

李珂, 张振军, 杜玉霞, 等. 引种果桑和叶桑叶片中营养成分成分含量及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2024, 45(20): 232–239.
doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100104

LI Ke, ZHANG Zhenjun, DU Yuxia, et al. Analysis of Nutrient Functional Components and Antioxidant Activity in Leaves of Introduced Fruit and Leaf Mulberries[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(20): 232–239. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100104

· 分析检测 ·

引种果桑和叶桑叶片中营养成分成分含量 及其抗氧化活性

李 珂^{1,2}, 张振军^{1,2}, 杜玉霞^{1,2}, 李彩霞^{1,2}, 张 勇^{1,2}, 王恩军^{1,2}, 张东芝^{1,2,3,*}

(1. 河西学院生命科学与工程学院, 甘肃张掖 734000;

2. 甘肃省河西走廊特色资源利用重点实验室, 甘肃张掖 734000;

3. 河西学院河西走廊油菜-玉米抗逆研究中心, 甘肃张掖 734000)

摘 要: 为明确引种桑叶的营养和抗氧化特性, 促进桑叶资源在河西地区的开发和利用。本研究以果桑和叶桑的叶片为研究材料, 测定其主要营养成分的含量, 并分析不同活性成分与桑叶提取物抗氧化能力之间的相关性。结果表明, 叶桑中粗蛋白、粗脂肪、还原糖、灰分的含量均显著高于果桑 ($P < 0.05$), 而两者的 γ -氨基丁酸和芦丁含量无显著差异 ($P > 0.05$)。叶桑中黄酮含量 ($50.57 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) 显著高于果桑 ($46.96 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) ($P < 0.05$), 两者中的多酚和多糖含量差异不显著。果桑和叶桑叶片中矿质元素的含量大小顺序均为 $\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{Fe}$, 且呈现高钾低钠特性, 叶桑中 K、Mn、Zn、Cu、Ni 元素的含量高于果桑, 而 Ca、Mg、Na、Fe 元素含量却呈现相反的趋势。果桑和叶桑叶片中 Na 元素、粗脂肪和还原糖含量的营养质量指数 (index of nutritional quality, INQ) 均 < 1 , 而 K、Mn、Ca、Mg、Zn、Fe、Cu 元素、粗蛋白的 INQ 均 > 1 , 营养当量 (nutrition equivalent, NEU) 显示叶桑高于果桑。果桑中黄酮和多糖对 DPPH 自由基清除率高于叶桑, 但叶桑中黄酮对 ABTS⁺ 自由基清除率高于果桑, 而两品种中多糖对 ABTS⁺ 自由基清除率差异不大。相关性表明, 叶桑和果桑叶中黄酮、芦丁、多酚、多糖含量与 DPPH 自由基清除存在极显著正相关 ($P < 0.01$), 相关系数在 0.899–0.991 范围内, 而与 ABTS⁺ 自由基清除率之间比较差异不显著 ($P > 0.05$)。综上, 叶桑的营养功能价值及抗氧化活性优于果桑, 更适宜于引种至河西地区进行综合开发利用。

关键词: 果桑, 叶桑, 营养成分, 抗氧化活性, 相关性

中图分类号: TS207.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)20-0232-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100104

本文网刊:



Analysis of Nutrient Functional Components and Antioxidant Activity in Leaves of Introduced Fruit and Leaf Mulberries

LI Ke^{1,2}, ZHANG Zhenjun^{1,2}, DU Yuxia^{1,2}, LI Caixia^{1,2}, ZHANG Yong^{1,2}, WANG Enjun^{1,2}, ZHANG Dongzhi^{1,2,3,*}

(1. School of Life Science and Engineering, Hexi University, Zhangye 734000, China;

2. Key Laboratory of Hexi Corridor Resources Utilization of Gansu, Zhangye 734000, China;

3. Resistance Research Center for Rapeseed-Maize in Hexi Corridor, Hexi University, Zhangye 734000, China)

Abstract: Clarifying the nutritional and antioxidant characteristics of introduced mulberry leaves aids development and utilization in Hexi region, China. The main nutrients and functional components of fruit and leaf mulberries, and correlations between antioxidant capacities of their leaf extracts, were investigated. Crude protein, crude fat, reduced sugar, and ash contents of leaf mulberry were significantly higher than those of fruit mulberry ($P < 0.05$), while differences in

收稿日期: 2023-10-16

基金项目: 全国大学生创新创业计划项目 (202210740020); 甘肃省高等学校产业支撑引导项目 (2019C-01); 甘肃省教育厅 2022 年高等学校创新基金项目 (2022B-200)。

作者简介: 李珂 (2002-), 女, 本科, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: like050612@163.com。

* 通信作者: 张东芝 (1985-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 药用资源的开发与利用, E-mail: zhangdz@hxyu.edu.cn。

γ -aminobutyric acid and rutin in leaves of these two cultivars were not significant ($P>0.05$). Flavonoid concentrations in leaf mulberry ($50.57 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) were significantly higher than in fruit mulberry ($46.96 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) ($P<0.05$), but differences in polyphenol and crude polysaccharide concentrations between them were not significant. Mineral contents in fruit and leaf mulberry leaves were high in potassium and low in sodium, and occur in the order $\text{K}>\text{Ca}>\text{Mg}>\text{Na}>\text{Fe}$. Leaf mulberry K, Mn, Zn, Cu and Ni contents were higher than those in fruit mulberry, while the opposite holds for Ca, Mg, Na and Fe contents. The Index for Nutritional Quality (INQ) of Na, crude fat, and reduced sugar contents in fruit and leaf mulberry leaves were <1 , while K, Mn, Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, and crude protein contents were >1 . Additionally, nutrition equivalent (NEU) from leaf mulberry exceeds that of fruit mulberry. Flavones and polysaccharides in fruit mulberry have higher DPPH radical clearance activity than leaf mulberry, but flavonoids in leaf mulberry had higher radical clearance of ABTS^+ than fruit mulberry. There was little difference in polysaccharide clearance of ABTS^+ between the two cultivars. Highly significant positive correlations (correlation coefficients ranging $0.899\sim 0.991$) in flavonoid, rutin, polyphenol and polysaccharide content DPPH radical scavenging exist between the two cultivars. There was no significant difference in the ABTS^+ free radical scavenging rate. The nutritional function and antioxidant activity of leaf mulberry exceed those of fruit mulberry, which was more suitable for the Hexi region.

