

# 神秘果化学成分和生物活性研究进展

苏子孟 张东星 晏仁义 李赫宇 於洪建\*  
(天津益倍生物科技集团有限公司,天津 300457)

**摘要** 神秘果中含有的神秘果素,使人在品尝酸味食物时感受到甜味,而不是酸味。近年来,国内外学者研究发现神秘果中含有多种对健康有益的生物活性物质。该文对神秘果的化学成分及其生物活性的研究进展进行总结,以期对神秘果的进一步研究提供参考。

**关键词** 神秘果;化学成分;生物活性;变味功能;代谢性疾病

## Research Progress on the Chemical Constituents and Bioactivity of *Synsepalum Dulcificum* Daniell

SU Zi-meng, ZHANG Dong-xing, YAN Ren-yi, LI He-yu, YU Hong-jian\*  
(Tianjin Ubasio Biotechnology Group Co., Ltd., Tianjin 300457, China)

**Abstract**: *Synsepalum dulcificum* contains miraculin, which is a substance that has an unusual ability to modify a sour taste into sweet taste. With the research on *S. dulcificum* by researchers here and abroad, it was found that *S. dulcificum* contained many substances which were able to improve health. The current research progresses of the chemical constituents and bioactivities of *S. dulcificum* were reviewed in this article in order to provide a reference for further research.

**Key words**: *Synsepalum dulcificum*; chemical constituents; bioactivities; taste-modifying function; metabolic disease

引文格式:

苏子孟,张东星,晏仁义,等.神秘果化学成分和生物活性研究进展[J].食品研究与开发,2020,41(22):219-224

SU Zimeng, ZHANG Dongxing, YAN Renyi, et al. Research Progress on the Chemical Constituents and Bioactivity of *Synsepalum Dulcificum* Daniell[J]. Food Research and Development, 2020, 41(22): 219-224

神秘果(*Synsepalum dulcificum*)是山榄科神秘果属的常绿灌木植物,原产地在西非地区。20世纪60年代,该种植物被引入我国,目前在云南、广西及海南等亚热带和热带地区种植<sup>[1]</sup>。这种植物中含有一种可以使人的味觉发生改变的糖蛋白,命名神秘果素(miraculin)<sup>[2]</sup>。人食用神秘果后一段时间内再品尝酸味食品,将不能感知到酸味,取而代之的是甜味。这也是神秘果名称的由来。前期有学者综述过神秘果的化学成分和生物活性<sup>[3]</sup>,但只是对神秘果不同部位的成分和生物活性进行总结,并未对神秘果中所含的活性成分进

行系统分类,近年又有多篇有关神秘果生物活性的研究报道。本文在查阅国内外文献的基础上,对其成分和生物活性进行综述,以便更好地开发利用该植物。

## 1 神秘果的化学成分

自20世纪60年代以来,学者们便开始了对神秘果成分的研究。目前学者已经在神秘果的各个部位中分离、分析到几十种成分。

### 1.1 神秘果素(miraculin)

Kurihara等<sup>[2]</sup>最早发现了神秘果中具有改变味觉的有效物质神秘果素,是一种糖蛋白。Duhita等<sup>[4]</sup>创立的固定化金属离子亲和色谱(immobilized metal ion affinity chromatography, IMAC)法采用镍柱,能够提取纯度达到95%的神秘果素,且高效快速。He等<sup>[5]</sup>也利用IMAC法提取了神秘果素,并对提取条件进行优化,

作者简介:苏子孟(1992—),男(汉),助理工程师,本科,从事植物成分研究与开发。

\*通信作者:於洪建(1961—),男(汉),研究员,博士,从事植物成分研究与开发。

在 pH 7 的 Tris-HCl 缓冲溶液作为提取剂、300 mmol/L 咪唑作为洗脱剂以及镍-次氨基三乙酸作为层析介质的条件下,神秘果素提取率和纯度达到最佳,分别为 80.3% 和 97.5%。黄巨波等<sup>[6]</sup>在去除神秘果种子粉的油脂后,用磷酸盐缓冲溶液提取神秘果种子中的蛋白质,结果发现温度 50 °C、pH 8.5、固液比 1:20(g/mL)以及时间 120 min 的提取条件下具有最佳提取率,达 80.3%。

