

苦杏壳木醋液多酚对核桃油过氧化的抑制作用

施琳, 尉芹*, 赵忠, 李大文, 易允喻
(西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:目的: 研究苦杏壳木醋液多酚抗氧化活性以及对核桃油过氧化抑制作用。方法: 利用pH值梯度萃取法得到木醋液多酚(E-WV), 用DPPH自由基清除率、亚油酸过氧化抑制率为指标考察木醋液多酚的抗氧化活性, 以过氧化值(POV)和酸价(AV)评价E-WV对核桃过氧化的抑制能力。结果: 经pH值梯度萃取法分离后E-WV总酚含量是分离前组分(E₀)总酚含量的1.96倍; 对DPPH自由基的半清除质量浓度为0.724mg/L, 对亚油酸过氧化抑制的半抑制质量浓度为4.632mg/L; 70℃恒温贮藏5d后油样AV和POV值大小顺序是: 未添加抗氧化剂油样(CK)>添加25mg BHT油样(BHT-25)>添加E-WV 25mg油样(E-WV-25); 随着煎炸时间增长油脂AV和POV显著增大, 经过不同煎炸时间油样AV和POV大小顺序是: CK>BHT-25>E-WV-25。结论: 苦杏壳木醋液多酚具有很强的抗氧化活性, 而且在持续高温、煎炸条件下对核桃油过氧化有很好的抑制作用。

关键词: 苦杏壳木醋液; 抗氧化; 核桃油; 过氧化值; 酸价

Effect of Phenols from Wood Vinegar of Bitter Almond Shell on Antiperoxidant Activity of Walnut Oil

SHI Lin, WEI Qin*, ZHAO Zhong, LI Da-wen, YI Yun-yu
(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Objective: To explore antioxidant activity of phenols extracted from wood vinegar of bitter almond shell. Methods: pH gradient extraction was adopted to separate phenols (E-WV) from wood vinegar. The antiperoxidant activity of phenols was evaluated by DPPH radical scavenging capability and inhibitory capacity against linoleic acid peroxidation. Peroxide value (POV) and acid value (AV) of walnut oil were used to estimate inhibitory capacity against peroxidation of nut oil. Results: Through pH gradient extraction, the content of polyphenols was up to 1570.370 mg/g, which revealed an enhancement by 1.96 fold when compared with the original wood vinegar. The antioxidant activity revealed a remarkable increase as the increase of E-WV content, and IC₅₀ values of E-WV against DPPH free radicals and linoleic acid peroxidation were 0.724 mg/L and 4.632 mg/L, respectively. After storage at 70 °C in the dark environment for 5 days, the POV and AV of walnut oil were in an order from strong to weak of the control (CK), oil with 25 mg BHT (BHT-25) and oil with 25 mg E-WV (E-WV-25). The frying of nut oil resulted in an obvious increase in AV and POV. Subjected to three different periods of frying, AV and POV of nut oil were in the order of CK, BHT-25 and E-WV-25. Therefore, polyphenols from the vinegar of bitter almond shell has a remarkable antioxidant effect on nut oil under the conditions of high temperature or frying.

Key words: bitter almond shell wood vinegar; antioxidant activity; walnut oil; peroxide value; acid value

中图分类号: TS201.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)05-0076-05

随着物质生活水平的提高, 人们对食品营养、质量的要求也越来越高。坚果类食品, 如花生、核桃、杏仁等, 富含蛋白质、矿物质、维生素、不饱和脂肪酸、膳食纤维, 对人体生长发育、增强体质、预防疾病有极好的功效^[1]。然而坚果油脂中不饱和脂肪酸含量高, 易受光、热、氧气作用导致酸败变质, 产生低级脂肪酸、醛和酮等物质, 不但破坏原有营养成分, 而且还会危害人类健康^[2-4]。氧化型酸败是油

脂及油基食品败坏的主要原因, 即油脂在光、热或金属催化剂的活化下产生的游离基与氧结合形成过氧游离基, 过氧游离基夺取别的脂类分子上的氢原子形成氢过氧化物和新的自由基, 依此往复循环, 各种游离基不断反应使氢过氧化物不断积累, 最终自由基不断聚集到一定的浓度相互碰撞生成聚合物, 导致油脂变质^[5]。因此, 迅速有效清除油脂氧化过程中产生的自由基是抑制油脂氧化的重要手段。

