

# 诃子多酚的纯化及其油脂抗氧化作用

高云涛, 李晓芬, 戴建辉, 贝玉祥

(云南民族大学化学与生物技术学院, 民族药资源化学国家民族委员会-教育部重点实验室, 云南 昆明 650500)

**摘要:**以诃子为原料, 考察7种大孔树脂柱纯化对诃子多酚的纯化效果, AB-8大孔树脂吸附和解吸效果最佳, 柱条件为: 流速3.0BV/h, pH6.0, 柱溶液质量浓度 $< 2.0\text{mg/mL}$ , 80%乙醇洗脱剂, 解吸速度为2.0BV/h, 洗脱剂用量3.0BV, 最佳柱条件下制得的诃子多酚含量为78.4%。诃子多酚对猪油和菜籽油的抗氧化及与柠檬酸复配协同增效作用实验表明: 诃子多酚可显著降低猪油和菜籽油的过氧化值, 当复配物中诃子精多酚与柠檬酸组成为4:1, 复配物加入量为0.04%时, 油脂抗氧化作用最佳, 诃子多酚及与柠檬酸复配物具有良好的脂质过氧化抑制作用。

**关键词:**诃子多酚; 大孔树脂; 纯化; 油脂; 柠檬酸; 抗氧化

## Purification of Polyphenols from *Terminalia* Fruits and Their Antioxidant Effect on Lard Oil

GAO Yun-tao, LI Xiao-fen, DAI Jian-hui, BEI Yu-xiang

(Key Laboratory of Ethnic Medicine Resource Chemistry, State Ethnic Affairs Commission and Ministry of Education, School of Chemistry and Bio-technology, Yunnan University of Nationalities, Kunming 650500, China)

**Abstract:** Polyphenols from *Terminalia* fruits were purified by macroporous resin adsorption. AB-8 macroporous resin showed the best adsorption and desorption capacity among 7 resins tested. The best results for the purification of polyphenols from *Terminalia* fruits with AB-8 macroporous resin were achieved by adsorption at a sample loading flow rate of 3.0 BV/h, pH 6.0 and sample concentrations below 2.0 mg/mL and subsequent desorption with 3.0 BV of 80% ethanol at a flow rate of 2.0 BV/h. Under these conditions, the content of purified *Terminalia* polyphenols was 78.4%. The antioxidant effects of *Terminalia* polyphenols alone or in combination with citric acid on lard oil were studied. The results showed that a mixture of *Terminalia* polyphenols and citric acid at a ratio of 4:1 had the best antioxidant effect at the dose of 0.04%. Thus, the combination of *Terminalia* polyphenols and citric acid has excellent lipid peroxidation inhibitory effect.

**Key words:** *Terminalia* polyphenols; macroporous resin; purification; oil; citric acid; antioxidant activity

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)03-0058-05

油脂自由基氧化导致酸败是食物变质的主要原因<sup>[1-2]</sup>, 添加抗氧化剂是防止脂肪氧化的有效手段, 传统的抗氧化剂主要以人工合成为主, 从天然植物中寻找安全的抗氧化剂已成为研究热点<sup>[2-4]</sup>。

诃子(*Terminalia*)为使君子科榄仁树属植物诃子及其变种绒毛诃子的干燥成熟果实<sup>[5-7]</sup>, 是藏药和蒙药中最为常用的药物之一, 在藏药学经典著作《晶珠本草》诃子被称为“藏药之王”, 具有抗氧化、抗菌、解毒、护肝等功效。诃子富含植物多酚<sup>[8]</sup>, 植物多酚具有良好的抗氧化作用及多种生理活性<sup>[9-12]</sup>。本实验利用大孔吸附树脂纯化法<sup>[13-15]</sup>制备诃子多酚, 研究诃子多酚油脂抗氧化作用, 考察诃子多酚与柠檬酸复配物协同抗氧化作用, 并与茶多酚进行比较研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

