

# 蒸汽爆破预处理对油茶籽水代法提油品质的影响

张善英<sup>1,2</sup>, 郑丽丽<sup>2,3</sup>, 艾斌凌<sup>2,3</sup>, 郑晓燕<sup>2,3</sup>, 杨 旻<sup>2,3</sup>, 潘永贵<sup>1,\*</sup>, 盛占武<sup>2,3,\*</sup>

(1.海南大学食品科学与工程学院, 海南 海口 570228; 2.中国热带农业科学院海口实验站, 海南 海口 570102;  
3.海口市香蕉生物学重点实验室, 海南 海口 570102)

**摘 要:** 利用蒸汽爆破对油茶籽进行处理, 探究不同蒸汽爆破压力、维压时间对油茶籽油提油率、油品理化性质、活性物质含量变化的影响, 并分析影响其品质变化的内部因素。结果表明: 当蒸汽爆破压力在0~1.6 MPa时, 油茶籽油提油率随着压力的升高而增加, 超过1.6 MPa时, 提油率下降; 当维压时间为30 s时, 提油效果优于其他处理时间; 因此蒸汽爆破处理最佳条件为1.6 MPa处理30 s。蒸汽爆破处理可以降低油茶籽油的酸价、过氧化值, 提高油茶籽油的碘值、多酚质量浓度和角鲨烯、VE含量。经汽爆处理的油茶籽表面变得粗糙, 结构遭到破坏, 进而有利于油茶籽油和活性物质的释放。蒸汽爆破处理加速了油茶籽油美拉德反应的发生。因此, 蒸汽爆破预处理有利于油茶籽油的提取和活性物质的释放。

**关键词:** 蒸汽爆破; 油茶籽油; 理化性质; 活性物质; 美拉德反应

## Effect of Steam Explosion Pretreatment on Quality of Tea Seed (*Camellia oleifera* Abel.) Oil Obtained by Aqueous Extraction

ZHANG Shanying<sup>1,2</sup>, ZHENG Lili<sup>2,3</sup>, AI Binling<sup>2,3</sup>, ZHENG Xiaoyan<sup>2,3</sup>, YANG Yang<sup>2,3</sup>, PAN Yonggui<sup>1,\*</sup>, SHENG Zhanwu<sup>2,3,\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China;

2. Haikou Experimental Station, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 570102, China;

3. Haikou Key Laboratory of Banana Biology, Haikou 570102, China)

**Abstract:** Steam explosion pretreatment was employed for *Camellia oleifera* seeds, and the effects of different steam pressure levels and holding time on the yield, physicochemical properties, bioactive substance contents of tea seed oil were explored, as well as the internal factors that affect the change in tea oil quality. The results showed that the oil yield increased with steam pressure up to 1.6 MPa and then decreased. The maximum extraction efficiency was obtained when the pressure holding time was 30 s. Therefore, 1.6 MPa and pressure holding time of 30 s could be considered as the optimal steam explosion conditions for tea seeds. Steam explosion pretreatment reduced the acid, peroxide value of tea seed oil, and increased iodine value and the contents of polyphenols, squalene and vitamin E. Scanning electron microscopy revealed that steam explosion pretreatment made the surface of tea seeds rougher and destroyed the cell structure, thereby promoting the release of oil and bioactive substances. In addition, steam explosion accelerated the Maillard reaction of tea seed oil. Therefore, steam explosion could be an effective method for the extraction of tea seed oil and the release of bioactive substances.

**Keywords:** steam explosion; tea seed oil; physicochemical properties; bioactive substances; Maillard reaction

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180614-272

中图分类号: TS255.36

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2019) 11-0124-07

引文格式:

张善英, 郑丽丽, 艾斌凌, 等. 蒸汽爆破预处理对油茶籽水代法提油品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 124-130.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180614-272. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2018-06-14

基金项目: 海南省重大科技计划项目 (ZDKJ2017004); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (17CXTD-05)

第一作者简介: 张善英 (1990—) (ORCID: 0000-0002-3490-1240), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工。

E-mail: 17889986721@163.com

\*通信作者简介: 潘永贵 (1970—) (ORCID: 0000-0001-8746-4083), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品保鲜。

E-mail: yongui123@126.com

盛占武 (1981—) (ORCID: 0000-0003-2253-6853), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为农产品加工。

E-mail: shengzhanwu100@163.com

ZHANG Shanying, ZHENG Lili, AI Binling, et al. Effect of steam explosion pretreatment on quality of tea seed (*Camellia oleifera* Abel.) oil obtained by aqueous extraction[J]. Food Science, 2019, 40(11): 124-130. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20180614-272. http://www.spkx.net.cn

油茶 (*Camellia oleifera* Abel.) 是中国重要的木本油料树种, 属于山茶科 (Theaceae) 山茶属 (*Camellia*) 常绿乔木或小叶灌木, 在我国主要分布于湖南、江西、云南等南部地区, 2015年我国油茶种植总面积超过366.67万 ha<sup>[1]</sup>。油茶籽油富含丰富的油酸, 其脂肪酸组成与橄榄油相似, 被誉为“东方橄榄油”。此外, 油茶籽油还富含多种活性成分, 如角鲨烯、多酚、VE等, 具有降血脂、预防高血压和血管硬化、抗癌<sup>[2]</sup>以及调节肠道致病菌群<sup>[3]</sup>等作用, 具有较高的医用价值, 备受广大消费者青睐。