Key words: fruit mulberry; leaf mulberry; nutritional functional components; antioxidant activity; correlation

桑树(*Morus alba* L.)是一种丛生灌木,具有很强的抗寒、抗旱和抗瘠薄能力,同时具有很高的药用、饲料、生态等价值,开发利用潜力大^[1]。

桑叶是桑科植物桑的干燥叶,作为传统的药食同源植物叶片,始载于《神农本草经》,味苦甘,性寒,属肺、肝^[2]。桑叶营养价值丰富,富含碳水化合物、矿物质、多酚和黄酮等生物活性成分,具有降血糖、调节高血脂血症、抗氧化、抗肿瘤、抗衰老、抗炎、保肝等多种生理作用^[3-5]。

近年来,许多学者对桑叶的营养功能成分和抗氧化活性做了大量的研究,李层层等^[6]的研究发现新疆和田各品种桑叶的品质存在差异;黄雪娇等^[7]提取湖南紫金蜜桑叶的多酚、黄酮及多糖并对其抗氧化性进行了评价,结果显示提取物均具有较强的抗氧化性,并且多酚的抗氧化效果最好;冯淦熠等^[8]也发现桑叶多酚具有良好的抗氧化性;Zhang 等^[9]对中国东部不同种植地区桑叶的生物碱和多酚的抗氧化性进行评价,结果表明各产地桑叶的有效成分和抗氧化活性差异较大。张掖位于河西走廊中段,温差大、降水少,蒸发大,风沙大,冬冷夏热,属于干旱半干旱气候^[1],引入适宜本地区生长的桑树具有重要生态和经济意义。同时本地区桑树的种植不多,尽见农户的零星种植,基于此,本团队从山东临沂引入果桑和叶桑,但目前对引种桑树的桑叶中营养成分的含量和活性是否发生改变的系統研究较少。本论文对河西学院药植园引种的果桑和叶桑叶片中主要营养、功能成分进行了分析,同时对两者提取物中黄酮、多糖、多酚、芦丁等含量对清除 DPPH、 ABTS^+ 自由基的抗氧化能力进行研究。研究果桑和叶桑叶片中的营养成分及抗氧化活性对提高桑叶利用价值,增加农民收入具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

果桑、叶桑 引种于山东临沂,种植于河西学院药用植物植园,样品(2 年龄)经霜降后采收; γ -氨基丁

酸 分析纯,上海麦克林化学试剂公司;硝酸、氢氧化钠、硼酸、石油醚 均为分析纯,国药集团化学试剂公司;1,1-二苯基-2-苦肼基(DPPH)(HPLC $\geq 98\%$)、2,2-连氮基-双-(3-乙基苯并二氢噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS)(纯度 $\geq 99.0\%$) 美国 Sigma 公司;标准对照品没食子酸、芦丁 上海源叶公司;甲醇 色谱纯,山东禹王公司;磷酸 色谱纯,天津科密欧公司。

600Y 型高速多功能粉碎机 永康市铂欧五金制品有限公司;CP214 电子天平 奥豪斯仪器(上海)有限公司;Sx2-5-12 型马弗炉 长沙市华光电炉厂;SP-3520AAPC-8 原子吸收分光光度计 上海光谱仪器有限公司;DHG-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱

上海一恒科技有限公司;KDN-08 消化炉 上海新嘉电子有限公司;CR21GII 型高速冷冻离心机 日本日立公司;KQ-250B 型超声波清洗器 昆山市超声仪器有限公司;DR6000 紫外可见分光光度计 美国哈希公司;HH-6J 磁力搅拌水浴锅 金坛区水友联仪器厂;LC-20AT 高效液相色谱仪 日本岛津公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的处理 将采收的无损伤的果桑和叶桑叶片,用蒸馏水反复洗涤,以洗去表面的泥土,然后阴干,粉碎、过 40 目筛密封保存备用。

1.2.2 桑叶中主要营养成分的测定 参照 GB/T 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法检测果桑和叶桑叶片的蛋白质含量^[10];参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏提取法测定样品的粗脂肪含量^[11];还原糖测定采用直接滴定法^[12];灰分含量参照 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》^[13];采用火焰原子吸收分光光度法^[14]测定矿物质。

1.2.3 桑叶中主要营养成分的营养指数评价 参考文献 [15] 对果桑和叶桑叶片的 9 种矿质元素、还原

糖、粗脂肪、粗蛋白进行营养指数(index of nutritional quality, INQ)和营养当量(nutrition equivalent, NEU)评价,按照以下公式计算:

$$\text{INQ} = \frac{\text{营养密度}}{\text{热量密度}} = \frac{100 \text{ g 食物中某营养素的含量/该营养素推荐摄入量}}{100 \text{ g 食物提供的能量/推荐摄入量}}$$

$$\text{营养当量 NEU} = \frac{\Sigma \text{营养素密度(或能量密度)}}{n}$$

式中: n 为营养素指标数。

1.2.4 主要功能性成分测定

1.2.4.1 功能性成分提取 桑叶中功能成分提取液的制备参考文献 [16] 并稍作修改,准确称取桑叶粉末各 0.50 g 于具塞锥形瓶中,加入体积分数 70% 乙醇溶液 20 mL,超声(240 W, 50 ℃)提取 20 min,冷却至室温,在 5000 r/min 离心 10 min,重复上述操作 2 次,合并提取液用体积分数 70% 乙醇定容至 50 mL,摇匀备用,用于多酚、黄酮及芦丁含量的检测和抗氧化分析。

1.2.4.2 多酚含量测定 准确称取 110.5 mg 没食子酸标准品,用蒸馏水溶解后定容到 100 mL,备用。多酚测定参照文献 [17] 的方法。以没食子酸含量(μg)为横坐标,以吸光度为纵坐标,得到标准曲线方程 $y=0.0104x-0.0082$, $R^2=0.9991$ 。

样品中多酚含量测定:精密吸取样品提取液 1 mL,依据标准曲线操作方法,测定样品提取液中多酚的吸光值,按以下公式计算总多酚含量,含量以每克样品干基中所含没食子酸当量的毫克数($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)表示。

$$\text{多酚含量}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}) = \frac{M \times V \times n}{m \times V_0 \times 1000}$$

