45 个桑种质和品种资源叶的营养品质综合评价

郑　莎[1]，曾卫湘[1]，韩　冷[2]，刘长英[1]，余茂德[1]，向仲怀[1]，赵爱春[1,*]
（1.家蚕基因组生物学国家重点实验室，农业部蚕桑功能基因组与生物技术重点实验室，西南大学蚕学与系统生物学研究所，重庆　400716；2.西南大学柑桔研究所，国家柑桔工程技术研究中心，重庆　400712）

摘　要：为适应桑树多元化开发对食用专用桑品种的需求，本研究采用因子分析法对45 个不同桑树种质和品种资源叶的营养品质进行综合评价分析，以期筛选桑叶食用专用品种。结果表明，45 个不同桑树种质和品种资源叶的13 个营养成分差异明显，部分营养成分之间存在显著相关关系，为桑叶食用专用种质和品种筛选提供理论依据；影响桑叶营养品质的主要指标为有害微量元素因子、有益微量元素因子、重量因子、碳水化合物因子和营养品质辅助因子，这些公因子对桑叶营养品质综合评价的累计方差贡献率达89%；45 个桑种质和品种资源叶的营养品质综合评价结果表明排名前3 位的品种分别是嘉陵20号、红果1号和白玉王，其中嘉陵20号为高产叶用桑，该品种是这些资源中最佳桑叶食用专用品种的候选。

关键词：桑；营养品质；综合评价；因子分析

Comprehensive Evaluation of Nutritional Quality of Leaves from 45 Mulberry Germplasms and Varieties

ZHENG Sha[1], ZENG Weixiang[1], HAN Leng[2], LIU Changying[1], YU Maode[1], XIANG Zhonghuai[1], ZHAO Aichun[1,*]
(1. State Key Laboratory of Silkworm Genome Biology, Key Laboratory for Sericulture Functional Genomics and Biotechnology, Ministry of Agriculture, Institute of Sericulture and Systems Biology, Southwest University, Chongqing　400716, China;
2. National Citrus Engineering Research Center, Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing　400712, China)

Abstract: Mulberry leaves, rich in nutrients and functional ingredients, is used as both food and medicine in China. In order to meet the demand for specialized edible mulberry varieties in the diversified development of mulberry trees, factor analysis method was applied to comprehensively evaluate the nutritional quality of leaves from 45 mulberry germplasms and varieties for the purpose of screening specialized mulberry varieties for edible leaves in this study. Results showed that 13 nutrients in leaves from 45 mulberry germplasms and varieties were obviously different and some nutrients had a significant correlation with each other, providing a theoretical basis for screening specialized mulberry varieties for edible leaves. In addition, the main factors influencing the nutritional quality of mulberry leaves were found to be harmful trace element factors, beneficial trace element factors, weight factors, carbohydrate factors and nutritional quality cofactors. The cumulative variance contribution rate of the seven factors above was up to 89%. Our results showed that Jialing No.20, Hongguo No.1 and Baiyuwang were ranked as the top three respectively based on comprehensive evaluation of the nutritional quality of mulberry leaves. Among these Jialing No.20 was the optimal candidate variety for a high yield of edible mulberry leaves.

Key words: mulberry; nutritional quality; comprehensive evaluation; factor analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201708025

中图分类号：Q946　　文献标志码：A　　文章编号：1002-6630（2017）08-0159-05

引文格式：

郑莎, 曾卫湘, 韩冷, 等. 45 个桑种质和品种资源叶的营养品质综合评价[J]. 食品科学, 2017, 38(8): 159-163. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201708025.　http://www.spkx.net.cn

ZHENG Sha, ZENG Weixiang, HAN Leng, et al. Comprehensive evaluation of nutritional quality of leaves from 45 mulberry germplasms and varieties[J]. Food Science, 2017, 38(8): 159-163. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201708025.　http://www.spkx.net.cn

