

# 草莓多酚类植物化学物研究进展

程 然, 生吉萍\*

(中国人民大学农业与农村发展学院, 北京 100782)

**摘 要:** 草莓是世界上栽培最广泛的水果之一, 具有很高的营养价值和经济价值。草莓中富含维生素、矿物质、膳食纤维等传统的营养成分, 而且其中的多酚类植物化学物(主要为草莓酚酸类黄酮、草莓鞣花单宁、草莓原花青素、草莓花青素等)具有良好的抗氧化、抗衰老、抗炎症、保护皮肤、改善消化系统病理学状况、预防慢性非传染性疾病(如高血压、高血脂、心脑血管系统疾病等)、参与细胞信号流、调控转录因子及与细胞代谢和存活相关基因的表达等功能。众多研究表明, 增加这类物质的摄入对于人类保健和一些疾病预防有着重要的作用。本文就近年来草莓果实中主要的功能性成分及对人体健康的功用进行了综述, 主要集中于多酚类植物化学物, 旨在为草莓功能性成分的研究提供综合信息。

**关键词:** 草莓; 抗氧化; 多酚类植物化学物; 健康

## Research progress on polyphenolic phytochemicals of strawberry fruits

CHENG Ran, SHENG Ji-Ping\*

(School of Agricultural Economics and Rural Development, Renmin University of China, Beijing 100782, China)

**ABSTRACT:** Strawberry, which is one of the most widely cultivated fruits in the world, has great nutritional and economic value. Strawberry is rich in vitamins, minerals, dietary fiber and other traditional nutritional components, as well as antioxidant compounds and bioactive compounds (mainly strawberry flavonoids, ellagitannin, strawberry anthocyanins and procyanidins *etc.*) are good at anti-oxidation, anti-aging, anti-inflammatory, skin protection, improving the digestive system pathematology status, the prevention of chronic non-communicable diseases (such as hypertension, hyperlipidemia, and cardiovascular system diseases, *etc.*), involving in cell signal flow, regulation of transcription factors and cell metabolism and survival related gene expression and other functions. What's more, the usefulness of a diet rich in these components on human health and the prevention of chronic non-communicable disease had been widely recognized. This paper had the main objective of reviewing current information about the antioxidant compounds and bioactive compounds of strawberry and the effect on human health, mainly including polyphenolic phytochemicals, aiming to provide comprehensive information for the research of strawberry functional components.

**KEY WORDS:** strawberry; antioxidant; polyphenolic phytochemicals; health

基金项目: 国家“973”计划项目(2013CB127106)

**Fund:** Supported by the National Basic Research Program of China (973 Program) (2013CB127106)

\*通讯作者: 生吉萍, 博士, 教授, 主要研究方向为食品科学、食品安全与管理。E-mail: shengjiping@126.com

\*Corresponding author: SHENG Ji-Ping, Professor, School of Agricultural Economics and Rural Development, No.59, Zhongguancun Street, Haidian District, Beijing 100782, China. E-mail: shengjiping@126.com

## 1 引言

草莓(*Fragaria ananassa* Duch)是蔷薇科草莓属多年生草本、常绿莓果植物,别名凤梨草莓,在园艺学上属于小浆果,是世界七大水果之一<sup>[1]</sup>。草莓在欧洲享有“水果皇后”、“神奇之果”的美誉。它不仅色泽美丽,清香可口,而且富含维生素、矿物质和膳食纤维等营养性成分,尤其是含有相当数量的功能性成分,如多酚类植物化学物质(酚酸类黄酮、单宁、木酚素、花色苷等)等,具有良好的清除自由基、抗氧化能力<sup>[2-6]</sup>。研究表明,草莓抗氧化能力是苹果、桃、梨、番茄、柑橘和猕猴桃等园艺产品的2~11倍<sup>[7]</sup>。中医学认为,草莓味甘酸、性凉,能润肺生津、健脾和胃、补血益气、凉血解毒,适用于肺热咳嗽、食欲不振、小便短少、暑热烦渴等症,对动脉硬化、高血压、冠心病、坏血病、结肠癌等疾病亦有辅助疗效<sup>[5,8]</sup>。现代食品科学的大量研究表明,人类健康与饮食有着密不可分的联系<sup>[6,9]</sup>。水果中的天然抗氧化物质能抑制细胞内氧化反应的发生,减轻自由基对脂、脂蛋白和DNA的氧化损伤,从而减少机体损伤和疾病的发生<sup>[10,11]</sup>。随着天然抗氧化剂的开发以及多酚类植物化学物食用安全、功能多样等特点的发现,草莓中的多酚类植物化学物逐渐成为研究的热点,受到学者和消费者的广泛关注。本文通过对草莓中多酚类植物化学物及草莓与人类健康的最新研究进行较为系统地综述,以期为后续的研究提供一定的参考。

## 2 草莓中营养性成分

草莓是一种极具营养价值和经济价值的健康食品,热量很低,且是维生素和矿物质的良好来源。草莓中含有极其丰富的抗坏血酸(V<sub>C</sub>),200g草莓甚至可以满足我国18岁以上成年人的V<sub>C</sub>每日推荐摄入量<sup>[12]</sup>。草莓还是叶酸的最佳天然来源之一,叶酸是一碳单位转移酶的辅酶,还参与了氨基酸代谢、核酸代谢及血红蛋白和甲基化合物的合成,对孕妇尤其重要。300g草莓中所含的锰、钾可以分别满足我国18岁以上成年人每日推荐摄入量20%、5%以上的需求。其他矿物元素如碘、镁、铜、铁、磷等也十分丰富,如表1所示。

## 3 多酚类植物化学物质

多酚类化合物是指分子结构中有若干个酚羟基的植物成分的总称,包括黄酮类、单宁类、酚酸类以及花色苷类等,是在植物性食物中发现的、具有潜在促进健康作用的化合物。据报道<sup>[14]</sup>,新版《中国居民膳食营养素参考摄入量》中将首次提出“植物非营养素”对人体的重要调节作用。许多研究表明,多酚类化合物的保健功效与其良好的抗氧化和抗炎作用是分不开的<sup>[15]</sup>,草莓多酚类化合物还具备直接或间接的抗菌、抗过敏、抗高血压等功效,此外还能够抑制某些酶类及其受体活动的功能<sup>[14]</sup>。现在有更多的证据指出,多酚类化合物还是信号分子,影响细胞功能和基因的表达,并直接影响着消化系统功能<sup>[14,16-17]</sup>。

