

## 不同果色枸杞鲜果品质性状分析及综合评价

赵建华<sup>1</sup>, 述小英<sup>2</sup>, 李浩霞<sup>3</sup>, 郑慧文<sup>4</sup>, 尹跃<sup>1</sup>, 安巍<sup>1</sup>, 王亚军<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>宁夏农林科学院枸杞工程技术研究所/国家枸杞工程技术研究中心, 银川 750002; <sup>2</sup>西北农林科技大学理学院, 陕西杨凌 712100;

<sup>3</sup>宁夏农林科学院荒漠化治理研究所, 银川 750002; <sup>4</sup>西南大学园艺园林学院, 重庆 401524)

**摘要:**【目的】探讨不同果色枸杞鲜果品质性状指标间的相互关系, 构建枸杞鲜果品质性状的综合评价体系, 为合理评价与挖掘利用鲜食枸杞种质资源提供理论参考。【方法】以 32 份枸杞鲜果为材料, 测定枸杞鲜果产量性状、风味性状和功能活性等 24 项品质指标, 利用相关分析和主成分分析, 筛选枸杞鲜果品质评价指标; 运用层次分析确立评价指标的权重, 采用数据标准化处理, 建立不同果色枸杞鲜果品质综合评价体系。【结果】不同果色枸杞鲜果品质性状变异丰富, 变异系数为 14.3%—113.4%, 其中苹果酸变异系数最大, 蔗糖、黄酮次之, 横径、总糖较小; 通过相关分析和因子分析, 从 24 项指标中筛选出纵径、横径、果糖、葡萄糖、草酸、酒石酸、黄酮、多糖等 8 项指标作为枸杞鲜果品质评价代表性指标; 综合考虑 8 项指标对枸杞鲜果品质的影响程度, 构建层次结构模型, 优化出 8 项指标的权重系数分别为 17.74%、17.74%、10.75%、10.75%、5.38%、5.38%、10.75%、21.51%; 根据数据标准化处理公式, 计算出供试材料的综合评价值, 不同果色枸杞鲜果综合品质存在较大差异, 主要表现为红色果 > 紫色果 > 黄色果 > 暗红色果 > 黑色果。【结论】不同果色枸杞鲜果品质可用果实纵径、横径、果糖、葡萄糖、草酸、酒石酸、黄酮和多糖等 8 项指标进行综合评价, 红色鲜果综合品质表现较优, 黑色鲜果综合品质表现较差。影响枸杞鲜果品质评价的关键因子依次为产量因子、功效因子和风味因子。

**关键词:** 枸杞; 果实品质; 因子分析; 层次分析; 综合评价

## Analysis and Comprehensive Evaluation of the Quality of Wolfberry (*Lycium* L.) Fresh Fruits with Different Fruit Colors

ZHAO JianHua<sup>1</sup>, SHU XiaoYing<sup>2</sup>, LI HaoXia<sup>3</sup>, ZHENG HuiWen<sup>4</sup>, YIN Yue<sup>1</sup>, AN Wei<sup>1</sup>, WANG YaJun<sup>4</sup>

(<sup>1</sup>Wolfberry Engineering Research Institute, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences /National Wolfberry Engineering Research Center, Yinchuan 750002, Ningxia; <sup>2</sup>College of Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100,

Shaanxi; <sup>3</sup>Desertification Control Research Institute, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002;

<sup>4</sup>College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715)

**Abstract:** 【Objective】The objective of this study is to explore the relations between the fresh fruit quality (FFQ) indices of wolfberry (*Lycium* L.) and different fruit colors and to set up a comprehensive evaluation system for wolfberry FFQ, thus would provide a theoretical basis for fresh fruit materials evaluation and utilization of wolfberry germplasm resources. 【Method】Twenty-four indices of FFQ were determined in 32 wolfberry materials with different fruit colors. Eight FFQ indices were chosen by correlation analysis and factor analysis, and the weight of indices were decided by analytical hierarchy process. A comprehensive evaluation system was established for wolfberry FFQ by using data standardization process. 【Result】Great differences of FFQ variations were observed in different fruit colors wolfberry, and their coefficients of variation (CV) were from 14.3% to 113.4%, among which, the CV of malic acid was the highest, the CV of sucrose and flavonoids was the second, followed by the CV of cheek

收稿日期: 2016-11-30; 接受日期: 2017-02-16

基金项目: 国家自然科学基金 (31360191)、宁夏自治区育种专项 (2013NYYZ0101)、宁夏农林科学院先导资金课题 (NKYZ-16-0102)、宁夏自治区自然科学基金 (NZ16121)