收稿日期：2016-04-20

基金项目：公益性行业（农业）科研专项（201403064）；国家现代农业（蚕桑）产业技术体系建设专项（CARS-22-ZJ0102）

作者简介：郑莎（1989—），女，硕士研究生，研究方向为植物化学。E-mail：740777153@qq.com

*通信作者：赵爱春（1974—），男，教授，博士，研究方向为植物生物化学。E-mail：zhaoaichun@hotmail.com

桑叶中富含氨基酸、蛋白质、维生素和微量元素等营养成分，同时还含有多酚、黄酮、生物碱和多糖[1-6]等多种生物活性物质，具有抗氧化、抑菌、消炎、抗癌[7-8]、降血压、降血脂和降血糖、延缓衰老、调节脂肪代谢[9-14]等药用保健功效，因而被国家卫生部列为“既是食品又是药品”的植物资源。虽然桑叶是家蚕的唯一天然饲料，传统蚕桑产业栽桑的目的是获取桑叶养蚕，但是随着我国经济的不断发展，传统的蚕桑产业受到了前所未有的冲击，蚕桑产业的升级转型成为必然。长期以来，桑叶主要被用作养蚕的饲料，然而随着对桑叶研究的深入，桑叶的营养价值和药用价值已越来越引起人们的关注[15]，但食药专用桑种质和品种资源的缺乏严重制约了桑的食药用开发和利用。一方面，人们对桑叶不断深入研究发现桑叶中含有大量人体需要的蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素及矿物质成分等，其含有丰富的营养成分和生物活性成分，具有极高的营养、保健和药用价值，特别是桑叶在调节生理、维护健康、增强体质等方面特有功能越来越受到人们的重视，其相关功能性食品也越来越受人们的欢迎。另一方面，利用现代化学测试仪器与数据分析手段建立食品品质综合评价技术体系是食品品质评价和优良种质筛选的重要技术手段，如桃、苹果和荔枝[16-18]等许多植物源食品均建立了相应的产品品质评价技术体系。然而，到目前为止，桑叶营养品质评价模型和食用品质综合评价体系仍未建立。因此，为了建立桑叶的营养品质评价模型和食用品质综合评价体系以及筛选桑叶食用专用种质和品种资源，本研究对桑资源圃保存的45 个不同桑种质和品种资源进行了营养成分测定，并采用因子分析法将各项营养品质指标转化为相互独立的几个公因子，构建科学、易操作的桑叶品质评价模型和综合评价体系，筛选出1 个适合桑叶食用专用品种，此研究结果将为蚕桑产业转型升级和食药用等多元化利用发展提供理论基础和品种支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试所有桑种质和品种保存于西南大学桑资源圃，所有叶的样品如表1所示，采摘时间均为2015年5月14日～2015年5月27日，采摘部位为桑树中部枝条第6～15位叶片。采摘的鲜桑叶样品一部分用于水分含量测定，其余样品置于50 ℃恒温干燥箱烘干至恒质量，粉碎，过100 目筛，－40 ℃保存。

催化剂（K_2SO_4-$CuSO_4$，10∶1，*V*/*V*）、浓硫酸（纯度≥98%）、蒽酮、硼酸、0.02 mol/L l/2 $Na_2B_4O_7$标准溶液、甲基红-溴甲基酚绿指示剂、2 g/L 2,4-二硝基酚指示剂　生工生物工程（上海）股份有限公司。

表 1　45 个桑种质和品种资源信息

Table 1　Information about 45 mulberry germplasms and varieties

编号	名称	原产地	区域	种质类型	编号	名称	原产地	区域	种质类型
1	火桑1号	浙江余杭	华东	地方品种	24	雅安7号	四川	西南	地方品种
2	桐乡青	浙江桐乡县	华东	选育品种	25	雅安1号	四川	西南	野生资源
3	湖桑32	浙江海宁市	华东	地方品种	26	云南长果桑	云南	西南	野生资源
4	西庆5号	浙江	华东	育种材料	27	GM31	贵州	西南	野生资源
5	大花叶皮桑	安徽省	华东	野生资源	28	策沙	新疆	西北	野生资源
6	小花叶皮桑	安徽省	华东	野生资源	29	红果1号	陕西	西北	育种材料
7	圆叶皮桑	安徽省	华东	野生资源	30	红果2号	陕西	西北	地方品种
8	神龙架长穗桑	湖北省	华中	野生资源	31	陕305	陕西	西北	选育品种
9	伦教40	广东	华南	地方品种	32	紫荆	台湾	台湾地区	地方品种
10	嘉陵16	重庆市	西南	选育品种	33	白玉王	台湾	台湾地区	地方品种
11	嘉陵20	重庆市	西南	选育品种	34	枝垂桑	日本	日本	野生资源
12	嘉陵40	重庆市	西南	选育品种	35	剑持	日本	日本	选育品种
13	西农6071	重庆市	西南	选育品种	36	国丰	日本	日本	引进品种
14	西庆1号	重庆市	西南	育种材料	37	强兵	日本	日本	引进品种
15	西庆2号	重庆市	西南	育种材料	38	伊达赤木	日本	日本	引进品种
16	西庆3号	重庆市	西南	育种材料	39	印度桑	印度	印度	引进品种
17	西庆4号	重庆市	西南	育种材料	40	老挝	老挝	老挝	引进品种
18	小冠桑	重庆合川	西南	地方品种	41	柬埔寨	柬埔寨	柬埔寨	引进品种
19	甘洛6号	四川甘洛	西南	野生资源	42	格鲁吉亚	格鲁吉亚	格鲁吉亚	引进品种
20	红油桑	四川	西南	地方品种	43	巴塞罗那	西班牙	西班牙	引进品种
21	纳溪	四川盐边	西南	选育品种	44	斯里兰卡2	斯里兰卡	斯里兰卡	引进品种
22	盐边	四川纳溪	西南	选育品种	45	斯里兰卡1	斯里兰卡	斯里兰卡	引进品种
23	广元5号	四川	西南	地方品种					

