

新疆7种桑葚理化品质的比较分析

刘承阳¹, 王丽玲¹, 刘燕林², 施阳阳², 蒲彬², 蒲云峰¹, 侯旭杰^{1*}, 陈泽宁^{2*}

(1. 塔里木大学 食品科学与工程学院, 新疆特色农产品深加工兵团重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300;

2. 新疆维吾尔自治区和田蚕桑科学研究所, 新疆 和田 848000)

摘要: 为了解新疆几种主栽桑葚果实的品质差异, 筛选适合深加工的桑葚品种, 选择新疆地区7个主栽桑葚品种为材料, 对供试样品的水分、pH值、总糖、总酸、还原糖、总酚、总黄酮、原花青素等指标进行分析。结果表明: 7种桑葚果实的理化成分存在显著差异($P < 0.05$), 其中紫玉一号的水分含量最高 89.62%; 药桑的总酸含量最高 1.86%; 大白桑总糖、还原糖含量最高, 分别为 17.39%、8.58%; 小黑桑的 V_C 、粗脂肪、粗蛋白含量最高, 分别为 0.35 mg/g DW、2.83% 和 1.93%; 而紫玉一号的总酚、总黄酮、原花青素含量最高, 分别为 17.09 mg GAE/g DW、12.46 mg RE/g DW 和 3.47 mg/g DW。综上所述, 7个果桑品种营养成分丰富, 其中大白桑的总糖含量最高, 适合加工桑葚酒; 小黑桑的粗脂肪粗蛋白含量最高, 适用于膳食补充剂; 紫玉一号总酚、总黄酮和原花青素含量最高, 适合开发功能性食品。

关键词: 桑葚; 品种; 理化品质; 酚类化合物; 分析

Comparison of Fruit Physico-chemical Properties among Seven Mulberry Cultivars in Xinjiang

LIU Cheng-yang¹, WANG Li-ling¹, LIU Yan-lin², SHI Yang-yang², PU Bin²,

PU Yun-feng¹, HOU Xu-jie^{1*}, CHEN Ze-ning^{2*}

(1. College of Food Science and Engineering, Production & Construction Group Key Laboratory of Special Agricultural Products Further Processing in Southern Xinjiang, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang,

China; 2. Hotian Institute of Sericulture Science, Xinjiang Uygur Autonomous Region, Hotan 848000,

Xinjiang, China)

Abstract: This study aimed to clarify the quality differences of fruits of main mulberry cultivars in Xinjiang and screen the cultivars suitable for deep processing. To be specific, the water content, pH, total sugar content, total acid content, reducing sugar content, total phenol content, total flavonoid content and procyanidins content in fruits of seven main cultivars in southern Xinjiang were analyzed. The results showed significant differences in the physico-chemical components of the fruits of the seven cultivars ($P < 0.05$). Moreover, the analysis suggested the highest water content (89.62%) in fruits of Ziyu 1, total acid content (1.86%) in fruits of Yaosang, total sugar content (17.39%) and reducing sugar content (8.58%) in Dabaisang, V_C content (0.35 mg/g DW), crude fat content (2.83%), and crude protein content (1.93%) in Xiaohesang, and total phenol content (17.09 mg GAE/g DW), total flavonoid content (12.46 mg RE/g DW), and procyanidins content (3.47 mg/g DW) in Ziyu 1. To sum up, the fruits of the seven cultivars are rich in nutrients. Among them, fruits of Dabaisang with high total sugar content are applicable to the processing of mulberry wine. Fruits of Xiaohesang, which have the highest content of crude fat and proteins, can be used as dietary supplement. Fruits of Ziyu 1, with the highest content of total phenols, total flavonoids, and proanthocyanidins, is suitable for the development of functional food.

Key words: mulberry; cultivar; physico-chemical properties; phenols; analysis

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助药桑蒸馏酒技术转化与示范项目; 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系资助项目(CARS-18-SYZ24)

作者简介: 刘承阳(1995—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与贮藏技术。

* 通信作者: 侯旭杰(1968—), 男(汉), 教授, 硕士, 研究方向: 农产品深加工及食品质量安全控制技术; 陈泽宁(1974—), 男(汉), 高级农艺师, 本科, 研究方向: 蚕桑及综合利用。

引文格式:

刘承阳,王丽玲,刘燕林,等.新疆7种桑葚理化品质的比较分析[J].食品研究与开发,2022,43(21):162-169.

LIU Chengyang, WANG Liling, LIU Yanlin, et al. Comparison of Fruit Physico-chemical Properties among Seven Mulberry Cultivars in Xinjiang[J]. Food Research and Development, 2022, 43(21): 162-169.

桑葚是桑科(Moraceae)桑属(*Morus* Linn)落叶乔木桑的果实,广泛分布于温带和亚热带,可在各种气候、地形和土壤条件下生长。据《中国药典》记载,桑葚具有滋阴补血,生津润燥的功效^[1]。1988年桑葚被卫生部指定为第一批药用和食用植物之一,在维持人类健康方面发挥着突出的作用^[2]。

