

木鳖果天然类胡萝卜素的研究进展

杨永青¹, 钟思琼², 陈宏秀³, 刘 慧^{1,*}

(1.北京农学院食品科学与工程学院, 北京 102206; 2.华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070;

3.北京木果氏生物科技有限公司, 北京 100068)

摘 要: 木鳖果为葫芦科苦瓜属植物, 因其含有丰富的番茄红素、 β -胡萝卜素、叶黄素等功能性成分而受到国外学者的广泛关注。本文针对木鳖果的植物属性、类胡萝卜素的含量及分布、相关结构及生理功能、提取工艺及稳定性, 以及研究进展和存在问题进行较全面阐述。

关键词: 木鳖果; 类胡萝卜素; 含量; 结构与功能

Research Progress of Natural Carotenoids in Gac Fruits

YANG Yong-qing¹, ZHONG Si-qiong², CHEN Hong-xiu³, LIU Hui^{1,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China;

2. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3. Moocos Biological Technology Co. Ltd., Beijing 100068, China)

Abstract: Gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng), a bitter melon species of *Cucurbitaceae*. It has gained extensive attention due to its rich lycopene, beta-carotene, lutein and other functional ingredients. In this article, Gac plant properties, content, distribution, structure and physiological functions, extraction process and stability of carotenoids are reviewed. Meanwhile, the current research progress and problems are also discussed.

Key words: Gac fruit; carotenoids; contents; structure and function

中图分类号: TS255.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)15-0339-05

木鳖果(*Momordica cochinchinensis* Spreng)是迄今为止发现类胡萝卜素含量最高的水果, 其假种皮中含有丰富的番茄红素和 β -胡萝卜素, 故被誉为“来自天堂的水果”, 并受到许多国内外学者重视。越南北部和我国广西、云南一些地区的居民食用木鳖果历史悠久。食用方法是白酒浸泡成熟的木鳖果的假种皮得到其色素和脂质的混合物, 将其掺拌到米饭中, 熟制而成的糯米饭色泽鲜亮、口感润滑, 在越南称其“xoi gac”^[1]。另一种食用方法是提取木鳖果油(gac oil), 用于孕妇或哺乳期妇女及儿童预防和治疗干眼病和夜盲症^[2]。目前, 国外学者已经研究了木鳖果中功能性成分的种类、数量及其分布, 贮藏过程中的变化情况以及提取和干燥工艺等, 而我国在这方面的研究尚未见详细的文献报道。本文针对木鳖果的植物属性、国外现阶段研究成果进行综述和分析, 提出木鳖果在生产应用中存在的问题, 阐明木鳖果是一种极具开发和利用价值的类胡萝卜素植物来源, 为其深入研究提供理论依据。

1 木鳖果的植物属性

木鳖果为葫芦科苦瓜属植物, 亦称木鳖、木鳖子, 粗壮大藤木, 全株近无毛或稍被柔毛, 其全植物图如图1所示。



图1 木鳖全植物图^[1]

Fig.1 Whole plant of Gac^[1]

木鳖果叶柄长5~10cm, 基部或中部有2~4腺体; 叶呈卵状心形或宽卵状圆形, 3~5中裂至深裂, 卷须

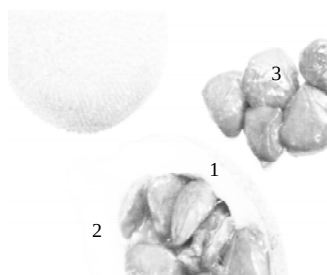
收稿日期: 2012-06-06

作者简介: 杨永青(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与功能。E-mail: bestqingqing2009@sina.com

* 通信作者: 刘慧(1963—), 女, 教授, 硕士, 研究方向为食品营养与功能。E-mail: foodlh@263.net

不分歧,雌雄异株;果实呈卵球形,顶端有短喙,长12~15cm,成熟时肉质呈红色,果实表面长有3~4mm较密的刺尖突起;种子呈卵形或方形,干后为黑褐色,长2.6~2.8cm;花期6~8月,果期8~10月。木鳖果生长于海拔140~2000m的沟谷林缘或路旁灌丛中,常产于越南和南亚的一些区域,分布于我国西藏、四川、贵州、广西、广东、湖南、海南、江西、福建和台湾等地,中南半岛、印度半岛亦有^[3-4]。