表1 新鲜草莓的营养组成(每100g)<sup>[5,13]</sup>

Table 1 Nutrient composition of fresh strawberries

碳水化合物	估计值	矿物质	含量	中国居民膳食营养素参考摄入量(18岁)	维生素	含量	中国居民膳食营养素参考摄入量(18岁)
水/g	90.95	钙/mg	16.00	800	VC/mg	58.80	100
能量/kcal	32.00	铁/mg	0.41	15~20	VB <sub>1</sub> /mg	0.02	1.3~1.4
蛋白质/g	0.67	镁/mg	13.00	350	VB <sub>2</sub> /mg	0.02	1.2~1.4
灰分/g	0.40	磷/mg	24.00	700	尼克酸/mg	0.39	13~14
总脂/g	0.30	钾/mg	153.00	2000	泛酸/mg	0.13	5.0
碳水化合物/g	7.68	钠/mg	1.00	2200	VB <sub>6</sub> /mg	0.05	1.2
糖类/g	4.89	锌/mg	0.14	12~15	叶酸/ $\mu$ g	24.00	400
蔗糖/g	0.47	铜/mg	0.048	2.0	胆碱/mg	5.75	450
葡萄糖/g	1.99	锰/mg	0.39	3.5	VA, RAE/ $\mu$ g	1.00	700~800
果糖/g	2.44	硒/ $\mu$ g	0.40	50	叶黄素+玉米黄质/ $\mu$ g	26.00	
膳食纤维/g	2.00				VE, $\alpha$ -生育酚/mg	0.29	14
					VK, 叶绿醌/ $\mu$ g	2.20	

多酚类化合物成分的含量随草莓种类的不同而显著不同, Aaby 等研究表明<sup>[18]</sup>, 大部分草莓品种中花青素含量最高(8.5~65.9 mg/100 g fw), 其次是黄烷-3-醇(11~45 mg/100 g fw)和鞣花单宁(7.7~18.2 mg/100 g fw), 黄酮醇、鞣花酸苷等含量很低。刘文旭等<sup>[19]</sup>通过研究草莓、黑莓、蓝莓三种小浆果发现, 小浆果果渣中的总酚、总黄酮、原花青素含量及总抗氧化能力(TAC)均高于全果和果汁, 即果渣 > 全果 > 果汁。许多研究显示<sup>[19-21]</sup>, 草莓的总抗氧化能力与其总酚含量、总黄酮含量及原花青素含量存在明显的正相关关系, 其中与总酚含量的相关性最显著。不同时期采收的草莓果实的抗氧化活性的变化也与果实酚类物质含量的变化有关<sup>[22-23]</sup>。草莓中主要的多酚类化合物见下表 2。

### 3.1 花青素功能及代谢

花青素(anthocyanin)也称为花色苷, 是花和果实中的主要色素, 属于水溶性酚类物质, 主要以糖苷的形式存在于表皮细胞的液泡内, 目前从不同品种的草莓中已经分离出了 25 种以上的花青素色素成分<sup>[24]</sup>。其基本化学结构由 2-苯基苯并吡喃阳离子, 即花青素核组成, 花青素核结构中的双键能吸收可见光而呈一定的颜色<sup>[25]</sup>。花青素核的苯环-C3 桥-苯环是发色基团, 因取代基种类及位置不同而形成了不同颜色的花青素, 有红、紫、粉、蓝色等, 大约 88% 的被子植物的花颜色是由花青素决定的<sup>[26]</sup>。有研究表明, 草莓花青素能提高视觉灵敏性、抑制脂质过氧化、抗衰老、防止血小板聚集、维持血管正常的通透性、预防糖尿病<sup>[21]</sup>, 另外, 还可以抗癌、抗动脉硬化、抗突变和抗辐射, 对皮肤也有一定的保健作用<sup>[22]</sup>。

苯丙氨酸是类黄酮类生物合成的直接前体, 花青素是在细胞质中从苯丙氨酸经一系列的酶促反应合成, 经不同的羟基化、糖基化、甲基化、酰基化修饰后被转运到液泡中予以汇集<sup>[22,27]</sup>。但是一些人体中花青素的生物利用度研究显示<sup>[5]</sup>, 这些成分的吸收是很少的: 大约仅为食用量的 0.1%或更少, 一定程度上是因为花青素受 pH 的影响会出现结构重组。红花色基元阳离子在 pH 1~3 时占主导地位, 这时少量会被胃快速吸收; 但当 pH≥4 时无色的伪基甲醇伴随着少量的无色查尔酮假碱和蓝色的醌基占支配地位, 此时只有少量被空肠吸收, 大部分发生共轭反应而未被吸收进入结肠, 被微生物分解转化<sup>[19-20]</sup>。而这样的过程正是花青素在人体消化吸收过程中从低 pH 的胃到 pH 趋于中性的小肠中所发生的变化。如下图 1 所示。

### 3.2 黄酮类化合物功能及代谢

黄酮类化合物(flavonoids)也称生物类黄酮(bioflavonoids), 是具有色酮环与苯环为基本结构的一类化合物的总称<sup>[28]</sup>, 属于植物次级代谢产物<sup>[29]</sup>。天然黄酮类化合物是植物体多酚类的内信号分子及中间体或代谢物, 包括黄酮(flavone)、类黄酮(flavonoid)、异黄酮(isoflavone)、查尔酮(chalcone)等<sup>[30]</sup>。据估计, 经植物光合作用所固定的碳约有 2%转变成黄酮类化合物, 或与其紧密相关的其他化合物<sup>[31]</sup>。黄酮类化合物种类繁多, 几乎存在于所有绿色植物中, 部分以游离的形式存在。生物类黄酮是自由基抑制剂和抗氧化剂, 能够通过抗自由基作用直接抑制癌细胞生长、抗致癌因子, 还可以保护细胞免受致癌因子的损坏<sup>[32,33]</sup>。槲皮素(querceetin)在毫摩尔浓度下就可抑制癌细胞生长发育阶段所必须的

表 2 草莓中主要多酚类化合物的含量<sup>[5]</sup>  
Table 2 Concentration of the main phenolic compounds in strawberries

种类	组成	含量(mg/100 g fw)	含量占比
花青素	矢车菊素-3-葡萄糖苷	1.10	41%
	花葵素-3-葡萄糖苷	25.30	
	花葵素-3-芸香糖苷	1.10	
	花青素-3-丙二酰葡萄糖苷	6.40	
	花葵素-3-丙二酰葡萄糖苷	6.00	
黄酮醇	槲皮黄酮葡萄糖苷	1.81	3%
	山奈酚糖苷	0.84	
黄烷-3-醇	(+)-儿茶酚	4.50	28%
	原花青素		
	原花青素-二聚物 原花青素-三聚物	9.10 7.90	
鞣花单宁	仙鹤草素	8.80	14%
	鞣花酸	0.52	
鞣花酸苷	鞣花酸五氧化物等	0.58	1%
肉桂酸缀合物	香豆己糖	5.40	13%
	肉桂酰葡萄糖苷	5.00	

酶系统——蛋白激酶 C, 从而有效地阻滞癌细胞增殖, 亦可以通过抑制钙调素(肿瘤细胞 DNA 合成的活化因子)而有效抑制肿瘤<sup>[21]</sup>。生物类黄酮还具有扩张血管的作用, 能够改善心血管平滑肌的收缩舒张功能, 对血管活性物质的酶也有一定的作用。此外还能够改善心肌舒张功能、调节血脂<sup>[34]</sup>、提高机体在常压与低压下的耐缺氧能力、对抗各种因子造成的心率失常、心绞痛、心肌梗塞等症<sup>[24]</sup>、具有雌激素样活性等<sup>[20]</sup>。

