

食用西番莲中酚类物质结构与生物活性研究进展

许梦圆¹, 景继月¹, 朱璟君¹, 王文蜀^{1,2*}¹中央民族大学生命与环境科学学院;²中央民族大学 国家级化学实验教学示范中心, 北京 100081

摘要:西番莲属(*Passiflora* Linn.)植物分布于热带、亚热带地区,其中一些西番莲是重要的药食同源类植物,常作民间传统药材使用。酚类化合物是食用西番莲中的主要次级代谢产物,迄今已从中分离出104个包括黄酮类、黄酮醇类及酚酸类等化合物,它们显示了抗氧化、抗炎、抗菌、降血糖、抗焦虑等生物活性。本文综述了食用西番莲中酚类物质的含量、种类、化学结构和生物活性,以期为食用西番莲植物酚类化合物的深入研究和科学开发提供参考。

关键词:食用西番莲;酚类成分;种类;结构;生物活性

中图分类号:R284.1

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2021)7-1251-15

DOI:10.16333/j.1001-6880.2021.7.020

Research progress on structures and bioactivities of the phenolic compounds in edible *Passiflora* Linn.

XU Meng-yuan¹, JING Ji-yue¹, ZHU Jing-jun¹, WANG Wen-shu^{1,2*}¹College of Life and Environmental Science, Minzu University of China;²National Chemistry Experimental Teaching Demonstration Center, Minzu University of China, Beijing 100081, China

Abstract:Plants in *Passiflora* Linn. are widely distributed in tropical and subtropical regions, and the edible plants in *Passiflora* Linn. are used to be traditional medicine by local people. Phenolic compounds in the edible *Passiflora* Linn. are reported to show biological effects such as anti-oxidant, anti-inflammatory, anti-bacterial, hypoglycemic and anti-anxiety. By now, 104 phenolic compounds have been identified from edible *Passiflora* Linn., including flavonoids, flavonols and phenolic acids. Presently, the contents, classes, structure characteristics and biological activities of the phenolic compounds in edible *Passiflora* Linn. are reviewed, in order to provide reference for the further research and utilization of the plants.

Key words:edible *Passiflora* Linn.; phenolic compounds; class; structures; bioactivities

食用西番莲为西番莲科(Passifloraceae)西番莲属(*Passiflora* Linn.)草质或木质多年生藤本植物,原产于南美洲,主要分布于热带、亚热带地区^[1],其果实营养丰富,常被直接鲜食或加工为果汁饮用。世界范围内较流行的食用西番莲品种有6种,详细信息见表1。

在一些热带的主产区,如欧洲、美洲等地,紫皮百香果、翅茎西番莲、黄果西番莲和大果西番莲及蓝色西番莲(*P. caerulea* L.)等是民间传统药物植物,用于利尿、止咳、消炎止痛、降血压、镇静、抗惊厥及

抗成瘾等^[2-4]。当今美国、巴西、英国等国家药典中食用西番莲的多种提取物被批准用药^[5]。我国于1901年引种紫皮百香果^[6],现在广西省、云南省、福建省和重庆市等地有多个栽培品种。当地人们发现食用西番莲具有排毒养颜、消除炎症、抵抗衰老等作用^[7],《云南中药资源名录》中更记载“西番莲味苦,性温。根,藤,花,果可入药,具有祛风除湿、活血止痛、清热、止咳、化痰等功效,用于治疗风湿骨病、疝痛、痛经、神经痛、失眠症、风热头昏、鼻塞流涕等疾病,外用治骨折”。截至2020年我国与西番莲相关的专利已达2980项,其中医用配制品专利占比8.29%,化合物或药物制剂的特定治疗活性专利占比6.07%,以上专利标明西番莲具有清热解毒、安神镇静的保健功效。随着人们对西番莲认可度和需求的日益增加,其在我国的种植区也逐步扩大,以最早引

收稿日期:2020-09-29 接受日期:2021-03-29

基金项目:国家民委创新项目(10301-202000040203);建设世界一流大学(学科)和特色发展引导专项(YDZXK201618);中央民族大学生命与环境科学学院生物成像与系统生物学研究中心(104-01900403);中央民族大学大学生创新训练计划(URTP2020110083)

*通信作者 Tel:86-10-68932242; E-mail:wangws@muc.edu.cn

种百香果的广西省为例,2020年紫皮百香果和黄果西番莲的种植面积达20 000 hm²以上,年产量约为30万吨,已经成为当地的特色扶贫产业之一^[8]。

酚类物质是一类重要植物次级代谢产物,自然界现已发现约8 000多种^[9]。西番莲的现代研究表明,该属植物含有酚类、生物碱、三萜类等化学成分,而酚类物质是其特征次级代谢产物^[10],表现出抗氧化、抗炎、抗菌、降血糖等有益人体的生理功效^[9,11]。

表1 常见食用西番莲信息

Table 1 Information about edible *Passiflora* Linn.

中文名称 Chinese name	拉丁名 Latin name	果实性状 Fruit character	主要分布地区 Main distribution	参考文献 Ref.
紫皮百香果	<i>P. edulis</i> Sims	果皮紫色,卵圆形,直径约3.8~5 cm	美国、葡萄牙、巴西、中国、德国、澳大利亚、印度、新西兰、马来西亚	3,40
甜果西番莲	<i>P. ligularis</i> Juss.	果皮橙褐色,卵圆形,直径约7 cm	哥伦比亚、巴西、印度尼西亚、新几内亚、牙买加、斯里兰卡、印度	39,58
翅茎西番莲	<i>P. alata</i> Curtis	果皮黄色,卵圆形,直径约8~15 cm	巴西、秘鲁、哥伦比亚	15,35
香蕉西番莲	<i>P. tripartita</i> var. <i>mollissima</i> (Kunth) L. H. Bailey	果皮黄色,卵圆形,直径约8~15 cm	哥伦比亚、葡萄牙、厄瓜多尔、智利、墨西哥、新西兰、澳大利亚、美利坚合众国、委内瑞拉、西班牙、法国	35,37
黄果西番莲	<i>P. edulis</i> var. <i>flavicarpa</i> Deg.	果皮淡黄色,卵圆形,直径约5~9 cm	巴西、中国	17,22
大果西番莲	<i>P. quadrangularis</i> L.	果皮淡绿色,卵圆或椭圆形,直径约20~25 cm	哥伦比亚、巴西、德国	15,21,83
-	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i>	果皮褐紫色,卵圆形,直径约6~7 cm	葡萄牙、巴西	25,28

1 食用西番莲中酚类含量

西番莲属植物被报道是天然酚类化合物的优质来源,其总酚含量通常在1 000 μg GAE/g以上。不过食用西番莲中的总酚含量因品种、成熟期、提取部位等多种因素而存在差异。Carmona-Hernandez等^[12]以山奈酚为标品,测定出紫皮百香果果浆中总酚含量为1.62±0.09 mg GAE/g(干重),甜果西番莲果浆中总酚含量为1.55±0.00 mg GAE/g(干重),黄果西番莲果浆中总酚含量为1.18±0.01 mg GAE/g(干重)。其他学者以福林酚法测定黄果西番莲总酚含量,发现在成熟过程中其果浆的总酚含量不断增加,从281.8±7.2 mg GAE/L(鲜重)增加到361.9±3.3 mg GAE/L^[13]。

西番莲属植物中具体酚类化合物的含量测定数据不多,已有报道的主要有如下几种,异荭草素(isoorientin, **14**),在紫皮百香果果皮中的含量为0.653±0.037 mg/g(干重,下同)^[14],在黄果西番莲中含量为0.580±0.004 mg/g。荭草素(orientin, **15**),在紫皮百香果和黄果西番莲叶片中含量分别

此前,对西番莲属的研究以紫皮百香果及其成分分析为主,至今未见食用西番莲植物中酚类化合物研究的全面整理归纳。因此,本文系统综述了食用西番莲中酚类物质含量、种类、化学结构特点和活性,旨在为人们寻找开发更多酚类物质的天然优良来源,促进我国食用西番莲产业的科学研究和合理开发。

为0.370±0.011和0.260±0.004 mg/g^[15]。异牡荆素(isovitexin, **36**),在黄果西番莲果浆中含量为0.424 mg/g^[16]。槲皮素(quercetin, **4**),在黄果西番莲果浆中含量为2.21±0.32 mg/100 g。山奈酚(kampferol, **5**),在黄果西番莲果浆中含量为1.78±0.06 mg/100 g^[17]。上述研究数据证明,食用西番莲含有丰富的酚类化合物,但含量不同,化学结构也有差异,下文对此展开详述。

2 食用西番莲中酚类化合物种类及其化学结构

食用西番莲中现已报道了104个化合物(表2、表3),按天然化合物母核结构可将它们分为黄酮类和酚酸类。其中黄酮类母核又进一步细分成,黄酮、黄酮醇、二氢黄酮、黄烷醇和花青素。自然界中天然黄酮类成分又多以苷类形式存在^[18],而黄酮苷一般由糖取代基与黄酮类母核通过C-O键或C-C键相连,分别形成黄酮氧苷或碳苷,其中氧苷是植物次级代谢产物中最常见的苷类类型^[19],然而在食用西番莲中也发现了较多黄酮碳苷。

2.1 黄酮及其苷类

黄酮的化学结构特征以2-苯基色原酮为基本

母核,3位无氧取代基。食用西番莲植物中主要的黄酮苷元有木犀草素(luteolin, **1**)、芹菜素(apigenin, **2**)和白杨素(chrysin, **3**) (见图1),同时还鉴定出54个包含上述苷元的黄酮苷。

