

基于微波预处理油菜籽的压榨油和 浸出油理化品质比较

杨 湄,李文林,刘昌盛,周 琦,郑 畅,黄凤洪*

(中国农业科学院油料作物研究所,油料脂质化学与营养湖北省重点实验室,湖北 武汉, 430062)

摘要:微波预处理油菜籽可显著提高压榨出油率,但压榨后的饼粕中仍残留油脂,可采用浸出法提取饼中残油。为比较压榨油和浸出油的主要理化品质,在 2 450MHz,800W 的微波条件下,分别对油菜籽预处理 0 ~ 7min,冷却至室温后压榨制油,继而对饼粕中残油用正己烷萃取。结果表明,微波处理时间、压榨和浸出的制油方式对菜籽油酸价、过氧化值、p – 茴香胺值、水分含量均有显著影响($P < 0.05$)。压榨油和浸出油的酸价、p – 茴香胺值随微波时间的延长而增加,过氧化值呈先增加后减少的趋势,浸出油酸价、过氧化值和 p – 茴香胺值高于压榨油。压榨油水分含量随微波时间的延长而增加,而浸出油的则减少,压榨油水分含量高于浸出油。压榨油和浸出油的色泽(罗维朋比色)随微波时间的延长逐渐变深,浸出油色泽更深;加热试验(至 280℃)中压榨油无析出物,而浸出油产生絮状析出物。由此可见基于微波预处理油菜籽的压榨油仅需水洗、过滤或离心分离即可满足国家标准,浸出油则需要进行脱胶、脱酸、脱色等精炼处理。

关键词:微波预处理;压榨;浸出;理化品质;菜籽油

中图分类号:TS224.2 ,TS225.1⁺4 **文献标识码:**A **文章编号:**1007 – 9084(2014)02 – 0263 – 06

Physicochemical quality of pressed oil and solvent – extracted oil from rapeseed pretreated by microwave

YANG Mei, LI Wen – lin, LIU Chang – sheng, ZHOU Qi, ZHENG Chang, HUANG Feng – hong*

(Oil Crops Research Institute of the Chinese Academy of Agricultural Sciences,
Hubei Key Laboratory of Lipid Chemistry and Nutrition, Wuhan 430062, China)

Abstract: Microwave pretreatment increases the oil extraction yield from rapeseed, but still some oils remained in the press – cake. To compare the physicochemical quality of press oil and the solvent – extracted oil from press – cake, rapeseeds with moisture of 12% were treated with microwaves under 800W for 1 to 7 min at frequency of 2 450MHz, and pressed oil from cold seeds, as well as extracted from the press – cake by ultrasonic assisted n – hexane solvents. Results indicated that microwave time and oil extraction method (by press and by solvent) had significant effects on acid values (AVs), peroxide values (POVs), p – anisidine values (p – AnVs), and moisture contents of the two oils ($P < 0.05$). The AVs and p – AnVs of two oils increased with increasing microwave time, and the POVs increased initially and then decreased depending on the time of microwave radiation. The AVs, POVs, and p – AnVs of pressed oils were higher than those of solvent – extracted. The moisture contents of oils extracted by press were higher, and would increase with the increasing microwave time, while the extracted oil decreased. The Lovibond color of extracted oil was darker, and the longer the pretreat time, the deeper color of both oils. No precipitates were found in pressed oils after heating (at 280℃) test, while a lot of precipitates were produced in the extracts. In conclusion, pressed oil pretreated by microwaves only needed to be purified by washing, filtering or centrifuging before consumption, while the solvent – extracted oil must be refined by degumming, deacidification and bleaching.

Key words: Microwave pretreatment; Press; Solvent extraction; Physicochemical quality; Rapeseed oil

油菜籽冷榨制油可显著提高油脂和饼粕质量,但与热榨相比,冷榨出油率偏低。研究表明,微波预处理油料种子能显著提高冷榨出油率,增加油中天然维生素 E、植物甾醇和多酚等微量营养成分含量并改善油的氧化稳定性^[1~7]。但榨油后的饼中仍残留有较多的油脂,在当前我国食用油供给严重不足的背景下,充分利用饼中残油既能为市场提供优质食用油产品,又能提高油脂加工企业经济效益,有利于冷榨制油技术的推广与应用。采用溶剂浸出方式是有效提取饼中残油的可行途径,目前在生产上广泛应用。然而,还未见微波预处理油菜籽对冷榨菜籽饼浸出油品质影响方面的报道,也未见基于微波预处理条件下对冷榨油和饼浸出油理化品质进行比较研究的报道。