收稿日期: 2011-12-31

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项(200904020); 陕西省2010年“13115”科技创新工程重大科技专项计划项目(2010ZDKG-05)

作者简介: 施琳(1988—), 女, 硕士, 研究方向为苦杏壳木醋液的综合开发利用。E-mail: shilin1988@hotmail.com

*通信作者: 尉芹(1958—), 女, 教授, 博士, 研究方向为林产化学加工工程。E-mail: ma_wei_qin@yahoo.com.cn

目前市面上食品加工行业为防止食品氧化,通常在食品中添加合成抗氧化剂如二叔丁基羟基甲苯(BHT)、丁基羟基茴香醚(BHA)等,但安全性受到怀疑,认为BHT不仅有毒性、致癌性,且对人体内酶系统有不良影响^[6-9]。因此,目前对食品抗氧化剂的研究更加注重天然性和安全性。

木醋液,一般是指木材干馏得到的冷凝液经静置并分离出焦油后的棕红色液体^[10]。随着制炭工业的发展,棕榈核、核桃壳、杏核壳、椰壳等加工过程中被当作废弃物的壳类材料通过干馏都可以得到这种酸性液体。毛巧芝等^[11]用GC-MS分析苦杏壳木醋液,证明其中多酚类和有机酸类化合物含量达到总有机物的70%,而且国内外研究显示,木醋液中酚、酸类物质具有显著体外抗氧化和抑菌活性,在农林业中已经得到广泛的应用^[11-16]。经过对木醋液研究的不断深入,它的高效性和安全性逐渐得到认可。张善玉等^[17]将木醋液经口灌胃途径实施于大鼠及小鼠,观察急、慢性毒性反应,评估了木醋液的安全性,表明除了大剂量服用木醋液出现轻微的生化毒性外,没有发现与受试物有关的其他毒性变化。Sakaguchi等^[18]提出用分馏精制的方法可以生产食品级木醋液。朴哲等^[19]成功提炼出用于饮料添加剂和饲料添加剂的木醋液产品。Choi等^[20]用木醋液代替抗生素和其他有机酸类添加到猪饲料中发现木醋液可以提高养分消化率且抑制影响消化的细菌生长。以上研究表明,将木醋液开发成为一种天然食品抗氧化剂具有很大的前景。

苦杏壳木醋液是以生产杏仁过程中所产生的废弃物杏壳为原料,经过隔氧高温裂解所得到的产物。为了更好的开发利用杏壳木醋液资源,本研究首先采用pH值梯度萃取法制备苦杏壳木醋液多酚,然后研究其抗氧化活性以及对核桃油过氧化的抑制作用,并与水溶性抗氧化剂抗坏血酸(VC)、传统油脂抗氧化剂BHT的抗氧化能力进行比较,为木醋液提取物在食品工业中的应用提供新的思路,亦可为深度开发利用木醋液资源提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

苦杏壳采自陕西省麟游县;提取油脂所用核桃购自当地市场,自然风干。

亚油酸 生工生物工程(上海)有限公司;二叔丁基羟基甲苯(BHT) 河南科邦生物科技股份有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH) 美国Sigma公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

干馏釜(内径130mm,高270mm) 南京林业大学林产化工学院制作;R50型旋转蒸发器 上海申生科技有

限公司;PHS-3C型pH计、电热恒温鼓风干燥箱、754N紫外分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;THZ-82B气浴恒温振荡器 文华仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 精制苦杏壳木醋液制备

将风干苦杏仁壳放入干馏釜中,收集温度段为90~550℃冷凝液得到粗木醋液。静置30d,吸取中层棕红色澄清液,加入木醋液质量5%的活性炭粉,充分搅拌10min,在200r/min振荡30min,静置2h,过滤得到清液,即精制木醋液。

1.3.2 苦杏壳木醋液酚酸分离

由于木醋液中多酚与有机酸酸度不同,可利用不同pH值碱液萃取木醋液,分离有机酸和多酚,获得木醋液多酚相,此为pH值梯度萃取分离法^[21]。乙酸乙酯萃取精制木醋液得有机组分记为E₀。利用50g/L NaHCO₃弱碱萃取E₀,与E₀中有机酸反应,除去水相(即除去有机酸),剩下的有机相用40g/L NaOH强碱萃取,利用酸碱反应使有机多酚成盐,3mol/L H₂SO₄酸化NaOH萃取水相至原木醋液pH值2.9,再用乙酸乙酯萃取上述调节pH值后碱液萃取相,得到木醋液有机多酚,记为E-WV。