黄酮类化合物在人体内最终以糖苷偶联物的形式进入小肠被水解为糖苷配基, 因亲油性增强而通过小肠上皮细胞; 还有一种途径是在上皮细胞内被另一种酶水解为糖苷配基, 然后返回小肠内腔, 或者被合成葡糖苷酸、甲基化代谢物和/或硫酸盐而进入血液, 然后被迅速运输到肝脏而进入系统循环, 也可以随胆汁排泄物而回到小肠<sup>[35-36]</sup>。所有未被小肠吸收的黄酮类化合物最终都会被送入结肠被结肠微生物分解<sup>[25]</sup>。如下图 2 所示。

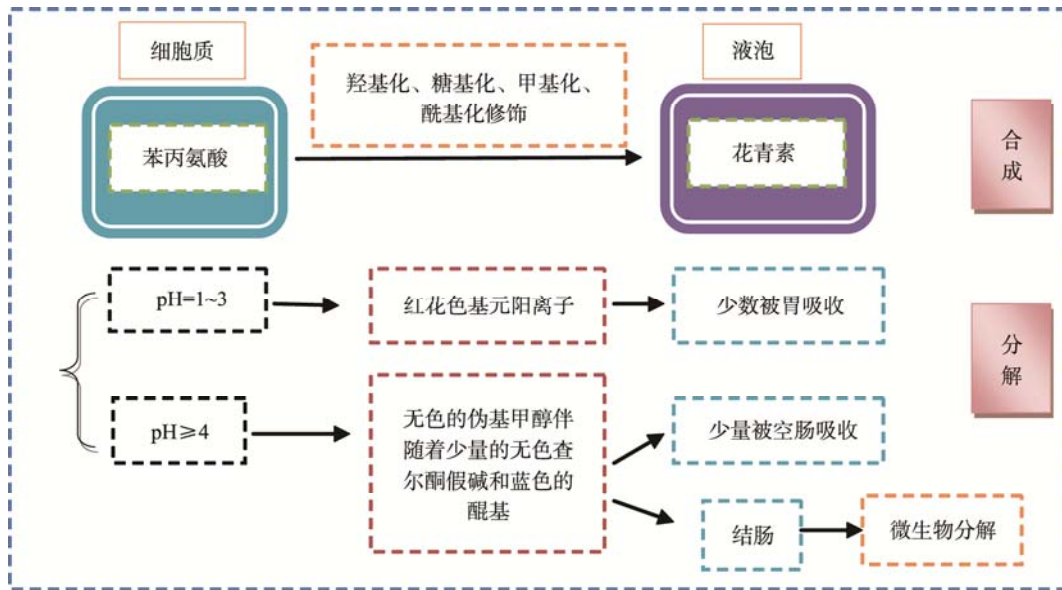


图 1 花青素在人体内的可能代谢途径  
Fig. 1 The possible metabolic pathways of anthocyanin *in vivo*

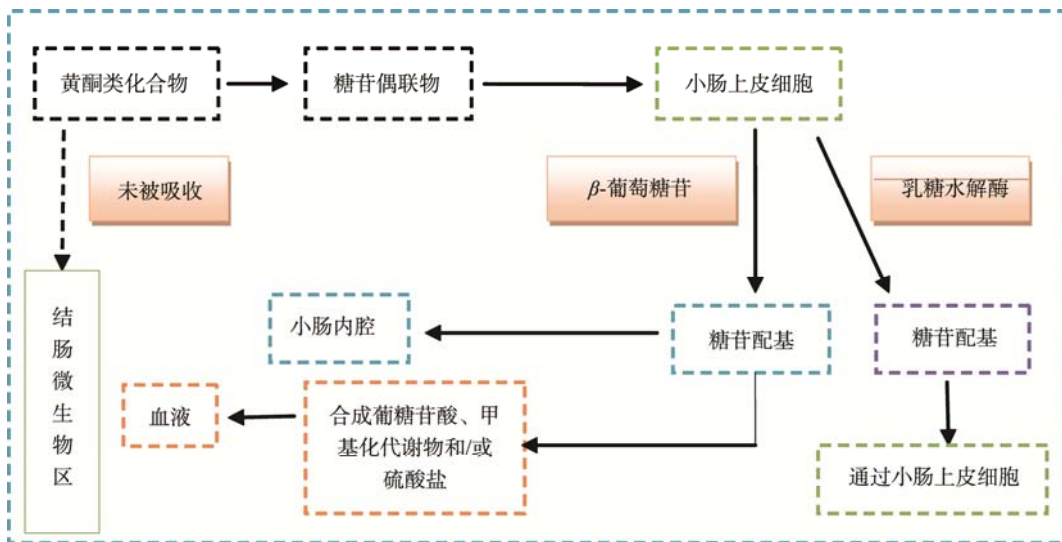


图 2 黄酮类化合物在体内的可能代谢途径  
Fig. 2 The possible metabolic pathways of flavonoids *in vivo*

### 3.3 原花青素功能及代谢

原花青素(proanthocyanidin, PA)也称缩合单宁(condensed tannin, CT), 是一种由黄烷-3-醇单体缩合而成的聚多酚类物质, 以 PA 单体、寡聚物或多聚物的形式存在<sup>[37-39]</sup>。PA 提取物具有多方面的医疗价值, 可用于抗衰老、防治心血管疾病、防治肿瘤等<sup>[29]</sup>。原花青素具有较强的自由基清除和抗氧化活性, 并且存在剂量-效应关系<sup>[40]</sup>, 能够显著杀伤多种肿瘤细胞, 对于多种致癌剂在启动及促癌阶段都具有显著的抑制作用<sup>[41]</sup>, 对血管内皮细胞有保护作用, 还有助于抗高血压、抗过敏及炎症等, 改善视觉功能, 预防老年痴呆等<sup>[33,42]</sup>。

尽管原花青素有以上众多功效, 但有研究表明, 聚合体形式的原花青素生物利用度为 0, 即完全不会被人体吸收<sup>[5]</sup>。原花青素进入大肠后被结肠微生物区分解, 产生多种酚酸类物质, 并最终随尿液排出体外<sup>[27,29]</sup>。由于多酚类化合物的低生物利用度, 也有学者对于其对细胞抗氧化性的真实贡献产生怀疑<sup>[5]</sup>。如下图 3 所示。

