

广西地区13个主栽桑品种的桑椹营养与药用品质综合评价

何雪梅¹, 孙健^{1,*}, 梁贵秋², 邱长玉², 李杰民¹, 李丽¹, 李昌宝¹, 盛金凤¹, 刘国明¹, 零东宁¹, 唐雅园¹

(1. 广西壮族自治区农业科学院农产品加工研究所, 广西 南宁 530007;

2. 广西壮族自治区蚕业科学研究院, 广西 南宁 530007)

摘要: 采用因子分析法对广西地区13个主栽桑品种的桑椹中主要营养成分、功能成分进行分析, 评价其综合营养品质和药用品质, 筛选桑椹食、药用开发的专用桑品种。营养品质因子分析结果表明, 从15项指标提取的5个公因子累计方差贡献率为86.32%, 能较好地解释自变量信息, 维生素含量、微量元素含量、氨基酸含量和膳食纤维含量是影响桑椹营养品质的最主要的指标。综合得分排列前3位的品种是大10、桑特优2号和桂诱M161, 这3个品种可作为桑椹食品开发的专用桑树品种。药用品质因子分析结果表明, 从9项指标提取的4个公因子的累计方差贡献率为88.02%, 较好地反映桑椹药用品质的综合信息, 影响桑椹药用品质最主要的指标为多酚、绿原酸、芦丁和花青素。综合得分排列前3位的品种是桂诱M257、桂桑优62和大10, 这3个品种可作为桑椹药品、保健品开发的专用桑品种。

关键词: 桑椹; 营养品质; 药用品质; 因子分析法; 专用桑树品种

Nutritional and Medicinal Quality of Mulberry Fruit from 13 Main Varieties Grown in Guangxi

HE Xuemei¹, SUN Jian^{1,*}, LIANG Guiqiu², QIU Changyu², LI Jiemin¹, LI Li¹, LI Changbao¹, SHENG Jinfeng¹,
LIU Guoming¹, LING Dongning¹, TANG Yayuan¹

(1. Institute of Agro-Products Processing and Technology, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;

2. Sericultural Research Institute, Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530007, China)

Abstract: The major nutritional and functional components of mulberry fruit from 13 main varieties grown in Guangxi region of China were investigated by factor analysis in an effort to evaluate their nutritional and medicinal quality and to screen out special varieties for the development of food and pharmaceutical products. The factor analysis of nutritional quality indicated that 5 principal components extracted from 15 quality indicators could reflect the comprehensive information on nutritional quality with a cumulative contribution rate of 86.32%. The contents of vitamin, microelements, amino acids and dietary fiber were the main factors influencing nutritional quality. Te 2, Da 10 and Guiyou M161 ranked first to third by comprehensive score among 13 varieties. These three varieties were suitable for food development. The factor analysis of medicinal quality indicated that 3 principal components extracted from 9 quality indicators could reflect the comprehensive information on medicinal quality with a cumulative contribution rate of 88.02%. The main factors influencing medicinal quality were the contents of polyphenols, chlorogenic acid, rutin and anthocyanins. The comprehensive scores of Guiyou M257, Guisangyou 62 and Da 10 were ranked the top three among 13 varieties. These three varieties were suitable for the development of healthcare products and medicines.

Keywords: mulberry; nutritional quality; medicinal quality; factor analysis; special mulberry varieties

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810038

中图分类号: S888.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2018)10-0250-07

引文格式:

何雪梅, 孙健, 梁贵秋, 等. 广西地区13个主栽桑品种的桑椹营养与药用品质综合评价[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 250-256. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201810038. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2017-06-19

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201403604; 201303073); 广西农业科学院科技基本业务费团队项目(2018YT26); 广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室培育基地项目(17-259-80); 广西科技重大专项(桂科AA17204038)

中共中央组织部万人计划项目(组厅字[2015]48号); 八桂学者团队项目([2016]21)

第一作者简介: 何雪梅(1981—), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为天然产物化学。E-mail: xuemeihe1981@126.com

*通信作者简介: 孙健(1978—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: jiansun@gxaas.net

HE Xuemei, SUN Jian, LIANG Guiqiu, et al. Nutritional and medicinal quality of mulberry fruit from 13 main varieties grown in Guangxi[J]. Food Science, 2018, 39(10): 250-256. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx.1002-6630-201810038. <http://www.spkx.net.cn>

桑椹是桑树的果实,具有很高的营养价值和药用价值,1993年被国家卫生部列入首批“药食两用资源”名录^[1]。桑椹富含蛋白质、氨基酸、维生素、矿物质、不饱和脂肪酸、膳食纤维等多种营养元素^[2],《中华人民共和国药典》记载桑椹主治阴血不足而致的头晕目眩、心悸、烦躁失眠、腰膝酸软、须发早白、消渴、口干、大便干结等症^[3]。现代医药科学发现,桑椹中含有黄酮、花青素、生物碱、白藜芦醇、多糖等多种功能活性成分,具有增强免疫力、抗衰老、降血糖、促进造血细胞生长等药理作用^[4-6]。广西蚕桑业有着得天独厚的亚热带气候环境,同时得益于国家“东桑西移”扶持,从2005年至今该产业稳居全国第一,桑园面积连续11年全国第一。桑椹为蚕桑业主要副产物,2015年广西桑园面积达300万亩,桑椹产量达20多万t^[7-8]。随着人们对桑椹营养保健价值的认识和消费者的喜爱重视,生产上逐渐形成了以采摘桑椹为主的果桑品种,种植面积逐渐扩大,呈现出良好的发展前景^[9]。桑椹属于浆果类果实,皮薄多汁不耐贮藏,除少量鲜食外,大部分以加工为主,目前桑椹的加工产品主要有桑椹汁、桑椹酒、桑椹干、桑椹膏等^[10-11]。加工产品的品质与果实原料的营养、加工特性密切相关,针对不同类型的加工产品筛选适宜的优良品种,对加工产品品质的提升尤为重要。因此开展桑椹营养品质与药用品质特性分析和综合评价,建立桑椹综合品质评价指标体系,对指导果桑优良品种选育、桑椹食药开发及果桑产业发展具有重要意义。