1.3.3 核桃油的提取

根据参考文献[2]提取核桃仁中的油脂的方法提取核桃仁中的油脂:称取捣碎的核桃仁100g,置于250mL具塞锥形瓶中,加入100mL石油醚,放置12h,用快速滤纸过滤后减压回收溶剂。

1.3.4 总酚含量的测定

采用福林-酚比色法^[22],以没食子酸为标准品,标准曲线 $y = 0.108x - 0.044 (r = 0.999)$ 。将E-WV和E₀配成质量浓度为1mg/mL的样液,准确吸取0.03mL该质量浓度下样液,分别加入蒸馏水3.97mL,加入福林试剂2.0mL,充分振荡后静置3~4min,再加入100g/L Na₂CO₃溶液2.0mL,摇匀置于35℃恒温水浴中反应2h,于770nm波长处测定吸光度,测得的吸光度代入标准曲线,求得E-WV和E₀总酚质量浓度。

1.3.5 苦杏壳木醋液多酚抗氧化活性测定

1.3.5.1 DPPH自由基清除率测定

根据参考文献[23],将E-WV质量浓度为1mg/mL的样液稀释至2、4、6、8、10mg/L。在2.0mL 60mmol/L的DPPH自由基溶液(无水乙醇为溶剂)中分别加入3mL不同浓度稀释后的样品溶液,用力摇匀后于室温条件下放置30min,测定其在517nm波长处的吸光度(A_s);以3mL水代替样品为空白对照(A₀);以3mL样品与2.0mL无水乙醇混合液为样品对照(A_x),以消除样品本身颜色的影响;以3mL水与2mL无水乙醇的混合液调仪器零点。与同等质量浓度抗坏血酸的DPPH自由基清除率对比。每个样品每

个质量浓度重复3次实验, 最终数据取平均值。清除率按式(1)计算。

$$\text{清除率}/\% = (1 - \frac{A_s - A_x}{A_0}) \times 100 \quad (1)$$

1.3.5.2 抗脂质过氧化活性测定

采用硫氰酸铵比色法^[6,24]。以样品对亚油酸过氧化抑制率表示其抗脂质过氧化活性。准确称取0.2840g亚油酸、0.2804g吐温-20, 再加入10mL pH 7.0的磷酸盐缓冲液(以0.025mol/L磷酸二氢钾和0.025mol/L的磷酸氢二钠1:1配制)定容至50mL, 得到亚油酸乳液。将1mg/mL的样品E-WV稀释至0.002、0.004、0.006、0.008、0.01mg/mL的样液, 准确量取0.5mL, 再与2.5mL亚油酸乳液混合均匀后, 置于37℃恒温箱中保温45h, 得培养液。取培养液0.1mL, 按顺序加入4.7mL 75%乙醇、0.1mL 30%硫氰酸铵、0.1mL氯化亚铁(0.02mol/L, 用3.5%盐酸配制), 混合均匀后, 室温条件下静置3min, 在510nm波长处测吸光度。与同等质量浓度BHT的亚油酸过氧化清除率对比。每个样品重复3次实验, 空白对照以亚油酸代替样品。按式(2)计算对亚油酸过氧化抑制率。

$$\text{过氧化抑制率}/\% = (1 - \frac{A_1}{A_0}) \times 100 \quad (2)$$

式中: A_1 为加入样品后的吸光度; A_0 为空白对照吸光度。

1.3.6 苦杏壳木醋液多酚对油脂氧化抑制测定

1.3.6.1 长时间高温条件下苦杏壳木醋液多酚对核桃油过氧化抑制作用

分别取5、10、15、20、25mg E-WV加入10g核桃油中, 记作E-WV-5、E-WV-10、E-WV-15、E-WV-20、E-WV-25, 在气浴恒温振荡器中混合样品, 然后放置于70℃恒温烘箱中, 每隔1d测定核桃油酸价(AV)和过氧化值(POV), 以AV和POV为指标研究木醋液多酚对核桃油氧化抑制作用。以不添加任何抗氧化物的原油、添加25mg油脂抗氧化剂BHT做对照, 分别记作CK、BHT-25。AV、POV的测定按GB/T 5009.37—1996《食用植物油卫生标准的分析方法》国家标准的方法测定。