酸价、过氧化值、水分含量、色泽、加热试验是评价油脂质量的主要理化指标。酸价反映油脂中游离脂肪酸的含量,是评价油脂质量、精炼及劣变程度的重要指标之一。过氧化值反映了油脂初级氧化产物的含量,主要是氢过氧化物。通常用过氧化值指标监视油脂酸败发展的实际情况,但作为油脂氧化主要的初期产物,氢过氧化物不稳定,因此过氧化值不能准确地衡量油脂的氧化程度,须同时考察油脂 p-茴香胺值的变化。p-茴香胺值表征的是油脂中二级氧化产物的含量,主要是醛类化合物^[8]。

在前期研究基础上,本文以长江流域主产区油菜籽为材料,调节适宜的水分并在一定功率下微波处理不同时间,油菜籽样品冷却至室温后冷榨制油,饼中残油在超声波辅助下用正己烷萃取,冷榨油通过离心除去机械杂质,浸出油通过旋转蒸发和氮气吹扫除去残留溶剂,比较研究微波预处理油菜籽对冷榨油和浸出油主要理化品质,如水分含量、酸价、过氧化值、p-茴香胺值、加热试验和色泽(罗维朋比色, Lovibond color)的影响及二者间的差异,为微波预处理技术在冷榨制油生产中的应用以及冷榨饼中残油的利用提供依据和指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

油菜籽由武汉中油宏大科技产业股份有限公司提供,其基本理化指标为:水分含量 7.39%;粗蛋白含量 23.78%;粗脂肪含量(干基)44.66%。无水乙醇、正己烷、冰醋酸(分析纯,国药集团),无水乙醚、三氯甲烷、氢氧化钠(分析纯,天津科密欧试剂公

司),茴香胺(分析纯,上海晶纯试剂有限公司),KFR-02 无吡啶卡尔费休试剂(分析纯,天津四友精细化学品有限公司)。冷榨机(CA59G,德国 Kom-et 公司),密闭式微波消解仪(最大功率 4800W,频率 2450Hz,美国 CEM 公司),落地式离心机(Avanti J-26 XP 型,美国 Beckman Coulter 公司),紫外分光光度计(DU800 型,美国 Beckman Coulter 公司),旋转蒸发仪(RV 10 D,德国 IKA 集团),万能粉碎机(BGF-100,上海树立仪器仪表有限公司),比较测色仪(WSL-2A,上海京工实业有限公司)。

1.2 微波预处理油菜籽

将油菜籽水分由初始的 7.39% 调节至 12%,密封放置在 4℃ 冰箱中保持 24h,使水分均匀分布,将 400g 油菜籽分别平铺于 8 个直径为 75mm 的平皿中,放置在微波炉转盘上,设置微波频率 2 450MHz、功率 800W,进行微波处理 0~7min,时间间隔 1min,微波完成后取出样品自然冷却至室温。

1.3 油样制备

压榨油:将微波预处理后的油菜籽冷榨制油(进料速度 3~5kg/h,出油温度 <60℃),收集油样离心(离心转速 6 000r/min,15min)除去机械杂质得到冷榨油;浸出油:将冷榨菜籽饼粉碎,采用超声波辅助用正己烷提取饼中残油:料液比 1:5,超声波功率 500W,超声温度 50℃,超声时间 50min。提取液静置、抽滤后再旋蒸和氮吹除去溶剂得到浸出油。将油样密封保存在 4℃ 冰箱,尽快完成所有化学分析。

1.4 酸价、过氧化值、色泽、加热试验的测定

分别参照采用 GB/T 5530、GB/T 5538、GB/T 22460、GB/T 5531。

1.5 p-茴香胺值、水分的测定

p-茴香胺值的测定参照采用 AOCS Official Method Cd 18-90。指 1g 油脂在 100mL 试剂和溶剂的混合溶液中用 1cm 的比色槽测得之光密度的 100 倍。水分的测定参照采用 GB/T 26626,卡尔费休法(无吡啶)。

1.6 统计分析

采用 SPSS16.0 进行显著性分析,用 Origin8.0 软件作图。每个指标 3 次重复测定,结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 微波预处理油菜籽对压榨油和浸出油酸价的影响及二者间的差异