目前已有对桑椹品质的评价分析,但多集中于单一品质方面,未建立营养与药品品质的综合评价体系。如李升峰等^[12]对不同果桑品种桑椹的糖酸组成进行分析,确定了桑椹的主要糖类和有机酸类组成。李俊芳等^[13]采用主成分分析法对不同果桑品种桑椹的游离氨基酸进行综合评价,确定了影响游离氨基酸的主要因素。不同桑品种桑椹的花色苷含量、抗氧化能力及其相关性研究表明,花色苷含量在不同品种间有较大差异,其含量与抗氧化能力呈极显著正相关^[14]。乔宇等^[15]对湖北省和江苏省的12个果桑品种桑椹的理化性质进行检测,采用主成分分析确定了影响桑椹品质的主要因子,筛选出适宜桑椹加工的果桑品种。为了科学、合理地对桑椹资源进行食、药用开发,本实验分别从桑椹的营养指标和活性成分指标中挑选了15个和9个指标进行检测分析,采用因子分析法将各项营养与药用品质指标转化为少数相互独立的新指标,得到影响桑椹营养与药用品质的主要因子,构建科学、易

操作的桑椹品质评价体系,依据综合得分筛选出适合桑椹药食用途开发的专用桑品种。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试桑品种共13个,均为广西壮族自治区蚕业科学研究院资源圃保存的广西主栽桑品种资源,树龄为2a。13个桑品种中大10、伦40、桂桑优12、桂诱M54、桂诱M191、桂诱M38、桂诱M208、桂诱M70、桂桑优62、桂诱M161、桑特优2号、桂诱M257均为广东桑(*Morus atropurpurea* Roxb.),台湾四季大果桑为长果桑(*Morus laevigata* Wall.)。各品种的桑椹样品采摘时间为2015年3月16日,选取成熟度为8~9成的桑椹,使桑椹成熟度保持一致。新鲜桑椹用于测定水分、维生素的含量,其余指标均采用烘干样品测定。不同桑品种的桑椹样品在50℃烘干、粉碎过60目筛于4℃条件下贮存备用。

VB₁、VB₂、VC、叶酸、芦丁、槲皮素、绿原酸、1-脱氧野尻霉素(1-deoxynojirimycin, DNJ)等标准品美国Sigma公司;2,4-二硝基苯肼、石油醚、水合茚三酮、还原茚三酮、二甲基亚砷、雷氏盐、甲醇、苯酚、硫酸、硫酸铜、酒石酸钾钠、氢氧化钠、亚铁氰化钾、乙酸锌、盐酸、甲基红、丙酮和乙醚等试剂均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

FW80-1型粉碎机 天津市泰斯特仪器有限公司;
AL204型电子分析天平 梅特勒-托利多(上海)有限公司;
Varian Cary 50型紫外分光光度计 美国瓦利安公司;
722S型可见分光光度计 上海江仪仪器有限公司;
835-50型高速氨基酸分析仪 日本日立公司;RF-540型荧光分光光度计、CS-9000薄层扫描仪 日本岛津公司;WYT手持糖量计 成都光学仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 桑椹营养成分的测定

水分含量采用GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》第一法“直接干燥法”测定;粗蛋白含量采用GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》第一法“凯氏定氮法”测定;粗脂肪含量采用GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》第一法“索氏抽提法”测定;灰分含量采用GB 5009.4—2010《食品中灰分的测定》方法测定;碳水化合物含量采用《食品营养标签管理规范》中碳水化合物的计算方法(食品干物质总质量分别减去蛋白质、脂

肪、灰分和膳食纤维的质量，即是碳水化合物的量）；膳食纤维含量采用GB 5009.88—2008《食品中膳食纤维的测定》方法测定；矿物质含量采用干法消化、火焰原子分光光度计测定^[16]；氨基酸含量采用氨基酸分析仪测定，分析桑椹中的总氨基酸和17种游离氨基酸含量^[17]；VB₁含量采用GB/T 5009.84—2003《食品中硫胺素（维生素B₁）的测定》方法中的荧光法测定；VB₂含量采用GB/T 5009.85—2003《食品中核黄素的测定》中的荧光法测定；叶酸含量采用GB/T 5009.197—2003《保健食品中盐酸硫胺素、盐酸吡哆醇、烟酸、烟酰胺和咖啡因的测定》中的高效液相色谱法；VC含量采用GB/T 5009.159—2003《食品中还原型抗坏血酸的测定》中的分光光度法测定；可溶性固形物含量采用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；总酸含量采用GB/T 12456—2008《食品中总酸的测定》中的方法测定。桑椹中营养成分的含量（除水分含量、维生素含量外）均以桑椹干物质计算。

1.3.2 桑椹中主要功能活性成分含量和特征性化学成分含量的测定

总黄酮含量以芦丁为标准品，采用Al(NO₃)₃比色法^[18]测定；多酚含量以没食子酸为标准品，采用Folin-Ciocalteu比色法^[19]测定；多糖含量以葡萄糖为标准品，采用苯酚-硫酸法^[20]测定；总生物碱含量以4-羟基哌啶为对照品，采用雷氏盐比色法^[21]测定；DNJ含量采用柱前衍生化高效液相色谱-荧光检测法测定^[22]；花青素含量采用pH示差法测定^[23]；槲皮素含量测定采用2005版《中国药典》一部^[24]中银杏叶含量测定方法中的高效液相色谱法；绿原酸和芦丁含量采用高效液相色谱法^[25]测定。桑椹中功能活性成分含量均以mg/g桑椹干物质计。