2 木鳖果果实中类胡萝卜素的含量分布



1.果皮; 2.果肉; 3.假种皮及种子。

图2 木鳖果实图^[5]

Fig.2 Ripe Gac fruits^[5]

木鳖果的果实由果皮、中果皮(果肉)、假种皮、种子以及连接组织构成,如图2所示。假种皮(seed membrane)是木鳖果的可食部分,平均质量240.26g,约占鲜果质量的24.6%^[6],内含丰富的番茄红素和 β -胡萝卜素。Ishida等^[6]利用液相色谱法分析木鳖果(包括种子)中类胡萝卜素和脂肪酸的种类和含量,结果显示假种皮中番茄红素的总含量为1546.5~3053.6 $\mu\text{g/g}$ (湿质量计),大约为西红柿中番茄红素含量的76倍(西红柿中含量为40~50 $\mu\text{g/g}$ 湿质量),并且木鳖果中顺式番茄红素占2.7%~13.2%。木鳖果中不仅含有丰富的番茄红素,而且是胡萝卜素的良好来源。根据Ishida等^[6]的实验结论,假种皮中含有 β -胡萝卜素718 $\mu\text{g/g}$,其中顺式异构体为39 $\mu\text{g/g}$,反式异构体为597 $\mu\text{g/g}$,并且含有107 $\mu\text{g/g}$ 的 α -胡萝卜素。2002年日本学者^[7]利用液相色谱法测定了木鳖果假种皮中番茄红素的含量为380 $\mu\text{g/g}$,为西红柿中番茄红素含量的10倍多(西红柿中含量为31 $\mu\text{g/g}$)。Vuong等^[8]也测定木鳖果假种皮中番茄红素的含量为408 $\mu\text{g/g}$ (湿质量计),这一结论与日本研究结果相近。分析国外不同文献报道木鳖果假种皮中胡萝卜素含量差异较大的原因可能是:胡萝卜素对光、热敏感,在提取、分析、运输、贮藏过程中有不同程度的损失^[8]。此外,木鳖果的成熟度及产地的不同亦会影响胡萝卜素的含量。Kubola等^[9]分析比较不同部位和不同成熟度(青果、中等成熟度、完全成熟)的木鳖果中类胡萝卜素的含量,结果显示随

着木鳖果成熟度的增加,假种皮中番茄红素和 β -胡萝卜素含量逐渐增加。

木鳖果果肉(pulp)和果皮(peel)分别占鲜果质量的48.4%、7.1%^[6],其内也含有一定量的类胡萝卜素。虽然与其他部分相比果肉中的番茄红素含量最低,但是果肉中还含有76mg/g的 α -VE^[8]。果皮中含有较少的 β -胡萝卜素(反式11 $\mu\text{g/g}$ 、顺式5 $\mu\text{g/g}$)以及微量的 α -胡萝卜素,但没有检出番茄红素^[6]。然而,Kubola等^[9]检测出果皮中含有270 $\mu\text{g/g}$ 番茄红素,且中等成熟(120~130d)时含量会小幅度上升。此外,果皮中含有丰富的叶黄素,其含量是52.02mg/g,是假种皮中含量的8倍。

随着贮藏时间的延长,新鲜果实中功能成分的含量会受到新鲜度的影响。Dang等^[10]将成熟的木鳖果室温放置2周后,测定假种皮中番茄红素和 β -胡萝卜素的含量,结果显示室温放置1周后假种皮中番茄红素和 β -胡萝卜素的含量几乎无变化,番茄红素初始含量为2378~3728 $\mu\text{g/g}$ (湿质量计), β -胡萝卜素含量为257~379 $\mu\text{g/g}$ (湿质量计),2周后两者的含量迅速下降。对于已经成熟的果实,随着贮存时间的延长两者的含量逐渐下降。

