

“油料油脂适度加工技术规范制定与实施” 特约专栏文章之三

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.01.003

# 稻米油加工过程营养成分及有害物质变化趋势研究

曹健<sup>1</sup>, 赵菁<sup>1</sup>, 雷芬芬<sup>1</sup>, 郑竟成<sup>1</sup>, 罗质<sup>1,2</sup>, 何东平<sup>1,2</sup>

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023;

2. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室(武汉轻工大学), 湖北 武汉 430023)

**摘要:** 研究在加工过程中稻米油内营养成分及有害物质的变化趋势。采集三家稻米油工厂毛油和脱胶、脱蜡、脱酸、脱色、脱脂精炼工段的稻米油样品各3个批次, 测定其维生素E(V<sub>E</sub>)、谷维素及甾醇三种营养物质和苯并芘(BaP)、3-氯-1,2-丙二醇(3-MCPD)两种有害物质含量, 研究其变化趋势。与毛油相比, 稻米油精炼后维生素E含量下降了37.92%, 谷维素含量下降了23.05%, 甾醇含量下降了22.69%, BaP含量下降了97.61%, 3-MCPD含量下降了80.47%。稻米油加工过程会导致BaP和3-MCPD有害物质产生, 且3-MCPD在精炼过程中整体呈减少趋势; 同时, 稻米油中V<sub>E</sub>、谷维素和甾醇也有不同程度的减少。

**关键词:** 稻米油; 苯并芘; 3-氯-1,2-丙二醇; 谷维素; 变化趋势

中图分类号: TS 225.6 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)01-0011-06

## Study on the trends of nutrients and harmful substance in rice bran oil processing

CAO Jian<sup>1</sup>, ZHAO Jin<sup>1</sup>, LEI Feng-feng<sup>1</sup>, ZHENG Jing-chen<sup>1,2</sup>, LUO Zhi<sup>1,2</sup>, HE Dong-ping<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan Hubei 430023;

2. Key Laboratory of Deep Processing of Major Grain and Oil of Education

(Wuhan Polytechnic University), Wuhan Hubei 430023)

**Abstract:** To understand the trends of nutrients and harmful substances in the processing of rice bran oil (RBO). Three batches of RBO samples from three RBO factories, including crude oil, degumming, dewaxing, deacidification, decolorization and degreasing were collected, Measurement of its vitamin E, oryzanol and sterol and two harmful substances. Study its trends. Two harmful matters including benzopyrene (BaP), 3-chloro-1,2-propanediol (3-MCPD) and three nutritional contents including vitamin E, oryzanol, sterol were determined. The trends of these substances change were studied. The vitamin E decreased by 37.92%, oryzanol decreased by 23.05%, sterol decreased by 22.69%, BaP content of RBO decreased by 97.61%, 3-MCPD decreased by 80.47%, when compared with crude oil. BaP and 3-MCPD are produced, 3-MCPD shows a decreasing trend, and vitamin E, oryzanol, sterol are decrease with different degrees during the processing of RBO.

**Key words:** rice bran oils; benzopyrene; 3-chloro-1,2-propanediol; oryzanol; trends

收稿日期: 2019-11-11

基金项目: “十三五”国家重点研发项目(2016YFD0401405-5)——油料油脂适度加工技术规范制定与实施

作者简介: 曹健, 1994年出生, 男, 硕士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白。

通讯作者: 何东平, 1957年出生, 男, 教授, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白。

稻米油营养丰富,脂肪酸组成合理,含有丰富的谷维素、 $V_E$ 、植物甾醇、角鲨烯等天然生物活性物质,是消费者主要的食用油之一。根据稻米油的组成特性,工业精炼工艺主要采用水化脱胶、低温脱蜡、物理蒸馏脱酸、高温活性白土脱色、真空脱臭及脱脂 6 个步骤<sup>[1]</sup>。油脂精炼会对油脂中微量成分造成一定影响,除营养成分流失,还会生成 BaP、3-MCPD 等有害物质,进而影响成品食用油的品质。为研究稻米油加工过程营养成分及有害物质的变化,对工厂各精炼工段稻米油样品中两种污染物(BaP、3-MCPD)和三种营养物质( $V_E$ 、谷维素、甾醇)进行检测,以探究其变化趋势,为稻米油适度加工提供一定参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

