

不同品种枸杞果实功能营养成分比较分析

述小英^{1,2}, 尹跃², 安巍², 李越赬², 赵建华^{2*}, 王俊儒^{1*}

(1. 西北农林科技大学 理学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 宁夏农林科学院 国家枸杞工程技术研究中心, 宁夏 银川 750002)

摘要:研究不同品种枸杞果实功能营养成分的差异, 筛选优异品种, 为枸杞资源开发利用提供依据。以 22 种枸杞果实为材料, 采用比色法和 HPLC 对其功能营养成分含量进行分析, 并运用主成分分析和聚类分析进行综合评价。结果表明: 不同品种枸杞果实功能营养成分存在显著差异, 但均富含多糖(4.12~15.49 mg·g⁻¹)和甜菜碱(1.23~7.36 mg·g⁻¹); 枸杞果实中黄酮类化合物主要为芦丁, 含量变化范围在 19.35~131.90 μg·g⁻¹ (‘云南’除外); 类胡萝卜素以玉米黄素和叶黄素为主, 含少量 β-隐黄质、β-胡萝卜素和新黄质, 类胡萝卜素总量变化范围在 1.22~283.62 μg·g⁻¹。主成分分析选取了前 4 个主成分, 累计方差贡献率达到 81.79%。聚类分析将 22 种品种枸杞分为 4 大类。利用主成分和聚类分析综合评价得出, ‘新疆’和‘柱筒’综合品质高, 可作为枸杞育种、品质改良及枸杞资源开发利用的原材料。

关键词: 枸杞; 功能营养成分; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S567.19 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2017)01-0157-08

Comparative Analysis of Functional and Nutritional Ingredients of Wolfberry Fruit in Different Varieties

SHU Xiao-ying^{1,2}, YIN Yue², AN Wei², LI Yue-kun², ZHAO Jian-hua^{2*}, WANG Jun-ru^{1*}

(1. College of Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. National Wolfberry Engineering Research Center, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract: The objectives of this study were to investigate the differences in nutritional ingredients of wolfberry fruit among different varieties, to select fine varieties, and to provide references for the development of wolfberry. Twenty-two different wolfberry varieties were used as materials, the functional and nutritional nutrients in the fruit were analyzed by spectrophotometry and HPLC methods. The results showed that there existed significant differences in ingredients among the fruit of different varieties. Generally, wolfberry fruit was rich in polysaccharides(4.12—15.49 mg·g⁻¹) and betaine(1.23—7.36 mg·g⁻¹). The predominant flavonoid was identified as rutin(19.35—131.90 μg·g⁻¹, except for the cultivar ‘Yunnan’). Amongst the individual carotenoids, zeaxanthin and lutein were present in larger amount, while β-cryptoxanthin, β-carotene and neoxanthin were in small amount. Total carotenoid content ranged from 1.22 to 283.62 μg·g⁻¹. Four main compositions were extracted to carry out principal component analysis, and their accumulative variance contribution was 81.79%. Cluster analysis of 22 different varieties demonstrated that the wolfberry varieties could be divided into four types. Comprehensive evaluation of wolfberry fruit quality showed that ‘Xinjiang’ and ‘Zhutong’ had high quality. They could be used as materials of wolfberry breeding, quality improvement and exploitation and utilization of wolfberry resources.

Key words: wolfberry; functional nutrition ingredient; principal component analysis; cluster analysis

收稿日期: 2016-05-26 修回日期: 2016-09-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360191); 宁夏回族自治区农业育种专项(2013NYYZ0101)。

作者简介: 述小英, 女, 在读硕士, 研究方向: 药用植物化学成分。E-mail: shuxiaoying1@163.com

* 通信作者: 赵建华, 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 枸杞种质创新与利用。E-mail: zhaojianhua0943@163.com

王俊儒, 男, 博士, 教授, 研究方向: 植物资源化学和环境生物学。E-mail: wangjr07@163.com

枸杞隶属茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium*),多年生落叶灌木,全球约有 80 种,其中,欧亚大陆约有 10 种,非洲南部约 20 种,北美洲南部约 20 种,南美洲南部约 30 种,中国有 7 个种和 3 个变种^[1-3]。枸杞果实含有多糖、甜菜碱、黄酮类化合物及类胡萝卜素等功能营养物质^[4],具有增强机体免疫力,降血糖、降血脂、抗肿瘤、抗脂肪肝和预防心脑血管疾病等作用^[5-13]。随着人民生活水平的提高,人们的保健观念也日益增强,枸杞作为“药食两用”的重要植物资源,国内外市场需求逐渐扩大,每年以干制形式大量流通,少部分加工成附加值较高产品,深受消费者喜爱。近几年来,随着农业产业结构调整,全国枸杞种植面积迅速增加,截至 2014 年年底,全国种植面积已达 13.3 万 hm²,年产量 20 万 t,年产值高达 50 亿元。因此,研究不同品种枸杞果实功能营养成分有着重要的理论意义和经济价值。

然而,目前枸杞种质资源的研究还处于起步阶段,张波^[14]等对不同产区的 3 种宁夏枸杞果实的多糖、甜菜碱和胡萝卜素进行了测定;张晓煜^[15]等对不同产区的‘宁杞 1 号’药用氨基酸和多糖含量进行了测定;王益民^[16]等对 10 个不同枸杞品种果实的营养物质进行了测定和评价,已有研究主要集中在对不同产地宁夏枸杞果实的个别功能营养成分测定及分析,对不同品种枸杞的功能营养成分研究则较少。

