

doi: 10.11707/j.1001-7488.20181005

叔丁基对苯二酚(TBHQ)对香榧烘烤和货架品质 以及抗氧化能力的影响*

赵 荻¹ 楼 君² 庄志城¹ 刘 圆¹ 喻卫武¹ 胡渊渊¹ 宋丽丽¹ 吴家胜¹

(1. 亚热带森林培育国家重点实验室 浙江农林大学 杭州 311300; 2. 浙江省杭州市富阳区农业技术推广中心 杭州 311300)

摘 要: 【目的】通过优化浸泡工序以及添加抗氧化剂叔丁基对苯二酚(TBHQ)对香榧籽加工过程和常温货架期间油脂氧化和抗氧化能力的影响研究,阐明香榧籽品质劣变发生及其调控机制,为提高香榧成产率,提供理论和实践依据。【方法】5%和20%氯化钠(NaCl)浸泡处理,每个浓度浸泡时间设定为0、5、10和20 min,测定过氧化值、酸价、亚油酸脂质过氧化体系的抑制率、总酚和DPPH自由基清除活性等指标,确定适宜的盐浸时间。选择最佳浓度和时间的浸泡液处理,外源添加0.02%TBHQ进行第2次烘烤,并将炒制成品在室温条件下储藏60天,测定过氧化值、酸价、p-茴香胺值、亚油酸脂质过氧化体系抑制率、总酚和DPPH自由基清除活性等指标。【结果】香榧烘烤过程的最佳浸泡条件为20%NaCl溶液浸泡10 min。在这个浓度下香榧的过氧化值、酸价和脂质氧化抑制率最低,同时总酚含量和DPPH自由基清除活性最高。20%NaCl溶液中加入TBHQ会使DPPH清除活性、总酚含量和维生素E含量进一步升高,并且过氧化值、酸价和p-茴香胺值的增长速度减慢。室温储藏60天货架期内,添加TBHQ的香榧籽品质和抗氧化活性优于未添加TBHQ的空白对照。【结论】在20%NaCl溶液浸泡10 min可缓解香榧品质下降。TBHQ可以减轻香榧籽在烘烤和常温货架存放过程中的脂质氧化,并提高氧化稳定性,从而提高香榧加工和贮藏技术。

关键词: 香榧; 盐浸; 油脂氧化; 抗氧化能力; TBHQ

中图分类号: S664.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-7488(2018)10-0039-07

Effects of Tertbutyl Hydroquinone (TBHQ) on Quality of *Torreya grandis* during Roasting Process and Shelf and Its Antioxidant Capacity

Zhao Di¹ Lou Jun² Zhuang Zhicheng¹ Liu Yuan¹ Yu Weiwu¹ Hu Yuanyuan¹ Song Lili¹ Wu Jiasheng¹

(1. State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University Hangzhou 311300;

2. Fuyang Agricultural Technology Promotion Station, Zhejiang Province Hangzhou 311300)

Abstract: 【Objective】The oxidation and antioxidation of oil during roasting process and the shelf life at room temperature were studied by optimizing soaking process and adding antioxidant TBHQ to *Torreya grandis* seeds to clarify the occurrence and regulation mechanism of quality deterioration of *T. grandis* seeds and lay a theoretical foundation for improving the yield of *T. grandis* seeds and accelerating the development of *T. grandis* industry. 【Method】The seeds were soaked in 5% and 20% of NaCl for 0, 5, 10, and 20 min, respectively, and 0.02% of tertbutyl hydroquinone (TBHQ) was added to the soaking media. The peroxide value, acid value, inhibition rate of linoleic acid lipid peroxidation system, total phenol and DPPH free radical scavenging activity with other indicators were measured to determine the appropriate salt leaching time. The lipid oxidation and antioxidant activity of *T. grandis* during roasting process, followed by a shelving time for 60 days at room temperature were investigated. 【Results】The optimal soaking conditions of *T. grandis* in roasting process for alleviating lipid oxidation and improvement of antioxidant capacity were to soak for 10 min in 20% NaCl solution, at which the peroxide values, acidity, and inhibitory activity of lipid oxidation were the lowest, and the total phenolic contents and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) scavenging activity were the highest. The addition of TBHQ to the 20% NaCl solution led to higher DPPH scavenging activity and contents of total phenolic and vitamin E (V_E). The treatment also resulted in lower peroxide, acidity, and p-anisidine levels after

收稿日期: 2018-04-26; 修回日期: 2018-08-13。

基金项目: 浙江省省院合作林业科技项目(2018SY06); 杭州市农业与社会发展科研项目(172925)。

* 宋丽丽为通讯作者。

soaking, and maintained higher quality during shelf life at room temperature than the seeds without antioxidants.

【Conclusion】 Soaking in 20% NaCl solution for 10 min can alleviate the decline of the quality of *T. grandis*. TBHQ can reduce lipid oxidation of *T. grandis* seeds during baking and storage at room temperature and improve oxidative stability, to improve the processing and storage technology of *T. grandis*.