采集 A、B、C 三个工厂各精炼工段的稻米油样品(即稻米油毛油、脱胶油、脱蜡油、脱酸油、脱色油和脱脂油)各 3 个批次。

氘代氯仿:AldrichChemical;3-氯-1,2-丙二醇标准品、D5-3-氯-1,2-丙二醇标准品:德国 o2si 公司;QuEChERS 混合填料:德国 CNW 公司;其余标准品由上海安谱实验科技股份有限公司提供。实验试剂为国产色谱纯。

### 1.2 仪器与设备

7010 型三重四极杆气质联用仪[配 DB-EUPAH 专用色谱柱(20 m $\times$ 0.18 mm,0.14  $\mu$ m)]:安捷伦公司;DK-98 万分之一电子天平:南京晓晓仪器设备有限公司;TD5A-WS 台式离心机:湖北省凯达科学仪器有限公司;Li Chro CART Si60 (250 mmol/L $\times$ 4 mmol/L,5  $\mu$ m)色谱柱:赛默飞世尔科技公司;HP-5 (20 m $\times$ 0.18 mm $\times$ 0.18  $\mu$ m):安捷伦公司等。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 稻米油中 BaP 的含量测定

##### (1) 样品前处理

称取约 1 g 油脂样品于 50 mL 离心管中,加入 1 ng/mL 的混合氘代内标溶液 1 mL,依次加入 5 mL 正己烷和 5 mL 二甲基亚砜,震荡后于

4 500 r/min 离心 3 min,取下层至另一 50 mL 离心管中,依次加入 5 mL 超纯水和 5 mL 正己烷,摇匀、于 4 500 r/min 离心 3 min,取上层至 8 mL 样品瓶中,氮气缓慢吹干,加入 0.2 g QuEChERS 混合填料和 1 mL 乙腈,涡旋震荡 1 min 以上,5 000 r/min 离心 5 min,取上清液至气相瓶中,待上机检测。

##### (2) 色谱条件

程序升温过程为 45 保持 0.8 min,以 45 /min 升至 200 ,再以 2.5 /min 升至 225 ,再以 3 /min 升至 245 随后以 0.5 /min 升至 247 ,再以 6 /min 升至 300 ,最后以 10 /min 升至 320 ,保持 4.5 min;进样口温度:280 ;进样方式:PTV 不分流进样,进样量为 5  $\mu$ L;载气为氦气,恒流模式;碰撞气为氦气。

##### (3) 质谱条件

电子轰击离子源;传输线温度为 320 ;离子源温度为 260 ;接收极电流 50  $\mu$ A;溶剂延迟时间 10.0 min;碰撞气体为氦气。

#### 1.3.2 稻米油中 3-MCPD 的含量测定

##### (1) 样品前处理

准确称取油样 100 mg 于 A、B 两个 2 mL 离心管中,后精确加入 100  $\mu$ L 内标物,加入 300  $\mu$ L 叔丁基甲醚,涡旋震荡后加入 200  $\mu$ L 氢氧化钠-甲醇,3.5 min 后,向 A 中加入 600  $\mu$ L 酸化氯化钠溶液,向 B 中加入 600  $\mu$ L 酸化溴化钠溶液,立刻涡旋震荡后加入 600  $\mu$ L 异己烷,将样品静置 5 min 以上,弃去上层有机相,加入 600  $\mu$ L 乙醚-乙酸乙酯,涡旋震荡后静置 5 min 以上,吸取上层有机相到新的 2 mL 离心管中(向管中提前加入 2 mL 无水硫酸钠),重复两遍乙醚-乙酸乙酯萃取过程,将三次萃取获得的上层有机相都收集在同一 2 mL 离心管中,加入 100  $\mu$ L 苯硼酸混匀,静置 5 min 以上,移取上层清液到新的 2 mL 离心管中,氮气吹干,准确加入 400  $\mu$ L 正己烷,4 500 r/min 离心 3 min,吸取上清液,准备进样。