1.3.3 检测数据的转化与统计分析

采用因子分析法^[26]对桑椹的多项品质指标进行客观、科学的综合评价。由于原始实验数据的计量单位和数据量纲不同，因此在因子分析前，采用隶属函数法^[27]对数据进行标准化转换。各指标依据公式（1）进行转化。采用SPSS 19.0软件对数据进行因子分析，各样品的综合得分通过公式（2）得到。

$$U_{in} = \frac{X_{in} - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \tag{1}$$

$$D_n = \sum_{j=1}^m F_{jn} \times E_j \tag{2}$$

式中：U_{i n}是第n个样品第i个指标的原始数据经转化后的隶属函数值；X_{i n}指第n个样品第i个指标的原始数据；X_{i max}和X_{i min}分别指样品中第i个指标的最大值和最小值；D_n为经因子分析法得到的各样品品质的综合得分；F_{j n}为第n个样品第j个特征根大于1的公因子的分值；E_j为第j个公因子的方差贡献率；m为特征根大于1的公因子的个数。

2 结果与分析

2.1 13个桑品种的桑椹营养成分含量及营养品质因子分析

2.1.1 主要营养成分含量分析

如表1所示，不同品种间营养成分含量差异较大。水分质量分数分布在83.65%~92.40%之间，平均水分质量分数为87.89%，说明桑椹不耐贮藏，其中伦40、桂诱M70的水分质量分数超过90%。粗脂肪质量分数较低，平均值为4.61%，品种间差异较大，变异系数为32.74%。

表1 广西蚕区13个主栽桑品种的桑椹营养成分含量
Table 1 Nutrient contents of 13 mulberry varieties

桑椹品种	水分 质量分数/%	粗脂肪 质量分数/%	粗蛋白 质量分数/%	灰分 质量分数/%	膳食纤维 质量分数/%	碳水化合物 质量分数/%	总氮 质量分数/%	可溶性固形 物质量 分数/%	总酸 质量分数/%	糖酸比	Ca含量/ (mg/kg)	Mg含量/ (mg/kg)	Fe含量/ (mg/kg)	Zn含量/ (mg/kg)	Cu含量/ (mg/kg)	Mn含量/ (mg/kg)	VB ₁ 含量/ (mg/kg)	VB ₂ 含量/ (mg/kg)	VC含量/ (mg/kg)	叶酸含量/ (mg/kg)
桂桑优12	88.48	3.10	17.24	2.58	12.36	64.72	6.65	53.00	2.14	24.77	2.91	0.52	82.23	23.75	5.32	26.22	3.80	1.32	28.70	0.25
桂诱M54	84.42	2.80	11.24	3.06	11.45	71.45	5.73	54.50	2.63	20.72	3.18	0.51	77.83	19.30	5.98	26.82	2.88	1.04	20.50	0.20
大10	87.96	3.30	7.88	4.63	14.20	69.99	6.30	80.50	2.62	30.73	2.99	0.45	75.84	16.49	5.00	16.21	1.89	1.20	23.20	0.23
桂诱M191	88.73	2.82	9.10	3.88	13.62	70.60	5.43	58.00	1.79	32.40	3.13	0.49	63.31	20.23	5.42	20.08	3.12	1.52	24.10	0.20
桂诱M38	86.15	3.74	10.68	4.25	11.85	69.52	5.72	46.00	3.35	13.73	3.11	0.46	64.64	24.93	6.91	29.32	4.02	1.47	29.60	0.19
桂诱M208	87.05	4.82	11.99	2.98	12.30	67.93	5.37	43.00	3.95	10.89	2.97	0.50	113.89	22.38	7.70	23.27	2.56	1.26	30.40	0.27
桂诱M70	90.15	6.54	12.38	6.02	13.66	61.44	5.97	45.00	2.59	17.37	2.98	0.53	93.47	23.57	6.98	27.71	3.06	1.35	26.90	0.21
伦40	92.40	6.22	11.73	5.21	14.90	61.96	6.24	65.50	6.45	10.16	3.02	0.53	83.04	25.50	7.40	28.39	4.23	1.25	27.70	0.29
桂桑优62	88.50	7.01	15.84	3.92	14.95	58.29	5.79	47.00	2.22	21.17	2.94	0.47	54.43	23.28	4.92	18.95	2.74	1.44	24.10	0.24
桂诱M161	87.54	6.13	12.60	3.02	12.56	65.72	5.85	52.50	1.97	26.65	3.11	0.52	54.32	18.53	4.69	19.91	3.36	1.33	27.10	0.28
台湾四季大果桑	83.65	5.42	11.38	4.55	15.32	63.35	5.54	64.00	2.08	30.77	2.94	0.47	61.22	18.65	4.54	33.88	2.07	1.12	26.90	0.22
桑特优2号	88.70	4.74	13.56	4.78	18.31	58.65	5.61	47.00	2.36	19.92	2.99	0.48	61.23	25.89	5.05	20.18	3.45	1.28	21.30	0.31
桂诱M257	88.83	3.50	9.80	4.86	12.55	69.29	5.90	58.50	2.77	21.12	3.01	0.51	57.43	17.74	4.81	22.73	3.76	1.42	20.90	0.25
变化范围	83.65~92.40	2.80~7.01	7.88~17.24	2.58~6.02	11.45~18.31	58.29~71.45	5.37~6.65	43.00~80.50	1.79~6.45	10.16~32.40	2.91~3.18	0.45~0.53	54.32~113.89	16.49~25.89	4.54~7.70	16.21~33.88	1.89~4.23	1.04~1.52	20.50~30.40	0.19~0.31
平均值	87.89	4.61	11.95	4.13	13.69	65.61	5.85	54.96	2.84	21.57	3.02	0.50	72.53	21.56	5.75	24.13	3.15	1.38	25.49	0.24
变异系数/%	2.59	32.74	21.35	24.53	13.66	6.97	6.25	19.13	43.39	34.10	2.63	2.11	24.15	14.84	19.41	20.95	22.83	10.56	13.18	15.52