新疆种植桑树有3种:白桑(*Morus alba* L.)、鞑靼桑(*M. alba* L.var. *Tatarica*)和药桑(*Morus nigra* L.),前2个品种主要用于养蚕和水果加工。药桑属黑桑种,黑桑属白桑种的变种鞑靼桑^[3]。药桑是极为罕见的体细胞染色体倍数为22倍体的稀贵桑树资源,我国仅分布于新疆喀什、和田、阿克苏等地。Iqbal等^[4]和Song等^[5]的研究发现,桑葚果实中总酚含量分别为6.64 mg/100 g(黑桑葚)和7.55 mg/100 g(白桑葚)。槲皮素、芦丁和异槲皮苷是一种富含于植物和人类饮食中的强多酚抗氧化剂,具有清除自由基以及潜在的抗氧化作用。Jiang等^[6]研究发现,不同品种的桑葚营养价值存在明显差异,桑葚中的营养物质与品种和种植地区密切相关。喻艳等^[7]采用超声波辅助技术提取浸膏中的酚类物质,结果表明乙醇提取物浸膏中的酚类含量最高。江岩等^[8]分析新疆白桑的营养物质:水分79.47%、pH6.08、可溶性固形物19.40%、粗脂肪0.40%、总酸5.60 mg/g。韩爱芝等^[9]、邓青芳^[10]对药桑糖类物质组成进行了分析,发现库车药桑与和田药桑中果糖含量分别为229.23、188.77 mg/g;葡萄糖含量分别为183.48、225.93 mg/g。

由于桑葚具有抗微生物、抗高血糖、降血脂、抗炎、抗癌作用,被用于治疗各种急慢性疾病,为桑葚作为保健功能食品研发提供了科学依据^[11]。目前,国内外对桑葚的化学成分及功效活性研究较多,但针对新疆地区桑葚资源的合理利用研究较少,本研究对新疆7个果桑品种的果实理化成分进行测定,为当地规划育种策略、产品加工及开发具有较高营养价值的功能性食品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

大白桑和小黑桑:新疆阿拉尔托海乡;药桑、和田白、桂蜜、策沙一号、紫玉一号:新疆和田蚕桑研究所

(本试验除药桑、紫玉一号、小黑桑、策沙一号为黑桑品种外其余品种均为白桑)。采摘的桑葚果实均为新鲜无病害的8~9成熟鲜果,按品种采摘分装放在装有冰袋的泡沫箱后尽快运至实验室,并及时对鲜果中水分、pH值、总酸、总糖、还原糖含量等指标进行测定, V_c 待鲜果冷冻干燥处理后进行测定,将样品冷冻干燥粉碎过60目筛,-40℃冷冻条件下贮藏备用测定其他指标。

1.2 试剂

原花青素、葡萄糖、果糖、绿原酸、表儿茶素、矢车菊-3-O-芸香糖苷、矢车菊素-3-O-葡萄糖苷(均为标准品,纯度 $\geq 98\%$):上海源叶生物技术有限公司;福林酚试剂(分析纯):上海荔达生物科技有限公司;亚硝酸钠、硝酸铝、碳酸钠、盐酸、硫酸、石油醚(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

1.3 仪器与设备

UV-2450紫外分光光度计、LC-20A液相色谱:日本岛津公司;IKA A11BASIC研磨机:德国艾卡仪器设备有限公司;LGJ-25C型冷冻干燥机:北京四环科学仪器厂有限公司;TGL-20B高速台式离心机:上海安亭科学仪器厂;PB-10型pH计:德国SARTORIUS有限公司;SB-1100数显恒温磁力搅拌水浴锅:金坛市科顺仪器有限公司;AR2140型电子天平:奥豪斯国际商贸(上海)有限公司;Kjeltec 2300型全自动凯氏定氮仪:瑞典FOSS TECATOR公司;SB-5200DT数控超声波清洗器:宁波新芝生物科技股份有限公司;LE203E/02电子天平:上海梅特勒-托利多仪器有限公司。

1.4 方法

1.4.1 营养成分的测定

水分参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法测定;总糖参照GB/T 10782—2021《蜜饯质量通则》中的斐林试剂法测定;还原糖参照GB 5009.7—2016《食品安全国家标准 食品中还原糖的测定》中的直接滴定法测定(以葡萄糖计);总酸参照GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中的电位滴定法测定(以苹果酸计);粗蛋白参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质含量的测定》中的凯氏定氮法测定;粗脂肪参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品

中脂肪的测定》中的索氏抽提法测定;可溶性固形物参照NY/T 2637—2014《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法》测定; V_c 含量参照GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》中的方法测定;葡萄糖、果糖参照蒲云峰等^[12]的研究方法进行测定。

1.4.2 活性成分的测定

样品的前处理:桑葚冷冻干燥后粉碎,过60目筛得样品。称取1.0g样品加入20mL 60%乙醇,混匀后在25℃下超声20min,静置12h后,离心(10 000 r/min, 10 min)取上清液,获得桑葚提取物。

原花青素参考毛雪等^[13]的方法进行测定,在500nm处测定其吸光度,显色在50min左右稳定,以备用液浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得到回归方程 $y=0.0024x+0.0197$ ($R^2=0.9974$)。

总酚采用林倩等^[14]的Folin-Ciocalteus比色法进行测定,在745nm处测定其吸光度,以没食子酸浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得到回归方程 $y=1.6624x-0.0226$ ($R^2=0.9991$)。

总黄酮参考王鑫等^[15]的方法进行测定,在503nm处测定其吸光度,以芦丁浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线,得到回归方程 $y=2.5930x+0.0012$ ($R^2=0.9996$)。

酚类化合物的测定:酚类化合物均采用液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)进行测定,液相色谱条件采用王鑫等^[15]的方法进行设定,将酚类化合物标准品进行配制,根据各浓度梯度下的峰面积和进样浓度绘制各标准品的回归方程。

