

不同产地桃胶中蛋白质和氨基酸的含量测定与营养价值评价

薛瑾¹, 戚繁¹, 张文达^{1,2}, 张婷婷¹, 陶飞¹, 林慧^{1*}

(1. 江苏省食品药品监督检验研究院, 南京 210008; 2. 中国药科大学工学院, 南京 210009)

摘要: **目的** 建立桃胶中蛋白质和氨基酸的定量分析方法, 并对不同产地桃胶的氨基酸营养价值进行评价。**方法** 利用凯氏定氮仪和氨基酸分析仪对不同产地桃胶的蛋白质和氨基酸进行定量检测, 通过对氨基酸测定的前处理过程的优化, 最终确定为: 称取 0.5 g 桃胶、2 mL 水进行除酸; 对桃胶中的氨基酸进行含量、成分及组成比例的分析, 并通过氨基酸比值系数法评价不同产地桃胶的营养价值。**结果** 5 个产地桃胶的蛋白质含量为 0.34~0.46 g/100 g, 均包含 15 种氨基酸, 总氨基酸(total amino acid, TAA)含量为 0.22~0.29 g/100 g; 必需氨基酸(essential amino acid, EAA)/TAA 比值范围为 31.9%~34.7%, EAA/非必需氨基酸(non essential amino acids, NEAA)比值范围为 48.0%~53.1%, 与世界卫生组织/联合国粮食及农业组织(World Health Organization/Food and Agriculture Organization, WHO/FAO)提出的氨基酸理想模式较接近; 氨基酸比值系数分(score of ratio coefficient, SRC)范围为 73.8~80.7, 不同产地的 SRC 值由高到低顺序为湖北武汉>湖北随县>安徽大别山>云南丽江>浙江温岭。**结论** 5 个产地的桃胶均含有蛋白质和氨基酸, 氨基酸种类齐全, 且营养价值较高。探讨桃胶的蛋白质营养价值评价可以为建立桃胶的质量评价标准提供理论基础和技术支持。

关键词: 桃胶; 蛋白质; 氨基酸; 营养价值评价

Determination of protein and amino acid content and evaluation of nutritional value of peach gum from different areas

XUE Jin¹, QI Fan¹, ZHANG Wen-Da^{1,2}, ZHANG Ting-Ting¹, TAO Fei¹, LIN Hui^{1*}

(1. Jiangsu Institute for Food and Drug Control, Nanjing 210008, China; 2. School of Engineering, China Pharmaceutical University, Nanjing 210009, China)

ABSTRACT: Objective To establish a quantitative analysis method for protein and amino acids, and evaluate the nutritional value of amino acid in peach gum. **Methods** The protein and amino acid of peach gum from different areas were determined quantitatively by Kjeldahl nitrogen analyzer and amino acid analyzer. By optimizing the pretreatment process of amino acid determination, a pre-treatment method of weighing 0.5 g of peach gum and using 2 mL of water for acid removal was finally determined. The content, composition, and proportion of amino acids in peach gum were analyzed. The nutritional value of peach gum from different areas was evaluated by amino acid ratio coefficient method. **Results** The protein content of peach gum from 5 different areas was 0.34–0.46 g/100 g, all

基金项目: 江苏省市场监督管理局科技计划项目(KJ2022065)

Fund: Supported by the Science and Technology Plan Project of Market Supervision Administration of Jiangsu Province (KJ2022065)

*通信作者: 林慧, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: lh_szjy@163.com

*Corresponding author: LIN Hui, Senior Engineer, Jiangsu Institute for Food and Drug Control, Beijing West Road, No.6, Gulou District, Nanjing 210008, China. E-mail: lh_szjy@163.com

containing 15 kinds of amino acids, with total amino acid (TAA) content of 0.22–0.29 g/100 g. The ranges of essential amino acid (EAA)/TAA were 31.9%–34.7%, and the ranges of EAA/non essential amino acids (NEAA) were 48.0%–53.1%, which was closer to the ideal amino acid model proposed by WHO/FAO; the score of ratio coefficient (SRC) of amino acid ranged from 73.8 to 80.7, and the SRC value from high to low was Wuhan, Hubei>Suixian, Hubei>Dabie Mountains, Anhui>Lijiang, Yunnan>Wenling, Zhejiang. **Conclusion** Peach gum from 5 different areas contains protein and amino acids, with a complete range of amino acids and high nutritional value. The evaluation of protein nutritional value of peach gum provides theoretical basis and technical support for establishing quality evaluation standards for peach gum.

KEY WORDS: peach gum; protein; amino acids; evaluation of nutritional value

0 引 言

桃胶是由蔷薇科植物桃或者山桃等受到外力伤害出现伤口或被真菌感染时分泌出来的一种天然多糖类半透明树脂^[1], 一般呈现不规则的块状、泪滴状等, 且大小不一。桃胶盛产于我国湖北、江苏、浙江及安徽等地, 其产量受环境气候、温湿度等的影响较大^[2]。桃胶经采摘、分选、晾晒、清洗、干燥等工艺制成, 其主要成分为膳食纤维和多糖^[3–4]。随着人们生活水平的提高, 营养美味、绿色健康成为消费者关注的重点, 桃胶因其“药食同源”的特殊性受到广泛喜爱^[5]。

桃胶是天然的多糖类胶状物, 用途广泛。具有降糖、降脂、提高免疫、抗氧化、抗菌、调节胃肠道、抗炎、抗肿瘤及解酒等药理作用^[6]; 还可以用来开发新型食品, 如桃胶炖银耳、桃胶酸奶、桃胶果冻、桃胶软糖等受到广泛好评^[7]; 桃胶具有足够的水溶性和适当的黏度, 用清水浸泡后泡发变软, 是天然的乳化剂、增稠剂、悬浮剂、胶黏剂、成膜剂等, 被广泛地应用于保健食品、化妆品、食品加工、印刷、材料及轻工业包装等多个领域^[8]。