1.2 仪器与设备

GX-03 150 g功能粉碎机　浙江高鑫工贸有限公司；DHG-9140A电热恒温鼓风干燥箱　上海齐欣科学仪器有限公司；马弗炉　上海欧迈科学仪器有限公司；高温电炉、凯氏烧瓶（500 mL）、KDY-9820凯氏定氮仪　北京通润源机电技术有限责任公司；AA-800原子吸收分光光度计　美国Perkin Elmer公司；EG35A-plus温控电热板　美国LabTech公司；TU-1901双光束紫外-可见分光光度计　北京普析通用仪器有限责任公司。

1.3 方法

水分含量：参照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》中的直接干燥法测定；灰分含量：参照GB 5009.4—2010《食品中灰分的测定》测定；粗蛋白含量：参照GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法测定；可溶性膳食纤维含量：参照文献[19-21]方法测定；可溶性糖含量：采用蒽酮比色法进行测定；矿物质元素含量：Ca、Mg、Fe、Zn、Cu和Mn的含量采用干法消化后用火焰原子分光光度计测定[22]，P含量采用钼蓝比色法和TU-1901双光束紫外-可见分光光度计进行测定，S含量采用硫酸钡比浊法和TU-1901双光束紫外-可见分光光度计进行测定。

1.4 数据处理

数据转化与统计分析因子分析前，根据各品质指标的原始数据，采用数据归一化处理，按公式（1）和（2）对各项指标数据进行转化，将其转化为0～1间的

标准化数据，避免不同的品质指标数据量纲不同。其中正相关指标有粗蛋白含量、可溶性膳食纤维含量、糖酸比，矿物元素中的Ca、Mg、Fe、Zn、Cu和Mn的含量按公式（1）转化；负相关指标有矿物元素P和S的含量根据公式（2）转化。使用SPSS 15.0软件进行因子分析，得到各样品的公因子分值。样品的食用品质综合评分按公式（3）计算。

$$U_{in}=\frac{X_{in}-X_{i\min}}{X_{i\max}-X_{i\min}} \quad (1)$$

$$U_{in}'=1-\frac{X_{in}-X_{i\min}}{X_{i\max}-X_{i\min}} \quad (2)$$

$$D_n=\Sigma_{j=1}^{m}F_{jn}\times E_j \quad (3)$$

式中：U_{in}与U_{in}'分别为第n个样品第i个指标的原始检测数据经转化后的隶属函数值；X_{in}指第n个样品第i个指标的原始检测数据；$X_{i\max}$与$X_{i\min}$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第n个样品品质的综合得分；F_{jn}为第n个样品第j个特征根大于1的公因子分值；E_j为第j个公因子的方差贡献率；m为特征根大于1的公因子数量。

2 结果与分析

2.1 不同桑树种质和品种资源叶营养品质比较

如表2所示，桑叶水分含量分布于61.74%～79.30%之间，平均含量为73.57%，品种间的差异很小，变异系数为5%；桑叶中灰分含量在0.09%～0.23%之间，平均含量为0.15%，变异系数为18%；桑叶中粗蛋白含量较高，含量为13.61%～24.97%，平均值为20.08%，品种间的差异较大，变异系数为13%；桑叶中可溶性膳食纤维含量分布在0.02～0.32 g/g之间，平均含量为0.08 g/g，品种间的差异很大，变异系数为78%；桑叶中可溶性糖含量分布在3.99%～17.44%之间，平均含量为11.58%，品种之间差异较大，变异系数为25%；桑叶中P含量分布在0.16%～0.62%之间，平均含量为0.26%，品种间差异较大，变异系数为28%；桑叶中S含量分布在0.12%～0.32%之间，平均含量为0.21%。品种间差异较大，变异系数为17%；桑叶中Ca含量分布在1.05%～4.33%之间，平均含量为2.73%，品种间差异较大，变异系数为24%；桑叶中Mg含量分布在0.11%～0.45%之间，平均含量为0.30%，品种间差异较大，变异系数为27%；桑叶中Fe含量分布在135.29～314.66 mg/g之间，平均含量为213.32 mg/g，品种之间差异较大，变异系数为21%；桑叶中Mn含量分布在18.65～124.75 mg/g之间，平均含量为49.64 mg/g，品种间差异很大，变异系数为44%，桑叶中Zn含量分布在17.95～45.86 mg/g之间，平均含量为32.24 mg/g，品种间差异较大，变异系数为20%；桑叶中Cu含量分布在6.85～25.81 mg/g之间，平均含量为17.79 mg/g，品种之间差异较大，变异系数为26%。

