

8 个人参果品种（系）的果实品质评价

张子琛¹, 王玉英¹, 张晚秋¹, 伍全会², 黄兴龙³, 张青华^{1*}

1. 云南农业大学园林园艺学院, 云南昆明 650201; 2. 云南省农业广播电视学校富源县分校, 云南曲靖 655500; 3. 石林县经济作物站, 云南昆明 652200

摘 要: 对石林县现有栽培人参果的不同品种（系）开展果实品质检测与评价分析, 为人参果产业发展提供指导依据。以石林县大田栽培的大圆果、圆果 1 号、圆果 2 号、圆果 3 号、石优 1 号、石优 2 号、石优 3 号和瑞玉 8 个主栽的人参果品种（系）为试材, 测定可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物、矿质元素、维生素 C、纤维素和氨基酸 7 项果实品质指标, 并对各项品质指标进行多重比较、相关性和主成分分析。果实品质指标多重比较结果显示: 圆果 2 号的可溶性糖含量最高, 大圆果和圆果 3 号的含量最低; 石优 2 号的可溶性蛋白含量最高, 石优 1 号和瑞玉含量最低; 圆果 2 号的可溶性固形物含量最高, 大圆果含量最低; 石优 3 号维生素 C 含量最高, 圆果 3 号含量最低; 圆果 2 号的粗纤维含量最高, 石优 1 号的含量最低; 圆果 2 号的微量元素含量最高, 圆果 3 号的含量最低; 大圆果的氨基酸含量最高, 石优 2 号的氨基酸含量最低。果实品质指标间的相关性分析结果显示: 不同品种（系）的各品质指标之间存在相关性, 其中可溶性糖和可溶性固形物彼此间存在显著相关性 ($P<0.05$)。果实品质指标主成分分析提取了前 3 个主成分且累积贡献率达到 83.955%, 能够反映原品质指标的大部分信息。以提取主成分总的特征值之和中各主成分对应的特征值所占的比例作为权重, 最终建立综合评价体系对 8 个不同品种（系）的人参果进行综合评价。综上, 供试 8 个人参果品种（系）均含有丰富的营养成分, 其中圆果 2 号综合品质最好, 可优选作为主栽品种或新种质创制的亲本材料。

关键词: 人参果; 不同品种（系）; 品质评价; 主成分分析

中图分类号: S668.9 文献标识码: A

Quality Evaluation of Eight Ginseng Fruit Varieties (Lines)

ZHANG Zichen¹, WANG Yuying¹, ZHANG Wanqiu¹, WU Quanhui², HUANG Xinglong³, ZHANG Qinghua^{1*}

1. College of Horticulture and Landscape, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China; 2. Fuyuan Branch, Yunnan Agriculture Broadcast and Television School, Qujing, Yunnan 655500, China; 3. Cash Crop Station of Shilin County, Kunming, Yunnan 652200, China

Abstract: The fruit quality of different varieties (lines) of cultivated ginseng fruit in Shilin county was tested and evaluated to provide guidance for the development of ginseng fruit industry. Seven fruit quality indexes of soluble sugar, soluble protein, soluble solid, mineral elements, vitamin C, cellulose and amino acid were determined by using eight main ginseng fruit varieties (lines) of Dayuangguo, Yuanguo No. 1, Yuanguo No. 2, Yuanguo No. 3, Shiyu No. 1, Shiyu No. 2, Shiyu No. 3 and Ruiyu cultivated in the field of Shilin county. By multiple comparison of quality indexes of *Panax ginseng* fruit, it was found that the content of soluble sugar in Yuanguo No. 2 was the highest, while that in Dayuangguo and Yuanguo No. 3 was the lowest; The soluble protein content of Shiyu No. 2 was the highest, and that of Shiyu No. 1 and Ruiyu was the lowest; The content of soluble solids of Yuanguo No. 2 was the highest, while that of big round fruit was the lowest; Shiyu No. 3 has the highest content of vitamin C and Yuanguo No. 3 has the lowest content; The crude fiber content of Yuanguo No. 2 was the highest, and that of Shiyu No. 1 was the lowest; The content of trace elements in Yuanguo No. 2 was the highest, while that in Yuanguo No. 3 was the lowest; The amino acid content of big round fruit was the highest, and that of Shiyu No. 2 was the lowest. There were significant correlations between

收稿日期 2022-12-05; 修回日期 2023-01-11

基金项目 云南省质量监督局人参果生产技术规程（地方标准项目）。

作者简介 张子琛（1998—），女，硕士研究生，研究方向：园林植物与观赏园艺。*通信作者（Corresponding author）：张青华（ZHANG Qinghua），E-mail: 1007860633@qq.com。

the quality indicators of different varieties (lines), among which soluble sugar and soluble solids were significantly correlated with each other ($P < 0.05$). The principal component analysis of 6 quality indicators was carried out, and the cumulative contribution of the first three principal components reached 83.955%, which could reflect most of the information of the original quality index. The resulting comprehensive evaluation system was established to evaluate eight different varieties (lines) of ginseng fruit. In conclusion, the above eight ginseng fruit varieties (lines) all contain rich nutritional components, among which Yuanguo No. 2 has the best comprehensive quality, and can be selected as the parent material for the main variety or new germplasm creation.