### 1.2 脂肪酸及其酯类

Guney 等<sup>[7]</sup>最早使用气相色谱对神秘果种子中脂质的含量进行了测定,结果表明神秘果种子中脂质的含量占种子干重的 10.15%。利用质谱技术研究脂质组成,结果发现其脂质主要包含中性脂、糖脂、磷脂。其中,中性脂中主要含甘油三酯、甘油二酯、甘油单酯、自由脂肪酸及非皂化性脂质,糖脂主要包含单半乳糖甘油二酯、二半乳糖甘油二酯及脑苷脂,而磷脂主要包含脑磷脂、卵磷脂及磷脂酰肌醇等。游离脂肪酸中,棕榈酸、硬脂酸、油酸及亚油酸占绝大多数。卢圣楼等<sup>[8]</sup>利用水解提取-气相色谱法对神秘果叶中的脂肪含量进行了测定,结果显示神秘果叶中脂肪总含量为 0.94 g/100 g,共检出 4 种饱和脂肪酸(棕榈酸、硬脂酸、肉豆蔻酸、月桂酸)和 3 种不饱和脂肪酸( $\alpha$ -亚麻酸、油酸、亚油酸)。

齐赛男等<sup>[9]</sup>利用气相色谱-质谱联用技术对神秘果种子的挥发油进行了分析,结果表明其挥发油中脂肪酸为最主要的成分,其中棕榈酸和油酸占绝大多数。马艺丹等<sup>[10]</sup>也利用气相色谱-质谱联用技术对神秘果种子的脂肪油进行分析,共发现 20 种脂肪酸,不饱和脂肪酸占比 54.80%,其中油酸含量 29.96%,结果也表明棕榈酸、硬脂酸、油酸及亚油酸占到绝大多数。

### 1.3 多酚

酚类化合物在植物中普遍存在,同时多酚类又可分为很多亚类,其中包括黄酮、花色素等,具有广泛的生物活性,因此很多学者对神秘果中的酚类物质进行了研究。

卢圣楼等<sup>[8]</sup>在对神秘果叶的挥发油成分进行鉴别时发现,神秘果叶的挥发油中含有 5 种酚类物质,占挥发油总量的 2.9%。Chen 等<sup>[11]</sup>从神秘果根中分离得到 9 种含有酚羟基的物质,从神秘果茎中分离得到了 14 种含有酚羟基的物质<sup>[12]</sup>。Du 等<sup>[13]</sup>从神秘果果实中分离得到 12 种酚类,含量最低和最高的分别是山奈酚(0.3 mg/100 g)、儿茶素(17.8 mg/100 g),总多酚含量按没食子酸当量计为 1 448.3 mg/100 g。

刘玉革等<sup>[14]</sup>利用甲醇超声法对神秘果叶中的多酚

进行提取,并进行含量测定,结果显示神秘果叶中多酚含量为 88.77 mg/g,远超其他水果以及神秘果其他部位。卢圣楼等<sup>[15]</sup>则探索出神秘果叶中多酚提取的最佳条件:1.0 g 神秘果叶粉末 料液比 1:30(g/mL),以丙酮体积分数为 58%、超声提取时间 72 min、提取温度 48 °C 的条件提取,其多酚得率达到 6.84%。马艺丹等<sup>[10]</sup>利用双水相复合提取工艺,在丙酮浓度 50%、硫酸铵用量 0.22 g、超声波温度 60 °C、超声提取时间 100 min 及料液比 1:20(g/mL)条件下,神秘果种子多酚理论提取率最佳,能达到 11.56% 纯度为 87.85%。在提取多酚后,马艺丹等<sup>[16]</sup>采用大孔树脂纯化工艺,发现经 X-5 树脂纯化后的神秘果种子多酚含量提高了 2 倍,总抗氧化能力提高了 2.5 倍。刘红等<sup>[17]</sup>在提取神秘果果皮中的多酚时发现提取的最佳条件为:60%乙醇作为溶剂,0.1%盐酸提供酸性环境,提取温度 50 °C 和提取时间 1 h,得到的总多酚含量为 0.1874  $\mu$ g/mL。

黄酮类是一种具有 2-苯基色原酮结构的化合物。卢圣楼<sup>[18]</sup>对神秘果叶黄酮提取的条件进行了研究,结果发现在乙醇浓度 60%、液料比 30:1 (mL/g)、超声时间 40 min 及提取温度 60 °C 的条件下,黄酮得率最佳,为 4.03%。此外,还发现 HPD-500 大孔树脂对黄酮具有良好的吸附和解吸效果,可使神秘果叶的黄酮纯化率达 85% 以上。张知杭等<sup>[19]</sup>则采用水浸法提取了神秘果叶的黄酮,发现液料比 80:1、提取温度 100 °C 的条件下,黄酮得率最佳,可达 3.44%。Du 等<sup>[13]</sup>对神秘果果实中的总黄酮含量进行测定,结果为 9.9 mg/100 g。