本研究以 22 种不同品种枸杞果实为研究对象,对其功能营养成分(多糖、甜菜碱、黄酮类化合物、类胡萝卜素)含量进行测定分析,以期了解不同枸杞果实功能营养物质的差异,并采用主成分分析和聚类分析对其进行综合评价,筛选富含功能营养物质和综合品质较高的枸杞材料,为枸杞优良新品种的选育及不同用途的品种筛选提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的 22 种枸杞材料如表 1,均来源于宁夏农林科学院枸杞种质资源圃。于 2014 年 7—8 月采集鲜果,用液氮速冻,−80℃超低温冰箱保存备用。

1.2 仪器与试剂

Agilent1260 高效液相色谱仪(美国安捷伦公司);TU-1810 紫外可见分光光度仪(北京普析通用仪器有限责任公司);HSC-12B 型氮吹仪(天津科技发展有限公司);RE-52AA 型旋转蒸发仪和 SHZ-III 型循环水真空泵(上海亚荣生化仪器厂);全数字超声波发生器(武汉嘉鹏电子有限公司)等。

葡萄糖和甜菜碱(Sigma 公司);芦丁和 β-胡萝卜素(Dr. Ehrenstorfer GmbH 公司);玉米黄素、叶

黄素、β-隐黄质和新黄质(Chroma Dex 公司);无水乙醇、四氢呋喃、石油醚和氯化钠等试剂均为国产分析纯(银川伟博鑫生物科技有限公司);液相色谱测定用甲醇、乙腈、丙酮和二氯甲烷均为色谱纯(MREDA 公司)。

表 1 供试枸杞材料
Table 1 The wolfberry materials

编号	品种名称	种名	外观特征
1	中国	中国枸杞 <i>L. chinense</i>	果实红色,卵形
2	柱筒	柱筒枸杞 <i>L. cylindricum</i>	果实红色,卵形
3	新疆	新疆枸杞 <i>L. dasystemum</i>	果实红色,卵圆形
4	截萼	截萼枸杞 <i>L. truncatum</i>	果实红色,卵圆形
5	黑果	黑果枸杞 <i>L. ruthenicum</i>	果实紫黑色,近球形
6	云南	云南枸杞 <i>L. yunnanense</i>	果实黄红色,长椭圆形
7	黄果	黄果枸杞 <i>L. barbarum</i> var. <i>auranticarpum</i>	果实橙黄色,卵圆形
8	红枝	红枝枸杞 <i>L. dasystemum</i> var. <i>rubricaulium</i>	果实红色,卵圆形
9	北方	北方枸杞 <i>L. chinense</i> var. <i>potaninii</i>	果实橙红色,长椭圆形
10	宁杞 1 号	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实鲜红色,椭圆形
11	宁杞 2 号	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实红色,椭圆形
12	宁杞 3 号	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实红色,卵圆形
13	宁杞 4 号	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实红色,长椭圆形
14	宁杞 5 号	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实橙红色,长椭圆形
15	宁杞 6 号	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实红色,长椭圆形
16	宁杞 7 号	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实深红色,长椭圆形
17	大麻叶	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实红色,长椭圆形
18	小麻叶	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实鲜红色,椭圆形
19	白花	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实红色,椭圆形
20	白条	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实鲜红色,椭圆形
21	圆果	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实鲜红色,卵圆形
22	紫柄	宁夏枸杞 <i>L. barbarum</i>	果实鲜红色,卵圆形

1.3 试验方法

多糖测定参考 GB/T18672-2002《枸杞(枸杞子)附录 A》^[17]。甜菜碱测定参考文献^[18]。

黄酮提取方法参考文献^[19],将样品在液氮中研磨粉碎后,准确称取枸杞鲜果 5 g,加入 25 mL 70%乙醇和 0.01% BHA,超声提取 1 h 后冷却过滤定容至 50 mL。取 5 mL 提取液 60℃条件下用 N₂吹干,以 2 mL 色谱甲醇复溶,0.22 μm 孔径有机纤维滤膜过滤,备用。

HPLC 条件:色谱柱:Agilent Zorbax SB-C18 反相柱(4.6×250 mm,5 μm);流动相:A 相:50 mmol·L⁻¹磷酸溶液(pH 2.5),B 相:乙腈。洗脱程序:50 mmol·L⁻¹磷酸:乙腈(80:20,V:V);柱温 35℃,流速 1 mL·min⁻¹,紫外检测波长为 365 nm。

类胡萝卜素测定参考文献^[20]。

1.4 数据处理

采用统计分析软件 SPSS 19.0 进行数据统计分析,均值间比较采用 Duncan’s 法($P<0.05$);因子分析采用主成分分析法;聚类分析采用 Ward’s method 分层聚类,样本之间距离采用欧氏距离平方,得出聚类树。

2 结果与分析

2.1 不同品种枸杞果实功能营养成分含量比较

2.1.1 多糖 不同品种枸杞果实多糖含量范围在 $4.12\sim15.49\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 $10.95\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,变异系数 27.58% 。不同品种枸杞果实多糖含量差异明显。‘宁杞 6 号’含量最高,为 $15.49\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,与其他材料存在显著差异($P<0.05$);‘宁杞 1 号’含量最低,为 $4.12\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$;多糖含量较高的有‘云南’、‘宁杞 7 号’、‘宁杞 2 号’、‘新疆’、‘白花’等材料;含量较低的材料有‘黑果’、‘大麻叶’和‘宁杞 1 号’(表 2)。

2.1.2 甜菜碱 枸杞果实甜菜碱含量范围在 $1.23\sim7.36\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 $3.21\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,变异系数 45.48% 。不同品种枸杞果实甜菜碱含量差异明显。‘宁杞 6 号’含量最高,为 $7.36\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$,与其他材料存在显著差异($P<0.05$);‘小麻叶’含量最低,为 $1.23\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$;甜菜碱含量较高的有‘宁杞 1 号’、‘中国’、‘宁杞 5 号’等材料;含量较低的材料有‘新疆’、‘黑果’、‘红枝’、‘截萼’。