由于鲜木鳖果在贮运过程中保质期较短,人们开始将研究的目光投向木鳖果果油。Vuong等^[11]研究木鳖果果油的提取工艺和检测方法,证明了木鳖果果油是 β -胡萝卜素、番茄红素、VE及必需脂肪酸的良好来源。果油中总胡萝卜素的含量为5700 $\mu\text{g/mL}$,其中含有 β -胡萝卜素2710 $\mu\text{g/mL}$ 、番茄红素3020 $\mu\text{g/mL}$ 。每毫升果油中含 α -VE 334 μg 。果油中含有69%(质量分数)的不饱和脂肪酸,其中35%为多不饱和脂肪酸。若每人每日食用2mL果油,相当于摄入 β -胡萝卜素5mg。

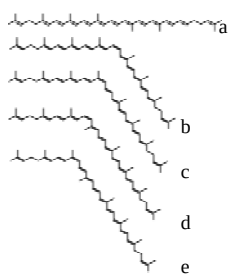
3 木鳖果类胡萝卜素的结构及其生理功能

类胡萝卜素(carotenoid)是一类广泛存在于植物、真菌、藻类、细菌中的黄色、橙红色、红色的色素。它不仅是人和动物体内VA的重要来源,而且还具有重要的生物学功能。通常将类胡萝卜素分成两类:一类是不含氧原子的胡萝卜素(只含有碳、氢),主要有 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、 γ -胡萝卜素、番茄红素等;另一类是含有氧原子的叶黄素(含有碳、氢、氧),包括叶黄素、玉米黄素等^[12]。目前,类胡萝卜素由于有较多的生理功能,如抗氧化、预防癌症等,而逐渐成为国内外学者研究热点,尤其是番茄红素和 β -胡萝卜素。

3.1 番茄红素的结构与生理功能

番茄红素(lycopene)是一种脂溶性不饱和碳氢化合物,分子式为 $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$,相对分子质量为536.85,熔点

174℃(反式), 与 β -胡萝卜素是同分异构体。近年来研究发现, 番茄红素具有抗氧化、抗衰老、抗电脑辐射、降血脂、预防心血管疾病等生物学功能^[13-14]。此外, 体外实验研究表明, 类胡萝卜素(尤其是番茄红素)氧化代谢物的作用是: 增加细胞间隙连接的通路。而细胞间隙连接通路的丢失是一个致癌的标志^[15]。因此番茄红素亦具有防癌抗癌的功效而被广泛应用于功能食品、医药和化妆品中。



a.全反式异构体; b.15-顺式异构体; c.13-顺式异构体; d.11-顺式异构体; e.9-顺式异构体。

图3 番茄红素几何异构体分子结构^[16]

Fig.3 Molecular structures of lycopene geometric isomers^[16]

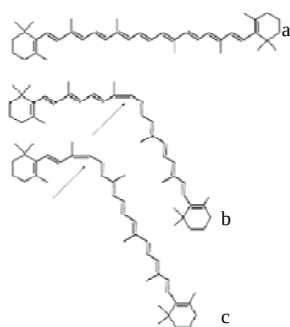
番茄红素分子结构中有11个共轭及2个非共轭碳-碳双键, 不饱和双键的存在使番茄红素容易发生顺反异构化, 其异构体分子结构式如图3所示。顺式、反式异构体在某些理化性质方面, 如特征吸收光谱不同, 以及在溶剂中的熔点、摩尔消光系数、呈色能力、分子极性、溶解能力等存在差异。李伟等^[16]的研究表明, 番茄红素的顺式异构体具有更高的生物利用率。李京等^[17]研究了番茄红素在体内代谢中的几何异构体组成变化, 用天然番茄红素萃取物一次灌喂雄性SD大鼠后, 收集其粪便、小肠壁、血清及肝脏, 萃取其中的类胡萝卜素组分, 经过分析发现天然番茄红素在大鼠体内吸收、转运和贮存过程中几何异构体组成发生了显著变化, 其中全反式番茄红素分子在体内发生顺式异构化的第一部位为血清, 使血清中番茄红素的顺式异构体的比例大幅度上升, 这与血清中存在番茄红素运输载体有关。反式异构体向顺式异构体的转化, 提高了番茄红素的溶解性, 即提高了番茄红素的生物利用率。Boileau等^[18]用体内和体外实验证明了番茄红素的顺式结构比反式结构具有更高的生物利用率, 分析原因可能是顺式番茄红素有更好的溶解性而优先形成了乳糜微粒。两者结论恰好吻合。根据已报道的文献可知, 木鳖果色素中含有一定量的顺式结构, 因而推测木鳖果中的番茄红素因部分顺式结构的存在而较易被人体吸收, 从而更好发挥其生理功能。