##### (2) 标准曲线的绘制

吸取 3-MCPD 标准工作液(1 mg/L)0.01、

0.05、0.1、0.2、0.4、0.8、1.6 mL 和 3-MCPD 标准中间液 (10 mg/L) 0.32 mL 于密闭性好的适当体积 (5 mL 或 10 mL) 的透明具塞 (盖) 玻璃管中, 分别加入 D5-3-MCPD 标准工作液 (10 mg/L) 20  $\mu$ L, 加正己烷至 2 mL, 配制成含 3-MCPD 质量分别为 10、50、100、200、400、800、1 600、3 200 ng 系列标准工作液, 其中 D5-3-MCPD 的质量均为 200 ng。临用现配。

### (3) 色谱条件

进样量: 2  $\mu$ L, 不分流进样; 载气: 氦气 99.999%。升温程序: 85  $^{\circ}$ C, 保持 0.5 min, 6  $^{\circ}$ C/min 至 150  $^{\circ}$ C, 12  $^{\circ}$ C/min 至 180  $^{\circ}$ C, 180  $^{\circ}$ C 至 280  $^{\circ}$ C, 保持 7 min。

### (4) 质谱条件

质谱检测器: 电子轰击 (EI); 扫描方式: 选择离子监测模式 (SIM); 电离能量: 70 eV; 离子源温度: 250  $^{\circ}$ C; 传输线温度: 280  $^{\circ}$ C。

### 1.3.3 稻米油中谷维素的含量测定方法<sup>[2]</sup>

制备谷维素标准曲线<sup>[2]</sup>: 取谷维素标准样品约 30 mg, 置于 50 mL 容量瓶中, 加三氯甲烷溶解, 震荡摇匀, 用无水乙醇定容, 作为标准溶液备用; 分别取 0.5、1、1.5、2、2.5 mL, 置于 50 mL 容量瓶中, 加正庚烷定容, 以无水乙醇为空白液, 在 327 nm 的波长处测定吸光度。

样品测定: 准确称取 1~2 g 稻米油样, 置于 50 mL 容量瓶中, 加 4 mL 三氯甲烷溶解, 定容。在 327 nm 的波长处测定吸光度。

$$\text{谷维素含量}/\% = \frac{C \times B}{W \times 10^6} \times 100$$

式中:  $C$  为由标准曲线所得谷维素浓度,  $\mu$ g/mL;  $B$  为样品稀释体积, mL;  $W$  为样品质量, g。

### 1.3.4 稻米油中维生素 E 的测定

#### (1) 标准溶液配制

精确称量  $\gamma$ -生育酚标准品 4 mg、 $\delta$ -生育酚标准品 4 mg、混标 30 mg、 $\beta$ -生育酚标准品 100  $\mu$ L 用正己烷溶解稀释后, 分别定容至 10 mL 棕色容量瓶中, 置于 -8  $^{\circ}$ C 冰箱冷藏备用, 分别取上述标准品溶液 1 mL 定容至 10、25、50、100、250 mL。

以生育酚和生育三烯酚的浓度 ( $\mu$ g/mL) 为横坐标, 峰面积为纵坐标, 绘制标准曲线, 并计算其回归方程。

#### (2) 样品处理

称取 1 g 植物油于 10 mL 试管中, 加入 5 mL 正己烷为分散剂, 超声波提取 10 min, 转移至 10 mL 容量瓶中, 用正己烷定容至刻度, 过 0.45  $\mu$ m 的有机系微滤膜后进 HPLC 分析, 根据含量峰面积标准曲线进行定量分析。