2.1.3 黄酮 测定结果表明,枸杞果实中黄酮类化合物主要为芦丁。除‘云南’外,其他枸杞果实中都检测到芦丁,其含量变化范围在 $19.35\sim131.90\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 $36.84\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,变异系数 86.59% 。不同品种枸杞果实芦丁含量差异明显。‘宁杞 4 号’含量最高,为 $131.90\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,与其他材料存在显著差异($P<0.05$);芦丁含量较高的材料有‘新疆’、‘宁杞 3 号’、‘宁杞 6 号’、‘宁杞 7 号’等;含量较低的材料有‘北方’、‘紫柄’、‘中国’、‘红枝’。

2.1.4 类胡萝卜素 测定结果表明,玉米黄素、叶黄素、 β -隐黄质、 β -胡萝卜素、新黄质是枸杞果实中类胡萝卜素的 5 个主要成分,含量依次为玉米黄素 $>$ 叶黄素 $>$ β -隐黄质 $>$ β -胡萝卜素 $>$ 新黄质。

除‘黑果’外,其他枸杞果实均检测到玉米黄素,其含量范围在 $29.72\sim231.26\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,其中,‘新疆’含量最高,为 $231.26\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,显著高于其他材料($P<0.05$);‘大麻叶’、‘圆果’、‘宁杞 6 号’和‘红枝’无显著差异($P>0.05$),但显著低于其他材料($P<0.05$)。

不同品种枸杞果实叶黄素含量范围在 $1.19\sim$

$40.69\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,其中‘新疆’含量最高,‘柱筒’次之,分别为 $40.69\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $37.83\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,显著高于其他材料($P<0.05$);‘黑果’叶黄素含量最低,为 $1.19\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

除‘黑果’外,其他枸杞果实中均检测到 β -隐黄质,其含量范围在 $1.62\sim12.26\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,其中,‘宁杞 1 号’含量最高,为 $12.26\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,高出其他材料 $2.27\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 以上,且显著高于其他材料($P<0.05$);‘红枝’含量最低,为 $1.62\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

除‘宁杞 5 号’外,其他枸杞果实中均检测到 β -胡萝卜素,但含量较低,其范围在 $0.03\sim2.00\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,其中‘北方’和‘宁杞 1 号’含量较高,分别为 $2.00\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $1.85\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,两者之间无显著差异,但显著高于其他材料($P<0.05$);‘黑果’含量最低,为 $0.03\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

新黄质仅在‘新疆’、‘黄果’和‘柱筒’等 12 个材料中检测到,其中,‘新疆’含量最高,‘黄果’次之,含量分别为 $6.34\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $4.85\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,显著高于其他材料($P<0.05$)。

枸杞果实类胡萝卜素总量范围在 $1.22\sim283.62\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,均值为 $106.75\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,变异系数 61.66% 。不同品种枸杞果实类胡萝卜素总量存在显著差异。‘新疆’含量最高,为 $283.62\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,与其他材料存在显著差异($P<0.05$);‘黑果’含量最低,为 $1.22\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。类胡萝卜素含量较高的有‘柱筒’、‘截萼’、‘云南’、‘小麻叶’等材料;含量较低的材料有‘圆果’、‘宁杞 6 号’和‘红枝’。

2.2 相关性分析

通过对枸杞果实功能营养成分进行相关性分析(表 3)结果表明,玉米黄素与叶黄素和 β -隐黄质存在极显著正相关($r=0.924^{**}$, $r=0.557^{**}$),与新黄质存在显著正相关($r=0.445^{*}$);叶黄素和新黄质存在极显著正相关($r=0.610^{**}$);多糖、甜菜碱、芦丁和类胡萝卜素之间无显著性相关,这与多糖、甜菜碱、芦丁和类胡萝卜素在生物体中代谢途径不同相符。

2.3 主成分分析

对 22 种枸杞的 8 种功能营养成分进行主成分分析(表 4),结果表明,第 1 主成分(PC1)、第 2 主成分(PC2)、第 3 主成分(PC3)和第 4 主成分(PC4)特征值都 >1 ,并且累计方差贡献率达到 81.788% ,前 4 个主成分反映了原始变量的绝大部分信息。因此提取前 4 个主成分代替原 8 个指标评价枸杞品质,由初始的 8 个指标降为 4 个彼此不相关的主成分,达到了降维的目的。主成分特征向量绝对值越大,其对该变量代表性越大^[21]。