Klungsupya等^[19]研究木鳖果的一项最新成果显示,

木鳖果提取物对体外实验的细胞无致毒性, 并且分别用过氧化氢(H_2O_2)和紫外光(UV)处理人的类淋巴瘤细胞TK 6, 结果显示提取物对其具有保护作用。该实验中用体积分数50%和95%的乙醇分别提取木鳖果的果皮、果肉及假种皮, 对比实验得出95%的果肉乙醇提取物中 α -VE含量最高, 且对 H_2O_2 、UV造成的细胞损伤保护作用最大。但Klungsupya与前人研究结果不同的是: 木鳖果提取物抗氧化DNA损伤能力主要来自 α -VE, 而不是含量丰富的番茄红素和胡萝卜素。

3.2 β -胡萝卜素的结构与生理功能

胡萝卜素主要包括4种化合物: α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素、 γ -胡萝卜素和番茄红素。虽然4种胡萝卜素的结构和化学性质很相近, 但是其营养价值却不同。1分子 β -胡萝卜素可以转化成2分子VA, 而1分子 α -胡萝卜素或 γ -胡萝卜素只能转化成1分子的VA^[20], 其中以 β -胡萝卜素的含量和活性最高^[21]。VA在人体内具有维持正常视觉、保持上皮细胞健全和提高人体免疫力等生理功能。 β -胡萝卜素属于四萜类化合物, 其分子式为 $C_{40}H_{56}$, 相对分子质量为536.88, 在植物和藻类中常与叶绿素共同存在。Vuong等^[2]将185名实验前血浆中 β -胡萝卜素浓度较低的学龄前儿童分为3组, 进行了30d的对比实验, 一组每天摄入含有3.5mg天然 β -胡萝卜素的木鳖果糯米饭(xoi gac), 另一组摄入含有5.0mg人工合成 β -胡萝卜素的米饭, 对照组摄入无强化的米饭。结果表明, 实验组血浆中 β -胡萝卜素浓度极显著高于对照组($P < 0.001$), 并且摄入“xio gac”实验组血浆中VA的含量极显著高于其他两组($P = 0.006$ 、 $P = 0.0053$), 由此说明来自木鳖果中的 β -胡萝卜素是VA的良好来源。此外, 有研究也表明 β -胡萝卜素和VE、叶黄素和VE的混合物可以更有效地抑制氢过氧化物形成^[22]。通常情况下, 黄色、橙色、红色的果蔬中全反式结构的 β -胡萝卜素含量最多, 同时亦存在少量的顺式异构体。全反式 β -胡萝卜素不稳定, 在光和热的作用下可部分转化为顺式异构体(图4)^[23]。此外, Cao-Hoang等^[24]还研究了木鳖果假种皮正己烷提取物中番茄红素和 β -胡萝卜素的性质, 利用薄层色谱法进一步证明了木鳖果中顺反异构体的存在, 而且在相同条件下与人工合成的 β -胡萝卜素相比, 木鳖果中的番茄红素和 β -胡萝卜素的降解速度较慢, 证明两者的分子结构与人工合成的不同。清除自由基能力与分子结构中共轭双键的长度、氢原子的构象有关。木鳖果中的番茄红素有延伸的基团和共平面的碳-碳双键, 这一特殊的化学结构使得其比 β -胡萝卜素更易被氧化, 表明木鳖果中的番茄红素有较好的清除自由基能力。



a.全反式异构体; b.13-顺式异构体; c.9-顺式异构体

图4 全反式 β -胡萝卜素及两种几何异构体^[21]Fig. 4 Structures of all-trans- β -carotene and its geometric isomers^[21]