1.5 数据处理

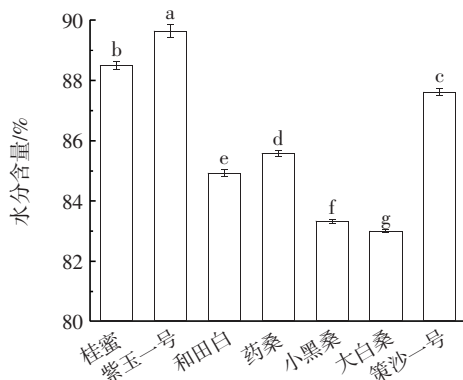
每个处理测定3次,结果以平均值±标准差表示。数据采用SPSS 25.0进行方差分析,并进行Duncan's多重比较($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 7种桑葚果实的水分分析

水分含量是影响桑葚品质稳定性和耐储性的主要原因^[16]。7种桑葚果实的水分含量见图1。

由图1可知,7个桑葚品种的水分含量差异显著($P<0.05$),其中紫玉一号的水分含量最高,为89.62%,桂蜜的水分含量88.46%、策沙一号的水分含量87.58%、和田白的水分含量84.87%、药桑的水分含量85.54%、小黑桑的水分含量83.28%,大白桑的水分含量82.95%。从贮藏角度看,水分越高越不利于鲜果品质保藏,这也是桑葚鲜果容易腐败变质,不耐储藏的原因之一^[17]。因此,利用桑葚水分含量高的特点将其加工成果酒、果



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

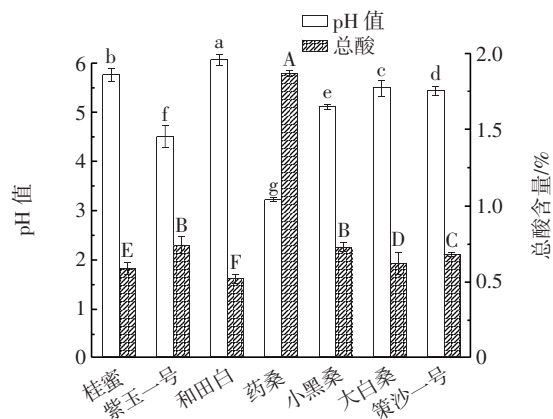
图1 7种桑葚果实的水分含量

Fig.1 Water content of seven mulberry cultivars

醋等饮品,提高桑葚产业附加值较为适宜。

2.2 7种桑葚果实的pH值和总酸含量分析

pH值、总酸含量是评价水果品质风味的重要指标^[18]。7种桑葚果实的pH值和总酸含量见图2。



不同小写字母表示pH值差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示总酸含量差异显著($P<0.05$)。

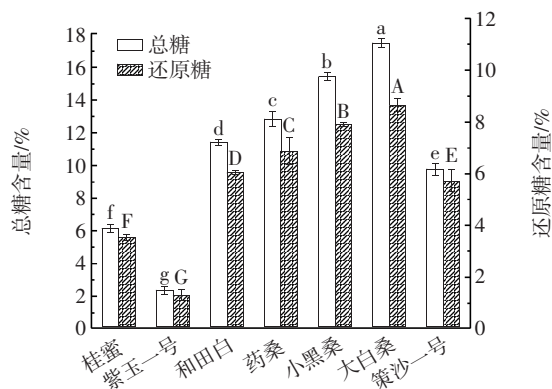
图2 7种桑葚果实的pH值和总酸含量

Fig.2 pH and total acid content of seven mulberry cultivars

由图2可知,除小黑桑和紫玉一号的总酸含量差异不显著外,其余桑葚果实的pH值和总酸含量差异显著($P<0.05$),其中药桑的总酸含量最高,为1.86%,紫玉一号次之为0.73%,其次是小黑桑为0.72%,和田白最低,为0.51%。在7个品种中,总酸含量越高,其pH值相应越低。当pH值小于3.5时,口感较酸。药桑总酸含量是和田白和紫玉一号的2.55倍~3.65倍,这可能是药桑直接食用比其它品种口感稍差的原因。而和田白、桂蜜、大白桑等品种总酸含量低,适口性好,因此适合于鲜食。

2.3 7种桑葚果实的总糖和还原糖含量分析

7种桑葚果实的总糖和还原糖含量见图3。



不同小写字母表示总糖含量差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示还原糖含量差异显著($P<0.05$)。

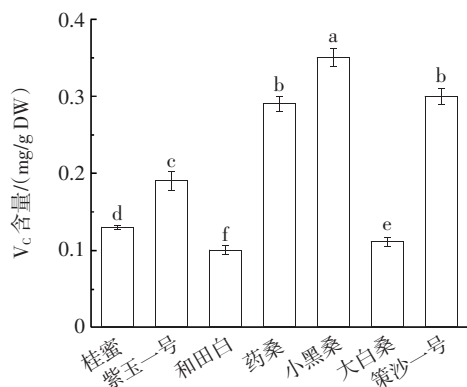
图3 7种桑葚果实的总糖和还原糖含量

Fig.3 The content of total sugar and reducing sugar of seven mulberry cultivars

由图3可知,大白桑总糖、还原糖含量最高,分别为17.39%、8.58%,也是7个果桑中能量密度最高的品种,小黑桑次之,其总糖、还原糖含量分别为15.36%、7.81%。药桑、策沙一号、小黑桑、紫玉一号的总糖、还原糖含量均低于大白桑,其中紫玉一号的总糖、还原糖含量最低,分别为2.24%、1.22%。从以上结果来看,7个品种果桑总糖、还原糖含量大小排序趋势一致,总糖、还原糖含量差异显著($P<0.05$)。这可能与桑葚品种间的差异有关,糖类是鲜果中的主要营养物质,是影响鲜果品质和风味的重要原因^[19],李长城等^[20]的研究发现新疆桑葚总糖含量为白桑>黑桑>药桑,与本试验结果基本一致。糖含量和pH值较高的果实口感较好^[21],这也是大白桑适口性好,适合鲜食、酿酒的主要原因。