Keywords: ginseng fruit; different varieties (lines); quality evaluation; principal component analysis

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.03.010

人参果 (*Solanum muricatum*), 又名香瓜茄、香艳梨和南美仙桃^[1], 是茄科茄属的多年生草本植物^[2], 原产地为南美洲安第斯山北麓, 哥伦比亚、智利、秘鲁和厄瓜多尔等国家均有种植。20世纪80年代开始, 我国从国外引种栽培, 吉林、河北、江苏、陕西、宁夏等省开始零星种植人参果^[3]。20世纪90年代初, 云南省引入栽培人参果, 在石林独特的地理及气候环境条件下经过20余年栽培, 种植面积已超过1.04万 hm^2 , 产量达到25.1万t, 品牌价值达15亿元^[4]。人参果的果肉清甜, 风味独特, 具有高蛋白、低糖、低脂肪的特点, 并且含有多种矿物质和矿质元素(如钙、硒和锌等), 具有美容养颜、防癌、防龋齿和抑制心脑血管等保健功能, 同时也是糖尿病人的理想水果^[5]。目前, 石林人参果已成为石林的支柱产业。

水果品质可以分为外观品质和营养品质等^[6]。外观品质是人参果的指标之一, 首先标准外观为心脏或椭圆形, 果实要求着色均匀, 颜色为金黄色并且带有紫色条纹, 果面有光泽, 果味较清^[7]。除外部特征外, 果实的营养品质也是关系到品质好坏的重要指标, 营养品质包括可溶性糖、可溶性蛋白和氨基酸等。果实中的可溶性糖主要包括蔗糖、葡萄糖和果糖等, 是植物成熟的重要指标, 也是植物抗旱、植物生理和食品加工中的重要标准^[8-9]。可溶性蛋白含量为果实品质和营养的重要评价指标之一^[10]。人参果含有较为丰富的氨基酸种类, 主要有天冬氨酸、谷氨酸、精氨酸、丝氨酸等^[11]。果实内维生素主要包含维生素C、胡萝卜素、泛酸、生物素等^[12], 人参果果实中的维生素C含量比较丰富, 对人体的机能代谢有促进作用。人参果内含有粗纤维, 它是植物细胞壁的主要组成成分, 包括纤维素、半纤维素、木质素、果胶等, 某些膳食纤维还具有抗氧化和清除自由

基的功能^[13]。目前, 人参果研究相关报道集中在种植^[14]、加工^[15]或者是某一品种(系)的品质性状测定, 如人参果脂肪^[16]、可溶性蛋白^[17]、多糖^[18]、矿质元素^[19]、氨基酸^[11, 20]等, 尚未对多个品种(系)的品质进行综合分析。然而, 通过主成分分析的综合评价已在桃^[21]、苹果^[22-23]、猕猴桃^[24]等进行报道。本研究拟通过对石林县8个不同人参果品种(系)果实品质检测, 包括可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物、维生素、氨基酸、粗纤维以及矿质元素等进行主成分分析, 筛选出果实综合品质较优品种(系), 为石林选择栽培人参果品种(系)提供指导, 同时为产业新品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验人参果不同品种(系): 大圆果、圆果1号、圆果2号、圆果3号、瑞玉、石优1号、石优2号和石优3号共计8个材料, 均为由石林彝族自治县经济作物站选育的杂交种。人参果果实采自石林彝族自治县西街口镇, 于3月底栽植, 各品种(系)种植面积各200 m^2 , 整地做畦, 畦高20cm, 宽40cm, 栽培间距60cm $\times$ 80cm。石林气候湿润、雨量适中, 种植地土壤为红壤土, 通过打杈、病虫害防治、疏花疏果、追肥等措施对人参果苗开展日常管理工作。

1.2 方法

1.2.1 取样 于8个人参果品种(系)果实成熟期(9月中旬至10月初), 采用5点取样法, 从各个品种(系)的种植地块的中间和4个方向选取5棵人参果植株进行果实采集, 每个地块采30个果实。采后快速运回实验室, 4 $^{\circ}\text{C}$ 下储藏备用。

1.2.2 品质指标测定 采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[24]; 采用考马斯亮蓝-G250法测定可溶

性蛋白质含量^[10]；采用折射仪法测定可溶性固形物含量（NY/T 2637—2014 水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定 折射仪法）；采用 2,6-二氯酚酚滴定法^[25]测定维生素 C 含量；根据国家标准 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》测定人参果粗纤维含量；采用电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-AES）测定各矿质元素含量^[26]；依据 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》测定各氨基酸含量。

1.2.3 不同品种（系）的综合分析 将 8 个不同品种（系）的人参果的不同品质指标数据进行总结整理，再针对每个品质指标进行方差分析；将各品质指标进行相关分析，分析指标间的相关性；把各项品质指标通过降维的方式，按特征值大于 1 的原则选取主成分，再得出综合分析模型，比较不同品种（系）得分，得分第一为最优的人参果品种（系）。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 26.0 软件对数据进行统计和方差分析、相关性分析、主成分分析。

2 结果与分析

2.1 8 个人参果品种（系）可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物、维生素 C 和粗纤维分析

由表 1 可知，不同人参果品种（系）可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物、维生素 C、粗

纤维含量之间均具有显著差异。圆果 2 号的可溶性糖含量最高，其次是圆果 1 号，二者无显著差异，圆果 2 号的可溶性糖含量显著高于瑞玉、石优 3 号、石优 2 号、石优 1 号、圆果 3 号和大圆果，分别高 114.8%、138.6%、152.6%、152.6%、177.1%和 177.1%。石优 2 号的可溶性蛋白含量最高，与圆果 3 号、圆果 1 号三者之间无显著差异，但显著高于圆果 2 号、大圆果、石优 3 号、石优 1 号、瑞玉，分别高 28.9%、38.1%、38.1%、65.7%、65.7%。不同品种（系）的人参果可溶性固形物的含量不同，其中圆果 2 号的可溶性固形物含量最高，与石优 3 号无显著差异，但显著高于大圆果、圆果 3 号、石优 1 号、石优 2 号、瑞玉，分别高 44.2%、39.0%、20.4%、29.8%、34.3%。石优 3 号维生素 C 含量最高，并显著高于大圆果、圆果 1 号、圆果 2 号、圆果 3 号、石优 1 号、石优 2 号、瑞玉，分别高 23.3%、47.5%、92.3%、98.4%、9.1%、39.5%、45.7%。圆果 2 号的粗纤维含量最高，并显著高于大圆果、圆果 1 号、圆果 3 号、石优 1 号、石优 2 号、石优 3 号、瑞玉，分别高 60.0%、204.8%、60.0%、60.0%、220.0%、113.3%、113.3%。