式中: M —测定样品中没食子酸含量, μg ; V —功能成分提取液的总体积, mL; n —样品测定稀释倍数; m —桑叶质量, g; V_0 —测定样品体积, mL。

1.2.4.3 黄酮含量测定 采用亚硝酸钠—硝酸铝—氢氧化钠比色法 [18] 测定黄酮。以槲皮素为标品,得标准方程,其中 y 为吸光度, x 为槲皮素含量(mg)。绘制曲线拟合回归方程 $y=0.7828x+0.0007$, $R^2=0.9995$ 。

样品中总黄酮含量测定:精密吸取样品提取液 0.5 mL,依据标准曲线制作方法测定样品反应液的吸光度,根据回归方程计算提取液中黄酮的含量,样品中黄酮的含量以每克样品干基中所含槲皮素当量的毫克数($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)表示。

$$\text{黄酮含量}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}) = \frac{M \times V}{m \times V_0}$$

式中: M —测定样品液中黄酮的含量, mg ; V —功能成分提取液的总体积, mL; m —桑叶质量, g; V_0 —测定样品体积, mL。

1.2.4.4 HPLC 法测定桑叶中芦丁含量 参照《中国

药典 2020 版》高效液相色谱法 [2] 测定芦丁的含量。色谱柱 Supersil ODS2(5 μm , 4.6 $\times$ 150 mm),流动相: A 甲醇, B 0.5% 磷酸,梯度洗脱程序为: 0~5 min, 30% A, 5~10 min, 30%~35% A, 10~15 min, 35%~40% A, 15~18 min, 40%~50% A, 18~28 min, 30% A, 自动进样 10 μL ,检测波长 360 nm,芦丁标准溶液 1.050 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$,稀释成 0.525 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、0.2625 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、0.1313 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、0.0656 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。根据色谱条件测定各浓度的峰面积,根据芦丁质量与峰面积作图制作标准曲线, $y=1594126.01x-5899.89$, $R^2=0.9999$, y 为峰面积, x 为芦丁含量(mg)。

在 1.2.3 节制备的样品,用 0.22 μm 的针头式有机滤膜过滤,滤液置于 1.5 mL 进样瓶中,根据标准曲线制备条件,测定样品的峰面积,依据标准曲线计算样品中芦丁的含量。

1.2.4.5 多糖的测定 参照 NY/T 1676-2023 食用菌中粗多糖的测定分光光度法 [19] 进行测定。吸取质量浓度为 0.1 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的葡聚糖(葡聚糖代替葡萄糖)标准溶液 0.00、0.20、0.40、0.60、0.80、1.00 mL 各补入蒸馏水至 2.0 mL,加入 1 mL 5% 苯酚,摇匀,再加入 5 mL 浓 H_2SO_4 ,另以蒸馏水为空白液做同上操作,于 30 ℃ 水浴下反应 15 min,冷却至室温,于 490 nm 处测定吸光度值,以糖含量为横坐标(mg),吸光度值为纵坐标绘制曲线拟合得回归方程 $y=6.95x-0.011$, $R^2=0.999$ 。

桑叶多糖的提取参考文献 [20] 并做修改:精确称取桑叶试样 0.5 g,加入蒸馏水 10 mL,超声(250 W, 40 kHz)提取 30 min,在 6000 r/min 离心 10 min,样品在同等条件下进行连续或重复的超声提取离心 3 次,上清液减压浓缩至原体积的 1/3 时,用 seavage(氯仿:正丁醇=3:1)法脱蛋白至水相与有机相之间无蛋白层,分离出水相并加入 3 倍体积的 95% 乙醇沉淀过夜,接着用 80% 乙醇洗涤沉淀,沉淀加入蒸馏水溶解并定容到 50 mL,用于多糖和抗氧化检测。

多糖含量的测定:吸取多糖提取液 0.2 mL,蒸馏水补至 2.0 mL,依据标准曲线制作方法测定样品反应液的吸光值,根据回归方程计算出样液中多糖的质量,采用以下公式计算多糖提取量。

$$\text{多糖提取量}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}) = \frac{50 \times C}{M \times V_s}$$

式中: 50—多糖提取液总体积, mL; C —标准曲线上查得的多糖含量, mg ; M —样品的重量, g; V_s —测定时所取溶液的毫升数, mL。

1.2.4.6 γ -氨基丁酸的测定 参考 Jin 等 [21] 的方法略有修改。 γ -氨基丁酸的提取:精确称取桑叶试样 1.0 g,加入蒸馏水(100 ℃)40 mL 溶解,置于 40 ℃ 水浴浸提 2 h,离心取上清液定容至 50 mL。

γ -氨基丁酸标准曲线的测定:配制 1 mg/mL 的 γ -氨基丁酸标准溶液,再稀释成 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的 γ -氨基丁酸标准溶液,分别吸取不同

浓度的标准溶液 1.0 mL,依次加入 1.0 mL 0.1 mol/L 四硼酸钠,1.2 mL 6% 重蒸苯酚溶液,0.6 mL 7% 次氯酸钠溶液,在沸水浴中加热 10 min,然后立即放入冰浴中 5 min,在 360 nm 处测定吸光度,以 γ -氨基丁酸含量为横坐标(mg),吸光度值为纵坐标绘制标准曲线,回归方程为 $y=0.2019x+0.0052$,相关系数 $R^2=0.9959$ 。

样品测定:依据 γ -氨基丁酸标准曲线的测定方法,测定 1 mL 桑叶水萃取物的吸光值,根据回归方程计算提取液中 γ -氨基丁酸的含量,样品中 γ -氨基丁酸的含量按以下公式计算。

$$\gamma\text{-氨基丁酸含量}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})=\frac{c\times v}{m\times V_s}$$

式中: c —中测定样品中 γ -氨基丁酸的浓度,mg;
 v —功能成分提取液的总体积,mL; m —桑叶质量,g;
 V_s —测定时所取样液的毫升数,mL。

