

# 柚子副产物制备泡腾片的工艺研究

李振羽, 钟昆志, 龚棣文, 黄健希, 李素芬, 王琴, 刘祎帆, 黄嘉泳

(仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州, 510000)

**摘要:** 此研究以柚子副产物为加工对象, 以水提法提取柚子成果及幼果的柚核、柚皮提取物作为主料, 以硬度、色差、pH、崩解时间及抗氧化性能为理化指标, 研制一款感官舒适的泡腾片。通过高效液相色谱确定水提取物中柠檬苦素含量, 用以确定柠檬酸的添加量, 在保证柠檬苦素功能的前提下进行脱苦。随后, 通过改变阿拉伯胶添加量并测定各项理化性质, 优化泡腾片的配方比例及制作工艺。结果表明, 金柚副产物泡腾片的最佳配方配比为: 柠檬酸 35.00%、小苏打 25.00%、PVP-K30 (聚乙烯吡咯烷酮) 1.50%、PEG 6000 散 (聚乙二醇) 2.00%、柚子果粉 22.50%、甜菊糖苷 0.75%、木糖醇 7.50%、柚皮提取物 (成果或幼果果皮提取物冻干前含阿拉伯胶为 8 mg/mL), 柚核提取物分别 5.00% 及 0.75%。混匀后压片, 压片压力为 3.00 MPa, 制得的泡腾片澄清度良好, 糖酸比感官舒适, 硬度、pH 适中, 崩解时间合理, 溶解液具有理想的抗氧化性能。

**关键词:** 柚子; 幼果; 水提取物; 泡腾片; 柠檬苦素

文章编号: 1673-9078(2019)12-241-248

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.12.031

## The Preparation of Effervescent Tablets with Pomelo By-products

LI Zhen-yu, ZHONG Kun-zhi, GONG Di-wen, HUANG Jian-xi, LI Su-fen, WANG Qin, LIU Hui-fan,  
HUANG Jia-yong

(College of Light Industry and Food Sciences, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** The effervescent tablets which are made up of extracts from mature and young pomelo seeds and peel were prepared. The physical and chemical indexes of product including hardness, pH value, color difference, disintegration time and antioxidants were determined. Firstly, Limonin content in water extract was tested by HPLC to determine additive amount of Citric acid. Citric acid was used to reduce the bitterness from Limonin without removing it. Secondly, Acacia was added in tablets with different concentration and physicochemical properties were measured for improving the product's formula and process. According to the result of experiments, we have determined that the best proportion of each ingredients among the list of ingredients for our effervescent tablets: 35.00% of citric acid, 25.00% of sodium bicarbonate, 1.50% of PVP-K30, 2.00% of PEG 6000 (in powder), 22.50% grapefruit powder, 0.75% of stevioside, 7.50% of Xylitol, 5.00% of extract from mature grapefruit skin and young grapefruit skin (8 mg/mL of Acacia was added before freeze-dry), 0.75% of extract from grapefruit kernel. Tableting in 3.00 MPa was done after the well mixing of all ingredients. The drink made by final tablets is good in clarity. The sugar-acid ratio is in a comfortable range which gives the drink a good taste. Hardness and pH value are in a suitable level. Disintegration time is reasonable. Oxidation resistance of products solution is quite strong.

**Key words:** pomelo; fruitlets; water extract; effervescent tablets; limonin

柚子是一种典型的岭南特色水果, 种植面积广, 仅广东梅县目前的种植面积已超 25 万亩<sup>[1]</sup>。在种植过程中, 为提高商品果品质, 果农在开花期进行疏花并

收稿日期: 2019-07-17

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (粤科资字〔2019〕997 号); 广东大学生科技创新培育专项资金 (pdjh2019b0245); 仲恺农业工程学院本科科技创新资金 (k1190930106); 广东省基础与应用基础研究基金项目 (2019A1515011283)

作者简介: 李振羽 (1997-), 男, 本科, 研究方向: 天然产物加工

通讯作者: 刘祎帆 (1990-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 天然产物加工

在定果期前进行疏果, 从而产生大量幼果, 造成资源浪费<sup>[2]</sup>。此外, 在柚子食用和加工过程中, 除果肉外的柚皮及柚核往往因得不到广泛且有效运用而造成资源浪费。在柚子种植面积逐年增加的情况下, 有必要对柚皮、柚核、幼果等柚子副产物进行适当加工利用, 提高柚子加工产业的附加值, 合理利用资源, 保护环境<sup>[3]</sup>。目前柚子相关产品主要为蜜饯<sup>[4,5]</sup>, 在加工过程中会加入大量糖并进行长时间高温热处理, 容易造成柚皮中热敏性化合物损失。而柚皮中热敏性物质具有丰富的生物活性, 可以通过适当方式提取这类生物活性物质, 制成新资源功能性食品。

柚子富含类黄酮, 类柠檬苦素, 多糖及挥发油等<sup>[6-9]</sup>多种对人体有益的功能性成分。黄酮类物质具有抗氧化、促进心脏和血管健康、保护肝脏的功能、以及抗细菌, 抗真菌和抗病毒等活性<sup>[10,11]</sup>; 黄酮的出色功能性被药学界认为是开发新药物的潜在药物前体<sup>[12-15]</sup>。类柠檬苦素是柚皮中的另一类功能性成分, 是产品苦涩味的重要来源, 具有抗肿瘤等功效。在相关报道中提及了一种联合类柠檬苦素, 类黄酮等化合物治疗肿瘤方案<sup>[8,16]</sup>。柚皮中的多糖类化合物展现了在抗肿瘤方面的潜力<sup>[17]</sup>。挥发油主要存在于柚皮油囊中, 主要成分包括含抑菌功能的柠檬烯<sup>[9,18,19]</sup>。这些生物活性物质都可以用于开发新型功能食品。柚核中柠檬苦素含量较高, 其味苦, 具有镇痛、抗癌、抗氧化和抑菌等功能<sup>[20,21]</sup>。