表2 45个桑种质和品种叶的不同营养成分含量

Table 2 Nutrient contents of leaves of 45 mulberry germplasm and varieties

编号	水分含量/%	灰分含量/%	粗蛋白含量/%	可溶性膳食纤维含量/(g/g)	可溶性糖含量/%	P含量/%	S含量/%	Ca含量/%	Mg含量/%	Fe含量/(mg/g)	Mn含量/(mg/g)	Zn含量/(mg/g)	Cu含量/(mg/g)
1	75.59	0.17	21.77	0.04	9.59	0.23	0.19	3.03	0.32	199.93	30.78	34.21	21.21
2	76.59	0.18	18.20	0.05	6.00	0.21	0.21	3.79	0.37	223.25	77.98	34.70	23.59
3	76.14	0.14	20.44	0.08	10.85	0.36	0.12	1.05	0.11	136.45	30.55	29.56	15.09
4	71.75	0.16	23.38	0.09	10.95	0.24	0.21	2.40	0.35	199.62	124.75	27.65	19.37
5	75.48	0.15	19.42	0.04	11.88	0.20	0.26	2.50	0.34	223.63	35.45	33.76	21.51
6	71.49	0.14	19.72	0.07	15.29	0.20	0.26	3.27	0.30	254.47	30.47	36.02	8.83
7	77.43	0.14	21.13	0.07	13.34	0.29	0.32	2.89	0.29	224.54	68.41	45.86	20.94
8	61.74	0.13	17.30	0.08	13.06	0.19	0.21	2.50	0.43	199.50	75.00	25.04	22.72
9	71.57	0.17	13.61	0.06	14.60	0.27	0.20	2.92	0.19	209.76	39.83	28.00	6.86
10	73.09	0.13	16.60	0.11	12.08	0.27	0.24	2.49	0.23	261.90	65.37	37.14	19.20
11	74.43	0.14	24.12	0.14	10.35	0.35	0.25	3.31	0.38	277.08	117.52	41.23	22.76
12	76.78	0.18	20.57	0.05	10.63	0.33	0.20	2.58	0.15	169.54	18.65	35.74	16.80
13	74.23	0.17	20.22	0.04	9.14	0.29	0.18	2.93	0.45	170.83	33.36	37.06	19.97
14	77.49	0.14	19.17	0.02	13.11	0.29	0.16	1.19	0.14	212.66	25.75	39.81	15.69
15	68.60	0.14	23.05	0.09	11.60	0.21	0.21	2.52	0.36	231.82	50.84	29.51	18.91
16	73.54	0.15	18.80	0.10	9.33	0.19	0.20	2.55	0.25	176.59	66.29	24.76	16.36
17	76.06	0.19	19.22	0.05	12.22	0.23	0.18	3.05	0.26	193.40	34.98	28.90	24.59
18	79.30	0.18	20.20	0.04	12.52	0.26	0.24	2.56	0.33	208.27	53.40	44.97	21.38
19	74.78	0.13	21.31	0.04	7.54	0.23	0.24	2.50	0.29	301.28	53.69	34.29	22.96
20	76.89	0.18	23.62	0.03	14.11	0.28	0.18	2.99	0.34	183.99	41.33	35.70	25.81
21	67.36	0.18	20.85	0.04	13.22	0.30	0.20	1.95	0.24	231.66	37.57	35.20	15.48
22	73.64	0.14	17.07	0.06	10.37	0.34	0.21	2.81	0.29	245.42	41.12	36.69	17.71
23	73.02	0.23	22.25	0.20	11.25	0.25	0.23	3.45	0.38	207.67	29.64	29.25	20.91
24	76.98	0.17	24.97	0.06	14.80	0.16	0.24	2.75	0.32	314.66	53.33	37.62	19.52
25	70.93	0.20	19.30	0.04	12.15	0.21	0.20	2.62	0.27	213.00	34.02	24.71	24.35
26	63.10	0.09	22.22	0.06	12.45	0.20	0.22	1.82	0.16	170.86	23.17	17.95	6.90
27	76.49	0.14	16.39	0.05	3.99	0.24	0.29	2.49	0.24	203.66	45.30	31.64	19.22
28	67.68	0.17	19.23	0.08	10.45	0.20	0.18	3.59	0.28	267.96	56.63	22.43	17.96
29	72.61	0.15	22.58	0.29	14.24	0.27	0.22	2.96	0.28	221.26	43.20	36.79	15.64
30	74.39	0.14	19.50	0.32	10.41	0.31	0.17	2.71	0.25	225.37	42.85	26.58	15.43
31	78.26	0.15	16.34	0.03	17.21	0.62	0.18	3.09	0.35	144.05	43.24	26.01	8.48
32	68.22	0.18	20.39	0.07	6.13	0.22	0.24	3.79	0.39	162.13	78.08	29.41	22.92
33	68.93	0.13	23.30	0.15	15.36	0.32	0.22	2.62	0.23	264.68	52.79	45.08	17.70
34	70.66	0.13	17.67	0.08	11.02	0.25	0.20	2.98	0.40	255.45	49.25	37.63	16.02
35	76.38	0.15	24.19	0.05	5.03	0.30	0.20	2.93	0.33	159.45	34.65	27.45	14.71
36	79.15	0.13	22.66	0.03	11.92	0.40	0.23	2.09	0.21	135.29	66.77	31.17	19.59
37	78.83	0.17	20.38	0.04	10.43	0.27	0.25	1.95	0.40	277.28	74.05	37.33	19.72
38	76.07	0.17	15.88	0.02	12.98	0.23	0.19	3.02	0.31	183.59	36.43	30.98	19.52
39	76.28	0.22	19.28	0.10	13.89	0.21	0.19	4.33	0.41	163.57	48.38	24.30	15.37
40	75.86	0.12	16.43	0.07	13.86	0.20	0.16	2.23	0.41	138.42	44.50	23.88	15.12
41	72.84	0.11	15.48	0.13	12.29	0.24	0.17	1.86	0.28	293.59	21.82	25.67	11.94
42	75.86	0.11	21.30	0.06	9.13	0.28	0.20	1.99	0.25	208.02	44.13	23.58	12.06
43	68.82	0.12	19.54	0.08	12.74	0.24	0.17	2.94	0.43	193.48	35.92	28.84	15.28
44	72.99	0.16	20.54	0.05	10.23	0.22	0.21	3.69	0.32	192.00	60.30	36.05	14.94
45	72.33	0.15	24.02	0.04	17.44	0.26	0.25	3.30	0.30	222.36	61.42	40.66	19.49
均值	73.57	0.15	20.08	0.08	11.58	0.26	0.21	2.73	0.30	212.32	49.64	32.24	17.79
标准差	3.99	0.03	2.66	0.06	2.88	0.07	0.04	0.65	0.08	44.57	21.96	6.53	4.57
变异系数/%	5	18	13	78	25	28	17	24	27	21	44	20	26