1.3.6.2 煎炸条件下苦杏壳木醋液多酚对核桃油氧化抑制作用

按照参考文献[25]的方法并做适当修正: 分别取5、10、15、20、25mg E-WV加入10g核桃油中, 记作E-WV-5、E-WV-10、E-WV-15、E-WV-20、E-WV-25, 在气浴恒温振荡器中混合样品。模拟油脂使用中的煎炸过程, 将样油放置在电炉上加热至油样沸腾, 在沸腾状态下保持不同时间, 待油温降至室温, 测定AV和POV, 以不添加任何抗氧化物的油样、添加25mg BHT的油样做对照, 分别记作CK、BHT-25。

1.4 数据分析

所有实验均独立重复3次, 最终取其数据平均值。采用SPSS 17.0软件进行数据分析。各组间的差异比较采用LSD法, $P=0.05$ 为显著性水平。

2 结果与分析

2.1 总酚含量测定结果

表1 E-WV和 E_0 多酚含量对比

组分	A_{770nm}	质量浓度/(mg/L)	总酚含量/(mg/g)
E_0	0.281	3.009	802.469
E-WV	0.592	5.888	1570.370

由表1可知, 经过pH值梯度萃取后E-WV多酚富集量是原精制木醋液 E_0 多酚含量的1.96倍, 可见pH值梯度萃取法可富集木醋液多酚, 是分离有机酸和酚类物质的有效手段。

2.2 E-WV抗氧化活性测定

2.2.1 对DPPH自由基的清除作用

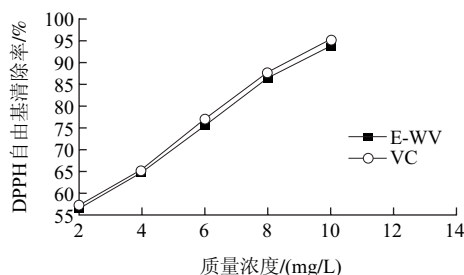


图1 E-WV和VC的DPPH自由基清除能力

Fig.1 Scavenging rates of E-WV and VC with various concentrations against DPPH free radicals

由图1可知, E-WV、VC质量浓度增大对DPPH自由基清除作用增强。差异性分析表明, 各质量浓度间差异显著($P<0.05$)。经相关性分析, E-WV质量浓度和VC质量浓度与DPPH自由基清除作用的相关系数都达到0.995。E-WV质量浓度与DPPH自由基清除率回归方程为 $y = 4.821x + 46.51 (R^2=0.995)$, E-WV对DPPH自由基清除率的 IC_{50} 为0.724mg/L。VC质量浓度与DPPH自由基清除率回归方程为 $y = 4.933x + 46.94 (R^2=0.995)$ 。在不同质量浓度条件下, VC对DPPH自由基清除效果略强于E-WV, 其对DPPH自由基清除的 IC_{50} 为0.620mg/L。证明苦杏壳木醋液多酚有良好的自由基清除作用, 具有较强抗氧化活性。推测木醋液多酚物质的酚羟基可以与油脂氧化过程中产生的自由基反应因而中断自由基链式反应, 达到抑制油脂氧化型酸败的效果。

2.2.2 抗脂质过氧化能力

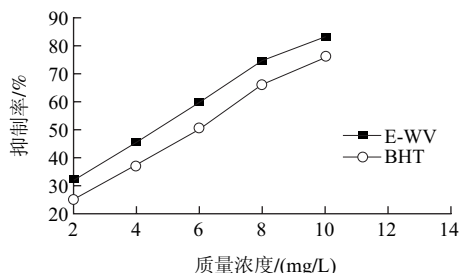


图2 E-WV和BHT对亚油酸的过氧化抑制能力

Fig.2 Inhibitory capacity of E-WV and BHT against linoleic acid peroxidation

由图2可知,随着E-WV质量浓度增大,对亚油酸过氧化抑制作用增强。差异性分析表明,各质量浓度间差异显著($P < 0.05$)。E-WV质量浓度与亚油酸过氧化抑制率回归方程为 $y = 6.556x + 19.63 (R^2 = 0.993)$, BHT质量浓度与亚油酸过氧化抑制率的回归方程为 $y = 6.491x + 11.98 (R^2 = 0.996)$ 。可以看出各质量浓度E-WV对亚油酸过氧化抑制率均显著高于同质量浓度的BHT对亚油酸过氧化抑制率, E-WV对亚油酸过氧化抑制率的 IC_{50} 为4.632mg/L,而BHT对亚油酸过氧化抑制率的 IC_{50} 为5.857mg/L。说明苦杏仁壳木醋液多酚抗脂质过氧化能力高于传统油脂抗氧化剂BHT,具有很好抗氧化活性。