联系方式: 赵建华, E-mail: zhaojianhua0943@163.com. 通信作者安巍, Tel: 0951-6886787; E-mail: angouqi@163.com

diameter, and total sugar was lower. Eight typically indices including length diameter (LD), cheek diameter (CD), fructose (FR), glucose (GL), oxalic acid (OC), tartaric acid (TA), flavonoids (FL) and polysaccharide(PO) were screened from 24 wolfberry FFQ indices by correlation analysis and factor analysis. An analytical hierarchy model was proposed based on the effect of eight indices on wolfberry FFQ, and weight coefficient of these factors were 17.74%, 17.74%, 10.75%, 10.75%, 5.38%, 5.38%, 10.75% and 21.51%, respectively. The values of comprehensive evaluation in tested materials were calculated according to the formula of standardized treatment, comprehensive evaluation of FFQ showed a significant difference among different fruit colors wolfberries, and with the following FFQ order: red fruit > purple fruit > yellow fruit > dark red fruit > black fruit. 【Conclusion】 FFQ of different fruit color wolfberries could be evaluated by LD, CD, FR, GL, OA, TA, FL and PO. As for comprehensive quality, red fresh fruits are the most excellent, and black fresh fruits are poor. The key factors affecting wolfberry FFQ are as follows: yield factor, flavor factor and functional active factor.

**Key words:** *Lycium L.*; fruit quality; factor analysis; hierarchical analysis; comprehensive evaluation

## 0 引言

【研究意义】枸杞为茄科 (Solanaceae) 枸杞属 (*Lycium L.*) 多年生落叶灌木, 具有很强的抗逆性, 是改良盐碱地的先锋树种<sup>[1]</sup>, 也是中国重要的“药食两用”植物资源。中国枸杞资源丰富, 自然分布有 7 种 3 变种, 在诸多枸杞资源中, 宁夏枸杞 (*Lycium barbarum L.*) 已有 500 多年人工栽培历史, 其干燥成熟的果实 (即枸杞子), 是中国药典收录的唯一药用枸杞植物<sup>[2]</sup>。近年来, 随着枸杞果实保鲜技术改进, 鲜食枸杞已成为消费者热捧的时令果品<sup>[3]</sup>。但由于目前枸杞鲜果品质缺乏有效地评价体系, 鲜食枸杞种质资源的挖掘利用研究进展非常缓慢, 研究建立枸杞鲜果品质性状评价体系, 将为今后枸杞鲜果品质的综合评价提供科学依据。【前人研究进展】近年来, 枸杞果实品质的研究渐增, 主要集中在枸杞子品质研究上。其中, 张晓煜等<sup>[4]</sup>选取 6 省 (区) 多点样品, 筛选出对枸杞品质影响较大的 8 个因子, 首次建立了宁夏枸杞子品质的综合评价体系, 该体系可以反映枸杞子质量地域间的差异和同一地区季节间的波动; 赵晓梅等<sup>[5]</sup>对比了不同采收期生态枸杞与非生态枸杞干果外观性状、营养品质和安全性的差异, 发现 10 月份成熟的生态枸杞子的营养价值最好; 张波等<sup>[6]</sup>研究 3 个产区的宁夏枸杞外在品质和内在活性成分, 发现干果枸杞总糖、多糖、甜菜碱等含量因产区而异; 刘俭等<sup>[7]</sup>通过对不同果色的外观品质和内在活性成分分析, 发现宁夏枸杞 (红果) 品质优于白、黄和黑色果枸杞, 且后者利用价值较低。【本研究切入点】目前, 枸杞鲜果品质研究刚刚起步<sup>[3]</sup>, 科学规范的枸杞鲜果品质评价体系尚未建立, 从而也制约着鲜食枸杞品种选育。【拟解决的关键问题】本研究以 32 份不同果色枸杞种质为试材, 运用相关分析、主成分分析和层次分析,

构建枸杞鲜果品质综合评价体系, 以期为枸杞鲜食种质资源评价、挖掘提供参考。

## 1 材料与方法

试验于 2014—2015 年在宁夏回族自治区银川市西夏区宁夏农林科学院国家枸杞工程技术研究中心试验基地进行。

### 1.1 试验材料

参试 32 份枸杞种质均来自国家枸杞工程技术研究中心/枸杞国家林木种质资源库 (38°38'N, 106°9'E, 海拔 1 100 m), 每份材料选取长势一致的 3 株树, 树龄为 3—5 年, 供试材料名称见表 1。