表2 广西蚕区13个主栽桑品种的桑椹的游离氨基酸含量
Table 2 Free amino acid contents of 13 mulberry varieties

桑椹品种	总氨基酸含量	非必需氨基酸										必需氨基酸								必需氨基酸占总氨基酸比重
		天冬氨酸	谷氨酸	精氨酸	甘氨酸	丙氨酸	丝氨酸	脯氨酸	酪氨酸	组氨酸	胱氨酸	亮氨酸	苯丙氨酸	缬氨酸	赖氨酸	苏氨酸	异亮氨酸	蛋氨酸		
桂桑优12	6.65	1.85	0.89	0.40	0.34	0.37	0.35	0.29	0.22	0.12	<0.001	0.43	0.28	0.34	0.25	0.28	0.15	0.09	27.37	
桂诱M54	5.73	1.24	0.85	0.39	0.33	0.36	0.34	0.22	0.14	0.11	<0.001	0.45	0.29	0.33	0.24	0.22	0.13	0.09	30.54	
大10	6.30	1.75	0.86	0.39	0.35	0.34	0.34	0.22	0.16	0.15	<0.001	0.37	0.31	0.32	0.27	0.22	0.16	0.09	27.62	
桂诱M191	5.43	1.24	0.72	0.34	0.36	0.33	0.30	0.21	0.11	0.11	<0.001	0.34	0.32	0.36	0.31	0.19	0.11	0.08	31.49	
桂诱M38	5.72	1.33	0.83	0.42	0.34	0.31	0.31	0.26	0.14	0.12	<0.001	0.31	0.31	0.33	0.29	0.17	0.18	0.07	29.02	
桂诱M208	5.37	1.16	0.71	0.31	0.38	0.31	0.30	0.27	0.19	0.15	<0.001	0.35	0.31	0.26	0.29	0.22	0.09	0.07	29.61	
桂诱M70	5.97	1.63	0.80	0.36	0.33	0.34	0.34	0.26	0.13	0.2	<0.001	0.33	0.35	0.19	0.33	0.21	0.09	0.08	26.47	
伦40	6.24	1.67	0.80	0.32	0.34	0.36	0.33	0.24	0.18	0.13	<0.001	0.43	0.32	0.33	0.32	0.24	0.17	0.06	29.97	
桂桑优62	5.79	1.43	0.81	0.40	0.34	0.30	0.36	0.27	0.16	0.12	<0.001	0.37	0.29	0.25	0.26	0.20	0.16	0.07	27.63	
桂诱M161	5.85	1.64	0.70	0.31	0.36	0.38	0.29	0.25	0.12	0.11	<0.001	0.42	0.30	0.30	0.16	0.25	0.19	0.07	28.89	
台湾四季大果桑	5.54	1.39	0.78	0.35	0.32	0.32	0.33	0.19	0.15	0.13	<0.001	0.31	0.34	0.28	0.22	0.3	0.08	0.05	28.52	
桑特优2号	5.61	1.33	1.05	0.49	0.36	0.33	0.33	0.24	0.11	0.11	<0.001	0.33	0.28	0.15	0.18	0.16	0.09	0.07	22.46	
桂诱M257	5.90	1.70	0.80	0.37	0.32	0.34	0.32	0.26	0.14	0.13	<0.001	0.32	0.28	0.29	0.24	0.18	0.13	0.08	25.76	
平均值	5.85	1.49	0.82	0.37	0.34	0.34	0.33	0.24	0.15	0.13	<0.001	0.37	0.31	0.29	0.26	0.22	0.13	0.07	28.11	

粗蛋白质量分数较高,平均值为11.95%,品种间差异较大,桂桑优12和桂桑优62的粗蛋白质量分数高达15%以上,大10的质量分数仅7.88%。桑椹粗蛋白含量大约是苹果粗蛋白含量的3倍以上^[28]。膳食纤维质量分数较高,分布在11.45%~18.31%之间,平均为13.69%,品种间差异较小,桑椹膳食纤维含量是苹果纤维含量的2倍以上^[28]。

桑椹中总氨基酸的质量分数分布在5.37%~6.65%之间,平均为5.85%,品种间差异较小。果蔬深加工处理(加工饮料、酒、醋等)中可溶性固形物含量是一个很重要的指标^[2,13]。桑椹可溶性固形物质量分数在43.00%~80.50%之间,质量分数较高的品种是大10、伦40和台湾四季大果桑,较低的品种是桂诱M38、桂诱208和桂诱70,差异达一倍之多,这可能与桑椹的品种有关,不同品种其果实的可溶性固形物含量有很大差异。糖酸组成是影响果实品质和风味的重要因素,桑椹糖酸比值在10.16~32.40之间,差异非常大。据报道桑椹中的主要糖类是果糖与葡萄糖,不含蔗糖,酸类主要包括柠檬酸、苹果酸和琥珀酸等有机酸^[29]。

桑椹中含有丰富的人体必需的矿物元素,不同品种间Ca、Mg的含量变化差异很小,变异系数分别为2.63%和2.11%。Fe、Zn、Cu、Mn在品种间的差异较大,其中Fe变异系数最大,达到24.15%。桑椹中的维生素含量丰富,其中VC的含量最高,平均值为25.49 mg/kg,品种间变异系数为13.18%;VB₁在品种间的差异较大,变异系数为22.83%。

如表2所示,桑椹含有17种游离氨基酸,其中必需氨基酸有7种^[13],必需氨基酸占总氨基酸的28%左右,其中亮氨酸、苏氨酸含量较高,苏氨酸是谷类限制性氨基

酸。与果实风味关系较为密切的氨基酸主要为味觉氨基酸,包括鲜味氨基酸(Glu、Asp)、甜味氨基酸(Ala、Gly、Ser、Pro)和芳香族氨基酸(Tyr、Phe)^[30],这几种氨基酸的含量均较高。