1.2.5 桑叶提取液的抗氧化性测定

1.2.5.1 桑叶提取液对 DPPH 自由基的清除作用
DPPH 自由基的清除能力的测定方法参考文海朝等^[22]的方法,有所改动。精准吸取不同稀释浓度的黄酮供试溶液 0.2 mL(叶桑黄酮质量浓度为 20.23~101.16 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$;果桑质量浓度为 18.77~93.83 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)以体积分数 70% 乙醇或蒸馏水补充至 2 mL,分别加入 2 mL DPPH 溶液,避光反应 30 min;测定在 517 nm 处的吸光度值,以试剂空白代替样液做同样操作。

精准吸取不同稀释的多糖供试溶液 0.2 mL(叶桑多糖质量浓度为 7.07~113.2 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,果桑多糖质量浓度为 6.84~109.47 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)以水补充至 2 mL,分别加入 2 mL DPPH 溶液,避光反应 30 min,测其 517 nm 处的吸光度值,以下式计算 DPPH 自由基的清除率:

$$\text{DPPH自由基清除率}(\%)=\frac{A_0-A}{A_0}\times 100$$

式中: A_0 —空白对照吸光值; A —样品吸光值。

1.2.5.2 桑叶提取液对 ABTS⁺自由基的清除作用
参照 Wołosiak 等^[23]的方法测定桑叶提取液对 ABTS⁺自由基的清除能力,并略作修改。吸取 2 mL 5 种系列浓度的桑叶黄酮和多糖溶液(黄酮溶液浓度 10、20、30、40、50 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,多糖溶液浓度 50、100、200、300、400 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)分别于 5 支试管中,加入 0.9 mL ABTS 工作液并以蒸馏水补至 4 mL,室温避光反应 6 min,在 734 nm 处测定其吸光度,记为 A 。用体积分数 70% 的乙醇或蒸馏水分别代替上述桑叶黄酮和多糖溶液,进行上述操作,在 734 nm 处测定吸光度,记为 A_0 。以下式计算 ABTS⁺自由基的清除率:

$$\text{ABTS}^+\text{自由基清除率}(\%)=\frac{A_0-A}{A_0}\times 100$$

式中: A_0 —空白对照吸光值; A —样品吸光值。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 软件对所有的测试数据进行了汇总及统计,采用绘图软件 origin 2022 进行作图,结果数据均为 3 次重复测试数据的加权算术平均值 $\pm$ 标准偏差,运用 SPSS 17 软件对数据进行独立样本 T 检验,显著性水平 $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著,采用 Pearson 法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 桑叶中主要营养成分比较

桑叶是集食用、药用和饲养经济为一体的植物,其营养成分十分丰富,含有脂肪、蛋白质、还原糖等。桑叶植物蛋白营养丰富、使用效果好,已得到高度开发^[24]。还原糖是调节与动物脂肪代谢相关的基因表达的碳水化合物^[25]。植物灰分是植物体矿物元素氧化物的总和,其含量高低可反映不同植物对矿质元素选择吸收和积累的程度。果桑和叶桑基本营养成分如表 1 所示,叶桑的粗蛋白、粗脂肪、还原糖、灰分含量均高于果桑,且独立样本 T 检验结果差异极显著($P<0.01$)。果桑和叶桑叶片中粗蛋白含量分别为 15.20% 和 17.01%,粗脂肪含量为 2.57% 和 3.46%,还原糖含量为 1.15% 和 1.43%,灰分含量为 5.29% 和 6.17%。本研究结果与文献 [6] 所报道结果相比较,引种栽培的桑叶均具有高蛋白、低脂肪、低糖分的特点,是开发功能性食品的原料之一。

表 1 果桑和叶桑中的基本营养成分比较
Table 1 Comparison of the basic nutrients in fruit mulberry and leaf mulberry

营养成分	不同品种	
	果桑	叶桑
粗蛋白(%)	15.20 $\pm$ 0.00	17.01 $\pm$ 0.00**
粗脂肪(%)	2.57 $\pm$ 0.50	3.46 $\pm$ 0.07**
还原糖(%)	1.15 $\pm$ 0.00	1.43 $\pm$ 0.00**
灰分(%)	5.92 $\pm$ 0.07	6.17 $\pm$ 0.45**

注:*($P<0.05$)表示差异显著,**($P<0.01$)表示差异极显著,表2~表4同。

2.2 果桑和叶桑中的矿质元素比较

如表 2 所示,果桑和叶桑叶片中矿质元素的含量大小顺序均为 $\text{K}>\text{Ca}>\text{Mg}>\text{Na}>\text{Fe}$,果桑和叶桑富含 K、Ca、Mg 三种常量元素,并且呈现出高钾低钠特性,叶桑中 $\text{Zn}>\text{Mn}>\text{Cu}>\text{Ni}$,而果桑 $\text{Mn}>\text{Zn}>\text{Ni}>\text{Cu}$ 。在叶桑中 K、Mn、Zn、Cu、Ni 元素的含量高于果桑,且叶桑中 Zn 元素含量极显著大于果桑($P<0.001$),K 元素和 Mn 元素含量均显著大于果桑($P<0.05$);但果桑中 Ca、Mg、Na、Fe 含量高于叶桑。K/Na 比例叶桑极显著高于果桑($P<0.01$)。高 K 低 Na 特性可以减少饮食中的钠盐和补充食物中的钾盐,临床医学证明,钠钾比例与人体舒张压之间存在正相关性^[26],因此,桑叶制品能降低血液中的钠钾比,对高血压的防治有一定作用。当 $\text{Zn}/\text{Cu}>10$ 、 $\text{Zn}/\text{Fe}>1$ 时有相互拮抗作用^[27],果桑和叶桑的 Zn/Cu 、 Zn/Fe

为 5.11 和 5.12、0.10 和 0.21,说明果桑和叶桑的 Zn、Cu、Fe 不发生拮抗作用,有利于消化吸收。以上结果表明,果桑和叶桑矿质元素丰富,且微量元素 Zn、Cu、Fe 的比值合适,是很好的保健食品的来源。

表 2 果桑、叶桑叶片中矿物质元素含量比较
Table 2 Ratio of mineral elements in the leaves of fruit mulberry and leaf mulberry

