

## 刺梨果汁对乙醇诱导慢性肝损伤小鼠的保护作用

胡斯杰, 牛红鑫, 余睿智, 曲敏, 赵冠华, 佟长青, 李伟\* (大连海洋大学食品科学与工程学院, 辽宁大连 116023)

**摘要** [目的]研究刺梨果汁对乙醇诱导慢性肝损伤小鼠的保护作用。[方法]参考相关文献,测定刺梨果汁各营养物质含量,同时测定其紫外光谱和红外光谱,以及其清除1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基和2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)自由基的能力,检测其对肝损伤小鼠生化指标的影响。[结果]1 mL刺梨果汁含有5.00 mg蛋白质、32.50 mg总糖以及0.26 mg维生素C。由紫外可见光谱可知,刺梨果汁的特征吸收峰在205~300 nm范围,在255 nm处有最大吸收。红外光谱结果表明,刺梨的吸收峰与维生素C以及多糖吸收峰基本相同。小鼠试验表明,刺梨果汁低[8 mL/(kg·d)]、中[12 mL/(kg·d)]、高[16 mL/(kg·d)]剂量组显著抑制乙醇诱导慢性肝损伤小鼠血清中谷丙转氨酶(ALT)的升高,灌胃刺梨果汁的中、高剂量组显著抑制谷草转氨酶(AST)和丙二醛(MDA)的升高。灌胃刺梨果汁高剂量组肝组织中的超氧化物歧化酶(SOD)活性极显著高于对照组。组织病理表明,刺梨果汁各剂量组的小鼠肝细胞排列整齐、细胞索清晰。[结论]刺梨果汁具有对乙醇诱导的小鼠慢性肝损伤的保护作用。

**关键词** 刺梨;果汁;乙醇;肝损伤

**中图分类号** R285.5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)16-0102-04

### Hepatoprotective Effect of *Rosa roxburghii* Juice on Chronic Ethanol-induced Liver Injury in Mice

HU Si-jie, NIU Hong-xin, YU Rui-zhi, LI Wei\* et al (College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian, Liaoning 116023)

**Abstract** [Objective] To evaluate the hepatoprotective effects of *Rosa roxburghii* juice against chronic alcohol-induced liver injury in mice. [Method] By referring to relevant literature, nutrients content in *R. roxburghii* juice were determined, as well as its UV and IR spectra. The ability to remove DPPH radicals and ABTS radicals was measured, effects on biochemical indicators of liver injury mice were detected. [Result] Each 1 mL of *R. roxburghii* juice contains 5.00 mg of proteins, 32.50 mg of polysaccharides and 0.26 mg of vitamin C. The result of ultraviolet-visible spectrum showed that the characteristic absorption peak of *R. roxburghii* juice is of 205-300 nm. The biggest absorption peak is of 255 nm. Infrared spectra showed that the characteristic absorption peak of *R. roxburghii* juice is similar with absorption peak of vitamin C and polysaccharide. The protective effect of *R. roxburghii* juice on chronic alcohol-induced liver injury was investigated in mice. Compared with model control group, treatment with low [8 mL/(kg·d)], middle [12 mL/(kg·d)] and high [16 mL/(kg·d)] doses of *R. roxburghii* juice were significantly decreased serum ALT level, middle and high doses were significantly decreased serum AST and MDA levels. Treatment with high dose was significantly increased SOD. However, the liver cell cords of mice treated with low, middle and high doses of *R. roxburghii* juice were arranged in order, and liver cells were regular arranged. [Conclusion] *R. roxburghii* juice could be used in protecting chronic ethanol-induced liver injury in mice.

**Key words** *Rosa roxburghii*; Juice; Alcohol; Liver injury

过量的酒精可对人体的血液循环系统、消化系统以及中枢神经系统造成不同程度的损伤,甚至会导致肿瘤的出现<sup>[1]</sup>。长期大量饮酒更是会造成酒精中毒性神经依赖,这已成为人们严重关切的社会问题<sup>[2]</sup>。因此,人们希望采用解酒制品来解除和减轻饮酒对机体所带来的损害。目前,常见的解酒制品主要成分来自于传统的中草药,如葛根、姜黄、银杏叶、白茅根、白扁豆、五味子、薄荷、藿香、半夏、白芷、陈皮、山楂、乌梅、甘草以及党参等<sup>[3]</sup>。对解酒制品成分进行分析表明,中草药是对酒精性肝损伤具有保护作用的活性物质的潜在来源。