目前对桃胶的研究主要集中在桃胶多糖的理化性质、加工工艺、药理活性等方面^[9–10], 对其他功能性成分及营养价值的研究报道较少, 限制了桃胶的资源开发与利用。研究表明, 实际流胶过程中, 若受到外力伤害或者虫咬后一般流出白色透明的桃胶, 受病菌感染后则分泌淡黄色、黄棕色至深红色的胶。分泌不同颜色桃胶可能是与其中含有的黄酮类物质含量差异有关^[11]。此外, 桃胶中含有蛋白质^[12–13]、左旋肉碱^[14]、酚类化合物^[15]和丰富的微量元素^[16–17], 是评价桃胶质量和营养价值的重要指标。蛋白质是维持人体健康不可或缺的营养物质, 有多种方法可以用来衡量食物的蛋白质营养价值, 不同的评价方法获得的结果一致, 可采用蛋白质含量、食物蛋白质的消化率、蛋白质的生物学评价、氨基酸评分 4 个标准进行评价^[18]。根据氨基酸平衡模式谱, 氨基酸比值系数(ratio coefficient, RC)法是主要的评价方法之一^[19]。

桃胶尚未形成全面的质量控制标准和营养价值评价方法, 本研究使用凯氏定氮仪和氨基酸分析仪对 5 个产地(湖

北武汉、湖北随县、安徽大别山、云南丽江和浙江温岭)桃胶中的蛋白质及氨基酸进行定量分析, 通过优化氨基酸水解过程的前处理条件, 并且利用 RC 法对不同产地桃胶中的氨基酸进行营养价值评价, 以期建立桃胶的质量评价标准和开发功能营养提供理论基础和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

桃胶购于湖北武汉、湖北随县、安徽大别山、浙江温岭、云南丽江等地。

甲醇(色谱纯, 德国 Merck 公司); 浓盐酸、浓硫酸、硫酸钾、硫酸铜、硼酸、氢氧化钠、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、95%乙醇(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 盐酸标准滴定溶液(0.1004 mol/L, 北京北方伟业计量技术研究院); 17 种混合氨基酸标准溶液[(2.5 μmol/mL, 其中胱氨酸为 1.25 μmol/mL)、钠缓冲液 A (pH 3.45, 主要成分: 柠檬酸三钠、柠檬酸、无水乙醇、浓盐酸)、钠缓冲液 B (pH 10.85, 主要成分: 柠檬酸三钠、硼酸、氢氧化钠)、再生液(0.5 mol/L NaOH 溶液)、钠样品稀释液(pH 2.20, 主要成分: 柠檬酸三钠、柠檬酸、浓盐酸)、钾钠缓冲液(pH 5.5, 主要成分: 乙酸钾、乙酸钠、乙酸)、茚三酮、维生素 C(抗坏血酸)][赛卡姆(北京)科学仪器有限公司]。实验用水均来自 Milli-Q 型纯水系统。

1.2 仪器与设备

XS205DU 型分析天平(万分之一)[梅特勒托利多公司(上海)]; KT8400 全自动凯氏定氮仪(丹麦 FOSS 公司); FD115 热风循环干燥箱(德国 Binder 公司); N-EVAP-112 氮吹仪(美国 Organomation 公司); S433D 全自动氨基酸分析仪(德国 Sykam 公司); XW-80A 旋涡混合器(上海医大仪器有限公司); 微孔滤膜(0.22 μm, 水相, 上海安谱实验科技股份有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 蛋白质含量的测定方法

将样品研磨成粉过 60 目筛, 参考 GB 5009.5—2016

《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定第一法》，于自动凯氏定氮仪上测定不同产地桃胶的蛋白质含量。

1.3.2 氨基酸含量的测定方法

(1) 样品前处理方法

将样品研磨成粉过 60 目筛，称取 0.5 g 均匀样品至水解管中，加入 15 mL 6 mol/L 盐酸溶液混匀后，参考 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》，于氨基酸分析仪上测定不同产地桃胶的氨基酸含量。

(2) 混合氨基酸标准曲线的绘制

酸水解过程中色氨酸会被全部破坏而无法测定，因此本研究选择常见的 17 种氨基酸作为研究对象。准确吸取 17 种混合氨基酸标准溶液 400 μ L 于 10 mL 容量瓶中，加 pH 2.20 的样品稀释液定容至刻度，混匀，此标准工作液浓度为 100 nmol/mL (其中胱氨酸浓度为 50 nmol/mL)，贮存于 4 $^{\circ}$ C 冰箱中，有效期 6 个月。将标准工作液逐级稀释，得到浓度为 5、10、20、50、100 nmol/mL 的系列标准液 (其中胱氨酸浓度为 2.5、5.0、10.0、25.0、50.0 nmol/mL)，以浓度为横坐标 (X, nmol/mL)，测得的峰面积 (Y) 为纵坐标绘制标准曲线。

(3) 氨基酸分析仪运行条件

强酸性阳离子交换树脂 Na 填充柱 (4.6 mm \times 150 mm); 流动相 A: 0.12 mol/L 柠檬酸钠, pH 3.45; 流动相 B: 0.2 mol/L 柠檬酸钠, pH 10.85; 洗脱液流速 0.45 mL/min, 反应液流速 0.25 mL/min; 检测波长: 570 nm+440 nm; 进样量: 50 μ L; 分离柱柱温: 58~74 $^{\circ}$ C 梯度控温; 反应器温度: 130 $^{\circ}$ C。按表 1 进行梯度洗脱, 记录色谱图, 外标法定量。

1.3.3 营养评价

根据氨基酸实验结果计算桃胶中的氨基酸总量 (total amino acid, TAA)、必需氨基酸 (essential amino acid, EAA) 含量、非必需氨基酸 (non essential amino acids, NEAA) 含量、EAA/TAA (%) 和 EAA/NEAA (%), 对比不同产地的桃胶中氨基酸含量的差异。