Key words: *Torreya grandis*; soaking condition; lipid oxidation; antioxidant capacity; tertbutyl hydroquinone

香榧(*Torreya grandis* cv. *Merrillii*) 是红豆杉科(Taxaceae)榧树属(*Torreya*)经人工嫁接繁殖的优良变异树种,营养价值高,具有特殊风味,具有对抗炎症、病毒、动脉硬化、钩虫病等方面药效(Chen *et al.*, 2006; Saeed *et al.*, 2007)。香榧籽油的含量约为42.61%~54.39%,其中80%为不饱和脂肪酸,以油酸和亚油酸为主(Dong *et al.*, 2014)。有研究表明,不饱和脂肪酸是油脂抗氧化活性的主要成分之一,具有降低冠心病风险的功效(Giordano *et al.*, 2014; Ramaprasad *et al.*, 2005; Endo *et al.*, 2006)。另外,香榧籽油还含有其他抗氧化活性物质,如酚类化合物、维生素E等(He *et al.*, 2016; Shi *et al.*, 2009)。

一般来说,香榧籽经炒制后食用,其炒制烘烤涉及3个工艺过程,即第一次烘烤、浸泡盐水、第二次烘烤(汪瑶等, 2013)。烘烤可保留较多营养成分,能改善干果的风味、口感、质地和颜色(Schlörmann *et al.*, 2015)是较好的食品加工方式之一(Inocent *et al.*, 2011)。贮脂细胞的结构在烘烤后容易受到损害导致氧气进入,与水分、空气等接触发生反应,氧化生成脂质过氧化物,最终影响干果风味品质和货架期(Bettina *et al.*, 2009)。葛林梅等(2011)研究认为,浸泡炒制后香榧籽的酸价和过氧化值显著升高,说明烘烤期间的浸泡工艺是影响香榧品质的重要环节。而浸泡工艺通常是添加一定量的NaCl以达到改善风味的目的。但也有学者在对鹰嘴豆(*Cicer arietinum*)种子的研究中发现添加过量NaCl,会导致蛋白质流失,赖氨酸的活性降低,生物活性化合物减少以及抗氧化能力下降(Badshah *et al.*, 1987; Han *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2008; Segev *et al.*, 2012)。Thammapat等(2015)研究也发现,糯米的总酚含量(TPC)随着NaCl含量的增加和浸泡温度的升高呈上升趋势。但在目前实际生产中,香榧的NaCl浸泡浓度通常取决于经验,而浸泡条件对脂质氧化和抗氧化活性的影响尚无明确研究。

为了防止脂质过氧化,延长干果成品的保质期,通常会使用抗氧化剂来减缓食品变质,提高产品质量。食品生产中常用的抗氧化剂包括二叔丁基羟基甲苯(BHT)、丁基羟基茴香醚(BHA)、叔丁对苯二

酚(TBHQ)和没食子酸丙酯(PG)等(Boonlam *et al.*, 2009),其中TBHQ能够有效提高芝麻油和花生油的氧化稳定性(Prasad *et al.*, 2015; Banu *et al.*, 2013)。徐超等(2013)在研究抗氧化剂对香榧油氧化稳定性的影响中发现, TBHQ与PG均能提高抗氧化能力,且TBHQ的效果更好。而添加TBHQ是否能抑制香榧烘烤过程中脂质氧化,进而提高成品的品质,目前还未有研究。

本研究通过探讨不同浸盐浓度和作用时间对香榧籽烘烤过程中脂质氧化程度的影响,同时结合TBHQ对香榧加工和常温货架期间的品质和抗氧化能力的影响,阐明香榧籽品质劣变发生及其调控机制,为优化香榧加工工艺和提高产品品质提供理论和实践依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

香榧籽于2015年9月采自中国浙江省临安市板桥镇三口村。根据传统方式,将香榧籽在太阳下晒干,使含水量保持在8%~10%。去除有瑕疵的种籽,筛选形状、大小、颜色一致的种籽,混合,确保样本一致性。晾晒后的种籽储存在4℃冰箱中备用。

1.2 方法处理

1.2.1 NaCl浸泡处理 分别采用5%(w/w)和20%(w/w)NaCl溶液将250℃下高温加热7min后香榧籽0、5、10和20min,然后捞出,常温下沥干后在120℃下加热1.5h。测定香榧经过烘烤加工后的过氧化值(POV)、酸价(AV)、总酚含量(TPC)、亚油酸脂质过氧化体系的抑制作用(TBA)和DPPH自由基(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl)清除活性等指标。

1.2.2 TBHQ处理 将250℃下高温加热7min的香榧籽,选择20%NaCl溶液浸泡10min,参照徐超等(2013)研究,外源添加0和0.02%TBHQ(w/w, Sigma Aldrich, St. Louis, USA),浸泡10min。浸泡前、浸泡中、浸泡后分别取样,测定POV、AV、TBA、TPC、DPPH自由基清除活性和维生素E(V_E)。