2.4 7种桑葚果实的V_c含量分析

7种桑葚果实的V_c含量见图4。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图4 7种桑葚果实的V_c含量

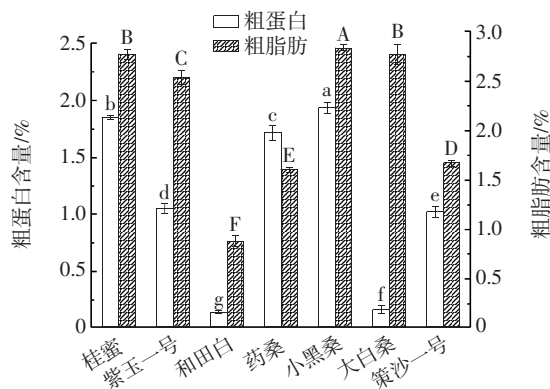
Fig.4 V_c content of seven kinds of mulberries

由图4可知,药桑和策沙一号两个品种差异不显

著($P>0.05$),其余桑葚品种间的V_c含量差异显著($P<0.05$)。其中小黑桑V_c含量最高为0.35 mg/g DW,其次是策沙一号和药桑,分别为0.30、0.29 mg/g DW。和田白含量最低为0.10 mg/g DW。V_c又名抗坏血酸,是一种有效的抗氧化剂,被认为是评价蔬菜水果营养的重要指标。江岩等^[18]测定新疆药桑和白桑的V_c含量,分别为48.40、6.01 mg/100 g DW。结果表明,药桑V_c含量明显高于白桑,与本研究结果基本一致。V_c有解毒功效,能有效减少患癌的风险^[22],药桑果实V_c含量丰富,这对维持人体膳食平衡有着积极作用^[23]。V_c含量差异可能是由于不同的品种和不同采摘期造成的。这种差异有助于选择营养成分合理、活性成分高的品种作为膳食补充剂、功能性食品生产。

2.5 7种桑葚品种的粗脂肪和粗蛋白含量分析

7种桑葚果实的粗脂肪和粗蛋白含量见图5。



不同小写字母表示粗蛋白含量差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示粗脂肪含量差异显著($P<0.05$)。

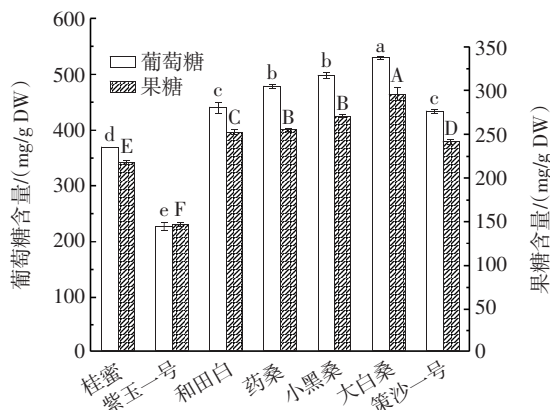
图5 7种桑葚果实的粗脂肪和粗蛋白含量

Fig.5 Crude fat and protein of seven mulberry cultivars

由图5可知,7种桑葚中粗脂肪、粗蛋白含量普遍较低,前4个粗脂肪含量依次为小黑桑(2.83%)、大白桑(2.77%)、桂蜜(2.77%)、紫玉一号(2.53%);7个桑葚品种中桂蜜和大白桑粗脂肪含量差异不显著($P>0.05$),其余5个品种间差异显著($P<0.05$),这种差异可能是由于不同品种和不同采摘时期造成的。7种桑葚粗蛋白含量差异显著($P<0.05$),前4个依次为小黑桑1.93%>桂蜜1.84%>药桑1.71%>紫玉一号1.04%,7个果桑品种中和田白粗蛋白含量最低(0.13%),而小黑桑、桂蜜、药桑粗蛋白含量较高,因此具有良好的食用膳食价值。这一结果与Ercisli等^[24]报道的桑葚品种总脂肪含量较低的研究结果较为接近,这种差异可能与栽培地区和品种差异有关。研究表明,桑葚中含有丰富的必需脂肪酸,其中亚油酸含量最高,占总脂肪酸含量的50%以上^[25]。因此,这对桑葚作为营养健康食品的研发提供了思路。

2.6 7种桑葚果实的葡萄糖、果糖含量分析

7种桑葚果实的葡萄糖、果糖含量见图6。



不同小写字母表示葡萄糖含量差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示果糖含量差异显著($P<0.05$)。

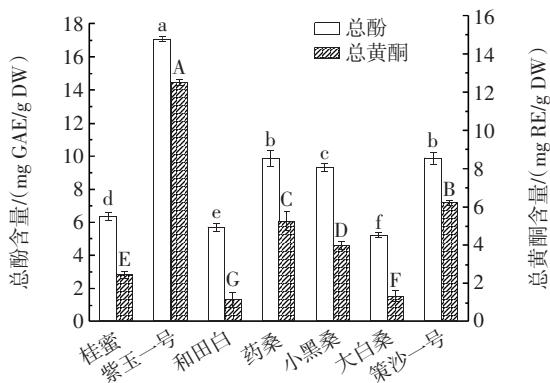
图6 7种桑葚果实的葡萄糖、果糖含量

Fig.6 Glucose glucose, fructose and sucrose in seven mulberry cultivars

由图6可知,除紫玉一号外,其余品种桑葚原料糖含量由高到低依次为葡萄糖>果糖;新疆7种桑葚葡萄糖含量在小黑桑和药桑,和田白和策沙一号两两间差异不显著,其余各品种间差异均显著($P<0.05$);果糖含量除小黑桑和药桑差异不显著,其余品种间差异均显著($P<0.05$)。其中,大白桑含葡萄糖和果糖最高,分别为528.09、294.26 mg/g DW;其次是小黑桑分别为496.95、269.94 mg/g DW;紫玉一号含量最低,分别为224.59、144.74 mg/g DW。黄新球等^[26]研究发现桑葚主要包含葡萄糖和果糖,与与本试验结果测定基本一致。