方差分析结果表明,压榨油与浸出油的酸价受

微波时间的影响均达到显著水平(图 1, $P < 0.05$), 配对样本 T 检验结果表明, 菜籽油的酸价在压榨和浸出这两组实验之间存在显著差异($P < 0.05$)。

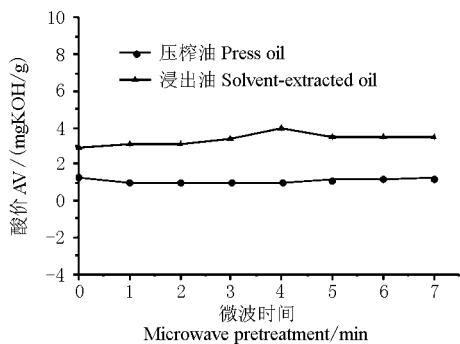


图 1 压榨油和浸出油酸价随微波预处理时间的变化
Fig.1 Changes of acid value of rapeseed oil with microwave pretreatment time

压榨油酸价在 0.99 ~ 1.27mg KOH/g 之间波动, 均符合国家标准对四级菜籽油的要求 (≤ 3.0 mg KOH/g); 浸出油酸价在 2.93 ~ 3.96mg KOH/g 之间波动, 除 0min 外, 其余微波时间点的酸价均超过标准对四级菜籽油的要求, 但符合对菜籽原油的要求。不同微波时间的浸出油酸价均高于压榨油。微波 0 ~ 7min 的浸出油酸价比压榨油高出 1.30 ~ 2.36 倍, 其差值在 1.66 ~ 2.96mg KOH/g 之间波动, 未经微波时的差值最小, 4min 时最大, 7min 时为 2.23mg KOH/g。可见, 制油方式对油脂酸价影响较大。

2.2 微波预处理油菜籽对压榨油和浸出油过氧化值的影响及二者间的差异

方差分析结果表明, 压榨油和浸出油的过氧化值受微波时间的影响均显著(图 2, $P < 0.05$), 配对样本 T 检验结果表明, 菜籽油的过氧化值在压榨和浸出这两组实验之间存在显著差异($P < 0.05$)。

压榨油和浸出油的过氧化值随微波时间的延长均呈先增加后减少的趋势, 在微波预处理的整个过程中, 均能满足国家标准对二级菜籽油的要求 (≤ 5.0 mmol/kg), 这与原料新鲜程度有密切关系。二者初始过氧化值都较低, 分别为 0.07mmol/kg 和 0.58mmol/kg, 微波预处理油菜籽 5min 时, 压榨油过氧化值增加到最高值 0.23mmol/kg, 相比初始值增加约 3 倍, 此时浸出油的过氧化值为 1.50mmol/kg; 微波预处理 3min 时, 浸出油过氧化值增加到最高值 1.74mmol/kg, 同样大约是初始值的 3 倍, 此时压榨油的过氧化值为 0.16mmol/kg。浸出油过氧化值均高于压榨油(图 2)。微波预处理的整个过程中, 其差值在 0.51mmol/kg ~ 1.56mmol/kg 之间, 未经微波处理时的差值最小, 处理 3min 时最大。

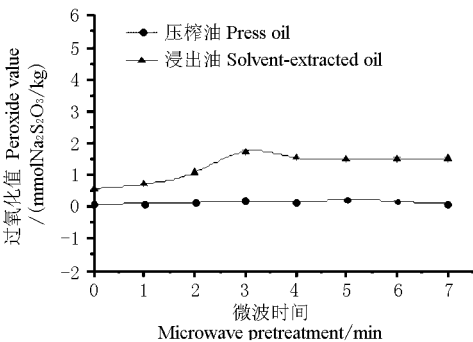


图 2 压榨油和浸出油过氧化值随微波预处理时间的变化
Fig.2 Changes of peroxide value of rapeseed oil with microwave pretreatment

2.3 微波预处理油菜籽对压榨油和浸出油 p - 茴香胺值的影响及二者间的差异

压榨油和浸出油的 p - 茴香胺值随微波预处理时间而变化(图 3)。方差分析结果表明, 两者的 p - 茴香胺值均受微波预处理时间影响显著 ($P < 0.05$), 配对样本 T 检验结果表明, 菜籽油的 p - 茴香胺值在压榨和浸出这两组实验之间存在显著差异 ($P < 0.05$)。