刺梨(*Rosa roxburghii*)为蔷薇科蔷薇属多年生植物,分布于我国云南、四川、贵州以及陕西等地<sup>[4]</sup>。《全国中草药汇编(卷二)》中记载:刺梨酸、涩、平,归脾、肾、胃经,其果与根均可入药<sup>[5]</sup>。现代药理学研究表明,刺梨具有抗氧化、抗癌防癌、降低重金属负荷以及对CCl<sub>4</sub>导致的肝损伤具有保护作用<sup>[6-7]</sup>。于丽伟等<sup>[8]</sup>发现了刺梨汁对拘束负荷诱发的小鼠肝损伤具有保护作用。潘苏华等<sup>[9]</sup>研究了银杏叶提取物与刺梨配伍抗CCl<sub>4</sub>导致小鼠肝损伤作用,发现其抗肝损伤

作用优于单方银杏叶提取物。黄娇娥<sup>[10]</sup>等发现,刺梨三萜对人肝癌SMMC-7721细胞增殖具有抑制作用。但对于刺梨果汁对小鼠慢性酒精肝损伤保护作用的研究还鲜见报道。笔者研究了刺梨果汁对酒精诱导的小鼠慢性肝损伤的保护作用,以期为了解其解酒机制提供一定的基础数据。

#### 1 材料与方法

**1.1 材料** 刺梨果汁,由深圳探青实业有限公司提供。谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、丙二醛(MDA)以及超氧化物歧化酶(SOD)试剂盒,南京建成生物工程研究所;硫普罗宁(DDB),河南省新谊药业股份有限公司。

FD-1型冷冻干燥机,北京博医康实验仪器有限公司;GL-21M型高速冷冻离心机,长沙湘仪离心机;TU-1810型紫外可见光光度计,上海光谱仪器有限公司。

**1.2 供试动物** 6~7周清洁级ICR小鼠,体质量为18~22 g,雌雄各半,购自大连医科大学实验动物研究中心,实验动物生产许可证号SCXK(辽)2008-0002。ICR小鼠于12 h黑暗、12 h光亮的塑料饲养箱内饲养,室温(23±2)℃,湿度40%~60%,自由采食和饮水。动物饲料购自北京华阜康生物科技有限公司,许可证号SCXK(京)2016-0011。根据大连海洋大学实验动物伦理委员会规则条例处理供试动物。

#### 1.3 方法

**1.3.1 刺梨果汁总糖、蛋白以及维生素C含量的测定。**总糖含量采用苯酚-硫酸法进行测定<sup>[11]</sup>;蛋白含量采用Follin

**基金项目** 大连海洋大学研究生教育教学改革与创新工程项目(DHDY20150105)。

**作者简介** 胡斯杰(1994—),女,辽宁大连人,硕士研究生,研究方向:食品营养。\*通讯作者,教授,从事食品科学研究。

**收稿日期** 2017-03-29

-酚法进行测定<sup>[12]</sup>;维生素 C 含量按照 GB14754—2010 标准进行检测<sup>[13]</sup>。

**1.3.2 紫外可见光谱和傅立叶变换红外(FT-IR)光谱。**将刺梨果汁稀释到一定倍数,在波长 200~800 nm 进行紫外可见吸收光谱测定。干燥的样品与 KBr 混匀后进行压片,利用 Frontier FT-IR 光谱仪(Perkin-Elmer)测定样品的 FT-IR 光谱<sup>[14]</sup>。

**1.3.3 对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除能力的测定。**按照修改的 Singh 方法测定刺梨果汁的 DPPH 自由基清除能力<sup>[15]</sup>。吸取不同浓度的刺梨果汁溶液 2 mL,加入 2 mL 配制的 DPPH 溶液,混合均匀后,25 °C 水浴反应 30 min,于波长 517 nm 处测定其光密度值  $A_i$ ;同时取 2 mL 样液,加 2 mL 无水乙醇,25 °C 水浴反应 30 min 后,测定吸光值  $A_j$ ;2 mL DPPH 溶液加 2 mL 蒸馏水 25 °C 水浴反应 30 min 后,测定吸光值  $A_0$ 。

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = A_0 - (A_i - A_j) / A_0 \times 100\%$$