2.7 7种桑葚果实的总酚、总黄酮含量分析

7种桑葚果实的总酚含量和总黄酮含量见图7。



不同小写字母表示总酚含量差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示总黄酮含量差异显著($P<0.05$)。

图7 7种桑葚果实的总酚含量和总黄酮含量

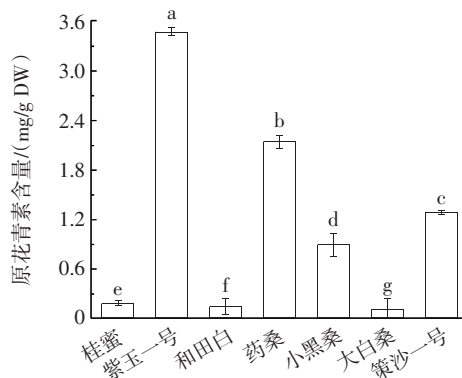
Fig.7 Total phenol and total flavonoids of seven mulberry cultivars

由图7可知,紫玉一号总酚、总黄酮含量最高,分

别为17.09 mg GAE/g DW、12.46 mg RE/g DW,策沙一号次之分别为9.85 mg GAE/g DW、6.16 mg RE/g DW,大白桑总酚含量最低为5.18 mg GAE/g DW,和田白总黄酮含量最低为1.10 mg RE/g DW。品种间除药桑和策沙一号总酚含量差异不显著外,其余桑葚品种间总酚、总黄酮含量差异均显著($P<0.05$)。由于新疆高纬度、日照充足、昼夜温差大的特点,非常有利于植物中黄酮类、花青素等次生代谢产物的运输、转化和积累^[27]。相关研究表明,桑葚酚类物质具有明显的抗氧化和抗糖尿病活性,合理食用桑葚可预防和减少神经炎症的发生^[28]。陈虎^[29]研究提取药桑黄酮含量高达35.39 mg/g,与本试验相比提取含量较高,这可能与所选提取工艺及操作方法有关。因此,测定紫玉一号、药桑、策沙一号和小黑桑的活性成分对研究功效作用、研制抗炎药物有重要意义,总酚、总黄酮含量可作为桑葚品种分类及筛选的有效参考指标。

2.8 7种桑葚果实的原花青素含量分析

原花青素也叫前花青素,酸性条件下加热均可产生花青素,是桑葚果实中重要的多酚类物质^[30],具有降血糖、抗癌、抗氧化等功效^[31-32]。7种桑葚果实的原花青素含量见图8。



不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图8 7种桑葚果实的原花青素含量

Fig.8 Proanthocyanidin content of seven mulberry cultivars

由图8可知,7个果桑品种原花青素含量从大到小依次为紫玉一号(3.47 mg/g DW)、药桑(2.14 mg/g DW)、策沙一号(1.28 mg/g DW)、小黑桑(0.89 mg/g DW)、桂蜜(0.18 mg/g DW)、和田白(0.14 mg/g DW)和大白桑(0.10 mg/g DW),7种桑葚品种间差异显著($P<0.05$)。饮食中原花青素的摄取既能刺激微生物的生长,也能增加短链脂肪酸的产量^[33]。这些结果为果汁、果酒、糖浆、蜜饯、果酱等桑葚产品及功能性食品研发提供了重要参考价值,这种差异可能与个体成熟度及品种间差异有关。