2.1.1 木犀草素

在紫皮百香果、黄果西番莲、香蕉西番莲、翅茎西番莲、大果西番莲和 *P. edulis* f. *edulis* 中相继报道了以木犀草素(**1**)为苷元的黄酮苷,其中包括16个黄酮碳苷(**10~25**) (表2),5个黄酮氧苷(**26~30**)和5个既含有C-C键又含有C-O键的混合苷(**31~35**)^[20-22]。这些苷类化合物的成苷键特点是,碳苷的C-C键主要结合在木犀草素A环的6位和8位,氧苷的C-O键主要结合在A环的7位,而混合苷则在不同的碳位分别通过C-C键和C-O键连接糖取代基。

异荭草素(**14**)和荭草素(**15**)是西番莲中以木犀草素为苷元的黄酮碳苷,二者分子式均为 $C_{21}H_{20}O_{11}$ (图2a),是西番莲属植物的特征化合物^[23],在多种食用西番莲中均有报道。2009年Zou等^[24]报道从多个产地的紫皮百香果果皮及叶片中均分离出异荭草素和荭草素,但同产地的样品提取物中异荭草素含量均高于荭草素含量。Gomes等^[15]以17种西番莲叶片为研究对象,分别提取黄酮类物质,发现黄果西番莲及 *P. edulis* f. *edulis* 的叶片中异荭草素和荭草素含量较高,翅茎西番莲叶片中这两种成分含量较低,而大果西番莲叶片中则仅检测到荭草素;同年Wosch^[25]研究团队对12种西番莲叶片中成分进行鉴定,结果显示在翅茎西番莲和黄果西番莲的叶片中仅分离出异荭草素,而 *P. edulis* f. *edulis* 叶片则同时含有异荭草素和荭草素,作者认为可能是生长环境差异造成了西番莲叶片化学成分不同。

此外,木犀草素-8-C- β -牛膝吡喃葡萄糖苷(luteolin-8-C- β -boivinopyranoside, **16**) (图2a)和木犀草素-8-C- β -洋地黄吡喃糖基4'-O- β -D-吡喃葡萄糖苷(luteolin-8-C- β -digitoxopyranosyl-4'-O- β -D-glucopyranoside, **32**) (见图2c)仅在紫皮百香果茎叶提取物中被鉴定出^[26]。

2.1.2 芹菜素

芹菜素(**2**)是西番莲属植物中分布第二广泛的黄酮苷元。从食用西番莲中现已发现11个以芹菜素为苷元的黄酮碳苷(**36~46**),6个黄酮氧苷(**47~52**)和5个黄酮混合苷(**53~57**)^[21,27-30]。

西番莲中最常见的芹菜素碳苷化合物是异牡荆

素(**36**)和牡荆素(**37**),分子式均为 $C_{21}H_{20}O_{10}$,化学结构差异为异牡荆素的葡萄糖苷在A环6位,而牡荆素的葡萄糖苷在A环8位(图2a)。1968年,Glotzbach等^[31]首先证明大果西番莲茎叶中含有异牡荆素与牡荆素。而后,Oga等^[32-35]先后从翅茎西番莲、紫皮百香果、香蕉西番莲以及黄果西番莲叶片中分离出异牡荆素和牡荆素,此外还从大果西番莲、翅茎西番莲、*P. edulis* f. *edulis* 叶片中鉴定出牡荆素-2''-O-木糖苷(vitexin-2''-O-xiloside, **49**)、牡荆素-2''-O-鼠李糖苷(vitexin-2''-O-rhamnoside, **50**)等黄酮氧苷。

食用西番莲植物中普遍存在的芹菜素碳苷类化合物还有异夏佛塔苷(**45**)与夏佛塔苷(**46**),它们是互为同分异构体的二糖碳苷,分子式为 $C_{26}H_{28}O_{14}$,结构式如图2a。Mareck等^[36]从黄果西番莲果肉中分离出异夏佛塔苷和夏佛塔苷;Simirgiotis等^[37]而在香蕉西番莲果浆中分离并鉴定出异夏佛塔苷和夏佛塔苷;Farag等^[21]运用核磁共振和质谱技术建立了不同地区17种西番莲属植物叶片样本的指纹代谢图谱,从中鉴定出木犀草素、芹菜素和夏佛塔苷等多种化合物;而Hivrale等^[38]的深入研究表明异夏佛塔苷和夏佛塔苷是西番莲全果中重要的黄酮碳苷活性物质。

此外,芹菜素-8-C- β -牛膝吡喃葡萄糖苷(apigenin-8-C- β -boivinopyranoside, **39**)和芹菜素-8-C- β -洋地黄吡喃葡萄糖苷(apigenin-8-C- β -digitoxopyranoside, **40**) (见图2a)仅在紫皮百香果茎叶提取物中被报道^[26]。芹菜素4'-O- β -吡喃葡萄糖基,8-C- β -(6''乙酰基)-吡喃葡萄糖苷(apigenin-4'-O- β -glucopyranosyl,8-C- β -(6''acetyl)-glucopyranoside, **55**)和芹菜素4'-O- β -吡喃葡萄糖基-8-C- β -新橙皮糖苷(apigenin-4'-O- β -glucopyranosyl-8-C- β -neohesperidoside, **56**)仅在香蕉西番莲叶片中被报道(见图2c)^[39]。

2.1.3 白杨素

白杨素(**3**)是西番莲属植物中一种重要的黄酮苷元,目前已经从食用西番莲中发现了3个黄酮碳苷(**58~60**),1个氧苷黄酮(**61**)和2个混合苷(**62~63**)^[21,26,33,40]。这些苷类化合物多存在于紫皮百香果中,如白杨素-6-C-己糖苷(chrysin-6-C-hexoside, **58**)、白杨素-6,8-C-二己糖苷(chrysin-6,8-C-dihexoside, **59**)、白杨素-C-己糖基-6''-O-脱氧己糖苷(chrysin-C-hexosyl-6''-O-deoxyhexoside, **62**)等^[33]。

2.2 黄酮醇及其苷类

黄酮醇是以 2-苯基色原酮为基本母核,3 位有氧取代基的黄酮类化合物。西番莲属植物中鉴定出

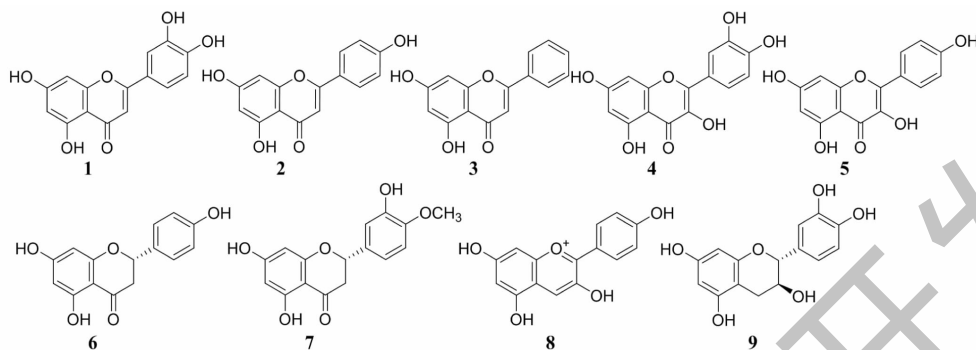


图 1 食用西番莲中主要的黄酮苷元

Fig. 1 Major flavonoid aglycones in edible *Passiflora* Linn.

2.2.1 槲皮素

食用西番莲中对槲皮素(4)最早的记载见于 1975 年 Lutomski 等对紫皮百香果和黄果西番莲果浆的活性测试中^[41]。最近 Rotta 等^[42]报道了紫皮百香果、翅茎西番莲和甜果西番莲果浆中酚类成分的含量,结果显示三种西番莲中均含有槲皮素,但紫皮百香果中槲皮素及其氧苷芦丁(querctin-3-*O*-rutinoside, 65)(图 2b)含量最高,甜果西番莲中的芦丁和槲皮素两种成分最少,均小于定量限。已有文献显示在食用西番莲中鉴定出的均为槲皮素的氧苷化合物,主要在槲皮素的 3 位和 7 位形成氧苷键。如 Medina^[28]鉴定出的芦丁(65)、槲皮素-7-*O*-葡萄糖苷(querctin-7-*O*-glucoside, 67)、槲皮素-3,7-二-*O*-己糖苷(querctin-3,7-di-*O*-hexoside, 68)等和 Carmona-Hernandez 等^[12]发现的槲皮素-3-葡萄糖苷(querctin-3-glucoside, 71)等。

2.2.2 山奈酚

山奈酚(5),分子式 $C_{15}H_{10}O_6$,化学名 3,5,7,4'-四羟基黄酮。1982 年在澳大利亚龙珠果(*P. foetida* Linn.)茎叶提取物中发现了少量山奈酚^[43];黄果西番莲和橙色百香果(orange passion fruit)果浆提取物中有较高含量的山奈酚,而在紫皮百香果果浆提取物中却未发现相关成分^[44]。随后,一些山奈酚氧苷,如紫皮百香果果皮中的山奈酚-3-*O*-葡萄糖苷(kaempferol-3-*O*-glucoside, 73)和哥伦比亚龙珠果叶片中的 3,7,4'-三-*O*-甲基山奈酚(3,7,4'-tri-*O*-methyl kaempferol, 74)也被分离出来^[28,45]。

2.3 二氢黄酮及其苷类

二氢黄酮是黄酮 2 位、3 位碳碳双键氢化后的

的主要黄酮醇类苷元有 2 个,槲皮素(querctin, 4)和山奈酚(kaempferol, 5)(图 1)。此外,常见食用西番莲中还包括 11 个黄酮醇氧苷(64~74)。

一类黄酮类化合物,又称黄烷酮^[46]。西番莲属植物中主要的二氢黄酮类苷元有柚皮素(naringenin, 6)和橙皮素(hesperetin, 7)2 种(图 1)。而常见食用西番莲中还鉴定出 3 个二氢黄酮苷类衍生物(75~77)。