式中, $A_0$  为空白对照的吸光值; $A_i$  为样液的吸光值; $A_j$  为本底的吸光值。

**1.3.4 对 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)自由基清除能力的测定。**清除 ABTS 自由基测定按照陈卫云等方法进行<sup>[16]</sup>。用蒸馏水配制 7.4 mmol/L 的 ABTS 储备液,与 2.6 mmol/L 的  $K_2S_2O_8$  于黑暗室温反应 12 h,再用 PBS(pH 7.4)稀释到波长 734 nm 处吸光度为  $0.70 \pm 0.02$ 。在反应体系中,于试管中加入 0.2 mL 不同浓度的刺梨果汁或参比溶液(pH 7.4 PBS),再加入 0.8 mL 的 ABTS 反应溶液,振荡摇匀,静置 6 min,测定溶液在波长 734 nm 处的吸光值。

$$\text{ABTS 自由基清除率}(\%) = (A_0 - A_s / A_0) \times 100\%$$

式中, $A_s$  为样品管的吸光值; $A_0$  为对照管的吸光值。

**1.3.5 肝损伤小鼠及给药。**将 60 只清洁级 ICR 小鼠随机分成对照组、乙醇模型组和硫普罗宁组[50 mg/(kg·d)]以及低剂量[8 mL/(kg·d)]组、中剂量[12 mL/(kg·d)]组和高剂量[16 mL/(kg·d)]组,每组 10 只。各给药组每天灌胃 1 次,连续 14 d。对照组和乙醇模型组给予同样量的生理盐水,于每次给药 3 h 后,除对照组外各组均灌胃 56°商品白酒 16 mL/(kg·d)<sup>[11]</sup>。各组均于末次给药后禁食不禁水。

乙醇肝损伤小鼠于末次给药 16 h 后,断头取血,在 30 min 内,于 3 500 r/min 条件下离心 5 min 后,得上层血清备用。

取小鼠肝左叶组织约 0.3 g 放置于冰冷的生理盐水中进行漂洗 2 min,取出后用滤纸将水吸干,制成 10% 肝组织匀浆液。将制备好的 10% 的肝组织匀浆液在低温低速离心机中以 2 000 r/min 左右离心 15 min,取上清液进行生化指标测定<sup>[6]</sup>。

**1.3.6 生化指标检测与病理学观察。**血清中的 AST 与 ALT 活性以及肝脏组织中的 MDA 含量与 SOD 活性均按试剂盒的要求进行测定。

取处死小鼠后的肝脏右叶组织约 0.3 g,用 10% 甲醛溶

液进行固定,石蜡包埋切片,苏木精-伊红(HE)染色,在显微镜下进行病理学观察<sup>[17]</sup>。

**1.3.7 统计学处理。**所有试验数据均以  $\bar{x} \pm s$  表示,用 SPSS 13.0 软件对试验数据进行处理。

## 2 结果与分析

**2.1 刺梨果汁特性** 经过测定,1 mL 刺梨果汁含有 5.00 mg 蛋白质、32.50 mg 总糖以及 0.26 mg 维生素 C。刺梨果汁的紫外可见光谱见图 1。由图 1 可知,刺梨果汁的特征吸收峰在波长 205~300 nm,在 255 nm 处有最大吸收。刺梨果汁冻干后,经干燥与 KBr 混匀压片,测得 FT-IR 光谱(图 2)。从图 2 可以看出,刺梨的吸收峰与维生素 C 以及多糖吸收峰基本相同,3 357  $\text{cm}^{-1}$  处为 OH 伸缩振动吸收峰,2 938  $\text{cm}^{-1}$  为 C—H 伸缩振动吸收峰,1 716  $\text{cm}^{-1}$  为 C=O 伸缩振动吸收峰<sup>[18]</sup>。