综上，圆果 2 号的可溶性糖、可溶性固形物的含量最高，石优 2 号的可溶性蛋白含量最高，石优 3 号的维生素 C 含量最高，圆果 2 号的粗纤维含量最高，且显著高于大部分品种（系）。

表 1 8 个人参果品种（系）可溶性糖、可溶性蛋白、可溶性固形物、维生素 C 以及粗纤维分析
Tab. 1 Analysis of soluble sugars, soluble proteins, soluble solids, vitamin C and crude fibre of eight ginseng fruits (lines)

品种 Cultivar	可溶性糖 Soluble sugar/(mg·kg ⁻¹)	可溶性蛋白 Soluble protein/(mg·kg ⁻¹)	可溶性固形物 Soluble solids/%	维生素 C Vitamin C/(mg·kg ⁻¹)	粗纤维 Crude fibre/%
大圆果	31 000.00±3000.00 ^c	4200.00±556.78 ^{bc}	8.10±0.46 ^d	610.00±30.41 ^c	0.40±0.04 ^b
圆果 1 号	81 900.00±1200.00 ^a	5200.00±888.82 ^{ab}	9.96±0.58 ^{bc}	510.00±30.79 ^d	0.21±0.01 ^d
圆果 2 号	85 900.00±3386.74 ^a	4500.00±264.58 ^{bc}	11.68±0.81 ^a	391.00±18.73 ^e	0.64±0.04 ^a
圆果 3 号	31 000.00±264.58 ^c	5700.00±793.73 ^a	8.40±0.66 ^{cd}	379.00±51.00 ^e	0.40±0.02 ^b
石优 1 号	34 000.00±360.56 ^{bc}	3500.00±360.56 ^c	9.70±0.56 ^{bcd}	689.00±26.06 ^b	0.40±0.02 ^b
石优 2 号	34 000.00±871.78 ^{bc}	5800.00±624.50 ^a	9.00±0.59 ^{bcd}	539.00±32.70 ^d	0.20±0.03 ^d
石优 3 号	36 000.00±2451.53 ^{bc}	4200.00±800.00 ^{bc}	10.50±1.35 ^{ab}	752.00±38.22 ^a	0.30±0.01 ^c
瑞玉	40 000.00±2475.88 ^b	3500.00±264.58 ^c	8.70±1.60 ^{cd}	516.00±33.65 ^d	0.30±0.02 ^c

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference ($P<0.05$).

2.2 8 个人参果品种（系）矿质元素含量分析

由表 2 可知，人参果果实中矿质元素含量较为丰富，不同品种（系）的含量存在差异，果实

含有的矿质元素的多少依次为钾、磷、钙、镁、铜、铁、钠、锌、锰和硒，全部品种（系）按总量大小依次为：圆果 2 号>圆果 1 号>石优 1 号>

大圆果>石优 3 号>石优 2 号>瑞玉>圆果 3 号。同时，果实的单个矿质元素含量之间存在差异，其中，圆果 1 号磷元素的含量最高，圆果 2 号、石优 1 号、石优 3 号的磷元素含量高于平均值；石优 3 号的锌元素含量最多，石优 2 号、石优 3 号的锌元素含量均在平均值以上；圆果 3 号的锰元素含量最高，圆果 3 号的锰元素含量高于平均值；镁元素含量最高的是圆果 2 号，圆果 1 号、圆果 3 号、石优 1 号的镁元素含量均在平均值以上；圆果 2 号的钙元素含量最高，大圆果、圆果 2 号、

圆果 3 号、石优 2 号的钙含量均在平均值以上；石优 2 号的铜元素含量最高，石优 3 号的铜元素含量超过平均值；大圆果的钠元素含量最高，圆果 3 号、石优 2 号的钠元素含量均在平均值以上；圆果 2 号的钾元素含量最高，大圆果、圆果 1 号、石优 1 号的钾元素含量均在平均值以上；各品种（系）的硒含量相同；大圆果的铁元素含量最高，且只有大圆果的铁元素含量在平均值以上。

综上，圆果 2 号的矿质元素含量最高，磷、镁、钙、钾均高于平均水平。

表 2 8 个人参果品种（系）矿质元素分析
Tab. 2 Mineral element content analysis of eight ginseng fruits (lines) mg/kg

品种 Cultivar	P	Zn	Mn	Mg	Ca	Cu	Na	K	Se	Fe	总量 Total
大圆果	64.8	2.00	0.300	59.9	81.8	0.444	4.130	1430	0.006	6.25	1649.630
圆果 1 号	207.0	2.00	0.300	71.0	54.9	0.658	3.000	1480	0.006	3.00	1821.864
圆果 2 号	177.0	2.00	0.302	79.5	100.0	0.642	3.000	1680	0.006	3.00	2045.450
圆果 3 号	40.8	2.00	0.359	78.5	72.3	0.762	3.950	1040	0.006	3.00	1241.677
石优 1 号	121.0	2.00	0.300	62.9	29.3	0.666	3.000	1520	0.006	3.00	1742.172
石优 2 号	78.3	3.87	0.300	46.2	68.8	38.800	3.520	1300	0.006	3.00	1542.796
石优 3 号	114.0	4.90	0.300	52.4	38.5	32.200	3.000	1310	0.006	3.00	1558.306
瑞玉	87.0	2.00	0.300	50.6	60.3	0.680	3.000	1330	0.006	3.00	1536.886
平均值	111.238	2.596	0.308	62.625	63.238	9.357	3.325	1386.25	0.006	3.406	1642.348