1.2.3 烘烤后货架期处理 将烘烤后的香榧籽置

于室温(20~25℃)下贮藏,采用散装方式,敞口放置在透明食品保鲜袋(280 mm × 200 mm × 0.05 mm)中,分别对 15、30、45、60 天货架期的样品取样,测定 POV、AV、p-茴香胺值以及 TPC 和 DPPH 自由基清除活性。

1.3 测定方法

香榧籽油的提取参考陶菲等(2008)的方法。过氧化值的测定参照叶秀娟(2011)的方法。酸价的测定参考宋丽丽等(2009)方法。p-茴香胺值的测定参考陶菲等(2008)的方法。TBA 的测定参照硫代巴比妥酸法(Yuan *et al.*, 2009)。总酚含量测定使用 Folin-C(福林酚)比色法,参考 Dudonne 等(2009)方法。样品测定液提取根据 Shi 等(2009)的方法。DPPH 自由基清除活性参考 Larrauri(1998)。V_E 含量测定根据 Wong 等(1988)的比色法。

1.4 数据分析

试验采用完全随机设计,不同处理各重复 3 次。结果数据使用 Excel 2007 和 SPSS16.0 统计处理。采用 SPSS16.0 用邓肯多重比较方法进行方差显著性分析。使用 SigmaPlot 12.5 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 NaCl 溶液浸泡对香榧烘烤过程中的脂肪氧化和抗氧化活性的影响

由图 1 可知,浸泡在 NaCl 溶液后香榧籽的过氧化值和酸价升高。二次烘烤后,过氧化值和酸价大幅度上升,这表明在浸泡过程会出现脂质氧化和品质下降。不同浸泡处理中,在 20% 高盐溶液浸泡 10 min 香榧籽的过氧化值和酸价最低。

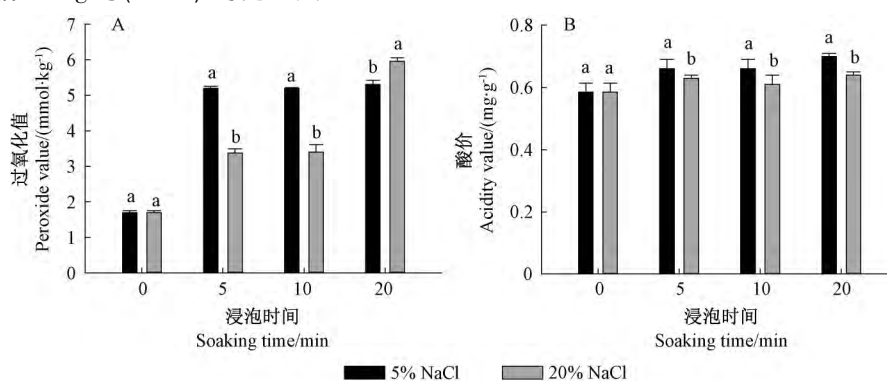


图 1 浸泡条件对香榧籽烘烤过程中的过氧化值(A)和酸价(B)的影响

Fig. 1 Effects of soaking condition on POV (A) and acidity value (B) in *T. grandis* seeds during the roasting process

图中不同字母表示不同处理之间的显著差异($P < 0.05$)。下同。The different letters means significant difference at 0.05 level. The same below.

由图 2A 可知,与未添加 NaCl 溶液相比,香榧籽浸泡在 NaCl 溶液后总酚含量持续长时间显著上升。浸泡时间为 10 min 时测得的总酚含量最高,比空白对照组增加了 31%。由图 2A、2B 可知,DPPH

自由基清除活性在 10 min 时出现最大值,与总酚的结果一致,进一步验证得到香榧籽中总酚含量和 DPPH 自由基清除活性之间呈显著正相关($R = 0.95$, $y = 0.396x - 17.695$)。