2.9 7种桑葚果实的酚类化合物含量分析

7种桑葚品种的酚类化合物含量见表1。

从表1可以看出,7种桑葚酚类化合物中表儿茶素含量最高的品种是紫玉一号(18 249.61 $\mu\text{g/g DW}$),

表1 7种桑葚品种的酚类化合物含量

Table 1 Phenolic compounds from seven mulberry cultivars

品种	($\mu\text{g/g DW}$)								
	对羟基苯甲酸	表儿茶素	矢车菊素芸香糖苷	矢车菊素葡萄糖苷	绿原酸	槲皮素鼠李糖苷	山奈酚芸香糖苷	槲皮素葡萄糖苷	槲皮素三糖苷
大白桑	36.93 \pm 0.53 ^d	ND	ND	ND	30.64 \pm 0.16 ^e	33.72 \pm 0.11 ^d	87.44 \pm 0.39 ^e	43.83 \pm 0.49 ^e	33.41 \pm 0.40
和田白	35.70 \pm 0.34 ^e	ND	ND	ND	26.54 \pm 1.24 ^f	32.64 \pm 1.46 ^d	87.39 \pm 0.37 ^e	36.77 \pm 0.21 ^e	ND
桂蜜	39.62 \pm 0.12 ^b	ND	ND	ND	28.03 \pm 0.35 ^f	48.90 \pm 0.13 ^b	74.68 \pm 0.10 ^d	51.04 \pm 0.11 ^b	ND
药桑	36.44 \pm 0.34 ^d	10 622.25 \pm 0.28 ^b	3 632.71 \pm 0.12 ^b	1 315.93 \pm 0.06 ^b	88.63 \pm 0.07 ^a	33.59 \pm 0.12 ^d	62.15 \pm 0.17 ^e	30.80 \pm 0.13 ^f	ND
小黑桑	38.64 \pm 0.16 ^c	2 716.51 \pm 0.09 ^d	926.19 \pm 0.06 ^d	343.67 \pm 0.09 ^d	40.65 \pm 0.20 ^d	35.64 \pm 0.20 ^e	159.47 \pm 0.19 ^b	37.90 \pm 0.73 ^d	ND
策沙一号	38.90 \pm 0.32 ^e	5 328.37 \pm 0.13 ^c	1 820.29 \pm 0.16 ^c	466.99 \pm 0.19 ^e	75.41 \pm 0.43 ^e	53.72 \pm 0.04 ^f	423.77 \pm 0.06 ^a	61.46 \pm 0.07 ^a	ND
紫玉一号	47.25 \pm 0.33 ^a	18 249.61 \pm 1.01 ^a	6 409.88 \pm 0.39 ^a	2 674.21 \pm 1.39 ^a	76.76 \pm 0.96 ^b	44.78 \pm 0.45 ^b	30.81 \pm 0.33 ^f	30.80 \pm 0.17 ^f	ND

注:ND表示化合物未检出;同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

药桑次之(10 622.25 $\mu\text{g/g DW}$),大白桑中未检测出表儿茶素含量。研究表明,表儿茶素具有抗氧化、降血压、降血脂等功效^[34],对脑、心脏、骨骼肌缺血损伤等具有一定保护作用^[35]。因此,紫玉一号和药桑在研究抗氧化性药物治疗方面具有极大的研究价值。

7个桑葚品种中槲皮素鼠李糖苷、山奈酚芸香糖苷和槲皮素葡萄糖苷均在策沙一号中含量最高,槲皮素鼠李糖苷在大白桑、和田白和药桑3个品种间差异不显著,在桂蜜和紫玉一号2个品种间差异不显著($P>0.05$);山奈酚芸香糖苷在大白桑、和田白中差异不显著($P>0.05$),其余品种间差异显著($P<0.05$);槲皮素葡萄糖苷在紫玉一号和药桑中差异不显著,其余品种间差异显著($P<0.05$)。7种桑葚中槲皮素三糖苷只在大白桑中检出,上述差异可能由于种植产地和桑果采摘位置不同造成。由此可知桑葚中含有丰富的酚酸糖苷类化合物,是天然酚类化合物的优质资源。因此,7个品种中紫玉一号具有极大的功能性保健品开发潜力,也是值得推荐的果桑种植品种。

桑葚果实主要富含高水平的花青素:矢车菊素 3-O-葡萄糖苷和矢车菊素 3-O-芸香糖苷,可用于食品工业的天然着色剂^[36],能够有效抑制高脂膳食引起的肥胖^[37]。由表1可以看出,2种花色苷含量由大到小依次为紫玉一号(2 674.21 $\mu\text{g/g DW}$ 和 6 409.88 $\mu\text{g/g DW}$),药桑(1 315.93 $\mu\text{g/g DW}$ 和 3 632.71 $\mu\text{g/g DW}$),策沙一号(466.99 $\mu\text{g/g DW}$ 和 1 820.29 $\mu\text{g/g DW}$),小黑桑(343.67 $\mu\text{g/g DW}$ 和 926.19 $\mu\text{g/g DW}$),且4个品种间差异显著($P<0.05$),白桑中均未检测出两种花色苷,这可能与桑葚品种间差异及果实采摘时期有关。此外,7种果桑中还含有其他丰富的酚酸和黄烷酮类酚类化合物,例如绿原酸、对羟基苯甲酸等,对羟基苯甲酸在

大白桑和药桑,小黑桑和策沙一号两两间差异不显著,其余品种差异显著($P<0.05$),其中紫玉一号含量最高(47.25 $\mu\text{g/g DW}$)。绿原酸在7个果桑品种间差异显著($P<0.05$),其中药桑绿原酸含量最高(88.63 $\mu\text{g/g DW}$),分别是桂蜜和田田白的3.16、3.34倍。以上酚类化合物含量差异可能与桑葚在种植过程土壤水分、酸碱度和气候等条件差异有关,具体机理有待进一步研究。

3 结论

本文以新疆7种桑葚果实为研究对象,通过测定各品种间营养物质及活性成分可知,7个主栽桑葚品种的水分、糖类以及原花青素、矢车菊素、表儿茶素、绿原酸和芦丁含量差异显著($P<0.05$)。其中药桑的总酚(9.84 mg GAE/g DW)、V_c含量(0.29 mg/g DW)、原花青素(2.14 mg/g DW)含量较高,总酸(1.86%)和绿原酸(88.63 $\mu\text{g/g DW}$)含量最高,适合开发为药物和保健品资源;紫玉一号的总酚含量(17.09 mg GAE/g DW)、总黄酮含量(12.46 mg RE/g DW)、原花青素含量(3.47 mg/g DW)最高,表明其功能性价值高,具有极大的开发研究意义,适合作为功能性食品和药物成分提取进行加工;小黑桑中粗蛋白(1.93%)、粗脂肪(2.83%)和V_c(0.35 mg/g DW)含量最高,适合作为膳食补充剂;大白桑中总糖(17.39%)、还原糖(8.58%)含量最高,适口性好,适合作为鲜食或酿酒品种。