2.3.1 柚皮素

柚皮素(6),分子式 $C_{15}H_{12}O_5$,化学名称 4',5,7-三羟基二氢黄酮。柚皮苷(naringin, 75)是以柚皮素为苷元的二氢黄酮氧苷类化合物(图 2b),两者是许多中草药的有效成分^[47]。Deng 等^[48]研究了紫皮百香果果汁酚类物质在发酵过程中的变化,期间分离并鉴定出了柚皮素和柚皮苷,并指出二者在发酵前后均存在,未发生转化。

2.3.2 橙皮素

橙皮素(7),分子式为 $C_{16}H_{14}O_6$,化学名称 5,7,3'-三羟基-4'-甲氧基黄烷酮,是水果、花卉中广泛存在的二氢黄酮类化合物。自然界中常以橙皮苷(hesperidin, 76)和新橙皮苷(neohesperidin, 77)的形式存在^[49]。其中橙皮苷是由橙皮素 7 位通过 C-O 键连接芸香糖而成,新橙皮苷是由橙皮素 7 位通过 C-O 键连接新橘皮糖而成(图 2b)。Spínola 等^[27]在紫皮百香果果浆中鉴定出橙皮苷和新橙皮苷。

2.4 花青素及其苷类

花青素(anthocyanin)结构特点为一个 2-苯基苯并吡喃环与环上的多个不同取代基相连,是在葡萄、甘薯等植物中广泛存在的天然色素,属于黄酮类化合物^[50]。目前已知有矢车菊素、芍药素、锦葵色素、天竺葵素等 20 多种花青素,且自然界中这些花青素

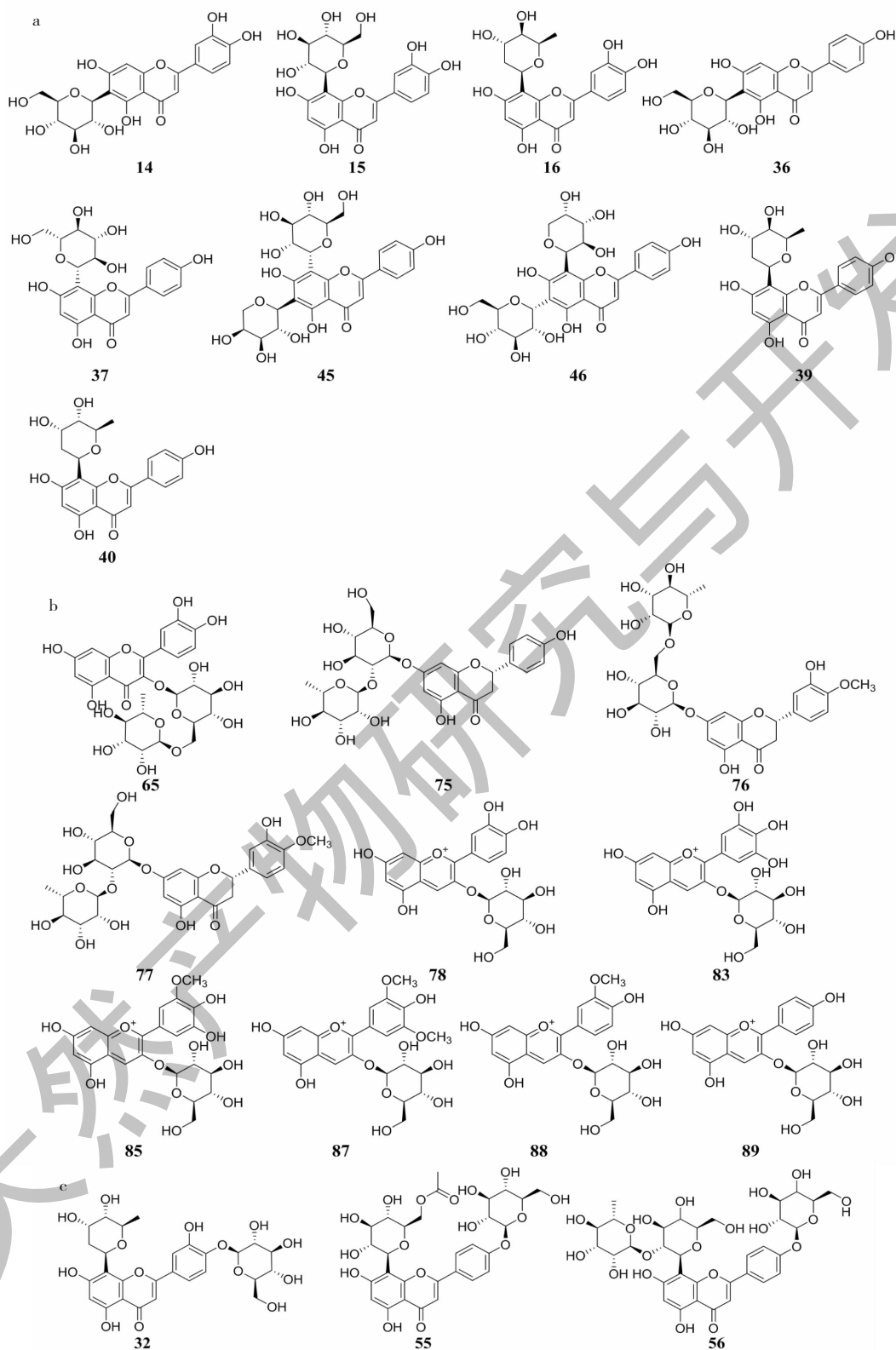


图2 食用西番莲中代表性黄酮苷结构式

Fig. 2 Major flavonoid glycosides in edible *Passiflora* Linn.

注:a为食用西番莲中代表性黄酮碳苷;b为代表性黄酮氧苷;c为代表性黄酮混合苷。Note:a:Flavonoid carbon glycosides;b:Flavonoid oxygen glycosides;c:Flavonoid mixed glycosides in edible *Passiflora* Linn.

常与糖类通过 C-O 键结合形成花色苷,食用西番莲中鉴定出 14 个花色苷(8、78~90)。

Hu 等^[51]在紫皮百香果果皮中发现并提取了花青素。Kidoy 等^[52]在紫皮百香果果皮中鉴定出大量的矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷(cyanidin-3-*O*-glucoside, 78),少量的矢车菊素-3-(6''-丙二酰)葡萄糖苷(cyanidin-3-(6''-malonyl) glucoside, 82)和天竺葵素-3-*O*-葡萄糖苷(pelargonidin-3-*O*-glucoside, 89)。Peng^[53]从紫皮百香果果皮中分离出 3 个花色苷,并推测其可能是矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷(78)、锦葵色素-3-*O*-葡萄糖苷(malvidin-3-*O*-glucoside, 87)和牵牛花素-3-*O*-葡萄糖苷(petunidin-3-*O*-glucoside, 88)。Zhu^[54]采用 HPLC-MS 在紫皮百香果果皮中鉴定出 5 个花色苷,包括矢车菊素-3-*O*-葡萄糖苷(78)、矢车菊素-3-*O*-芸香糖苷(cyanidin-3-*O*-rutinoside, 79)、矢车菊素-3-(6''-丙二酰)葡萄糖苷(82)和芍药素-3-*O*-葡萄糖苷(peonidin-3-*O*-glucoside, 85)、天竺葵

素-3-*O*-葡萄糖苷(89)。He 等^[55]对福建‘紫香一号’紫皮百香果(*P. edulis* Sims cv. Zixiang 1)果皮最新的研究则报道了 12 个花色苷,代表性花色苷结构见图 2b。

2.5 黄烷醇及其衍生物

黄烷醇在中草药、水果中普遍存在,根据化学结构特点一般分为三类,黄烷-3-醇、黄烷-3,4-二醇和缩合原花色苷^[56]。在食用西番莲中鉴定出的均为黄烷-3-醇类及其衍生物。García-Ruiz^[57]团队率先从香蕉西番莲果浆中鉴定出儿茶素葡萄糖苷(catechin glucoside, 94); Carmona-Hernandez^[12]团队从甜果西番莲、紫皮百香果及黄果西番莲果浆中均发现了(+)-儿茶素((+)-catechin, 9)、(-)-表儿茶素((-)-epicatechin, 91)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, 92)和表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, 93)。

表 2 食用西番莲中黄酮化合物

Table 2 Flavonoids compounds in edible *Passiflora* Linn.