Buckmire 等<sup>[20]</sup>主要针对神秘果果皮中的花色素苷和黄酮醇进行了含量研究。结果表明每 100 g 鲜果含 14.3 mg 花色素苷和 7.2 mg 黄酮醇。其中,花色素苷成分有矢车菊素半乳糖苷、矢车菊素-3-单阿拉伯糖苷、矢车菊素-3-单葡萄糖苷、飞燕草素-3-单半乳糖苷和飞燕草素-3-单阿拉伯糖苷。黄酮醇成分有槲皮素-3-O-半乳糖苷、杨梅素-3-O-半乳糖以及痕量的槲皮素、山奈酚-3-单葡萄糖苷、山奈酚以及杨梅素。

### 1.4 萜类

萜类化合物是异戊二烯聚合物及其衍生物的总称。卢圣楼等<sup>[8]</sup>利用气相色谱-质谱联用技术在提取的神秘果叶挥发油中发现了 15 种萜类化合物,总含量高达 50.23%,其中含量最高的 3 种分别为匙叶桉油烯醇(24.194%)、柠檬烯(15.805%)及芳樟醇(2.139%)。Chen 等<sup>[21]</sup>在神秘果叶中得到的主要萜类有羽扇豆醇和羽扇豆烯酮。卢圣楼等<sup>[22]</sup>对神秘果叶总三萜的提取条件进行了研究,发现 1.0 g 神秘果叶粉末,在料液比 1:30 (g/mL) 的情况下,乙醇体积分数为 70%,提取温

度 50℃, 超声提取时间 33 min 的条件下, 神秘果叶中的总三萜类可充分提取, 得率为 0.92%。卢圣楼等<sup>[23]</sup>还利用高效液相色谱法对神秘果果肉中的五环三萜含量进行了测定, 结果显示神秘果果肉中五环三萜的含量为 0.9 mg/g, 其中齐墩果酸的含量为 0.03 mg/g。

### 1.5 甾醇类

甾醇类是一种含有羟基的环戊烷多氢菲结构的类甾醇, 植物中的甾醇通常具有一定的药理活性。Cheng 等<sup>[12]</sup>和 Chen 等<sup>[21]</sup>分别在神秘果叶和神秘果茎中得到了甾醇类成分, 其中有  $\beta$ -谷甾醇和豆甾醇。

### 1.6 氨基酸

氨基酸是构成蛋白质的基本物质, 而蛋白质又是生命活动的主要承担者。人体中共有 8 种氨基酸必须通过饮食获得。马艺丹等<sup>[10]</sup>对神秘果种子进行了分析, 结果发现总氨基酸含量为 9.02 g/100 g, 含有 18 种氨基酸, 且含有全部的 8 种必需氨基酸, 必需氨基酸占比 40.69%。卢圣楼等<sup>[18]</sup>对神秘果的叶进行了氨基酸含量测定, 与马艺丹等所得结果类似, 神秘果叶中总氨基酸含量为 8.65 g/100 g, 含有 18 种氨基酸, 且含有全部的 8 种必需氨基酸, 必需氨基酸占比 41.50%。Njideka 等<sup>[24]</sup>对神秘果果实进行了分析, 发现了 17 种氨基酸, 且含有全部的 8 种必需氨基酸, 必需氨基酸占比 43.09%。以上结果说明, 神秘果中总氨基酸含量和必需氨基酸含量均处于较高水平。

### 1.7 维生素

Cheng 等<sup>[25]</sup>从神秘果的果肉中得到了维生素 C 和维生素 K1, 梁延霞等<sup>[26]</sup>测得神秘果果肉中维生素 C 含量为 46.98 mg/100 g。而 Njideka 等<sup>[24]</sup>对黄色神秘果的果肉进行检测, 发现黄色神秘果果肉中含有维生素 A、维生素 C 及维生素 E, 但含量较低, 仅为 2.54  $\mu$ g/100 g、1.33 mg/100 g 及 0.78 mg/100 g。

## 2 神秘果的生物活性

### 2.1 神秘果的变味功能

Inglette 等<sup>[27]</sup>通过设计试验证明了神秘果本身并不具有甜味, 却可以使不同的酸味食物以及稀释的各类无机酸和有机酸变甜, 且作用时间通常可以达到 2 h 以上。Kurihana 等<sup>[2]</sup>在后续的研究中发现使酸味变成甜味的起效物质是一种糖蛋白, 即神秘果素。而 Capitano 等<sup>[28]</sup>研究了神秘果对多种复合味道的变味功能, 结果发现神秘果可将酸味转变为甜味并使咸味降低, 而对苦味和甜味没有效果。Igarashi 等<sup>[29]</sup>的研究表明, 神秘果对于柠檬酸的甜味改变效果要优于对乙酸。