蒸汽爆破技术是一种原料预处理技术, 其过程是通过高温蒸煮的热化学作用耦合瞬时爆破的物理撕裂作用, 改变生物质大分子物化特性, 从而有效改善物料在后续利用中的传质和反应可及性<sup>[4]</sup>, 其作用原理主要是原料的类酸性水解及热降解作用、蒸汽瞬间释放的类机械断裂作用、纤维素分子内和分子间氢键破坏作用和纤维素分子链断裂并发生结构重排作用<sup>[5]</sup>, 是一种较好的生物质预处理方法。将蒸汽爆破技术于用小黑麦秸秆处理, 可提高小黑麦秸秆的糖回收率和消化率<sup>[6]</sup>; 张棋等<sup>[7]</sup>用经蒸汽爆破技术处理的粉葛提取黄酮, 结果表明, 蒸汽爆破处理可提高黄酮类物质的提取效率; 苹果渣经蒸汽爆破处理之后, 其结构变得疏松, 有利于提高苹果渣中果胶的得率和品质<sup>[8]</sup>。蒸汽爆破技术还可用于漆树籽油<sup>[9]</sup>和玉米胚芽油<sup>[10]</sup>的提取, 提油率和提油效率均高于常规方法。由此可见, 蒸汽爆破处理可改变物料表面结构、加速细胞内物质的释放速度, 在油脂提取方面具有潜在的应用前景。美拉德反应即羰氨反应, 广泛存在于各种食品的热加工过程中, 产物通常包括酮类、醛类、吡啶类、呋喃类等影响食品风味的物质, 颜色是判断美拉德反应程度的一个明显标志, 褐变程度常作为判断美拉德反应变化的依据之一<sup>[11]</sup>。目前利用蒸汽爆破预处理提取油茶籽油的研究国内外鲜有报道。因此, 本研究选择不同的蒸汽爆破压力和时间处理油茶籽, 探索不同预处理条件对油茶籽油感官品质、理化性质和活性物质的影响, 并分析处理前后油品质变化的内在因素, 以期蒸汽爆破技术在油脂提取方面的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

油茶籽购于海南省琼海市。

脂肪酸、角鲨烯、 $\alpha$ -生育酚、没食子酸 (均为标准

品)、三氟化硼、甲醇 美国Sigma公司; 乙腈 美国天地公司; 其他试剂均购于西陇化工股份有限公司。

### 1.2 仪器与设备

QBS-80蒸汽爆破实验台 河南省鹤壁正道生物能源有限公司; 数显水浴恒温振荡器 常州普天仪器制造有限公司; AL-104型精密电子天平 上海梅特勒-托利多仪器设备有限公司; 7890B气相色谱仪 美国安捷伦科技有限公司; 超高效液相色谱仪 (ultra performance liquid chromatography, UPLC) 美国Waters公司; JSM-7500F扫描电子显微镜 日本电子株式会社; UV-1800紫外-可见分光光度计 日本岛津仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 油茶籽蒸汽爆破预处理

将脱壳干燥的油茶籽放入蒸汽爆破物料腔内, 分别于0.8~2.3 MPa条件下处理30 s, 于适当压力条件下处理30~120 s, 然后在0.087 5 s内完成瞬间泄压, 收集物料仓内的物料, 于50 °C烘箱干燥5 h, 粉碎过40目筛, 粉碎后的样品于-4 °C保存备用。

#### 1.3.2 油茶籽油的提取

水代法提取油茶籽油参考郭玉宝等<sup>[12]</sup>的方法, 称取5 g过40目筛的油茶籽粉, 按料液比1:4.5 (m/V) 添加蒸馏水, 搅拌均匀后用1 mol/L NaOH和1 mol/L HCl调节pH值至9, 于75 °C水浴摇床中以160 r/min的速度振荡提取150 min, 然后以4 000 r/min离心10 min。将离心后的混合液于-20 °C冷冻破乳12 h后于常温下解冻, 破乳后4 000 r/min离心10 min, 吸取上层清油并称质量, 按下式计算提油率。通过提油率得出蒸汽爆破预处理油茶籽的最佳条件。

$$\text{提油率}/\% = \frac{m_1}{m_2} \times 100$$

式中:  $m_1$ 为提取的油茶籽油质量/g;  $m_2$ 为油茶籽质量/g。

#### 1.3.3 油茶籽微观结构观察

为了更好地研究蒸汽爆破对油茶籽结构的影响并分析其提油机理, 利用扫描电子显微镜对最优预处理条件下经蒸汽爆破与未经蒸汽爆破处理的油茶籽样品进行分析。将干燥的样品固定到粘有导电胶带的样品台上, 喷金之后, 观察蒸汽爆破处理对油茶籽结构的影响。

#### 1.3.4 油茶籽油理化指标的测定

以提油率最高的条件 (1.6 MPa、30 s) 和未经蒸汽爆破预处理 (对照) 得到的油茶籽油为对象, 测定其理化指标。

酸价根据LS/T 6107—2012《动植物油脂 酸值和酸度测定 自动滴定分析法》<sup>[13]</sup>的方法测定。

过氧化值按照LS/T 6106—2012《动植物油脂 过氧化值测定 自动滴定分析法》<sup>[14]</sup>的方法测定。

碘值按照GB/T 5532—2008《动植物油脂 碘值的测定》<sup>[15]</sup>的方法测定。

皂化值按照GB/T 5534—2008《动植物油脂 皂化值的测定》<sup>[16]</sup>的方法测定。

多酚质量浓度测定参照周晴芬<sup>[17]</sup>的方法略有改进。分别取0、0.50、1.00、1.50、2.00、2.50、3.00、3.50、4.00  $\mu\text{g/mL}$ 没食子酸，25  $^{\circ}\text{C}$ 下显色2 h，在765 nm波长下测定吸光度。以没食子酸质量浓度为横坐标，吸光度为纵坐标建立标准曲线。所得标准曲线为 $y=0.0705x+0.0085$  ( $R^2=0.9953$ )。取50  $\mu\text{L}$ 待测油茶籽油于刻度试管中，加入6 mL蒸馏水，再先后加入1 mL福林-酚显色剂、3 mL 7.5 g/100 mL  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ，摇匀后于25  $^{\circ}\text{C}$ 显色2 h后，在765 nm波长处测定吸光度。由标准曲线求得对应的多酚质量浓度。