苷元 Aglycone	苷键原子 C-C/C-O	苷 Glycoside	提取部位 Extracted part	参考文献 Ref.
木犀草素 Luteolin(1)	碳原子	木犀草素-6- <i>C</i> -羟基苯甲酰戊苷 Luteolin-6- <i>C</i> -hydroxybenzoylpentoside(10)	翅茎西番莲, 叶片、愈伤组织	29
		木犀草素-6- <i>C</i> -岩藻糖苷 Luteolin-6- <i>C</i> -fucoside(11)	紫皮百香果, 叶	21
		木犀草素-6- <i>C</i> - β - <i>D</i> -鸡纳糖苷 Luteolin-6- <i>C</i> - β - <i>D</i> -chinovoside(12)	黄果西番莲, 茎枝	22
		木犀草素-6- <i>C</i> - β - <i>L</i> -岩藻糖苷 Luteolin-6- <i>C</i> - β - <i>L</i> -fucoside(13)	黄果西番莲, 茎枝	22
		木犀草素-6- <i>C</i> - β - <i>D</i> -葡萄糖苷(异荛草素) Luteolin-6- <i>C</i> - β - <i>D</i> -glucoside(14)	西番莲属植物	35
		木犀草素-8- <i>C</i> - β - <i>D</i> -葡萄糖苷(荛草素) Luteolin-8- <i>C</i> - β - <i>D</i> -glucoside(15)	西番莲属植物	35
		木犀草素-8- <i>C</i> - β -牛膝吡喃葡萄糖苷 Luteolin-8- <i>C</i> - β -boivinopyranoside(16)	紫皮百香果, 茎叶	26,40
		木犀草素-8- <i>C</i> - β -洋地黄吡喃葡萄糖苷 Luteolin-8- <i>C</i> - β -digitoxopyranoside(17)	紫皮百香果, 茎叶	26,40
		木犀草素-8- <i>C</i> -脱氧己糖苷 Luteolin-8- <i>C</i> -deoxyhexoside(18)	紫皮百香果, 叶	21
		木犀草素-8- <i>C</i> -(6''乙酰基)- β - <i>D</i> -吡喃葡萄糖苷 Luteolin-8- <i>C</i> -(6''acetyl)- β - <i>D</i> -glucopyranoside(19)	香蕉西番莲, 果皮、果浆	37
		木犀草素-6,8-二- <i>C</i> -葡萄糖苷 Luteolin-6,8-di- <i>C</i> -glucoside(20)	紫皮百香果, 叶	21
		木犀草素-6,8-二- <i>C</i> - β - <i>D</i> -葡萄糖苷 Luteolin-6,8-di- <i>C</i> - β - <i>D</i> -glucopyranoside(21)	香蕉西番莲, 果皮	37
		木犀草素-6- <i>C</i> -脱氧己糖苷-8- <i>C</i> -戊糖苷 Luteolin-6- <i>C</i> -deoxyhexoside-8- <i>C</i> -pentoside(22)	紫皮百香果, 叶	21

续表 2 (Continued Tab. 2)

苷元 Aglycone	苷键原子 C-C/C-O	苷 Glycoside	提取部位 Extracted part	参考文献 Ref.
	碳原子	4'-甲氧基木犀草素-8-C- β -D-吡喃葡萄糖苷 4'-Methoxyluteolin-8-C- β -D-glucopyranoside (23)	香蕉西番莲, 全果	37
		4'-甲氧基木犀草素-8-C-(6"-乙酰基)- β -D-吡喃葡萄糖苷 4'-Methoxyluteolin-8-C-(6"-acetyl)- β -D-glucopyranoside (24)	香蕉西番莲, 叶	35, 37
		4'-甲氧基木犀草素-6, 8-二-C- β -D-吡喃葡萄糖苷 4'-Methoxyluteolin-6, 8-di-C- β -D-glucopyranoside (25)	香蕉西番莲, 全果	37
	氧原子	木犀草素-7-O-葡萄糖基脱氧己糖苷 Luteolin-7-O-glucosyldeoxyhexoside (26)	翅茎西番莲, 愈伤组织	29
		木犀草素-7-O-2-鼠李糖苷 Luteolin-7-O-2-rhamnosylglucoside (27)	紫皮百香果, 叶	20
		木犀草素-7-O-葡萄糖苷 Luteolin-7-O-glucoside (28)	<i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i> , 叶	33
		荭草素-2"-O-木糖苷 Orientin-2"-O-xyloside (29)	大果西番莲, 叶	83
		荭草素-2"-O-葡萄糖苷 Orientin-2"-O-glucoside (30)	大果西番莲, 叶	83
	碳原子及 氧原子	木犀草素-C-脱氧己糖苷-O-脱氧己糖苷 Luteolin-C-deoxyhexoside-O-deoxyhexoside (31)	紫皮百香果, 叶	21
		木犀草素-8-C- β -洋地黄吡喃糖基-4'-O- β -D-吡喃葡萄糖苷 Luteolin-8-C- β -digitoxopyranosyl-4'-O- β -D-glucopyranoside (32)	紫皮百香果, 茎叶	26, 40
		木犀草素-7-O-吡喃葡萄糖基-8-C-(6"乙酰基)-吡喃葡萄糖苷 Luteolin-7-O-glucopyranosyl-8-C-(6"acetyl)-glucopyranoside (33)	香蕉西番莲, 全果	37
		木犀草素-(7-O-吡喃葡萄糖苷)-8-C-吡喃葡萄糖苷 Luteolin-(7-O-glucopyranosil)-8-C-glucopyranoside (34)	香蕉西番莲, 全果	37
		木犀草素-8-C-(2-O-鼠李糖苷)-己糖苷 Luteolin-8-C-(2-O-rhamnosyl)-hexoside (35)	紫皮百香果, 果皮	28
芹菜素 Apigenin (2)	碳原子	芹菜素-6-C-葡萄糖苷(异牡荆素) Apigenin-6-C-glucoside (36)	西番莲属	35
		芹菜素-8-C-葡萄糖苷(牡荆素) Apigenin-8-C-glucoside (37)	西番莲属	35
		芹菜素-8-C-脱氧己糖苷 Apigenin-8-C-deoxyhexoside (38)	紫皮百香果, 叶	21
		芹菜素-8-C- β -牛膝吡喃葡萄糖苷 Apigenin-8-C- β -boivinopyranoside (39)	紫皮百香果, 茎叶	26
		芹菜素-8-C- β -洋地黄吡喃葡萄糖苷 Apigenin-8-C- β -digitoxopyranoside (40)	紫皮百香果, 茎叶	26
		芹菜素-8-C- β -二氧吡啶 Apigenin-8-C- β -dioxopyrine (41)	紫皮百香果, 果皮	30
		芹菜素-6, 8-C-二葡萄糖苷 Apigenin-6, 8-C-di-glucoside (42)	紫皮百香果, 果浆; 翅茎西番莲, 愈伤组织	21, 27, 29
		芹菜素-6-C-戊苷-8-C-葡萄糖苷 Apigenin-6-C-pentoside-8-C-glucoside (43)	翅茎西番莲, 愈伤组织	29
		芹菜素-8-C-(6"乙酰基)- β -D-吡喃葡萄糖苷 Apigenin-8-C-(6"acetyl)- β -D-glucopyranoside (44)	香蕉西番莲, 全果	37
		芹菜素-6-C- α -L-阿拉伯糖-8-C- α -D-葡萄糖苷(异夏佛塔苷) Apigenin-6-C- α -L-arabinose-8-C- α -D-glucoside (45)	西番莲属	35
		芹菜素-8-C- α -L-阿拉伯糖-6-C- α -D-葡萄糖苷(夏佛塔苷) Apigenin-8-C- α -L-arabinose-6-C- α -D-glucoside (46)	西番莲属	35
		芹菜素-O-鼠李糖苷 Apigenin-O-rhamnoside (47)	紫皮百香果, 果浆	27
		芹菜素-O-戊糖苷 Apigenin-O-pentoside (48)	紫皮百香果, 果浆	27

续表 2 (Continued Tab. 2)

苷元 Aglycone	苷键原子 C-C/C-O	苷 Glycoside	提取部位 Extracted part	参考文献 Ref.
	碳原子	牡荆素-2''-O-木糖苷 Vitexin-2''-O-xiloside (49)	大果西番莲, 叶	35, 83
		牡荆素-2''-O-鼠李糖苷 Vitexin-2''-O-rhamnoside (50)	翅茎、大果西番莲、 <i>P. edulis</i> f. <i>edulis</i> , 叶	33, 35
		牡荆素-2''-O-葡萄糖苷 Vitexin-2''-O-glucoside (51)	翅茎西番莲, 愈伤组织; 大果西番莲, 叶	29, 83
		牡荆素-6''-O-戊糖苷 Vitexin-6''-O-pentoside (52)	翅茎西番莲, 愈伤组织	29
芹菜素 Apigenin (2)	碳原子及 氧原子	芹菜素-C-脱氧己糖苷-O-己糖苷 Apigenin-C-deoxyhexoside-O-hexoside (53)	紫皮百香果, 叶	21
		芹菜素-6-C-葡萄糖苷-8-C-戊糖-7-O-葡萄糖苷 Apigenin-6-C-glucoside-8-C-pentoside-7-O-glucoside (54)	翅茎西番莲, 叶	29
		芹菜素 4'-O-β-吡喃葡萄糖基, 8-C-β-(6''乙酰基)-吡喃葡萄糖苷 Apigenin-4'-O-β-glucopyranosyl, 8-C-β-(6''acetyl)-glucopyranoside (55)	香蕉西番莲, 叶	39
		芹菜素 4'-O-β-吡喃葡萄糖苷-8-C-β-新橙皮糖苷 Apigenin-4'-O-β-glucopyranosyl-8-C-β-neohesperidoside (56)	香蕉西番莲, 叶	39
		芹菜素-5-O-β-D-吡喃葡萄糖苷, 8-C-(6''乙酰基)-β-D-吡喃葡萄糖苷 Apigenin-5-O-β-D-glucopyranosyl, 8-C-(6''acetyl)-β-D-glucopyranoside (57)	香蕉西番莲, 全果	37
白杨素 Chrysin (3)	碳原子	白杨素-6-C-己糖苷 Chrysin-6-C-hexoside (58)	紫皮百香果, 叶	21
		白杨素-6, 8-C-二己糖苷 Chrysin-6, 8-C-di-hexoside (59)	紫皮百香果, 叶; 黄果西番莲, 全果	21, 33
		白杨素-8-C-(2''-O-β-6-脱氧吡喃葡萄糖基)-β-D-吡喃葡萄糖苷 Chrysin-8-C-(2''-O-β-6-deoxyglucopyranosyl)-β-D-glucopyranoside (60)	紫皮百香果, 果皮	40
	氧原子	白杨素-7-O-β-D-吡喃葡萄糖 Chrysin-7-O-β-D-glucopyranoside (61)	紫皮百香果, 茎叶	26
	碳原子及 氧原子	白杨素-C-己糖基-6''-O-脱氧己糖苷 Chrysin-C-hexosyl-6''-O-deoxyhexoside (62)	紫皮百香果, 叶	21
		白杨素-C-脱氧己糖苷-O-己糖苷 Chrysin-C-deoxyhexoside-O-hexoside (63)	紫皮百香果, 叶	21
槲皮素 Quercetin (4)	氧原子	槲皮素-3-O-葡萄糖苷 Quercetin-3-O-glucoside (64)	紫皮百香果, 果皮	28
		槲皮素-3-O-芸香糖苷(芦丁) Quercetin-3-O-rutinoside (65)	紫皮、翅茎、甜果西番莲, 果皮、果浆	27-28, 42
		槲皮素-3-O-(乙酰基)-葡萄糖苷 Quercetin-3-O-(acetyl)-glucoside (66)	紫皮百香果, 果皮	28
		槲皮素-7-O-葡萄糖苷 Quercetin-7-O-glucoside (67)	紫皮百香果, 果皮	28
		槲皮素-3, 7-二-O-己糖苷 Quercetin-3, 7-di-O-hexoside (68)	紫皮百香果, 果皮	28
		槲皮素-3, 7-二-O-葡萄糖苷 Quercetin-3, 7-di-O-glucoside (69)	紫皮百香果, 果皮	28
		槲皮素-3'-O-葡萄糖苷-7-O-葡萄糖基脱氧己糖苷 Quercetin-3'-O-glucoside-7-O-glucosyldeoxyhexoside (70)	翅茎西番莲, 叶	29
		槲皮素-3-葡萄糖苷 Quercetin-3-glucoside (71)	紫皮、甜果、黄果西番莲, 果浆	12
		槲皮素-3-β-D-葡萄糖苷 Quercetin-3-β-D-glucoside (72)	西番莲属	84
山奈酚 Kaempferol (5)		山奈酚-3-O-葡萄糖苷 Kaempferol-3-O-glucoside (73)	紫皮百香果, 果皮	28
		3, 7, 4'-三-O-甲基山奈酚 3, 7, 4'-Tri-O-methylkaempferol (74)	龙珠果, 叶	45