诃子购自昆明菊花村中药材批发市场, 产地云南临沧, 干品, 使用前粉碎至80目; 菜籽油购自昆明市粮油市场, 机榨油, 未经处理直接使用; 猪油使用超市购买的板油加工制得, 置于冰箱4℃保存。

茶多酚(含量为94.2%) 四川碧馥生物科技有限公司; 柠檬酸、没食子酸标准品(批号: 1100831-200302) 中国药品生物制品检定所; 卵磷脂溶液(6.7mg/mL)、磷酸氢二钠-磷酸二氢钾缓冲溶液(PBS, 0.1mol/L, pH7.4); 2-硫代巴比妥酸(TBA, 1g/100mL)、三氯乙酸(TCA, 28g/100mL) 国药集团化学试剂有限公司。

收稿日期: 2011-02-24

基金项目: 云南省社会发展科技计划项目(2007B148M);

民族药资源化学国家民委-教育部重点实验室开放基金项目(MJY07010)

作者简介: 高云涛(1962—), 男, 教授, 博士, 研究方向为食品化学。E-mail: yuntaogao@sohu.com

大孔吸附树脂(型号为 D4020、D3520、X-5、NKA-II、NKA-9、S-8 及 AB-8) 天津南开大学化工厂。

## 1.2 仪器与设备

AS10200AD 超声清洗器(容积 330cm × 270cm × 290cm, 体积 10.0L, 频率 40/60kHz, 实验使用超声频率为 60kHz, 输出功率 320W) 天津奥特赛恩斯仪器有限公司; RE-52AA 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂; UV-7502PC 分光光度计 上海尤尼柯有限公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 诃子多酚粗提物制备

诃子以 60% 乙醇溶液超声提取 3 次, 料液比为 1:20, 超声时间每次 60min, 抽滤, 将滤液旋转蒸发浓缩除去溶剂, 用正己烷萃取除去脂肪, 再分别用乙醇、乙酸乙酯和丙酮萃取 3 次, 合并萃取液旋转蒸发, 固体真空低温干燥至恒质量, 即得诃子粗多酚提取物, 称取适量浸膏用无水乙醇配制成一定质量浓度的诃子粗多酚溶液, 待用。

### 1.3.2 诃子多酚大孔树脂纯化

#### 1.3.2.1 静态吸附实验

准确称取预处理后的 7 种型号树脂各 1.0g, 分别置于 150mL 具塞锥形瓶中, 加入 20.0mL 质量浓度为 1.3288mg/mL 诃子多酚粗提液, 置于恒温摇床, 100r/min 振荡 24h, 测定上清液中诃子多酚质量浓度, 计算吸附量( $Q_e$ )和吸附率。将吸附后的树脂过滤, 再各加入 50.0mL 无水乙醇, 振荡解吸 24h, 测定解吸液中多酚质量浓度, 计算解吸量和解吸率, 通过吸附率和解吸率筛选出适合诃子多酚分离纯化的树脂。

#### 1.3.2.2 动态吸附和解吸附实验

取经过静态实验筛选出的树脂 20.0mL, 预处理后装入玻璃层析柱中, 将一定质量浓度的诃子多酚提取液通入树脂, 控制流速, 分部收集流出液, 根据流出液总体积和吸附前后诃子多酚质量浓度差计算动态吸附率。分别考察上柱速率、上柱料液 pH 值及质量浓度对树脂吸附诃子多酚的影响, 确定吸附条件。按最佳吸附条件进行吸附, 吸附完全后, 用选定的解吸溶剂进行洗脱。分部收集流出液, 测定其中诃子多酚质量浓度, 计算解吸率。考察解吸溶剂质量浓度, 确定解吸条件。

根据动态吸附条件、解吸附实验获得的柱条件进行吸附解吸, 收集洗脱液, 蒸发浓缩除去溶剂, 真空干燥至恒质量, 即得诃子精多酚提物, 临用前称取适量以无水乙醇配制成一定质量浓度的诃子精多酚溶液待用。