综合来看,7个主栽桑葚品种含有丰富的营养成分,各品种理化品质间存在较大差异。所测桑葚中主要含葡萄糖、果糖。由于桑葚中酚类化合物含量普遍较高,品种间含量差异较大,根据品种间差异研究开发不同加工产品,一定程度上为企业生产研发功能性食品提供理论依据,同时也为新疆栽培桑葚优良品种

提供科学参考。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: One[M]. Beijing: China Medical Science and Technol Press, 2015.
- [2] 孙乐, 张小东, 郭迎迎. 桑葚的化学成分和药理作用研究进展[J]. 人参研究, 2016, 28(2): 49-54.
SUN Le, ZHANG Xiaodong, GUO Yingying. Research progress on chemical composition and pharmacological action of mulberry[J]. Ginseng Research, 2016, 28(2): 49-54.
- [3] BUTT M S, NAZIR A, SULTAN M T, et al. *Morus alba* L. nature's functional tonic[J]. Trends in Food Science & Technology, 2008, 19(10): 505-512.
- [4] IQBAL S, ASGHAR M, KHAN I, et al. Antioxidant potential profile of extracts from different parts of black mulberry[J]. Asian Journal of Chemistry, 2010, 22(1): 353-364.
- [5] SONG J, KIM Y, LEE J. Comparison of antioxidant and anti-inflammatory activity of quercetin, isoquercitrin and rutin against alcohol-induced liver injury in HepG2 Cells[J]. The FASEB Journal, 2018, 32(S1): 670.60.
- [6] JIANG Yan, NIE Wenjing. Chemical properties in fruits of mulberry species from the Xinjiang Province of China[J]. Food Chemistry, 2015, 174: 460-466.
- [7] 喻艳, 逯海朋, 贾亚楠, 等. 桑椹中酚类物质极性分布及抗氧化活性评价[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(1): 73-79.
YU Yan, LU Haipeng, JIA Yanan, et al. Determination of mulberry total phenolic content and its antioxidant activity[J]. Food and Fermentation Industry, 2017, 43(1): 73-79.
- [8] 江岩, 聂文静. 新疆药桑椹营养成分分析及其体外抗氧化作用[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 126-129.
JIANG Yan, NIE Wenjing. Nutritional composition and *in vitro* antioxidant capacity of black mulberry (*Morus nigra* L.) fruits from Xinjiang Province[J]. Food Science, 2014, 35(22): 126-129.
- [9] 韩爱芝, 王子坤, 马玲, 等. HPLC-ELSD 法测定新疆药桑椹中可溶性糖的种类和含量[J]. 塔里木大学学报, 2017, 29(2): 1-6.
HAN Aizhi, WANG Zikun, MA Ling, et al. Determination of components and contents of water-soluble sugar in mulberry fruit of *Morus nigra* L. of Xinjiang by HPLC-ELSD[J]. Journal of Tarim University, 2017, 29(2): 1-6.
- [10] 邓青芳. 桑椹抗酒精性肝损伤药效作用及其物质基础研究[D]. 贵州: 贵州师范大学, 2015.
DENG Qingfang. Effects and material basis of mulberry on alcoholic liver injury[D]. Guizhou: Guizhou Normal University, 2015.
- [11] ARFAN M, KHAN R, RYBARCZYK A, et al. Antioxidant activity of mulberry fruit extracts[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2012, 13(2): 2472-2480.
- [12] 蒲云峰, 丁甜, 刘建军, 等. 新疆 12 种干果的营养品质及抗氧化分析[J]. 中国食品学报, 2019, 19(5): 287-294.
PU Yunfeng, DING Tian, ZHONG Jianjun, et al. Analysis of nutrition quality and antioxidant capability of 12 species of dried fruits in Xinjiang[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(5): 287-294.
- [13] 毛雪, 刘玉梅. 葡萄枝蔓中原花色素的不同分析方法比较及含量分析[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 169-175.
MAO Xue, LIU Yumei. Comparison of different analytical methods and content analysis of proanthocyanidins in grape vines[J]. Food Science, 2016, 37(12): 169-175.
- [14] 林倩, 吴昊, 刘芊辰, 等. 响应面法优化福林酚法测定冬枣中总酚含量[J]. 食品工业, 2020, 41(4): 86-90.
LIN Qian, WU Hao, LIU Qianchen, et al. Optimization of folin-cio-calteu method for total phenol content in winter jujube by response surface methodology[J]. The Food Industry, 2020, 41(4): 86-90.
- [15] 王鑫, 姜喜, 于军, 等. '绿宝石' 梨果实发育期酚类物质的动态变化及其抗氧化活性[J]. 塔里木大学学报, 2021, 33(2): 25-31.
WANG Xin, JIANG Xi, YU Jun, et al. Dynamics of phenolic substances and their antioxidant activity during fruit development of 'Lyubaoshi' pears[J]. Journal of Tarim University, 2021, 33(2): 25-31.
- [16] AHMADI F, LEE Y H, LEE W H, et al. Long-term anaerobic conservation of fruit and vegetable discards without or with moisture adjustment after aerobic preservation with sodium metabisulfite[J]. Waste Management, 2019, 87: 258-267.
- [17] PRAKASH O, BASKARAN R, CHAUHAN A S, et al. Effect of heat processing on phenolics and their possible transformation in low-sugar high-moisture (LSHM) fruit products from Kainth (*Pyrus pashia* Buch.-ham ex D. Don) fruit[J]. Food Chemistry, 2022, 370: 130988.
- [18] 周永生. pH 在果蔬罐头生产中的作用及控制[J]. 食品工业科技, 1999(3): 55.
ZHOU Yongsheng. Effect and control of pH in the production of canned fruits and vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 1999(3): 55.
- [19] ZHAO Handong, SHU Chang, FAN Xinguang, et al. Near freezing point storage compared with conventional low temperature storage on apricot fruit flavor quality (volatile, sugar, organic acid) promotion during storage and related shelf life[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 228: 196-203.
- [20] 李长城, 张志刚, 刘玉芳, 等. 吐鲁番地区 12 个桑葚品种的品质分析及评价[J]. 西南农业学报, 2020, 33(9): 1892-1897.
LI Changcheng, ZHANG Zhigang, LIU Yufang, et al. Quality analysis and evaluation of 12 mulberry varieties in Turpan[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(9): 1892-1897.
- [21] 李春丽, 董清华, 冯永庆, 等. 葡萄果实始熟期前后糖和 pH 值及 ABA 变化[J]. 北京农学院学报, 2010, 25(2): 14-17.
LI Chunli, DONG Qinghua, FENG Yongqing, et al. Change of sugar, pH and ABA in grape fruit before and after that first ripe stage[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2010, 25(2): 14-17.
- [22] MIKKELSEN S U, GILLBERG L, LYKKESFELDT J, et al. The role