续表 2 (Continued Tab. 2)

苷元 Aglycone	苷键原子 C-C/C-O	苷 Glycoside	提取部位 Extracted part	参考文献 Ref.
柚皮素 Naringenin (6)	氧原子	柚皮素-7- <i>O</i> -新橘皮糖苷 (柚皮苷) Naringenin-7- <i>O</i> -neohesperidoside (75)	紫皮百香果, 果浆	48
橙皮素 Hesperetin (7)		橙皮素-7- <i>O</i> -芸香糖苷 (橙皮苷) Hesperetin-7- <i>O</i> -rutinoside (76)	紫皮百香果, 果浆	27
		橙皮素-7- <i>O</i> -新橘皮糖苷 (新橙皮苷) Hesperetin-7- <i>O</i> -neohesperidoside (77)	紫皮百香果, 果浆	27
矢车菊素* Cyanidin		矢车菊素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷 Cyanidin-3- <i>O</i> -glucoside (78)	紫皮百香果, 果皮	52-54
		矢车菊素-3- <i>O</i> -芸香糖苷 Cyanidin-3- <i>O</i> -rutinoside (79)	紫皮百香果, 果皮	54
		矢车菊素-3-二葡萄糖苷-5-葡萄糖苷 Cyanidin-3-di-glucoside-5-glucoside (80)	紫皮百香果, 果皮	55
		矢车菊素-3,5-二葡萄糖苷 Cyanidin-3,5-di-glucoside (81)	紫皮百香果, 果皮、 花冠	55
		矢车菊素-3-(6''-丙二酰)葡萄糖苷 Cyanidin-3-(6''-malonyl) glucoside (82)	紫皮百香果, 果皮、 花冠	52,54-55
飞燕草素* Delphinidin		飞燕草素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷 Delphinidin-3- <i>O</i> -glucoside (83)	紫皮百香果, 果皮	55
		飞燕草素-3-(6''-丙二酰)葡萄糖苷 Delphinidin-3-(6''-malonyl) glucoside (84)	紫皮百香果, 果皮	55
芍药素* Peonidin		芍药素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷 Peonidin-3- <i>O</i> -glucoside (85)	紫皮百香果, 果皮	54
		芍药素-3-(6''-丙二酰)葡萄糖苷 Peonidin-3-(6''-malonyl) glucoside (86)	紫皮百香果, 果皮	55
锦葵色素* Malvidin		锦葵色素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷 Malvidin-3- <i>O</i> -glucoside (87)	紫皮百香果, 果皮	53
牵牛花素* Petunidin		牵牛花素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷 Petunidin-3- <i>O</i> -glucosid (88)	紫皮百香果, 果皮	53
花葵素 (天竺葵素) Pelargonidin (8)		天竺葵素-3- <i>O</i> -葡萄糖苷 Pelargonidin-3- <i>O</i> -glucoside (89)	紫皮百香果, 果皮	52-53
		天竺葵素-3- <i>O</i> -芸香糖苷 Pelargonidin-3- <i>O</i> -rutinoside (90)	紫皮百香果, 果皮	55
(+)-儿茶素 (+)-Catechin (9)	无	(-)-表儿茶素 (-)-Epicatechin (91)	紫皮、甜果、黄果西番莲, 果浆	12
		表没食子儿茶素 Epigallocatechin (92)	紫皮、甜果、黄果西番莲, 果浆	12
		表没食子儿茶素没食子酸酯 Epigallocatechin gallate (93)	紫皮、甜果、黄果西番莲, 果浆	12
	氧原子	儿茶素葡萄糖苷 Catechin glucoside (94)	香蕉西番莲, 果浆	57

注: * 表明该苷元在食用西番莲中未检测到, 仅检测到以其为苷元的黄酮苷。

Note: * Indicated that aglycones were not detected in edible *Passiflora* Linn.

2.6 酚酸

食用西番莲果汁、果籽、果皮和茎叶中还分离出其他酚酸类化合物 (图 3、表 3), 如邻羟基香豆酸 (*o*-hydroxycoumaric acid, 95)、丁香酸 (syringic acid, 96)、咖啡酸 (caffeic acid, 97) 和芥子酸 (sinapic acid, 98) 及 99 ~ 104^[12,42,48,58,59]。

3 生物活性

药用植物的生理功效通常与其自身次级代谢产物的生物活性有关^[60], 文献证明西番莲中的酚类成

分具有抗氧化、抗菌、抗炎等活性。此外一些文献还报道了西番莲的降血糖、神经保护、抗焦虑作用。

3.1 抗氧化活性

自由基产生过多或清除过慢, 都会造成组织器官不同程度的损伤, 并且会诱发癌症、心血管疾病等。西番莲属植物富含酚类物质, 是抗氧化剂的天然来源。紫皮百香果果浆对 2,2'-连氨基-双-(3-乙基苯并二氢噻唑啉-6-磺酸) 二铵盐自由基清除能力 (121.20 ± 4.88 mg VCE/100 g 果汁) 和氧自由基清

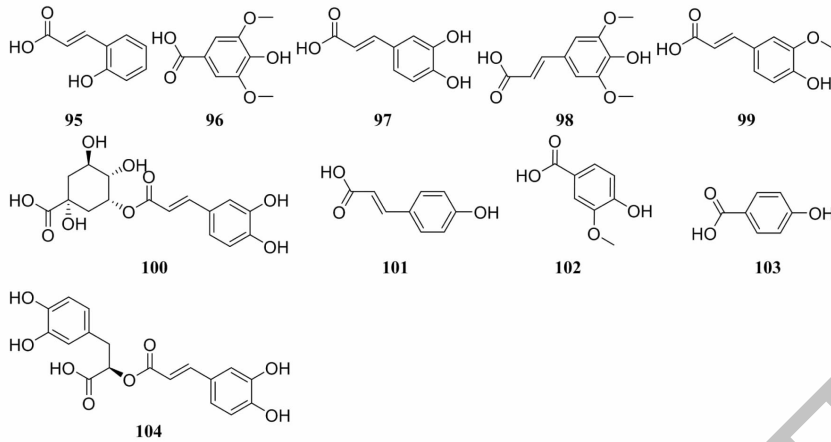


图3 食用西番莲中酚酸化合物结构式

Fig. 3 Phenolic acids in edible *Passiflora* Linn.

表3 食用西番莲中酚酸类化合物

Table 3 Phenolic acids in edible *Passiflora* Linn.