Girous 等<sup>[30]</sup>认为神秘果素的变味功能体现在两个

方面: 使酸性物质的酸味转变为甜味; 明显抑制酸性物质的酸味, 同时也可以抑制苦味物质的苦味, 例如, 它可使尿素的苦味明显降低。Bartoshuk 等<sup>[31]</sup>认为神秘果素之所以能使酸变甜是因为在类似于酸性物质和甜味物质的混合物中, 酸性物质受到甜味物质的减效作用, 这个过程中并没有直接关闭酸味受体。还有一种说法是神秘果素具有变味功能是因为神秘果素与甜味受体的对立面发生了结合, 在合适的酸环境中, 神秘果素可以改变它的构象与甜味受体发生结合, 从而加强对甜味的感受, 使人感受到甜味。但 Hajime 等<sup>[32]</sup>却不接受这一说法, 因为一旦这个假说成立, 那么酸味的信号仍可传输至中枢系统, 但是脑磁波扫描图却只检测出了甜味信号, 因此他们认为使酸味变甜可能源于中枢系统中的味道信号传输中发生了改变。这些理论都认为神秘果素变味功能与人体受体紧密相连, 因此在探究神秘果素的结构同时, 也对了解人体味蕾结构会有很大帮助。

在一定条件下, 神秘果素才能表现出变味活性作用。Duhita 等<sup>[4]</sup>发现: 当 pH 3.0 时, 神秘果素的活性是最强的; 当 pH 值  $\geq 6.0$  时, 即中性和碱性条件下, 神秘果素不能表现活性。Palladino 等<sup>[33]</sup>进一步研究, 认为神秘果素在以二聚体或四聚体形式存在的情况下才会表现出活性, 如果以单体形式存在则不能表现出活性。在酸性条件下平衡会向生成二聚体或四聚体方向移动, 碱性条件下则会向生成单体方向移动, 也印证了 Duhita 等<sup>[4]</sup>的观点。

有关活性作用机制的问题, Paldino 等<sup>[34]</sup>通过设计分子动力学模拟试验, 在 pH 值为 3 和 7 的条件下对于二聚体神秘果素而言, 通过测定神秘果素和其它不同的突变体的回转半径以及均方根偏差的试验, 验证了神秘果素变味作用的原因: 在酸性条件下, 2 个带电的组氨酸(histidine, His)被诱导, 这种变化导致其在酸性条件下会比在中性条件下更快地达到平衡; 相对于中性条件, 在酸性条件下, 其单元结构之间的质量中心距离会加大, pH 值会导致 2 个亚基 His-30 重排, 从而导致 His 的位置拉近。这些变化会使得神秘果素的结构具有一定的开放性, 促使它与受体相结合, 从而达到改变味觉的作用。Keisuke 等<sup>[35]</sup>发现 His-30 和 His-60 是其活性位点, 其中最重要的是 His-30。Ayako 等<sup>[36]</sup>还进行了细胞试验, 认为神秘果素的变味活性作用机制是神秘果素与 hT1R2-hT1R3 受体结合, 在中性条件下不能改变味觉, 而在弱酸性条件下能使味觉发生改变, 且改变作用随着酸性增强而增强。

## 2.2 对血糖的影响

Chen 等<sup>[37]</sup>在给小鼠灌胃高果糖饮食 4 周后给小鼠喂食神秘果提取粉,发现神秘果可使小鼠的血糖降低,且剂量越高,降低作用越明显。此外每次按照 0.2 mg/kg 的剂量给产生胰岛素抵抗的小鼠喂食神秘果提取粉,每日 3 次,喂食 3 d 后发现葡萄糖-胰岛素指数的上升趋势被逆转,最终得出神秘果提取粉能够提升胰岛素敏感性,并能用于辅助治疗糖尿病的结论。基于此,多人开展了神秘果对糖尿病具体作用的研究。李彦等<sup>[38]</sup>使用大鼠链脲佐菌素腹腔注射制作糖尿病模型,分别用 3 组不同剂量神秘果提取物灌胃 5 周。结果发现神秘果提取物具有一定的降血糖功能,且浓度越高,降血糖效果越为显著。并且李彦等<sup>[39]</sup>认为神秘果提取物应该是通过有效改善糖耐量水平,增加胰岛素敏感性和调节脂代谢紊乱的途径来降低糖尿病模型动物的血糖水平,其中发挥效果的有效活性成分可能是神秘果素。

郭刚军等<sup>[40]</sup>则通过采用四氧嘧啶腹腔注射小鼠建立糖尿病模型,设立 3 组不同神秘果以及神秘果、明月草复合物的剂量水平,按相同灌胃量连续灌胃 26 d 后测量小鼠的体重和血糖水平。结果证实神秘果以及神秘果和明月草复合物具有一定的降血糖作用,且神秘果低剂量组和高剂量组的降血糖作用与降血糖药物二甲双胍类似。此外灌胃期间糖尿病小鼠的体重也有增加趋势,但是无量效关系。