#### 1.3.2.3 诃子多酚质量浓度的测定

取一定量的植物多酚提取物。用酒石酸亚铁比色法<sup>[15-16]</sup>测定多酚的含量, 以 100mg/L 没食子酸为标准品溶液, 测定波长 540nm 处的吸光度, 绘制没食子酸标准溶液质量浓度( $\rho$ )与其吸光度的标准曲线, 回归方程为:  $A = 0.0179\rho - 0.002 (r=0.9998)$ 。

### 1.3.3 过氧化值的测定

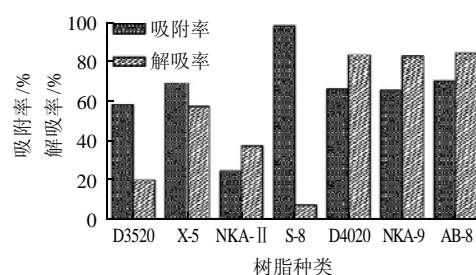
称取一定质量浓度的诃子多酚或其复配物配制成溶液, 加入 100g 菜籽油或新鲜猪油中, 将振荡使其充分混匀, 放置于 60℃ 的恒温箱里, 定时测定油的过氧化值(POV)。过氧化值的测定采用 GB/T 5538—1995《油脂过氧化值测定》<sup>[17]</sup>推荐的碘量法测定, 同时进行空白实验, 并以茶多酚为对照进行对照实验。

### 1.3.4 对脂质过氧化抑制活性的测定

以卵磷脂脂质体为模型, 硫代巴比妥酸(TBA)吸光度法<sup>[15]</sup>测定, 取 0.5mL 6.7mg/mL 卵磷脂溶液, 加入 pH7.4 PBS 缓冲液 1.0mL, 不同质量浓度的样品溶液 1.0mL, 2.5mmol/L EDTA-Fe(II) 1.0mL, 混匀后于 37℃ 水浴中反应 45min, 再加入 28g/100mL 的 TCA 2.0mL, 1g/100mL 的 TBA 1.0mL, 混匀后置于 100℃ 沸水浴中加热 10min, 冷却后在 532nm 波长处测定吸光度, 用 PBS 缓冲液调零, 空白管用 PBS 缓冲液代替样品测吸光度。计算抑制率。

## 2 结果与分析

### 2.1 诃子多酚大孔树脂的选择及柱参数测定



吸附条件: 流速为 3.0BV/h, pH 值为 6.0, 多酚质量浓度为 2.0mg/mL; 解吸条件: 乙醇体积分数为 80%, 洗脱剂用量为 3.0BV; 解吸速率为 2.0BV/h。

图 1 7 种树脂对诃子多酚的平衡静态吸附-解吸性质  
Fig.1 Adsorption and desorption capacity of 7 types of macroporous resins for *Terminalia polyphenols*

由图 1 可知, 7 种大孔树脂以 S-8 的吸附量最高, 吸附率 98.11%, AB-8 次之, 为 69.76%。AB-8 解吸率最高, 为 84.20%, 而 S-8 的解吸率不足 6.74%。由此可以看出, AB-8 大孔树脂不仅吸附量较大, 而且容易被解吸, 回收率高。因此, 选择 AB-8 大孔树脂为诃子多酚纯化材料。

表1 诃子多酚在AB-8大孔树脂上的吸附和解吸附性能  
Table 1 Adsorption and desorption performance of *Terminalia* polyphenols on AB-8 macroporous resin

吸附影响因素		吸附率/%	解吸影响因素		解吸率/%
流速 <sup>a</sup> /(BV/h)	0.50	84.17		20	45.93
	1.00	84.04	乙醇体积	60	78.81
	3.00	79.62	分数 <sup>d</sup> /%	80	92.20
	5.00	74.28		90	90.62
pH <sup>b</sup>	4.0	65.73		0.50	92.33
	5.0	77.54	解吸速率 <sup>c</sup> /(BV/h)	1.00	92.14
	6.0	83.27		2.00	91.72
	7.0	78.63		3.00	86.47
多酚质量浓度 <sup>e</sup> /(mg/mL)	0.5	31.19		1.0	67.47
	1.0	67.02	洗脱剂	2.0	86.37
	2.0	84.07	用量 <sup>f</sup> /BV	3.0	91.08
	3.0	68.77		4.0	92.12