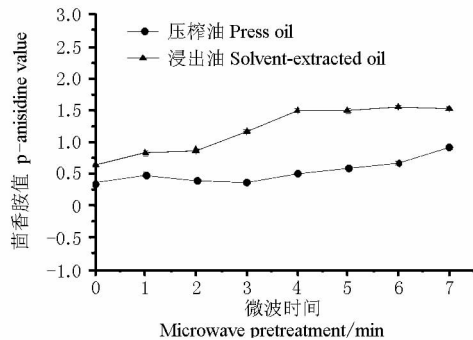


图 3 压榨油和浸出油 p - 茴香胺值随微波预处理时间的变化
Fig.3 Changes of p - anisidine value of rapeseed oil with microwave pretreatment time

压榨油和浸出油的 p - 茴香胺值随微波时间的延长显著增加。未经微波处理的压榨油和浸出油的 p - 茴香胺值分别为 0.36 和 0.64, 微波 7min 后分别增加到 0.93 和 1.53, 相比初始值各增加了约 2.8 和 2.4 倍。在微波预处理的整个过程中, 浸出油的 p - 茴香胺值均高于压榨油, 二者间差值在 0.28 ~ 0.99 之间波动, 未经微波处理时的差值最小, 处理 4min 时最大, 7min 时为 0.89。

2.4 微波预处理油菜籽对压榨油和浸出油水分含量的影响及二者间的差异

压榨油和浸出油水分含量随微波预处理时间变化(图 4)。方差分析结果表明, 这种变化均达到显著水平 ($P < 0.05$), 配对样本 T 检验结果表明, 菜籽油的水分含量在压榨和浸出这两组实验之间存在显著差异 ($P < 0.05$)。

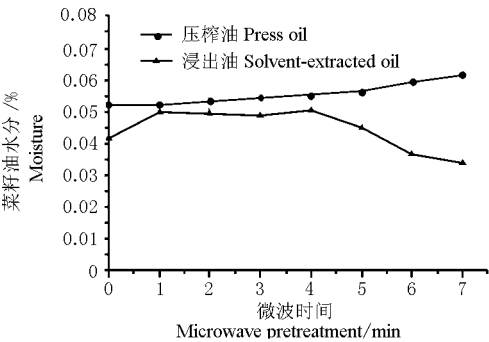


图4 压榨油和浸出油水分含量随微波预处理时间的变化
Fig.4 Changes of moisture content of rapeseed oil with microwave pretreatment time

压榨油水分含量随微波时间的延长逐渐增加,从初始的0.05%增加到第7min时的0.06%,总体符合国家标准对三级菜籽油的要求($\leq 0.10\%$),浸出油水分含量呈先增加后减少的趋势,初始水分含量为0.04%,微波1min后,上升至0.05%,在第1min到第4min之间基本保持平稳,从第4min到第7min,由0.05%下降至0.03%,总体符合国家标准对二级菜籽油的要求($\leq 0.05\%$)。在微波预处理的整个过程中,浸出油水分含量低于压榨油,其差值在0.00~0.03%之间波动,1min时差值最小,7min时最大。

2.5 微波预处理油菜籽对压榨油和浸出油加热试验的影响及二者间的差异

加热试验结果表明,压榨油加热至280℃后油的色泽变浅,且无析出物产生,冷却至室温后油色变浅,无析出物(表1)。油菜籽微波处理0~5min时,浸出油加热至280℃后油色变深,有大量絮状物析

出,不符合国家标准对四级菜籽油关于加热试验的要求,有趣的是,微波处理6~7min时,浸出油加热至280℃后,虽然同样是油色变深,但絮状析出物的量减少。

表1 菜籽油的加热试验结果
Table 1 Heating test of rapeseed oil

菜籽油 Rapeseed oil	微波时间 Microwave /min	加热至 280℃ Heated to 280℃	冷却至室温 Cold to room temperature
压榨油 Press oil	CK	L	L
	1	L	L
	2	L	L
	3	L	L
	4	L	L
	5	L	L
	6	L	L
浸出油 Solvent - extracted oil	7	L	L
	CK	D, ++	D, ++
	1	D, ++	D, ++
	2	D, ++	D, ++
	3	D, ++	D, ++
	4	D, ++	D, ++
	5	D, ++	D, ++
	6	D, +	D, +
	7	D, +	D, +