表 2 不同品种枸杞果实功能营养成分比较

Table 2 Comparison of functional nutritional ingredients of wolfberry fruit in different varieties										
样品名称	多糖 (mg·g ⁻¹)	甜菜碱 (mg·g ⁻¹)	芦丁 (μg·g ⁻¹)	玉米黄素 (μg·g ⁻¹)	叶黄素 (μg·g ⁻¹)	β-隐黄质 (μg·g ⁻¹)	β-胡萝卜素 (μg·g ⁻¹)	新黄质 (μg·g ⁻¹)	类胡萝卜素总量 (μg·g ⁻¹)	
中国	12.36±0.05e	4.89±0.22b	5.55±0.23l	75.51±7.26e-h	4.68±1.64i-k	6.39±0.67c-e	0.58±0.03d-f	—	87.16±8.20f-k	
柱筒	9.98±0.09h	2.79±0.01f-h	35.37±3.54gh	169.79±2.84b	37.83±1.92a	6.97±0.63cd	0.43±0.05e-g	3.68±0.10c	218.71±4.04b	
新疆	13.30±0.25c	1.73±0.04j	78.82±7.57b	231.26±37.16a	40.69±6.35a	4.92±0.13d-g	0.42±0.05fg	6.34±0.97a	283.62±44.55a	
截萼	12.88±0.06c-e	1.30±0.07k	43.43±0.39fg	155.56±10.77bc	23.33±2.53bc	7.97±0.50bc	0.08±0.01hi	—	186.93±13.75bc	
黑果	6.86±0.11k	1.45±0.02jk	49.76±4.97d-e	—	1.19±0.07k	—	0.03±0.00i	—	1.22±0.07l	
云南	14.43±0.12b	3.06±0.11e-g	—	137.15±25.15b-d	25.79±3.98b	4.37±0.31e-i	0.09±0.02hi	—	167.40±29.41b-d	
黄果	9.69±0.42hi	3.14±0.10ef	24.22±1.35ij	69.44±9.44e-h	19.63±3.61b-d	2.53±0.65i-k	0.23±0.01f-i	4.85±0.38b	96.68±13.33f-j	
红枝	8.79±0.12j	1.42±0.08jk	1.04±0.05l	29.72±2.17hi	3.48±0.29jk	1.62±0.05jk	0.51±0.07ef	1.18±0.02e	36.51±2.43kl	
北方	10.92±0.07g	3.65±0.05d	8.61±0.09kl	100.89±40.11d-f	13.41±3.78dh	4.21±2.14 f-j	2.00±0.36a	1.48±0.11de	121.98±46.51d-g	
宁杞 1 号	4.12±0.05l	5.13±0.24b	19.35±1.10ij	112.36±2.37c-e	14.32±1.61d-g	12.26±0.10a	1.85±0.07a	—	140.79±3.84c-f	
宁杞 2 号	13.35±0.06c	3.78±0.06d	17.23±0.08jk	98.34±9.11d-f	10.10±0.60f-j	9.15±0.37b	0.71±0.03de	—	118.30±9.03d-h	
宁杞 3 号	9.03±0.33j	3.93±0.16d	78.47±5.87b	99.37±20.97d-f	17.98±2.69c-e	5.39±0.18d-f	0.06±0.01hi	—	122.80±23.84d-g	
宁杞 4 号	9.17±0.15ij	3.27±0.03e	131.90±1.95a	60.04±3.58 f-h	11.52±0.92e-i	4.68±0.10e-h	1.35±0.07b	2.04±0.23d	79.62±4.82g-k	
宁杞 5 号	10.64±0.50g	4.48±0.11c	28.08±1.19hi	54.25±5.55 f-h	7.35±2.36g-k	3.11±0.12g-k	—	—	64.72±7.67g-k	
宁杞 6 号	15.49±0.06a	7.36±0.27a	64.13±3.19c	35.64±1.23hi	6.91±0.80 g-k	3.90±0.09f-j	1.47±0.05b	0.91±0.09e	48.84±1.93j-l	
宁杞 7 号	13.47±0.09c	3.84±0.08d	53.14±4.33de	88.96±1.15d-g	15.19±0.19d-f	4.93±0.06d-g	0.04±0.00i	—	109.12±1.40e-i	
大麻叶	4.24±0.08ll	3.61±0.01d	45.94±1.08ef	46.48±15.42g-i	5.07±0.72i-k	5.31±1.52d-f	0.45±0.05e-g	0.8±0.28e	58.10±17.97i-k	
小麻叶	12.34±0.12e	1.23±0.04k	18.90±1.07j	127.16±16.72b-d	17.44±2.48c-f	9.49±0.38b	0.56±0.03ef	1.12±0.39e	155.77±19.96c-e	
白花	13.09±0.11cd	2.75±0.04gh	17.13±1.25jk	57.23±0.89 f-h	10.85±0.92e-j	4.38±0.69e-i	0.30±0.04f-i	1.25±0.29e	74.01±2.83g-k	
白条	11.60±0.21f	2.29±0.07i	58.08±1.80cd	50.04±3.55f-h	7.24±0.43g-k	3.61±0.14f-k	0.83±0.02cd	—	61.72±3.86h-k	
圆果	12.55±0.06de	2.95±0.10e-g	24.09±2.95ij	40.93±3.53g-i	5.81±0.06i-k	2.15±0.21j-l	0.33±0.04f-h	0.95±0.03e	50.17±3.47l-l	
紫柄	12.67±0.08de	2.59±0.08hi	7.35±0.23l	51.32±4.13f-h	7.22±0.20g-k	2.58±0.16h-k	1.01±0.05c	2.19±0.11d	64.32±4.28g-k	

注:同列数据后不同小写字母表示材料间差异显著(P<0.05)。

表 3 枸杞果实功能营养成分相关性分析

Table 3 The correlation analysis of functional nutritional ingredients in wolfberry fruit

成分	多糖	甜菜碱	芦丁	玉米黄素	叶黄素	β-隐黄质	β-胡萝卜素	新黄质
多糖	1							
甜菜碱	0.049	1						
芦丁	−0.105	0.064	1					
玉米黄素	0.240	−0.211	0.061	1				
叶黄素	0.212	−0.238	0.161	0.924 **	1			
β-隐黄质	−0.093	0.176	−0.064	0.557 **	0.338	1		
β-胡萝卜素	−0.139	0.418	0.040	−0.056	−0.162	0.288	1	
新黄质	0.066	−0.244	0.191	0.445 *	0.610 **	−0.150	0.032	1

注:相关显著水平: * $P<0.05$, ** $P<0.01$ 。

表 4 4 个主成分的特征向量、特征值、贡献率和累计贡献率

Table 4 Eigenvectors, eigenvalues, account and total account of four principal components

项目	PC1	PC2	PC3	PC4
多糖	0.261	−0.151	−0.452	0.794
甜菜碱	−0.346	0.656	0.070	0.471
芦丁	0.158	0.026	0.775	0.141
玉米黄素	0.945	−0.212	−0.154	−0.051
叶黄素	0.968	0.032	0.018	0.016
β-隐黄质	0.374	0.757	−0.288	−0.327
β-胡萝卜素	−0.156	0.739	0.289	0.135
新黄质	0.659	−0.212	0.457	0.165
特征值	2.641	1.664	1.210	1.028
方差贡献率/%	33.018	20.801	15.121	12.847
累计贡献率/%	33.018	53.820	68.941	81.788