2.3 在70℃恒温处理条件下E-WV对核桃油的氧化抑制作用

由表2可知,随着处理时间的增长,核桃油的AV和POV均逐渐增大。未添加任何抗氧化物的油样CK在70℃恒温处理5d后AV由最初的0.788mg KOH/g增长到1.069mg KOH/g,增长了1.356倍,POV也由3.045meq/kg增长至20.147meq/kg,增长了6.616倍。相比而言,添加E-WV后油样AV和POV均比CK要低,说明E-WV对核桃油过氧化有明显抑制作用。分析数据可知, E-WV添加量越多抗氧化作用越强。当添加量为25mg/10g油时,有最强抗氧化作用,70℃恒温处理5d后AV为0.843mg KOH/g, POV为11.072meq/kg,显著低于CK和BHT-25油样。本实验再次充分证明苦杏仁壳木醋液多酚对核桃油过氧化有强抑制作用,且抑制作用明显强于油脂抗氧化剂BHT。

2.4 煎炸处理条件下E-WV对核桃油的氧化抑制作用

对油脂进行煎炸处理时,在超高温以及接触充足氧气的情况下,油脂的氧化速率显著加快,且随着煎炸时间增长,氧化程度进一步加深。由表3可知,煎炸实验中添加E-WV油样的AV和POV明显小于对照CK,说明煎炸过程中E-WV依然很好的抑制了油脂的氧化。与BHT-25相比,不同煎炸时间处理后E-WV-25油样的AV和POV都明显低于BHT-25油样,充分证实了木醋液多酚在高温、氧气充足的环境条件下仍然具有优良的抑制油脂氧化性能。

表2 70℃恒温处理条件下核桃油AV和POV变化

Table 2 AV and POV of nut oil during storage at 70 °C in a dark environment

处理时间/d	指标	CK	E-WV-5	E-WV-10	E-WV-15	E-WV-20	E-WV-25	BHT-25
0	AV/(mg KOH/g)	0.788±0.012 ^a	0.785±0.032 ^a	0.787±0.117 ^a	0.786±0.009 ^a	0.787±0.021 ^a	0.787±0.005 ^a	0.785±0.217 ^a
	POV/(meq/kg)	3.045±0.023 ^a	3.100±0.026 ^a	3.065±0.009 ^a	3.047±0.035 ^a	3.041±0.016 ^a	3.097±0.072 ^a	3.081±0.033 ^a
1	AV/(mg KOH/g)	0.852±0.128 ^b	0.825±0.165 ^a	0.806±0.111 ^a	0.806±0.211 ^a	0.806±0.009 ^a	0.797±0.246 ^a	0.821±0.121 ^a
	POV/(meq/kg)	5.912±0.782 ^b	4.981±0.123 ^b	4.837±0.437 ^b	4.837±0.887 ^b	4.470±0.362 ^b	4.121±0.889 ^b	5.080±0.091 ^b
2	AV/(mg KOH/g)	0.899±0.009 ^c	0.843±0.001 ^a	0.833±0.216 ^a	0.824±0.213 ^a	0.815±0.110 ^a	0.805±0.001 ^a	0.845±0.217 ^a
	POV/(meq/kg)	9.782±0.163 ^c	6.629±0.756 ^c	6.271±0.221 ^c	5.912±0.362 ^c	5.554±0.229 ^c	5.124±0.325 ^c	6.564±0.227 ^c
3	AV/(mg KOH/g)	0.955±0.218 ^d	0.875±0.021 ^a	0.852±0.032 ^a	0.844±0.001 ^a	0.834±0.027 ^a	0.824±0.032 ^a	0.879±0.011 ^a
	POV/(meq/kg)	13.294±0.327 ^d	8.994±0.998 ^d	8.779±0.338 ^d	8.564±0.034 ^d	7.104±0.999 ^d	6.557±0.021 ^d	9.354±0.786 ^d
4	AV/(mg KOH/g)	1.017±0.216 ^e	0.916±0.326 ^a	0.879±0.003 ^a	0.853±0.002 ^a	0.843±0.035 ^a	0.834±0.212 ^a	0.947±0.111 ^a
	POV/(meq/kg)	17.377±0.473 ^e	10.929±0.123 ^c	10.786±0.001 ^c	10.356±0.004 ^c	9.137±0.056 ^c	8.564±0.563 ^c	11.936±0.345 ^c
5	AV/(mg KOH/g)	1.069±0.002 ^f	0.935±0.067 ^a	0.907±0.025 ^a	0.871±0.123 ^a	0.852±0.212 ^a	0.843±0.012 ^a	0.989±0.138 ^a
	POV/(meq/kg)	20.147±0.123 ^f	13.509±0.001 ^f	13.437±0.987 ^f	13.079±0.634 ^f	12.362±0.937 ^f	11.072±1.382 ^f	12.999±0.362 ^f