注:L 油色变浅,无析出物;D,+:油色变深,有少量絮状物;D,++:油色变深,有大量絮状物
Note: L; Light colored, no precipitate; D,+: Dark colored with a few precipitates; D,++: Dark colored with a lot of precipitates

2.6 微波预处理油菜籽对压榨油和浸出油色泽的影响及二者间的差异

微波功率800W,微波时间0~7min预处理油菜籽的条件下,压榨油和浸出油的色泽测定结果列于表2。

表2 菜籽油的色泽值
Table 2 Lovibond color of rapeseed oil

菜籽油 Rapeseed oil	色泽 Color	微波处理时间 Microwave pretreatment/min							
		CK	1	2	3	4	5	6	7
压榨油 Press oil	Y	11.1	11.1	11.1	11.1	12.1	19.1	31.0	40.9
	R	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0
	N	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	1.0	1.0	1.0
浸出油 Solvent - extracted oil	Y	39.1	39.1	41.1	61.1	69.9	59.9	59.1	59.1
	R	4.2	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.1	4.1
	N	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

注/Note: Y 黄色 Yellow; R 红色 Red; N 中性色 Neutral

压榨油和浸出油的色泽随微波时间的延长而变深。微波0~7min后,压榨油的黄色值由初始的11.1增加到40.9,红色值变化较小,由1.9增加到2.0,浸出油的黄色值由初始的39.1增加到59.1,变幅较大,红色值由4.2增加至4.9后又降至4.1。目测和罗维朋比色均发现,浸出油色泽比压榨油深,其中,黄色值高1.44~5.78倍,红色值高2.05~

2.58倍。微波7min时的压榨油和所有微波时间点的浸出油色泽均不符合国家标准对四级菜籽油的要求($黄\leq 35, 红\leq 7.0$)。可见微波预处理和制油方式对菜籽油的色泽均有较大影响。

3 结论与讨论

酸价的高低是评价油脂中游离脂肪酸含量的重

要指标,过氧化值表征脂肪的初级氧化产物氢过氧化物的含量,能评价油脂在氧化初期时的氧化程度,二者均是国家标准对食用油质量要求的强制指标。 p -茴香胺值主要用于测定油脂中醛,特别是2-烯醛、2,4-二烯醛的含量,属于油脂二级氧化产物^[9]。油脂的酸价、过氧化值和 p -茴香胺值均与原料的新鲜程度和加工方式有着密切关系,本文采用这3个指标来评价微波预处理油菜籽对压榨油和浸出油品质的影响,较为系统全面。

数据统计分析表明,油菜籽微波预处理时间对压榨油和浸出油的酸价、过氧化值、 p -茴香胺值均有显著影响($P < 0.05$),且浸出油均高于压榨油,二者之间的差异也达到显著水平($P < 0.05$)。压榨油和浸出油的酸价、 p -茴香胺值均随微波预处理时间的延长而增加,过氧化值呈先增加后减少的趋势。

随微波预处理时间的延长,油菜籽吸收微波能,温度增加,当微波时间为7min时,实测物料温度达到170℃,推测在此过程中,细胞中甘油三酯发生一定分解而导致油中游离脂肪酸含量有所增加,同时油脂初级氧化产物亦会随着物料温度升高而进一步形成二级氧化产物,从而增加 p -茴香胺值。过氧化值随微波时间先增加后减少的原因可能是微波短时处理能促进氧化基质增加,发生脂质过氧化反应^[10],但随着微波时间的延长,油菜籽吸收微波能增加到一定程度后,物料温度迅速增加,过氧化物发生分解使得油脂过氧化值降低。

Hoed等人比较了冷榨菜籽油和冷榨饼浸出油的品质(油菜籽未经微波处理),发现浸出油酸值、过氧化值、 p -茴香胺值均高于压榨油^[11],与本研究结论一致。导致浸出油酸价、过氧化值、 p -茴香胺值高于压榨油的可能原因包括2个方面,一是正己烷的萃取能力较强,能萃取更多的油脂及其伴随物;二是浸出和脱除溶剂过程较长,且饼粕细胞破坏的严重程度大于压榨前的油菜籽,甘油三酯发生水解和氧化而使得浸出油的指标值高于压榨油。