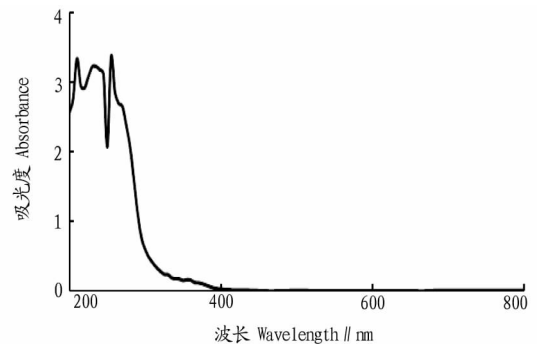


图 1 刺梨果汁的紫外光谱

Fig. 1 Ultraviolet absorption spectroscopy of *R. roxburghii* juice

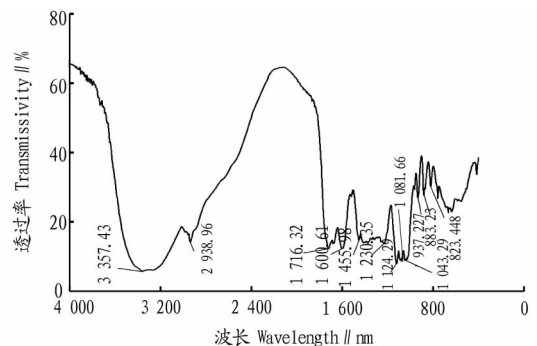
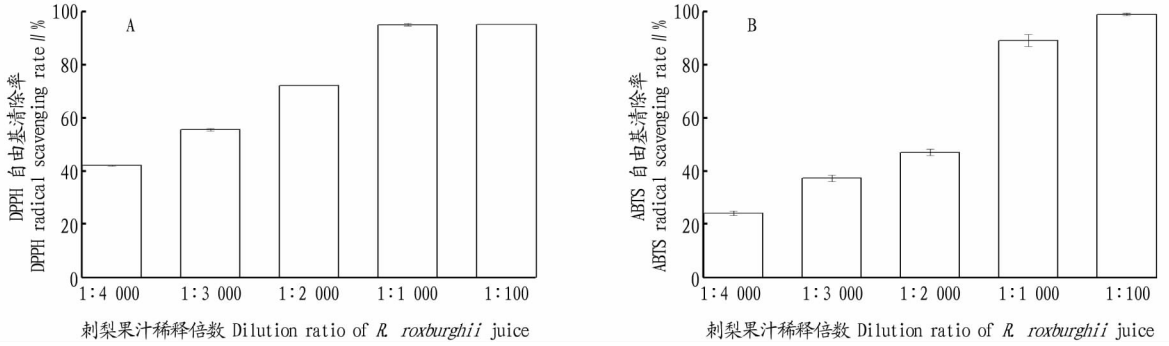


图 2 刺梨果汁的 FT-IR 光谱

Fig. 2 FT-IR spectroscopy of *R. roxburghii* juice

**2.2 刺梨果汁抗氧化活性** 由图 3 可见,稀释 100 倍的刺梨果汁对 DPPH 自由基清除率仍达 95.20% (图 3A),而对 ABTS 自由基清除率达到 99.00% (图 3B)。这些结果表明,刺梨果汁具有较强的抗氧化活性。

**2.3 刺梨果汁对乙醇诱导肝损伤小鼠的影响** 小鼠经过每天刺梨果汁灌胃,连续 14 d 后断头取血进行生物化学指标分析,结果如表 1 所示。灌胃刺梨果汁的低、中、高剂量组的 ALT 活性极显著( $P < 0.01$ )低于模型组,灌胃刺梨果汁的中剂量组 AST 活性极显著( $P < 0.01$ )低于模型组,高剂量组 AST 活性显著( $P < 0.05$ )低于模型组。灌胃刺梨果汁的中剂量组 MDA 含量显著( $P < 0.05$ )低于模型组,高剂量组的 MDA 含量极显著( $P < 0.01$ )低于模型组。灌胃刺梨果汁的高剂量组 SOD 活性极显著( $P < 0.01$ )高于对照组。



注:A. 清除 DPPH 自由基;B. 清除 ABTS 自由基  
 Note: A. Scavenging DPPH radicals; B. Scavenging ABTS radicals