### 3.4 鞣花单宁功能

植物单宁是一类广泛存在于植物体内的多元酚化合物, 按照其分子结构, 分为水解单宁和缩合单宁, 水解单宁包括鞣单宁和鞣花单宁, 是鞣酸或与鞣酸有生源关系的酚酸与多元醇组成的酯<sup>[43]</sup>。鞣花酸( $C_{14}H_6O_8$ ), 是广泛存在于各种软果、坚果等植物组织中的一种天然多酚组分, 在美国等发达国家中, 鞣花酸是畅销的双向基因修饰的抗癌保健品, 国际市场产品价位很高<sup>[44]</sup>。鞣花酸对氧自由基和羟自由基都有清除作用, 有很强的清除自由基和抗氧化能力<sup>[45]</sup>, 还能抑制脂质过氧化、抑制活性氧(ROS)的生成<sup>[46]</sup>, 以及作为潜在的尼古丁诱导的基因毒性的改性剂<sup>[47]</sup>。有实验表明<sup>[48]</sup>, 服用鞣花酸后, 小鼠肺部和肝部细胞内还原型谷胱甘肽和谷胱甘肽还原酶的水平明显增加; 服用了鞣花酸的动物肝微粒体和肺微粒体对 NADPH 和  $V_C$  依赖脂质过氧化有明显的抑制作用。此外, 鞣花酸有优异的抗突变、抗癌变功效, 特别对结肠癌、食管癌、肝癌、皮肤癌等有很好的抑制作用<sup>[41]</sup>。鞣花酸还是皮肤科医学公认的有效美白成分之一, 已经有化妆品企业将其应用到了美白淡斑化妆产品中。

## 4 草莓对人体健康的功效

草莓是抗氧化成分最丰富的食物之一, 其抗氧化功能又大部分归功于多酚类化合物。但草莓的总抗氧化能力受品种、成熟度、栽培环境、加工方式等众多因素的影响<sup>[49-50]</sup>, 与传统热加工相比, 高静压(high hydrostatic pressure, HHP)、高压脉冲电场(pulsed electric field, PEF)、超声波等非热加工能有效保护这些抗氧化物质和抗氧化活性<sup>[48]</sup>。

李巧兰等<sup>[51]</sup>通过 S180 荷瘤小鼠实验表明, 五叶草莓 65%醇提液具备抑瘤作用, 而且能增加 S180 荷瘤小鼠血清 IL-2、TNF- $\alpha$  的含量, 促进 S180 荷瘤小鼠免疫器官胸腺、脾脏的生长, 从而改善 S180 荷瘤小鼠的免疫功能。Giampieri 等<sup>[52]</sup>通过大鼠连续 2 个月 15%草莓摄入量之后, 观察到了组织、细胞和亚细胞水平上生理氧化损伤降低, 抗氧化标记物加强和血脂水平改善; 富含草莓的饮食还会减轻肝脏线粒体的氧化压力, 提高动物的生理机能。赵芳等<sup>[53]</sup>采用流动注射化学发光新体系研究表明, 草莓红色素对  $O_2^{\cdot-}$ 、 $\cdot OH$  和  $H_2O_2$  均有良好的清除效果, 并呈量效关系, 且草莓红色素与  $V_C$  混合液具有协同抗氧化作用。

Giongo 等<sup>[54]</sup>对 24 位 8~13 岁超重和肥胖的儿童进行 8 周蓝莓摄入实验, 第一组提供新鲜蓝莓, 第二组提供蓝莓果泥, 第三组不吃任何蓝莓, 然后通过测定其血清炎症、CRP、血浆铜蓝蛋白、C3 和 C4 补体等发现, 增加蓝莓摄入会增加抗氧化成分的摄入, 对超重和肥胖儿童的炎症和氧化压力有良好效果, 而且鲜果比果泥效果好。类似的结果还有<sup>[55-57]</sup>, 给年轻健康的志愿者食用 300 g 新鲜草莓, 其血清中总抗氧化能力和  $V_C$  浓度都显著增加; 在连续食用 500 g 草莓一个月后, 发现志愿者的血浆和尿液中氧化生物标记物有相应的降低。Giampieri 等<sup>[58]</sup>还研究了富含花青素的草莓提取物对人类暴露在 UV-A 下的真皮纤维细胞的保护作用, 发现恒温 24 h 的 0.5 mg/mL 草莓提取物会引起人类真皮纤维细胞在 UV-A 胁迫的光保护活动, 细胞生存能力提高, 降低 DNA 损伤。在年轻的志愿者中, 持续的草莓摄入能够总体改善血脂水平, 降低总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇及甘油三酯的水平, 还可以作为一种通过提高抗氧化成分摄入来预防心脑血管疾病(CVD)的手段<sup>[54]</sup>。

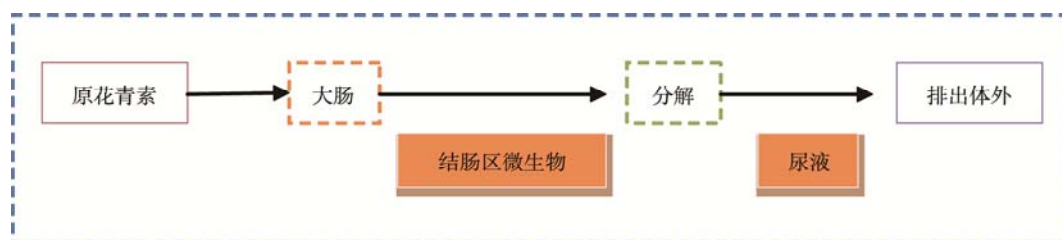


图 3 原花青素在体内可能的代谢途径

Fig. 3 The possible metabolic pathways of proanthocyanidin *in vivo*

还有研究表明<sup>[59]</sup>,在青年和中年妇女中,提高草莓花青素摄入与降低心肌梗死风险有关。

草莓对人体健康的作用简要总结如图4所示。

## 5 草莓多酚类物质的提取及应用

多酚类物质的提取方法较多,传统的有机溶剂提取法应用较为普遍,但安全性与提取率不佳,效率低;新提取方法以其安全高效、节能环保的优势逐渐得到重视,应用也日趋广泛,主要包括超声波提取<sup>[60]</sup>、微波提取<sup>[61]</sup>、生物酶提取<sup>[62]</sup>、超临界流体萃取<sup>[63]</sup>、膜技术提取<sup>[64]</sup>等。但目前国内关于草莓多酚提取的研究极少,王志巧等<sup>[65]</sup>研究草莓中多酚化合物的提取工艺条件,确定最佳提取工艺为:提取溶剂50%乙醇,料液比1:20,时间3 h,温度70℃,在最佳工艺条件下草莓多酚稳定率可达2.46%,但仍局限于传统提取方法。

相对于草莓,蓝莓的提取工艺研究文献较多,而且具有相当的借鉴价值。闫海清<sup>[66]</sup>等以超声波联用技术提取蓝莓多酚,得到料液比1:2.5(g:mL)、超声时间75 min、超声功率750 W、微波时间45 s、微波功率340 W条件下,多酚提取率达到14.56±0.2 mg/g,大大提高了多酚的提取效

率。孟宪军等<sup>[67]</sup>借助超声波用52.28%的乙醇,39.27℃,提取37.17 min,提取2次得到蓝莓冻果花色苷含量约为335.95 mg/100 g,极大缩短了提取时间。李颖畅等<sup>[68]</sup>研究了纤维素酶、果胶酶及二者复合这三类酶对蓝莓果中花色苷提取的影响,结果表明纤维素酶提取效果最好,在酶用量5 mg/g、料液比1:8(g:mL)、pH 5.0、提取时间60 min、酶解温度45℃、提取2次的条件下,蓝莓果中花色苷含量约为350 mg/100 g鲜果。马永强等<sup>[69]</sup>研究发现果汁酶具有最佳的提高花色苷及总酚溶出率的能力,和未经酶解的蓝莓花色苷相比提取率提高了2.17倍,总酚提取率提高了1.95倍。以上蓝莓多酚提取工艺的研究,为草莓功能性成分的提取研究提供了有效的参考。