#### (3) 色谱条件

采用色谱柱为 Li Chro CART Si60 (250 mmol/L $\times$ 4 mmol/L, 5  $\mu$ m), 检测波长为 292 nm; 柱温为 30  $^{\circ}$ C; 流动相为正己烷与异丙醇 (体积比为 99.5 : 0.5); 流速为 0.8 mL/min; 进样量为 25  $\mu$ L, 采用外标法定量。

### 1.3.5 稻米油中甾醇的测定<sup>[3]</sup>

#### (1) 样品前处理过程

取  $\beta$ -胆甾醇 1000  $\mu$ L, 氮吹后加入 0.20 g 稻米油, 加入 4 mL KOH-乙醇溶液, 在 55  $^{\circ}$ C 烘箱中反应 1 h, 其中每隔 20 min 震荡一次, 共 3 次。反应结束后, 加入 1 mL 蒸馏水, 5 mL 正己烷, 以 3 500 r/min 离心 1 min, 氮气吹干, 加入 2 mL 硅烷化试剂, 在 105  $^{\circ}$ C 烘箱中反应 15 min 后, 将样品装入样品瓶, 准备上机。

#### (2) 色谱条件

采用色谱柱为安捷伦 HP-5 (20 m $\times$ 0.18 mm $\times$ 0.18  $\mu$ m) 进样体积 1.0  $\mu$ L, 载气为高纯 He; 载气原始压力为 10.52 psi; 分流比 50 : 1; 进样口温度 300  $^{\circ}$ C; 检测器温度 360  $^{\circ}$ C; 氢气流量为 40 mL/min; 空气流量为 400 mL/min; 氮气流量为 40 mL/min; 升温程序: 200  $^{\circ}$ C 保持 0.5 min, 然后以 2  $^{\circ}$ C/min 升温至 300  $^{\circ}$ C。

### 1.3.6 稻米油中其他理化指标测定方法

酸值的测定参照 GB/T 5530-2005。

### 1.3.7 数据处理

本实验样品检测重复 3 次, 采用 origin 9.1, Excel 2013 及 SPSS 对实验数据进行统计学分析, 相关性分析采用 Person 分析 ( $P < 0.05$ ), 差异性分析采用 ANOVA 分析 ( $P < 0.05$ ), 均值比较使用 Duncan 法。

## 2 结果与分析

### 2.1 精制过程稻米油 BaP 变化趋势

BaP 是一种常见的高活性间接致癌物，稻米油中 BaP 主要来源于原料污染，在精炼过程中的脱酸、脱色以及脱臭都可以在一定程度上降低油脂中 BaP 的含量。在油脂加工中，BaP 因其强亲脂性而易富集在油脂中<sup>[4]</sup>，我国《GB 2762-2012 食品中污染物限量》规定油脂及其制品中 BaP 含量 ≤ 10 μg/kg，欧盟 ECREgulation835/2011 规定油脂中 BaP 含量不得超过 2 μg/kg。对工厂各批次稻米油中的 BaP 进行检测，结果如图 1 所示。

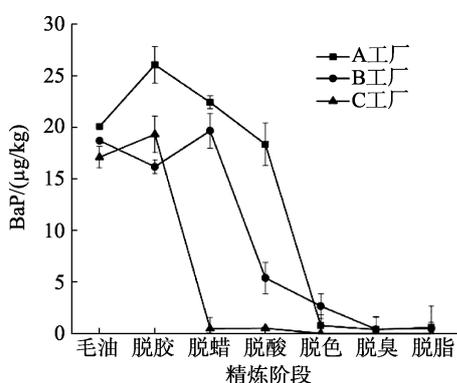


图 1 精制过程稻米油 BaP 变化趋势

三家工厂制取的稻米油毛油中 BaP 含量均超过 17 μg/kg，其原因可能是工厂浸出过程中溶剂里存在多环芳烃类物质，在高温脱溶时与溶剂反应生成 BaP，并于油相富集；且油脂在高温下也可能氧化聚合产生 BaP<sup>[5]</sup>。