图3 刺梨果汁清除自由基活性

Fig.3 Scavenging effects of *R. roxburghii* juice

表1 刺梨果汁对乙醇诱导肝损伤小鼠生化指标的影响

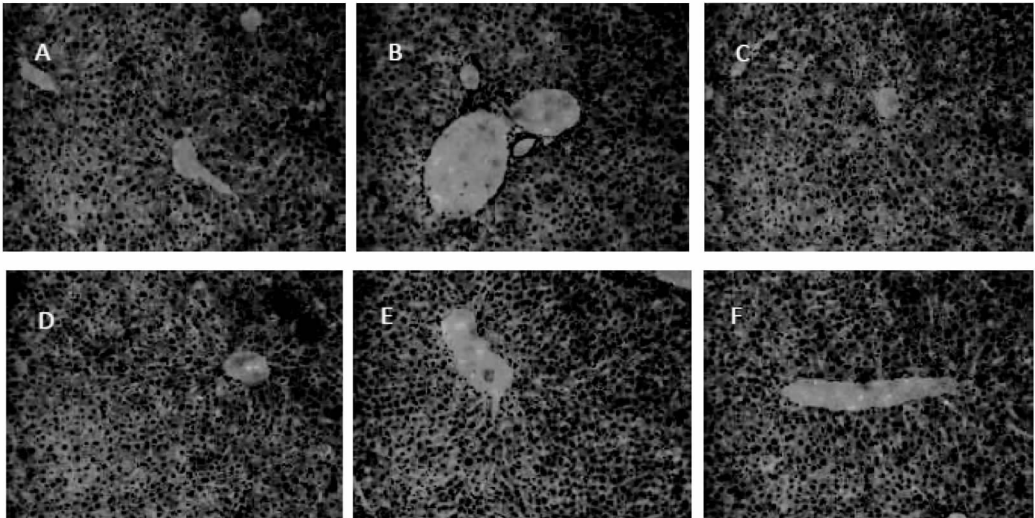
Table 1 Effect of *R. roxburghii* juice on the levels of serum markers in ICR mice with ethanol-induced hepatic injury

处理 Treatment	AST//U/L	ALT//U/L	MDA//nmol/mg	SOD//U/mg
对照组 Control group	31.08 ± 5.18	18.17 ± 5.09	5.45 ± 0.78	176.27 ± 13.07
模型组 Model group	63.16 ± 7.68 <sup>##</sup>	31.7 ± 2.33 <sup>##</sup>	7.19 ± 1.23 <sup>##</sup>	126.36 ± 7.35 <sup>##</sup>
乙醇 + 硫普罗宁组 Ethanol + DDB	43.23 ± 11.86 <sup>##**</sup>	19.79 ± 5.34 <sup>**</sup>	5.97 ± 1.39 <sup>*</sup>	152.75 ± 12.03 <sup>##**</sup>
乙醇 + 低剂量组 Ethanol + low dose group	57.02 ± 9.05 <sup>##</sup>	24.51 ± 3.52 <sup>##**</sup>	6.80 ± 1.11 <sup>#</sup>	129.46 ± 9.27 <sup>##</sup>
乙醇 + 中剂量组 Ethanol + middle dose group	50.28 ± 7.30 <sup>##**</sup>	24.6 ± 3.61 <sup>##**</sup>	6.02 ± 1.25 <sup>*</sup>	131.53 ± 10.41 <sup>##</sup>
乙醇 + 高剂量组 Ethanol + high dose group	51.88 ± 15.14 <sup>##**</sup>	23.71 ± 2.84 <sup>##**</sup>	5.59 ± 1.15 <sup>**</sup>	141.39 ± 13.3 <sup>##**</sup>

注:与对照组相比,<sup>#</sup>表示差异显著( $P < 0.05$ ),<sup>##</sup>表示差异极显著( $P < 0.01$ );与模型组相比,<sup>\*</sup>表示差异显著( $P < 0.05$ ),<sup>\*\*</sup>表示差异极显著( $P < 0.01$ )  
 Note:Compared with CK group,<sup>#</sup> stands for significant difference( $P < 0.05$ ),<sup>##</sup> stands for extremely significant difference( $P < 0.01$ ); compared with model group,<sup>\*</sup> indicates significant difference( $P < 0.05$ ),<sup>\*\*</sup> indicates extremely significant difference( $P < 0.01$ )

各试验组的肝脏组织病理观察如图4所示。图4A为对照组的小鼠肝脏组织切片,可以看出正常小鼠肝脏细胞结构清晰。图4B为乙醇模型组肝细胞切片,其肝细胞索较混乱,并出现肿胀。图4C为硫普罗宁组的肝组织切片,图4D、4E、4F

为分别为刺梨果汁低、中、高剂量组的肝组织切片,其肝细胞形态大小正常,肝细胞索排列规整,与对照组肝细胞形态差别不大。生物化学指标检测以及肝组织病理结果都表明了刺梨果汁具有明显的减轻乙醇对肝组织的慢性损伤作用。



注:A. 对照组;B. 乙醇模型组;C. 硫普罗宁组;D. 刺梨果汁低剂量组;E. 刺梨果汁中剂量组;F. 刺梨果汁高剂量组  
 Note:A. Control group; B. Ethanol model group; C. Tiopronin group; D. *R. roxburghii* juice low dose group; E. *R. roxburghii* juice middle dose group; F. *R. roxburghii* juice high dose group