黄巨波等<sup>[6]</sup>也用四氧嘧啶腹腔注射小鼠法造模,用提取的神秘果种子蛋白质给小鼠灌胃,灌胃 14 d 后,发现神秘果种子蛋白质可有效大幅促进小鼠分泌胰岛素,降低其血糖含量。

Obafemi 等<sup>[41]</sup>使用链脲佐菌素腹腔注射小鼠制作糖尿病模型,确定不同的神秘果提取物剂量水平,灌胃 21 d 后,发现神秘果叶甲醇提取物和类黄酮提取物均能有效降低小鼠血糖。Obafemi 等推测提取物中的多酚在降低血糖过程中起到了作用。

## 2.3 对血脂的影响

李彦等<sup>[38]</sup>在链脲佐菌素腹腔注射大鼠制作糖尿病模型的实验中,用不同剂量神秘果提取物灌胃后发现神秘果具有一定的改善脂肪代谢的作用,可降低糖尿病大鼠血清中的总胆固醇和低密度脂蛋白含量,从而使小鼠的血脂水平降低。

卢申姣等<sup>[42]</sup>则通过用高脂饲料给小鼠灌胃的方式建立了高脂血症模型。实验中设立了神秘果果肉提取物、神秘果种子提取物各 3 种剂量的实验组。灌胃 28 d

后发现神秘果果肉和种子提取物的降血脂作用方式不同,神秘果果肉的提取物可降低总胆固醇、血清甘油三酯、低密度脂蛋白,提升高密度脂蛋白,从而达到降血脂的目的,神秘果种子的提取物可降低总胆固醇和低密度脂蛋白的含量。

## 2.4 对尿酸的影响

钟剑珊等<sup>[43]</sup>通过为小鼠灌服黄嘌呤和乙胺丁醇的方式建立小鼠高尿酸血症模型,分别用 3 组不同剂量神秘果叶水提取物灌胃 7 d。结果发现不同剂量的神秘果叶提取物均能明显降低小鼠的血尿酸含量。Shi 等<sup>[44]</sup>采用为氧嗪酸钾腹腔注射小鼠的方式建立小鼠高尿酸血症模型,最终发现神秘果叶的正丁醇提取物在 1 000 mg/kg 的高剂量下具有明显降低小鼠血尿酸含量的效果。林恋竹等<sup>[45]</sup>同样用氧嗪酸钾建立小鼠高尿酸血症模型,发现神秘果叶的乙醇提取物也可显著降低小鼠的血尿酸含量。与此同时,他们还发现神秘果叶乙醇提取物可通过黄嘌呤氧化酶抑制活性以及槲皮素类化合物在体内的降解两种途径降低小鼠血尿酸含量,发现起到降低血尿酸含量作用的具体活性物质是槲皮素、槲皮素-3-O- $\alpha$ -L-鼠李糖苷和金丝桃苷。陈士兰等<sup>[46]</sup>还发现神秘果提取物对高尿酸血症小鼠具有保护肾脏的作用。

## 2.5 抗氧化性

刘红等<sup>[17]</sup>在探究神秘果果皮抗氧化性时,综合各种数据,采用 60%乙醇的提取溶剂以及 0.1%盐酸的酸度条件,采用了 2 $\times$ 3 因素均匀设计法,发现在不同的温度和时间条件下,干燥果皮的总酚含量与其 1,1-二苯基-2-苦肼基(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基清除能力(抗氧化性)的关联不大,而温度对于神秘果皮的抗氧化性有影响,在 30 $^{\circ}$ C~50 $^{\circ}$ C 范围内,温度越高, DPPH 自由基清除能力越强,抗氧化性越强。卢圣楼等<sup>[15]</sup>用丙酮充分提取神秘果叶中的多酚后,通过体外抗氧化实验,证明了神秘果叶中的多酚对于 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)自由基[(2,2'-Azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonate), ABTS $\cdot^+$ )]、DPPH $\cdot$ 及羟基自由基( $\cdot$ OH)这 3 种自由基具有良好的清除作用,半数抑制浓度分别为 51.81、13.40、28.91 mg/L,抗氧化性良好。刘玉革等<sup>[14]</sup>则改用甲醇提取神秘果叶中的多酚,然后进行体外抗氧化实验,最终得出其清除 DPPH 自由基的半数抑制浓度为 30.44 mg/L,抗氧化性良好。马艺丹等<sup>[47]</sup>则用乙醚脱脂、乙醇沉淀的方法提取了神秘果种子中的多糖,并进行体外抗氧化实验,结果发现神秘果种子中的多糖