2.3 8 个人参果品种（系）氨基酸含量分析

由表 3 可知，8 个不同品（系）人参果果实中氨基酸总量由高到低依次为：大圆果>圆果 3 号>圆果 1 号>圆果 2 号>石优 3 号>石优 1 号>石优 2 号>瑞玉。圆果 1 号的天冬氨酸含量最高，大圆果、圆果 2 号、圆果 3 号含量均在平均值以上；大圆果的苏氨酸含量最高，圆果 3 号、石优 3 号含量均在平均值以上；大圆果的丝氨酸含量最高，圆果 3 号、石优 3 号、瑞玉含量均在平均值以上；大圆果的谷氨酸含量最高，圆果 1 号、石优 3 号含量均在平均值以上；大圆果的甘氨酸含量最高，圆果 1 号、圆果 2 号、圆果 3 号含量均高于平均值；大圆果的丙氨酸含量最高，圆果 3 号的含量在平均值以上；大圆果的缬氨酸含量最高，圆果 1 号、圆果 2 号、圆果 3 号的缬氨酸含量均在平均含量以上；石优 1 号、石优 3 号和瑞玉的蛋氨酸含量最高，且大圆果含量高于平均值；大圆果的异亮氨酸含量最高，圆果 2 号、圆果 3 号含量均高于平均值；大圆果的亮氨酸含量最高，圆果 2 号、圆果 3 号的亮氨酸含量均在平均值以上；大圆果的酪氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸含量均为最高，且圆果 3 号的这 3 种氨基酸含量均在平均值

以上；圆果 2 号的组氨酸含量最高，大圆果、圆果 1 号含量均在平均值以上；大圆果的精氨酸含量最高，圆果 2 号、圆果 3 号、石优 3 号、瑞玉含量均高于平均值；圆果 3 号的脯氨酸含量最高，大圆果、圆果 1 号、圆果 2 号的脯氨酸含量均在平均值以上。

综上，大圆果的氨基酸总量最高，天冬氨酸、组氨酸、脯氨酸含量在平均值以上，其他类别的氨基酸含量均为最高。

2.4 不同品种（系）人参果品质性状相关性分析

由表 4 可知，可溶性糖与可溶性固形物呈显著正相关，相关系数是 0.717；其他品质性状彼此之间均存在相关性，但相关性不显著。相关性分析结果说明不同品种（系）人参果果实各品质指标间既存在一定相关性又存在一定独立性，包含一些重叠信息，有必要采用主成分分析法对不同品种（系）人参果的品质性状进行综合评价。

2.5 8 个人参果品种（系）品质性状主成分分析

为了从 8 个不同品种（系）人参果中筛选出品质最优的品种（系），采用主成分分析法，通过降维的方式，将可溶性糖、可溶性蛋白质、可溶固形物、维生素 C、粗纤维、氨基酸 6 个变量

表 3 8 个人参果品种 (系) 氨基酸分析

Tab. 3 Analysis of amino acid content of eight ginseng fruits (lines)

mg/kg

品种 Cultivar	天冬氨酸 Asp	苏氨酸 Thr	丝氨酸 Ser	谷氨酸 Glu	甘氨酸 Gly	丙氨酸 Ala	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	酪氨酸 Tyr	苯丙氨酸 Phe	赖氨酸 Lys	组氨酸 His	精氨酸 Arg	脯氨酸 Pro	总量 Total
大圆果	1100	160	190	670	190	160	160	52	150	260	170	150	250	110	160	210	4142
圆果 1 号	1480	100	130	480	160	130	150	40	110	190	90	110	180	130	120	180	3780
圆果 2 号	1390	110	110	460	170	120	140	40	130	230	110	120	170	135	130	210	3775
圆果 3 号	1400	120	150	440	160	140	130	44	120	210	130	130	200	92	140	250	3856
石优 1 号	750	110	120	470	140	120	110	57	110	170	100	100	170	74	110	130	2841
石优 2 号	500	89	140	340	130	120	110	45	100	170	110	110	160	69	110	100	2403
石优 3 号	1000	120	150	500	130	130	110	57	100	170	100	120	160	78	130	130	3185
瑞玉	490	110	170	420	150	130	110	57	110	200	100	120	180	77	130	130	2684
平均值	1014	115	145	473	154	131	128	49	116	200	114	120	184	96	129	168	3333

表 4 不同品种 (系) 人参果品质性状相关性分析

Tab. 4 Correlation analysis of different varieties of ginseng fruits (lines)

性状 Character	可溶性糖 Soluble sugar	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性固形物 Soluble solids	维生素 C Vitamin C	粗纤维 Crude fibre	氨基酸 Amino acid
可溶性糖	1.000					
可溶性蛋白	0.113	1.000				
可溶性固形物	0.717 [*]	-0.122	1.000			
维生素 C	-0.444	-0.515	0.001	1.000		
粗纤维	0.308	-0.265	0.439	-0.354	1.000	
氨基酸	0.348	0.166	0.037	-0.331	0.455	1.000

注: *表示显著相关 ($P<0.05$) 。
Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$).