编号 No.	化合物名称 Compound	所属西番莲属植物 <i>Passiflora</i> Linn.	参考文献 Ref.
95	邻羟基香豆酸 <i>o</i> -Hydroxycoumaric acid	黄果西番莲, 果浆	59
96	丁香酸 Syringic acid	黄果西番莲, 果浆	59
97	咖啡酸 Caffeic acid	黄果、甜果西番莲, 果浆	58-59
98	芥子酸 Sinapic acid	黄果西番莲, 果浆	59
99	阿魏酸 Ferulic acid	紫皮、黄果、翅茎西番莲, 果浆	42, 48, 59
100	绿原酸 Chlorogenic acid	紫皮百香果, 果浆	43, 48
101	对羟基香豆酸 <i>p</i> -Coumaric acid	紫皮、甜果、翅茎西番莲, 果浆	12, 42
102	香草酸 Vanillic acid	翅茎西番莲, 果浆	42
103	4-羟基苯甲酸 4-Hydroxybenzoic acid	紫皮、黄果、翅茎西番莲, 果浆	42, 59
104	迷迭香酸 Rosmarinic acid	甜果西番莲, 果浆	12

除能力 ($608.65 \pm 44.93 \mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ 果汁) 与柠檬和草莓果浆的能力相当^[27]。Saravanan 等^[58]的研究发现, 西番莲抗氧化能力与其总酚总黄酮含量具有明显正相关性, 实验结果显示所有测试样本中, 甜果西番莲果浆的总酚和总黄酮含量最高, 且对 1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基、2, 2'-连氮基-双-(3-乙基苯并二氢噻唑啉-6-磺酸) 二铵盐和一氧化氮自由基均显示出最强清除能力。López-Vargas 等^[16]通过对黄果西番莲的一系列研究发现, 其抗氧化活性来自于黄酮类、儿茶素和其他酚类成分的共同作用, 且黄果西番莲的抗氧化能力与提取溶剂及提取部位相关, 如其果浆果籽 DMSO 提取物的抗氧化能力就远高于其水相提取物, 同时也高于其果皮 DMSO 提取物。García-Ruiz 等^[57]的研究证明, 香蕉西番莲果浆

的黄酮类成分和类胡萝卜素成分具有氧化自由基吸收能力, 且对 1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基具有清除能力, 并且活性成分含量越高, 自由基清除能力越强。Tao 等^[61]报道紫皮百香果全果黄酮类提取物对羟基自由基和超氧负离子自由基的清除能力随着样品溶液体积的增加而增加。He 等^[55]比较了紫皮百香果果皮花色苷粗提物、花色苷纯化样品和 Vc 的抗氧化活性, 结果显示花色苷纯化样品的抗氧化活性高于 Vc, 并且显著高于粗提物。

3.2 抗炎活性

炎症是一种生命体对有害刺激, 如机体组织损伤、微生物入侵等产生的复杂自然生化反应, 主要通过免疫细胞激活分子信号通路而发生, 其目的是维持机体平衡。Benincá 等^[62]考察了紫皮百香果叶片

水提取物对小鼠气囊炎模型的治疗效果,发现木犀草素(1)及其碳苷能够抑制血栓素和白三烯的合成,而异牡荆素(36)等芹菜素碳苷则通过抑制核因子NF- κ B的激活,干扰I κ B的磷酸化来抑制脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)激活的巨噬细胞诱导型一氧化氮 mRNA 的表达,从而使其水提取物达到抗炎效果。食用西番莲果皮是酚类的主要来源,所含有的芹菜素(2)、白杨素(3)、槲皮素(4)、异牡荆素(36)、牡荆素(37)和夏佛塔苷(46)等均具有抗炎活性^[27,63-66]。实验证明,对于2,4,6-三硝基苯磺酸(TNBS)诱导的结肠炎小鼠,长期服用紫皮百香果皮粉末能调节小鼠肠道菌群,增加菌群中有益菌数量,有效改善其肠道健康,具有治疗肠炎的效果^[67]。Wang等^[68]以LPS刺激小鼠腹腔巨噬细胞,建立了小鼠炎症模型,发现夏佛塔苷(46)等降低了炎症介质NO的释放量和炎性因子肿瘤坏死因子- α (tumour necrosis factor- α , TNF- α)的分泌量,是关键性的抗炎活性成分。

3.3 抗菌活性

1973年,Birmer等^[69]证明香蕉西番莲果皮提取物具有抗真菌和细菌活性;1997年,Qureshi等^[70]报道紫皮百香果对于小孢子菌(*Microsporum gypseum*)、毛癣菌(*Trichophyton terrestre*)和散囊菌(*Chrysosporium tropicum*)等真菌具有抑制作用。Dzotam等^[71]采用微量肉汤稀释法发现紫皮百香果果皮黄酮类提取物对大肠杆菌(*Escherichia coli*)和铜绿假单胞菌(*Pseudomonas aeruginosa*)等菌种均具有一定抗菌性,其中对*E. coli* AG100菌株抑制活性最好,最小抑菌浓度(minimum inhibitory concentration, MIC)为128 μ g/mL。此外,Liu等^[72]的研究表明木犀草素(1)、槲皮素(4)及其衍生物之间存在一定相互作用,从而对革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌和真菌具有广谱的抗菌活性。Su等^[73]考察木犀草素(1)、芹菜素(2)和槲皮素(4)对耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA)及甲氧西林敏感金黄色葡萄球菌(methicillin-sensitive *S. aureus*, MSSA)分离株的体外抗菌活性,得出相比于芹菜素,木犀草素和槲皮素对MRSA和MSSA均具有显著抗菌性,MIC值在31.2 ~ 125 μ g/mL之间,同时木犀草素和槲皮素联合使用对金黄色葡萄球菌表现出协同抗菌作用。Amin等^[74]不仅发现木犀草素(1)与槲皮素(4)联合使用能增强抗菌活性,还发现木犀草素与抗生素或槲皮素与抗生素对抑制MRSA具有互补作用,二者共同使用能抑制

菌种受损细胞壁的生物合成,达到抗菌效果。食用西番莲中含有以上酚类物质,因此可以开发为天然杀菌剂。

3.4 降血糖活性

糖尿病是一种危害人类健康,以血糖升高、糖代谢紊乱为特征的内分泌代谢性疾病。 α -淀粉酶和 α -糖苷酶是与2型糖尿病密切相关的关键酶,He^[55]报道紫皮百香果果皮花色苷提取物能够与两种关键酶结合,抑制其酶活力,达到阻止血糖升高,实现治疗2型糖尿病的效果。Salles等^[75]给由四氧嘧啶诱发糖尿病的大鼠注射紫皮百香果叶片提取液后,发现患病大鼠血糖、肌酐、总胆固醇、血液中糖化血红蛋白和糖基化终产物(advanced glycation end products, AGEs)的水平均显著降低,并且患病大鼠的肾功能有所改善,说明紫皮百香果叶片具有预防糖尿病慢性并发症的作用,进一步分析证明这些作用与提取物中存在的黄酮苷,特别是异荭草素(14)等活性成分有关。还有文献报道,木犀草素(1)可以通过上调超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)水平来调控活性氧(reactive oxygen species, ROS)水平,通过调节p53和哺乳动物雷帕霉素靶标(mammalian target of rapamycin, mTOR)依赖的细胞凋亡来治疗糖尿病^[76]。芹菜素(2)及其碳苷异牡荆素(36)和牡荆素(37)均可通过抑制醛糖还原酶(aldehyde reductase, AR)、AGEs及蛋白酪氨酸磷酸酶1B(protein tyrosine phosphatase 1B, PTP1B)来治疗糖尿病,Choi^[77]还揭示了黄酮碳苷对AR、AGEs、PTP1B抑制能力的差异,并指出差异的产生与化合物糖基化的位置有关。

3.5 神经保护作用

Xu等^[26]发现,紫皮百香果茎叶中的木犀草素(1)在50 μ mol/L浓度下能增加神经生长因子诱导的PC12神经突细胞比例。Tal等^[78]在2016年制备了紫皮百香果和一种西番莲杂交系428的全果粗提取物,将二者分别加入到HT4神经元培养基中,发现谷氨酸诱导的细胞死亡、线粒体去极化和谷胱甘肽耗竭均受到阻止,表明这两个品种的西番莲均具有较显著神经保护活性。Liu等^[79]将槲皮素(4)送服给糖尿病合并脑缺血再灌注损伤的大鼠三天后,观察到大鼠血糖、脑梗死面积及神经功能损伤减低,但神经元未受到氧化应激损伤,并且神经元密度还有所增加。Wang等^[80]发现荭草素(15)可通过抑制自噬作用对脑缺血再灌注损伤的大鼠实现神经保护。Wang^[81]指出牡荆素(37)能通过增加细胞外调节蛋

白激酶(extracellular regulated protein kinases, ERK) 1/2 磷酸化,降低 c-Jun 氨基末端激酶(c-Jun N-terminal kinase, JNK) 磷酸化,降低 P38 表达,下调促细胞凋亡蛋白 Bax 水平,上调抑制细胞凋亡蛋白 Bcl-2 水平,来抑制脑缺血再灌注小鼠模型中神经元的凋亡,实现神经保护。

3.6 抗焦虑和镇静活性

γ -氨基丁酸(γ -aminobutyric acid, GABA) 是一种抑制性神经递质,通过与受体 GABA_A 结合产生抑制性电位发挥作用,增加脑内 GABA 含量会产生抗焦虑、镇静、催眠等效果。事实上,多种西番莲属植物在西方国家被用于镇静、治疗焦虑。Miguel 等^[20]发现紫皮百香果叶片黄酮组分对小鼠具有抗焦虑作用,其中木犀草素-7-O-2-鼠李糖苷(**27**)在不影响小鼠运动的条件下,表现出抗焦虑活性。Barbosa 等^[82]表示大鼠腹腔注射翅茎西番莲叶片水提物 100、150 mg/kg 或紫皮百香果叶片水提物 50、100、150 mg/kg 可产生类似安定的抗焦虑效果,这是因为水提物中部分黄酮类化合物是 GABA_A 受体的兴奋剂,能使其发挥抗焦虑作用。Ayres 等^[33]分别给小鼠口服以黄酮碳苷为主要成分的不同种西番莲叶片水提物,发现 300 mg/kg 的紫皮百香果水提物及 100、300 mg/kg 的黄果西番莲水提物显著降低了小鼠焦虑水平,口服 1 000 mg/kg 的紫皮百香果水提物还缩短了小鼠移动距离,表明高剂量的黄酮碳苷具有镇静活性。Gazola 等^[83]发现患病大鼠口服大果西番莲叶片水提物后,其行为学测试展示出抗焦虑活性,而口服其果皮水提物后,则延长了乙醚诱导的催眠时长,展示出镇静活性。进一步实验证明大果西番莲水提物的镇静活性与黄酮含量呈正相关,且主要是牡荆素-2''-O-木糖苷(**49**)作用于 GABA 系统,发挥了相关作用。