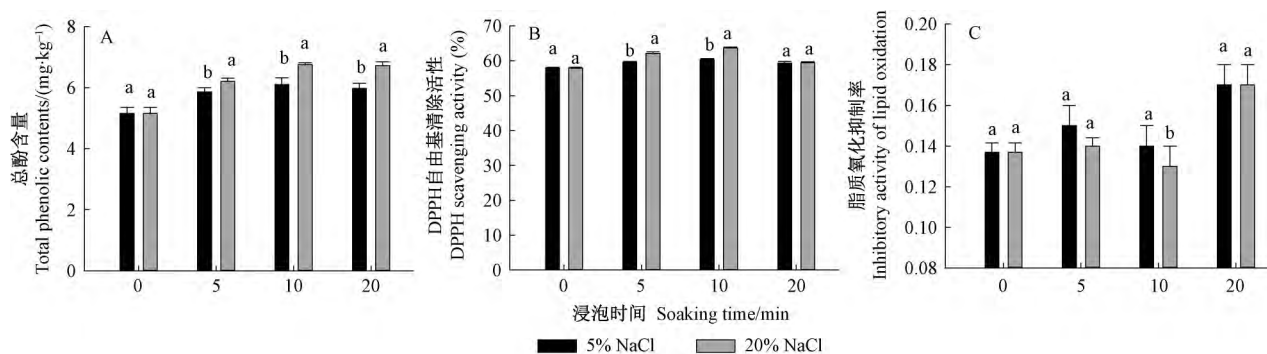


图 2 浸泡条件对香榧籽烘烤过程中总酚含量(A)、DPPH 自由基清除活性(B)和脂质氧化抑制率(C)的影响

Fig. 2 Effects of soaking condition on TPC (A), DPPH scavenging activity (B) and inhibitory activity of lipid oxidation (C) in *T. grandis* seeds during the roasting process

图 2C 中可知,在 20% 高盐溶液持续浸泡 10 min 后观察到香榧籽对提取物中亚油酸 TBA 的抑制作用较强。因此结合不同浸泡条件下香榧籽的脂质氧化和抗氧化活性的变化,在生产实际中选取最佳浸泡方式,即在 20% 高盐溶液浸泡 10 min 来缓解香榧品质下降。

2.2 添加 TBHQ 对香榧烘烤过程中的脂质氧化和抗氧化活性的影响

由图 3 可知,浸泡在 20% 高盐溶液 10 min 会导致过氧化值和酸价水平升高,加剧脂质氧化。与空

白对照组相比,浸泡在具有 TBHQ 的 20% 高盐溶液中香榧籽的过氧化值和酸价上升较少,表明在烘烤过程中添加 TBHQ 能够有效地缓解脂质氧化。

由图 4 可知,与浸泡中的香榧籽相比,浸泡后总酚含量持续上升,而 DPPH 自由基清除率下降。与浸泡前相比,浸泡中的样品 V_E 含量有所下降,浸泡后略有上升。浸泡后和二次烘烤后的总酚含量、DPPH 自由基清除率、 V_E 含量,无显著差异 ($P > 0.05$)。

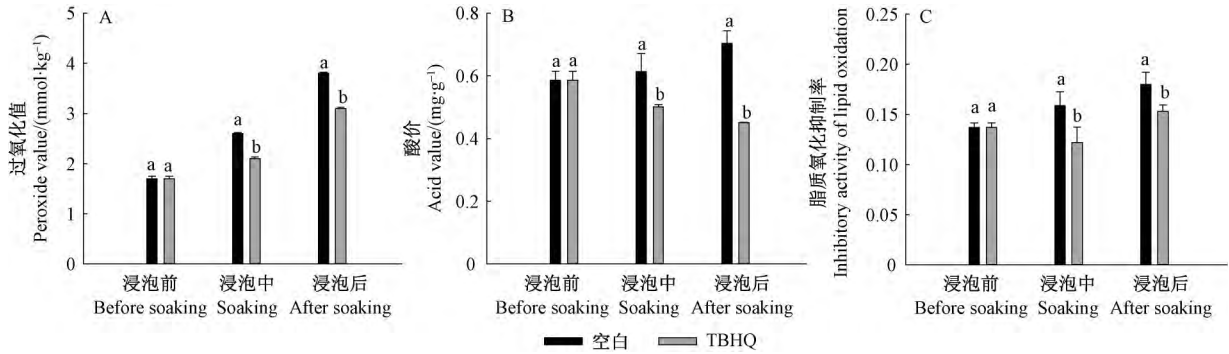


图 3 浸泡液中添加 TBHQ 和 Vc 对烘烤过程中香榧籽的过氧化值 (A)、酸价 (B) 和脂质氧化抑制率 (C) 的影响

Fig. 3 Effects of TBHQ and Vc in soaking medium on POV (A), acidity value (B) and inhibitory activity of lipid oxidation (C) in *T. grandis* seeds during the roasting process