简化为少数几个综合变量反映原来品质性状的大部分的信息。据表 5 可知,按照特征值大于 1 的原则,选取 3 个主成分,第一主成分的贡献率为 40.403%,第二主成分的贡献率为 26.27%,第三主成分的贡献率为 17.282%,累计贡献率达到 83.955%,可以反映 8 个不同品种 (系) 人参果的大部分品质特征。

据表 6 可知,第一主成分中主要受可溶性糖、粗纤维含量的较大载荷值的影响,载荷值分别是 0.838、0.699,说明这 2 个品质指标与主成分 1 均为正相关关系;第二主成分中维生素 C 和可溶性蛋白有较大的载荷值 (0.601、-0.852),表明维生素 C 与主成分 2 呈正相关,可溶性蛋白与主成分 2 呈负相关,主成分 2 受这 2 个品质指标影响较大;第三主成分中粗纤维、氨基酸、可溶性固形物有较大的载荷值 (-0.493、-0.545、0.465),主成分 3 主要受这 3 个品质性状的影响,粗纤维、氨基酸 2 个品质性状均与主成分 3 呈负相关,可溶性固形物与主成分 3 呈正相关。

表 5 人参果品质性状主成分分析

Tab. 5 Principal component analysis results of quality characters of ginseng fruit

项目 Item	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3
特征值	2.424	1.576	1.037
贡献率/%	40.403	26.27	17.282
累积贡献率/%	40.403	66.673	83.955

2.6 8 个人参果品种 (系) 品质性状综合评价

用表 6 中各指标变量的主成分载荷值除以表 5 种特征值的平方根,得到 3 个主成分中每个指标对应的特征向量,并将各品质指标标准化,标准化结果: x_1 (可溶性糖)、 x_2 (可溶性蛋白)、 x_3 (可溶性固形物)、 x_4 (维生素)、 x_5 (粗纤维)、 x_6 (氨基酸) 见表 7,以每个品质指标的成分矩阵的特征向量为权重构建这 3 个主成分的函数表达式:

$$y_1=0.538x_1+0.148x_2+0.625x_3-0.414x_4+0.557x_5+0.605x_6$$

表 6 人参果品质性状的特征向量及载荷值
Tab. 6 Eigenvector and load values of quality characters of ginseng fruit

性状 Character	主成分 1 PC1		主成分 2 PC2		主成分 3 PC3	
	特征向量 Eigenvector	载荷值 Load values	特征向量 Eigenvector	载荷值 Load values	特征向量 Eigenvector	载荷值 Load values
可溶性糖	0.538	0.838	0.088	0.111	0.403	0.410
可溶性蛋白	0.148	0.186	-0.837	-0.852	0.328	0.334
可溶性固形物	0.625	0.636	0.447	0.561	0.457	0.465
维生素 C	-0.414	-0.644	0.590	0.601	0.033	0.034
粗纤维	0.557	0.699	0.266	0.334	-0.484	-0.493
氨基酸	0.605	0.616	-0.219	-0.223	-0.535	-0.545

$y_2=0.088x_1-0.837x_2+0.447x_3+0.590x_4+0.266x_5-0.219x_6$
 $y_3=0.403x_1+0.328x_2+0.457x_3+0.033x_4-0.484x_5-0.535x_6$
以 3 个主成分对应的方差相对贡献率为权重，将各品种主成分得分和相应的权重进行线性加权求和，最终得到不同品种（系）人参果的品质性状的综合评价模型：

$F=0.370x_1-0.123x_2+0.534x_3-0.008x_4+0.252x_5+0.112x_6$ ，如表 8 所示。人参果果实品质综合评价得分越高，综合性状越好，评分由高到低依次是：圆果 2 号、圆果 1 号、石优 3 号、石优 1 号、瑞玉、大圆果、圆果 3 号、石优 2 号，综合得分分别为：2.200、0.498、0.185、0.013、-0.533、-0.610、-0.716、-1.037。

表 7 品质性状的数据标准化处理
Tab. 7 Data standardization processing of quality characters

品种 Cultivar	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
大圆果	-0.679	-0.414	-1.172	0.469	0.311	1.262
圆果 1 号	1.520	0.689	0.379	-0.291	-1.040	0.697
圆果 2 号	1.692	-0.083	1.814	-1.196	2.018	0.690
圆果 3 号	-0.679	1.241	-0.922	-1.287	0.311	0.816
石优 1 号	-0.550	-1.186	0.163	1.070	0.311	-0.768
石优 2 号	-0.550	1.351	-0.421	-0.070	-1.111	-1.452
石优 3 号	-0.463	-0.414	0.830	1.549	-0.400	-0.231
瑞玉	-0.291	-1.186	-0.671	-0.245	-0.400	-1.013

表 8 不同品种（系）人参果品质性状综合评价得分
Tab. 8 Comprehensive evaluation scores of quality characters of ginseng fruit of different varieties (lines)

品种 Cultivar	y_1	y_2	y_3	F
大圆果	-0.416	-0.154	-1.755	-0.610
圆果 1 号	1.120	-0.875	1.133	0.498
圆果 2 号	4.068	0.709	0.099	2.200
圆果 3 号	0.442	-2.365	-0.918	-0.716
石优 1 号	-1.104	1.899	-0.240	0.013
石优 2 号	-1.827	-1.387	1.341	-1.037
石优 3 号	-0.796	1.535	0.425	0.185
瑞玉	-1.486	0.638	-0.085	-0.533