2.1.2 13个桑椹营养品质的因子分析

表3 桑椹营养品质评价因子的载荷矩阵特征向量及累计方差贡献率
Table 3 Load matrix eigenvector and cumulative contribution rate of nutritional quality factors in mulberry

指标	第1公因子	第2公因子	第3公因子	第4公因子	第5公因子
粗蛋白	-0.40	-0.30	-0.44	-0.58	0.10
膳食纤维	-0.03	-0.04	0.28	0.81	-0.01
总氨基酸	-0.33	0.06	-0.75	-0.15	-0.39
Ca	-0.09	0.70	0.53	0.20	-0.19
Mg	-0.05	0.78	0.14	-0.18	-0.22
Fe	0.09	-0.65	-0.13	-0.26	0.03
Zn	-0.17	-0.82	0.32	-0.20	-0.29
Mn	-0.22	0.44	-0.07	0.26	0.68
Cu	0.08	-0.07	0.10	0.05	0.90
VB ₁	0.82	-0.25	0.02	-0.15	-0.21
VB ₂	0.89	-0.02	-0.11	0.06	-0.05
VC	0.45	-0.04	-0.03	0.07	0.29
叶酸	0.83	0.21	-0.02	-0.12	0.20
可溶性固形物	-0.26	-0.10	0.70	0.23	-0.03
糖酸比	-0.45	0.30	0.47	-0.22	0.26
特征根	3.68	3.28	1.94	1.37	1.18
贡献率/%	27.51	19.50	16.66	13.00	9.65
累计方差贡献率/%	27.51	47.02	63.67	76.67	86.32

筛选13个桑品种桑椹的15个营养成分检测数据经隶属函数法转化后进行因子分析,从15项指标提取了5个公因子(特征根>1),得到了各项指标的方差贡献率、累计方差贡献率和因子载荷矩阵,如表3所示。5个公因子的累计方差贡献率为86.32%,说明这5个因子所含信息占总体信息的86.32%,能较好地解释自变量。对

桑椹营养品质评价的指标由15个减少为5个彼此不相关的成分,达到了降维的目的。因子载荷值反映了桑椹各营养成分指标对公因子负荷相对大小和作用的方向,即该指标对主成分的影响程度,符号为正表明该指标对该公因子有正向影响,反之,符号为负表明有负向影响。其中第1公因子中载荷较高的指标有VB₁、VB₂和叶酸含量,载荷值均大于0.8,均为正向影响,即第1公因子大时,VB₁、VB₂和叶酸含量越高,第1公因子的方差贡献率最大为27.51%,表明第1公因子对桑椹营养品质的影响最大,称为维生素因子。第2公因子中载荷较高且有正向影响的指标有Ca和Mg的含量,载荷值为0.70和0.78,载荷较高且有负向影响的指标为Zn和Fe的含量,载荷权数为-0.65和-0.82,第2公因子方差贡献率为19.50%,称为有益微量元素因子;第3公因子中总氨基酸和可溶性固形物含量的载荷值较大,总氨基酸为负向影响,载荷值为-0.75,可溶性固形物含量为正向影响,载荷值为0.70,方差贡献率为16.66%,称为其他内在因子;第4公因子中起正向作用的指标为膳食纤维含量,载荷值为0.81,方差贡献率为13.00%,称为膳食纤维因子;第5公因子中Mn、Cu含量的载荷值较大且均为正向影响,方差贡献率为9.65%,称为有害微量元素因子。

因子分析综合了各品种在各因子中的影响,经过科学的计算得到合理的综合排名,可以更全面、客观地反映桑椹的营养品质。以各公因子的方差贡献率作权重,由公因子得分和对应权重加权求和得到各桑品种桑椹营养品质的综合得分,结果见表4。综合得分的排序反映了各品种桑椹综合品质的优劣,其中桑品种大10、桑特优2号和桂诱M161桑椹样品的综合得分值位于前3,说明其综合营养品质较高,可作为广西蚕区桑椹食用开发的原料品种资源。

表4 13个桑品种的桑椹样品基于营养品质因子分析的综合得分
Table 4 Comprehensive scores for nutritional quality of 13 mulberry varieties by factor analysis

桑椹品种	综合得分	排名
桂桑优12	-0.21	9
桂诱M54	-0.48	12
大10	0.25	1
桂诱M191	0.21	4
桂诱M38	0.04	6
桂诱M208	0.06	5
桂诱M70	-0.26	10
伦40	-0.32	11
桂桑优62	-0.20	8
桂诱M161	0.23	3
台湾四季大果桑	-0.09	7
桑特优2号	0.25	2
桂诱M257	-0.71	13

2.1.3 桑椹营养品质指标间的相关性分析

表5 桑椹营养品质指标间的相关性
Table 5 Correlation between nutritional quality indexes of mulberry

指标	粗蛋白	膳食纤维	总氨基酸	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	VB ₁	VB ₂	VC	叶酸	可溶性固形物	糖酸比
粗蛋白	1.00	0.14	0.59*	-0.49	0.30	0.03	0.56	-0.06	0.10	0.26	0.06	0.26	0.35	-0.55	-0.20
膳食纤维		1.00	-0.11	-0.42	-0.29	-0.28	0.31	-0.29	-0.16	-0.14	-0.07	-0.28	0.49	0.12	0.11
总氨基酸			1.00	-0.33	0.28	0.09	0.06	-0.07	-0.02	0.28	-0.08	0.09	0.14	0.40	0.03
Ca				1.00	0.58*	-0.21	-0.71*	0.11	-0.05	0.21	0.03	-0.25	-0.35	0.62*	0.03
Mg					1.00	0.35	0.17	0.33	0.23	0.50	-0.05	0.14	0.28	-0.25	-0.33
Fe						1.00	0.24	0.78	0.20	-0.12	-0.30	0.47	0.04	-0.17	-0.51
Zn							1.00	0.54	0.25	0.57	0.27	0.38	0.28	-0.58	-0.67
Cu								1.00	0.85**	0.29	0.00	0.54	-0.05	-0.34	-0.82
Mn									1.00	0.20	-0.31	0.42	-0.30	-0.13	-0.29
VB ₁										1.00	0.74*	0.16	0.66*	-0.32	-0.50
VB ₂											1.00	0.16	0.60*	-0.35	-0.03
VC												1.00	0.01	-0.27	-0.36
叶酸													1.00	-0.06	-0.28
可溶性固形物														1.00	0.50
糖酸比															1.00