2.2 不同桑树种质和品种资源叶营养品质指标相关性分析

表3 桑树品种资源桑叶营养品质指标相关性分析

Table 3 Correlation analysis between various nutritional quality parameters of dehydrated mulberry-leaf vegetable prepared from fresh leaves of different mulberry varieties

指标	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X1	1.000												
X2	0.230	1.000											
X3	0.014	0.078	1.000										
X4	−0.187	−0.054	0.113	1.000									
X5	−0.099	−0.024	0.002	0.056	1.000								
X6	0.349*	−0.106	−0.026	0.000	0.190	1.000							
X7	0.050	−0.014	0.224	−0.050	−0.090	−0.152	1.000						
X8	−0.046	−0.519**	0.033	0.117	−0.043	−0.152	0.217	1.000					
X9	−0.071	0.226	0.033	0.000	−0.062	−0.196	0.113	0.541**	1.000				
X10	−0.128	−0.120	0.083	0.197	0.057	−0.272	0.366*	0.010	0.048	1.000			
X11	−0.045	−0.100	0.237	0.066	−0.155	−0.220	0.377*	0.226	0.347*	0.179	1.000		
X12	0.329*	0.075	0.281	−0.062	0.146	0.144	0.461**	0.054	0.016	0.393**	0.180	1.000	
X13	0.166	0.414**	0.283	−0.110	−0.280	−0.242	0.251	0.212	0.332*	0.143	0.376*	0.345*	1.000

注：X1.水分；X2.灰分；X3.粗蛋白；X4.可溶性膳食纤维；X5.可溶性糖；X6. P；X7. S；X8. Ca；X9. Mg；X10. Fe；X11. Mn；X12. Zn；X13. Cu；下表同；*.显著相关（$P<0.05$）；**.极显著相关（$P<0.01$）。