由于味苦, 目前对柚核加以利用的食品产品较少。为解决苦味过重的问题, 需对柠檬苦素进行脱苦。有研究表明, 柠檬酸可作为柠檬苦素的苦味抑制剂, 较为显著地抑制其苦味<sup>[22]</sup>。同时柠檬酸又是泡腾片主料之一, 结合这一情况, 将柚皮柚核提取物加入泡腾片, 可在去除不良风味的同时保留功能性成分。因此, 首先通过高效液相色谱确定柚子副产物水提取物中柠檬苦素的含量, 以确定柠檬酸的添加量, 在保证柠檬苦素功能的前提下掩盖苦味, 同时确定产品配方, 并对该柚子副产物泡腾片产品的抗氧化性、含水量、硬度等各项理化指标进行分析, 研制风味较好的柚子添加物泡腾片, 为柚子副产物高值化利用提供新思路。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与试剂

市售金柚(沙田柚); 色谱纯柠檬苦素, 成都植标化纯生物技术有限公司; 分析纯甲醇、分析纯乙腈, 济南萧试化工有限公司; 食品级 PEG(聚乙二醇)6000 散, 南京威尔药业科技有限公司; 柚子果粉, 草本天空; 柚苷酶, 山东亿宝莱生物科技有限公司; 食品级阿拉伯胶、食品级小苏打、食品级 PVP-K30(聚乙烯吡咯烷酮)、食品级木糖醇, 山东龙力生物科技股份有限公司; 食品级甜菊糖苷, 河南万邦实业有限公司; 其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

LC-20A 高效液相色谱仪, 岛津; FD-1A-50 型冷冻干燥机, 北京博医康实验仪器有限公司; BPS-50CL 型恒温恒湿箱, 上海一恒科学仪器有限公司; HYHG-II-72 远红外快速干燥箱, 上海跃进医疗器械有

限公司; YP-15T 型压片机, 天津市金孚伦科技有限公司; XL-10B 型高转粉碎机, 广州市旭朗机械设备有限公司; 索氏抽提装置、布氏抽滤装置、电位滴定计、GY-4 型果实硬度计, 浙江托普仪器有限公司; CR-400 型色差仪, 柯尼卡美能达; PHS-3C 型 pH 计, 上海仪电科学仪器股份有限公司。

### 1.3 实验方法

本实验技术路线图见图 1:

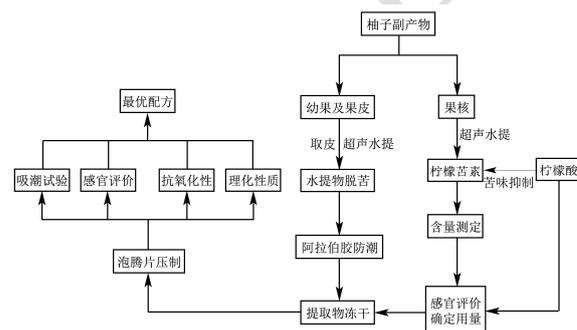


图 1 本研究的技术路线

Fig.1 Technology route of this research

#### 1.3.1 原料提取及脱苦

原料提取包括柚皮及柚核提取物的提取, 其中苦味物质及脱苦方法见图 2。

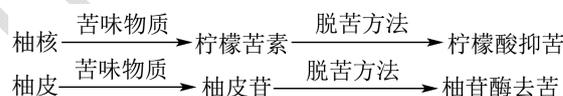


图 2 脱苦方法

Fig.2 Methods of debittering

#### 1.3.1.1 柚子核提取物提取及脱苦

表 1 感官评价标准

Table 1 Standard of sensory evaluation

评价指标		分值
微苦	微酸	1~2
中等苦味	中等酸味	3~5
较大苦味	较大酸味	6~8
强烈苦味	强烈酸味	9~10

提取: 柚子核粉碎后取一定量, 加入其质量 25 倍的超纯水, 室温下超声提取 90 min, 过滤后取上清液冷冻干燥, 冷冻干燥后粉碎, 得柚子核提取物粉末, 于 -20 °C 下冷藏待用。

脱苦: 柚子核中主要苦味物质为柠檬苦素, 而柠檬酸可作为柠檬苦素的苦味抑制剂, 且效果显著<sup>[22]</sup>。本文通过感官评价以恒定其苦味抑制效果, 具体操作为精确称取 30 mg 柠檬苦素, 溶于 1000 mL 超纯水中, 每组取 20 mL, 共 8 组, 分别加入 9 mg、20 mg、40 mg、50 mg、100 mg、110 mg、120 mg、130 mg 柠檬酸。

评价标准见表 1。

### 1.3.1.2 柚子皮提取物提取及脱苦

柚皮中主要苦味物质为柚皮苷，可通过柚苷酶处理进行脱苦<sup>[23]</sup>。柚皮（成果、幼果）粉碎后取一定量，加超纯水至浸没，室温下超声提取 90 min，过滤后取上清液，预热至 55 ℃后添加 0.5 g/L 柚苷酶，在 55 ℃下处理 90 min 进行脱苦<sup>[23]</sup>，结束后过滤，取上清液加入阿拉伯胶，并在加入过程中保持搅拌，至阿拉伯胶完全溶解后真空冷冻干燥，冷冻干燥后粉碎，得柚皮提取物（含阿拉伯胶）粉末，于 -20 ℃下冷藏待用。