矿质元素	不同品种	
	果桑	叶桑
K(mg·g ⁻¹)	12.83±0.84	17.68±2.73 [*]
Ca(mg·g ⁻¹)	5.69±0.23	4.44±0.6
Mg(mg·g ⁻¹)	3.71±0.06	3.23±0.36
Na(mg·g ⁻¹)	0.67±0.08 [*]	0.51±0.02
Fe(mg·g ⁻¹)	0.21±0.003	0.19±0.03
Mn(μg·g ⁻¹)	31.89±0.89	35.11±0.85 [*]
Zn(μg·g ⁻¹)	20.03±0.44	44.22±1.40 ^{**}
Cu(μg·g ⁻¹)	3.92±0.60	8.63±0.47
Ni(μg·g ⁻¹)	4.60±0.05	7.24±0.72
K/Na	19.15±3.56	34.67±3.78 ^{**}
Zn/Cu	5.11±0.02	5.12±0.59
Zn/Fe	0.10±0.00	0.21±0.03

2.3 果桑和叶桑主要营养成分的营养评价

100 g 果桑和叶桑提供能量 222 kcal^[28]。营养素推荐量及能量推荐量参考《中国居民膳食营养素参考摄入量》^[29-31]。

果桑和叶桑主要营养成分的营养评价根据营养指数和营养当量来计算。INQ 值即食品的营养指数,是指一定单位能量的食品中所含营养素的量^[32],INQ>1 时,食物中该营养素的供给量大于热能的供给量,食物的营养价值较高;INQ=1,食物中该营养素与热能含量均衡;INQ<1,食物的营养价值较低;

表 3 果桑、叶桑叶片中主要营养成分 INQ 值比较

Table 3 INQ value of the main nutrients in the leaves of fruit mulberry and leaf mulberry

营养指标	推荐摄入(mg·d ⁻¹)	不同品种	
		果桑INQ	叶桑INQ
K 含量	2000	6.79±0.26	9.36±0.84 [*]
Ca 含量	800	7.53±0.18	4.774±1.51
Na 含量	1500	0.48±0.03 [*]	0.36±0.174
Fe 含量	16	13.71±0.14	12.53±1.04
Zn 含量	10	2.12±0.03	4.68±0.08 ^{**}
Cu 含量	0.8	5.19±0.97	11.49±2.19
Mn 含量	4.5	7.50±0.12	8.26±0.12 [*]
Mg 含量	330	11.91±0.18	9.48±1.75
Ni 含量	0.3	15.11±3.24	24.22±1.07
还原糖	25000	0.49±0.00 ^{**}	0.48±0.00
粗脂肪	60000	0.47±0.07	0.61±0.01 [*]
粗蛋白	60000	2.68±0.00	3.01±0.05 ^{**}
NEU		0.58	0.70

注:推荐能量按18~50周岁中度体力劳动的男、女均值进行计算。

NEU 是反映食品中所含营养素的总体情况,作为衡量食物中不同营养素总体含量的评价指标^[33]。由表 3 可知,果桑和叶桑叶片中 Na 元素含量、粗脂肪和还原糖含量的 INQ 均<1,说明这些元素的供给量不足,需要搭配其他食物补充。K、Mn、Ca、Zn、Ni、Fe、Cu 元素和粗蛋白 INQ 均>1,表明这些营养素的供给量充足,说明果桑和叶桑是矿质元素和蛋白质补充的良好来源。NEU 可反映食物营养品质的高低,同时表示不同产品的营养品质^[33]。由表 3 可知,叶桑的 NEU 值 0.70 高于果桑 0.58,NEU 值越高,对人体营养素需求量的满足越高。果桑和叶桑均具有较高的营养价值,但叶桑的营养素更能满足人体的需求。

2.4 果桑和叶桑活性成分比较

桑叶化学成分丰富,主要包括酚类,黄酮,多糖等活性成分,具有调节糖脂代谢、调节肠道功能、抗氧化、抗衰老、抗菌、抗病毒等药理活性,在医学医药,功能性食品开发和动物养殖业方面应用十分广泛^[34]。果桑和叶桑的活性成分由表 4 可知,叶桑黄酮含量显著高于果桑($P<0.05$),两种桑叶多酚和多糖含量差异不显著。张芳等^[35]测定了贵州省 54 个桑品种桑叶中黄酮、多酚和多糖的含量,测试结果中,总酚、总黄酮的含量与本试验结果基本一致,而多糖含量高于本试验。 γ -氨基丁酸(γ -GABA)是一种动植物中普遍存在的四碳非蛋白质氨基酸,能调节人体血压,对治疗高血压有显著效果^[36],目前被作为新型功能食品被开发利用,本研究测定的果桑和叶桑中 γ -GABA 含量为 16.89 和 19.19 mg·g⁻¹ 高于文献^[37]所报道 2.24 mg/g 的含量。芦丁是桑叶中主要活性成分,2020 版药典^[2]规定,桑叶芦丁高于 0.1%,产品质量合格,本研究测定的果桑和叶桑中,芦丁含量分别为 0.48% 和 0.519%,说明产品质量符合药典要求。以上结果表明叶桑中多酚、黄酮、 γ -氨基丁酸、芦丁含量均高于果桑,有开发利用价值。

表 4 果桑和叶桑活性成分含量

Table 4 Active ingredient contents of fruit mulberry and leaf mulberry

活性成分	不同品种	
	果桑	叶桑
多酚(mg·g ⁻¹)	13.99±0.02	14.30±0.02
黄酮(mg·g ⁻¹)	46.96±0.10	50.57±0.12 [*]
多糖(mg·g ⁻¹)	27.98±1.49	27.25±0.51
γ -氨基丁酸(mg·g ⁻¹)	16.89±0.06	19.19±0.13 ^{**}
芦丁(mg·g ⁻¹)	4.80±0.05	5.19±0.09

2.5 果桑和叶桑抗氧化能力评价

2.5.1 果桑和叶桑提取液对 DPPH 自由基的清除作用 DPPH 是指一种具有稳定电荷的有机自由基,当 DPPH 溶液中加入自由基清除剂时,孤对电子被配对,自由基被清除,清除 DPPH 自由基能力的大小

体现着清除剂的总抗氧化能力大小。如图 1 所示,随着黄酮和多糖质量浓度的增加,清除率也随着增大并呈线性关系。 IC_{50} 是自由基清除率达到 50% 时样品质量浓度, IC_{50} 越小,样品的抗氧化效果越好,反之越大。黄酮对 DPPH 自由基清除的 $IC_{50果}=78.94\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}<IC_{50叶}=86.87\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; 多糖对 DPPH 自由基清除的 $IC_{50果}=74.04\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}<IC_{50叶}=78.83\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,果桑黄酮和多糖提取液对 DPPH 自由基清除活性稍高于叶桑,推测可能与黄酮、多糖的纯度,结构的差异有关。