对桑树种质和品种资源叶指标进行相关性分析，旨在揭示各指标间密切关联程度，从而为桑树种质和品种资源叶营养品质评价指标的合理选择提供依据。如表3所示，水分与P、Zn这2 种元素显著正相关；灰分与Ca元素极显著负相关，与Cu元素极显著正相关；S元素与Fe、Mn元素显著正相关，与Zn元素极显著正相关；Ca元素与Mg元素是极显著正相关；Mg元素与Mn、Cu显著正相关；Fe元素与Zn元素是极显著正相关，Mn元素和Cu元素以及Zn和Cu元素均为显著正相关。这些结果说明通过测定部分指标就可以预测到与之相关指标的增减趋势，相关性越强，这种趋势越明显。

2.3 不同桑树种质和品种资源叶营养品质指标因子分析

若评价指标间存在相关性，易造成提供的整体信息发生重叠，使品质的评价不易得出简易的规律性。因子分析能将许多相关的随机变量压缩成少量的综合指标，但又能反映原来较多因素的信息。

根据桑树种质和品种资源测定的叶营养品质指标的数据，按公式（1）～（3）用极差标准化法将其转化为0～1间的标准化数据，进行因子分析，得到一个特征值矩阵和主成分矩阵。由表4可知，前7 个主成分的累计贡献率均已达89%，故选取前7 个特征值能够较全面地反映出原来13 个品质指标的主要信息，即7 个相互独立的新的综合性指标（公因子）。由表4可知，第1公因子中起主要作用的为Mn、Cu元素称为有害微量元素因子；第2公因子通过因子中Fe、Zn元素的载荷值较大称为有益微量元素因子；第3公因子中载荷值较大的为水分、灰分称为重量因子；第4公因子载荷值较大的为可溶性膳食纤维和可溶性糖称为碳水化合物因子；第5、6、7公因子统称为营养品质辅助因子。

表4 桑叶营养品质评价因子的特征值及累计贡献率

Table 4 Loading matrix eigenvector and cumulative contribution rate of nutritional quality factors of mulberry leaves

指标	因子1	因子2	因子3	因子4	因子5	因子6	因子7	共同度	特殊方差
X1	0.11	0.35	0.81	−0.04	−0.04	−0.02	0.34	0.87	0.21
X2	0.45	−0.40	0.56	0.25	−0.27	0.36	0.04	0.92	0.16
X3	0.42	0.29	−0.02	0.04	0.43	0.60	−0.43	0.96	0.12
X4	0.01	−0.05	−0.48	0.47	0.34	0.42	0.55	1.02	0.06
X5	−0.23	0.23	−0.07	0.73	−0.22	−0.08	−0.48	0.97	0.11
X6	−0.33	0.39	0.52	0.35	0.43	−0.27	0.14	0.93	0.15
X7	0.64	0.40	−0.22	−0.09	−0.09	−0.26	−0.01	0.69	0.37
X8	0.60	−0.50	0.09	0.42	−0.06	−0.16	0.12	0.86	0.21
X9	0.60	−0.47	−0.02	0.17	0.12	−0.39	−0.11	0.78	0.29
X10	0.38	0.38	−0.61	0.07	−0.40	0.01	0.27	0.87	0.20
X11	0.64	0.07	−0.19	−0.08	0.54	−0.35	−0.03	0.85	0.23
X12	0.53	0.69	0.16	0.18	−0.22	−0.02	0.01	0.89	0.19
X13	0.78	−0.03	0.24	−0.28	−0.02	0.25	−0.05	0.79	0.28
特征值	2.98	1.82	1.86	1.27	1.10	1.07	0.91		
累计贡献率/%	22	38	49	64	67	76	89		

表5 45 个桑资源品种桑叶营养品质因子分析综合得分

Table 5 Comprehensive scores of the nutritional quality of mulberry leaves of 45 different varieties by factor analysis

编号	综合得分	排名	编号	综合得分	排名	编号	综合得分	排名
1	−0.59	27	16	−2.79	38	31	3.52	7
2	−0.22	20	17	−0.75	28	32	−0.41	24
3	−3.44	41	18	2.26	12	33	4.45	3
4	1.43	13	19	−1.71	32	34	−0.26	21
5	−1.13	29	20	2.34	11	35	−1.74	33
6	0.67	16	21	−0.53	26	36	0.71	15
7	3.89	6	22	−0.33	23	37	0.91	14
8	−2.29	37	23	4.06	5	38	−1.75	34
9	−2.20	36	24	3.00	8	39	2.79	9
10	0.10	19	25	−2.15	35	40	−3.41	40
11	6.41	1	26	−6.25	45	41	−3.91	43
12	−0.52	25	27	−4.59	44	42	−3.61	42
13	0.16	18	28	−1.48	31	43	−1.15	30
14	−2.82	39	29	5.48	2	44	0.60	17
15	−0.29	22	30	2.58	10	45	4.40	4