VE含量的测定按照GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素A、D、E的测定》<sup>[18]</sup>的方法并略有修改。使用配有荧光检测器的UPLC测定提取油茶籽油的生育酚含量。在所有分析中，采用BEH  $\text{C}_{18}$ 色谱柱（50 mm  $\times$  2.1 mm，1.7  $\mu\text{m}$ ）。分析在恒定柱温（35  $^{\circ}\text{C}$ ）条件下进行，流动相为100%乙腈，注射量为10  $\mu\text{L}$ ，流速为0.5 mL/min。使用荧光检测器定量 $\alpha$ -生育酚质量浓度，激发波长和发射波长分别为294 nm和338 nm。 $\alpha$ -生育酚校准曲线在0~300 mg/mL的质量浓度范围内进行。所得标准曲线为 $y=3.65 \times 10^6x-4.36 \times 10^5$  ( $R^2=0.9998$ )。样品中VE含量以每千克油中 $\alpha$ -生育酚的质量表示。

角鲨烯含量的测定参考文献<sup>[19]</sup>的方法。在装有火焰离子化检测器（flame ionization detector, FID）和HP-5柱（30 m  $\times$  0.32 mm，0.25  $\mu\text{m}$ ）的气相色谱仪上分析样品。使用氮气作为载气，流速为1 mL/min。不分流进样量为1.0  $\mu\text{L}$ ，进样口温度为250  $^{\circ}\text{C}$ ，FID温度300  $^{\circ}\text{C}$ 。将柱温于100  $^{\circ}\text{C}$ 保持5 min，然后以25  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至180  $^{\circ}\text{C}$ ，保持1 min，然后以10  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至280  $^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.3.5 油茶籽油脂肪酸相对含量的测定

取60 mg油茶籽油于圆底烧瓶中，加入2 mL 0.5 mol/L的NaOH-甲醇溶液，将混合液于65  $^{\circ}\text{C}$ 水浴中保持30 min，然后加入10 mL、体积分数10%三氟化硼-甲醇溶液，继续于65  $^{\circ}\text{C}$ 条件下水浴5 min，立即加入1 mL饱和氯化钠溶液和4 mL正己烷，剧烈振荡30 s，加入适量无水硫酸钠，剧烈振荡5 min，分层后取上清液过0.45  $\mu\text{m}$ 滤膜以待气相色谱分析，以37种混合脂肪酸标准品为参照。定量方法：峰面积归一化法。

气相色谱条件：用配备有FID和HP-5柱（30 m  $\times$  0.32 mm，0.25  $\mu\text{m}$ ）的气相色谱仪测定油茶籽

油的脂肪酸组成。载气为氮气，流速为1 mL/min，以样品分流比10:1进样（1  $\mu\text{L}$ ）。进样口温度和前检测器温度分别设定为250  $^{\circ}\text{C}$ 和300  $^{\circ}\text{C}$ 。升温程序：柱箱温度以5  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率从100  $^{\circ}\text{C}$ （1 min）升至190  $^{\circ}\text{C}$ ，接着以1  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率升至220  $^{\circ}\text{C}$ 。以每个峰的积分面积计算每种脂肪酸的相对含量，并表示为各个峰面积占总面积的百分比。实验重复3次。

### 1.3.6 美拉德反应中间产物含量和非酶褐变指数的确定

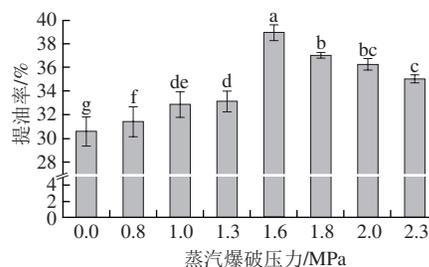
参照Zou Yanping等<sup>[20]</sup>的方法，将油茶籽油样品以1:20 ( $m/V$ )的比例用氯仿稀释，测定未处理与蒸汽爆破处理的油茶籽油在294 nm和420 nm波长处的吸光度，以 $A_{294\text{nm}}$ 和 $A_{420\text{nm}}$ 分别表征油茶籽油美拉德反应中间产物含量和非酶褐变指数。

### 1.4 数据处理与分析

所有实验重复3次，用Origin 8.0软件作图，采用SPSS 19.0软件进行统计分析，组间比较采用方差齐性检验和单因素方差分析， $P<0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 蒸汽爆破压力对油茶籽提油率的影响



小写字母不同表示差异显著 ( $P<0.05$ )。下同。

图1 蒸汽爆破压力对油茶籽预处理后提油率的影响

Fig. 1 Effect of steam pressure on oil yield

维压时间为30 s时，不同蒸汽爆破压力对油茶籽预处理后提油率的影响如图1所示，蒸汽爆破预处理可以显著提高油茶籽油的提油率。在0~1.6 MPa压力范围之内，随着蒸汽爆破压力的不断升高，油茶籽油的提油率提高，当蒸汽爆破压力达到1.6 MPa时提油率达到最高（38.95%），是未蒸汽爆破处理的油茶籽提油率的1.27倍。当蒸汽爆破压力大于1.6 MPa时，油茶籽油的提油率随压力的增大逐渐下降，过高的蒸汽压力条件导致温度过高，使蛋白质变性，包裹在其中的油滴不能释放出来，从而导致提油率下降<sup>[10]</sup>。因此从提油率和节能角度来考虑，选择1.6 MPa的压力比较合适。