3 讨论

石林人参果具有良好的营养价值和开发前

景，但是石林县人参果品种单一、缺乏优质种苗等问题严重影响了石林人参果品质的发展。通过主成分分析的综合评价，能在保留大部分原始信息的基础上化繁为简，将多个指标总结成几个主要成分，进而进行综合评价。主成分分析法不仅可以筛选出果实综合品质较优品种（系），而且广泛应用于各类果蔬^[21-23, 27]的果实品质分析中。在果实品质分析的品质指标测定方面，多针对果实的可溶性糖^[21, 23, 27]、维生素 C^[27-28]、粗纤维含量^[29-30]、可溶性蛋白^[28, 30]、氨基酸含量^[30]、矿物质元素^[30-31]、可溶性固形物^[27, 31]进行检测与分析。因此，本研究通过对石林主栽和试验地种植的 8 个人参果品种（系）的成熟果实的品质指标测定并进行多重比较、相关性分析、主成分分析，

最后进行综合评价, 筛选出最优品种的评价方法可行。

果实的营养品质直接影响其风味、口感等, 是商品价值的重要指标。人参果果肉爽甜多汁、清香味美, 含有丰富的可溶性糖、可溶性固形物、可溶性蛋白质、维生素 C、矿质元素、氨基酸等, 这些营养品质是衡量人参果果实风味的重要指标^[32], 对人参果的风味和营养品质评价起着至关重要的作用。对石林县不同品种(系)人参果各种品质性状进行测定, 可溶性糖含量在 31 000~85 900 mg/kg 之间; 可溶性蛋白含量在 3500~5800 mg/kg 之间; 可溶性固形物在 8.1%~11.68% 之间, 维生素 C 含量在 37~75.2 mg/kg 之间, 粗纤维含量在 0.20%~0.64% 之间, 矿质元素含量在 1241.677~2045.45 mg/kg 之间, 氨基酸总含量为 2403~4142 mg/kg。本研究中人参果的可溶性糖含量与其他学者的研究^[33]较为一致, 粗纤维^[34]、氨基酸^[19]、矿质元素^[19, 33]、可溶性蛋白^[11, 33]、维生素 C^[11, 33]等营养品质的测定结果与其他学者有所不同。营养品质上的差异可能取决于不同品种(系)、不同生长环境, 或者是由不同测定方法与测定误差导致, 其原因有待进一步研究。

通过各品质指标之间的相关性分析可知, 人参果的各个品质指标之间存在相关性, 可溶性糖与可溶性固形物含量呈显著正相关, 其余指标之间也存在一定相关性。而主成分分析是一种多变量分析方法, 通过数据降维的方法将原来较多变量重新组合成一组新的互相无关的几个综合变量, 同时根据实际需要选出几个较少的综合变量, 并尽可能多地反映原来变量的信息。主成分分析是水果蔬菜品质评价的主要方法之一, 在猕猴桃^[24]、桃^[21]、番茄^[27]等果蔬的品质评价方面多有应用。本研究采用主成分分析法, 将 6 个品质指标转化为 3 个主成分, 累计贡献率达到 83.955% 并进行综合分析, 得出不同品种(系)人参果的品质性状的综合评价模型:

$F=0.370x_1-0.123x_2+0.534x_3-0.008x_4+0.252x_5+0.112x_6$, 评价结果可知评分最高的人参果品种(系)为圆果 2 号, 且可溶性糖、可溶性固形物、矿质元素是人参果品质评价的关键指标, 这些品质指标影响着人参果果实的口感与风味。人参果富含大量的矿质元素、可溶性固形物和氨基酸等, 对人体的健康非常有益, 通过综合评价, 圆果 2 号果品品质最优。

参考文献

- [1] LIM T K. *Solanum muricatum*[M]//Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants. Springer, Dordrecht, 2013: 389-394.
- [2] 赵婧, 党梦瑶, 王铂铮, 李全福, 李文婧, 思雄, 巩江, 倪士峰. 香瓜茄的养生保健价值分析[J]. 宁夏农林科技, 2013, 5403: 123-124.
ZHAO J, DANG M Y, WANG B Z, LI Q F, LI W J, SI X, GONG J, NI S F. Brief discussion on health value of *Solanum muricatum* A R[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2013, 5403: 123-123. (in Chinese)
- [3] 冯云格, 王士超, 付海美, 陈年来. 人参果正名的必要性和认知[J]. 农业与技术, 2020, 40(12): 162-166.
FENG Y G, WANG S C, FU H M, CHEN N L. Necessity and cognition of renaming *Solanum muricatum*[J]. Agriculture and Technology, 2020, 40(12): 162-166. (in Chinese)
- [4] 任翊翔, 张雪荣. 点石成果点果成金[N]. 昆明日报, 2022-07-06(006).
REN Y X, ZHANG X R. The *Solanum muricatum* planted in rocky desertification soil brings better economic benefits to the people of Shilin county[N]. Kunming Daily, 2022-07-06(006). (in Chinese)
- [5] 康红霞, 张永星, 王艺璇, 张瑾. 关于武威市人参果营养价值及产业发展问题的研究[J]. 中国食品, 2022(13): 118-120.
KANG H X, ZHANG Y X, WANG Y X, ZHANG J. Study on the nutritional value and industrial development of *Solanum muricatum* in Wuwei city[J]. China Food, 2022(13): 118-120. (in Chinese)
- [6] 刘淑梅, 苏晓梅, 刘磊, 王施慧, 侯丽霞, 郎丰庆. 不同番茄品种的品质分析与评价[J]. 辽宁农业科学, 2020(5): 21-23.
LIU S M, SU X M, LIU L, WANG S H, HOU L X, LANG F Q. Analysis and assessment on nutritional quality of different tomato varieties[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2020(5): 21-23. (in Chinese)
- [7] 卢传圣, 张献礼. 形形色色的人参果[J]. 中国果菜, 2003(1): 32.
LU C S, ZHANG X L. All kinds of *Solanum muricatum*[J]. China Fruit & Vegetable, 2003(1): 32. (in Chinese)
- [8] 宋奇, 杨杰, 鲁瑶, 王添敏, 邸学, 宋慧鹏, 张慧. 基于硫酸-苯酚法的可溶性糖高通量测定方法及其应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(5): 1480-1487
SONG Q, YANG J, LU Y, WANG T M, DI X, SONG H P, ZHANG H. High-throughput method for determining soluble suger based on sulfuric acid-phenol method and its application[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(5): 1480-1487. (in Chinese)