第 1 主成分特征值为 2.641, 方差贡献率为 33.018%。在 PC1 中, 叶黄素、玉米黄素和新黄质特征向量较大, 分别为 0.968、0.945 和 0.659, 它们共同构成 PC1 方差变异主要因素, 均与 PC1 呈正相关。PC1 较大时, 说明枸杞中叶黄素、玉米黄素含量较高; 在 PC2 中, β-隐黄质、β-胡萝卜素和甜菜碱的特征向量较大, 分别为 0.757、0.739 和 0.656, 它们共同构成 PC2 方差变异主要因素, PC2 较大时, 说明枸杞中 β-隐黄质、β-胡萝卜素和甜菜碱含量较高; 在 PC3 中, 芦丁的特征向量较大, 为 0.775, 构成 PC3 方差变异主要因素, PC3 较大时, 说明枸杞中芦丁含量较高; 在 PC4 中, 多糖的特征向量较大, 为 0.794, 构成 PC4 方差变异主要因素, 反映枸杞中主要功能营养成分多糖的变异情况, PC4 较大时, 说明枸杞中多糖含量较高。在育种时, 可以根据育种目标对其指标进行选择, 筛选优异品种。

利用 SPSS 19.0 数据处理系统得到各主成分因子得分情况(表 5)。根据得分情况对其进行排序, 能够较为直观地揭示不同品种枸杞果实品质的优劣情况。由表 5 可知, 以第 1 主成分排序‘新疆’、‘柱筒’、‘宁杞 1 号’、‘截萼’和‘小麻叶’品质较好, 以第 2 主成分排序‘宁杞 6 号’、‘宁杞 1 号’、‘北方’和

‘宁杞 4 号’较好, 以第 3 主成分排序‘新疆’、‘宁杞 4 号’和‘黄果’品质较好, 以第 4 主成分排序‘宁杞 6 号’和‘云南’品质较好。由于各个主成分的方差贡献率不同, 所以对其评价时, 以各个主成分的贡献率为权重, 由主成分得分和对应的权重相乘求和构建综合评价函数。

$$F = 0.330\ 2Z_1 + 0.208\ 0Z_2 + 0.151\ 2Z_3 + 0.128\ 5Z_4 \tag{1}$$

式中: F 为每种枸杞综合评价得分, 根据综合评价模型, 计算出不同品种枸杞综合得分和排序结果(表 5)综合得分排在前 7 位的枸杞品种分别为‘新疆’、‘柱筒’、‘宁杞 6 号’、‘宁杞 1 号’、‘北方’、‘宁杞 4 号’和‘宁杞 2 号’。

表 5 22 种枸杞果实的主成分得分

Table 5 Scores of the principal components from 22 varieties of wolfberry fruit

样品名称	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	F	排序
中国	−0.213	0.693	−1.206	0.592	−0.032	18
柱筒	1.765	−0.444	0.661	−0.179	0.567	2
新疆	2.034	−0.785	2.385	0.762	0.967	1
截萼	1.206	−0.901	−0.720	0.054	0.109	8
黑果	−1.770	−1.444	0.275	−1.213	−0.999	22
云南	0.682	−0.673	−1.055	1.315	0.094	9
黄果	−0.126	−0.763	1.094	0.118	−0.020	13
红枝	−1.031	−1.180	−0.446	−0.609	−0.732	21
北方	0.151	1.125	−0.055	0.067	0.284	5
宁杞 1 号	1.256	2.019	−1.051	−2.387	0.369	4
宁杞 2 号	0.536	0.636	−1.284	0.410	0.168	7
宁杞 3 号	0.047	−0.001	0.402	−0.540	0.007	12
宁杞 4 号	−0.510	1.067	2.306	−0.951	0.280	6
宁杞 5 号	−0.828	−0.140	−0.445	0.321	−0.329	14
宁杞 6 号	−0.995	2.586	0.763	1.827	0.559	3
宁杞 7 号	−0.123	−0.050	−0.169	0.826	0.029	11
大麻叶	−0.572	−0.052	0.049	−1.989	−0.448	20
小麻叶	1.180	−0.541	−1.001	−0.248	0.094	10
白花	−0.347	−0.484	−0.457	0.658	−0.200	16
白条	−0.731	−0.039	0.171	−0.096	−0.236	17
圆果	−0.976	−0.486	−0.174	0.650	−0.366	19
紫柄	−0.634	−0.144	−0.043	0.612	−0.167	15

2.4 聚类分析

根据系统聚类分析结果(图 1),取遗传距离 = 10,把 22 种枸杞分为 4 类,第 1 类是‘新疆’、‘柱筒’;第 2 类是‘云南’、‘小麻叶’和‘截萼’;第 3 类是‘宁杞 1 号’、‘宁杞 6 号’、‘北方’、‘宁杞 2 号’和‘中国’;第 4 类是剩余 12 种枸杞。

各个分类枸杞功能营养成分均值如表 6,结果表明,不同类群枸杞果实功能营养成分含量存在一定差异。4 个分类中多糖和芦丁含量无显著性差异($P>0.05$);第 3 类甜菜碱和 β -胡萝卜素含量显著高于其他类枸杞($P<0.05$);第 1 类与第 2 类玉米