经脱胶、脱蜡、脱酸、脱色后，稻米油中 BaP 的含量降低了 97.61%±0.01%，其中脱色过程使用

了物理脱色剂，使该阶段 BaP 脱除率达到 84.08%±0.03%。稻米油脱色后 BaP 含量已达到我国标准 GB 2762-2017 规定，即不高于 10 μg/kg。脱脂后成品油达到了欧盟标准，即 BaP 含量不高于 2 μg/kg。

精炼对降低植物油中 BaP 含量有重要作用，目前对稻米油加工过程 BaP 产生的原因文献研究较多，但如何建立关键控制点以及如何有效控制 BaP 的产生还需进一步研究。

### 2.2 精制过程稻米油 3-MCPD 变化趋势

油脂精炼对油脂中微量组分会造成一定的影响，甚至生成痕量食品污染物，进而影响成品食用油的品质，其中 3-MCPD 就是一种比较典型食品污染物。3-MCPD 容易在油脂及油脂食品热加工及油脂精炼中形成，但其形成机制尚未明确<sup>[4]</sup>，但普遍认为氯离子、水分和精炼温度对油脂中 3-MCPD 的形成有一定影响<sup>[6]</sup>。

对精制过程稻米油中 3-MCPD 含量进行测定，结果如图 2 所示，由图可知稻米毛油本身含有一定量的 3-MCPD。A 厂经脱胶处理之后 3-MCPD 含量有一定程度地增加，这可能是由于脱胶过程中水相体系的引入。A、B、C 三厂在脱色阶段，3-MCPD 含量大幅减少，平均减少率为 80.47%，说明白土和活性炭等物理吸附剂对 3-MCPD 有吸附作用，经脱臭处理后，3-MCPD 含量波动较小，说明高温能促使油样中形成新的 3-MCPD，同时脱臭温度过高又会使部分 3-MCPD 分解。

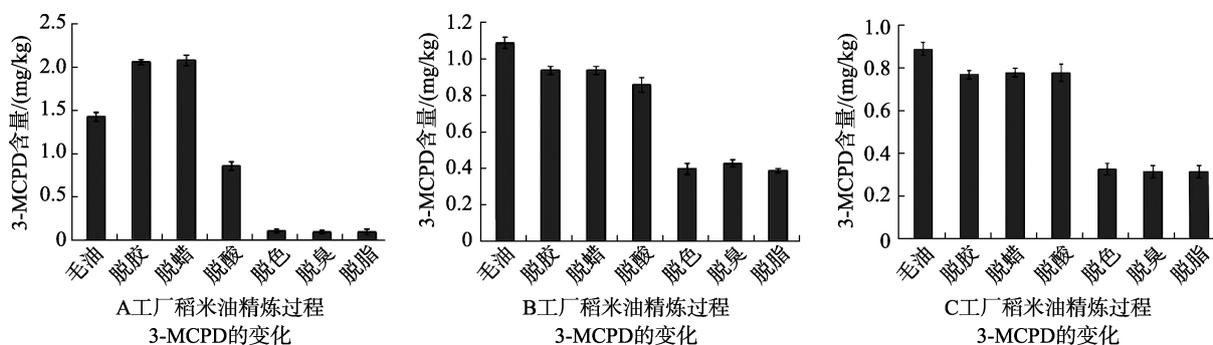


图 2 精制过程稻米油 3-MCPD 变化趋势

稻米油中 3-MCPD 在精炼过程含量整体呈减少趋势，我国对于油脂中 3-MCPD 的含量限定还未出台，脱脂稻米油中 3-MCPD 符合我国现有的

固态调味品中 3-MCPD < 0.4 mg/kg 的规定。

### 2.3 精制过程稻米油维生素 E(V<sub>E</sub>)变化趋势

V<sub>E</sub> 又称生育酚，是一类脂溶性功能性化合物

的总称。稻米油中  $V_E$  含量为 0.04%~0.25%<sup>[7]</sup>，其中生育三烯酚占  $V_E$  总量的 60%~70%<sup>[8]</sup>。 $V_E$  具有抗氧化、抑制胆固醇合成及预防心血管疾病等生