参照世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 和联合国粮食及农业组织 (Food and Agriculture Organization, FAO) 提出的评价蛋白质营养价值的氨基酸模式 (即以人体必需氨基酸模式为标准模式), 根据氨基酸平衡理论计算氨基酸比值 (ratio of amino acid, RAA) [公式 (1)]、RC [公式 (2)] 和比值系数分 (score of ratio coefficient, SRC) [公式 (3)], 由此评价和讨论桃胶的营养价值和食用价值。

$RAA = \frac{\text{待测某氨基酸含量}}{\text{WHO/FAO 模式中相应 EAA 含量}}$ (1)

$RC = \frac{\text{待测某氨基酸的 RAA}}{\text{各种必需氨基酸 RAA 的平均值}}$ (2)
式 (2) 中: RC 大于或者小于 1, 说明该种必需氨基酸相对

过剩或者相对不足, RC 最小值对应的氨基酸为第一限制氨基酸。

$$SRC = (1 - CV) \times 100 \quad (3)$$

式 (3) 中: CV 为 RC 的变异系数, $CV = \frac{\text{标准差}}{\text{均数}}$; SRC 接近 100, 说明其营养价值越高; 反之, 则营养价值越低; 若 $SRC = 100$, 说明该样品中必需氨基酸组成比例与标准模式一致。

表 1 梯度洗脱程序
Table 1 Procedure of gradient elution

时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%	再生液 D/%
0	100	0	0
3.50	100	0	0
11.00	85	15	0
12.00	84	16	0
14.00	84	16	0
19.00	80	20	0
24.00	67	33	0
25.00	30	70	0
27.00	28	72	0
29.00	25	75	0
32.00	20	80	0
38.00	15	85	0
39.00	0	100	0
45.00	0	100	0
45.10	0	0	100
48.10	0	0	100
48.20	100	0	0
61.20	100	0	0

1.4 数据分析

采用 Excel 2007、Origin 8.0、SPSS 22.0 软件对所有数据进行绘制、分析与统计。

2 结果与分析

2.1 氨基酸含量分析的前处理优化

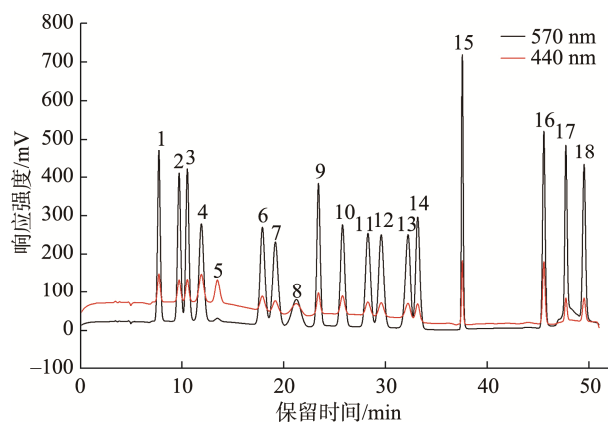
2.1.1 线性关系

按照 1.3.2(2) 方法配制混合氨基酸标准系列溶液, 按照 1.3.2(3) 方法进行仪器测定, 以目标物浓度 (当量浓度 \times 各个氨基酸的分子量) 为横坐标, 以峰面积为纵坐标, 进行线性回归, 得出线性回归方程和相关系数, 结果见表 2。由表 2 可知, 17 种氨基酸在线性范围内的相关系数均大于 0.999, 线性关系良好。

表 2 17 种氨基酸的线性方程及线性范围
Table 2 Linear equations and linear ranges of 17 kinds of amino acids

化合物名称	分子量/(g/mol)	保留时间/min	线性方程	r^2	线性范围/($\mu\text{g/mL}$)
天冬氨酸	133.1	7.709	$Y=626133.28X+10.38$	0.9999	0.67~13.30
苏氨酸	119.1	9.701	$Y=713590.15X+30.40$	0.9999	0.60~11.90
丝氨酸	105.1	10.507	$Y=829403.65X+81.74$	0.9999	0.52~11.50
谷氨酸	147.1	11.888	$Y=588715.26X+112.67$	0.9998	0.74~14.70
脯氨酸	115.1	13.469	$Y=170228.32X+35.94$	0.9999	0.58~11.50
甘氨酸	75.07	17.888	$Y=1157720.76X+44.06$	0.9999	0.38~7.50
丙氨酸	89.09	19.165	$Y=955458.25X-42.94$	0.9999	0.44~8.90
胱氨酸	240.3	21.229	$Y=364329.27X-20.86$	0.9999	0.60~12.00
缬氨酸	117.2	23.408	$Y=740620.15X+65.72$	0.9998	0.59~11.70
蛋氨酸	149.2	25.776	$Y=567457.92X+17.23$	0.9997	0.75~14.90
异亮氨酸	131.2	28.269	$Y=669905.44X+17.58$	0.9996	0.66~13.10
亮氨酸	131.2	29.579	$Y=696531.48X+106.69$	0.9991	0.66~13.10
酪氨酸	181.2	32.216	$Y=477039.23X-38.83$	0.9999	0.91~18.10
苯丙氨酸	165.2	33.171	$Y=545792.26X-86.01$	0.9997	0.83~16.50
组氨酸	155.2	37.549	$Y=529939.01X+140.85$	0.9996	0.78~15.50
赖氨酸	146.2	45.573	$Y=658133.34X-79.74$	0.9998	0.73~14.60
精氨酸	174.2	49.531	$Y=506705.21X-128.75$	0.9994	0.87~17.40

研究表明, 伯胺型氨基酸在与茚三酮高温反应后生成兰紫色物质, 其最大吸收波长为 570 nm。而仲胺型氨基酸与茚三酮反应直接生成黄色化合物, 其最大吸收波长为 400 nm, 二级最大吸收波长为 440 nm, 因 440 nm 波长下能量更为稳定, 因此脯氨酸的吸收波长最终确定为 440 nm^[21]。混合氨基酸标准工作液的色谱图见图 1。



注: 1-天冬氨酸、2-苏氨酸、3-丝氨酸、4-谷氨酸、5-脯氨酸、6-甘氨酸、7-丙氨酸、8-胱氨酸、9-缬氨酸、10-蛋氨酸、11-异亮氨酸、12-亮氨酸、13-酪氨酸、14-苯丙氨酸、15-组氨酸、16-赖氨酸、17-NH₃、18-精氨酸。