注: a. pH 值为 6.0, 多酚质量浓度为 2.0mg/mL; b. 流速为 3.0BV/h, 多酚质量浓度为 2.0mg/mL; c. pH 值为 6.0, 流速为 3.0BV/h; d. 解吸速率为 2.0BV/h, 洗脱剂用量为 3.0BV; e. 乙醇体积分数为 80%, 洗脱剂用量为 3.0BV; f. 解吸速率为 2.0BV/h, 乙醇体积分数为 80%。

以筛选出的 AB-8 大孔树脂进行动态柱实验, 以研究不同因素对诃子多酚的动态吸附解吸附性能, 结果见表 1。AB-8 树脂的吸附率随流速的增加而降低, 当上柱流速为 1.0BV/h 时, AB-8 树脂的吸附率为 84.04%; 当流速提高到 5.0BV/h 时, 其动态吸附率降至 74.28%。这是因为随着上柱流速增大, 料液中多酚类化合物还来不及被树脂充分吸附便流出树脂柱, 虽然较低的流速对吸附有利, 但流速过低, 操作时间长, 在实际生产中应综合考虑吸附量与效率选择上柱速率, 因此, 以 3.0BV/h 左右的流速进行上柱为宜。当 pH 值从 4.0 增加至 6.0 时, 诃子多酚的吸附率随 pH 值增加而增加, 当 pH 值为 6.0 时, AB-8 树脂吸附率最高, 但 pH 值超过 6.0 时, 吸附率反而下降, 因此, 上柱料液的 pH 值应保持在 6.0。诃子多酚质量浓度较低时, 随着诃子多酚质量浓度的提高, AB-8 树脂对诃子多酚的吸附量增加, 多酚质量浓度达 2.0mg/mL 时吸附率最大, 但当诃子多酚质量浓度提高到 3.0mg/mL 时, 吸附率下降, 这说明吸附趋于饱和。因此选择上柱料液多酚质量浓度在 2.0mg/mL。

选择乙醇溶液洗脱吸附的诃子多酚, 解吸率随着乙醇体积分数的增加而增加, 当乙醇体积分数为 20% 时, 解吸率 45.93%; 当乙醇体积分数提高到 80% 时, 解吸率达 92.20%, 再增加乙醇体积分数, 解吸率反而略有降低, 因此选用 80% 的乙醇作为洗脱剂。解吸率随解吸速率增加而下降, 当解吸速率为 2.0BV/h 时, 解吸率为 91.72%, 能满足要求, 考虑到解吸率因素和生产效率, 实验最后确定解吸速率为 2.0BV/h。洗脱剂用量增加, 解吸率随之增加, 但过大的洗脱剂用量不利于成本控制, 选择洗脱剂用量为 3.0BV。

## 2.2 诃子多酚的提取纯化

根据 1.3.1 节超声提取诃子多酚, 并在 2.1 节确定的柱参数条件下进行诃子多酚纯化, 结果见表 2。

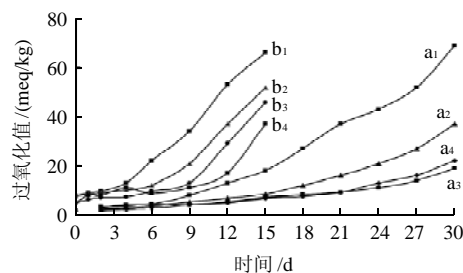
表2 诃子多酚提取纯化结果(n=3)  
Table 2 Results of purification of *Terminalia* polyphenols (n=3)