类胡萝卜素双键两侧的顺反异构会影响其生物利用率,而且脂肪酸的存在亦会提高番茄红素和胡萝卜素的吸收率。木鳖果假种皮中含有22%的脂肪酸,其中含有32%月桂酸、29%棕榈酸,不饱和脂肪酸的存在会增加类胡萝卜素的吸收^[6]。此外,有学者在体外模拟了人体中类胡萝卜素的消化过程,指出类胡萝卜素的消化必须有0.5%~1.0%的脂质参与^[25],因而木鳖果中的类胡萝卜素具有更高生理活性。彭善丽等^[26]报道了采用人群膳食干预实验,研究比较合成的番茄红素油树脂胶囊与番茄酱中番茄红素的生物利用率。结果表明,不同剂量实验条件下胶囊组番茄红素在血清中的增加量稍高于番茄酱组。产生差异的原因可能是胶囊中含番茄油的脂质基质促进了脂溶性番茄红素的吸收,一定程度上证明番茄红素质体更容易被人体吸收的理论。

4 木鳖果色素的提取工艺及其稳定性

由于化学合成色素存在诸多安全隐患,人们逐渐将研究的目光转向天然色素。天然色素来源于动物或植物,安全性高、无毒副作用;大多数天然色素中含有人体必需的营养物质或其本身就是维生素或具有维生素性质;有些天然色素具有药理作用,对某些疾病具有防治作用等^[27]。木鳖果是一种天然植物果实,越南居民一般将木鳖果的假种皮浸泡在一定浓度的酒中,使其天然色素溶解,用于传统的手抓糯米饭制作中,熟制后米饭色泽鲜艳、口感润滑。但是,若将这种天然的功能性色素进一步应用于食品工业,则必须深入研究其提取工艺,以及不同提取方法对功能性成分的影响。Kubola等^[28]研究提取溶剂和干燥方法对木鳖果油中番茄红素和 β -胡萝卜素含量的影响。结果表明,采用氯仿:甲醇体积比为2:1的提取溶剂效果较好,番茄红素和 β -胡萝卜素得率最高,分别是490 $\mu\text{g/g}$ 和1180 $\mu\text{g/g}$,而提取前鲜木鳖果中两者的含量为45 $\mu\text{g/g}$ 和9 $\mu\text{g/g}$ 。此外,该实验分析比较热风干燥、低相对湿度气流干燥、

远红外线辐射干燥对番茄红素含量的影响。结果显示,热风干燥对番茄红素保存率最高(820 $\mu\text{g/g}$ 干基),其次是低相对湿度气流干燥(670 $\mu\text{g/g}$ 干基),损失较大的是远红外线辐射干燥。Tran等^[29]研究了不同干燥技术对木鳖果粉加工过程的影响,比较了烘箱干燥、热风干燥、真空干燥、喷雾干燥和冷冻干燥对假种皮干燥产品色泽和营养成分的影响。结果表明冷冻干燥对木鳖果粉的色泽和类胡萝卜素含量的影响最小、保存率最高,而且果粉真空包装后储存于25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,4个月后色泽和胡萝卜素含量可保存70%。Maiani等^[30]指出以低于80 $^{\circ}\text{C}$ 的传统热风干燥,类胡萝卜素无明显损失和异构化,但会发生氧化反应而导致类胡萝卜素含量逐渐降低。Kha等^[31]研究了喷雾干燥条件对木鳖果粉的理化性质和抗氧化性的影响。结果表明喷雾干燥入口温度120 $^{\circ}\text{C}$ 、添加10g/100mL麦芽糊精的干燥条件,可获得最佳干燥产品。

然而,多数天然色素的不稳定性限制了其实际应用的范围。木鳖果色素是一种脂溶性色素,且是类胡萝卜素的混合物,其稳定性优劣关系到能否用作食品着色剂。邱伟芬等^[32]研究天然番茄红素在不同环境条件下的稳定性,结果表明西红柿中的天然番茄红素对光敏感;酸性条件下($\text{pH} < 6$)不稳定; Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 金属离子引起番茄红素较大损失;氧化剂、还原剂、防腐剂、食糖对番茄红素的稳定性影响较小。Dang等^[10]研究了温度对木鳖果油中番茄红素和胡萝卜素稳定性的影响。结果表明,5 $^{\circ}\text{C}$ 条件下果油中的番茄红素降解速度最慢,其次是室温>45 $^{\circ}\text{C}$ >60 $^{\circ}\text{C}$,而胡萝卜素的热稳定强弱依次为室温>5 $^{\circ}\text{C}$ >45 $^{\circ}\text{C}$ >60 $^{\circ}\text{C}$ 。加入质量分数0.02%抗氧化剂2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)可有效提高木鳖果油中番茄红素和胡萝卜素的热稳定性。针对木鳖果及其制品中类胡萝卜素的稳定性还有待进一步实验研究。