### 2.2 维压时间对油茶籽提油率的影响

蒸汽爆破处理时间是影响提油率的另一个重要因素，设置蒸汽爆破压力为1.6 MPa，不同维压时间对提油率的影响如图2所示。当维压时间为30 s时，提油率达

到峰值, 缩短时间或是进一步延长只会导致提油率下降, 时间过短时提油率低是因为蒸汽爆破是自动水解过程, 作用时间短则反应不够充分<sup>[21]</sup>, 并且油茶籽的细胞结构没有完全被破坏, 不能使包裹于细胞中的油脂完全释放出来; 作用时间过长则蛋白质会截留或包埋油脂分子<sup>[22]</sup>。以上研究说明蒸汽爆破预处理油茶籽最佳条件为: 蒸汽爆破压力1.6 MPa、时间30 s。不同原料所需的蒸汽爆破处理条件有所差异, 倪双双<sup>[10]</sup>研究发现玉米胚芽油的最佳蒸汽爆破条件为1.3 MPa、30 s; 而亚麻籽油在2.0 MPa压力条件下处理30 s, 提油率高于其他蒸汽爆破处理条件<sup>[23]</sup>。蒸汽爆破通过破坏油茶籽的结构及其细胞壁, 使油脂从细胞结构中释放出来, 具有效率高、成本低、无污染等优点, 优于污染环境的溶剂萃取法<sup>[24]</sup>、成本较高的水酶法<sup>[25]</sup>、超临界萃取法<sup>[26]</sup>和不宜大规模使用的微波法<sup>[27]</sup>, 可广泛用于油茶籽油的提取。

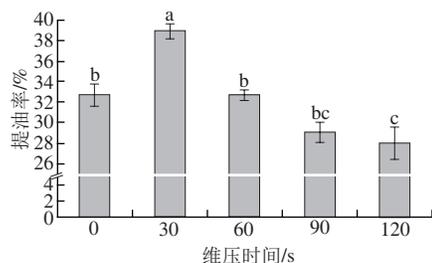
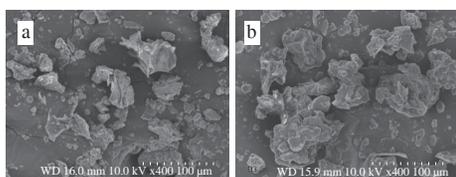


图2 蒸汽爆破维压时间对油茶籽预处理后提油率的影响  
Fig. 2 Effect of pressure holding time on oil yield

### 2.3 蒸汽爆破处理后油茶籽的微观结构分析



a. 未处理的油茶籽; b. 经蒸汽爆破处理的油茶籽。

图3 油茶籽扫描电子显微镜图

Fig. 3 Scanning electron microscopic images of tea seeds

从图3可以看出, 与未经蒸汽爆破处理的油茶籽结构相比, 经蒸汽爆破处理(1.6 MPa、30 s)的油茶籽结构发生明显变化。未经处理的油茶籽结构比较完整, 表面相对较光滑, 组织结构比较致密。与未经蒸汽爆破处理的油茶籽结构相比, 经蒸汽爆破处理的油茶籽表面层次增加, 表面结构变得比较粗糙, 可以观察到油脂附着在物料表面, 说明蒸汽爆破使油茶籽结构发生变化, 有利于油脂的释放。蒸汽爆破通过瞬时高温高压过程, 可以在极短时间有效破坏细胞内部组织和细胞壁, 从而在细胞表面形成孔隙, 有利于油茶籽油的提取。这与蒸汽爆破能够破坏杜仲叶细胞壁屏障从而增加绿原酸的释放<sup>[28]</sup>、破坏漆树籽细胞壁从而使黄酮释放量增加<sup>[29]</sup>的结论是一致的。

### 2.4 蒸汽爆破对油茶籽油理化性质的影响

表1 不同蒸汽爆破程度的油茶籽理化指标

Table 1 Effect of steam explosion on physicochemical properties of tea seed oil

理化指标	对照	蒸汽爆破处理
酸价/(mg/g)	1.86±0.08 <sup>a</sup>	0.92±0.09 <sup>b</sup>
过氧化值/(mmol/kg)	4.81±0.14 <sup>a</sup>	2.15±0.17 <sup>b</sup>
碘值/(g/100 g)	82.13±0.57 <sup>b</sup>	95.97±1.37 <sup>a</sup>
皂化值/(mg/g)	161.63±17.87 <sup>a</sup>	149.71±16.50 <sup>a</sup>
多酚质量浓度/(μg/mL)	5.00±1.02 <sup>b</sup>	13.96±0.08 <sup>a</sup>
VE含量/(mg/kg)	319.08±21.59 <sup>b</sup>	507.85±17.62 <sup>a</sup>
角鲨烯含量/(mg/100 g)	162.38±9.67 <sup>b</sup>	188.34±11.46 <sup>a</sup>

注: 同行肩标小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。下同。

对照和蒸汽爆破压力1.6 MPa、时间30 s条件下油品的理化性质如表1所示。蒸汽爆破预处理降低了油茶籽油的酸价和过氧化值, 未经蒸汽爆破处理的油茶籽所提取的油茶籽油酸价、过氧化值分别是蒸汽爆破处理组的2.02倍和2.24倍。油脂在高温下处理酸价会升高<sup>[30]</sup>, 但本研究中酸价降低, 可能是蒸汽爆破属于高温高压过程, 因此导致某些游离脂肪酸瞬时蒸发。类似的结果在漆树籽当中也有发现, 经蒸汽爆破处理的漆树籽油的酸价和过氧化值都低于未蒸汽爆破处理的漆树籽油<sup>[9]</sup>。经蒸汽爆破处理后的油茶籽油的酸价和过氧化值均小于油茶籽原油的GB 11765—2018《油茶籽油》要求的一级茶籽油标准<sup>[31]</sup>, 且接近或者达到一级压榨成品油茶籽油的标准, 表明由蒸汽爆破预处理所得油茶籽油的品质较好, 适用于油脂的预处理。