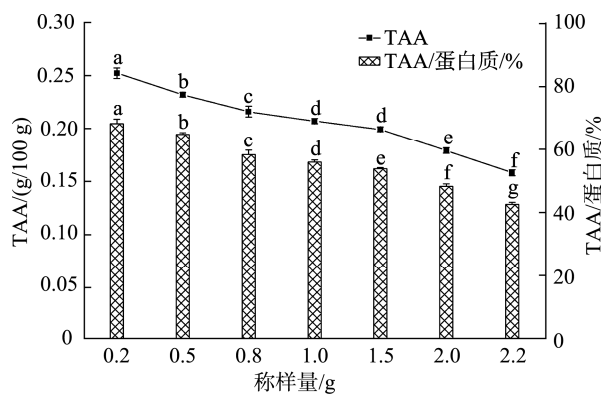
图 1 混合氨基酸标准工作液色谱图

Fig.1 Chromatograms of mixed amino acid standard working solution

2.1.2 称样量对水解程度的影响

根据 GB 5009.124—2016 中规定的试样称量, 对于蛋

白质含量较低的样品, 固体称样量不大于 2 g。为了比较不同称样量对桃胶水解程度的影响, 考察样品称样量在 0.2~2.2 g 之间, 桃胶中的氨基酸总含量及氨基酸含量占蛋白质含量比值的趋势, 结果见图 2。



注: 不同小写字母表示具有显著差异($P<0.05$)。

图 2 不同称样量下桃胶的 TAA 及氨基酸含量占蛋白质含量比值的比较($n=3$)

Fig.2 Comparison of TAA and ratio of amino acid content to protein content of peach gum under different test portion weight ($n=3$)

结果可知, 随着称样量的增加, 桃胶中 TAA 含量逐渐下降。称样量为 0.2 g 时, 桃胶中的 TAA 最大, 约为 0.26 g/100 g; 称样量为 0.5~0.8 g 时, TAA 含量变化显著, 从 0.23 g/100 g 下降至 0.21 g/100 g; 称样量为 1.0~1.5 g 时, TAA 含量维持稳定, 差异不显著, 约为 0.20 g/100 g; 称样

量大于 1.5 g 时, TAA 含量差异显著。称样量为 0.2 g 时, TAA 占蛋白质含量的比值约为 68%, 随着称样量的增加, TAA 占蛋白质含量的比值显著下降, 这可能是因为桃胶吸水后容易泡发成黏稠状, 无法混合均匀^[22], 蛋白质未全部水解为游离氨基酸, 样品水解程度不完全。

通过实验对比, 称样量对桃胶的水解过程影响具有显著性。因称样量为 0.2 g 时, 桃胶中的部分氨基酸含量低于线性范围, 不能准确定量; 称样量为 0.5 g 时, 水解程度较高, 各氨基酸含量稳定, 最终确定样品称样量为 0.5 g。

2.1.3 桃胶酸水解后除酸情况对色谱峰的影响

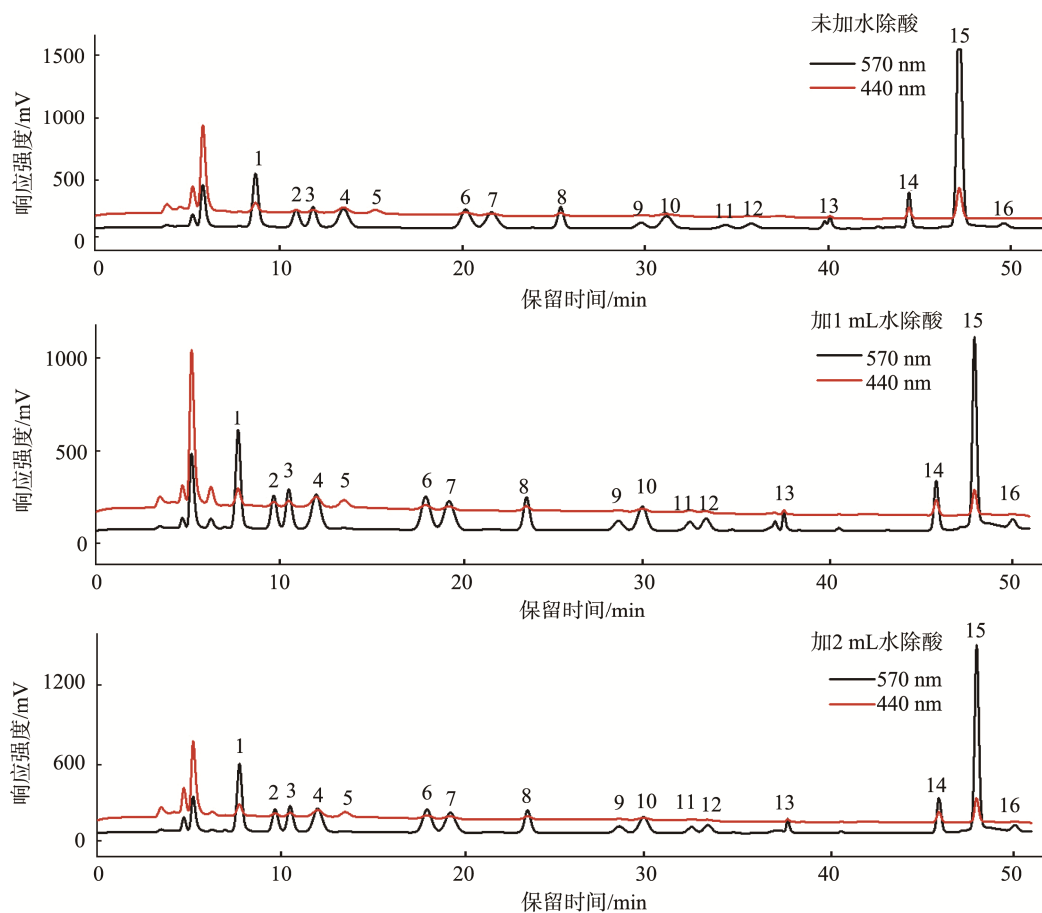
样品经过酸水解后, 考察了不同体积的水复溶, 再经过水浴氮吹干除去盐酸的过程, 对桃胶中氨基酸的色谱峰的影响, 用不同体积的水除酸后桃胶中氨基酸的色谱图见图 3。结果表明, 未除酸的过程影响了桃胶中的组氨酸色谱峰出峰, 组氨酸色谱峰与杂质峰不能完全分离, 且杂质峰响应较高。随着除酸用水体积的增加, 组氨酸的色谱峰