肖仁显等人以山核桃仁为材料,分别采用冷榨、超临界CO₂萃取和正己烷直接萃取3种方法制备核桃油,结果表明,冷榨油和浸出油酸价无显著差异,冷榨油过氧化值高于浸出油^[12]。方学智等人研究表明,浸出制备的油茶籽油酸价、过氧化值均低于压榨油^[13]。形成结果差异的原因与样品的来源及制备有较大关系,肖仁显、方学智等制备的冷榨油和浸出油分别来自于山核桃仁和油茶籽仁,其中方学智的压榨油在油脂加工厂由热榨法制备。

p -茴香胺值在压榨油中呈持续增加的趋势,而

浸出油中在0~4min内持续增加,4~7min内趋于平稳,可能是在微波过程中,初级氧化物不断氧化生成小分子的醛、酮、酸、醇等,即二级氧化产物,而当这些小分子物质累计到一定程度后,自由基之间就会相互结合产生稳定的化合物^[14],这些化合物以及小分子的酮、酸、醇均不能被实验所用方法检测到,使得油脂的 p -茴香胺值趋于稳定。

油脂中的水分含量是评价油脂质量的重要指标之一。油脂的氧化速率在很大程度上取决于水活度,而水分含量过高会促进油脂水解酸败。水是油菜籽中最重要的极性介质,正是水的存在及其在微波能作用下的运动而导致物料温度升高,在此过程中,水分逐渐蒸发,物料水分含量逐渐降低,但同时微波处理可从一定程度破坏油菜籽细胞,使细胞间隙增大,扩大油脂流出通路^[15],油菜籽在压榨过程中,水分也更容易随油脂携带出来。因此,压榨油中水分含量随微波时间的延长而增加。本研究浸出油是以压榨饼为原料,以正己烷萃取制得,正己烷与水不相溶,使得油中水分含量较低。此外,压榨饼中的水分含量随微波时间的延长而减少^[16],因此浸出油的水分含量呈下降趋势。

加热试验是评价油脂中磷脂含量的初略方法,如果油脂中存在磷脂,则加热到280℃时,磷脂会析出或分解而使油色变深变黑,当磷脂含量较高时,会产生絮状析出物。本研究结果表明,当加热到280℃时,压榨油油色都变浅,可能是由于其中磷脂含量较低,且某些色素类物质受热分解所致,而浸出油油色变深则是磷脂含量较高所致。王肇慈等通过一系列实验证实食用植物油中磷脂含量($> 0.10\%$)是导致280℃加热试验油色变深、絮状物析出的主要原因^[17],齐玉堂的研究结果也表明磷脂是影响油脂在加热试验中色泽变化的最主要因素^[18]。油脂色泽和析出物生成量的对比可知,压榨油中的磷脂含量普遍较低,而浸出油中的磷脂含量则相对较高,尤其是微波0~5min的浸出油。

王会研究了不同初始水分含量的油菜籽经微波预处理后压榨油的加热试验情况,结果表明,初始水分含量较低的油菜籽,微波6min时,压榨油加热试验即出现絮状析出物,初始水分含量较高的,微波7min时出现絮状析出物^[16]。因此,油菜籽经热处理后因细胞结构有一定程度破坏而导致压榨时更容易获得油的同时,磷脂也更容易随油溶出。Zachhi等人研究发现石油醚浸出的菜籽油中磷脂含量(644mg/kg)明显高于压榨菜籽油(12mg/kg)^[19]。结合国内外研究结果可知,预处理与制油方式均对

油中磷脂含量有显著影响,而浸出的制油方式是导致油中磷脂含量高的主要原因。

研究表明,当温度超过 150℃ 时,磷脂会逐渐分解^[20],在本研究中,微波 6、7min 的油菜籽温度分别约为 150℃ 和 170℃,在此温度条件下,可能使得部分磷脂分解,从而导致浸出油中磷脂含量有所降低,加热试验所产生的絮状析出物也有所减少。

油脂色泽是油中各种色素的综合体现,主要是在制油过程中菜籽中的油溶性色素转移至油中所致,少部分是来源于菜籽中还原糖类物质的分解产物以及氨基酸或蛋白质发生结合而生成的有色物质。微波处理加深菜籽油色泽可能原因一是微波预处理油菜籽后压榨出油率提高,使得油溶性色素更多地转移至压榨油中;二是微波过程中菜籽受热发生化学变化而生成了一些呈色物质,并随压榨过程溶解在油中^[21]。浸出油的色泽深于压榨油可能的原因是浸出溶剂对某些色素的溶解性较强所致。