分析得到各桑叶样品营养品质的公因子分值和表3中相应的公因子的贡献率，用公式（2）计算出各样品营养品质的综合得分，结果见表5。其中，桑品种嘉陵20、红果1号、白玉王综合得分值排列前3 位，说明其综合营养品质较高，可作为西南地区桑叶食用开发的专用原料桑品种资源。

3 讨 论

桑叶营养成分分析多数研究主要集中在单一指标的分析或比较上[23-25]，单一指标评价更关注的某一个指标的

含量高低，如桑叶含有多种丰富的营养物质，作为畜禽的饲料更多会选择蛋白质含量高的桑品种作为原料。虽然国内外学者之前对桑叶品质进行了较多的研究，涉及品质性状综合评价研究较少[25-30]，本研究利用隶属函数对计量单位或衡量量化上不尽相同原始数据进行转化，为达结构简化的目的，对因子载荷矩阵旋转，使因子载荷的平方向两极转化，使各因子都具有一定的统计学意义与生物学意义。实验主要针对桑叶食用特征，选择与食用相关的13 个营养指标进行测定。分析13 个指标之间的相关性，各指标之间既相互独立又密切相关；根据因子分析中各指标的公因子分值和相应的公因子的贡献率，得到的各桑种质和品种资源营养成分综合得分并排序，进一步从整体上给予综合评价，可作为筛选食用品质最优桑品种的依据。本研究对45 个桑种质和品种资源叶营养成分进行综合评价，通过因子分析得到嘉陵20号、红果1号和白玉王3 个品种排列前3 位，综合得分均超过4.4。其中嘉陵20号为高产叶用桑品种，红果1号和白玉王为果叶兼用品种，叶产量较低。因此，嘉陵20号是这45 个桑种质和品种资源中叶食用专用品种的最佳候选资源。通过上述方法对桑种质和品种资源叶营养品质进行综合分析，并得到更加客观的评价结果，可作为筛选食用品质最优桑品种的依据。以上研究结果完善桑叶营养品质评价体系，对筛选桑叶食用专用品种、资源及开发不同桑叶食品具有指导意义。

参考文献：

[1] JI T, LI J, SU S L, et al. Identification and determination of the polyhydroxylated alkaloids compounds with α-glucosidase inhibitor activity in mulberry leaves of different origins[J]. Molecules, 2016, 21(2): 206. DOI:10.3390/molecules21020206.

[2] KOJIMA Y, KIMURA T, NAKAGWA K, et al. Effects of mulberryleaf extract rich in 1-deoxynojirimycin on blood lipid profiles in humans[J]. Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition, 2010, 47(2): 155-161. DOI:10.3164/jcbn.10-53.

[3] 杨晶, 张敏娟, 薛忠民, 等. 桑树叶蛋白提取及蛋白粉制备工艺[J]. 蚕业科学, 2015(3): 518-524. DOI:10.13441/j.cnki.cykx.2015.03.020.

[4] 张英, 刘泽玉, 李龙, 等. 桑叶中12 种金属元素的含量及初级形态分析[J]. 蚕业科学, 2016(5): 793-798. DOI:10.13441/j.cnki.cykx.2016.05.006.

[5] 王星天, 李桂水, 程丽君, 等. 响应面试验优化桑叶茶中游离氨基酸与多酚的提取工艺[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 83-88. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201524014.

[6] SAMAVATI V, YARMAND M S. Statistical modeling of process parameters for the recovery of polysaccharide from *Morus alba* leaf[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 98(1): 793-806. DOI:10.1016/j.carbpol.2013.06.041.

[7] YADAV V R, PRASAD S, SUNG B, et al. The role of chalcones in suppression of NF-κB-mediated inflammation and cancer[J]. International Immunopharmacology, 2011, 11(3): 295-309. DOI:10.1016/j.intimp.2010.12.006.

[8] 陈虎, 蒲俊松, 向仲怀, 等. 药桑甚总黄酮的提取工艺及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2014, 35(12): 7-12. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201412002.

[9] YUAN Q X, XIE Y, WANG W, et al. Extraction optimization, characterization and antioxidant activity *in vitro* of polysaccharides from mulberry (*Morus alba* L.) leaves[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 128: 52-62. DOI:10.1016/j.carbpol.2015.04.028.

[10] 陈玲玲, 刘炜, 陈建国, 等. 桑叶黄酮对糖尿病小鼠调节血糖的作用机制研究[J]. 中国临床药理学杂志, 2010, 26(11): 835-838. DOI:10.13699/j.cnki.1001-6821.2010.11.002.