样品	诃子多酚含量/%	诃子多酚提取率/%
诃子原料	13.9	
诃子粗多酚*	37.4	11.1
诃子精多酚**	78.4	9.4

注: \*. 超声粗提取物; \*\*. AB-8 大孔树脂纯化物。

由表 2 可知, 诃子原料中诃子多酚含量高达 13.9%, 表明诃子富含植物多酚, 超声粗提取物中诃子多酚含量为 37.4%, 粗提取物的提取率为 11.1%, 而粗提取物经 AB-8 大孔树脂纯化后的精多酚, 诃子多酚含量为 78.4%, 诃子精多酚提取率为 9.4%。这说明采用 AB-8 大孔树脂纯化诃子多酚可行性较好。

## 2.3 诃子多酚油脂抗氧化作用



a. 猪油; b. 菜籽油; 1. 空白对照; 2. 诃子粗多酚; 3. 诃子精多酚; 4. 茶多酚。

图2 添加 0.04% 诃子多酚对猪油和菜籽油的抗氧化作用  
Fig.2 Antioxidant effect of *Terminalia* polyphenols on lard oil and rapeseed oil

由图 2 可知, 在初始阶段, 各试样的 POV 值基本接近, 随着时间的推移, 未加抗氧化剂空白样 POV 值随时间增加明显且高于添加诃子多酚和茶多酚的试样, 对于新鲜猪油, 不加抗氧化剂的空白样品第 9 天开始氧化速率迅速增加, 而加入诃子粗多酚和诃子精多酚后, 诃子粗多酚在前 15d POV 值无明显变化。诃子精多酚和茶多酚, 在前 22d 过氧化值无明显变化, 说明诃子多酚对动物油脂具有良好的抗氧化效果, 诃子精多酚抗氧化作用明显强于诃子粗多酚, 与茶多酚相近。对于菜籽油, 空白样品在第 4 天 POV 值开始增加, 7d 后 POV 值增加已非常明显, 而添加诃子粗多酚、诃子精多酚和茶多酚的样品分别在第 6、9、12 天 POV 值开始增加, 诃子精多酚对菜籽油抗氧化作用强于诃子粗多酚, 但弱于茶多酚。

因此, 纯化后的诃子精多酚 POV 值较诃子粗多酚油



脂抗氧化作用明显增加,表明 AB-8 大孔树脂纯化的诃子多酚具有良好的油脂抗氧化作用,应用 AB-8 大孔树脂纯化诃子多酚是可行。

#### 2.4 诃子多酚油脂抗氧化协同增效作用

考虑到诃子精多酚对菜籽油抗氧化作用相对较弱,在诃子精多酚中加入螯合剂柠檬酸以形成复配抗氧化剂,柠檬酸可将金属离子螯合以抑制 Fenton 反应,消除羟自由基的产生,通过协同增效作用进一步提高诃子精多酚油脂的抗氧化能力,同时可以降低成本。

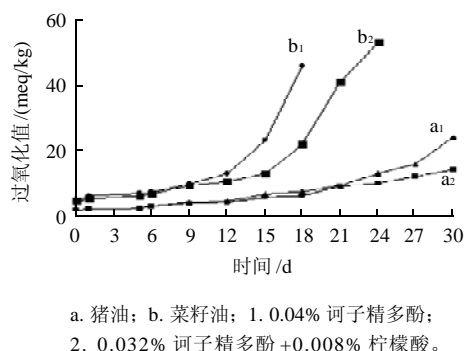


图3 诃子精多酚与柠檬酸复配物对猪油和菜籽油的抗氧化作用  
Fig.3 Antioxidant effect of *Terminalia* polyphenols combined with citric acid on lard oil and rapeseed oil

由图3可知,诃子精多酚与柠檬酸复配后抗氧化能力得到提高。相对于猪油而言,诃子精多酚与柠檬酸复配物对菜籽油的抗氧化作用更加明显,菜籽油加入诃子精多酚后,第9天开始进入诱导期,但加入柠檬酸后,菜籽油近15d以后才开始进入诱导期,诃子精多酚与柠檬酸复配物的协同抗氧化作用非常显著。诃子精多酚与柠檬酸复配物对猪油的过氧化也有更好的抑制作用,诃子精多酚第18天开始进入诱导期,加入柠檬酸后,猪油24d以后才开始进入诱导期。因此,在诃子多酚与螯合剂柠檬酸复配后可明显提高油脂的抗氧化能力。