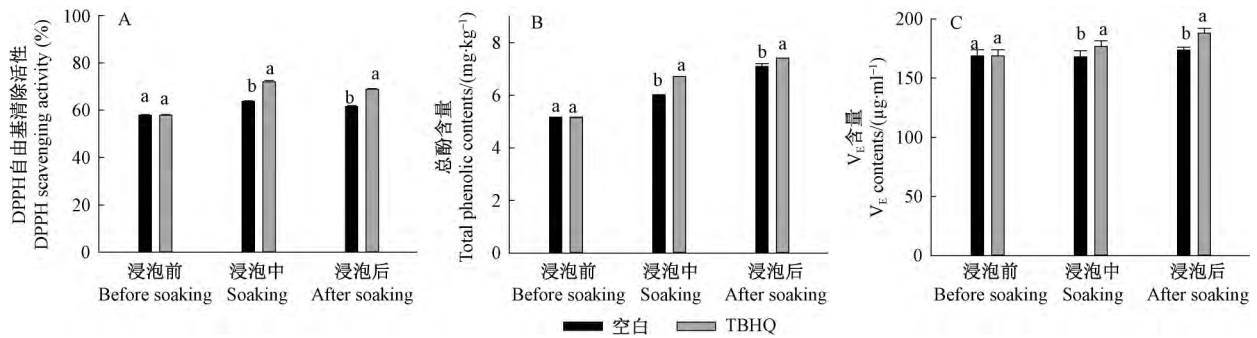


图 4 浸泡液中添加 TBHQ 对香榧籽中总酚含量 (A)、DPPH 自由基清除活性 (B) 和 V_E 含量 (C) 的影响

Fig. 4 Effects of TBHQ in soaking medium on TPC (A), DPPH scavenging activity (B) and V_E (C) in

T. grandis seeds during the roasting process

2.3 添加 TBHQ 对香榧货架期间的脂质氧化和抗氧化活性的影响

由图 5 可知,香榧籽在 60 天货架期内过氧化值、酸价和 p-茴香胺值上升,证明香榧籽在烘烤后脂质氧化程度加剧。由图 6 可知,总酚含量和 DPPH 自由基清除活性显著下降,这可能与抗氧化能力降低有关。与空白对照组相比,添加 TBHQ 的香榧籽的过氧化值和酸价水平较低,总酚含量和 DPPH 自由基清除活性水平较高,表明 TBHQ 可以减轻香榧烘烤后的脂质氧化程度同时提高抗氧化能力,达到延长货架期的目的。

3 讨论

过氧化物值和酸价通常用于评估干果和食物的氧化劣变程度 (Chun *et al.*, 2005), 分别测量的是初级氧化产物和次级氧化产物 (Anjum *et al.*, 2006)。Thammapat 等 (2015) 研究表明,高浓度盐溶液会诱导 2 次胁迫清除过度产生活性氧 (ROS), 如氧化应激反应。葛林梅等 (2011) 也发现,与第一次高温烘烤相比,香榧籽浸泡过程中过氧化值和酸价分别增加 73% 和 56%。另一方面,当植物组织遭受氧化胁迫后,自身会启动酚酶促和非酶促防御机制来清除

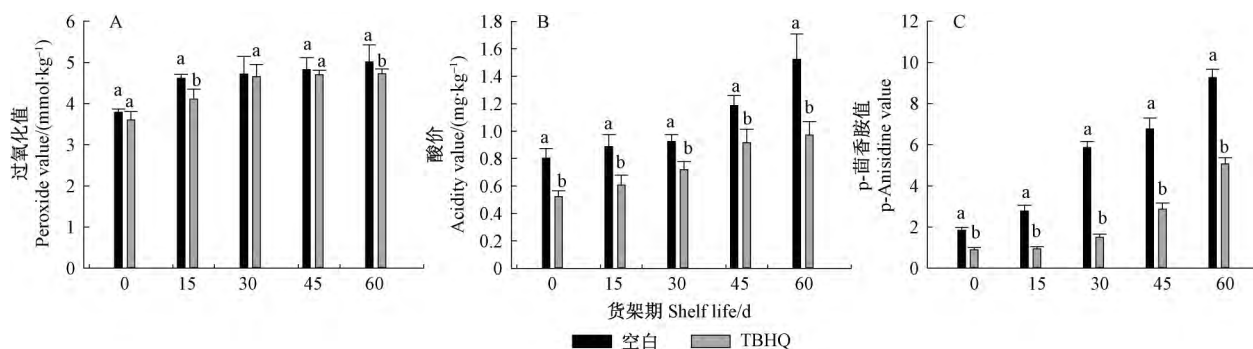


图 5 添加 TBHQ 对香榧烘烤产品在常温下储藏 60 天内的过氧化值 (A)、酸价 (B)、p-茴香胺值 (C) 的影响

Fig. 5 Effects of TBHQ on values of POV (A) acidity (B) and p-anisidine in *T. grandis* roasted products during following shelf-life of 60 days at room temperature

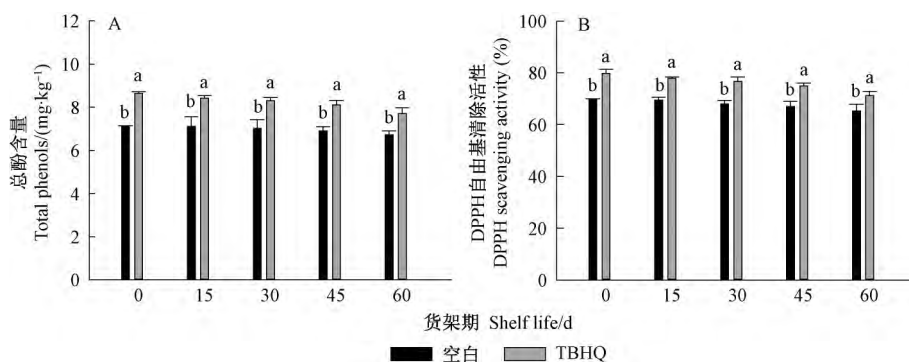


图 6 添加 TBHQ 对香榧烘烤产品在常温下储藏 60 天内的过氧化值 (A)、酸价 (B)、p-茴香胺值 (C) 的影响

Fig. 6 Effects of TBHQ on POV (A) and DPPH scavenging activity (B) in *T. grandis* roasted products during following shelf-life of 60 days at room temperature