理功能<sup>[9]</sup>。研究共测定 A、B、C 三个工厂 7 个精炼阶段 21 个稻米油样品的生育酚和生育三烯酚含量，详见表 1。

表 1 精制过程稻米油  $V_E$  变化趋势

mg/kg

工厂	样品	$\alpha$ -生育酚	$\beta$ -生育酚	$\gamma$ -生育酚	$\delta$ -生育酚	$\alpha$ -生育三烯酚	$\beta$ -生育三烯酚	$\gamma$ -生育三烯酚	$\delta$ -生育三烯酚	总含量
A	毛油	383.2	N.D.*	122.4	N.D	328.5	N.D.	419.2	9.0	1 262
	脱胶	369.6	N.D.	110.1	N.D	306.4	N.D.	408.1	5.5	1 200
	脱蜡	357.4	N.D.	119.2	N.D	353.2	N.D.	408.8	N.D.	1 239
	脱酸	351.9	N.D	51.1	N.D	249.0	N.D.	258.7	N.D.	911
	脱色	322.5	129.4	25.5	N.D	319.8	N.D.	113.3	N.D.	910
	脱臭	218.6	261.0	8.5	N.D	235.1	N.D.	83.3	N.D.	806
	脱脂	222.6	286.2	4.1	N.D	248.9	N.D.	82.0	N.D.	844
B	毛油	375.0	N.D.	110.2	N.D.	287.9	N.D.	375.7	5.1	1 154
	脱胶	347.8	N.D.	39.0	N.D	227.1	N.D	385.9	N.D.	1 000
	脱蜡	383.4	N.D.	100.6	N.D.	305.5	N.D.	372.7	1.5	1 164
	脱酸	357.4	36.6	57.3	N.D.	281.9	N.D.	267.4	N.D.	1 001
	脱色	358.1	N.D.	42.2	N.D	219.3	N.D.	127.7	N.D.	747
	脱臭	227.8	199.2	7.6	N.D.	210.0	N.D.	44.8	N.D.	689
	脱脂	233.3	147.4	16.8	N.D.	190.8	N.D.	159.7	N.D.	748
C	毛油	456.7	N.D.	120.3	N.D.	329.7	N.D	427.4	N.D.	1 334
	脱胶	453.9	N.D	112.4	N.D.	305.1	N.D	448.0	N.D	1 269
	脱蜡	423.8	N.D.	103.5	N.D	278.6	N.D.	356.8	N.D.	1 162.7
	脱酸	408.7	N.D.	96.1	N.D.	236.2	N.D.	296.5	N.D.	1 037
	脱色	417.5	N.D.	64.1	N.D.	269.9	N.D.	119.4	N.D.	871
	脱臭	347.9	79.7	44.2	N.D.	242.9	N.D.	90.5	N.D.	805
	脱脂	327.8	79.7	40.3	N.D.	235.9	N.D.	84.3	N.D.	727.7

\*N.D.: 未检出。

从表 1 可以看出 稻米毛油中  $V_E$  以  $\alpha$ -生育酚、 $\alpha$ -生育三烯酚、 $\gamma$ -生育三烯酚为主，总  $V_E$  含量均在 1 100 mg/kg 以上。精炼过程中  $V_E$  含量整体呈下降趋势，脱色阶段  $\gamma$ -生育三烯酚含量平均下降 56.06%，脱臭阶段  $\alpha$ -生育酚和  $\gamma$ -生育酚含量平均下降 28.43%和 59.90%。三家工厂在精炼过程中  $V_E$  的平均损失率为 37.92%，其中  $\gamma$ -生育酚和  $\gamma$ -生育三烯酚损失均在 80%以上。