图4 ICR小鼠肝组织病理图(HE × 100)

Fig.4 Histopathological images of the ICR mice liver(HE × 100)

### 3 结论与讨论

刺梨含有丰富的维生素 C,其含量为各类水果之冠<sup>[7]</sup>。除此以外,刺梨还富含 SOD、黄酮、多糖、胡萝卜素、蛋白质、氨基酸、三萜、微量元素以及维生素 B 族等对人体有益的活性成分<sup>[19-20]</sup>。刺梨果汁具有较好的抗氧化活性,因此具有保护机体的各个部分的抗氧化作用。进一步小鼠试验表明,刺梨果汁具有明显的减轻乙醇对肝组织的慢性损伤作用。具有肝保护作用的物质一般都具有抗氧化活性,这是由于肝损伤过程是由于有害物质氧化肝脏组织造成的。多糖类物质、蛋白质以及维生素 C 具有保肝作用已有报道,如梁湘珍<sup>[21]</sup>发现了大蒜多糖对慢性酒精中毒小鼠肝损伤的保护作用;李林格等<sup>[1]</sup>研究了大鲵皮胶原蛋白肽对乙醇诱导肝损伤小鼠的保护作用,发现其具有肝保护作用;孙丕健<sup>[22]</sup>研究了维生素 C 对大鼠酒精性脑和肝损伤的保护作用,发现维生素 C 通过增加脑中 SOD 和肝中谷胱甘肽过氧化物酶(GSH - PX)水平而发挥肝保护的作用<sup>[22]</sup>。酒精对肝脏的毒害作用主要是由于酒精代谢过程中产生氧自由基,从而导致谷胱甘肽(GSH)消耗、脂质过氧化以及多种细胞因子激活,进而造成肝脏损伤<sup>[21]</sup>。由于刺梨果汁具有较强的抗氧化活性,因此才具有较好的减轻乙醇对肝组织的慢性损伤作用。

该研究考察了刺梨果汁的基本特征。发现刺梨果汁含有丰富的蛋白质、多糖及维生素 C 等多种生物活性物质。其紫外可见光谱及 FT - IR 光谱具有独特的特征。刺梨果汁具有较强的清除 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的能力。刺梨果汁低、中、高剂量组显著抑制乙醇诱导慢性肝损伤小鼠血清中 ALT 的升高,灌胃刺梨果汁的中、高剂量组显著抑制 AST 和 MDA 的升高。灌胃刺梨果汁高剂量组肝组织中的 SOD 极显著高于对照组。组织病理检测结果也表明,刺梨果汁低、中、高剂量组的肝脏细胞排列整齐,肝索清晰,脂肪滴空泡较少,显著比乙醇模型组的肝损伤减轻。因此,刺梨果汁对小鼠慢性酒精肝损伤具有保护作用。