### 1.3.2 柚皮冻干物防潮

当柚皮水提取物冻干后，冻干物在称量前已经完全吸潮，无法将其作为添加物用于泡腾片压制，而柚核提取物冻干物并未出现此状况。实验中发现，冻干前加入阿拉伯胶制成匀浆可显著改善这一状况，使得柚皮冻干物可以正常称量并添加至泡腾片中。因此通过改变阿拉伯胶添加量，探究阿拉伯胶添加量对成果及幼果柚皮冻干物的防潮效果。具体方法为在柚皮提取物冻干前加入不同量阿拉伯胶，其中成果：5 mg/mL、7 mg/mL、8 mg/mL、10 mg/mL、40 mg/mL，幼果：5 mg/mL、7 mg/mL、8 mg/mL、9 mg/mL、10 mg/mL。观察阿拉伯胶溶解情况及添加阿拉伯胶后冻干物吸潮情况。

### 1.3.3 最优配方选择及泡腾片性质测定

#### 1.3.3.1 柠檬酸添加量的确定

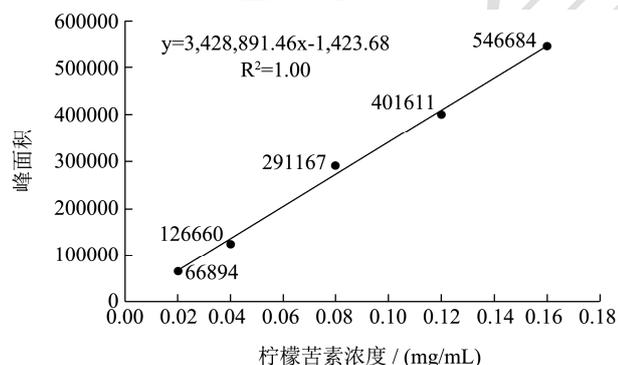


图 3 柠檬苦素标准曲线

Fig.3 Standard curve of limonin

通过高效液相色谱测定柚核中柠檬苦素的含量，根据感官评价结果，确定柠檬酸添加量。参考王巍静等<sup>[24]</sup>测定柚子核提取物中柠檬苦素含量，采用 InertSustain C18 色谱柱（5 μm，4.6×150 mm），流动相为乙腈-水（65:35），流速为 1.0 mL/min，设定柱温 25 ℃，进样量为 5 μL，分析波长 210 nm。用乙腈溶解 20 mg 柠檬苦素标准品并定容至 100 mL，得到 0.2 mg/mL 柠檬苦素标准溶液，经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后用于确定柚子核提取物中柠檬苦素含量，得图 3

柠檬苦素标准曲线  $A=3428891.46x-1423.68$ ， $R^2=1.00$ ，浓度在(0.02~0.16) mg/mL 范围内线性关系良好。以此标准曲线进行样品柠檬苦素含量定量。

#### 1.3.3.2 泡腾制备

泡腾片的基本原料为酸源、碱源、粘合剂及润滑剂<sup>[25]</sup>。本文酸碱源总添加量参考范宝庆<sup>[26]</sup>，为 60%，具体配比在本文确定柠檬酸添加量后确定，为柠檬酸 35%，碳酸氢钠 25%；粘合剂选用及用量参考陈静慧等<sup>[27]</sup>并酌减，为 1.50%；润滑剂添加量参考宿迷菊等<sup>[28]</sup>，为 2.00%。本文参考张宏康等<sup>[25]</sup>中的直接压片法进行泡腾片压片，将柚子提取物及泡腾片辅料分别过 80 目筛（辅料包括柚子果粉为 22.50%、甜菊糖苷为 0.75%、木糖醇 7.50%、柚皮提取物 5.00%、柚核提取物 0.75%）后分别定量称取，混匀后压片。泡腾片单片片重为 4.00 g，压片压力为 3 MPa。

#### 1.3.3.3 泡腾片吸潮实验

泡腾片压制后，以不同阿拉伯胶添加量分组（幼果提取物的冻干前加入阿拉伯胶的量为 8 mg/mL；成果提取物冻干前加入阿拉伯胶的量分别为 8 mg/mL、10 mg/mL、40 mg/mL），放入远红外快速干燥箱中烘干直至恒重，然后将已烘干片剂放于恒温恒湿箱当中，设置温度为 28 ℃，湿度为 90%，每 30 min 称重一次，总实验时长为 120 min，记录数据，从而计算水分含量。

#### 1.3.3.4 泡腾片感官评价

取上述各组别泡腾片进行感官评价实验，感官评价表见表 2。

表 2 泡腾片感官评价标准

Table 2 Standard of sensory evaluation of effervescent tablets

评价内容			分值
浓郁苦味	浓郁酸味	极多漂浮物	1~2
较浓郁苦味	较浓郁酸味	漂浮物多	3~4
较淡苦味	较淡酸味	较少漂浮物	5~6
淡苦味	淡酸味	漂浮物少	7~8
几乎无苦味	几乎无酸味	几乎无漂浮物	9~10

#### 1.3.3.5 泡腾片理化性质测定

以上述各组别泡腾片作为测定对象，用硬度计测定泡腾片硬度<sup>[29]</sup>；用色差仪测定泡腾片表面色差；用 pH 计测定产品泡腾片溶解后溶液 pH 值<sup>[30]</sup>；用计时器测定泡腾片崩解时间<sup>[30]</sup>。

#### 1.3.3.6 抗氧化性测定

采用铁氰化钾法测定产品抗氧化性<sup>[31]</sup>，将 2.50 mL 泡腾片溶液中加入 1.00%铁氰化钾溶液，10.00%三氯乙酸溶液，10.00%抗坏血酸溶液，0.10%三氯化铁溶液，摇匀后 50 ℃水浴 20 min，水浴完成后取出