型较好, 可以有效地与杂质峰分开, 且杂质峰的响应降低。当除酸用水体积不断增加, 达到 5 mL 时, 组氨酸的保留时间产生漂移, 与标准溶液的保留时间不一致。为了提高实验效率、保证除酸完全, 且组氨酸保留时间不发生漂移, 最终确定桃胶经过酸水解后, 使用 2 mL 水复溶再氮吹至完全干燥。

2.2 不同产地桃胶的蛋白质含量分析

采用凯氏定氮法对不同产地、共计 20 批次样品的蛋白质含量进行检测分析, 结果见表 3。

5 个产地的桃胶均含有蛋白质, 部分产地桃胶的蛋白质含量差异显著。蛋白质含量范围为 0.34~0.46 g/100 g, 其中以安徽大别山、湖北武汉的桃胶中蛋白质含量较高, 达到 0.44~0.46 g/100 g; 浙江温岭的桃胶中蛋白质含量最低, 含量为 0.34 g/100 g。从健康的角度看, 植物源蛋白质占比多的膳食模式能够改善高血脂和心血管疾病^[23-24]。桃胶不仅含有多糖和增强肠道蠕动的膳食纤维, 还含有一定量的



注: 1-天冬氨酸、2-苏氨酸、3-丝氨酸、4-谷氨酸、5-脯氨酸、6-甘氨酸、7-丙氨酸、8-缬氨酸、9-异亮氨酸、10-亮氨酸、11-酪氨酸、12-苯丙氨酸、13-组氨酸、14-赖氨酸、15-NH₃、16-精氨酸。

图3 不同体积水除酸后桃胶中氨基酸的色谱图

Fig.3 Chromatograms of amino acids in peach gum by different volumes of water for acid removal

植物蛋白质, 因此可以尝试将桃胶与谷物类、豆类及薯类等搭配食用, 充分利用优质植物蛋白, 以增强人体免疫力、抵抗力等, 开发桃胶中植物蛋白的营养保健功能^[25]。此外, 利用植物蛋白的溶解性、乳化性及起泡性等特性, 将桃胶应用于食品开发、食品工业等领域已经成为未来的研究方向。

2.3 不同产地桃胶的氨基酸组成特征

对不同产地、共计 20 批次样品进行了氨基酸含量的测定, 结果见表 4。

从表 4 可以看出, 桃胶样品中均检测出了 15 种氨基酸, 包括 6 种 EAA(苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸), 9 种 NEAA(天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、丙氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸)。另外, 这 15 种氨基酸中包含了 6 种呈味氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、苯丙氨酸、丙氨酸、甘氨酸、酪氨酸), 8 种药用氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、亮氨酸、酪氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、精氨酸)。

从氨基酸组分来看, 天冬氨酸是含量最高的氨基酸, 含量为 0.035~0.046 g/100 g, 约占 TAA 的 16%; 其次为谷氨酸,

含量为 0.027~0.034 g/100 g, 约占 TAA 的 12%; 亮氨酸、脯氨酸、丙氨酸、赖氨酸、缬氨酸和苏氨酸等含量相近, 含量较低的有酪氨酸、异亮氨酸和组氨酸, 范围为 0.005~0.010 g/100 g。从不同产地来看, 氨基酸组分相对稳定, 部分产地桃胶的 TAA 含量差异显著。TAA 含量范围为 0.22~0.29 g/100 g, 其中以安徽大别山、湖北武汉的桃胶中 TAA 含量较高, 达到 0.28~0.29 g/100 g; 浙江温岭的桃胶中 TAA 含量最低, 含量为 0.22 g/100 g。TAA 总量由高到低顺序为湖北武汉>安徽大别山>湖北随县>云南丽江>浙江温岭。

表 3 不同产地桃胶蛋白质含量分析(n=3)
Table 3 Analysis of protein content in peach gum from different producing areas (n=3)

产地	蛋白质平均含量/(g/100 g)
湖北武汉	0.44±0.048 ^{ab}
湖北随县	0.39±0.044 ^{ab}
安徽大别山	0.46±0.048 ^a
云南丽江	0.37±0.045 ^{ab}
浙江温岭	0.34±0.041 ^b

注: 同列不同小写字母表示具有显著差异(P<0.05)。

表 4 不同产地的桃胶中的氨基酸种类及含量分析(g/100 g)
Table 4 Analysis of amino acid types and content in peach gum from different producing areas (g/100 g)