黄素和叶黄素含量存在显著差异,且显著高于第 3 类和第 4 类枸杞($P<0.05$);第 4 类 β -隐黄质含量与第 2 类、第 3 类存在显著差异($P<0.05$);第 1 类新黄质含量显著高于其他类枸杞($P<0.05$)。4 类枸杞品质分别具有不同特点,第 1 类的典型特点为芦丁、玉米黄素、叶黄素和新黄质含量最高,其他成分含量居中;第 2 类的典型特点为多糖、 β -隐黄质含量最高,但甜菜碱、芦丁、 β -胡萝卜素和新黄质含量最低;第 3 类的典型特点为甜菜碱和 β -胡萝卜素含量最高;第 4 类的典型特点为多糖、玉米黄素、叶黄素和 β -隐黄质含量最低。

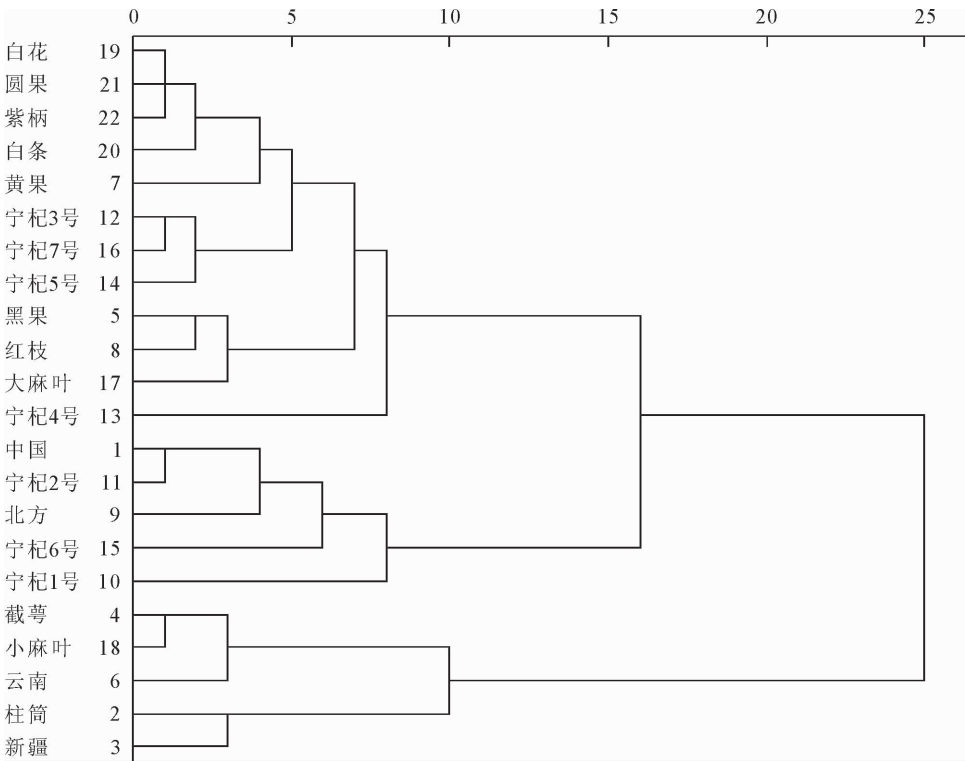


图 1 22 种枸杞聚类分析

Fig. 1 The cluster of the 22 wolfberry varieties

表 6 4 种分类枸杞的功能营养成分含量比较

Table 6 Comparison of functional nutrition ingredients of four types

(mg · g⁻¹), (μg · g⁻¹)

营养成分	第 1 类	第 2 类	第 3 类	第 4 类
多糖	11.64±1.66a	13.22±0.63a	11.25±1.93a	10.15±0.80a
甜菜碱	2.26±0.53b	1.86±0.60b	4.96±0.67a	2.98±0.27b
芦丁	57.09±21.73a	20.78±12.57a	22.97±10.61a	43.27±10.36a
玉米黄素	200.52±30.73a	139.95±8.32b	84.55±13.61c	53.98±7.45c
叶黄素	39.26±1.43a	22.19±2.48b	9.88±1.84c	9.38±1.67c
β -隐黄质	5.94±1.03ab	7.28±1.52a	7.18±1.58a	3.36±0.48b
β -胡萝卜素	0.43±0.01b	0.24±0.16b	1.32±0.29a	0.43±0.12b
新黄质	5.01±1.33a	0.37±0.37b	0.48±0.31b	1.11±0.41b

注:同列数据后不同小写字母表示材料间差异显著($P<0.05$)。

3 结论与讨论

本研究通过对枸杞果实功能营养成分测定分析,结果表明,‘宁杞 6 号’、‘云南’、‘宁杞 7 号’、‘宁

杞 2 号’、‘新疆’和‘白花’的多糖含量高,‘宁杞 6 号’、‘宁杞 1 号’、‘中国’、‘宁杞 5 号’甜菜碱含量高,这些均可作为提取单一成分的药材。枸杞果实中黄酮类化合物主要为芦丁,这与 J. Z. Dong^[22]等

研究结果一致,其中‘宁杞 4 号’、‘新疆’、‘宁杞 3 号’、‘宁杞 6 号’和‘宁杞 7 号’等品种芦丁含量高。玉米黄素和叶黄素为枸杞果实中主要的类胡萝卜素,还包含少量的 β -隐黄质、 β -胡萝卜素、新黄质,这与康迎春^[23]等研究结果一致。其中,‘新疆’、‘柱筒’、‘截萼’、‘云南’和‘小麻叶’等品种类胡萝卜素含量较高。亦有研究报道^[25-26],在枸杞果实中检测到 3 种类胡萝卜素,分别为玉米黄素、 β -隐黄质和 β -胡萝卜素,并检测到大量的叶黄素二棕榈酸酯,本研究未检测到叶黄素二棕榈酸酯,这一差异可能主要与样品处理方法和检测方法不同有关。研究结果表明,不同品种枸杞在各个品质指标中存在一定差异,而关于品质指标的代谢途径的规律以及材料间各个指标产生差异的原因,还有待于进一步深入研究。