对于 ABTS<sup>+</sup>·、DPPH· 及 ·OH 这 3 种自由基具有良好的清除作用, 半数抑制浓度分别为 0.31、0.41、0.24 mg/mL, 抗氧化性良好。姜伟等<sup>[48]</sup>则将神秘果、南瓜、木瓜 3 种植物的果粉的抗氧化能力进行了对比。在相同的试验条件下, 神秘果粉对 DPPH· 的清除能力要优于南瓜粉和木瓜粉。

### 2.6 抑菌活性

卢圣楼等<sup>[8]</sup>用水蒸气蒸馏的方法提取了神秘果叶中的挥发油, 以氨苄西林作为阳性对照, 研究了该挥发油对 8 种细菌的抑制作用。结果发现, 神秘果叶挥发油对于绿脓杆菌没有明显抑制作用, 而对枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌、白色葡萄球菌、蜡质芽孢杆菌、四联球菌、藤黄八叠球菌及大肠杆菌具有明显的抑制作用。

### 2.7 抗肿瘤活性

卢圣楼等<sup>[8]</sup>对神秘果叶挥发油和神秘果总黄酮对于 SPC-A-1、BEL-7402、SGC-7901 及 K562 4 种癌细胞的抗肿瘤活性进行了检测, 结果发现神秘果叶挥发油对 K562 的抗肿瘤活性较为明显, 对其他 3 种细胞的抗肿瘤活性不明显。神秘果总黄酮仅对 BEL-7402 没有抗肿瘤活性, 而对其他 3 种癌细胞均有较好的抗肿瘤活性。

Seong 等<sup>[49]</sup>用甲醇和乙醇等溶剂对神秘果果实及叶进行提取, 并用所得提取物检测了其对于 HCT-116、HT-29 以及 THP-1 这 3 种癌细胞的抗肿瘤活性, 发现仅对 HCT-116、HT-29 有抗肿瘤活性。

### 2.8 抗惊厥功能

Olaitan 等<sup>[50]</sup>使用戊四唑、土的宁及最大电休克等 3 种方法诱发小鼠发生惊厥, 一定时间后给小鼠服用神秘果的水提取物。结果发现神秘果的水提取物可以使由戊四唑和土的宁引发的惊厥小鼠死亡率下降 33.33%, 使由最大电休克引发的惊厥小鼠的恢复时间缩短。

### 2.9 抗疲劳和免疫作用

以神秘果为主要成分组成的混合果粉(含神秘果、木瓜、南瓜、杨桃)<sup>[51]</sup>以及神秘果叶纯化得到的总黄酮<sup>[18]</sup>均可以延长小鼠游泳至力竭的时间, 降低了血乳酸和血清尿素氮含量, 增加肌肉中肝糖原含量, 增加了过氧化氢酶和超氧化物歧化酶的活性, 综合评价神秘果具有抗疲劳作用。黄巨波等<sup>[51]</sup>通过碳粒廓清实验发现前述以神秘果为主要成分组成的混合果粉可以提高小鼠单核巨噬细胞系统吞噬异物能力, 说明神秘果在一定程度上可增强小鼠的免疫功能。

### 3 小结

综上所述, 神秘果中化学成分十分丰富, 其果实、种子及叶等部位的提取物都有生物活性研究的报道, 可以用于医药和功能性食品的开发。目前已经有利用神秘果对接受化疗的病人饮食口味改善的报道<sup>[52]</sup>, 但有关神秘果的研究多在其变味功能、改善血糖和抗氧化性方面, 对于其他方面的生物活性研究较少。其次, 有关神秘果中物质的分离和纯化、含量测定、有效成分及对应的生物活性方面的研究较少。有关神秘果的味觉改变效应的研究仅停留在定性方面, 并未能定量衡量变味效果。今后应当加强这几方面的研究, 以便更好地利用神秘果, 充分发挥其营养价值和生物活性价值, 并将其应用于医药和功能性食品开发领域。