碘值反映了油脂中不饱和脂肪酸的含量<sup>[32]</sup>。本研究中经蒸汽爆破处理的油茶籽油碘值(95.97±1.37) g/100 g高于未对照组(82.13±0.57) g/100 g, 表明经蒸汽爆破处理之后油茶籽油中双键数目增加、不饱和脂肪酸含量升高。此外, 其他不饱和物质例如角鲨烯的存在也会影响碘值的变化<sup>[33]</sup>, 从表1可以观察到, 1.6 MPa、30 s蒸汽爆破处理提高了角鲨烯的含量, 进而使碘值升高。两组油茶籽油的皂化值无显著性差异, 其范围为149.71~161.63 mg/g, 低于南瓜籽油(183.37~184.41 mg/g)<sup>[34]</sup>、燕麦油(185.42~188.38 mg/g)<sup>[35]</sup>、大豆油(188~195 mg/g)和橄榄油(188~196 mg/g)<sup>[32]</sup>; 而皂化值能反映油脂中短链脂肪酸比例<sup>[36]</sup>, 因此与上述油脂相比, 油茶籽油所含的短链脂肪酸比例相对较低。

多酚、VE以及角鲨烯是油茶籽油中重要的微量成分, 在抗氧化、预防癌症、降低血清胆固醇、预防心血管疾病等方面具有重要作用<sup>[19,37]</sup>。由表1可知, 经过蒸汽爆破预处理后, 多酚质量浓度和VE、角鲨烯含量显著提高, 分别是对照组的279.20%、159.16%、115.99%, 对于提高油的品质有重要作用。这些结果说明在蒸汽爆破过

程中,原料细胞结构受到破坏,使包裹于细胞中的微量成分短时间内大量释放出来,从而增加了它们在油茶籽油中的含量。此外,Qin Lanzhi等<sup>[38]</sup>研究也发现适当条件的蒸汽爆破处理可以通过破坏无花果叶片的结构,增加黄酮类化合物的提取量,提高提取效率。因此,蒸汽爆破预处理不仅使油茶籽油提取率提高,而且增加了油品中的活性物质含量。此外,多酚是油的内源性抗氧化物质<sup>[27]</sup>,VE也具有抗氧化活性,这些活性物质含量的提高可能会增加油茶籽油的氧化稳定性,下一步将对油茶籽油的氧化稳定性进行深入研究。

## 2.5 油茶籽油脂肪酸含量分析

**表2 维压30 s、不同蒸汽爆破压力所得油茶籽油脂肪酸相对含量**  
**Table 2 Effect of steam pressure with holding time of 30 s on fatty acid composition of tea seed oil**

脂肪酸组成	相对含量/%							
	对照	0.8 MPa	1.0 MPa	1.3 MPa	1.6 MPa	1.8 MPa	2.0 MPa	2.3 MPa
豆蔻酸 (C <sub>14:0</sub> )	0.051±0.004 <sup>d</sup>	0.050±0.017 <sup>d</sup>	0.048±0.015 <sup>d</sup>	0.044±0.003 <sup>b</sup>	0.038±0.004 <sup>b</sup>	0.043±0.005 <sup>b</sup>	0.047±0.001 <sup>b</sup>	0.044±0.007 <sup>b</sup>
棕榈酸 (C <sub>16:0</sub> )	11.094±0.106 <sup>d</sup>	11.017±0.021 <sup>d</sup>	10.955±0.047 <sup>d</sup>	10.895±0.087 <sup>d</sup>	10.829±0.088 <sup>d</sup>	10.915±0.186 <sup>d</sup>	10.859±0.100 <sup>d</sup>	10.894±0.151 <sup>d</sup>
硬脂酸 (C <sub>18:0</sub> )	1.080±0.007 <sup>d</sup>	1.068±0.004 <sup>d</sup>	1.066±0.006 <sup>d</sup>	1.064±0.008 <sup>d</sup>	1.067±0.005 <sup>d</sup>	1.067±0.005 <sup>d</sup>	1.068±0.003 <sup>d</sup>	1.068±0.007 <sup>d</sup>
油酸 (C <sub>18:1</sub> )	79.157±0.686 <sup>d</sup>	79.926±0.329 <sup>d</sup>	79.821±0.297 <sup>d</sup>	78.358±0.157 <sup>d</sup>	79.453±0.080 <sup>d</sup>	80.911±0.288 <sup>d</sup>	80.449±0.295 <sup>d</sup>	79.810±0.696 <sup>d</sup>
亚油酸 (C <sub>18:2</sub> )	5.521±0.681 <sup>d</sup>	4.815±0.340 <sup>d</sup>	4.886±0.166 <sup>d</sup>	6.493±0.075 <sup>d</sup>	5.564±0.094 <sup>d</sup>	4.057±0.324 <sup>d</sup>	4.423±0.376 <sup>d</sup>	5.090±0.678 <sup>d</sup>
α-亚麻酸 (C <sub>18:3</sub> )	0.267±0.111 <sup>d</sup>	0.265±0.074 <sup>d</sup>	0.263±0.003 <sup>d</sup>	0.270±0.102 <sup>d</sup>	0.258±0.084 <sup>d</sup>	0.253±0.153 <sup>d</sup>	0.267±0.056 <sup>d</sup>	0.264±0.169 <sup>d</sup>
花生酸 (C <sub>20:0</sub> )	0.423±0.006 <sup>d</sup>	0.473±0.004 <sup>d</sup>	0.413±0.044 <sup>d</sup>	0.441±0.012 <sup>d</sup>	0.471±0.004 <sup>d</sup>	0.475±0.016 <sup>d</sup>	0.476±0.004 <sup>d</sup>	0.456±0.019 <sup>d</sup>
饱和脂肪酸	12.648	12.607	12.481	12.444	12.404	12.500	12.451	12.461
单不饱和脂肪酸	79.157	79.926	79.821	78.358	79.453	80.911	80.449	79.810
多不饱和脂肪酸	6.211	5.553	5.562	7.204	6.293	4.785	5.166	5.81