冷却并加入三氯乙酸溶液 2.50 mL, 若出现沉淀则离心后加入 2.50 mL 去离子水和 1.00 mL 三氯化铁溶液, 若无沉淀则无需离心。在波长为 700 nm 下测定吸光度, 以 10.00%抗坏血酸溶液为对照。

### 1.3.4 数据处理

以上所有实验设 3 个平行, 实验结果用平均值±标准差(mean±SD)的方式表示。采用美国 IBM 公司 SPSS Statistics 25 软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA)中邓肯法(Duncan)进行分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 柠檬酸的苦味抑制效果

表 3 柠檬酸含量对感官的影响

Table 3 Effect of citric acid content on sensory

柠檬苦素含量/mg	柠檬酸含量/mg	苦味	酸味
0.60	9.00	9.33±0.47 <sup>c</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>
0.60	20.00	8.33±0.47 <sup>d</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>
0.60	40.00	6.33±0.47 <sup>c</sup>	2.67±0.47 <sup>b</sup>
0.60	50.00	6.00±0.00 <sup>c</sup>	2.67±0.47 <sup>b</sup>
0.60	100.00	2.67±0.47 <sup>b</sup>	4.67±0.47 <sup>c</sup>
0.60	110.00	1.33±0.47 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>c</sup>
0.60	120.00	1.00±0.00 <sup>a</sup>	5.33±0.47 <sup>c</sup>
0.60	130.00	1.00±0.00 <sup>a</sup>	5.33±0.47 <sup>c</sup>

注: 数值后字母表示显著性差异 ( $p < 0.05$ )。表 5、6、7、9 同。

由表 3 可知, 苦味随柠檬酸量增加而降低, 酸味随之增加。当柠檬酸添加量和柠檬苦素含量比为 110.0:0.6 时, 苦味显著降低 ( $p < 0.05$ ) 且感官趋于稳定, 同时酸味在柠檬酸添加量和柠檬苦素含量比为 100.00:0.60 时显著降低 ( $p < 0.05$ ) 且感官趋于稳定, 因此后续实验选择的柠檬酸添加量应大于柠檬苦素添加量的 183.30 倍。

### 2.2 柚皮提取物的防潮

由表 4 可知, 成果提取物及幼果提取物中, 阿拉伯胶添加量为 5 mg/mL 及 7 mg/mL 的组别中冻干物依然吸潮结块无法用于压片, 而幼果当中阿拉伯胶添加量为 9 mg/mL 及 10 mg/mL 冻干物虽可以保持干爽, 但时阿拉伯胶未完全溶解, 无法确切地定量以用于实验。综上所述, 选择成果提取物中阿拉伯胶添加量为 8 mg/mL、10 mg/mg、40 mg/mL 以及幼果提取物中阿拉伯胶添加量为 8 mg/mL 的组别压片并用于其他实验。

表 4 阿拉伯胶溶解情况及防潮效果

Table 4 Dissolved condition of Arabic gum and moistureproof effect

阿拉伯胶添加量	阿拉伯胶是否溶解完全	冻干物是否吸潮结块
5 mg/mL (成果)	是	是
7 mg/mL (成果)	是	是
8 mg/mL (成果)	是	否
10 mg/mL (成果)	是	否
40 mg/mL (成果)	是	否
5 mg/mL (幼果)	是	是
7 mg/mL (成果)	是	是
8 mg/mL (幼果)	是	否
9 mg/mL (幼果)	否	否
10 mg/mL (幼果)	否	否

### 2.3 泡腾片外观形态



8 mg/mL阿拉伯胶(成果) 10 mg/mL阿拉伯胶(成果) 40 mg/mL阿拉伯胶(成果)

图 4 成果泡腾片

Fig.4 Mature pomelo effervescent tablets



8 mg/mL阿拉伯胶(幼果)

图 5 幼果泡腾片

Fig.5 Fruitlet effervescent tablet

如图 4、图 5, 泡腾片表面平滑, 片剂表面为橙色, 颜色明亮, 其中掺杂有斑点, 成果产品表面分布有淡黄绿色斑点, 幼果产品表面分布有橙黄色斑点。

### 2.4 柠檬苦素含量测定

由图 6 可知, 柠檬苦素出峰时间为 3.28 min, 柚核提取物样品在 3.28 min 附近峰面积为 255620±2939.87。由将峰面积代入回归方程可知, 在 100.00 mL 经甲醇定容的样品中柠檬苦素平均浓度为 0.075±0.001 mg/mL。又因为提取时加水量为 250.00 mL, 由此可知原水提取物中柠檬苦素浓度为 0.03 mg/mL, 即柠檬苦素占冻干产物质量的 0.40%。