枸杞资源内在品质是许多因素相互作用的结果,通常情况下,评价枸杞资源品质指标较多,通过主成分分析,依据不同育种目的有针对性地选择指标,既避免了资源浪费又加快了育种进程,此评价方法已在多种植物中得到广泛应用^[27-28]。本研究运用主成分分析法,将测定的枸杞果实功能营养成分的 8 个指标简化成 4 个彼此不相关的综合指标,其累计贡献率达到 81.79%,反映了原始数据的绝大部分信息,减少了计算量,避免了原始数据的丢失和一些主观因素的干扰,评价结果更为客观、合理。

利用系统聚类分析方法,将 22 种枸杞分为 4 类,不同分类枸杞功能营养成分含量存在一定差异。第 1 类芦丁、玉米黄素、叶黄素和新黄质含量最高,可用于筛选高芦丁、高玉米黄素、高叶黄素和高新黄质枸杞资源;第 2 类可用于筛选高多糖、高 β -隐黄质枸杞资源;第 3 类可用于筛选高甜菜碱和高 β -胡萝卜素枸杞资源。利用聚类分析,将枸杞资源依据多种营养成分含量高低进行分析归类,各个分类资源品质特性不同,可根据育种目标进行筛选。本研究利用主成分分析和聚类分析对其进行综合评价,主成分分析对聚类分析的类群进行了排序和优选,是对聚类分析结果的深入分析。结合主成分分析,第 1 类枸杞综合品质高,其余枸杞品质居中或偏低。多指标的功能营养成分分析时,需引入多元分析方法对数据进行处理,将 2 种分析方法结合在一起,评价结果更为全面、可靠。

通过对 22 种枸杞果实功能营养成分综合评价,筛选出‘新疆’和‘柱筒’综合品质高,其多糖、甜菜碱、芦丁和类胡萝卜素含量都普遍较高或居中,可作为候选株系,在今后研究中可以结合其丰产性、生长条件及抗逆性等进一步筛选,为枸杞育种、品质改良及枸杞资源开发利用提供丰富的可利用资源。

参考文献:

[1] 白寿宁. 宁夏枸杞研究[M]. 银川:宁夏人民出版社,1999:1-3.

[2] FUKUDA T,YOKOYAMA J,OHASHI H. Phylogeny and biogeography of the genus *Lycium* (Solanaceae) inferences from chloroplast DNA sequences[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution,2001,19(2):246-258.

[3] 如克亚·加帕尔,孙玉敬,钟烈州,等. 枸杞植物化学成分及其生物活性的研究进展[J]. 中国食品学报,2013,13(8):161-172.

[4] RUKEYA J,SUN Y J,ZHONG L Z,et al. A review of phytochemical composition and bio-active of *Lycium barbarum* fruit (Goji)[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology,2013,13(8):161-172(in Chinese).

[4] 韩爱芝,白红进,耿会玲,等. 响应面法优化超声辅助提取黑果枸杞叶片总黄酮的工艺研究[J]. 西北林学院学报,2013,28(1):114-118.

[5] HAN A Z,BAI H J,GENG H L,et al. Optimization of ultrasound-assisted extraction of total flavonoids from *Lycium ruthenicum* leaves by response surface methodology[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(1): 114-118 (in Chinese).

[5] CHAO J C,CHIANG S W,WANG C C,et al. Hot water-extracted *Lycium barbarum* and *Rehmannia glutinosa* inhibit proliferation and induce apoptosis of hepatocellular carcinoma cells[J]. World J. Gastroenterol ,2006,12(28):4478-4484.

[6] YU M S,LEUNG S K Y,LAI S W,et al. Neuroprotective effects of anti-aging oriental medicine *Lycium barbarum* against β -amyloid peptide neurotoxicity[J]. Exp. Gerontol. ,2005,40(8/9):716-727.

[7] LIN F Y,LAI Y K,YU H C,et al. Effects of *Lycium barbarum* extract on production and immunomodulatory activity of the extracellular polysaccharopeptides from submerged fermentation culture of *Coriolus versicolor*[J]. Food Chemistry,2008,110(2):446-453.

[8] HO Y S,YU M S,LAI C S,et al. Characterizing the neuroprotective effects of alkaline extract of *Lycium barbarum* on β -amyloid peptide neurotoxicity[J]. Brain Research, 2007, 1158: 123-134.

[9] 张宇金,高世勇,何立巍. 甜菜碱的生物活性研究[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2006,22(1):13-16.

[10] YAO X,PENG Y,XU L J,et al. Phytochemical and biological studies of *Lycium* medicinal plants[J]. Chemistry and Biodiversity,2011,8(6):976-1010.

[11] WANG C C,CHANG S C,STEPHEN I B,et al. Isolation of carotenoids,flavonoids and polysaccharides from *Lycium barbarum* L. and evaluation of antioxidant activity[J]. Food Chemistry,2010,120(1):184-192.

[12] FRASER P D,BRAMLEY P M. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids[J]. Progress in Lipid Research, 2004,43:228-265.

[13] KOHLMEIER L,HASTINGS S B. Epidemiologic evidence of a role of carotenoids in cardiovascular disease prevention[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1995, 62: 1370-1376.

[14] 张波,秦皇,戴国礼,等. 不同产区宁夏枸杞果实的主成分分析

与综合评价[J]. 西北农业学报, 2014, 23(8): 155-159.

ZHANG B, QIN K, DAI G L, *et al.* Principal component analysis and comprehensive evaluation of the fruit quality of *Lycium barbarum* L. from different regions[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2014, 23(8): 155-159. (in Chinese)

[15] 张晓煜, 刘静, 王连喜. 枸杞品质综合评价体系构建[J]. 中国农业科学, 2004, 37(3): 416-421.