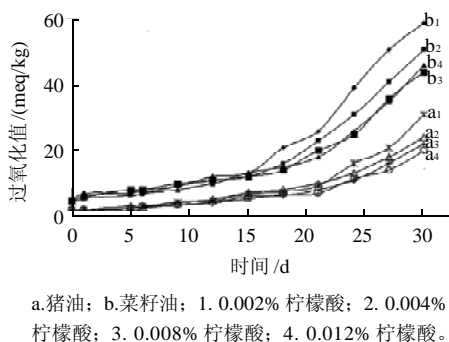
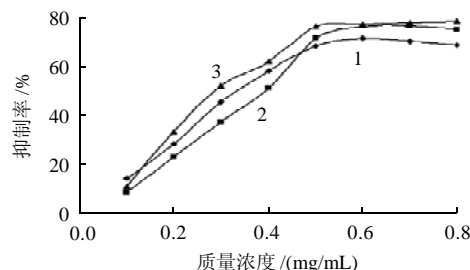


图4 诃子精多酚和柠檬酸组成变化对复配物抗氧化作用的影响  
Fig.4 Antioxidant effect of various *Terminalia* polyphenols and citric acid mixtures on lard oil and rapeseed oil

图4分别是固定复配物总加入量为0.04%,改变诃子精多酚和柠檬酸组成对猪油和菜籽油POV值的影响。对于菜籽油而言,诃子精多酚和柠檬酸组成对POV值具有较大的影响,当柠檬酸添加量低于0.008%时,柠檬酸添加量增加有利于复配物抗氧化作用,柠檬酸添加量为0.008%时复配物抗氧化作用最强,但当柠檬酸添加量高于0.008%时,复配物抗氧化作用会逐渐下降。诃子精多酚和柠檬酸组成对猪油POV值影响较菜籽油小,柠檬酸添加量在0.004%~0.012%之间,复配物均具有较强的抗氧化作用。综合诃子精多酚和柠檬酸组成对猪油和菜籽油POV值的影响,选择诃子精多酚和柠檬酸复配比为4:1。

#### 2.5 诃子多酚及复配物抗脂质过氧化作用



1. 茶多酚; 2. 诃子精多酚; 3. 0.032% 诃子精多酚 + 0.008% 柠檬酸。  
图5 不同质量浓度的诃子精多酚及复配物的抗脂质过氧化活性  
Fig.5 Lipid peroxidation inhibitory activity of *Terminalia* polyphenols, citric acid and their mixtures

由图5可知,低质量浓度时,茶多酚抑制作用强于诃子精多酚,表明茶多酚具有较低的抗氧化起始质量浓度,但高质量浓度时,诃子精多酚抑制率作用强于茶多酚,诃子精多酚最大抑制率高于茶多酚,说明诃子精多酚具有比茶多酚更高的抗氧化容量。诃子精多酚和柠檬酸组成复配物后,低质量浓度条件下抗氧化作用得到改善,抗氧化起始质量浓度低于茶多酚,说明柠檬酸的加入较好地改善了低质量浓度时诃子精多酚抗脂质过氧化作用,并对高质量浓度抗氧化作用亦具有提升作用。

油脂在精炼和脱臭过程中会带入微量的金属离子,尤其是铁离子,研究表明金属离子能诱导 Fenton 反应产生羟自由基,诱导脂质过氧化反应,催化油脂的氧化酸败,诃子精多酚有丰富的酚羟基基团,酚类是极好的氢或电子供体,由于形成的酚类游离基中间体的共振非定域作用和无适合分子氧进攻的位置,因而比较稳定,不会引发新的游离基或者由于链反应而被迅速氧化,所以是很好的抗氧化剂<sup>[4,9]</sup>。而柠檬酸对铁等金属离子具有良好的配合作用<sup>[4]</sup>,可抑制金属离子诱导自由基的发生,从而降低对油脂的氧化作用,诃子精多酚的抗氧化起始质量浓度高于茶多酚,说明诃子精多酚对铁等金属离子的配合作用相对较弱,与柠檬酸复配物