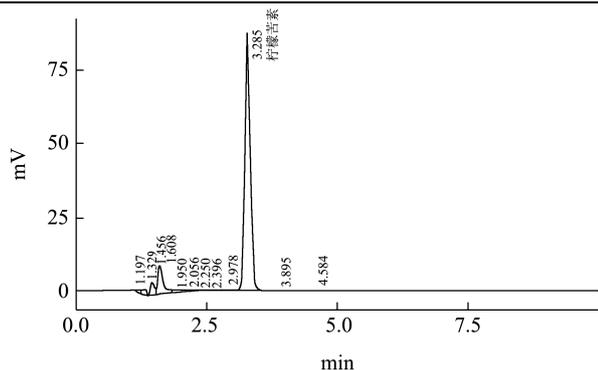


图6 柠檬苦素标准品谱图

Fig.6 Spectrogram of limonin standard sample

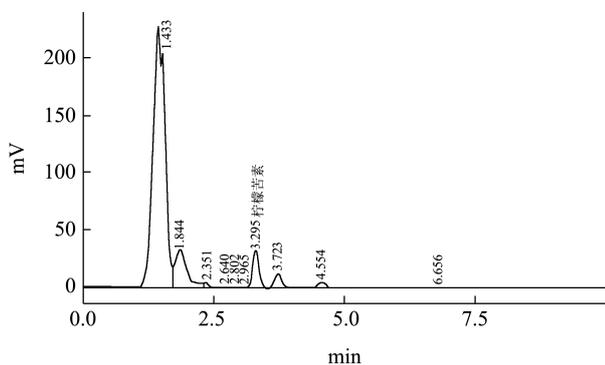


图7 样品 HPLC 谱图

Fig.7 HPLC spectrogram of the sample

### 2.5 柠檬酸添加量的确定

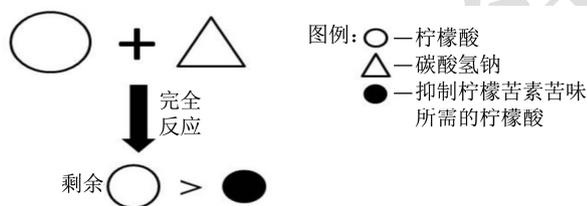


图8 柠檬苦素苦味抑制

Fig.8 The bitter inhibition of limonin

根据感官评价结果,柠檬酸添加量应大于柠檬苦素含量的183.30倍。当选择添加0.03 g 柚核提取物时,柠檬苦素含量为0.00012 g。由于柠檬酸与原料中碳酸氢钠反应,为使柠檬苦素苦味得到抑制,在反应结束后应至少剩余0.02 g 柠檬酸(见图8)。当每片泡腾

片(4.00 g)中柠檬酸及碳酸氢钠添加量分别为1.40 g及1.00 g时,根据其反应机理及其分子量的关系,当完全反应时,柠檬酸剩余量为0.09 g,大于0.02 g,因此确定每4.00 g泡腾片中,柠檬酸、碳酸氢钠及柚核添加量分别为1.40 g、1.00 g、0.03 g。在此配比下泡腾片酸味感官适宜,轻微的苦涩味也为泡腾片带来更贴近自然的风味。

### 2.6 泡腾片水分含量变化

当柚皮水提取物冻干后,冻干物往往在称量前已经完全吸潮。而实验中发现,在冻干前加入阿拉伯胶可显著改善这一状况,使柚皮冻干物可以正常称量。基于此现象,由于本文泡腾片的酸源柠檬酸具有很强的吸湿性<sup>[25]</sup>,同时含水量又是泡腾片的理化指标之一<sup>[30]</sup>,因此通过本实验确定阿拉伯胶添加量对泡腾片含水量的影响及阿拉伯胶对泡腾片整体防潮的影响。

由表5可知,泡腾片在烘干至恒重前,各组别含水量在1.50%~2.50%,不同阿拉伯胶添加量对泡腾片初始含水量无显著性影响( $p>0.050$ );在烘干至恒重后的吸潮过程中,在1 h内各组含水量变化趋势及幅度均相近(在0.81%至0.89%之间),而1 h后冻干前阿拉伯胶添加量为8 mg/mL的成果及幼果产品含水量出现下降,此时这两组泡腾片表面已明显起泡,说明柠檬酸和碳酸氢钠已反应且生成气体导致泡腾片质量降低,其质量与烘干至恒重时差值减小,导致计算出的含水量降低,因此其实际受潮程度比其他组别更大( $p<0.05$ ),在受潮时间1.5 h及以内,不同阿拉伯胶添加量对泡腾片整体防潮作用无显著性影响( $p>0.05$ ),而在受潮2 h后,水提取物阿拉伯胶添加量为8 mg/mL的成果及幼果泡腾片与其他组别差异明显( $p<0.05$ ),说明水提取物阿拉伯胶添加量在40 mg/mL以内时,阿拉伯胶添加量对泡腾片防潮作用在温度28℃湿度为90%的前提下,在1.5 h以后影响显著,因此水提取物阿拉伯胶添加量为8 mg/mL时也具有足够的防潮效果。因此在泡腾片其他理化性质有显著性差异的情况下,阿拉伯胶对泡腾片整体防潮效果不作为筛选最优配方的参考。

表5 泡腾片水分含量变化

Table 5 Changes of moisture content in effervescent tablets/%

阿拉伯胶添加量/ mg/mL	初始	烘干(至恒重)	受潮0.5 h	受潮1 h	受潮1.5 h	受潮2 h
8(成果)	2.28±0.17 <sup>a</sup>	0.00	0.62±0.04 <sup>a</sup>	0.85±0.07 <sup>a</sup>	0.85±0.09 <sup>a</sup>	0.80±0.08 <sup>a</sup>
10(成果)	2.08±0.24 <sup>a</sup>	0.00	0.66±0.07 <sup>a</sup>	0.84±0.09 <sup>a</sup>	1.00±0.13 <sup>a</sup>	1.19±0.06 <sup>b</sup>
40(成果)	1.68±0.57 <sup>a</sup>	0.00	0.69±0.16 <sup>a</sup>	0.86±0.21 <sup>a</sup>	1.04±0.15 <sup>a</sup>	1.26±0.09 <sup>b</sup>
8(幼果)	1.89±0.11 <sup>a</sup>	0.00	0.65±0.06 <sup>a</sup>	0.89±0.05 <sup>a</sup>	0.86±0.13 <sup>a</sup>	0.86±0.11 <sup>a</sup>

表6 泡腾片感官评价

Table 6 Sensory evaluation of effervescent tablets

项目	阿拉伯胶添加量/(mg/mL)			
	8 (成果)	10 (成果)	40 (成果)	8 (幼果)
苦	6.00±0.00 <sup>a</sup>	5.67±0.47 <sup>a</sup>	5.67±0.47 <sup>a</sup>	5.33±0.47 <sup>a</sup>
酸	5.00±0.82 <sup>a</sup>	5.33±0.47 <sup>a</sup>	5.33±0.47 <sup>a</sup>	5.00±0.00 <sup>a</sup>
漂浮物	8.33±0.47 <sup>b</sup>	7.67±0.47 <sup>b</sup>	1.67±0.47 <sup>a</sup>	8.33±0.47 <sup>b</sup>