**表3 1.6 MPa、不同蒸汽爆破维压时间条件下所得油茶籽油脂肪酸的相对含量**

**Table 3 Effect of pressure holding time at a pressure of 1.6 MPa on fatty acid composition of tea seed oil**

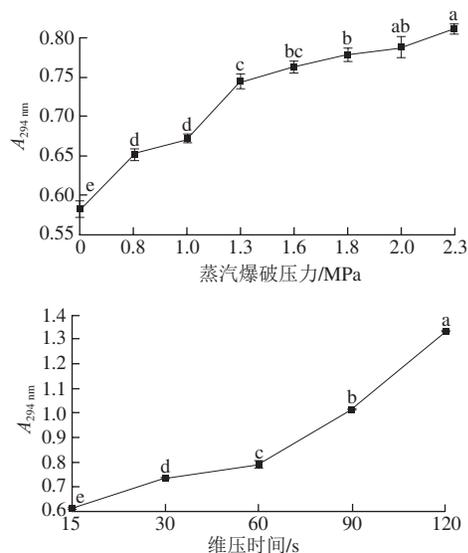
脂肪酸组成	相对含量/%				
	15 s	30 s	60 s	90 s	120 s
豆蔻酸 (C <sub>14:0</sub> )	0.051±0.003 <sup>a</sup>	0.038±0.004 <sup>a</sup>	0.049±0.002 <sup>a</sup>	0.047±0.009 <sup>a</sup>	0.048±0.002 <sup>a</sup>
棕榈酸 (C <sub>16:0</sub> )	11.045±0.090 <sup>a</sup>	10.829±0.088 <sup>ab</sup>	10.833±0.078 <sup>ab</sup>	10.874±0.172 <sup>ab</sup>	10.638±0.105 <sup>b</sup>
硬脂酸 (C <sub>18:0</sub> )	1.074±0.003 <sup>ab</sup>	1.067±0.005 <sup>b</sup>	1.070±0.001 <sup>ab</sup>	1.075±0.003 <sup>a</sup>	1.073±0.002 <sup>ab</sup>
油酸 (C <sub>18:1</sub> )	80.482±0.215 <sup>b</sup>	79.453±0.080 <sup>ab</sup>	81.272±0.413 <sup>a</sup>	80.471±1.354 <sup>ab</sup>	80.724±0.266 <sup>ab</sup>
亚油酸 (C <sub>18:2</sub> )	4.406±0.159 <sup>a</sup>	5.564±0.094 <sup>a</sup>	3.674±0.485 <sup>a</sup>	4.515±1.373 <sup>a</sup>	4.428±0.406 <sup>a</sup>
α-亚麻酸 (C <sub>18:3</sub> )	0.247±0.015 <sup>a</sup>	0.258±0.084 <sup>a</sup>	0.268±0.004 <sup>a</sup>	0.256±0.184 <sup>a</sup>	0.262±0.138 <sup>a</sup>
花生酸 (C <sub>20:0</sub> )	0.475±0.004 <sup>a</sup>	0.471±0.004 <sup>ab</sup>	0.474±0.002 <sup>ab</sup>	0.460±0.009 <sup>b</sup>	0.470±0.003 <sup>ab</sup>
饱和脂肪酸	12.645	12.404	12.426	12.456	12.229
单不饱和脂肪酸	80.482	79.453	81.272	80.471	80.724
多不饱和脂肪酸	5.128	6.293	4.416	5.231	5.16

不同蒸汽爆破处理压力与时间对脂肪酸组成成分含量变化的影响如表2、3所示。每个处理条件下的油茶籽油都检测出了7种脂肪酸,其中含量比较多的为油酸(C<sub>18:1</sub>)、亚油酸(C<sub>18:2</sub>)、棕榈酸(C<sub>16:0</sub>)和硬脂酸(C<sub>18:0</sub>),占总脂肪酸体积分数的98%~99%,这几种脂肪酸含量与Wang Xiaoqin等<sup>[39]</sup>分析不同地区油茶籽油脂脂肪酸主要成分结果相同,表明它们是油茶籽油脂脂肪酸的主要组成成分。本研究所检测出的脂肪酸组成成分与Wang

Xiaoqin<sup>[39]</sup>、沈建福<sup>[40]</sup>和沈冰<sup>[41]</sup>等报道的油茶籽油脂脂肪酸组成成分之间存在着一些差异,这可能与油茶籽品种、生长地理环境和气候不同有关。不同提取方法对油茶籽油脂脂肪酸组成没有很大影响,杨辉等<sup>[42]</sup>通过比较水酶法、水代法、压榨法、浸出法以及超临界法提取油茶籽油,发现所提取油茶籽油脂脂肪酸组成相同,表明不同提取方法对油茶籽油的脂肪酸组成没有影响,葛杭丽等<sup>[26]</sup>也发现了相同的结果。

与未处理组相比,蒸汽爆破处理对油茶籽油脂脂肪酸的组成没有影响,但对成分含量有一定影响。从表2、3中可以看出,与对照组相比,经蒸汽爆破处理之后,油茶籽油油酸含量略有上升,而棕榈酸含量下降,α-亚麻酸和花生酸相对含量变化不显著。蒸汽爆破预处理降低了硬脂酸的相对含量,但不同压力对硬脂酸的相对含量并没有显著性影响(表2);维压时间对硬脂酸相对含量影响也不显著(表3)。以上结果说明在蒸汽爆破过程中,油茶籽油中的脂肪酸成分在高温、高压、高蒸汽的条件下发生了相互转化。此外,蒸汽爆破预处理提高了油酸的含量,表明油茶籽油适用于烹饪以及制造人造奶油,并且油酸还具有降低冠心病风险的作用;因此,推断蒸汽爆破处理的油茶籽油更利于健康<sup>[27]</sup>。

## 2.6 蒸汽爆破对油茶籽油美拉德反应的影响



A.蒸汽爆破压力的影响; B.维压时间的影响。图5同。

**图4 蒸汽爆破对油茶籽油美拉德反应中间产物含量的影响**

**Fig. 4 Effect of steam explosion on the intermediate products of Maillard reaction from tea seed oil**

在高温加热过程中,氨基酸或蛋白质能与多糖或者碳水化合物的羰基发生美拉德反应。有研究表明,在294 nm波长处的吸光度可以用来表征美拉德反应中间产物含量<sup>[43]</sup>,而在420 nm波长处的吸光度可以用来表示美拉德非酶褐变指数<sup>[20]</sup>。由图4、5可知,随着蒸汽爆破压