#### 2.4 精制过程稻米油中谷维素含量变化趋势

谷维素主要是环木菠萝醇类阿魏酸酯及甾醇类阿魏酸酯组成的化合物，稻米油中的谷维素含量比其他植物油高<sup>[8]</sup>。一般米糠毛油中谷维素含量为 1.5%~2.9%<sup>[10]</sup>。谷维素具有降低血脂、降低肝脏脂质、防止脂质氧化等生理功能<sup>[11]</sup>。

由图 3 可知，所测样品的稻米毛油中谷维素含量分别为 23 957、21 830 和 22 751 mg/kg。脱脂后谷维素含量分别为 20 176，20 396，

19 747 mg/kg。三个工厂的稻米油谷维素损失率分别为 15.78%、6.57%、13.20%。

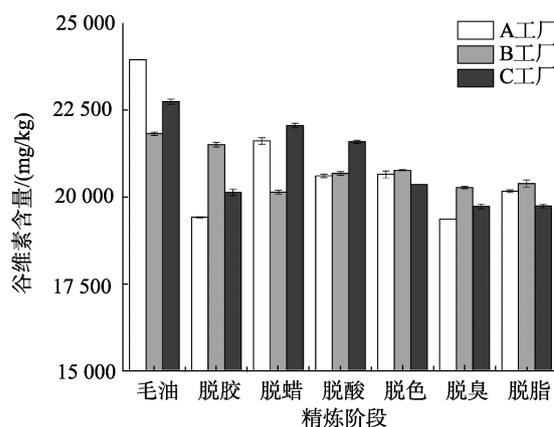


图 3 精制过程稻米油 3-MCPD 变化趋势

#### 2.5 精制过程稻米油中甾醇含量变化趋势

甾醇是稻米油中不皂化物的主要成分之一。稻米毛油中植物甾醇含量在 0.75%左右<sup>[7]</sup>，在各

种植物油中米糠油的植物甾醇含量较高<sup>[12]</sup>。甾醇有消炎、抗结石功能，具有极高药用价值<sup>[13]</sup>。

测定精炼过程  $\beta$ -胆甾烷醇、菜油甾醇、豆甾醇、 $\beta$ -谷甾醇含量，并分析其变化趋势，详见表 2。

表 2 精制过程稻米油甾醇变化趋势

mg/kg

工厂	名称	$\beta$ -胆甾烷醇	菜油甾醇	豆甾醇	$\beta$ -谷甾醇	总甾醇含量
A	毛油	9 735.72	3 156.03	1 684.83	11 789.66	16 630.52
	脱蜡	10 626.69	3 259.26	1 716.99	8 832.96	13 809.21
	脱酸	9 643.24	3 182.45	1 731.31	9 097.34	14 011.10
	脱色	9 942.91	3 109.56	1 615.91	8 414.87	13 140.34
	脱臭	10 388.38	3 039.79	1 533.92	8 420.85	12 994.55
B	毛油	9 118.42	4 052.37	2 227.55	12 313.30	18 593.21
	脱蜡	9 728.21	3 861.66	1 924.32	9 651.71	15 437.69
	脱酸	8 841.52	3 840.28	1 910.42	11 908.94	17 659.64
	脱色	8 889.91	3 699.64	1 708.81	9 618.60	15 027.05
	脱臭	9 713.78	3 436.81	1 553.83	8 853.31	13 843.95
C	毛油	9 767.37	3 361.23	1 728.07	10 648.91	15 738.21
	脱蜡	9 203.39	3 294.74	1 691.65	9 199.88	14 186.27
	脱酸	8 996.53	3 357.17	1 639.03	9 501.32	14 497.52
	脱色	8 622.73	2 991.17	1 354.78	8 621.51	12 967.45
	脱臭	9 293.92	3 104.75	1 421.22	7 462.50	11 988.40