随着科学研究的不断深入,越来越多的研究者致力于提高胡萝卜素的稳定性,如番茄红素和 β -胡萝卜素的微胶囊化、加入EDTA和六偏磷酸钠(SHMP)、抗氧化剂BHT等^[33-35],并且取得了一定成果。因此,利用新型食品加工技术提高木鳖果中类胡萝卜素的稳定性,以扩大其利用范围是今后研究的重点。

5 木鳖果类胡萝卜素的应用及展望

木鳖果是一种功能性类胡萝卜素的植物资源,其假种皮中含有丰富的类胡萝卜素,其中天然番茄红素有良好的抗氧化、抗衰老等功能, β -胡萝卜素是体内VA的前体物,有保护视力、提高免疫力等功能,因此木鳖果类胡萝卜素具有功能色素的开发潜力。越南民间将木鳖果的乙醇提取物拌入米饭中食用,已证实了这种色素的安全性和应用价值。木鳖果天然类胡萝卜素作为食品着色剂,添加到食用油中,有改善油品色泽、防止

油脂氧化作用；添加到糕点、糖果、饮料、肉制品(肉灌肠、发酵香肠)、乳制品(酸乳、冰淇淋、奶油、奶酪)、豆制品(腐乳、彩色豆腐)等食品中，在改善食品色泽的同时，又具有天然番茄红素和 β -胡萝卜素的功效。

目前，木鳖果类胡萝卜素在食品中应用仍存在一些問題，如木鳖果天然色素的光不稳定性，木鳖果种植面积小、种植区域较窄，人们对木鳖果的营养价值认识不足，尚未深入研究等。今后若能深入研究木鳖果类胡萝卜素的特性、功能及提取和加工工艺，以提高木鳖果中天然色素的稳定性，则最终可以实现木鳖果天然类胡萝卜素在食品和保健品中的广泛应用。