力的增大和维压时间的延长, 样品在294、420 nm波长处的吸光度均呈递增趋势, 2.3 MPa、30 s处理的油茶籽油在294、420 nm波长处的吸光度分别是未处理组的1.41、1.69倍, 1.6 MPa、120 s处理组分别是未处理组的2.38、2.20倍。这是因为随着温度的不断升高和反应时间的延长, 逐渐形成的羧甲基糠醛等物质会进一步缩合生成褐色可溶性化合物乃至生成类黑精<sup>[43]</sup>; 因此在处理压力较大或者时间较长条件下, 油脂颜色也会加深, 产生焦糊味。以上结果表明, 蒸汽爆破处理的油茶籽油发生了美拉德反应, 但美拉德的反应程度会随着蒸汽爆破压力升高、反应时间的延长而增加。Yi Junpeng等<sup>[44]</sup>也发现经蒸汽爆破处理的芝麻油的颜色要比未处理的颜色深, 推断其发生了美拉德反应。

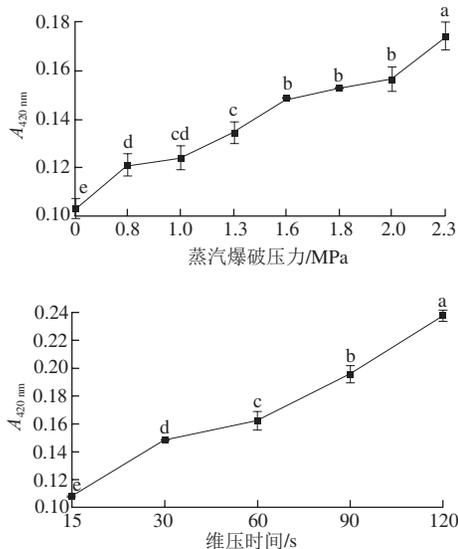


图5 蒸汽爆破对油茶籽油非酶褐变指数的影响  
Fig. 5 Effect of steam explosion on non-enzymatic browning index of tea seed oil

### 3 结论

在1.6 MPa、30 s的蒸汽爆破预处理条件下, 油茶籽油的提取率是未处理组的1.27倍, 酸价、过氧化值降低, 碘值提高, 多酚质量浓度和角鲨烯、VE含量也有所提高; 因此汽爆处理提高了油茶籽油提取率和理化性质。扫描电子显微镜观察结果表明蒸汽爆破预处理破坏了油茶籽微观结构, 有利于油脂从细胞结构中释放出来, 提高提油率。此外, 美拉德反应中间产物含量变化和非酶褐变指数的研究表明, 油茶籽在蒸汽爆破过程发生了美拉德反应。以上研究说明将蒸汽爆破技术用于油脂预处理具有良好的效果。接下来可对蒸汽爆破处理与未处理的油茶籽油颜色、香气成分以及美拉德中间产物的变化进一步深入探究, 以研究蒸汽爆破处理对油茶籽油理化性质改善的机制。

### 参考文献:

- [1] 汪舍平, 曹永庆, 吴家森. 油茶复合经营研究进展[J]. 现代农业科技, 2018(1): 14-15. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2018.01.008.
- [2] JIN X C. Bioactivities of water-soluble polysaccharides from fruit shell of *Camellia oleifera* Abel: antitumor and antioxidant activities[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(3): 2198-2201. DOI:10.1016/j.carbpol.2011.10.047.
- [3] 皮柔, 何良梅, 陈亚运, 等. 茶油和油茶皂苷对肠道菌群的影响[J]. 赣南医学院学报, 2017, 37(6): 839-843. DOI:10.3969/j.issn.1001-5779.2017.06.001.
- [4] PIELHOP T, AMGARTEN J, VON ROHR P R, et al. Steam explosion pretreatment of softwood: the effect of the explosive decompression on enzymatic digestibility[J]. Biotechnology for Biofuels, 2016, 9(1): 152-164. DOI:10.1186/s13068-016-0567-1.
- [5] JOHN M J, THOMAS S. Biofibres and biocomposites[J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 71(3): 343-364. DOI:10.1016/j.carbpol.2007.05.040.
- [6] AGUDELO R A, GARCÍA-APARICIO M P, GÖRGENS J F. Steam explosion pretreatment of triticale (*Triticosecale* Wittmack) straw for sugar production[J]. New Biotechnology, 2016, 33(1): 153-163. DOI:10.1016/j.nbt.2015.10.001.
- [7] 张棋, 易军鹏, 李欣, 等. 蒸汽爆破预处理对粉葛总黄酮及抗氧化性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(9): 40-44. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201609008.
- [8] 孙俊良, 杜寒梅, 梁新红, 等. 响应面法优化蒸汽爆破技术提取苹果果胶工艺[J]. 食品科学, 2017, 38(14): 270-275. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201714042.
- [9] CHEN G Z, CHEN H Z. Enhancement of oil extraction from sumac fruit using steam-explosion pretreatment[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2011, 88(1): 151-156. DOI:10.1007/s11746-010-1650-6.
- [10] 倪双双. 蒸汽闪爆辅助乙醇水提法提取玉米胚芽油和蛋白质[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 17-20.
- [11] 周一鸣, 贺利庆, 周小理, 等. 晾晒对金华火腿中美拉德反应的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(15): 107-112. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201615018.
- [12] 郭玉宝, 汤斌, 裘爱泳, 等. 水代法从油茶籽中提取茶油的工艺[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 249-252. DOI:10.3321/j.issn:1002-6819.2008.09.051.
- [13] 国家粮食局. 动植物油脂 酸值和酸度测定 自动滴定分析法: LS/T 6107—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 1-5.
- [14] 国家粮食局. 动植物油脂 过氧化值测定 自动滴定分析法: LS/T 6106—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 1-4.
- [15] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 动植物油脂碘值的测定: GB/T 5532—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-7.
- [16] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 动植物油脂 皂化值的测定: GB/T 5534—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-5.
- [17] 周晴芬. 油茶籽油的活性分析及多酚的提取工艺优化[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014: 17.
- [18] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中维生素A、D、E的测定: GB 5009.82—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-22.
- [19] 张东生, 薛雅琳, 金青哲, 等. 油茶籽油中角鲨烯含量的测定[J]. 中国油脂, 2013, 38(11): 85-88.
- [20] ZOU Yanping, GAO Yuanyuan, HE Hui, et al. Effect of roasting on physico-chemical properties, antioxidant capacity, and oxidative stability of wheat germ oil[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 90: 246-253. DOI:10.1016/j.lwt.2017.12.038.