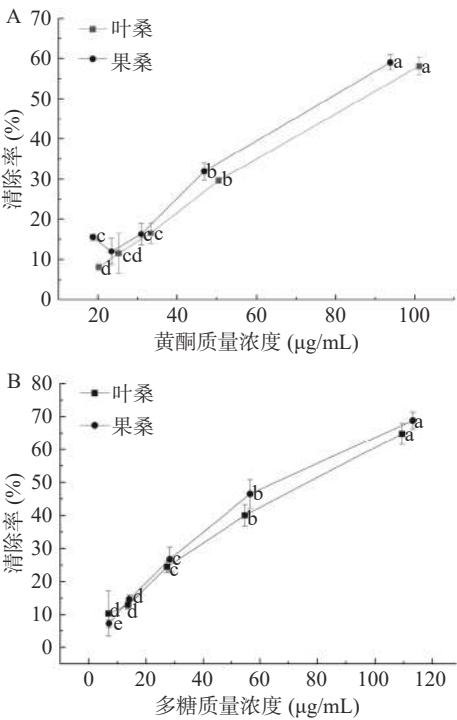


图 1 果桑、叶桑黄酮、多糖提取液对 DPPH 自由基清除能力

Fig.1 DPPH free radicals scavenging ability of flavonoids, polysaccharide extract from fruit mulberry and leaf mulberry

注: 不同小写字母表示黄酮、多糖各浓度之间的差异显著, 图 2 同。

2.5.2 果桑和叶桑提取液对 ABTS⁺自由基的清除作用 果桑和叶桑黄酮和多糖提取液对 ABTS⁺自由基的清除作用由图 2 可以看出,桑叶提取物的黄酮化合物和桑叶多糖提取物均表现出良好的 ABTS⁺自由基清除活性,在测定浓度范围内无 IC_{50} 值。多糖对 ABTS⁺自由基清除活性表现出剂量效应,在一定浓度

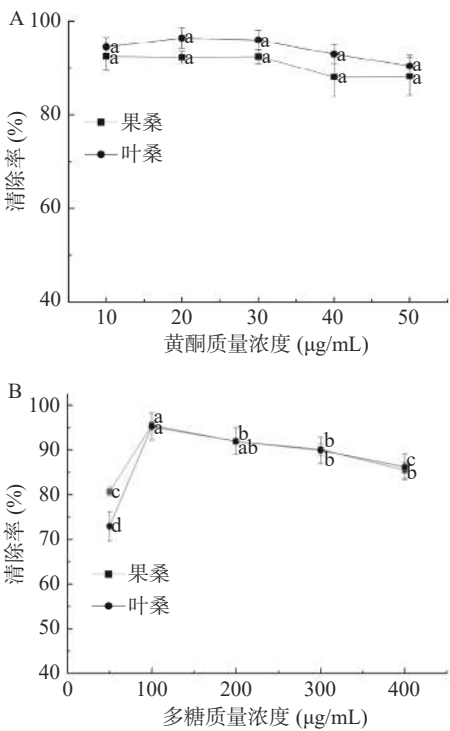


图 2 果桑、叶桑黄酮、多糖提取液对 ABTS⁺自由基清除能力

Fig.2 ABTS⁺ free radicals scavenging ability of flavonoids, polysaccharide extract from fruit mulberry and leaf mulberry

范围内呈现先增高而后下降的趋势,黄酮的变幅较小。果桑和叶桑黄酮在 $20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时对 ABTS⁺自由基清除率为 92.48% 和 96.36%,多糖质量浓度为 $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时果桑和叶桑对 ABTS⁺自由基的清除率为 95.54% 和 95.25%。可以看出,果桑和叶桑的提取液均对 ABTS⁺自由基具有很好的清除效果,叶桑黄酮的清除活性稍高于果桑,而多糖的清除效果差异不显著。

2.6 活性成分与抗氧化指标的相关性分析

皮尔逊相关系数^[38]是考察 2 个定距变量间联系紧密程度,衡量变量 X 和 Y 之间的线性相关关系的参数,相关系数的绝对值越大,相关性越强,其值介于-1 与 1 之间,相关系数越接近于 0,相关性越弱。由表 5 可知,叶桑和果桑黄酮、芦丁、多酚、多糖含量与 DPPH 相关性系数分别在 0.990~0.955 和 0.899~0.976 范围内,并与 DPPH 自由基清除率呈极显著正相关($P<0.01$);叶桑和果桑黄酮、芦丁、多酚与 ABTS⁺自由基清除率呈负相关性,但差异不显著,说

表 5 活性成分与抗氧化指标间的皮尔逊相关系数及其相关性检验结果

Table 5 Pearson correlation coefficients and correlation test results of active ingredients and antioxidant indexes

品种	FC-DPPH	R-DPPH	PP-DPPH	P-DPPH	FC-ABTS	R-ABTS	PP-ABTS	P-ABTS
叶桑	0.990**	0.991**	0.991**	0.955**	-0.490	-0.490	-0.493	0.305
果桑	0.990**	0.899**	0.991**	0.976**	-0.353	-0.354	-0.354	0.002

注: FC-DPPH、R-DPPH、PP-DPPH和P-DPPH分别表示黄酮、芦丁、多酚、多糖含量与DPPH自由基清除率的相关性,FC-ABTS、R-ABTS、PP-ABTS和P-ABTS分别表示黄酮、芦丁、多酚、多糖含量与ABTS⁺自由基清除率的相关性;*表示相关性显著($P<0.05$),**表示相关性极显著($P<0.01$)。

明各成分对不同的自由基清除活性有差异。

3 结论

桑叶作为传统的药食同源植物叶片,富含碳水化合物、矿物质、多酚和黄酮等生物活性成分,本研究对引种的果桑和叶桑叶片中的主要营养成分成分进行测定和比较,发现两种桑树叶片的营养成分成分分布特征有差异,叶桑叶中粗蛋白、粗脂肪、还原糖、灰分、多酚、芦丁、 γ -氨基丁酸、黄酮和多糖含量高于果桑。