注: *.显著水平 ($\alpha=0.05$); **.极显著水平 ($\alpha=0.01$)。表9同。

如表5所示,在第1公因子中,VB₁、VB₂和叶酸呈显著正相关关系;第2公因子中,Ca与Mg呈显著正相关关系,与Zn呈显著负相关关系,与Fe的相关性不显著;第3公因子中,总氨基酸与可溶性固形物无显著相关性。在第4公因子中,膳食纤维跟其他指标间无显著相关性;第5公因子中,Mn与Cu呈极显著正相关关系。根据因子分析中各公因子的贡献率及各指标之间的相关性,可以简化桑椹营养品质的评价指标,最终确定对桑椹品质影响最大的是VB₂、Mg、Fe、总氨基酸、可溶性固形物、膳食纤维和Cu 7项指标。

2.2 13个桑品种桑椹中的功能活性成分含量及药用品质的因子分析

2.2.1 13个桑品种桑椹功能活性成分含量分析

表6 13个桑品种桑椹中的主要功能活性成分含量
Table 6 Contents of main functional components in 13 mulberry varieties

桑椹品种	多酚	总黄酮	总生物碱	多糖	花青素	绿原酸	槲皮素	芦丁	DNI
桂桑优12	6.45	3.75	2.76	58.12	1.92	0.26	1.66	1.41	0.52
桂诱M54	4.94	3.12	2.57	66.19	4.25	0.22	1.42	1.01	0.62
大10	4.00	2.77	2.27	94.87	1.85	0.35	2.25	1.65	0.73
桂诱M191	3.98	2.77	2.07	60.29	3.45	0.31	2.00	0.90	0.68
桂诱M38	4.34	3.15	2.51	51.92	3.47	0.18	1.16	0.65	0.63
桂诱M208	4.00	2.59	2.52	43.71	3.19	0.15	0.99	0.57	0.49
桂诱M70	3.10	1.72	2.14	41.89	1.83	0.19	1.22	2.11	0.87
伦40	6.31	4.62	2.43	56.81	0.96	0.18	1.14	1.51	0.51
桂桑优62	4.28	2.63	2.07	68.30	10.48	0.25	1.60	1.28	0.73
桂诱M161	4.01	2.21	2.01	62.66	2.44	0.14	0.88	0.78	0.61
台湾四季大果桑	8.57	6.16	2.53	70.72	5.98	0.32	2.05	1.21	0.47
桑特优2号	4.56	2.94	2.30	58.88	2.14	0.29	1.91	0.67	0.67
桂诱M257	5.12	3.75	2.13	62.81	1.73	0.34	2.20	1.10	0.83
平均值	4.90	3.24	2.33	61.32	3.36	0.24	1.58	1.14	0.64
变异系数/%	28.44	33.91	9.80	20.75	71.87	28.76	28.98	37.82	18.88

综合众多桑椹化学成分与药理作用相关文献报道^[17-20], 最终确定了多酚、总黄酮、总生物碱、多糖、花青素为桑椹的主要功能活性成分, DNJ、绿原酸、芦丁和槲皮素为桑椹的特征化学成分。对13个桑品种桑椹中的主要功能活性成分与特征化学成分的含量进行测定, 结果见表6。几种功能成分中花青素的含量在品种间差异非常大, 变异系数高达71.87%, 其中桂桑优62的含量高达10.48 mg/g, 高于其他品种, 而伦40、桂诱M257和大10等的含量均低于2 mg/g。桑椹中多酚的含量分布在3.10~8.57 mg/g之间, 平均为4.90 mg/g, 品种间差异较大, 变异系数为28.44%。台湾四季大果桑的多酚含量高于其他品种。总黄酮含量在1.72~6.16 mg/g之间, 平均为3.24 mg/g, 品种间含量较大, 变异系数为33.91%。同样台湾四季大果桑总黄酮含量最高, 比桂诱M70的黄酮含量高2倍。多糖的含量在不同品种间差异也较大, 平均值为61.32 mg/g, 大10的多糖含量为94.87 mg/g, 高于其他品种。总生物碱的品种间差异较小, 平均值为2.33 mg/g, 桂桑优12和桂诱M54的含量较高。绿原酸含量分布在0.14~0.35 mg/g之间, 平均为0.24 mg/g, 大10和台湾四季大果桑的含量较高; 槲皮素含量平均值为1.58 mg/g, 桂诱M257和大10的含量较其他品种高; 芦丁含量在品种间差异较大, 变异系数高达37.82%, 桂诱M70的含量最高。品种间DNJ含量差异较小, 含量分布在0.47~0.87 mg/g之间, 平均为0.64 mg/g。

2.2.2 药用品质的因子分析

表7 桑椹药用品质评价因子的载荷矩阵特征向量及累计贡献率

Table 7 Load matrix eigenvector and cumulative contribution rates of medicinal quality factors in mulberry