精炼过程  $\beta$ -胆甾烷醇含量几乎无损失，菜油甾醇含量的损失平均在 6.90%，豆甾醇损失较大，平均损失为 28.62%。A、B、C 三厂稻米油精炼过程甾醇平均损失率在 22.69%。

### 3 结论

对采集的国内三家稻米油工厂各精炼工段油样，测定其 BaP、3-MCPD 两种有害物质和  $V_E$ 、谷维素及甾醇三种营养物质含量，结果表明精炼过程对稻米油中微量成分造成一定影响，毛油溶剂浸出工艺会导致 BaP 和 3-MCPD 这两种有害物质的产生。经过精炼，脱脂稻米油中 BaP 降低了 97.61%，符合国家标准，3-MCPD 含量降低了 80.47%。但同时，稻米油中的  $V_E$ 、谷维素及甾醇等营养成分也有不同程度的减少， $V_E$  含量下降了 37.92%，谷维素含量下降了 23.05%，甾醇含量下降了 22.69%。

因此，在稻米油精炼过程，工厂需要优化精炼工艺，例如采用酶法酯化脱酸，可以一定程度解决稻米油物理蒸馏脱酸带来的 3-MCPD 产生和营养物质流失等问题。通过对稻米油加工过程营养成分及有害物质的变化研究，希望对未来稻米油适度加工提供一定参考。

### 参考文献：

- [1] 高经梁, 刘玉兰, 高伟梁, 等. 米糠油的加工技术及应用研究进展[J]. 粮食科技与经济, 2012, 37(5): 49-52.
- [2] 刘贺, 金青哲, 王兴国. 混合油脱酸富集谷维素工艺优化[J]. 粮油加工, 2009(8): 56-59.
- [3] 金世梅, 朱惠, 黄静, 等. 植物甾醇的鉴定及其检测方法的研究[J]. 中国食品添加剂, 2006(3): 146-150.
- [4] 周红茹. 油脂中 3-氯-1, 2-丙二醇及其酯的分布、检测与其在热加工和精炼过程中的变化规律[D]. 江南大学, 2015.
- [5] 刘兵戈, 刘国琴, 汪学德. 植物油加工中苯并(a)芘的产生途径及控制措施[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(2): 47-51.
- [6] 谢莹. 米糠油制取及精炼工艺的研究[D]. 中南林业科技大学, 2013.
- [7] 吴时敏. 功能性油脂[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [8] 刘玉兰, 彭团儿, 马宇翔. 米糠油及其脱臭馏出物中生育酚和生育三烯酚的分析检测[J]. 中国油脂, 2010, 35(3): 70-74.
- [9] 刘玉兰, 彭团儿, 汪学德, 等. 米糠油脱臭馏出物中维生素 E 浓缩精制工艺研究[J]. 粮油加工, 2010(1): 9-15.
- [10] KRISHNA A G, KHATOON S, SHIELA P M, et al. Effect of refining of crude rice bran oil on the retention of oryzanol in the refined oil[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2001, 78(2): 127-131.
- [11] 程俊文, 阚建全, 王储炎. 米糠油中谷维素的研究进展及在食品中的应用[J]. 粮食与食品工业, 2005, 12(4): 17-19.
- [12] 毛春季, 叶涛, 王一然, 等. 米糠制品研究进展[J]. 农产品加工. 学刊, 2012(3): 111-112.
- [13] 姚梅桑. 米糠油的制备及其抗氧化活性研究[D]. 南京农业大学, 2008.

备注：本文的彩色图表可从本刊官网( <http://lyspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx> )、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。

(审核：谭云)