- [9] 谭杉杉, 仇亮, 段奥其, 贾敏, 刘燕花, 熊爱生. 次氯酸钠处理种子对芹菜幼苗可溶性糖含量及相关基因表达的影响[J]. 植物生理学报, 2022, 58(1): 165-172.
TAN S S, QIU L, DUAN A Q, JIA M, LIU Y H, XIONG A S. Effects of seed-soaking with sodium hypochlorite on soluble sugar content and expression profiles of related genes of celery seedlings[J]. Plant Physiology Journal, 2022, 58(1): 165-172. (in Chinese)
- [10] 邓丽莉, 潘晓倩, 生吉萍, 申琳. 考马斯亮蓝法测定苹果组织微量可溶性蛋白含量的条件优化[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 185-189.
DENG L L, PAN X Q, SHENG J P, SHEN L. Optimization of experimental conditions for the determination of water soluble protein in apple pulp using coomassie brilliant blue method[J]. Food Science, 2012, 33(24): 185-189. (in Chinese)
- [11] 张林瑞. 人参果的营养价值与温室栽培技术要点[J]. 甘肃科技, 2008, 24(24): 176-177, 163.
ZHANG L R. Nutritional value of *Solanum muricatum* and key points of greenhouse cultivation technology[J]. Gansu Science and Technology, 2008, 24(24): 176-177, 163. (in Chinese)
- [12] 张传伟, 宋述尧, 赵春波, 温涛, 孙凯. 不同品种番茄营养品质分析与评价[J]. 中国蔬菜, 2011(18): 68-73.
ZHANG C W, SONG S Y, ZHAO C B, WEN T, SUN K. Analysis and assessment on nutritional quality of different tomato varieties[J]. China Vegetables, 2011(18): 68-73. (in Chinese)
- [13] 周勇辉. 6种常见的蔬菜中粗纤维含量的测定[J]. 现代园艺, 2019(1): 13-14.
ZHOU Y H. Determination of crude fiber content in six common vegetables[J]. Contemporary Horticulture, 2019(1): 13-14. (in Chinese)
- [14] 马兴志. 人参果种植技术[J]. 农村新技术, 2022(2): 19-20.
MA X Z. *Solanum muricatum* planting technology[J]. New rural Technology, 2022(2): 19-20. (in Chinese)
- [15] 刘琨毅, 罗慧, 李崇萍, 马燕, 程建胜, 赵菊润, 张新风, 赵明. 响应面优化人参果铁皮石斛花复合果酒生产工艺[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(18): 56-64.
LIU K Y, LUO H, LI C P, MA Y, CHENG J S, ZHAO J R, ZHANG X F, ZHAO M. Response surface optimization of production process of pepino fruit and *Dendrobium officinale* flower compound fruit wine[J]. Food Research and Development, 2021, 42(18): 56-64. (in Chinese)
- [16] 张建和, 符伟玉, 李尚德. 香瓜茄、人心果的营养成分分析研究[J]. 广东微量元素科学, 2007, 14(3): 48-52.
ZHANG J H, FU W Y, LI S D. Study on the nutritive compositions of *Solanum muricatum* and *Manihara zapota*[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2007, 14(3): 48-52. (in Chinese)
- [17] 张喜峰, 王银芳, 李彩霞, 杨锐, 张芬琴. 人参果可溶性蛋白制备及其功能性质研究[J]. 食品工业科技, 2012(2): 330-333.
ZHANG X F, WANG Y F, LI C X, YANG R, ZHANG F Q. Study on extraction and functional properties of soluble protein from *Solanum muricatum*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012(2): 330-333. (in Chinese)
- [18] 任雪峰, 吴冬青, 王永生, 杨晓光, 安红钢. 人参果多糖超声提取工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(1): 9-11.
REN X F, WU D Q, WANG Y S, YANG X G, AN H G. Study on ultrasonic extraction process of polysaccharides from *Solanum muricatum*[J]. Food Research and Development, 2010, 31(1): 9-11. (in Chinese)
- [19] 符伟玉, 张建和, 李尚德. 香瓜茄微量元素含量的分析[J]. 广东微量元素科学, 2004, 11(8): 49-51.
FU W Y, ZHANG J H, LI S D. Analysis on trace elements in *Solanum muricatum*[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2004, 11(8): 49-51. (in Chinese)
- [20] 王顺新, 郭孝辉, 王小伟. 人参果营养及功能研究进展[J]. 现代食品, 2016(3): 5-6.
WANG S X, GUO X H, WANG X W. Research progress on nutritional components and function of *Solanum muricatum*[J]. Modern Food, 2016(3): 5-6. (in Chinese)
- [21] 戴瀚铖, 成纪予. 不同品种鲜切桃贮藏期品质变化与主成分分析[J]. 包装工程, 2021, 42(19): 85-92.
DAI H C, CHENG J Y. Quality changes and principal component analysis in fresh-cut peach of different varieties[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(19): 85-92. (in Chinese)
- [22] 李芳红, 张晓煜, 冯蕊, 杨永娥, 丁永平, 苏雨弦. 陕甘宁地区红富士苹果品质评价[J]. 北方园艺, 2021(19): 29-36.
LI F H, ZHANG X Y, FENG R, YANG Y E, DING Y P, SU Y X. Quality evaluation of Red Fuji Apples in Shaanxi-Gansu-Ningxia area[J]. Northern Horticulture, 2021(19): 29-36. (in Chinese)
- [23] 孙燕霞, 唐岩, 宋来庆, 张学勇, 赵玲玲, 刘大亮, 刘学庆, 王平, 刘学卿. 保加利亚主栽苹果品种在烟台试栽的果实品质分析[J]. 中国南方果树, 2022, 51(3): 163-165, 170.
SUN Y X, TANG Y, SONG L Q, ZHANG X Y, ZHAO L L, LIU D L, LIU X Q, WANG P, LIU X Q. Analysis of the fruit quality of the main apple cultivars of Bulgaria in Yantai[J]. South China Fruits, 2022, 51(3): 163-165, 170. (in Chinese)
- [24] 江海, 陈小华, 杜佳宝, 杨清云. 基于主成分分析评价陕南地区主栽猕猴桃的品质[J]. 陕西理工大学学报(自然科学版), 2021, 37(1): 43-49.