水果多酚类物质在食品工业中主要用作抗氧化剂、甜味剂、风味增强剂和色素。目前,在食品工业中应用较多的是从葡萄、柿子和苹果等果树的叶片、果实、果皮和果渣中提取得到的多酚物质<sup>[70]</sup>。黄酮类化合物因其无毒而在天然食用色素的研究中备受重视,目前已获准使用的主要有花青素和查尔酮类<sup>[71]</sup>。已有的研究发现葡萄皮色素具有二酮结构、黄酮结构和花青素结构,作为食品的天然着色剂对光、热等条件极其稳定而广泛使用于食品着色<sup>[72]</sup>。有

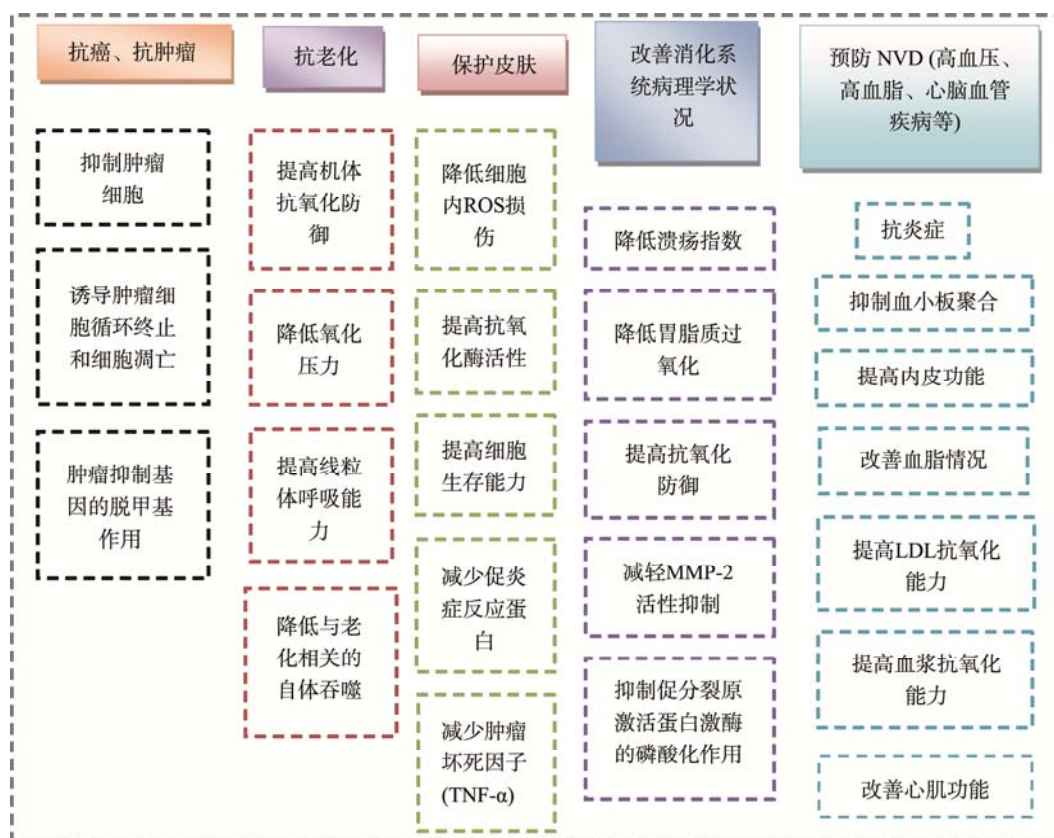


图4 草莓促进人体健康的可能机制<sup>[27]</sup>

Fig. 4 The proposed mechanisms of strawberries to human health<sup>[27]</sup>

研究表明<sup>[73]</sup>, 天然黄酮类物质作为饲料抗氧化剂无毒副作用, 安全性高, 来源广泛、抗氧化作用强, 不同结构的黄酮化合物抗氧化效果不同, 有些黄酮类物质之间还有协同作用; 黄酮类化合物还有抗微生物作用, 它能防止饲料霉变、降低细菌、真菌及病毒等微生物对饲料的污染<sup>[74]</sup>, 它在生物体内也有很强的生物活性, 改变畜禽肠道微生物结构和消除自由基, 对提高动物的免疫力、预防疾病和提高成活率有很好的效果<sup>[75,76]</sup>。在医学上, 黄酮类物质被用作拮抗各种失调的药物, 广泛用于治疗神经紊乱如阿尔茨海默氏病等<sup>[77]</sup>。草莓多酚在各领域的功能性已经被越来越多的研究与关注, 但具体应用还较少, 有待进一步开发与探索。

## 6 展 望

综上所述, 草莓中的功能性成分及其对经济发展与人类健康的潜在作用使其具有巨大的开发前景。它富含维生素、矿物质、膳食纤维等传统的营养性成分, 而且其中的多酚类植物化学物的抗氧化、抗炎症、预防慢性非传染性疾病、参与细胞信号流、调控转录因子及与细胞代谢和存活相关基因的表达等功能也逐步被发掘, 对于医学、工业、生产生活都有重要意义。由于草莓的可食用性及富含功能性成分的特点, 关于多酚类植物化学物相关研究的实验也逐渐由实验室转向人体实验, 这为深入探究多酚类植物化学物的功能及作用机制提供了更大的研究空间。本文重点综述了草莓中主要多酚类植物化学物的功能、代谢、提取、生产应用及草莓对人类健康相关的研究进展, 但其中的作用机制还有待进一步地研究。随着科技的不断进步, 草莓也必定不再仅局限为一种美味的水果, 多酚类植物化学物必将在食品、药品、工业、医学等更广泛的领域展现更大的价值。