- [21] SONG H D, YANG R J, ZHAO W, et al. Innovative assistant extraction of flavonoids from pine (*Larix olgensis* Henry) needles by high-density steam flash-explosion[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(17): 3806-3812. DOI:10.1021/jf405412r.
- [22] NI S S, ZHAO W, ZHANG Y Q, et al. Efficient and eco-friendly extraction of corn germ oil using aqueous ethanol solution assisted by steam explosion[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(4): 2108-2116. DOI:10.1007/s13197-016-2189-9.
- [23] 易军鹏, 李冰, 张棋, 等. 蒸汽爆破处理对亚麻籽油脂肪酸组成的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 88-93. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2017.09.014.
- [24] 葛杭丽, 彭丽, 孟祥河, 等. 不同提取方法所得山茶油的品质比较[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(7): 1195-1200. DOI:10.3969/j.issn.1004-1524.2017.07.19.
- [25] FANG X Z, FEI X Q, SUN H, et al. Aqueous enzymatic extraction and demulsification of camellia seed oil (*Camellia oleifera* Abel.) and the oil's physicochemical properties[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2016, 118(2): 244-251. DOI:10.1002/ejlt.201400582.
- [26] 黄翠莉. 油茶籽油的超临界CO<sub>2</sub>萃取及其功能评价[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2011: 22-23.
- [27] ZHANG W G, JIN G M. Microwave puffing-pretreated extraction of oil from *Camellia oleifera* seed and evaluation of its physicochemical characteristics[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(12): 2544-2549. DOI:10.1111/j.1365-2621.2011.02779.x.
- [28] FU X G, CHEN H Z. Air-steam explosion enhancing the extraction efficiency of chlorogenic acid from leaves of *Eucommia ulmoides* Oliver[J]. Separation and Purification Technology, 2015, 146: 317-325. DOI:10.1016/j.seppur.2015.03.054.
- [29] CHEN G Z, CHEN H Z. Extraction and deglycosylation of flavonoids from sumac fruits using steam explosion[J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1934-1938. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.12.025.
- [30] 姚世勇, 王斐, 史闯, 等. 花椒籽仁油在加热过程中反式脂肪酸组成、酸值及过氧化值的变化[J]. 食品科学, 2015, 36(16): 186-191. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201516034.
- [31] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 油茶籽油: GB 11765—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018: 1-5.
- [32] DIWAKAR B T, DUTTA P K, LOKESH B R, et al. Physicochemical properties of garden cress (*Lepidium sativum* L.) seed oil[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2010, 87(5): 539-548. DOI:10.1007/s11746-009-1523-z.
- [33] KNOTHE G. Structure indices in FA chemistry. how relevant is the iodine value?[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2002, 79(9): 847-854. DOI:10.1007/s11746-002-0569-4.
- [34] JIAO J, LI Z G, GAI Q Y, et al. Microwave-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pumpkin seeds and evaluation of its physicochemical properties, fatty acid compositions and antioxidant activities[J]. Food Chemistry, 2014, 147(6): 17-24. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.09.079.
- [35] 蔡红燕, 齐玉堂, 刘英. 燕麦油理化性质及成分分析[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 202-205.
- [36] TIMILSENA Y P, VONGSVIVUT J, ADHIKARI R, et al. Physicochemical and thermal characteristics of Australian chia seed oil[J]. Food Chemistry, 2017, 228: 394-402. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.02.021.
- [37] 罗凡, 费学谦, 李康雄, 等. 加工工艺对油茶籽油氧化稳定性及酚类物质含量的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(14): 293-299. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.14.039.
- [38] QIN Lanzhi, CHEN Hongzhang. Enhancement of flavonoids extraction from fig leaf using steam explosion[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 69: 1-6. DOI:10.1016/j.indcrop.2015.02.007.
- [39] WANG Xiaoqin, ZENG Qiumei, VERARDO V, et al. Fatty acid and sterol composition of tea seed oils: their comparison by the "Fancy Tiles" approach[J]. Food Chemistry, 2017, 233: 302. DOI:10.1016/j.foodchem.2017.04.110.
- [40] 沈建福, 陈中海, 肖仁显, 等. 不同加工方式对浙江红花油茶茶油品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(6): 56-60. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2012.06.012.
- [41] 沈冰, 吴雪辉, 李媛媛, 等. 三种红花茶油品质的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(3): 97-100; 104. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2016.03.011.
- [42] 杨辉, 赵曼丽, 范亚苇, 等. 不同提取方法所得茶油的品质比较[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 267-269; 274. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.11.027.
- [43] 孙方达, 孔保华, 韩齐, 等. 反应初始pH和加热时间对猪骨蛋白水解物美拉德产物特性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 106-110; 115. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2013.22.057.
- [44] YI Junpeng, ZHANG Qi, LI Xin, et al. Steam explosion technology based for oil extraction from sesame (*Sesamum indicum* L.) seed[J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2016, 18(1): 1-6. DOI:10.1016/j.jssas.2016.10.003.