对引种栽培的两种桑树叶的主要营养成分和矿质元素的营养质量指数和营养当量值进行分析,结果表明叶桑中K、Zn、Ni、蛋白质的INQ更为突出,而果桑的Ca、Zn、Fe的INQ更为凸显,可以作为特殊人群营养素补充的良好来源。NEU值显示,叶桑的NEU值高于果桑,NEU值越高,说明叶桑对人体营养素需求量的满足越高。两种桑树叶片中矿质元素呈现出高钾低钠的特点,但各个元素在两种桑叶中分布有差异,Zn/Cu、Zn/Fe分别为4.35和5.08、0.09和0.24,不发生拮抗作用,利于机体吸收。

活性成分与抗氧化指标的相关性分析表明,果桑与叶桑叶中黄酮、芦丁、多酚、多糖与DPPH自由基清除活性呈显著正相关,说明果桑和叶桑对不同的自由基均有良好的清除活性,但活性成分与不同自由基之间相关性有差异。

本研究对河西学院药植园引种栽培的果桑和叶桑的营养功能成分和抗氧化性进行了评价,结果发现,引种的桑树生长良好,营养成分成分丰富,可以作为引种树种在张掖地区广泛栽培。后续要跟踪生长年限和采收期对营养成分成分进行综合评价,为该资源的开发利用提供理论依据。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 秦新惠,武兴宝,崔兴林,等.甘肃河西地区沙地蛋白桑产业化发展探讨[J].中国林业经济,2016,137(2):93-97. [QIN Xinhui, WU Xingbao, CUI Xinglin, et al. Discussion on the industrialization development of sandy protein mulberry in Hexi region, Gansu Province[J]. Chinese Forestry Economics, 2016, 137(2): 93-97.]
- [2] 国家药典委员会.中华人民共和国药典[M].北京:中国医药科技出版社,2015. [National Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2015.]
- [3] 何德华,王家佩,次旺仁真,等.桑叶功效成分与作用的研究[J].农业科技与装备,2022,308(2):39-41. [HE Dehua, WANG Jiawei, CIWANG Renzhen, et al. Study on the efficacy components and functions of mulberry leaves[J]. Agricultural Science and Technology and Equipment, 2022, 308(2): 39-41.]
- [4] MA Guangqun, CHAI Xiaoyun, HOU Guige, et al. Phytochemistry, bioactivities and future prospects of mulberry leaves: A

review[J]. Food Chemistry, 2022, 372: 131335.

- [5] ZHANG Ruiyuan, ZHANG Qian, ZHU Shun, et al. Mulberry leaf (*Leaf mulberry* L.): A review of its potential influences in mechanisms of action on metabolic diseases[J]. Pharmacological Research, 2004, 49(6): 543-549.
- [6] 李层层,王德萍,江岩.新疆桑叶营养成分分析及体外抗氧化作用研究[J].食品工业,2015,36(5):78-82. [LI Cengceng, WANG Deping, JIANG Yan. Nutritional composition analysis and *in vitro* antioxidant activity of Xinjiang mulberry leaves[J]. Food Industry, 2015, 36(5): 78-82.]
- [7] 黄雪娇,吴元辉,吴娟,等.紫金蜜桑叶活性成分的提取工艺优化及其抗氧化能力评价[J].现代食品科技,2021,37(6):193-200. [HUANG Xuejiao, WU Yuanhui, WU Juan, et al. Optimization of extraction process of active ingredients and evaluation of antioxidant capacity of purple honey mulberry leaves[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(6): 193-200.]
- [8] 冯淦熠,杨浩然,项轩,等.桑叶多酚的提取及其体外抗氧化能力测定[J].动物营养学报,2021,33(6):3573-3580. [FENG Ganyi, YANG Haoran, XIANG Xuan, et al. Extraction of mulberry leaf polyphenols and determination of their *in vitro* antioxidant capacity[J]. Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(6): 3573-3580.]
- [9] ZHANG Dongyang, WAN Yi, HAO Jingyi, et al. Evaluation of the alkaloid, polyphenols, and antioxidant contents of various mulberry cultivars from different planting areas in eastern China[J]. Industrial Crops and Products, 2018, 122: 298-307.
- [10] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.5-2016 Determination of protein in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [11] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.6-2016 Determination of fat in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [12] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.7-2016 食品中还原糖的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.7-2016 Determination of reduced sugar in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [13] 国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4-2016 食品中灰分的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.4-2016 Determination of ash in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [14] 易新萍,刘建平,张丽静,等.新疆桑叶中矿物质元素含量的分析[J].新疆大学学报(自然科学版),2003,20(2):155-157. [YI Xinping, LIU Jianping, Zhang Lijiang, et al. Analysis of mineral elements in Xinjiang mulberry leaves[J]. Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition), 2003, 20(2): 155-157.]
- [15] 邓泽元.食品营养学[M].4版.北京:中国农业出版社,2016:8. [DENG Zeyuan. Food Nutrition[M]. 4th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2016: 8.]
- [16] 沈维治,廖森泰,邹宇晓,等.桑叶酚类物质的变化规律研究[J].中草药,2010,41(11):1890-1892. [SHENG Weizhi, LIAO Sentai, ZOU Yuxiao, et al. Study on the change pattern of phenolic substances in *Morus alba*[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2010, 41(11): 1890-1892.]
- [17] 中国国家标准化管理委员会. GB/T 8313-2018 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法[S].北京:中国标准出版社,2018. [China National Standardization Management Committee. GB/T 8313-2018 Determination of total polyphenols and catechins content in tea[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.]