注: 肩标不同字母表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。下同。

表3 煎炸处理条件下不同煎炸时间核桃油AV和POV变化

Table 3 AV and POV of nut oil after frying

煎炸时间/min	指标	CK	E-WV-5	E-WV-10	E-WV-15	E-WV-20	E-WV-25	BHT-25
15	AV/(mg KOH/g)	2.583±0.212 ^a	1.982±0.336 ^a	1.746±0.002 ^a	1.633±0.007 ^a	1.511±0.327 ^a	1.293±0.026 ^a	1.785±0.128 ^a
	POV/(meq/kg)	14.987±0.889 ^a	13.782±1.234 ^a	13.007±0.998 ^a	12.988±0.938 ^a	12.389±0.987 ^a	12.008±1.327 ^a	12.998±1.299 ^a
20	AV/(mg KOH/g)	2.976±0.002 ^b	2.593±0.244 ^b	2.047±0.197 ^b	1.985±0.362 ^b	1.734±0.123 ^b	1.498±0.003 ^b	2.137±0.436 ^b
	POV/(meq/kg)	15.793±0.221 ^b	14.279±1.245 ^b	13.997±0.231 ^b	13.521±0.998 ^b	13.209±1.368 ^b	12.865±1.276 ^b	13.564±0.845 ^b
25	AV/(mg KOH/g)	3.998±0.086 ^c	3.764±0.215 ^c	3.258±0.005 ^c	2.979±0.643 ^c	2.532±0.283 ^c	2.185±0.362 ^c	2.876±0.346 ^c
	POV/(meq/kg)	16.004±1.275 ^c	15.396±0.992 ^c	14.872±1.286 ^c	14.285±0.826 ^c	13.986±1.394 ^c	13.371±0.001 ^c	14.379±0.393 ^c

3 结 论

通过对DPPH自由基清除率和亚油酸过氧化抑制率的测定,清楚地反映出苦杏壳木醋液多酚具有很好抗氧化活性,并呈现质量浓度依附性。木醋液多酚对DPPH自由基的半清除质量浓度为0.724mg/L,略高于VC对DPPH自由基的半清除质量浓度0.620mg/L,而木醋液多酚对亚油酸过氧化半抑制质量浓度4.632mg/L,显著低于BHT对亚油酸过氧化半抑制质量浓度5.857mg/L,说明木醋液多酚不仅具有很好的自由基清除能力,而且抗脂质过氧化能力非常显著。

70℃恒温条件下,核桃油脂AV和POV均升高,煎炸过程中升高更为迅速,表明油脂在煎炸条件下更容易氧化酸败。添加了木醋液多酚的核桃油在高温和煎炸条件下AV和POV均显著小于未添加抗氧化剂油样和添加同等质量油脂抗氧化剂BHT的酸价和过氧化值,充分证明木醋液多酚具有很强的抑制核桃油脂过氧化能力。

苦杏壳木醋液是在90~550℃温度段下干馏得来的冷凝液,烹饪过程中,富氧和高温条件一般不易使多酚分解变质而失去抗氧化能力。因此,苦杏壳木醋液多酚在开发高效油脂过氧化抑制剂和天然食品抗氧化剂方面,具有广阔应用前景。

参考文献:

- [1] 王宇,于红霞.坚果及其油类的保健作用研究进展[J].卫生研究,2007,36(3):391-393.
- [2] 王巍,李金龙,王丽静,等.坚果类食品过氧化值测定的影响因素分析[J].食品科学,2007,28(10):484-486.
- [3] 杨剑婷,郝利平.关于引起核桃中油脂酸败因素的研究初探[J].山西农业大学学报,2001,21(3):271-273.
- [4] 祝钧,张晓娟,常思思,等.果皮中抗氧化物质的提取及其在食品中的应用[J].食品科学,2010,31(19):385-389.
- [5] 裴振东,许喜林.油脂的酸败与预防[J].粮油加工与食品机械,2004,6(3):47-49.
- [6] 张京芳,王冬梅,张强.香椿叶抗脂质过氧化物的分离及抗氧化特性[J].农业工程学报,2009,25(1):286-290.
- [7] 孙丽萍,王大仟,张智武.11种天然植物提取物对DPPH自由基的清除作用[J].食品科学,2009,30(1):45-47.
- [8] ITO N, HIROSE M, FUKUSHIMA S, et al. Study on antioxidants: their carcinogenic and modifying effects on chemical carcinogenesis[J]. Food Chemistry Toxicology, 1986, 24(10/11): 1071-1082.
- [9] PAN Yingming, ZHANG Xiaopu, WANG Hengshan, et al. Antioxidant potential of ethanolic extract of *Polygonum cuspidatum* and application in peanut oil[J]. Food Chemistry, 2007, 105(4): 1518-1524.
- [10] 尉芹,马希汉,郑滔.核桃壳木醋液的制取、成分分析及抑菌试验[J].农业工程学报,2008,24(7):276-279.
- [11] 毛巧芝,赵忠,马希汉,等.苦杏壳木醋液抑菌活性和化学成分分析[J].农业机械学报,2010,44(2):164-170.
- [12] 翟梅枝,何文君,王磊,等.3种木醋液化学成分与抑菌活性研究[J].西北植物学报,2010,30(6):1247-1252.
- [13] VITT S M, HIMELBLOOM B H, CRAPO C A. Inhibition of *Listeria innocua* and *Listeria monocytogenes* in a laboratory medium and cold-smoked salmon containing liquid smoke[J]. Food Safe, 2001, 21: 111-125.
- [14] YOSHIMURA H, WASHIO H, YOSHIDA S, et al. Promoting effect of wood vinegar compounds on fruit body formation of *Pleurotus ostreatus*[J]. Mycoscience, 1995, 36(2): 173-177.
- [15] WEI Qin, MA Xihan, DONG Juane. Preparation, chemical constituents and antimicrobial activity of pyrolygneous acids from walnut tree branches[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2010, 87: 24-28.
- [16] 尉芹,马希汉,朱卫红,等.不同温度段苹果枝木醋液化学组成、抑菌及抗氧化活性比较[J].林业科学,2009,45(12):16-21.
- [17] 张善玉,金光洙,金在久,等.精制木醋液的安全性评价[J].中国野生植物资源,2005,24(2):54-55;66.
- [18] SAKAGUCHI H, UYAMA N, UYAMA H. Preserving boiled eggs with a sterilization system employing microbial laccase and wood vinegar[J]. Journal of Animal Science, 2007, 78: 668-671.
- [19] 朴哲,闫吉昌.木醋液的精制及有机成分研究[J].林产化学与工业,2003,22(2):17-20.
- [20] CHOI J Y, SHINDE P L, KWON I K, et al. Effect of wood vinegar on the performance, nutrient digestibility and intestinal microflora in weanling pigs[J]. Asian-Aust Journal of Animal Science, 2009, 22(2): 267-274.
- [21] MA Xihan, WEI Qin, ZHANG Shanshan, et al. Isolation and bioactivities of organic acids and phenols from walnut shell pyrolygneous acid[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2011, 91(2): 338-343.
- [22] 刘佳,焦士蓉,唐远谋,等.苦丁茶多酚的提取及抗氧化活性[J].食品科学,2011,32(14):134-138.
- [23] WEI Qin, MA Xihan, ZHAO Zhong, et al. Antioxidant activities and chemical profiles of pyrolygneous acids from walnut shell[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2010, 88: 149-154.
- [24] MITSUDA H, YASUMOTO K, IWAMI K. Antioxidative action of indole compounds during the autoxidation of linoleic acid[J]. Eiyo to Shokuryo, 1966, 19: 210-214.
- [25] 周晓丹,王妍,刘晶,等.橄榄油、葵花籽油和米糠油的氧化稳定性[J].食品科学,2011,32(13):119-121.