氨基酸种类	产地					
	湖北武汉	安徽大别山	云南丽江	湖北随县	浙江温岭	
EAA	苏氨酸	0.016±0.0008	0.016±0.0005	0.014±0.0020	0.014±0.0005	0.012±0.0012
	缬氨酸	0.018±0.0009	0.018±0.0010	0.016±0.0009	0.017±0.0006	0.015±0.0013
	异亮氨酸	0.009±0.0007	0.009±0.0006	0.007±0.0017	0.008±0.0003	0.006±0.0010
	亮氨酸 [#]	0.022±0.0014	0.021±0.0011	0.018±0.0035	0.020±0.0006	0.014±0.0022
	苯丙氨酸 [#]	0.013±0.0009	0.014±0.0004	0.011±0.0026	0.012±0.0003	0.009±0.0017
	赖氨酸 [#]	0.020±0.0016	0.021±0.0013	0.018±0.0020	0.018±0.0010	0.017±0.0013
NEAA	天冬氨酸 [#]	0.046±0.0032	0.046±0.0033	0.039±0.0056	0.042±0.0011	0.035±0.0036
	丝氨酸	0.017±0.0006	0.016±0.0007	0.014±0.0024	0.015±0.0008	0.012±0.0013
	谷氨酸 [#]	0.034±0.0014	0.033±0.0009	0.028±0.0031	0.031±0.0013	0.027±0.0016
	脯氨酸	0.021±0.0020	0.023±0.0005	0.019±0.0018	0.021±0.0025	0.019±0.0011
	甘氨酸 [#]	0.016±0.0013	0.016±0.0014	0.014±0.0032	0.015±0.0004	0.011±0.0020
	丙氨酸 [#]	0.020±0.0014	0.019±0.0011	0.016±0.0035	0.018±0.0004	0.013±0.0022
	酪氨酸 [#]	0.010±0.0007	0.010±0.0007	0.009±0.0010	0.010±0.0004	0.008±0.0005
	组氨酸	0.007±0.0004	0.007±0.0005	0.006±0.0005	0.006±0.0001	0.005±0.0005
	精氨酸 [#]	0.016±0.0011	0.016±0.0007	0.015±0.0014	0.015±0.0008	0.013±0.0005
	TAA	0.29±0.016 ^a	0.28±0.012 ^a	0.24±0.034 ^{bc}	0.26±0.010 ^{ab}	0.22±0.020 ^c
EAA	0.099±0.006	0.099±0.005	0.084±0.012	0.089±0.003	0.069±0.008	
NEAA	0.19±0.010	0.19±0.008	0.16±0.021	0.17±0.007	0.14±0.012	
EAA/TAA	34.7%	34.7%	34.4%	34.2%	31.9%	
EAA/NEAA	53.1%	53.1%	52.4%	51.9%	48.0%	

注: ^{*}呈味氨基酸; [#]药用氨基酸; 同行不同小写字母表示具有显著差异(P<0.05)。

2.4 不同产地桃胶的氨基酸的营养评价

2.4.1 EAA 与 NEAA 营养价值评价

EAA 是指人体自身不能合成或合成速度不能满足人体需要, 必须从食物中摄取的氨基酸^[26]。对于成人来说, EAA 共 8 种: 赖氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸; 对于婴儿来说, 组氨酸也属于必需氨基酸^[27]。如果饮食中经常缺少 EAA, 将会影响身体健康。由表 4 结果可知, 20 批次桃胶中均含有 6 种 EAA, 缺乏色氨酸和蛋氨酸。含量较高的氨基酸分别为赖氨酸、亮氨酸和缬氨酸, 其次为苏氨酸、苯丙氨酸和异亮氨酸; 5 个产地的样品 EAA 总含量范围为 0.069~0.099 g/100 g, 占 TAA 的 31.9%~34.7%, 其中湖北武汉和安徽大别山的 EAA 含量最高, 浙江温岭的含量最低。不同产地的 NEAA 含量范围为 0.14~0.19 g/100 g, EAA/NEAA 范围为 48.0%~53.1%。

所含 EAA 的种类、数量和组成比例可评价氨基酸营养价值的优劣, 其组成比例越接近人体需要氨基酸的比例, 则质量越高^[28]。WHO/FAO 的标准中规定 EAA/TAA 为 40%, EAA/NEAA 为 60%, 桃胶中的 EAA/TAA、EAA/NEAA 范围均接近标准值, 其中来自安徽大别山和湖北武汉的桃胶最接近, 其蛋白质质量较高。

2.4.2 氨基酸比值系数评价

蛋白质含量是评价食物营养价值的基础指标, 氨基

酸则是构成蛋白质的基本单位, 其组成成分和含量与蛋白质的质量有着密切关联。RC 法可以找出食品中的限制氨基酸, 便于发现应该补充或者在食品中强化的氨基酸, 可以较容易地利用食品蛋白质之间的互补作用^[29]。若 RC 的数值大于 1 或者小于 1, 代表食品中的氨基酸偏离了氨基酸标准模式, 当 $RC > 1$, 表示该氨基酸相对过剩; 当 $RC < 1$, 表示该氨基酸相对不足。RC 最小的氨基酸则是限制氨基酸。

根据公式(1)、(2)、(3)分别计算桃胶的 RAA、RC、SRC 值用来评价桃胶的氨基酸营养价值。由表 5 结果可知, 不同产地桃胶中异亮氨酸的 RC 值最小, 因此桃胶中的异亮氨酸为第一限制氨基酸。除了异亮氨酸, 亮氨酸 RC 值低于 WHO/FAO 标准值, 相对不足。此外, 苯丙氨酸+酪氨酸、赖氨酸、苏氨酸、缬氨酸的 RC 值均略高于 WHO/FAO 标准值, 相对过剩, 可以考虑用来弥补大米等谷物中的限制氨基酸问题^[30]。通过比较, 不同产地的桃胶中的 RC 值与标准模式之间的差距变化不大, 表明桃胶的氨基酸组成比例合理, 营养价值相对稳定。从氨基酸营养价值看, SRC 值由高到低分别为湖北武汉>湖北随县>安徽大别山>云南丽江>浙江温岭。值得注意的是, RC 法消除了食物氨基酸与模式氨基酸在“量”上的差别, 属于对“质”的评价^[31]。

表 5 不同产地桃胶的 EAA 的营养评价
Table 5 Nutritional evaluation of EAA in peach gum from different areas