综上,微波预处理油菜籽和制油方式对菜籽油的理化品质均有显著影响,压榨饼浸出油的酸价、过氧化值、p-茴香胺值均高于压榨油,色泽深于压榨油,同时加热试验产生大量絮状析出物,通过浸出的方式虽然能有效提取出饼中残油,但需要通过进一步精炼使其理化品质能达到标准要求。此外,基于微波预处理油菜籽条件下的浸出油与压榨油中微量营养成分如天然维生素 E、植物甾醇、菜籽多酚的变化规律尚需要深入研究,油的氧化稳定性和抗氧化能力的比较也需要加强。

参考文献:

- [1] Azadmard - Damirchi S, Habibi - Nodeh F, Hesari J, et al. Effect of pretreatment with microwaves on oxidative stability and nutraceuticals content of oil from rapeseed [J]. Food Chemistry, 2010, 121(4): 1 211 - 1 215.
- [2] Uquiche E, Jeréz M, Ortíz, J. Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (*Gevuina avelana* Mol) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008, 9(4): 495 - 500.
- [3] 胡小泓,梅亚莉,李 丹. 微波处理油菜籽对油脂品质影响的研究[J]. 食品科学, 2006, 11(27): 372 - 374.
- [4] Ramesh M, Haridas R P, Ramadoss C S. Microwave treatment of groundnut (*Arachis hypogaea*): extractability and quality of oil and its relation to lipase and lipoxigenase activity [J]. Lebensm - Wiss. u - Technol, 1995, (28): 96 - 99.
- [5] Ko S N, Kim C T, Kim H, et al. Changes of vitamin E content in rice bran with different heat treatment [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2003 (105): 225 - 228.
- [6] Anjum F, Anwara F, Jamil A, et al. Microwave roasting effects on the physico - chemical composition and oxidative stability of sunflower seed oil [J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2006, 83(9): 777 - 784.
- [7] Yang M, Huang F H, Liu C S, et al. Influence of microwave treatment of rapeseed on minor components content and oxidative stability of oil [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012: 1 - 11.
- [8] 栾 霞,王瑛瑶,张 蕊,等. 油脂储藏过程中茴香胺值、过氧化值的变化研究 [J]. 粮油加工, 2009(12): 77 - 79.
- [9] 毕艳兰. 油脂化学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [10] 冯有胜,单振秀. 微波对菜籽油部分理化卫生指标影响的研究 [J]. 西南师范大学学报, 2003, 28: 504 - 506.
- [11] Hoed V V, Ali C B, Slah M, et al. Quality differences between pre - pressed and solvent extracted rapeseed oil [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2010, 112: 1 241 - 1 247.
- [12] 肖仁显,陈中海,陈秋平,等. 冷榨法、超临界 CO₂ 萃取法和有机溶剂浸出法提取山核桃油比较 [J]. 食品科学, 2012, 33: 51 - 55.
- [13] 方学智,姚小华,王开良,等. 不同制油方法对油茶籽油品质的影响 [J]. 中国油脂, 2009, 34(1): 23 - 26.
- [14] 徐 芳,卢立新. 油脂氧化机理及含油脂食品抗氧化包装研究进展 [J]. 包装工程, 2008(6): 23 - 26.
- [15] Takagi S, Ienaga H, Tsuchiya C, et al. Microwave roasting effects on the composition of tocopherols and acyl lipids within each structural part and section of a soya bean [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1999, 79: 1 155 - 1 162.
- [16] 王 会. 微波处理油菜籽对冷榨菜籽油品质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.
- [17] 王肇慈,沈崇钰,袁 建,等. 食用植物油 280℃ 加热试验后油色变深、絮状物析出起因的研究 [J]. 中国油脂, 1992(4): 39 - 43.
- [18] 齐玉堂. 油料成分对油脂色泽的影响 [J]. 中国油脂, 2004, 29(2): 17 - 18.
- [19] Zacchi P, Rudolf E. High - temperature preconditioning of rapeseed: A polyphenol - enriched oil and the effect of refining [J]. Journal of Lipid Science and Technology, 2008, 110: 111 - 119.
- [20] 曹 栋,裴爱泳,王兴国. 磷脂结构、性质、功能及研究现状 (1) [J]. 粮食与油脂, 2004(5): 3 - 6.
- [21] 战东胜,张维农,齐玉堂,等. 加工过程中油脂色泽影响因素初探 [J]. 中国油脂, 2012, 37(7): 8 - 12.

(责任编辑:郭学兰)