后,可起到较好的协同增效作用,使诃子精多酚低质量浓度条件下抗氧化作用得到改善。

### 3 结 论

民族药诃子资源丰富,并富含植物多酚,具有多种生物活性,研究表明,通过AB-8大孔树脂纯化,可获得诃子精多酚,诃子多酚对植物油和动物油均具有良好的抗氧化作用,能有效抑制油脂过氧化,添加柠檬酸可产生明显的协同增效作用,且诃子原料成本低于茶多酚,具有较好的开发前景。

### 参考文献:

- [1] BARBARA M, BERNHARD L, ANTONIO M D, et al. Direct monitoring of lipid oxidation in edible oils by Fourier transform Raman spectroscopy[J]. *Chemistry and Physics of Lipids*, 2005, 134(2): 173-182.
- [2] 李颖畅,孙建华,孟宪军.蓝莓叶总黄酮提取物的定性分析和抗油脂氧化[J]. *食品科学*, 2010, 31(13): 96-99.
- [3] SAJID M, SOOTTAWAT B. Comparative studies of four different phenolic compounds on *in vitro* antioxidative activity and the preventive effect on lipid oxidation of fish oil emulsion and fish mince[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(1): 123-132.
- [4] 凌关庭. 抗氧化食品与健康[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 1-58; 233-235.
- [5] PONOU B K, TEPOUNNO R B, RICCIUTELLI M, et al. Dimeric antioxidant and cytotoxic triterpenoid saponins from *Terminalia ivorensis* A. Chev[J]. *Phytochemistry*, 2010, 71(17/18): 2108-2115.
- [6] 冯世鑫, 马小军, 闫志刚. 诃子化学成分及药理作用的研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(25): 1038-1039; 1041.
- [7] 孟洁, 杭瑚. 诃子抗氧化作用的研究[J]. *食品科学*, 2000, 21(2): 9-12.
- [8] 贝玉祥, 郭英, 范逸平, 等. 诃子多酚清除活性氧自由基及体外抗氧化作用研究[J]. *云南民族大学学报: 自然科学版*, 2009, 18(1): 51-54.
- [9] 金莹, 孙爱东. 多酚的食物来源及生物有效性[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 30(9): 101-106.
- [10] 杨新星, 程春梅, 王炯, 等. 千里光多酚提取物的体外抗氧化研究[J]. *云南民族大学学报: 自然科学版*, 2009, 18(2): 143-145.
- [11] NAKBI A, ISSAOUI M, DABBOU S, et al. Evaluation of antioxidant activities of phenolic compounds from two extra virgin olive oils[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, 23(7): 711-715.
- [12] JIN Qingzhe, YUE Jinhuan, SHAN Liang, et al. Process research of macroporous resin chromatography for separation of *N*-(*p*-coumaroyl) serotonin and *N*-feruloylserotonin from Chinese safflower seed extracts [J]. *Separation and Purification Technology*, 2008, 62(2): 370-376.
- [13] SUN Yue, LI Aimin, FEI Zhenghao, et al. Adsorption of tannin acid onto an aminated macroporous resin from aqueous solutions[J]. *Chinese Journal of Polymer Science*, 2007, 25(6): 621-627.
- [14] 董文宾, 胡英, 张建华. 吸附树脂法制备茶多酚精品的工艺研究[J]. *食品科学*, 2002, 23(11): 65-73.
- [15] 高云涛, 杨利荣, 杨益林, 等. 重楼提取物体外清除活性氧及抗氧化作用研究[J]. *中成药*, 2007, 29(2): 195-198.
- [16] 许陈. 法桐落叶中植物多酚的测定与提取研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2006.
- [17] GB/T 5538—1995 油脂过氧化值测定[S].