4 结语

食用西番莲是酚类成分的天然宝库,摄入后具有预防疾病,增强身体素质等益处。已有研究表明除了直接鲜食,这些酚类化合物更具有开发为满足不同人群对于相关药品和功能性食品个性化选择的潜力。国内外研究者关注了食用西番莲的酚类成分,测定了总酚、总黄酮含量和生物活性,但已有研究均不充足,需要深入探究以下问题:1)食用西番莲中已发现的活性化合物以黄酮碳苷和氧苷为主,但目前其总黄酮或总酚含量测定均以芦丁或山奈酚为标准品进行,这不能全面代表并反映食用西番莲的酚类化合物含量,因此需研究和建立以荜草素、夏

佛塔苷等主要黄酮碳苷为标准品的总酚含量测定方法,同时还应建立这些黄酮碳苷或氧苷自身在西番莲中的含量测定方法,为高质量食用西番莲的培育以及相关产品开发提供科学数据支撑;2)现有食用西番莲酚类化合物活性研究多集中在粗提物上,无法明确生物活性的具体物质基础及其调控通路,因此需重视化合物的分离纯化,并深度探究化合物的活性作用机制,并确定其构效关系,为食用西番莲的科学利用提供依据;3)食用西番莲全果酚类成分丰富,现有研究多集中在其果浆上,对茎叶、果皮的加工利用度较低,今后需重视这些部位中酚类物质的研究,以实现天然资源的高效利用。

参考文献

- 1 Carvalho DSF, et al. Chemical composition and antioxidant capacity of Brazilian *Passiflora* seed oils [J]. J Food Sci, 2015, 80: C2647-2654.
- 2 Ichimura T, et al. Antihypertensive effect of an extract of *Passiflora edulis* rind in spontaneously hypertensive rats [J]. Biosci Biotech Bioch, 2006, 70: 718-721.
- 3 Zhou YJ, et al. Update review of *Passiflora* [J]. China J Chin Mater Med(中国中药杂志), 2008, 33: 1789-1793.
- 4 Zhao RR, et al. Progress on the research of anxiolytic ingredients and the mechanisms of *Passiflora* Linn. [J]. Food Drug (食品与药品), 2011, 13: 354-357.
- 5 Dhawan K, et al. Anti-anxiety studies on extracts of *Passiflora incarnata* Linnaeus [J]. J Ethnopharmacol, 2001, 78: 165-170.
- 6 He ZC. The emerging tropical advanced beverage fruit to be developed urgently-egg fruit [J]. Fujian Sci Technol Trop Crops(福建热作科技), 1986, 12(2): 11-13.
- 7 Wang BM. Nutritional characteristics and cultivation management measures of passion fruit [J]. China Fruit Veg(中国果菜), 2020, 40(7): 111-113.
- 8 Xing XN, et al. Current status, existing problems and development suggestions of Guangxi passion fruit industry [J]. J South Agr(南方农业学报), 2020, 51: 1240-1246.
- 9 Singh B, et al. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: a review [J]. Food Res Int, 2017, 101: 1-16.
- 10 Corrêa RCG, et al. The past decade findings related with nutritional composition, bioactive molecules and biotechnological applications of *Passiflora* spp. (passion fruit) [J]. Trends Food Sci Tech, 2016, 58: 79-95.
- 11 Yang LM, et al. Research progress on chemical structures and pharmacological activities of natural phloro-glucinols [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2019, 31: 1656-

- 1667.
- 12 Carmona-Hernandez JC, et al. Polyphenol extracts from three colombian *Passifloras* (passion fruits) prevent inflammation-induced barrier dysfunction of Caco-2 cells [J]. *Molecules*, 2019, 24(24):4614.
- 13 Macoris MS, et al. The influence of ripening stage and cultivation system on the total antioxidant activity and total phenolic compounds of yellow passion fruit pulp [J]. *J Sci Food Agr*, 2012, 92:1886-1891.
- 14 Zeraik ML, et al. Evaluation of the antioxidant activity of passion fruit (*Passiflora edulis* and *Passiflora alata*) extracts on stimulated neutrophils and myeloperoxidase activity assays [J]. *Food Chem*, 2011, 128:259-265.
- 15 Gomes SVF, et al. Accelerated solvent extraction of phenolic compounds exploiting a Box-Behnken design and quantification of five flavonoids by HPLC-DAD in *Passiflora* species [J]. *Microchem J*, 2017, 132:28-35.
- 16 López-Vargas JH, et al. Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products [J]. *Food Res Int*, 2013, 51:756-763.
- 17 Konta EM, et al. Evaluation of the antihypertensive properties of yellow passion fruit pulp (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) in spontaneously hypertensive rats [J]. *Phytother Res*, 2014, 28(1):28-32.
- 18 Shao Y, et al. Research progress on C-glycosyl flavones for protection of myocardial ischemia [J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2015, 46:128-139.
- 19 Jiang N, et al. Flavones: from biosynthesis to health benefits [J]. *Plants*, 2016, 5(2):27.
- 20 Miguel C, et al. Neuropharmacological evaluation of the putative anxiolytic effects of *Passiflora edulis* Sims, its sub-fractions and flavonoid constituents [J]. *Phytother Res*, 2006, 20:1067-1073.
- 21 Farag MA, et al. Comparative metabolite profiling and fingerprinting of genus *Passiflora* leaves using a multiplex approach of UPLC-MS and NMR analyzed by chemometric tools [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2016, 408:3125-3143.
- 22 Zhou YJ, et al. Studies on the chemical constituents of *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* [J]. *J Chin Med Mater* (中药材), 2009, 32:1686-1688.
- 23 Chagas M, et al. Bioinspired oxidation in the CYP of isomers orientin and isoorientin using Salen complexes [J]. *Rapid Commun Mass Sp*, 2020, 34:1-11.
- 24 Zou JB, et al. HPLC determination of isorientin and orientin in *Passiflora incarnata* extract simultaneously [J]. *Pharm J Chin PLA* (解放军药理学学报), 2009, 25:443-445.
- 25 Wosch L, et al. Comparative study of *Passiflora taxa* leaves: II. A chromatographic profile [J]. *Rev Bras Farmacogn*, 2017, 27(1):40-49.
- 26 Xu FQ, et al. C-dideoxyhexosyl flavones from the stems and leaves of *Passiflora edulis* Sims [J]. *Food Chem*, 2013, 136(1):94-99.
- 27 Spínola V, et al. Identification and quantification of phenolic compounds of selected fruits from Madeira Island by HPLC-DAD-ESI-MS(n) and screening for their antioxidant activity [J]. *Food Chem*, 2015, 173:14-30.
- 28 Medina S, et al. Quantification of phytoprostanes bioactive oxylipins and phenolic compounds of *Passiflora edulis* Sims shell using UHPLC-QqQ-MS/MS and LC-IT-DAD-MS/MS [J]. *Food Chem*, 2017, 229:1-8.
- 29 Hadas E, et al. The use of extracts from *Passiflora* Spp. in helping the treatment of acanthamoebiasis [J]. *Acta Pol Pharm*, 2017, 74:921-928.
- 30 Li Y, et al. In vivo antioxidant capacity and flavonoid composition of the seeds of *Passiflora edulis* Sims [J]. *Food Sci* (食品科学), 2020, 41(1):203-208.
- 31 Glotzbach B, et al. Flavenoids from *Passiflora incarnata* L., *Passiflora quadrangularis* L. and *Passiflora pulchella* H. B. V. A chromatographic study [J]. *Planta Med*, 1968, 16(1):1-7.
- 32 Oga S, et al. Pharmacological trials of crude extract of *Passiflora alata* [J]. *Planta Med*, 1984, 50:303-306.
- 33 Ayres ASFSJ, et al. Comparative central effects of the aqueous leaf extract of two populations of *Passiflora edulis* [J]. *Rev Bras Farmacogn*, 2017, 25:499-505.
- 34 Pereira CA, et al. Distinction of the C-glycosylflavone isomer pairs orientin/isoorientin and vitexin/isovitexin using HPLC-MS exact mass measurement and in-source CID [J]. *Phytochem Anal*, 2005, 16:295-301.
- 35 Costa GM, et al. Chemical profiles of traditional preparations of four south American *Passiflora* species by chromatographic and capillary electrophoretic techniques [J]. *Rev Bras Farmacogn*, 2016, 26:451-458.
- 36 Mareck U, et al. Identifizierung von passionsfruchtsaft in fruchtprodukten mittels HPLC [J]. *Z Lebensm Unters Forsch*, 1990, 191:194-198.
- 37 Simirgiotis M, et al. The *Passiflora tripartita* (banana passion) fruit: a source of bioactive flavonoid C-glycosides isolated by HSCCC and characterized by HPLC-DAD-ESI/MS/MS [J]. *Molecules*, 2013, 18:1672-1692.
- 38 Hivrale AU. Pharmacological studies of *Passiflora* sp. and their bioactive compounds [J]. *Plant Sci*, 2010, 4:417-426.
- 39 Castellanos L, et al. Metabolic fingerprinting of banana passion fruits and its correlation with quorum quenching activity