表7 泡腾片性质结果

Table 7 Result of effervescent tablets' properties

项目	阿拉伯胶添加量/(mg/mL)				菊花泡腾片 <sup>[32]</sup>	阿胶泡腾片 <sup>[30]</sup>
	8 (成果)	10 (成果)	40 (成果)	8 (幼果)		
硬度/kg	33.89±0.03 <sup>f</sup>	23.57±0.87 <sup>d</sup>	14.27±0.51 <sup>c</sup>	30.44±0.35 <sup>c</sup>	6.12±0.12 <sup>b</sup>	4.79±0.41 <sup>a</sup>
pH	4.71±0.03 <sup>ab</sup>	4.54±0.03 <sup>a</sup>	4.68±0.05 <sup>ab</sup>	4.60±0.05 <sup>ab</sup>	5.50±0.00 <sup>c</sup>	5.06±0.39 <sup>b</sup>
崩解时间/s	359.32±6.67 <sup>c</sup>	364.19±7.38 <sup>cd</sup>	390.27±10.82 <sup>d</sup>	366.55±4.48 <sup>c</sup>	245.33±5.50 <sup>b</sup>	131.00±33.38 <sup>a</sup>

表8 泡腾片色差

Table 8 Chroma of effervescent tablets

项目	阿拉伯胶添加量/(mg/mL)			
	8 (成果)	10 (成果)	40 (成果)	8 (幼果)
$\Delta L^*$	+55.05±1.58 <sup>a</sup>	+58.61±0.68 <sup>b</sup>	+61.28±0.16 <sup>b</sup>	+55.70±0.53 <sup>a</sup>
$\Delta a^*$	+0.33±0.22 <sup>b</sup>	+1.77±0.14 <sup>c</sup>	+0.24±0.62 <sup>a</sup>	+1.64±0.02 <sup>c</sup>
$\Delta b^*$	+18.52±2.07 <sup>c</sup>	+14.38±1.37 <sup>b</sup>	+13.09±0.32 <sup>b</sup>	+5.30±0.40 <sup>a</sup>
$\Delta E^*$	58.13±0.92 <sup>b</sup>	60.40±0.36 <sup>c</sup>	62.67±0.11 <sup>d</sup>	55.97±0.53 <sup>a</sup>

注: 数值后字母表示显著性差异 ( $p < 0.05$ );  $\Delta L^*$ 表示亮度, 数值越大亮度越高, 反之则越暗;  $\Delta a^*$ 表示红绿色偏差, 为正数时偏向红色, 负数时偏向绿色;  $\Delta b^*$ 表示黄蓝色偏差, 为正数时偏向黄色, 负数时偏向绿色;  $\Delta E^*$ 表示总体颜色偏差, 数值间差异越大则颜色偏差越大。

## 2.7 泡腾片感官评价

由表6可知, 泡腾片崩解后, 在阿拉伯胶添加量不同时苦味无显著性差异 ( $p > 0.05$ ), 且不会引起味觉上的不适, 适度苦感使泡腾片风味更偏向自然。由于酸味来源为柠檬酸, 因此在柠檬酸添加量相同的情况下酸味感官无显著性差异 ( $p > 0.05$ ), 且酸味感官适中, 不会引起不适; 在漂浮物数量上, 提取物阿拉伯胶添加量为 40 mg/mL 的泡腾片相比其他组别显著增加 ( $p < 0.05$ ), 可能是由于阿拉伯胶添加量过大, 泡腾片溶解时产气引发的气动搅拌不足以使阿拉伯胶完全溶解而导致阿拉伯胶结块, 同时漂浮物数量过多会引起感官上的不适, 籍此结果 40 mg/mL 组不选作最终配方。在其他理化性质无显著性差异的情况下, 优先选择阿拉伯胶添加量少的配方作为最优配方。

## 2.8 泡腾片的理化性质

由表7可知, 不同阿拉伯胶添加量对泡腾片硬度有显著性影响 ( $p < 0.05$ )。阿拉伯胶添加量越大则泡腾片硬度越小; 阿拉伯胶添加量相同的情况下, 成果

产品硬度比幼果产品大。泡腾片硬度一般需要大于 4.00 kg<sup>[30]</sup>, 因此所有组别均达标。与其他产品比较, 硬度远大于现有的其他产品, 这可能是由于片剂较大 (本产品 4.0 g/片, 菊花泡腾片 0.70 g/片, 阿胶泡腾片 0.45 g/片) 而所需的压片压力较大造成。

各组别泡腾片溶解后 pH 均在 4.50 至 4.80 之间, 水提取物中阿拉伯胶添加量为 8 mg/mL 的泡腾片与 10 mg/mL 的存在显著性差异 ( $p < 0.05$ )。本产品 pH 显著低于其他产品, 这是由于需要使用柠檬酸抑制柠檬苦素苦味, 必须增大酸碱比; 由于水提取物中阿拉伯胶添加量为 40 mg/mL 的泡腾片崩解时间过长, 阿拉伯胶添加量为 8 mg/mL 的成果及幼果产品存在显著性差异 ( $p < 0.05$ ), 可能影响饮用体验, 因此不将阿拉伯胶添加量 40 mg/mL 作为最优配方。与其他产品相比, 本产品崩解时间更长, 原因是本产品质量较大 (本产品 4.0 g/片, 菊花泡腾片 0.70 g/片, 阿胶泡腾片 0.45 g/片)。