[11] 张军, 宛晓春, 陆翠珍, 等. 桑叶生物碱类化合物的研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2012, 39(6): 993-997. DOI:10.13610/j.cnki.1672-352x.2012.06.013.

[12] KATSUBE T, YAMASAKI M, SHIWAKU K, et al. Effect of flavonol glycoside in mulberry (*Morus alba* L.) leaf on glucose metabolism and oxidative stress in liver in diet-induced obese mice[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(14): 2386-2392. DOI:10.1002/jsfa.4096.

[13] FENG R Z, WANG Q, TONG W Z, et al. Extraction and antioxidant activity of flavonoids of *Morus nigra*[J]. International Journal of Clinical and Experimental Medicine, 2015, 8(12): 22328-22336.

[14] ZHENG S, LIAO S T, ZOU Y X, et al. Mulberry leaf polyphenols delay aging and regulate fat metabolism via the germline signaling pathway in *Caenorhabditis elegans*[J]. Journal of the American Aging Association, 2014, 36(6): 1-13. DOI:10.1007/s11357-014-9719-z.

[15] HU X Q, JIANG L, ZHANG J G, et al. Quantitative determination of 1-deoxynojirimycin in mulberry leaves from 132 varieties[J]. Industrial Crops and Products, 2013, 49(8): 782-784. DOI:10.1016/j.indcrop.2013.06.030.

[16] DEVER M C, CLIFF M A, HALL J W. Analysis of variation and multivariate relationships among analytical and sensory characteristics in whole apple evaluation[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1995, 69(3): 329-338. DOI:10.1002/jsfa.2740690309.

[17] COLARIC M, VEBERIC R, STAMPAR F, et al. Evaluation of peach and nectarine fruit quality and correlations between sensory and chemical attributes[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(15): 2611-2616. DOI:10.1002/jsfa.2316.

[18] CRONJE R B, SIVAKUMAR D, MOSTERT P G, et al. Effect of different preharvest treatment regimes on fruit quality of Litchi Cultivar 'Maritius'[J]. Journal of Plant Nutrition, 2009, 32(1): 19-29. DOI:10.1080/01904160802530987.

[19] 刘静, 李湘利, 马义红, 等. 超声波协同酶法提取香椿老叶可溶性膳食纤维的工艺优化[J]. 食品科学, 2014, 35(12): 41-45. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201412008.

[20] 张荣, 任清, 罗宇, 等. 小米可溶性膳食纤维提取及其理化性质分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 69-74. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201402013.

[21] 任庆, 孙波, 于敬鑫, 等. 白菜渣可溶性膳食纤维酸法提取工艺优化及理化性质测定[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 70-74. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201510014.

[22] 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:10.3964/j.issn.1000-0593(2008)12-2989-04.

[23] 徐万仁. 利用桑叶作为家畜饲料的可行性[J]. 中国草食动物, 2004, 24(5): 39-41. DOI:10.3969/j.issn.2095-3887.2004.05.021.

[24] 何雪梅, 廖森泰, 刘吉平, 等. 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): 390-394. DOI:10.3969/j.issn.0257-4799.2004.04.012.

[25] 李正涛, 花旭斌, 朱秋平, 等. 桑叶汁饮料的开发[J]. 食品科技, 2000, 25(1): 45. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2000.01.022.

[26] 梁桂秋, 祁广军, 何雪梅, 等. 广西蚕区21 个桑树品种的桑叶营养与保健品质评价[J]. 蚕业科学, 2015(4): 701-709. DOI:10.13441/j.cnki.cykx.2015.04.018.

[27] IQBAL S, YOUNAS U, SIRAJUDDIN, et al. Proximate composition and antioxidant potential of leaves from three varieties of mulberry (*Morus* sp.): a comparative study[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2012, 13(6): 6651-6664. DOI:10.3390/ijms13066651.

[28] SRIVASTAVA S, KAPOOR R, THATHOLA A, et al. Nutritional quality of leaves of some genotypes of mulberry (*Morus alba*)[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2006, 57(5/6): 305-313. DOI:10.1080/09637480600801837.

[29] 孙小静, 刘军, 廖森泰. 不同桑品种新鲜桑叶制作脱水桑叶菜品质的综合评价[J]. 蚕业科学, 2015(3): 534-541. DOI:10.13441/j.cnki.cykx.2015.03.022.

[30] 敬成俊, 代方银, 杜木英, 等. 10 份不同地理来源桑种质资源冬桑叶中的营养与活性成分含量测定[J]. 蚕业科学, 2014(2): 339-343.