指标	第1公因子	第2公因子	第3公因子	第4公因子
多酚	0.92	0.27	0.12	0.11
总黄酮	0.88	0.34	0.08	0.08
总生物碱	0.80	-0.18	-0.04	-0.22
多糖	0.04	0.77	0.03	0.18
花青素	0.01	0.10	-0.06	0.97
绿原酸	0.03	0.98	0.05	-0.05
槲皮素	0.03	0.98	0.03	-0.06
芦丁	-0.08	0.14	0.98	-0.06
DNJ	-0.83	0.28	0.33	-0.06
特征根	2.95	2.82	1.01	1.06
贡献率/%	32.81	31.35	12.10	11.74
累计方差贡献率/%	32.81	64.17	76.27	88.02

将13个桑品种桑椹的9个功能活性成分含量检测指标数据经隶属函数法转化后进行因子分析, 9项指标提取了4个公因子, 得到了各项指标的方差贡献率、累计方差贡献率和因子载荷矩阵表, 如表7所示。4个公因子的累计方差贡献率为88.02%, 能较好地解释自变量。第1公因子中载荷较高且为正向影响的指标有多酚、总黄酮、总生物碱, 载荷值分别为0.92、0.88和0.80, 载荷

较高且有负向影响的指标为DNJ含量。即第1公因子大时, 多酚、总黄酮和总生物碱的含量越高, 而DNJ含量越低, 其他成分含量基本不变。第1公因子方差贡献率为32.81%。第2公因子中绿原酸和槲皮素的载荷值最高, 且为正向影响, 方差贡献率为31.35%。第3公因子中芦丁的载荷值最高, 为正向影响, 载荷值为0.98, 方差贡献率为12.10%。第4公因子中花青素为正向影响的因素, 载荷值最高为0.97, 方差贡献率为11.74%。

表8 13个桑品种桑椹样品基于药用品质因子分析的综合得分
Table 8 Comprehensive scores for medicinal quality of 13 mulberry varieties by factor analysis

桑椹品种	综合得分	排名
桂桑优12	0.06	5
桂诱M54	-0.40	11
大10	0.31	3
桂诱M191	-0.18	10
桂诱M38	-0.40	11
桂诱M208	-0.43	13
桂诱M70	0.28	4
伦40	-0.12	6
桂桑优62	0.50	2
桂诱M161	-0.16	8
台湾四季大果桑	-0.13	7
桑特优2号	-0.16	8
桂诱M257	0.78	1

以各公因子的方差贡献率作权重, 由公因子得分和对应权重加权求和得到各桑品种桑椹药用品质的综合得分, 结果见表8。综合得分的排序反映了各品种桑椹药用品质的优劣, 其中桑品种桂诱M257、桂桑优62和大10的综合得分值最高, 排列前3位, 可作为广西蚕区桑椹药用开发的专用原料桑品种资源。

2.2.3 桑椹药用品质指标间的相关性分析

表9 桑椹药用品质指标间的相关性
Table 9 Correlation between medicinal quality indexes of mulberry

指标	多酚	总黄酮	总生物碱	多糖	花青素	绿原酸	槲皮素	芦丁	DNJ
多酚	1.00	0.97**	0.56*	0.20	0.11	0.29	0.28	0.05	-0.63*
总黄酮		1.00	0.49	0.23	0.08	0.35	0.34	0.01	-0.57*
总生物碱			1.00	-0.12	-0.14	-0.10	-0.10	-0.09	-0.68*
多糖				1.00	0.19	0.65	0.64	0.17	0.07
花青素					1.00	0.08	0.07	-0.11	-0.03
绿原酸						1.00	0.84**	0.18	0.29
槲皮素							1.00	0.16	0.29
芦丁								1.00	0.38
DNJ									1.00

对13个桑品种桑椹的9项品质指标分别做相关性分析和显著性检验, 结果见表9。在第1公因子中, 多酚与总黄酮呈极显著正相关关系, 与总生物碱呈显著性正相关, 与DNJ呈显著负相关; 第2公因子中, 绿原酸与槲皮素呈极显著正相关关系; 第3公因子中, 芦丁与其他指标

无显著相关性。在第4公因子中,花青素与其他指标间无显著相关性。根据因子分析中各公因子的贡献率及各指标之间的相关性,可以简化桑椹药用品质的评价指标,最终确定对桑椹品质影响最大的是多酚、绿原酸、芦丁和花青素4项指标。

3 结 论

对广西蚕区13个桑品种桑椹营养品质、药用品质性状指标进行了系统分析,描述性指标结果显示,大多数指标变异程度大,品种间各成分含量差异较大。桑椹的营养品质、药用品质均是综合性品质,评价指标较多,各指标间存在相关性和信息重叠,不同指标对品质的影响程度不同,因此需采用合理的分析方法进行科学地评价。本实验采用因子分析将多个测定指标转化为少量的相互独立的公因子,既可解释原始指标间关系,同时也简化了品质评价的因子^[14]。从15项营养指标中提取了5个公因子,累计方差贡献率为86.32%,主要有维生素因子、有益微量元素因子、其他内在因子、膳食纤维因子和有害微量元素因子,结合相关性分析,最终确定影响桑椹营养品质的主要评价指标为VB₂、Mg、Fe、总氨基酸、可溶性固形物、膳食纤维和Cu 7项指标。桑椹营养品质综合得分排列前3位的为大10、桑特优2号和桂诱M161,可作为广西蚕区桑椹食用开发的专用桑品种资源。从9项活性成分指标中提取了4个公因子,累计方差贡献率为88.02%,较好地反映了桑枝药用品质的综合信息。确定了桑椹药用品质的主要评价指标为多酚、绿原酸、芦丁和花青素4项指标,桂诱M257、桂桑优62和大10的药用品质综合得分最高,可作为广西蚕区桑椹药用开发的专用桑品种资源。

参考文献:

- [1] 赵忠平,周全珍,潘志法,等.果桑资源产业化研究现状与设想[J].江苏蚕业,2012,34(3):44-48.
- [2] 吴祖芳,翁佩芳.桑椹的营养组分与功能特性分析[J].中国食品学报,2005,5(3):102-107. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2005.03.019.
- [3] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:二部[M].北京:化学工业出版社,2005:332-334.
- [4] 何雪梅,廖森泰,刘吉平.桑树的营养功能性成分及药理作用研究进展[J].蚕业科学,2004,30(4):390-395. DOI:10.3969/j.issn.0257-4799.2004.04.012.
- [5] 何雪梅,张晓琦,王国才.桑属植物的化学成分及药理活性综述[J].蚕业科学,2014,40(2):328-338. DOI:10.13441/j.cnki.cykx.2014.02.025.
- [6] 张丽丽.桑属植物资源性化学成分积累动态评价及桑叶适宜干燥加工技术研究[D].南京:南京中医药大学,2015.
- [7] 邱长玉.提高广西蚕桑产业经济效益的对策分析[J].广西蚕业,2016,53(2):56-58. DOI:10.3969/j.issn.1006-1657.2016.02.012.
- [8] 梁贵秋,雷桂胜,沈蔚,等.广西蚕桑资源综合利用十年回顾与思考[J].广西蚕业,2015,52(4):79-83. DOI:10.3969/j.issn.1006-1657.2015.04.015.
- [9] 刘利,潘一乐.果桑资源研究利用现状与展望[J].植物遗传资源科学,2001,2(2):61-65. DOI:10.3969/j.issn.2001.02.013.
- [10] 陈智慧,邹宇晓,刘凡,等.基于微生物转化技术的桑椹食品加工研究进展[J].蚕业科学,2016,42(2):336-340. DOI:10.13441/j.cnki.cykx.2016.02.022.
- [11] 吴婧婧,梁贵秋,陆春霞,等.果桑及桑椹开发利用研究进展[J].现代农业科技,2011(17):319-320. DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2011.17.185.
- [12] 李升锋,张友胜,池建伟,等.不同品种桑椹糖酸组分分析[J].农产品加工·学刊,2011(7):108-111. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2011.07.031.
- [13] 李俊芳,马永昆,张荣,等.不同果桑品种成熟桑椹的游离氨基酸主成分分析和综合评价[J].食品科学,2016,37(14):132-136. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20161423.
- [14] 王振江,肖更生,廖森泰,等.不同品种桑椹的抗氧化作用与其花色苷含量的相关性研究[J].蚕业科学,2006,32(3):399-402. DOI:10.3969/j.issn.0257-4799.2006.03.018.
- [15] 乔宇,廖李,刘璐,等.桑椹品质评价指标的主成分分析及12个桑品种的桑椹品质综合评价[J].蚕业科学,2014,40(5):851-856. DOI:10.13441/j.cnki.cykx.2014.05.014.
- [16] 刘立云,王萍,冯美利,等.火焰原子吸收法测定海南槟榔叶片中金属元素的研究[J].光谱学与光谱分析,2008,28(12):2989-2992. DOI:10.3969/j.issn.1000-0593(2008)12-2989-04.
- [17] 莫润宏,汤富彬,丁明,等.氨基酸分析法测定竹笋中游离氨基酸[J].化学通报,2012,75(12):1126-1131. DOI:10.14159/j.cnki.0441-3776.2012.12.002.
- [18] 廖森泰,何雪梅,邹宇晓,等.广东桑桑枝总黄酮含量测定及与体外抗氧化活性的相关性研究[J].蚕业科学,2007,33(3):345-349. DOI:10.13441/j.cnki.cykx.2007.03.018.
- [19] SUN J, HE X M, ZHAO M M, et al. Antioxidant and nitrite-scavenging capacities of phenolic compounds from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) tops[J]. Molecules, 2014, 19(9): 13147-13160.
- [20] 何雪梅,孙健,李丽,等.响应面法优化蔗糖多糖超声波提取工艺[J].南方农业学报,2014,45(3):458-462. DOI:10.3969/j.issn.2095-1191.2014.3.458.
- [21] 刘凡,李平平,廖森泰,等.98份不同桑树品种资源的桑叶总生物碱及1-脱氧野尻霉素含量测定[J].蚕业科学,2012,38(2):185-191. DOI:10.3969/j.issn.0257-4799.2012.02.001.
- [22] 欧阳臻,李永辉,徐卫东,等.高效液相色谱-荧光检测法测定桑叶中1-脱氧野尻霉素(DNJ)含量[J].中国中药杂志,2005,30(9):682-685. DOI:10.3969/j.issn.1001-5302.2005.09.012.
- [23] 林耀盛,刘学铭,杨荣玲,等.桑椹片中多酚及花青素含量的测定[J].现代食品科技,2013,29(4):890-893. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2013.04.044.
- [24] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:一部[M].北京:化学工业出版社,2005:209-210.
- [25] 陈秋虹,徐慧,蒋艳芳.高效液相色谱法测定桑叶中绿原酸和芦丁的含量[J].中华中医药杂志,2009,24(5):663-665.
- [26] 樊丁宇,谢辉,闫鹏,等.葡萄干品质指标探讨及因子分析[J].西北农业学报,2012,21(3):137-141. DOI:10.3969/j.issn.1001-1389.2012.03.027.
- [27] 马庆华,李永红,梁丽松,等.冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价[J].中国农业科学,2010,43(12):2491-2499.
- [28] 王沛,刘璇,毕金峰,等.基于主成分分析的中早熟苹果脆片品质评价[J].中国食品学报,2012,12(6):204-211. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2012.06.030.
- [29] 李升锋,张友胜,池建伟,等.不同品种桑椹糖酸组分分析[J].农产品加工,2011,21(7):108-111. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2011.07.031.
- [30] 刘峻池,徐立,伍春,等.四倍体果桑新品种嘉陵30号桑椹中的氨基酸组成及其含量分析[J].蚕业科学,2011,37(1):112-115. DOI:10.3969/j.issn.0257-4799.2011.01.019.