在亮度方面, 水提取物阿拉伯胶添加量为 8 mg/mL 的成果及幼果泡腾片亮度接近, 且暗于 10 mg/mL 及 40 mg/mL 的成果泡腾片; 在红绿色偏差上, 所有组别均偏向红色, 水提取物阿拉伯胶添加量为 10 mg/mL 的

成果泡腾片及幼果组别泡腾片对比与其他组别更偏向与红色;在黄蓝色偏差上,所有组别均偏向黄色,幼果组别虽偏向黄色但相对于其他组别则显著偏向蓝色;在总颜色偏差上,四个组别间均存在显著性差异,

说明水提物中阿拉伯胶添加量在 40 mg/mL 范围内时,不同阿拉伯胶添加量对泡腾片色差存在显著性影响。

## 2.9 抗氧化性测定

表9 吸光度及抗氧化性

Table 9 Absorbance and antioxidability

组别	8 mg/mL (成果)	1 mg/mL (成果)	4 mg/mL (成果)	8 mg/mL (幼果)	8 mg/mL (无柚子添加物)	10%抗坏 血酸溶液
吸光度	0.69±0.05 <sup>c</sup>	0.69±0.05 <sup>c</sup>	0.51±0.03 <sup>b</sup>	0.63±0.06 <sup>bc</sup>	0.12±0.01 <sup>a</sup>	3.00±0.00 <sup>c</sup>
抗氧化性(相当于10% 抗坏血酸溶液,%)	23.00±1.83 <sup>c</sup>	23.20±1.77 <sup>c</sup>	17.17±0.98 <sup>b</sup>	20.97±2.16 <sup>bc</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>	/

成果中水提物阿拉伯胶添加量为 40 mg/mL 的泡腾片抗氧化性水平显著低于其他组别,可能是因冻干前阿拉伯胶添加量过大导致柚皮提取物在冻干物中比例降低,使泡腾片中柚皮提取物含量减少,抗氧化成分随之减少;在阿拉伯胶添加量相同的幼果及成果产品中,抗氧化性无显著性差异。籍此结果,不采用柚皮提取物阿拉伯胶添加量为 40 mg/mL 的配方。

## 3 结论

本研究选用具有抗菌、抗氧化等功能的柚皮及柚核提取物研制泡腾片,最终确定各材料最佳配比:柠檬酸 35.00%、小苏打 25.00%、pvp-k30(聚乙烯吡咯烷酮) 1.50%、PEG6000(聚乙二醇)散 2.00%、柚子果粉 22.50%、甜菊糖苷 0.75%、木糖醇 7.50%、柚皮提取物(成果或幼果果皮提取物冻干前含阿拉伯胶 8 mg/mL)及柚核提取物 5.00%及 0.75%,混匀后压片,压片压力为 3.00 MPa。制得的泡腾片澄清度良好,产品糖酸比感官舒适。加入柚子提取物后,泡腾片苦感适中,呈现出天然风味;虽然产品酸源采用的柠檬酸易吸潮,但含水量依然低于 2.50%;硬度、pH、崩解时间等均处于合理水平;产品表面颜色明亮、偏暖色调;产品抗氧化性相当于 10%抗坏血酸溶液的五分之一。因此本产品适合作为提高金柚高值化利用产品的参考。

## 参考文献

[1] 李伟荣,刘昌辉,洪馨,等.广东梅县柚果中总黄酮和柚皮苷的含量测定[J].中国高校科技,2006,(s1): 220-221  
LI Wei-rong, LIU Chang-hui, HONG Xin, et al. Determination of total flavonoid content and naringin content in pomelo from Mei county in Guangdong [J]. Chinese University Technology Transfer, 2006, (s1): 220-221

[2] 邓日新,李淑卿,刘国辉.绿色食品梅州金柚栽培技术[J].现代农业科技,2008,17:65-66

DENG Ri-xin, LI Shu-qing, LIU Guo-hui. Clutivation technology of green food: Golden pomelo in Mei Zhou [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2008, 17: 65-66

[3] 邓桂兰,魏强华,刘冬梅.柚子皮的综合利用研究[J].食品工业,2013,9:180-184  
DENG Gui-lan, WEI Qiang-hua, LIU Dong-mei. Research on the comprehensive utilization of pomelo peel [J]. The Food Industry, 2013, 9: 180-184

[4] 李琪,刘璐,李瑶瑶,等.柚皮  $\beta$ -环糊精脱苦及其蜜饯加工技术研究[J].食品工业,2013,34(11):119-122  
LI Qi, LIU Lu, LI Yao-yao, et al. Study on debitterizing effect of pomelo peel using  $\beta$ -cyclodextrin and processing technology of candied pomelo peel [J]. The Food Industry, 2013, 34(11): 119-122

[5] 马宏原,杨相政,刘彩红,等.姜汁柚皮蜜饯的工艺研究[J].中国果菜,2014,34(2):24-26  
MA Hong-yuan, YANG Xiang-zheng, LIU Cai-hong, et al. Candied ginger pomelo peel technology research [J]. China Fruit Vegetable, 2014, 34(2): 24-26

[6] 张声源,邹浩元,杨宇辉,等.响应面法优化金柚核中类柠檬苦素的提取工艺[J].食品研究与开发,2017,38(09):65-69  
ZHANG Sheng-yuan, ZHOU Hao-yuan, YANG Yu-hui, et al. Optimization of extraction process for limonins from gold pomelo seeds by response surface methodology [J]. Food research and development, 2017, 38(9): 65-69

[7] 张荔菲,刘莹,王益,等.超声辅助酶法提取柚子皮多糖工艺的响应面优化[J].食品工业科技,2018,39(5):146-150  
ZHANG Li-fei, LIU Ying, WANG Yi, et al. Optimization of ultrasonic assisted enzyme method extraction technique on shaddock peel polysaccharides by response surface methodology [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(5): 146-150