ROS 导致的氧化损伤 (Ashraf *et al.*, 2009)。本试验中,与浸泡前相比,香榧籽在 20% 高盐溶液浸泡 10 min 观察到总酚含量最高,这个结果与 Thammapat 等 (2015) 在糯米中的结果一致。有研究证明,水果和蔬菜的总酚含量与抗氧化能力呈正相关 (Xu *et al.*, 2010)。测定 DPPH 自由基清除活性已被广泛用于评价提取物和纯化物的抗氧化活性 (Jung *et al.*, 2008)。香榧籽中总酚含量和 DPPH 自由基清除活性的浓度之间的呈显著正相关,这表明香榧籽很可能与山核桃仁 (*Carya cathayensis*) 一样,酚类化合物是主要的抗氧化活性成分 (Yang *et al.*, 2015)。因此,香榧籽在 20% NaCl 溶液浸泡 10 min 时抗氧化能力较强。

通常脂质过氧化被认为是缩短货架期和产生不良风味的主要原因 (Ryan *et al.*, 2008)。化合物的抗氧化活性表现为清除活性氧和自由基对抑制亚油酸的脂质过氧化。在香榧烘烤过程中添加 TBHQ 能够提高氧化稳定性,这与 Akhtar 等 (2012) 研究,葵花籽油在 180 °C 下连续油炸 4 h 后, TBHQ 展现出了较强的抗氧化活性相似。与浸泡中相比,二次烘烤后的香榧籽总酚含量持续上升,而 DPPH 自由基清

除率下降,这可能与烘烤期间脱羧形成的其他抗氧化化合物或不同化合物之间美拉德褐变反应生成酚类化合物或含有不同氨基和羰基有关 (Yang *et al.*, 2015)。添加 TBHQ 处理中, DPPH 自由基清除活性和总酚含量都要高于未添加的空白对照,同时过氧化值、酸价以及脂质氧化抑制率均呈较低水平。Banu 等 (2013) 研究发现,添加 TBHQ 的花生油具有更好的氧化稳定性。徐超等 (2013) 在对香榧籽的研究也发现采用不同溶剂对香榧籽油进行浸提时,添加 TBHQ 可以有效增加氧化稳定性。因此, TBHQ 可以减轻香榧烘烤后的脂质氧化程度并且提高抗氧化能力,达到延长货架期的目的。

V_E 被认为是脂溶性的天然抗氧化剂,可以避免脂质氧化, V_E 的作用是稳定膜脂双层内的多不饱和脂肪酸,清除脂质自由基 (Shintani *et al.*, 2002; Warner *et al.*, 2006)。比较香榧籽浸泡和二次烘烤工序, V_E 含量无显著差异, Silva 等 (2010) 也观察到浸泡前后 V_E 含量没有明显变化。添加 TBHQ 后香榧籽的 V_E 含量显著上升,这表明 TBHQ 有助于提高 V_E 含量,防止氧化应激,维持细胞内的活性氧平衡 (Mandhania *et al.*, 2006)。Yasin 等 (2012) 发现,

饲料中添加 V_E 能降低牲畜屠宰后脂质过氧化,提高肉质的氧化稳定性。因此,可以通过添加 TBHQ 提高 V_E 含量,进而增强香榧的氧化稳定性。

4 结 论

香榧在为 20% NaCl 溶液中浸泡 10 min,过氧化值、酸价和脂质氧化抑制率最低,TPC 含量、DPPH 自由基清除率最高。在 NaCl 溶液中添加 TBHQ/DPPH 自由基清除活性和 V_E 含量较高,货架期间过氧化值和酸价较低,表明 TBHQ 是一种有效的抗氧化剂,可以减轻香榧籽在烘烤和常温货架存贮过程中的脂质氧化,并提高氧化稳定性,从而提高香榧加工和贮藏技术,为香榧产业的可持续发展提供理论基础。