- [18] 张齐. 桑叶黄酮的提取及黄酮类成分桑色素的抗癌活性研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018. [ZHANG Qi. Extraction of flavonoids from mulberry leaves and study on the anti-cancer activity of flavonoid components, mulberry pigments[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.]
- [19] 中华人民共和国农业行业标准. NY/T 1676-2023 食用菌中粗多糖的测定分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023. [Agricultural Industry Standards of the People's Republic of China. NY/T 1676-2023 Determination of crude polysaccharides in edible mushrooms by spectrophotometric method[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021.]
- [20] 王薇, 曹雯. 沙棘果渣多酚、多糖及黄酮抑菌性及对葡萄保鲜研究[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(11): 12-18. [WANG Wei, CAO Wen. Study on bacteriostasis of polyphenols, polysaccharides and flavonoids from sea buckthorn pomace and their preservative effects on grapes[J]. China Food Additives, 2023, 34(11): 12-18.]
- [21] JIN Yingchun, TU Jie, HAN Xinyao, et al. Characteristics of mulberry leaf powder enriched with γ -aminobutyric acid and its antioxidant capacity as a potential functional food ingredient[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 1-13.
- [22] 文海朝, 张溪芸, 李红姣. 基于主成分分析法对不同杀青方式桑叶品质影响的综合评价[J]. 蚕业科学, 2022, 48(3): 247-260. [WEN Haizhao, ZHANG Xiyun, LI Hongjiao. Comprehensive evaluation of the influence of different withering methods on mulberry leaf quality based on principal component analysis[J]. Sericulture Science, 2022, 48(3): 247-260.]
- [23] WOŁOSIAK R, DRUŻYŃSKA B, DEREWIĄKA D, et al. Verification of the conditions for determination of antioxidant activity by ABTS and DPPH assays-a practical approach[J]. Molecules, 2021, 27(1): 1-20.
- [24] 江连洲, 田甜, 朱建宇, 等. 植物蛋白加工科技研究进展与展望[J]. 中国食品学报, 2022, 22(6): 6-12. [JIANG Lianzhou, TIAN Tian, ZHU Jianyu, et al. Research progress and prospect of plant protein processing technology[J]. Chinese Journal of Food Science, 2022, 22(6): 6-12.]
- [25] 张英杰. 碳水化合物对动物脂肪代谢相关基因表达的调控[J]. 饲料工业, 2014, 35(13): 1-4. [ZHANG Yingjie. Regulation of carbohydrates on the expression of genes related to animal fat metabolism[J]. Feed Industry, 2014, 35(13): 1-4.]
- [26] 闫坤丽. 减少钠盐和补充钾盐摄入与血压关系的研究[D]. 南京: 南京医科大学, 2011. [YAN Kunli. Study on the relationship between reducing sodium salt intake and supplementing potassium salt intake[D]. Nanjing: Nanjing Medical University, 2011.]
- [27] 张楠, 叶晶晶, 廖春华, 等. 羊肚菌菌柄营养成分的分析与评价[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 335-342. [ZHANG Nan, YE Jingjing, LIAO Chunhua, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in stipe of *Morchella esculenta*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17): 335-342.]
- [28] 掘江, 保宏, 管小康. 家蚕对桑叶中的能量及各种成份的利用效率[J]. 北方蚕业, 1982(3): 38-41. [JUE Jiang, BAO Hong, GUAN Xiaokang. Utilization efficiency of energy and components in mulberry leaves by *Bombyx mori*[J]. North Sericulture, 1982(3): 38-41.]
- [29] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. WS/T 578.2-2018 中国居民膳食营养素参考摄入量第 2 部分常量元素[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [National Health Commission of the People's Republic of China. WS/T 578.2-2018 Chinese dietary reference intakes-Part 2: Macroelement[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.]
- [30] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. WS/T 578.3-2017 中国居民膳食营养素参考摄入量第 3 部分微量元素[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health Commission of the People's Republic of China. WS/T 578.3-2017 Chinese dietary reference intakes-Part 3: Trace element[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]
- [31] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. WS/T 578.3-2017 中国居民膳食营养素参考摄入量第 1 部分宏量营养素[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017. [National Health Commission of the People's Republic of China. WS/T 578.3-2017 Chinese dietary reference intakes-Part 1: TMacronutrients[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.]
- [32] 梁水莲, 吕岱竹, 周若浩, 等. 香蕉中 5 种矿质元素含量测定及营养评价[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 241-245. [LIANG Shuilian, LÜ Daizhu, ZHOU Ruohao, et al. Quantitative determination and nutritional evaluation of five minerals in banana[J]. Food Science, 2019, 40(24): 241-245.]
- [33] 徐海泉, 卢士军, 周琳. 以营养当量评价食物营养价值的方法学研究[J]. 营养学报, 2016, 38(4): 341-344. [XU Haiquan, LU Shijun, ZHOU Lin, et al. A new method to evaluate the nutritional value of foods with nutrition equivalent unit[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2016, 38(4): 341-344.]
- [34] 陈淑莹, 侯小涛, 黄显婷, 等. 桑叶化学成分、药理作用及应用研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2023, 25(4): 207-220. [CHEN Shuying, HOU Xiaotao, HUANG Xianting, et al. Research progress on chemical constituents, pharmacological effects and applications of sangye (*Mori follifm*)[J]. Journal of Liaoning University of TCM, 2023, 25(4): 207-220.]
- [35] 张芳, 罗泽虎, 韩世玉, 等. 不同品种桑叶中 3 种活性物质含量测定及综合评价[J]. 北方蚕业, 2018, 39(1): 8-11. [ZHANG Fang, LUO Zehu, HAN Shiyu, et al. Determination and comprehensive evaluation of three kinds of active substances in mulberry leaves of different varieties[J]. North Sericulture, 2018, 39(1): 8-11.]
- [36] 汤彩云, 王涛, 屠洁, 等. 比色法与 HPLC 法对比测定桑叶茶中 γ -氨基丁酸的含量[J]. 食品科学, 2018, 39(24): 256-260. [TANG Caiyun, WANG Tao, TU Jie, et al. Comparison of colorimetry and HPLC for determination of γ -aminobutyric acid in mulberry leaf tea[J]. Food Science, 2018, 39(24): 256-260.]
- [37] 黄柳舒, 沈莲清, 王向阳. 改良比色法测桑叶中 γ -氨基丁酸含量及其热稳定性研究[J]. 食品科技, 2010, 35(8): 328-331, 335. [HUANG Liushu, SHEN Lianqing, WANG Xiangyang. Spectrophotometry improvement determination of γ -aminobutyric acid in mulberry leaf and study on its thermal stability[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(8): 328-331, 335.]
- [38] 戎晋华, 赵文英, 黄巧燕, 等. 蒲公英抗氧化活性部位研究[J]. 中国林副特产, 2013(2): 1-3. [RONG Jinhua, ZHAO Wenyang, HUANG Qiaoyan, et al. Study on the antioxidant activity of dandelion[J]. Chinese Forest Products, 2013(2): 1-3.]