### 参考文献:

- [1] 成翠兰. 神秘果的生物学特性及提取物的应用[J]. 云南热作科技, 2000, 23(1): 34-36
- [2] Kurihara K, Beidler L M. Taste-modifying protein from miracle fruit[J]. Science, 1968, 161: 1241-1243
- [3] 陈琪, 王金祥, 贾颖, 等. 神秘果化学成分和生物活性研究进展[J]. 中国中医药现代远程教育, 2018, 16(10): 149-152
- [4] Duhita N, Hiwasa-Tanase K, Yoshida S, et al. Single-step purification of native miraculin using immobilized metal-affinity chromatography[J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(12): 5148-5151
- [5] He Z X, Joo S T, Oi M L, et al. Optimization of conditions for the single step IMAC purification of miraculin from *Synsepalum dulcificum*[J]. Food Chem, 2012, 24: 1441-1443, 1347
- [6] 黄巨波, 刘红, 卢圣楼, 等. 神秘果种子蛋白质的提取与降糖效用研究[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 25(1): 73-76
- [7] Guney S, Nawar W W. Seed lipids of the miracle fruit (*Synsepalum dulcificum*)[J]. Food Biochem, 1977, 1(2): 173-184
- [8] 卢圣楼, 刘红, 陈光英, 等. 神秘果叶挥发油化学成分分析及抗菌、抗肿瘤活性[J]. 林产化学与工业, 2014, 34(1): 121-127
- [9] 齐赛男, 贾桂云, 雷鹏, 等. 神秘果种子挥发油化学成分的气相色谱-质谱分析[J]. 海南师范大学学报, 2012, 25(1): 73-76
- [10] 马艺丹, 刘红, 闫瑞昕, 等. 神秘果种子营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2016, 37(13): 346-351
- [11] Chen C Y, Wang Y D, Wang H M. Chemical constituents from the roots of *Synsepalum dulcificum*[J]. Chem Nat Compd, 2010, 46(3): 448-449
- [12] Cheng M J, Hong Z L, Chen C Y. Secondary metabolites from the stem of *Synsepalum dulcificum* [J]. Chem Nat Compd, 2012, 8(1): 108-109
- [13] Du L Q, Shen Y X, Zhang X M, et al. Antioxidant-rich phytochemicals in miracle berry (*Synsepalum dulcificum*) and antioxidant activity of its extracts[J]. Food Chem, 2014, 153: 279-284
- [14] 刘玉革, 付琼, 张秀梅, 等. 神秘果叶中总酚提取及其抗氧化活性研究[J]. 中国热带农业, 2015(3): 79-81