参 考 文 献

- 葛林梅,郜海燕,陈杭君,等. 2011. 加工工艺对香榧油脂氧化和抗氧化活性的影响. 中国粮油学报, 26(5): 42-46.
(Ge L M, Gao H Y, Chen H J, et al. 2011. Effect of processing on lipid oxidation and antioxidant ability of *Torreya grandis*. Journal of The Chinese Cereals and Oils Association, 26(5): 42-46. [in Chinese])
- 宋丽丽,郜海燕,葛林梅,等. 2009. 包装对香榧坚果贮藏中的油脂酸败和抗氧化能力的影响. 林业科学, 45(3): 49-53.
(Song L L, Gao H Y, Ge L M, et al. 2009. Effect of different packaging on lipid peroxidation and antioxidant ability of *Torreya grandis* nuts during storage at room temperature. Scientia Silvae Sinica, 45(3): 49-53. [in Chinese])
- 陶 菲,郜海燕,陈杭君,等. 2008. 不同包装对山核桃脂肪氧化的影响. 农业工程学报, 24(9): 303-305.
(Tao F, Gao H Y, Chen H J, et al. 2008. Effect of different types of packaging on lipid oxidation of walnut (*Carya cathayensis* Sarg.) during storage. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 24(9): 303-305. [in Chinese])
- 汪 瑶,余 勇,郭 磊,等. 2013. 利用正交实验和模糊评价改进香榧加工工艺. 食品与发酵工业, 39(10): 151-155.
(Wang Y, Yu Y, Guo L, et al. 2013. Application of orthogonal experiment and fuzzy evaluation in development of *Torreya grandis* processing technology. Food and Fermentation Industries, 39(10): 151-155. [in Chinese])
- 徐 超,王鸿飞,邵兴锋,等. 2013. 香榧子油溶剂浸提工艺及氧化稳定性研究. 中国粮油学报, 28(9): 66-70.
(Xu C, Wang H F, Shao X F, et al. 2013. Study on solvent extraction and oxidation stability of *Torreya grandis* seed oil. Journal of The Chinese Cereals and Oils Association, 28(9): 66-70. [in Chinese])
- 叶秀娟. 2011. 食品中酸价和过氧化值测定方法的改进. 现代食品科技, 27(10): 1285-1287. [in Chinese]
- Akhtar H, Tariq I, Mahmood S, et al. 2012. Effect of antioxidants on stability, nutritional values of refined sunflower oil during accelerated storage and thermal oxidation in frying. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, 47(2): 223-230.
- Anjum F, Anvar F, Jamil A, et al. 2006. Microwave roasting effects on the physico-chemical composition and oxidative stability of sunflower seed oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 83(9): 777-784.
- Ashraf M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. Biotechnology Advances, 27(1): 84-93.
- Badshah A, Ahmad Aurangzeb M, Bibi N, et al. 1988. Relationship between physicochemical characters and cooking time in chickpeas (*Cicer arietinum* L.). Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research, 30: 795-798.
- Banu M, Prasad N. 2013. Stability of peanut (*Arachis hypogaea*) oil with TBHQ (antioxidant tertiary butyl hydroquinone) by ultrasonic studies. Kasetart Journal: Nature Science, 47(2): 285-294.
- Bettina C, Lothar W K. 2009. Shelf life of linseeds and peanuts in relation to roasting. LWT-Food Science and Technology, 42(2): 545-549.
- Boonlam S, Kanjanasopa D, Pimpa B. 2009. Effect of addition of antioxidants on the oxidative stability of refined bleached and deodorized palm olein. Kasetart Journal: Nature Science. 43(2): 370-377.
- Chen B Q, Cui X Y, Zhao X, et al. 2006. Antioxidative and acute anti-inflammatory effects of *Torreya grandis*. Fitoterapia, 77(4): 262-267.
- Chun J Y, Lee J S, Eitenmiller R R. 2005. Vitamin E and oxidative stability during storage of raw and dry roasted peanuts packaged under air and vacuum. Journal of Food Science, 70(4): 292-297.
- Dong D D, Wang H F, Xu F, et al. 2014. Supercritical carbon dioxide extraction, fatty acid composition, oxidative stability, and antioxidant effect of *Torreya grandis* seed oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 91(5): 817-825.
- Dudonne S, Vitrac X, Coutiere P, et al. 2009. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD and ORAC assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(5): 1768-1774.
- Endo Y, Osada Y, Kimura F, et al. 2006. Effects of Japanese torreyia (*Torreya nucifera*) seed oil on lipid metabolism in rats. Nutrition, 22(5): 553-558.
- Giordano E, Visioli F. 2014. Long-chain omega 3 fatty acids: molecular bases of potential antioxidant actions. Prostaglandins, Leukotrienes & Essential Fatty Acids, 90(1): 1-4.
- Han H, Baik B K. 2008. Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum* L.), peas (*Pisum sativum* L.) and soybeans (*Glycine max*), and their quantitative changes during processing. International Journal of Food Science and Technology, 43(11): 1971-1978.