## 参考文献

- [1] 张豫超, 谢鸣, 陈俊伟, 等. 不同采收期草莓果实抗氧化物质含量和抗氧化活性的变化[J]. 浙江农业学报, 2009, 21(3): 250–254.  
Zhang YC, Xie M, Chen JW, *et al.* Changes of antioxidant compounds and antioxidant activities in strawberry fruit during different harvest time [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2009, 21(3): 250–254.
- [2] Giampieri F, Alvarez-Suarez JM, Mazzoni L, *et al.* The potential impact of strawberry on human health [J]. *Nat Prod Res*, 2013, 27(4-5): 448–455.
- [3] Giampieri F, Tulipani S, Alvarez-Suarez JM, *et al.* The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health [J]. *Nutrition*, 2012, 28(1): 9–19.
- [4] Tulipani S, Mezzetti B, Battino M. Impact of strawberries on human health: insight into marginally discussed bioactive compounds for the Mediterranean diet [J]. *Pub Health Nutr*, 2009, 12(9A): 1656–1662.
- [5] Giampieri F, Alvarez-Suarez J M, Battino M. Strawberry and human health: effects beyond antioxidant activity [J]. *J Agric Food Chem*, 2014, 62(18): 3867–3876.
- [6] Battino M, Beekwilder J, Denoyes-Rothan B, *et al.* Bioactive compounds in berries relevant to human health [J]. *Nutr Rev*, 2009, 67(s1): S145–S150.
- [7] 罗娅, 王小蓉, 张勇, 等. 不同提取条件对草莓果实抗氧化物质和抗氧化活性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(14): 108–112.  
Luo Y, Wang XR, Zhang Y, *et al.* Effect of extraction conditions on antioxidant components and antioxidant activity of strawberry fruit extracts [J]. *Food Sci*, 2011, 32(14): 108–112.
- [8] 罗赟, 陈宗玲, 宋卫堂, 等. 草莓果实花色苷成分组成鉴定及分析[J]. 中国农业大学学报, 2014, 5: 86–94.  
Luo B, Chen ZL, Song WT, *et al.* Identification and analysis for anthocyanins compositions in strawberry [J]. *J China Agric Univ*, 2014, 5: 86–94.
- [9] Parillo M, Riccardi G. Diet composition and the risk of type 2 diabetes: epidemiological and clinical evidence [J]. *British J Nutr*, 2004, 92(01): 7–19.
- [10] Ceriello A, Bortolotti N, Motz E, *et al.* Meal-induced oxidative stress and low-density lipoprotein oxidation in diabetes: the possible role of hyperglycemia [J]. *Metabolism*, 1999, 48(12): 1503–1508.
- [11] Loft S, Poulsen HE. Cancer risk and oxidative DNA damage in man [J]. *J Mol Med*, 1996, 74(6): 297–312.
- [12] Carr AC, Frei B. Toward a new recommended dietary allowance for vitamin C based on antioxidant and health effects in humans [J]. *Am J Clin Nutr*, 1999, 69(6): 1086–1107.
- [13] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量表. <http://www.ejianshang.org/articles/225>. 2014-10-30.  
Chinese nutrition society. Chinese dietary reference intake form. <http://www.ejianshang.org/articles/225>. 2014-10-30.
- [14] 新版《中国居民膳食营养素参考摄入量》2013 年公布. <http://www.sina.com.cn>. 2014-10-30.  
The new version of "China dietary reference intakes" published in 2013. <http://www.sina.com.cn>. 2014-10-30.
- [15] 郑韵, 董全. 花色苷在体内的药理活性及其作用机制研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 10: 396–400.  
Zheng Y, Dong Q. Research progress in pharmacological activity and its mechanism of anthocyanins in vivo [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2014, 10: 396–400.
- [16] Clifford M, Brown JE, Andersen OM, *et al.* Dietary flavonoids and health-broadening the perspective [M]. *Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications*, 2006.
- [17] Williams RJ, Spencer JPE, Rice-Evans C. Flavonoids: antioxidants or signaling molecules? [J]. *Free Rad Biol Med*, 2004, 36(7): 838–849.
- [18] Aaby K, Mazur S, Nes A, *et al.* Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.) fruits: composition in 27 cultivars and changes during ripening [J]. *Food Chem*, 2012, 132(1): 86–97.
- [19] 刘文旭, 黄午阳, 曾晓雄, 等. 草莓, 黑莓, 蓝莓中多酚类物质及其抗氧化活性研究 [J]. 食品科学, 2012, 32(23): 130–133.  
Liu WX, Huang WY, Zeng XX, *et al.* Phenolic content and antioxidant capacity of strawberry, blackberry and blueberry [J]. *Food Sci*, 2012, 32(23): 130–133.
- [20] 樊梓鸾, 王振宇, 程翠林, 等. 5 种野生浆果的抗氧化和抗细胞增殖活性 [J]. 食品科学, 2010, (17): 148–152.  
Fan ZL, Wang ZY, Cheng CL, *et al.* Antioxidant and antiproliferative activities of five wild berries [J]. *Food Sci*, 2010, (17): 148–152.