- of vitamin C in epigenetic cancer therapy[J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 2021, 170: 179–193.
- [23] WANG S, LAY S, YU H, et al. Dietary Guidelines for Chinese Residents (2016): Comments and comparisons[J]. *Journal of Zhejiang University–Science B*, 2016, 17(9): 649–656.
- [24] ERCISLI S, ORHAN E. Some physico–chemical characteristics of black mulberry (*Morus nigra* L.) genotypes from Northeast Anatolia Region of Turkey[J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 116(1): 41–46.
- [25] SAHOO A, SARKAR S, LAL B, et al. Utilization of fruit and vegetable waste as an alternative feed resource for sustainable and eco–friendly sheep farming[J]. *Waste Management*, 2021, 128: 232–242.
- [26] 黄新球, 杨文, 杨娟, 等. 云南省主要果用桑葚的营养品质及理化特性[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(21): 181–187.
- HUANG Xinqiu, YANG Wen, YANG Juan, et al. Nutritional quality and physicochemical properties of main fruit mulberry in Yunnan Province[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(21): 181–187.
- [27] 陈志永, 杨媛媛, 蒙麦侠, 等. 桑椹中新绿原酸、绿原酸、芦丁和异槲皮苷的含量测定[J]. *辽宁中医杂志*, 2018, 45(1): 116–118.
- CHEN Zhiyong, YANG Yuanyuan, MENG Maixia, et al. Determination of neochlorogenic acid, chlorogenic acid, rutin and isoquercitrin in mulberry[J]. *Liaoning Journal of Traditional Chinese Medicine*, 2018, 45(1): 116–118.
- [28] XU X, HUANG Y, XU J, et al. Anti–neuroinflammatory and antioxidant phenols from mulberry fruit (*Morus alba* L.)[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 68: 103914.
- [29] 陈虎. 药桑椹总黄酮的抗炎镇痛活性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.
- CHEN Hu. Study on the anti–inflammatory and analgesic activity of total flavonoids of medicinal mulberry[D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [30] WU S B, DASTMALCHI K, LONG C, et al. Metabolite profiling of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) and other dark–colored fruit juices[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(30): 7513–7525.
- [31] 樊旭, 周鸿立. 沙棘黄酮的提取和抗氧化活性的研究进展[J]. *吉林化工学院学报*, 2017, 34(11): 35–39.
- FAN Xu, ZHOU Hongli. Research progress on extraction and antioxidant activity of flavonoids from *Hippopotamus rhamnoides*[J]. *Journal of Jilin Institute of Chemical Technology*, 2017, 34(11): 35–39.
- [32] WANG B N, HUANG Q Y, VENKITASAMY C, et al. Changes in phenolic compounds and their antioxidant capacities in jujube (*Ziziphus jujuba* Miller) during three edible maturity stages[J]. *LWT – Food Science and Technology*, 2016, 66: 56–62.
- [33] ALVES–SANTOS A M, SUGIZAKI C S A, LIMA G C, et al. Prebiotic effect of dietary polyphenols: A systematic review[J]. *Journal of Functional Foods*, 2020, 74: 104169.
- [34] SHREELAKSHMI S V, NAZARETH M S, KUMAR S S, et al. Physicochemical composition and characterization of bioactive compounds of mulberry (*Morus indica* L.) fruit during ontogeny[J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2021, 76(3): 304–310.
- [35] BUTKHUP L, SAMAPPITO W, SAMAPPITO S. Phenolic composition and antioxidant activity of white mulberry (*Morus alba* L.) fruits[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2013, 48(5): 934–940.
- [36] HUANG G, ZENG Y, WEI L, et al. Comparative transcriptome analysis of mulberry reveals anthocyanin biosynthesis mechanisms in black (*Morus atropurpurea* Roxb.) and white (*Morus alba* L.) fruit genotypes[J]. *BMC Plant Biology*, 2020, 20(1): 1–12.
- [37] YAN F J, ZHENG X D. Anthocyanin–rich mulberry fruit improves insulin resistance and protects hepatocytes against oxidative stress during hyperglycemia by regulating AMPK/ACC/mTOR pathway[J]. *Journal of Functional Foods*, 2017, 30: 270–281.

加工编辑: 姚骏

收稿日期: 2021–12–28