- He Z Y , Zhu H D , Li W L , *et al.* 2016. Chemical components of cold pressed kernel oils from different *Torreya grandis* cultivars. *Food Chemistry* ,209: 196 – 202.
- Inocent G , Adelaide D M , Gisèle E L , *et al.* 2011. Impact of three cooking methods (steaming , roasting on charcoal and frying) on the β -carotene and vitamin C contents of plantain and sweet potato. *American Journal of Food Technology* , 6(11) : 994 – 1001.
- Jung M J , Heo S , Wang M H. 2008. Free radical scavenging and total phenolic contents from methanolic extracts of *Ulmus davidiana*. *Food Chemistry* , 108(2) : 482 – 487.
- Larrauri J A , Sánchezmoreno A , Sauracalixto F. 1998. Effect of temperature on the free radical scavenging capacity of extracts from red and white grape pomace peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* ,46(7) : 2694 – 2697.
- Mandhania S , Mandan S , Sawhney V. 2006. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum* , 50(2) : 227 – 231.
- Prasad N , Siddaramaiah B , Banu M. 2015. Effect of antioxidant tertiary butyl hydroquinone on the thermal and oxidative stability of sesame oil (*Sesamum indicum*) by ultrasonic studies. *Journal of Food Science and Technology* ,52(4) : 2238 – 2246.
- Ramaprasad T R , Baskaran V , Krishnakantha T P , *et al.* 2005. Modulation of antioxidant enzyme activities , platelet aggregation and serum prostaglandins in rats fed spray-dried milk containing n-3 fatty acid. *Molecular and Cellular Biochemistry* ,280(1/2) : 19 – 26.
- Ryan L A M , Bello F D , Arendt E K. 2008. The use of sourdough fermented by antifungal LAB to reduce the amount of calcium propionate in bread. *International Journal of Food Microbiology* , 125(3) : 274 – 278.
- Saeed M K , Deng Y , Parveen Z , *et al.* 2007. Studies on the chemical constituents of *Torreya grandis* fort. ex lindl. *Journal of Applied Sciences* ,7(2) : 269 – 273.
- Schlörmann W , Birringer M , Böhm V , *et al.* 2015. Influence of roasting conditions on health-related compounds in different nuts. *Food Chemistry* ,180: 77 – 85.
- Segev A , Badani H , Galili L , *et al.* 2012. Effects of baking , roasting and frying on total polyphenols and antioxidant activity in colored chickpea seeds. *Food & Nutrition Science* ,3(3) : 369 – 376.
- Shi H , Wang H , Wang M , *et al.* 2009. Antioxidant activity and chemical composition of *Torreya grandis* cv. merrillii seed. *Natural Product Communications* ,4(4) : 1565 – 1570.
- Shintani R , Fu G C. 2002. Highly enantioselective desymmetrization of anhydrides by carbon nucleophiles: reactions of grignard reagents in the presence of (\rightarrow)-sparteine. *Angewandte Cheminform: International Edition* ,41(6) : 1057 – 1059.
- Silva M P , Martinez M J , Casini C , *et al.* 2010. Tocopherol content , peroxide value and sensory attributes in roasted peanuts during storage. *International Journal of Food Science and Technology* , 45(7) : 1499 – 1504.
- Thammapat P , Meeso N , Siriamornpun S. 2015. Effects of NaCl and soaking temperature on the phenolic compounds , α -tocopherol , γ -oryzanol and fatty acids of glutinous rice. *Food Chemistry* ,175: 218 – 224.
- Warner K , Dunlap C. 2006. Effects of expeller-pressed/physically refined soybean oil on frying oil stability and flavor of french-fried potatoes. *Journal of the American Oil Chemists' Society* ,83(5) : 435 – 441.
- Wong M L , Timms R E , Goh E M. 1988. Colorimetric determination of total tocopherols in palm oil , olein and stearin. *Journal of the American Oil Chemists' Society* ,65(2) : 258 – 261.
- Xu B J , Chang S K C. 2008. Effect of soaking , boiling , and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. *Food Chemistry* ,110(1) : 1 – 13.
- Xu C , Zhang Y , Cao L , *et al.* 2010. Phenolic compounds and antioxidant properties of different grape cultivars grown in china. *Food Chemistry* ,119(4) : 1557 – 1565.
- Yang J , Zhou F , Xiong L , *et al.* 2015. Comparison of phenolic compounds , tocopherols , phytosterols and antioxidant potential in Zhejiang pecan [*Carya cathayensis*] at different stir-frying steps. *LWT-Food Science and Technology* ,62(1) : 541 – 548.
- Yasin M , Asghar A , Anjum F M , *et al.* 2012. Oxidative stability enhancement of broiler bird meats with α -lipoic acid and α -tocopherol acetate supplemented feed. *Food Chemistry* ,131(3) : 768 – 773.
- Yuan Y V , Bone D E , Carrington M F. 2005. Antioxidant activity of dulse (*Palmaria palmata*) extract evaluated in vitro. *Food Chemistry* ,91(3) : 484 – 494.

(责任编辑 王艳娜)