- [21] 王志远, 李清彪, 杨翠娟, 等. 八种水果中的多酚含量及其抗氧化性[J]. 天然产物研究与开发, 2008, 19(6): 1040-1043.  
Wang ZY, Li QB, Yang CX, *et al.* Polyphenol contents in eight fruits and their antioxidant activities [J]. Nat Prod Res Devel, 2008, 19(6): 1040-1043.
- [22] 陈俊伟, 谢鸣, 蒋桂华, 等. 不同时期采收的草莓果实糖含量差异的代谢机理[J]. 园艺学报, 2007, 5: 1147-1150.  
Chen JW, Xie M, Jiang GH, *et al.* Difference in sugar content of fruit harvested in different month strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch‘Tochtotome’) and its relation to sucrose metabolism [J]. Acta Horti Sinica, 2007, 5: 1147-1150.
- [23] 杜荣茂, 杨虎清. 成熟度对草莓果实抗氧化能力的影响 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41(14): 6466-6467.  
Du RM, Yang HQ. Effect of maturity on antioxidant activities of strawberry fruit [J]. J Anhui Agric Sci, 2013, 41(14): 6466-6467.
- [24] Da Silva FL, Escribano-Bailón MT, Pérez Alonso JJ, *et al.* Anthocyanin pigments in strawberry [J]. LWT-Food Sci Technol, 2007, 40(2): 374-382.
- [25] 顾林, 朱洪梅, 顾振新. 花青素的生物合成和成色机理及提高其稳定性的途径 [J]. 食品工业科技, 2008, 28(11): 240-244.  
Gu L, Zhu HM, Gu ZX. The biological synthesis pathway and mechanism of forming color of anthocyanidins and the way of improving their stability [J]. Sci Technol Food Ind, 2008, 28(11): 240-244.
- [26] 张宁, 胡宗利, 陈绪清, 等. 植物花青素代谢途径分析及调控模型建立 [J]. 中国生物工程杂志, 2008, 28(1): 97-105.  
Zhang N, Hu ZL, Chen XQ, *et al.* Analysis of metabolic pathway and establishment of regulating model of anthocyanin in synthesis [J]. China Biotechnol, 2008, 28(1): 97-105.
- [27] Holton TA, Cornish EC. Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis [J]. Plant Cell, 1995, 7(7): 1071.
- [28] 王晶, 周末. 植物黄酮类化合物生物学功能及浸提纯化[J]. 中国饲料, 2006, (11): 25-27.  
Wang J, Zhou H. The biochemical function, extraction and purification of flavonoids [J]. China Feed, 2006, (11): 25-27.
- [29] Ross JA, Kasum CM. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects, and safety [J]. Ann Rev Nutr, 2002, 22(1): 19-34.
- [30] 唐栩, 许东晖, 梅雪婷, 等. 26种黄酮类天然活性成分的药理研究进展[J]. 中药材, 2003, 26(1): 46-54.  
Tang X, Xu DH, Mei XT, *et al.* Research progress on pharmacological activities of 26 kinds of flavonoids natural active ingredients [J]. Chin Herbal Med, 2003, 26(1): 46-54.
- [31] 李楠, 刘元, 侯滨滨. 黄酮类化合物的功能特性[J]. 食品研究与开发, 2006, 26(6): 139-141.  
Li N, Liu Y, Hou BB. Functional properties of flavonoids [J]. Food Res Devel, 2006, 26(6): 139-141.
- [32] Hertog MGL, Feskens EJM, Kromhout D, *et al.* Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: the Zutphen Elderly Study [J]. Lancet, 1993, 342(8878): 1007-1011.
- [33] 刘蕊. 黄酮类化合物的药理作用研究进展[J]. 黑龙江医药, 2010, 23(2): 234-236.  
Liu R. Research progress on pharmacological effects of flavonoids [J]. Heilongjiang Med, 2010, 23(2): 234-236.
- [34] Amer M, El-Habibi ES, El-Gendy A. Effects of *Trifolium alexandrinum* extracts on streptozotocin-induced diabetes in male rats [J]. Ann Nutr Metab, 2004, 48(5): 343-347.
- [35] Del Rio D, Rodriguez-Mateos A, Spencer JPE, *et al.* Dietary (poly) phenolics in human health: structures, bioavailability, and evidence of protective effects against chronic diseases [J]. Anti Redox Sign, 2013, 18(14): 1818-1892.
- [36] Del Rio D, Borges G, Crozier A. Berry flavonoids and phenolics: bioavailability and evidence of protective effects [J]. British J Nutr, 2010, 104(S3): S67-S90.
- [37] 赵文军, 张迪, 马丽娟, 等. 原花青素的生物合成途径, 功能基因和代谢工程 [J]. 植物生理学通讯, 2009 (5): 509-519.  
Zhao WJ, Zhang D, Ma LJ, *et al.* Biosynthetic pathway, functional genes and metabolic engineering of Proanthocyanidins [J]. Plant Phy Commun, 2009, (5): 509-519.
- [38] Santos-Buelga C, Scalbert A. Proanthocyanidins and tannin-like compounds—nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health [J]. J Sci Food Agric, 2000, 80(7): 1094-1117.
- [39] 张小军, 夏春镗, 吴建铭, 等. 原花青素的资源研究 [J]. 中药材, 2009, 32(7): 1154-1160.  
Zhang XJ, Xia CT, Wu JM, *et al.* Study on the resources of proanthocyanidins [J]. J Chin Med Mater, 2009, 32(7): 1154-1160.
- [40] 羊芹, 杜泓璇, 马尧, 等. 柳树叶的原花青素的抗氧化性研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2009, (6): 106-110.  
Yang Q, Du HX, Ma Y, *et al.* Study on antioxidative activity of procyanidins from the leaves of willow [J]. J Southwest Agric Univ, 2009, (6): 106-110.
- [41] 崔介君, 孙培龙, 马新. 原花青素的研究进展[J]. 食品科技, 2003, (2): 92-95.  
Cui JJ, Sun PL, Ma X. Research progress of procyanidins [J]. Food Sci Technol, 2003, (2): 92-95.
- [42] 凌智群, 张晓辉, 谢笔钧, 等. 原花青素的药理学研究进展[J]. 中国药理学通报, 2002, 18(1): 9-12.  
Ling ZQ, Zhang XH, Xie BJ, *et al.* Review on the pharmacological research of procyanidins [J]. Chin Pharm Bulletin, 2002, 18(1): 9-12.
- [43] 张文华, 候旭. 单宁抗氧化活性与结构关系的理论研究[J]. 皮革科学与工, 2009, 19(5): 9-13.  
Zhang WH, Hou X. Theoretical study on the relationship of structure and antioxidative activity of Tannins [J]. Leath Scie Eng, 2009, 19(5): 9-13.
- [44] 陆晶晶, 丁軻, 杨大进. 保健品功能因子鞣花酸研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 451-454.  
Lu JJ, Ding K, Yang DJ. Research progress of ellagic acid as a functional factor of health products [J]. Food Sci, 2010, 31(21): 451-454.
- [45] Huang W, Niu H, Li Z, *et al.* Ellagic acid from acorn fringe by enzymatic hydrolysis and combined effects of operational variables and enzymes on yield of the production [J]. Biores Technol, 2008, 99(6): 1518-1525.
- [46] Osawa T, Ide A, Su JD, *et al.* Inhibition of in vitro lipid peroxidation by ellagic acid [J]. J Agric Food Chem, 1987, 35(5): 808-812.
- [47] Sudheer AR, Muthukumar S, Devipriya N, *et al.* Ellagic acid a natural polyphenol protects rat peripheral blood lymphocytes against nicotine-induced cellular and DNA damage in vitro: With the comparison of N-acetylcysteine [J]. Toxicology, 2007, 230(1): 11-21.
- [48] Majid S, Khanduja KL, Gandhi RK, *et al.* Influence of ellagic acid on antioxidant defense system and lipid peroxidation in mice [J]. Biochem Pharm, 1991, 42(7): 1441-1445.