- JIANG H, CHEN X H, DU J B, YANG Q Y. Principal component analysis of quality indexes of main kiwifruit cultivars planted in southern Shaanxi[J]. Journal of Shaanxi University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 37(1): 43-49. (in Chinese)
- [25] 徐朝阳. 2,6-二氯酚酞酚滴定法与碘量法测定蔬菜水果中维生素C方法的准确度比较[J]. 食品安全导刊, 2021(25): 100-101.
- XU C Y. Comparison of accuracy between 2,6-dichlorophenol indophenol titration and iodometry for the determination of vitamin C in vegetables and fruits[J]. China Food Safety Magazine, 2021(25): 100-101. (in Chinese)
- [26] 梁宝璐, 刘长利, 王硕, 王翼飞, 吴惠慧, 王晖, 张淑华. 不同前处理方法对 ICP-AES 甘草中铜镍锰铅硒元素测定的影响[J]. 现代医药卫生, 2015, 31(1): 40-41, 44.
- LIANG B L, LIU C L, WANG S, WANG Y F, WU H H, WANG H, ZHANG S H. Effect on determination of copper, nichel, manganese, lead, selenium in *Glycyrrhiza uralensis* with ICP-AES and various pretreatment methods[J]. Journal of Modern Medicine & Health, 2015, 31(1): 40-41, 44. (in Chinese)
- [27] 岳冬, 鲁博, 刘娜, 朱为民, 郭世荣. 基于主成分分析法的番茄内在品质评价指标的选择[J]. 上海农业学报, 2017, 33(1): 88-92.
- YUE D, LU B, LIU N, ZHU W M, GUO S R. Selection of internal quality evaluation index of tomato based on principal component analysis[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2017, 33(1): 88-92. (in Chinese)
- [28] 郝麒麟. 巫山脆李品质评价研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
- HAO Q L. Study on quality evaluation of Wushan plum[D]. Chongqing: Southwest University, 2021. (in Chinese)
- [29] 张武君, 刘保财, 陈菁瑛, 黄颖桢, 赵云青. 17个紫山药地方品种的品质比较与评价[J]. 亚热带农业研究, 2021, 17(4): 231-237.
- ZHANG W J, LIU B C, CHEN J Y, HUANG Y Z, ZHAO Y Q. Comparison and evaluation on the quality of 17 local varieties of purple yam[J]. Subtropical Agriculture Research, 2021, 17(4): 231-237. (in Chinese)
- [30] 谭亮, 李军乔, 李玉林, 王环, 杲秀珍, 赵静, 马家麟, 冀恬, 王虹蕾. 青海不同产地蕨麻营养成分分析及品质评价[J]. 食品与生物技术学报, 2022, 41(1): 95-111.
- TAN L, LI J Q, LI Y L, WANG H, GAO X Z, ZHAO J, MA J L, JI T, WANG H L. Analysis of nutritional compositions and evaluation of quality in *Potentilla anserine* L. from Qinghai different producing area[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2022, 41(1): 95-111. (in Chinese)
- [31] 吴争光, 吴光星, 刘艺凝, 秦晓明, 郑小妹, 孙学成. 施用硼锌钼肥对蓝莓果实品质及矿质元素含量的影响[J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2022, 41(2): 48-53.
- WU Z G, WU G X, LIU Y N, QIN X M, ZHENG X M, SUN X C. Effects of boron, zinc, and molybdenum on fruit quality and mineral nutrition content of blueberry[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(2): 48-53. (in Chinese)
- [32] 许倩倩. 香瓜茄有效成分分离纯化及其活性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
- XU Q Q. Study on the separation and activity of active components from *Solanum muricatum*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018. (in Chinese)
- [33] 王光耀. 武威市香瓜茄(人参果)营养成分分析[J]. 农业科技与信息, 2014(2): 63-64.
- WANG G Y. Analysis of nutritional components of *Solanum muricatum* in Wuwei[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2014(2): 63-64. (in Chinese)
- [34] 焦兴弘. 天梯山人参果的营养价值[J]. 中国农业信息, 2013(17): 135.
- JIAO X H. Nutritional value of *Solanum muricatum* in Tianti mountain[J]. China Agricultural Informatics, 2013(17): 135. (in Chinese)