产地	必需氨基酸种类	WHO/FAO 模式值	桃胶 EAA/(g/100 g)	RAA	RC	SRC
湖北武汉	苯丙氨酸+酪氨酸	6.0	8.32	1.39	1.15	80.7
	赖氨酸	5.5	7.01	1.27	1.05	
	苏氨酸	4.0	5.73	1.43	1.18	
	缬氨酸	5.0	6.41	1.28	1.06	
	异亮氨酸	4.0	3.21	0.80	0.66	
	亮氨酸	7.0	7.56	1.08	0.89	
安徽大别山	苯丙氨酸+酪氨酸	6.0	8.42	1.40	1.15	79.1
	赖氨酸	5.5	7.51	1.37	1.12	
	苏氨酸	4.0	5.76	1.44	1.18	
	缬氨酸	5.0	6.42	1.28	1.06	
	异亮氨酸	4.0	3.14	0.78	0.64	
	亮氨酸	7.0	7.37	1.05	0.86	
云南丽江	苯丙氨酸+酪氨酸	6.0	8.34	1.39	1.16	78.9
	赖氨酸	5.5	7.24	1.32	1.10	
	苏氨酸	4.0	5.65	1.41	1.18	
	缬氨酸	5.0	6.46	1.29	1.08	
	异亮氨酸	4.0	3.05	0.76	0.64	
	亮氨酸	7.0	7.30	1.04	0.87	

表 5(续)

产地	必需氨基酸种类	WHO/FAO 模式值	桃胶 EAA/(g/100 g)	RAA	RC	SRC
湖北随县	苯丙氨酸+酪氨酸	6.0	8.18	1.36	1.14	80.3
	赖氨酸	5.5	6.84	1.24	1.04	
	苏氨酸	4.0	5.55	1.39	1.16	
	缬氨酸	5.0	6.59	1.32	1.11	
	异亮氨酸	4.0	3.08	0.77	0.65	
	亮氨酸	7.0	7.60	1.08	0.91	
浙江温岭	苯丙氨酸+酪氨酸	6.0	7.82	1.30	1.09	73.8
	赖氨酸	5.5	7.64	1.39	1.17	
	苏氨酸	4.0	5.66	1.42	1.19	
	缬氨酸	5.0	7.04	1.41	1.18	
	异亮氨酸	4.0	2.64	0.661	0.56	
	亮氨酸	7.0	6.68	0.951	0.80	

3 结 论

本研究通过凯氏定氮法对桃胶中的蛋白质进行了定量分析, 通过氨基酸分析仪分析了桃胶中的氨基酸种类、含量及组成比例, 并利用 RC 法评价了不同产地的桃胶中氨基酸的营养价值。结果显示, 5 个产地的桃胶中均含有蛋白质, 含量为 0.34~0.46 g/100 g。来自安徽大别山和湖北武汉的含量最高, 浙江温岭的含量最低。5 个产地的桃胶均含有 15 种氨基酸, 其中包括 6 种 EAA 和 9 种 NEAA、6 种呈味氨基酸、8 种药用氨基酸; 氨基酸的种类齐全, TAA 范围为 0.22~0.29 g/100 g; EAA/TAA 范围为 31.9%~34.7%, EAA/NEAA 范围为 48.0%~53.1%, 与 WHO/FAO 提出的氨基酸理想模式较接近。利用 RC 法评价了 5 个产地桃胶的氨基酸营养价值, 异亮氨酸的 RC 值<1, 为桃胶的第一限制氨基酸; 所含 6 种 EAA 中有 4 种 RC 值>1, 表示相对过剩, 其中苏氨酸 RC 值最高, 可与谷物搭配形成互补。氨基酸 SRC 值范围为 73.8~80.7, 表明桃胶的氨基酸营养价值较高。5 个不同产地的 SRC 值由高到低顺序为湖北武汉>湖北随县>安徽大别山>云南丽江>浙江温岭。

目前研究主要针对桃胶中多糖的成分、含量及功能分析与研究, 缺乏全面的桃胶产品的质量评价标准。本研究通过对桃胶中的蛋白质及氨基酸的定量分析和营养价值评价, 可以对不同产地的桃胶进行专业的质量评估和评价, 为建立桃胶产品的质量评价标准提供有效的理论参考和技术支持。

参考文献

- 钱育恩. 桃胶的研究与应用进展[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(6): 70. QIAN YEN. Progress in research and application of peach gum [J]. Chem Eng Des Commun, 2018, 44(6): 70.
- 刘梦, 毕金峰, 刘璇, 等. 浸胀与干燥过程对桃胶色泽及总酚含量的影

响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(11): 105-111.

- LIU M, BI JF, LIU X, *et al.* Effect of the process of soaking and drying on color and total phenolic content of peach gum [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2021, 21(11): 105-111.
- 刘启月. 桃胶功能成分分析及安全性评价[D]. 南京: 南京财经大学, 2021. LIU QY. Analysis of functional components and safety evaluation in peach gum [D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2021.
- 刘路弘. 江苏桃流胶情况调查及桃胶营养成分分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2020. LIU LH. Study on the peach gummosis and the nutritional compounds of peach gum in Jiangsu Province [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020.
- 徐熠. 桃胶的食用及药用价值[J]. 湖南中医杂志, 2021, 37(10): 140. XU Y. The edible and medicinal value of peach gum [J]. Hunan J Tradit Chin Med, 2021, 37(10): 140.
- 蔡延渠, 董碧莲, 陈利秋, 等. 桃胶多糖体内抗氧化作用的研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(13): 53-58. CAI YQ, DONG BL, CHEN LQ, *et al.* Antioxidant activity *in vivo* and *in vitro* of polysaccharide from peach gum [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(13): 53-58.
- 侯孟春, 廖辉, 王仕英, 等. 天然桃胶深加工产品研究现状[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(10): 120-121. HOU MC, LIAO H, WANG SY, *et al.* Research status of natural peach glue deep processing products [J]. Anhui Agric Sci Bull, 2021, 27(10): 120-121.
- 郑依玲, 董鹏鹏, 梅全喜. 桃胶特性化学成分药理作用及临床应用研究进展[J]. 时珍国医国药, 2017, 28(7): 1728-1730. ZHENG YL, DONG PP, MEI QX. Advances in pharmacological action and clinical application of characteristic chemical components of peach gum [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2017, 28(7): 1728-1730.
- 董碧莲, 吕莉, 朱盛山, 等. 桃胶加工工艺研究概况[J]. 广东药科大学学报, 2018, 34(3): 403-406. DONG BL, LV L, ZHU SS, *et al.* Research progress on peach gum processing technology [J]. J Guangdong Pharm Univ, 2018, 34(3):