- [49] Capocasa F, Scalzo J, Mezzetti B, *et al.* Combining quality and antioxidant attributes in the strawberry: The role of genotype [J]. *Food Chem*, 2008, 111(4): 872–878.
- [50] 曹霞敏, 孙建霞, 廖小军, 等. 加工方法对草莓中抗氧化活性物质与抗氧化活性的影响 [J]. *食品工业科技*, 2010 (9): 390–393.  
Cao XM, Sun JX, Liao XJ, *et al.* Review on the effects of processing techniques on antioxidants and antioxidant activity in strawberry [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010, (9): 390–393.
- [51] 李巧兰, 李惠, 陈丽, 等. 五叶草莓 65% 醇提液对 S180 荷瘤小鼠抑瘤及免疫功能的影响 [J]. *辽宁中医杂志*, 2011, 38(10): 2093–2095.  
Li QL, Li H, Chen L, *et al.* 65% alcohol extract of five leaves strawberry S180 tumor bearing mice on the role of inhibitory effect Tumor and immune function in rats [J]. *Liaoning J Trad Chin Med*, 2011, 38(10): 2093–2095.
- [52] Giampieri F, Alvarez-Suarez JM, Mazzoni L, *et al.* Strawberry enriched diet counteracts oxidative stress in plasma and liver of old rats and improves mitochondrial functionality [J]. *Free Rad Biol Med*, 2013, 65(SUPP2): S108.
- [53] 赵芳, 胡栋梁. 化学发光新方法研究草莓红色素的抗氧化活性[J]. *食品科技*, 2008, 33(7): 196–198.  
Zhao F, Hu DL. Study on the antioxygenation of strawberry red pigment with chemiluminescent new method [J]. *Food Sci Technol*, 2008, 33(7): 196–198.
- [54] Giongo L, Bozza E, Caciagli P, *et al.* Short-term blueberry intake enhances biological antioxidant potential and modulates inflammation markers in overweight and obese children [J]. *J Berry Res*, 2011, 1(3): 147–158.
- [55] Azzini E, Intorre F, Vitaglione P, *et al.* Absorption of strawberry phytochemicals and antioxidant status changes in humans [J]. *J Berry Res*, 2010, 1(2): 81–89.
- [56] Alvarez-Suarez JM, Giampieri F, Tulipani S, *et al.* One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans [J]. *J Nutr Biochem*, 2014, 25(3): 289–294.
- [57] Tulipani S, Romandini S, Busco F, *et al.* Ascorbate, not urate, modulates the plasma antioxidant capacity after strawberry intake [J]. *Food Chem*, 2009, 117(1): 181–188.
- [58] Giampieri F, Alvarez-Suarez JM, Tulipani S, *et al.* Photoprotective potential of strawberry (*Fragaria × ananassa*) extract against UV-A irradiation damage on human fibroblasts [J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60(9): 2322–2327.
- [59] Cassidy A, Mukamal K J, Liu L, *et al.* High anthocyanin intake is associated with a reduced risk of myocardial infarction in young and middle-aged women [J]. *Circulation*, 2013, 127(2): 188–196.
- [60] 韩彩静, 王文亮, 陈相艳, 等. 响应面法优化超声波提取蓝莓多酚工艺 [J]. *南方农业学报* ISTIC, 2014, 45(2): 285–290.  
Han CJ, Wang WL, Chen XY, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted extraction process of blueberry polyphenols using response surface methodology [J]. *J Southern Agric*, 2014, 45(2): 285–290.
- [61] 何力, 罗海涛, 刘奎堂, 等. 微波辅助提取黄岑多酚抗氧化活性研究[J]. *食品工业*, 2014, 35(10): 56–60.  
He L, Luo HT, Liu SK, *et al.* The application of microwave assisted in the extraction of *scutellaria baicalensis georgi* polyphenols and process optimization [J]. *Food Ind*, 2014, 35(10): 56–60.
- [62] 程雅芳, 杨洋, 温富雄, 等. 响应面分析法优化酶提取甜茶茶多酚工艺 [J]. *食品科学*, 2012, 33(10): 10–15.  
Cheng YF, Yang Y, Wen FX, *et al.* Optimization of enzymatic extraction for tea polyphenols from sweet tea by response surface methodology [J]. *Food Sci*, 2012, 33(10): 10–15.
- [63] 吕凛, 陶宁萍. 超临界二氧化碳萃取橘皮中黄酮类化合物的工艺研究 [J]. *食品科学*, 2008, 29(9): 150–154.  
Lv L, Tao NP. Study on supercritical CO<sub>2</sub> extraction process of flavonoids from citrus peels [J]. *Food Sci*, 2008, 29(9): 150–154.
- [64] 易克传, 曾其良, 李慧. 膜技术纯化菊花总黄酮的工艺研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2012, 24(10): 1449–1453.  
Yi KC, Zeng QL, Li H. Study on purification of chrysanthemum flavonoids by membrane technology [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2012, 24(10): 1449–1453.
- [65] 王志巧, 罗晓丽, 贾江新, 等. 草莓多酚的提取工艺研究[J]. *人参研究*, 2014, 3: 20–22.  
Wang ZQ, Luo XL, Jia JX, *et al.* Study on the extraction of polyphenols from strawberry [J]. *Ginseng Res*, 2014, (3): 20–22.
- [66] 阎海青, 陈相艳, 程安玮, 等. 超声微波联用技术提取蓝莓多酚的工艺优化[J]. *中国食品添加剂*, 2014, (1): 88–94.  
Yan HQ, Chen XY, Cheng AW, *et al.* The optimization of polyphenols extraction from blueberries by ultrasonic-microwave technology [J]. *China Food Add*, 2014, (1): 88–94.
- [67] 孟宪军, 王成, 宋德群, 等. 响应面法优化超声提取蓝莓花色苷工艺的研究[J]. *食品科技*, 2010, (9): 249–253.  
Meng XJ, Wang C, Song DQ, *et al.* Optimization of the ultrasonic extraction technology of blueberry anthocyanins by response surface method [J]. *Food Sci Technol*, 2010, (9): 249–253.
- [68] 李颖畅, 孟宪军. 酶法提取草莓果中花色苷的研究[J]. *食品工业科技*, 2008, (4): 215–218.  
Li YC, Meng XJ. Study on enzyme extraction technology of anthocyanins from blueberry fruits [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2008, (4): 215–218.
- [69] 马永强, 李安, 那治国, 等. 酶法提高蓝莓果花色苷与总酚溶出率的工艺条件研究[J]. *农产品加工*, 2012, (4): 48–53.  
Ma YQ, Li A, Na ZG, *et al.* Enzyme process to improve the dissolution rates of anthocyanins and total phenol in blueberry [J]. *Proc Agric Prod*, 2012, (4): 48–53.
- [70] 彭功波, 郑先波, 冀爱青, 等. 果树多酚类物质生理功能及应用研究进展[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(11): 157–163.  
Peng GB, Zheng XB, Ji AQ, *et al.* The advances of study and applications on physiological functions of fruit polyphenols [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010, 26(11): 157–163.
- [71] Markus G, Thomas H, Mari L B, *et al.* Redirection of flavonoid biosynthesis through the down-regulation of an anthocyanidin glucosyltransferase in ripening strawberry fruit [J]. *Plant Phy*, 2008, 146: 1528–1539.
- [72] 王威. 常用天然色素抗氧化活性的研究[J]. *食品科学*, 2003, 24(6): 96–100.  
Wang W. Study on antioxidant activity of natural pigment [J]. *Food Sci*, 2003, 24(6): 96–100.
- [73] 白凤梅, 蔡同一. 类黄酮生物活性及其机理的研究进展[J]. *食品科学*, 1999, 20(8): 11–13.  
Bai FM, Cai TY. Research progress on biological activity of flavonoids

and its mechanism [J]. Food Sci, 1999, 20(8): 11-13.

- [74] Fukai T, Marumo A, Kaitou K, *et al.* Antimicrobial activity of licorice flavonoids against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. Fitoterapia, 2002, 73(6): 536-539.
- [75] Moridani MY, Pourahmad J, Bui H, *et al.* Dietary flavonoid iron complexes as cytoprotective superoxide radical scavengers [J]. Free Rad Biol Med, 2003, 34(2): 243-253.
- [76] He FJ, Nowson CA, Lucas M, *et al.* Increased consumption of fruit and vegetables is related to a reduced risk of coronary heart disease: meta-analysis of cohort studies [J]. J Human Hyper, 2007, 21(9): 717-728.
- [77] Paladini AC, Marder M, Viola H, *et al.* Flavonoids and the central nervous system: from forgotten factors to potent anxiolytic compounds [J]. J Pharm Pharm, 1999, 51(5): 519-526.

(责任编辑: 杨翠娜)

## 作者简介



程然, 硕士研究生, 主要研究方向为食品科学。

E-mail: crcybaby@126.com



生吉萍, 博士, 教授, 主要研究方向为食品科学、食品安全与管理。

E-mail: shengjiping@126.com