- [J]. *Phytochemistry*, 2020, 172:112272.
- 40 Hu Y, et al. A new C-glycosyl flavone and a new neolignan glycoside from *Passiflora edulis* Sims peel[J]. *Nat Prod Res*, 2018, 32:2312-2318.
- 41 Lutomski J, et al. Pharmacochemical investigations on raw materials genus *Passiflora* [J]. *Planta Med*, 1975, 27: 112-121.
- 42 Rotta EM, et al. Determination of phenolic compounds and antioxidant activity in passion fruit pulp (*Passiflora* spp.) using a modified QuEChERS method and UHPLC-MS/MS [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2018, 100:397-403.
- 43 Ulubelen A, et al. C-Glycosyl flavonoids from *Passiflora foetida* var. *hispidula* and *P. foetida* var. *hibiscifolia* [J]. *J Nat Prod*, 1982, 45(1):103.
- 44 Reis LCRD, et al. Antioxidant potential and physicochemical characterization of yellow, purple and orange passion fruit [J]. *J Food Sci Tech*, 2018, 55:2679-2691.
- 45 Echeverri F, et al. Ermanin: An insect deterrent flavonoid from *Passiflora foetida* resin [J]. *Phytochemistry*, 1991, 30: 153-155.
- 46 Liang H, et al. Reviews on flavanone compounds synthesis research [J]. *J Pharm Pract (药学实践杂志)*, 2015, 33: 97-101.
- 47 Li PB, et al. An overview of pharmacological actions of naringin and its aglycone naringenin on respiratory diseases [J]. *J Pharm Res (药学研究)*, 2020, 39:249-255.
- 48 Deng NQ, et al. Analysis of conversion of phenolic compounds in passion fruit juice fermentation by HPLC [J]. *J Guangdong Univ Petrochem Tech (广东石油化工学院学报)*, 2019, 29(1):41-44.
- 49 Shi LL, et al. Advances in research of anti-tumour medicinal value of hesperetin [J]. *Chin J Ethnomed Ethnopharm (中国民族民间医药)*, 2017, 26(9):66-71.
- 50 Qiao YY, et al. Research progress of anthocyanin sources, structural characteristics and physiological functions [J]. *Chin Tradit Pat Med (中成药)*, 2019, 41:388-392.
- 51 Hu M, et al. A Study on extraction process and stability of anthocyanin in peel of *Passiflora edulis* skin [J]. *Acta Agr Univ Jiangxi (江西农业大学学报)*, 2018, 40:825-834.
- 52 Kidoy L, et al. Anthocyanins in fruits of *Passiflora edulis* and *P. suberosa* [J]. *J Food Compos Anal*, 1997, 10(1):49-54.
- 53 Peng B. Study on extraction and separation of pigment from *Passiflora edulis* peel and its structure [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University (福建农林大学), 2012.
- 54 Zhu H. Study on anthocyanin components of *Passiflora edulis* and polypeptide components of Harbin red intestine [D]. Suzhou: Soochow University (苏州大学), 2015.
- 55 He D, et al. Identification and bioactivity evaluation of anthocyanins from *Passiflora edulis* Sims peel [J]. *Food Sci (食品科学)*, 2020, 41(11):57-63.
- 56 Liu YL. Advances in chemical research of flavanols [J]. *Acta Pharm Sin (药学学报)*, 1980, 15(1):50-64.
- 57 García-Ruiz A, et al. Banana passion fruit (*Passiflora mollissima* (Kunth) L. H. Bailey): microencapsulation, phytochemical composition and antioxidant capacity [J]. *Molecules*, 2017, 22(1):85.
- 58 Saravanan S, et al. *In vitro* antioxidant, antimicrobial and anti-diabetic properties of polyphenols of *Passiflora ligularis* Juss. fruit pulp [J]. *Food Sci Hum*, 2014, 3(2):56-64.
- 59 Talcott ST, et al. Phytochemical composition and antioxidant stability of fortified yellow passion fruit (*Passiflora edulis*) [J]. *J Agr Food Chem*, 2003, 51:935-941.
- 60 Liang HQ, et al. Advances in studies on endophytes and polyphenols in *Morinda citrifolia* fruits [J]. *Mod Food Sci Technol (现代食品科技)*, 2019, 35(11):310-319.
- 61 Tao YY, et al. Extraction and antioxidant ability of flavonoids from passion fruit [J]. *Food Res Dev (食品研究与开发)*, 2014, 35(17):25-29.
- 62 Benincá JP, et al. Evaluation of the anti-inflammatory efficacy of *Passiflora edulis* [J]. *Food Chem*, 2007, 104:1097-1105.
- 63 Liu SW, et al. Advances in the pharmacological effects of quercetin [J]. *Chin J Lung Dis (中华肺部疾病杂志)*, 2020, 13(1):104-106.
- 64 Yu JH, et al. Research progress of functional ingredients and biological activity of *Apium graveolens* L. [J]. *Jiangsu Agr Sci (江苏农业科学)*, 2019, 47(7):5-10.
- 65 Wang J, et al. Progress in structure modifications and biological activities of chrysin derivatives [J]. *Chem Reag (化学试剂)*, 2018, 40:225-230.
- 66 Cheng JZ, et al. Study on analgesic and anti-inflammatory effects of vitexin [J]. *Guide Chin Med (中国医药指南)*, 2016, 14(31):29-30.
- 67 Cinthla BBC, et al. *Passiflora edulis* peel intake and ulcerative colitis: approaches for prevention and treatment [J]. *Exp Biol Med*, 2014, 239:542-551.
- 68 Wang JJ, et al. Analysis of schaftoside and its anti-inflammatory activity in the water extracts from 8 *Lotus Plumule* [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol (中国食品学报)*, 2018, 18(3):291-298.
- 69 Birner J, et al. Passicol, an antibacterial and antifungal agent produced by *Passiflora* plant species: preparation and physicochemical characteristics [J]. *Antimicrob Agents Ch*, 1973, 3(1):105-109.
- 70 Qureshi S, et al. *In vitro* evaluation of inhibitory nature of extracts of 18-plant species of Chhindwara against 3-keratinophilic fungi [J]. *Hindustan Antibiot Bull*, 1997, 39(1-4):56-

- 60.
- 71 Dzotam JK, et al. Antibacterial and antibiotic-modifying activities of three food plants (*Xanthosoma mafaffa* Lam., *Moringa oleifera* (L.) Schott and *Passiflora edulis* Sims) against multidrug-resistant (MDR) Gram-negative bacteria [J]. BMC Complem Altern M, 2016, 16:9.
- 72 Liu H, et al. Flavonoids from *Halostachys caspica* and their antimicrobial and antioxidant activities [J]. Molecules, 2010, 15:7933-7945.
- 73 Su YL, et al. Studies of the *in vitro* antibacterial activities of several polyphenols against clinical isolates of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. Molecules, 2014, 19:12630-12639.
- 74 Amin MU, et al. Effects of luteolin and quercetin in combination with some conventional antibiotics against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. Int J Mol Sci, 2016, 17(11):1947.
- 75 Salles BCC, et al. *Passiflora edulis* leaf extract; evidence of antidiabetic and antiplatelet effects in rats [J]. Biol Pharm Bull, 2020, 43:169-174.
- 76 Ambasta RK, et al. Can luteolin be a therapeutic molecule for both colon cancer and diabetes? [J]. Brief Funct Genomics, 2018, 18:230-239.
- 77 Choi JS, et al. Effects of C-glycosylation on anti-diabetic, anti-Alzheimer's disease and anti-inflammatory potential of apigenin [J]. Food Chem Toxicol, 2014, 64:27-33.
- 78 Tal Y, et al. The neuroprotective properties of a novel variety of passion fruit [J]. J Funct Foods, 2016, 23:359-369.
- 79 Liu XF, et al. Neuroprotective effect of quercetin on diabetic rats with cerebral ischemia-reperfusion injury [J]. West Chin J Pharm Sci (华西药理学杂志), 2019, 34:654-658.
- 80 Wang XR, et al. The neural protective effect of orientin in rats undergoing cerebral ischemiareperfusion [J]. Chin J Clin Pharmacol (中国临床药理学杂志), 2018, 34:565-568.
- 81 Wang YN. Neuroprotective effect and mechanisms of vitexin on focal cerebral ischemia/reperfusion injury in mice [D]. Hefei: Anhui Medical University (安徽医科大学), 2015.
- 82 Barbosa PR, et al. The aqueous extracts of *Passiflora alata* and *Passiflora edulis* reduce anxiety-related behaviors without affecting memory process in rats [J]. J Med Food, 2008, 11:282-288.
- 83 Gazola AC, et al. The sedative activity of flavonoids from *Passiflora quadrangularis* is mediated through the GABAergic pathway [J]. Biomed Pharmacother, 2018, 100:388-393.
- 84 Shanmugam S, et al. UHPLC-QqQ-MS/MS identification, quantification of polyphenols from *Passiflora subpeltata* fruit pulp and determination of nutritional, antioxidant, α -amylase and α -glucosidase key enzymes inhibition properties [J]. Food Res Int, 2018, 108:611-620.

《天然产物研究与开发》青年编委会

青年编委(以姓氏笔划为序)

Members

王红兵	戈惠明	尹文兵	尹 胜	吕兆林	刘相国
WANG Hongbing	GE Huiming	YIN Wenbing	YIN Sheng	LV Zhaolin	LIU Xiangguo
孙昊鹏	孙桂波	李良成	李国友	邱 莉	汪海波
SUN Haopeng	SUN Guibo	LI Liangcheng	LI Guoyou	QIU Li	WANG Haibo
沐万孟	张炳火	陈益华	林昌俊	欧阳杰	易华西
MU Wanmeng	ZHANG Binghuo	CHEN Yihua	LIN Changjun	OU Yangjie	YI Huaxi
罗应刚	周 文	胡友财	袁 涛	夏永刚	高慧敏
LUO Yinggang	ZHOU Wen	HU Youcai	YUAN Tao	XIA Yonggang	GAO Huimin
唐金山	黄胜雄	韩秀珍	韩淑燕	曾克武	蓝蔚青
TANG Jinshan	HUANG Shengxiong	HAN Xiuzhen	HAN Shuyan	ZENG Kewu	LAN Weiqing
廖晨钟	薛永波				
LIAO Chenzhong	XUE Yongbo				