- [15] 卢圣楼,符家珍,刘红.神秘果叶多酚的超声波提取工艺及其抗氧化能力[J].林产化学与工业,2014,34(5):146-151
- [16] 马艺丹,刘红,马思聪,等.神秘果种子多酚大孔树脂纯化工艺研究[J].食品研究与开发,2016,32(2):139-144
- [17] 刘红,赵丹微,杨定国,等.神秘果果皮的抗氧化性[J].安徽农业科学,2010,38(14):7522-7524
- [18] 卢圣楼.神秘果叶营养价值和挥发油化学成分分析及其总黄酮提取纯化与药理活性评价[D].海口:海南师范大学,2013
- [19] 张知杭,林叶,林哲汇,等.水浸法提取神秘果叶黄酮类化合物的工艺研究[J].现代园艺,2018,19(10):46-47
- [20] Buckmire R E, Francis F J. Anthocyanins and flavonol of miracle fruit (*Synsepalum dulcificum schum*)[J]. J Food Sci, 1976, 41(6): 1363-1365
- [21] Chen C Y, Wang Y D, Wang H M. Chemical constituents from the leaves of *Synsepalum dulcificum*[J]. Chem Nat Compd, 2010, 46(3): 495
- [22] 卢圣楼,刘红,臧文霞,等.响应面法优化神秘果叶总三萜的超声波提取工艺[J].林产化学与工业,2014,34(5):146-151
- [23] 卢圣楼,刘红,曹佳佳,等.神秘果中齐墩果酸和五环三萜含量的测定[J].食品工业,2012,33(3):130-133
- [24] Njideka E N, Collins N U, Serah O A, et al. Amino acid profile and oxidizable vitamin content of *Synsepalum dulcificum* berry (miracle fruit) pulp[J]. Food Sci Nutri, 2015, 3(3): 252-256
- [25] Cheng M J, Lo W L, Huang L Y, et al. Isolation of a 2-oxetanone from the fruits of *Synsepalum dulcificum*[J]. Nat Prod Res, 2010, 24(19): 1850-1853
- [26] 梁延霞.神秘果稳定化措施的探讨[D].重庆:重庆大学,2007
- [27] Inglett G E, Dowling B, Albrecht J J, et al. Taste-Modifying properties of miracle fruit (*Synsepalum Dulcificum*)[J]. J Agric Food Chem, 1965, 13(3): 284-287
- [28] Capitano A, Lucci G, Tommasi L, et al. Mixing taste illusions: the effect of miraculin on binary and trinary Mixtures[J]. J Sensory Stud, 2011, 26(1): 54-61
- [29] Igarashi G, Higuchi R, Yamazaki T, et al. Differential sweetness of commercial sour liquids elicited by miracle fruit in healthy young adults[J]. Food Sci Technol Internat, 2013, 19(3): 243-249
- [30] Girou E L, Henkin R I. Purification and some properties of miraculin, a glycoprotein from *Synsepalum dulcificum* which provokes sweetness and blocks sourness[J]. J Agric Food Chem, 1974, 22(4): 595-601
- [31] Bartoshuk L M, Gentile R L, Moskowitz H R, et al. Sweet taste induced by miracle fruit *Synsepalum dulcificum*[J]. Physiol Behavior, 1974, 12(3): 449-456
- [32] Hajime N, Chizuko Y, Kayo T, et al. Analyses of gustatory-related brain magnetic fields induced by taste sensation[J]. International Congress Series, 2002, 1232(4): 147-152
- [33] Paladino A, Colonna G, Facchiano A M, et al. Functional hypothesis on miraculin sweetness by a molecular dynamics approach[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2010, 396(3): 726-730
- [34] Paladino A, Costantini S, Colonna G, et al. Molecular modeling of miraculin: Structure analysis and functional hypotheses[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2008, 367(1): 26-32
- [35] Keisuke I, Tomiko A, Yuji M, et al. Microbial production of sensory-active miraculin[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2007, 360(2): 407-411
- [36] Ayako K, Asami T, Ken-ichiro N, et al. Human sweet taste receptor mediates acid-induced sweetness of miraculin[J]. National Acad Sci, 2011, 108(40): 16819-16824
- [37] Chen C C, Liu I M, Cheng J T. Improvement of insulin resistance by miracle fruit (*Synsepalum dulcificum*) in fructose-rich chow-fed rats[J]. Phytother Res, 2006, 20(11): 987-992
- [38] 李彦,魏秀岩,卢禁.神秘果提取物对糖尿病大鼠降血糖作用的研究[J].广东药学院学报,2011,27(1):71-75
- [39] 李彦,路晓庆,刘艳薇,等.神秘果提取物对链脉佐菌素诱导的糖尿病大鼠血糖及脂代谢的影响[J].中药药理与临床,2011,27(4):64-66
- [40] 郭刚军,袁志章,张雪辉,等.神秘果及其复合物对四氧嘧啶糖尿病小鼠降血糖作用[J].中药药理与临床,2011,27(4):64-66
- [41] Obafemi O T, Akinmoladun C A, Olaleye T M, et al. Antidiabetic potential of methanolic and flavonoid-rich leaf extracts of *Synsepalum dulcificum* in type 2 diabetic rats[J]. J Ayurveda Integrative Med, 2017, 8(4): 238-246
- [42] 卢申姣,黄尔梦,黄洁虹,等.神秘果对高脂模型小鼠的降血脂效应[J].中药药理与临床,2018,34(2):75-79
- [43] 钟剑珊,欧阳伟,袁晓清.神秘果叶对小鼠高尿酸血症模型影响观察[J].亚太传统医药,2013,9(8):9-10
- [44] Shi Y C, Lin K S, Jhai Y F, et al. Miracle fruit (*Synsepalum dulcificum*) exhibits as a novel anti-hyperuricaemia agent[J]. Molecules, 2016, 21(2): 140
- [45] 林恋竹,刘雪梅,赵谋明.神秘果树叶提取物降尿酸作用及其有效成分鉴定[J].中国食品学报,2018,18(1):270-277
- [46] 陈士兰,王妙桃,王徐飞.神秘果提取物对小鼠高尿酸血症的影响[J].中国食品学报,2018,18(1):270-277
- [47] 马艺丹,刘红,马思聪,等.神秘果种子多糖的响应面优化提取及其抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2016,37(10):289-294,302
- [48] 姜伟,马艺丹,闫瑞昕,等.三种果粉中矿物质和淀粉含量的测定及抗氧化性研究[J].海南师范大学学报(自然科学版),2015,28(3):280-283,315
- [49] Seong J C, Oyong G G, Cabrera E C. *Synsepalum dulcificum* extracts exhibit cytotoxic activity on human colorectal cancer cells and regulate *c-fos* and *c-jun* early apoptotic gene expression[J]. Asian Pacific J Tropical Biomed, 2018, 8(3): 173-178
- [50] Olaitan J Jeremiah, Olapade R Ilesanmi, Morakinyo M Ige. Evaluation of the Anticonvulsant potential of aqueous fraction of *Synsepalum dulcificum* seed extract in mice[J]. European J Medic Plants, 2015, 9(3): 1-8
- [51] 黄巨波,刘红,祁海兰,等.神秘果混合果粉营养成分及其抗疲劳和免疫作用[J].中国实验方剂学杂志,2012,18(14):195-198
- [52] Wilken M K, Satiroff B A. Pilot study of "miracle fruit" to improve food palatability for patients receiving chemotherapy[J]. Clinic J Oncol Nurs, 2012, 16(5): 173-177

收稿日期 2019-10-09