[8] 杨秋明,李靖雅,肖安风,等.柚皮中柚皮苷和类柠檬苦素的

- 提取及分离纯化[J].集美大学学报(自然科学版),2015,20(6): 414-420
- YANG Qiu-ming, LI Jing-ya, XIAO An, et al. Extraction and purification of naringin and limonoids from pomelo peel [J]. Journal of Jimmie University (Natural Science), 2015, 20(6): 414-420
- [9] 李衍春,陈纪文,李街良,等.梅州金柚果皮挥发油气相色谱质谱分析[J].精细与专用化学品,2017,25(8):34-36
- LI Yan-chun, Chen Ji-wen, LI Jie-liang, et al. Analysis of volatile oil in meizhou pomelo peel by gas chromatography mass spectrometry [J]. Fine and Specialty Chemicals, 2017, 25(8): 34-36
- [10] Wang Q, Luo J, Liu H, et al. Protective effects of the flavonoid fraction obtained from pomelo fruitlets through ultrasonic-associated microwave extraction against AAPH-induced erythrocyte hemolysis [J]. RSC Advances, 2019, 9(28): 16007-16017
- [11] Orhan D D, Özçelik B, Özgen S, et al. Antibacterial, antifungal, and antiviral activities of some flavonoids [J]. Microbiological Research, 2010, 165(6): 496-504
- [12] Alcaráz L E, Blanco S E, Puig O N, et al. Antibacterial activity of flavonoids against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* strains [J]. Journal of Theoretical Biology, 2000, 205(2): 231-240
- [13] Cushnie T P T, Lamb A J. Antimicrobial activity of flavonoids [J]. Int J Antimicrob Agents, 2005, 26(5): 343-356
- [14] 刘丽春.柚皮化学成分及其生物活性的研究[D].吉林:吉林大学,2012
- LIU Li-chun. Studies on chemical constituents of the pericarp of *Citrus grandis* (L.) [D]. Jilin: Jilin University, 2012
- [15] 黄睿.柑橘类黄酮分光测定法比较及其抗氧化与胰脂肪酶抑制功效评价[D].杭州:浙江大学,2019
- HUANG Rui. Comparison of spectrophotometry of citrus flavonoids and evaluation of their antioxidant and pancreatic lipase inhibitory activities [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2019
- [16] Najla G, Maria K E. Compositions and methods for treatment of neoplastic diseases with combinations of limonoids [J]. Flavonoids and Tocotrienols, 2001
- [17] Yu J, Ji H, Liu A. Preliminary structural characteristics of polysaccharides from pomelo peels and their antitumor mechanism on S180 tumor-bearing mice [J]. Polymers, 2018, 10(4): 419
- [18] 刘雪,王静楠,陈文学,等.柠檬烯对铜绿假单胞菌的抑菌活性及其机理[J].食品工业科技,2018,39(7):1-5
- LIU Xue, WANG Jing-nan, CHEN Wen-xue, et al. Antibacterial activity and mechanism of limonene against *Pseudomonas aeruginosa* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 1-5
- [19] 李脉,杨继国,宁正祥,等.亚临界流体提取梅州金柚柚皮精油的研究[J].现代食品科技,2013,29(5):1068-1071
- LI Mai, YANG Ji-guo, NING Zheng-xiang, et al. Extraction of essential oil from meizhou shatian shaddock peel by subcritical fluid [J]. Modern Food Science & Technology, 2013, 29(5): 1068-1071
- [20] 李一兵.不同柑橘品种果汁类柠檬苦素的含量变化及相关基因表达分析[D].重庆:西南大学,2018
- LI Yi-bing. Content Changes of the limonoid and related gene expression analysis juice of different citrus cultivars [D]. Chongqing: Southwest University, 2018
- [21] Rahman A, Minkyun N A, Sun C K. Antilisterial potential of imperatorin and limonin from poncirus trifoliata rafin [J]. Journal of Food Biochemistry, 2012, 36(2): 217-223
- [22] 张菊华,单扬,李高阳.柑橘果汁中的类柠檬苦素及其脱苦方法[J].食品与机械,2005,21(3):72-75
- ZHANG Ju-hua, SHAN Yang, LI Gao-yang. Limonoid in citrus juice and its debittering method [J]. Food and Machinery, 2005, 21(3): 72-75
- [23] 王鸿飞,李和生,董明敏,等.柚皮苷酶对柑橘类果汁脱苦效果的研究[J].农业工程学报,2004,20(6):174-177
- WANG Hong-fei, LI He-sheng, DONG Ming-min, et al. Effect of naringinase on debittering of *Citrus* juice [J]. Transactions of CSAE, 2004, 20(6): 174-177
- [24] 王巍静,许海丹,姜燕清.橘核中柠檬苦素的提取与含量测定[J].科学技术与工程,2013,13(2):439-441
- WANG Wei-jing, XU Hai-dan, JIANG Yan-qing. Extraction determination of limonin in *Citrus* seeds [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(2): 439-441
- [25] 张宏康,李德荣,徐乐冰,等.泡腾片固体饮料加工技术现状及发展趋势[J].食品研究与开发,2016,37(12):187-192
- ZHANG Hong-kang, LI De-rong, XU Le-bing, et al. Research advanced on the processing technology effervescent solid beverage [J]. Food Research and Development, 2016, 37(12): 187-192
- [26] 范宝庆.黑莓泡腾片的研制[J].现代食品科技,2008,8:822-824
- FAN Bao-qing. Preparation of blackberry effervescent tablets [J]. Modern Food Science and Technology, 2008, 8: 822-824