ZHANG X Y, LIU J, WANG L X. A synthetic system established for assessing the quality of *Lycium barbarum* L. [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(3): 416-421. (in Chinese)

[16] 王益民, 王玉, 许飞华, 等. 不同品种枸杞子营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2014, 35(1): 34-38.

WANG Y M, WANG Y, XU F H, *et al.* Nutritional composition analysis and evaluation on different varieties of *Lycium barbarum* L. fruit[J]. Food Science, 2014, 35(1): 34-38. (in Chinese)

[17] GB/T 18672-2002, 中华人民共和国国家标准枸杞(枸杞子)[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2002.

[18] 王晓菁, 吴燕, 王黎明. 固相萃取-高效液相色谱法测定枸杞中甜菜碱[J]. 食品科学, 2010, 31(8): 199-201.

[19] VLASE L, BENEDEC D, HANGANU D, *et al.* Evaluation of antioxidant and antimicrobial activities and phenolic profile for *Hyssopus officinalis*, *Ocimum basilicum* and *Teucrium chamaedrys*[J]. Molecules, 2014, 19(5): 5490-5507.

[20] 曹有龙, 刘兰英, 李晓莺, 等. 枸杞鲜果类胡萝卜素超声提取工艺优化及光稳定性[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(5): 20-22.

[21] 姚改芳, 张绍铃, 曹玉芬, 等. 不同栽培种梨果实中可溶性糖组分及含量特征[J]. 中国农业科学, 2010, 43(20): 4229-4237.

[22] DONG J Z, LU D Y, WANG Y. Analysis of flavonoids from leaves of cultivated *Lycium barbarum* L. [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2009, 64(3): 199-204.

[23] 康迎春, 尹跃, 赵建华, 等. 枸杞鲜果类胡萝卜素超声提取工艺优化及光稳定性[J]. 食品工业, 2014, 35(12): 270-273.

[24] 李浩霞, 尹跃, 安巍, 等. 枸杞果实发育阶段类胡萝卜素的变化[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(6): 139-142.

LI H X, YIN Y, AN W, *et al.* Changes of carotenoids accumulation of *Lycium barbarum* during fruit development[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(6): 139-142. (in Chinese)

[25] INBARAJ B S, LU H, HUNG C F, *et al.* Determination of carotenoids and their esters in fruits of *Lycium barbarum* Linnaeus by HPLC-DAD-APCI-MS[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2008, 47(4-5): 812-818.

[26] LIU Y L, ZENG S H, SUN W, *et al.* Comparative analysis of carotenoid accumulation in two goji (*Lycium barbarum* L. and *L. ruthenicum* Murr.) fruits[J]. BMC Plant Biology, 2014, 14(1): 269-282.

[27] 肖良俊, 宁德鲁, 彭明俊, 等. 滇东北核桃优良单株主要经济性状的主成分分析[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(2): 79-82.

XIAO L J, NING D L, PENG M J, *et al.* Principal component analysis for major economic characteristics of walnut in north-eastern Yunnan[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(2): 79-82. (in Chinese)

[28] 周天山, 米晓玲, 余有本, 等. 兰香型茶叶香气组分主成分分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 254-259.

ZHOU T S, MI X L, YU Y B, *et al.* Principal component analysis of aroma components in tea with orchid-like aroma[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 254-259. (in Chinese)

(上接第 130 页)

[11] WOESTE K, BURNS R, RHODES O, *et al.* Thirty polymorphic nuclear micro satellite loci from black walnut[J]. The Journal of Heredity, 2002, 93(1): 58-60.

[12] ROBTCHAUD R L, GLAUBITZ J C, RHODES O E, *et al.* A robust set of black walnut micro satellites for parentage and clonal identification[J]. New Forest, 2006, 32: 179-196.

[13] VICTORY E R, GLAUBIT J C, RHODES O E, *et al.* Genetic homogeneity in *Juglans nigra* (Juglanaeaceae) at nuclear microsatellites[J]. American Journal of Botany, 2006, 93(1): 118-126.

[14] FORONI I, RAO R, WOESTE K, *et al.* Characterisation of *Juglans regia* L. with SSR markers and evaluation of genetic relationships among cultivars and the ‘Sorrento’ landrace[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2005, 80(1): 49-53.

[15] POLLEGIONI P, WOESTE K, MUGNOZZA G S, *et al.* Retrospective identification of hybrid origin walnut plants by SSR fingerprinting and parentage analysis[J]. Molecular Breeding, 2009, 24: 321-335.

[16] 周贝贝, 马庆国, 王滑, 等. 核桃亲子鉴定方法的建立[J]. 中国农业科学, 2011, 44(20): 4258-4264

ZHOU B B, MA Q G, WANG H, *et al.* Establishment of walnut paternity test[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(20): 4258-4264. (in Chinese)

[17] 杨丽芳, 王芝学, 梁海永. 利用 SSR 技术对部分核桃品种(系)亲缘关系分析研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(1): 49-51, 54.

[18] BOTSTEIN D, WHITE R L, SKOLNICK M, *et al.* Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphisms[J]. American Journal of Human Genetics, 1980, 32(3): 314-331.

[19] 杨庆恩. 亲子鉴定 DNA 分型亲权指数的简化算法[J]. 中国法医学杂志, 1998, 13(2): 90.

[20] 陆惠玲, 杨庆恩, 侯一平. 双亲皆疑亲子鉴定 STR 分型亲权指数计算方法探讨[J]. 中国法医学杂志, 2001, 16(4): 210-213.

[21] BURDON R D. Genetic correlation as a concept for studying genotype-environment interaction in forest tree breeding[J]. Environments (E), 1977, 100: 1.

[22] VIA S, LANDE R. Genotype-environment interaction and the evolution of phenotypic plasticity[J]. Evolution, 1985, 39: 505-522.