### 参考文献

- [1] 李林格,曲敏. 大鲵皮胶原蛋白肽的结构特性及其对乙醇诱导肝损伤小鼠的保护作用[J]. 食品工业科技,2014,35(8):340-343.
- [2] 孟庆立. 慢性酒精中毒者心理健康状况及人格特征的研究[J]. 中国药物依赖性杂志,2004,13(1):46-49.
- [3] 项伟,夏延斌. 我国解酒制品研制现状[J]. 食品科技,2005(3):49-52.
- [4] 唐玲,陈月玲,王电,等. 刺梨产品研究现状和发展前景[J]. 食品工业,2013,34(1):175-178.
- [5] 王国强. 全国中草药汇编:卷二[M]. 北京:人民卫生出版社,2014.
- [6] 涂国云,刘利花. 刺梨的营养成份及保健药用[J]. 中国林副特产,2006(2):68-70.
- [7] 董李娜,潘苏华. 刺梨的研究进展[J]. 江苏中医药,2007,39(8):78-80.
- [8] 于丽伟,王聪智,何蓉蓉. 刺梨果汁对拘束负荷诱发小鼠肝损伤的保护作用[J]. 食品与生物技术学报,2010,29(5):730-734.
- [9] 潘苏华,牛文明,吴勇,等. 银杏叶提取物与刺梨配伍抗实验性肝损伤作用[J]. 药学实践杂志,2009,27(6):437-438,444.
- [10] 黄姣娥,江晋渝,罗勇,等. 刺梨三萜对人肝癌 SMMC - 7721 细胞增殖的影响[J]. 食品科学,2013,34(13):275-279.
- [11] DUBOIS M, GILLES K A, HAMILTON J K, et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances[J]. Anal Chem, 1956, 28(3):350-356.
- [12] 张龙翔,张庭芳,李令媛. 生化实验方法和技术[M]. 北京:高等教育出版社,1997.
- [13] 中华人民共和国卫生部. 食品添加剂 维生素 C (抗坏血酸): GB 14754-2010[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [14] BEELEY J G. Glycoprotein and proteoglycan techniques[M]//BURDON R H, VAN KNIPPENBERG P H. Laboratory techniques in biochemistry and molecular biology. New York: Elsevier Amsterdam, 1985.
- [15] SINGH N, RAJINI P S. Free radical scavenging activity of an aqueous extract of potato peel[J]. Food chemistry, 2004, 85(4):611-616.
- [16] 陈卫云,张名位,魏振承,等. 不同方法提取荔枝多糖抗氧化活性的比较[J]. 食品工业科技,2012,33(4):192-194.
- [17] 曲敏,田丽冉,佟长青,等. 大鲵低聚糖肽对四氯化碳致小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 食品工业科技,2013,34(14):350-352,369.
- [18] 张进,何鑫,姚思童,等. 漫反射傅里叶变换红外光谱法测定维生素 C 制剂中抗坏血酸的含量[J]. 化学分析计量,2013,22(5):51-54.
- [19] 杜薇,刘国文. 刺梨总黄酮的含量测定及资源利用[J]. 食品科学,2003,24(1):112-114.
- [20] 杨江涛. 刺梨多糖分离纯化、理化性质及生物活性研究[D]. 贵阳:贵州大学,2008.
- [21] 梁湘珍. 大蒜多糖对慢性酒精中毒小鼠肝损伤的保护作用[D]. 广州:暨南大学,2010.
- [22] 孙丕健. 维生素 C 对大鼠酒精性脑和肝损伤的保护作用研究[D]. 苏州:苏州大学,2011.
- [3] BAJWA V S, SHUKLA M R, SHERIF S M, et al. Identification and characterization of serotonin as an anti-browning compound of apple and pear [J]. Postharvest biology and technology, 2015, 110:183-189.
- [4] KIM A N, KIM H J, KERR W L, et al. The effect of grinding at various vacuum levels on the color, phenolics, and antioxidant properties of apple [J]. Food chemistry, 2017, 216:234-242.
- [5] ZHAO Y, TU K, SU J, et al. Heat treatment in combination with antagonistic yeast reduces diseases and elicits the active defense responses in harvested cherry tomato fruit[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2009, 57(16):7565-7570.
- [6] ZHANG Y, SHI X P, LI B H, et al. Salicylic acid confers enhanced resistance to Glomerella leaf spot in apple[J]. Plant physiology and biochemistry, 2016, 106:64-72.
- [7] FELICETTI E, MATTHEIS J P, ZHU Y M, et al. Dynamics of ascorbic acid in 'Braeburn' and 'Gala' apples during on-tree development and storage in atmospheres conducive to internal browning development[J]. Postharvest biology and technology, 2011, 61(2/3):95-102.
- [8] MISHRA B B, GAUTAM S, SHARMA A. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): The factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*) [J]. Food chemistry, 2013, 139(1/2/3/4):105-114.
- [9] SULAIMAN A, SOO M J, FARID M M, et al. Thermo-sonication for polyphenol oxidase inactivation in fruits: Modeling the ultrasound and thermal kinetics in pear, apple and strawberry purees at different temperatures [J]. Journal of food engineering, 2015, 165:133-140.
- [10] MARSZALEK K, KRUSZEWSKI B, WOŹNIAK Ł, et al. The application of supercritical carbon dioxide for the stabilization of native and commercial polyphenol oxidases and peroxidases in cloudy apple juice (cv. Golden Delicious) [J]. Innovative food science & emerging technologies, 2017, 39:42-48.
- [11] SUPAPVANICH S, PRATHAAN P, TEPSORN R. Browning inhibition in fresh-cut rose apple fruit cv. Taaptimjaan using konjac glucomannan coating incorporated with pineapple fruit extract [J]. Postharvest biology and technology, 2012, 73:46-49.

(上接第 90 页)