- 403–406.
- [10] 丁婷. 桃胶药理学作用的实验研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2010.
DING T. Laboratory study on the pharmacological effects of peach resin [D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2010.
- [11] LIU J, ZHANG X, TIAN J, *et al.* Multiomics analysis reveals that peach gum colouring reflects plant defense responses against pathogenic fungi [J]. Food Chem, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132424
- [12] 金平. 基于药食同源桃胶质量评价与生物酶解工艺研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2022.
JIN P. Study on the quality evaluation of peach gum and biological enzymatic hydrolysis process based on the theory of “medicine and food homology” [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine, 2022.
- [13] DING J, ZHANG H, TIAN YJ, *et al.* Rheological properties of *Prunus persica* exudate: Potential effects of proteins and polyphenols [J]. Int J Biol Macromol, 2019, 133: 831–838.
- [14] 刘启月, 李勇, 余向阳, 等. 高效液相色谱-串联质谱法检测原桃胶中左旋肉碱的含量[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(17): 215–218.
LIU QY, LI Y, YU XY, *et al.* Determination of carnitine in peach gum by high-performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Jiangsu Agric Sci, 2020, 48(17): 215–218.
- [15] 刘启月, 李勇, 陈小龙, 等. 基于代谢组学分析桃胶中酚类化合物含量及抗氧化活性[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 746–753.
LIU QY, LI Y, CHEN XL, *et al.* Analysis on phenolics content and antioxidant activity in peach gum based on metabolomics [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2021, 37(3): 746–753.
- [16] 宫世平, 李玲, 陈明岩, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定桃胶中微量元素[J]. 农产品加工, 2021, (15): 47–49.
GONG SP, LI L, CHEN MY, *et al.* Determination of trace elements in peach gum by ICP-MS [J]. Farm Prod Process, 2021, (15): 47–49.
- [17] 金平, 陈建伟. 不同产地桃胶无机元素的 ICP-MS 分析与评价[J]. 食品工业科技, 2019, 40(21): 6.
JIN P, CHEN JW. Principal component analysis and evaluation of inorganic elements in peach gum from different areas [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(21): 6.
- [18] 潘兴昌, 杨月欣. 食物蛋白质营养价值的评价[C]. 营养健康新观察(第十七期): 能量与蛋白质研究新进展专题, 2002.
PAN XC, YANG YX. Evaluation of nutritional value of food protein [C]. New Observations on Nutrition and Health (17th issue): Recent Advances in Energy and Protein Research, 2002.
- [19] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法[J]. 营养学报, 1988, (2): 187–190.
ZHU ST, WU K. Evaluation of nutritional value of protein-amino acid ratio coefficient method [J]. Acta Nutr Sin, 1988, (2): 187–190.
- [20] 罗晓莉, 张沙沙, 严明, 等. 云南 8 种栽培食用菌蛋白质和氨基酸分析及营养价值评价[J]. 食品工业, 2021, (8): 328–332.
LUO XL, ZHANG SS, YAN M, *et al.* Protein and amino acid analysis and nutritional value evaluation of eight cultivation edible fungi in Yunnan Province [J]. Food Ind, 2021, (8): 328–332.
- [21] FRIEDMAN M. Applications of the ninhydrin reaction for analysis of amino acids, peptides, and proteins to agricultural and biomedical sciences [J]. J Agric Food Chem, 2004, 52(3): 385–406.
- [22] 陈锦桃, 蔡延渠, 董碧莲, 等. 原桃胶及其多糖提取物的吸湿保湿性能研究[J]. 广东药科大学学报, 2018, 34(4): 422–424, 429.
CHEN JT, CAI YQ, DONG BL, *et al.* Study on the moisture-absorption and moisture-retention properties of peach gum and its polysaccharose [J]. J Guangdong Pharm Univ, 2018, 34(4): 422–424, 429.
- [23] RICHTER CK, SKULAS RAY. Plant protein and animal proteins: Do they differentially affect cardiovascular disease risk? [J]. Adv Nutr, 2015, 6(6): 712–728.
- [24] PINCKAERS PJM, KOUW IWK, GORISSEN SHM, *et al.* The muscle protein synthetic response to the ingestion of a plant-derived protein blend does not differ from an equivalent amount of milk protein in healthy young males [J]. J Nutr, 152(12): 2734–2743.
- [25] 宫博. 桃胶的产品开发应用及其降血糖功效评价[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2022.
GONG B. Product development and application of peach gum and evaluation of its hypoglycemic effect [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2022.
- [26] 邓泽元. 食品营养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
DENG ZY. Food nutritional science [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2016.
- [27] HOLEČEK M. Histidine in health and disease: Metabolism, physiological importance, and use as a supplement [J]. Nutrients, 2020, 12(3): 848.
- [28] 刘振艳, 宋耀新, 刘洋, 等. 黑龙江不同产地北苍术中氨基酸的组成特征及营养评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(1): 304–314.
LIU ZY, SONG YX, LIU Y, *et al.* Amino acid composition characteristics and nutritional evaluation in *Atractylodes chinensis* (DC.) Koidz. from different regions of Heilongjiang [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(1): 304–314.
- [29] CHEN SJ, WANG Y. Response surface optimization of millet milk fermented by *Lactobacillus kefir* [J]. J Food Process Pres, 2022, (7): 46.
- [30] NIU MY, CHEN X, ZHOU W, *et al.* Multi-omics analysis provides insights into lysine accumulation in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sprouts [J]. Food Res Int, 2023, 171: 113026.
- [31] ZHAO X, ZHANG B, LUO Z, *et al.* Composition analysis and nutritional value evaluation of amino acids in the fruit of 161 jujube cultivars [J]. Plants-Basel, 2023, 12(9): 1744.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



薛 瑾, 工程师, 主要研究方向为食品检测。

E-mail: xuejin.890510@163.com



林 慧, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: lh_szjy@163.com