.
- [37] JAFARZADEH S, SALEHABADI A, MOHAMMADI N A, et al. Cheese packaging by edible coatings and biodegradable nanocomposites, improvement in shelf life, physicochemical and sensory properties [J]. Trends Food Sci Technol, 2021, 116(2):218 – 231.
- [38] LESMES U, MCCLEMENTS D J. Controlling lipid digestibility: response of lipid droplets coated by  $\beta$  – lactoglobulin – dextran Maillard conjugates to simulated gastrointestinal conditions [J]. Food Hydrocolloid, 2012, 26(1):221 – 230.
- [39] BOUYER E, MEKHOLOUFI G, ROSILIO V, et al. Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field? [J]. Int J Pharm, 2012, 436(1/2):359 – 378.

(上接第 49 页)

- [2] RAYGAN F, TAGHIZADEH M, MIRHOSSEINI N, et al. A comparison between the effects of flaxseed oil and fish oil supplementation on cardiovascular health in type 2 diabetic patients with coronary heart disease; a randomized, double – blinded, placebo – controlled trial [J]. Phytotherapy Res, 2019, 33(7): 1943 – 1951.
- [3] BATIREL S, YILMAZ A M, SAHIN A, et al. Antitumor and antimetastatic effects of walnut oil in esophageal adenocarcinoma cells [J]. Clin Nutr, 2018, 37 (6): 2166 – 2171.
- [4] 庞晓慧, 李俊健, 吴俏瑾, 等. 美藤果油、亚麻籽油和紫苏籽油氧化稳定性对比研究 [J]. 中国油脂, 2021, 46 (1): 32 – 37.
- [5] 孙旭媛, 刘元法, 李进伟. HS – SPME – GC – MS 分析 4 种植物油加热氧化挥发性产物 [J]. 中国油脂, 2018, 43(10): 20 – 25.
- [6] 魏晓珊, 邓乾春, 张逸, 等. 亚麻籽油中植物甾醇含量的测定 [J]. 中国油脂, 2015, 40(11): 107 – 111.
- [7] 覃佐剑, 吴宗远, 涂行浩, 等. 基于液相色谱 – 串联质谱法分析不同植物油经加热处理前后氧化脂肪酸的变化 [J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(3): 364 – 373.
- [8] 徐飞, 石爱民, 刘红芝, 等. 核桃油中脂肪酸和内源抗氧化物质含量及其氧化稳定性相关性分析 [J]. 中国粮油学报, 2016, 31(3): 53 – 58.
- [9] 王笑园, 宋章弈, 张延琦, 等. 精炼过程对亚麻籽油风味物质的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37 (18): 55 – 59.
- [10] 贾潇, 周琦, 杨旖旎. 3 种坚果油的挥发性成分提取及关键风味成分分析 [J]. 中国油脂, 2020, 45 (7): 35 – 41.
- [11] 李多佳, 负建民, 姚博, 等. 不同加热处理对浆水挥发性成分变化的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2017, 43 (2): 115 – 121.
- [12] 洪振童, 陈洁, 范璐, 等. HS – SPME – GC – MS 分析冷榨和热榨葵花籽油的挥发性物质 [J]. 中国油脂, 2015, 40(2):90 – 94.