参考文献：

- [1] VUONG T L. Gac: a fruit from heaven[J]. Vietnam Journal, 2005, 5(3): 1-22.
- [2] VUONG T L, DUEKER S R, MURPHY S P. Plasma β -carotene and retinol concentrations of children increase after a 30-d supplementation with the fruit *Momordica cochinchinensis* (gac)[J]. American Society for Clinical Nutrition, 2002, 75(7): 872-879.
- [3] 傅立国, 陈潭清, 郎楷永, 等. 中国高等植物(第五卷)[M]. 青岛: 青岛出版社, 1999: 224-225.
- [4] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志种子植物[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 327-329.
- [5] HARTMAN R. Gac and the cancer connection[J]. Breakthroughs in Health, 2007, 2(2): 8-16.
- [6] ISHIDA B, TURNER C, CHAPMAN M, et al. A fatty acid and carotenoid composition of gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) fruit[J]. Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(2): 274-279.
- [7] AOKI H, KIEU N T M, KUZE N, et al. Carotenoid pigments in GAC fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng)[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2002, 66(11): 2479-2482.
- [8] VUONG L T, FRANKE A A, CUSTER L J, et al. *Momordica cochinchinensis* Spreng. (gac) fruit carotenoids reevaluated[J]. J Food Composition and Analysis, 2006, 19: 664-668.
- [9] KUBOLA J, SIRIAMORNpun S. Phytochemical and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril, and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng)[J]. Food Chemistry, 2011, 127: 1138-1145.
- [10] DANG T T N, BUNG P N, NGUYEN T H, et al. Changes in lycopene and beta carotene contents in aril and oil of gac fruit during storage[J]. Food Chemistry, 2010, 121: 326-331.
- [11] VUONG L T, KING J C. A method of preserving and testing the acceptability of gac fruit oil, a good source of β -carotene and essential fatty acids[J]. Food and Nutrition Bulletin, 2003, 24(2): 224-230.
- [12] 高玉云, 毕英佐, 谢青梅, 等. 类胡萝卜素的吸收代谢及其功能的研究进展[J]. 动物营养学报, 2010, 22(4): 823-828.
- [13] 罗金凤, 丁晓雯. 番茄红素的生理功能及保持其稳定性方法的研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(19): 279-283.
- [14] 龚平, 阚建全. 番茄红素的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(5): 143-147.
- [15] 何强强, 惠伯棣, 宫平, 等. 类胡萝卜素代谢物的生物学活性研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(15): 289-294.
- [16] 李伟, 孙新虎, 肖刚, 等. 液固色谱法分离番茄红素异构体[J]. 色谱, 2003, 21(1): 13-16.
- [17] 李京, 惠伯棣. 番茄红素在体内代谢中的几何异构体组成变化[J]. 食品科学, 2008, 29(9): 591-594.
- [18] BOILEAU A C, MERCHEN N R, WASSON K, et al. Cis-lycopene is more bioavailable than trans-lycopene *in vitro* and *in vivo* in lymph-cannulated ferrets[J]. Nutrient Metabolism, 1999, 129: 1176-1181.
- [19] KLUNGSUPYA P, SAENKHUM J, MUANGMAN T, et al. Non-cytotoxic property and DNA protective activity against H_2O_2 and UVC of Thai GAC fruit extracts in human TK6 cells[J]. J Applied Pharmaceutical Science, 2012, 2(4): 4-8.
- [20] 阚建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 306-307.
- [21] 李业国, 周光宏, 高峰, 等. 类胡萝卜素在动物体内的生理功能及其吸收代谢研究进展[J]. 畜牧与兽医, 2005, 37(9): 58-60.
- [22] 高玉云, 毕英佐, 谢青梅, 等. 类胡萝卜素的吸收代谢及其功能的研究进展[J]. 动物营养学报, 2010, 22(4): 823-829.
- [23] KHOO H E, PRASAD N, KONG K W, et al. Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables[J]. Molecules, 2011, 16: 1710-1738.
- [24] CAO-HOANG L, PHAN-THIA H, OSORIO-PUENTES F J, et al. Stability of carotenoid extracts of gac (*Momordica cochinchinensis*) towards cooxidation: protective effect of lycopene on β -carotene[J]. Food Research International, 2011, 44: 2252-2257.
- [25] HUO T Y, FERRUZZI M G, SCHWARTZ S J, et al. Impact of fatty acyl composition and quantity of triglycerides on bioaccessibility of dietary carotenoids[J]. J Agric Food Chem, 2007, 55: 8950-8957.
- [26] 彭善丽, 黄卫宁, 张根义. 番茄红素生物利用率的研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(7): 329-332.
- [27] 乔华, 张生万, 李美萍, 等. 天然色素稳定性研究及其新的类型划分[J]. 食品科学, 2006, 27(9): 69-72.
- [28] KUBOLA J, MEESO N, SIRIAMORNpun S. Lycopene and beta carotene concentration in aril oil of gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) as influenced by aril-drying process and solvents extraction[J]. Food Research International, 2011, 10: 1-6.
- [29] TRAN T H, NGUYEN M H, ZABARAS D, et al. Process development of gac powder by using different enzymes and drying techniques[J]. J Food Engineering, 2008, 85(3): 359-365.
- [30] MAIANI G, CASTON M J P, CASTASTA G, et al. Carotenoids: actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans[J]. Mol Nutr Food Res, 2009, 53: 194-218.
- [31] KHA T C, NGUYEN M H, ROACH P D. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder[J]. J Food Engineering, 2010, 98(5): 385-392.
- [32] 邱伟芬, 汪海峰. 天然番茄红素在不同环境条件下的稳定性研究[J]. 食品科学, 2004, 25(2): 56-60.
- [33] 周丹红, 史铁钧. 番茄红素的提取、纯化、稳定性及微胶囊化的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006: 1-41.
- [34] 熊科, 夏延斌, 张彬, 等. 天然 β -胡萝卜素微胶囊化及稳定性研究[J]. 食品科技, 2009, 34(10): 220-225.
- [35] 赵国建, 柳雪皎, 肖春玲. 圣女果番茄红素稳定性研究[J]. 陕西农业科学, 2010(3): 82-85.