### 1.2 试验方法

1.2.1 产量性状测定 主要包括枸杞果实单果重 ( $X_1$ )、纵径 ( $X_2$ )、横径 ( $X_3$ )、果形指数 ( $X_4$ )、果柄长 ( $X_5$ )、果肉厚 ( $X_6$ ) 和种子数 ( $X_7$ ), 测定方法参考《枸杞种质资源描述规范和数据化标准》<sup>[8]</sup>。

1.2.2 风味性状测定 主要包括糖和酸。(1) 果糖 ( $X_8$ )、葡萄糖 ( $X_9$ ) 和蔗糖含量 ( $X_{10}$ ) 提取参考赵智中等<sup>[9]</sup>的方法, 略有改动, 测定采用高效液相色谱法 (HPLC)。高效液相色谱仪为 Agilent 1260 (下同), 折光示差检测器为 Agilent 1260 RID, 色谱柱为岛津 (4.6 mm×250 mm, 0.5  $\mu$ m) 的  $\text{NH}_2$  柱, 以乙腈: 水=7:3 为流动相, 流速为 1.2 mL·min<sup>-1</sup>, 等度洗脱, 柱温为 35℃, 检测器温度 40℃, 进样时间 15 min, 进样体积 15  $\mu$ L。依据样品峰面积和糖分标准曲线计算其含量。甜度值 ( $X_{11}$ ) = 蔗糖含量×1.00+果糖含量×1.75+葡萄糖含量×0.70。(2) 草酸 ( $X_{12}$ )、酒石酸 ( $X_{13}$ )、奎尼酸 ( $X_{14}$ )、苹果酸 ( $X_{15}$ ) 和柠檬酸 ( $X_{16}$ ) 含量测定参考 ZHAO 等<sup>[10]</sup>的方法; 总酸含量 ( $X_{17}$ ) 为各组分之和。

1.2.3 功能活性测定 总糖 ( $X_{19}$ ) 和枸杞多糖含量

( $X_{20}$ ) 测定参考赵建华等<sup>[11]</sup>的方法。

黄酮含量 ( $X_{21}$ ) 提取参考文献[12], 略有改动, 测定采用 HPLC, 色谱柱为美国生产 Agilent Zorbax SB-C18 反相柱; 流动相 A: 50 mmol·L<sup>-1</sup> 磷酸溶液 (pH 2.5), 流动相 B: 100%乙腈; 洗脱程序: 50 mmol·L<sup>-1</sup> 磷酸: 乙腈 (80:20); 流速 1.0 mL·min<sup>-1</sup>, 柱温 35℃, 检测波长为 365 nm, 进样体积 10 μL。

甜菜碱含量 ( $X_{22}$ ) 提取参考文献[13], 略有改动, 测定采用 HPLC, 色谱为 PC HILIC 柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相 A: 水, 流动相 B: 乙腈, 梯度洗脱程序: 0—2 min, 95%—90% B; 2—3 min, 90%—70% B; 3—4 min, 70%—50% B; 4—9 min, 50% B; 9—10 min, 50%—95%B; 10—15 min, 95%B。柱温 25℃, 流速 1.0 mL·min<sup>-1</sup>, 检测波长 195 nm, 进样体积为 10 μL。

类胡萝卜素含量测定参考李浩霞等<sup>[14]</sup>的方法。总类胡萝卜素含量 ( $X_{23}$ ) 为各组分之和。

维生素 C 含量 ( $X_{24}$ ) 测定采用 HPLC, 光电二极

管阵列检测器 (Agilent 1260 DAD) 流动相: 0.1 mol·L<sup>-1</sup> 的磷酸氢二钾, 0.08 mol·L<sup>-1</sup> 的磷酸二氢钾, 甲醇体积比为 55:25:20, 等度洗脱; 色谱柱为 Agilent (4.6 mm×250 mm, 0.5 μm) 的 C<sub>18</sub> 柱, 柱温为 25℃, 流速为 1.0 mL·min<sup>-1</sup>, 检测波长为 245 nm, 进样量为 25 μL。

### 1.3 数据统计分析

以上收集 2014、2015 两年数据, 采用 Excel 2007 和唐启义<sup>[15]</sup>的 DPS 数据处理系统进行相关性分析、因子分析和层次分析, 利用因子分析所得主因子与层次分析的权重对枸杞果实品质进行综合评价。

数据标准化处理公式:  $N(in) = (X_{in} - X_{i \text{ 最小值}}) / (X_{i \text{ 最大值}} - X_{i \text{ 最小值}})$ 。其中,  $N(in)$  指第  $n$  个样品第  $i$  主因子的原始数据经转化后的标准数据 (0—1);  $X_{in}$  指第  $n$  个样品第  $i$  主因子的原始测定值。综合评价公式:  $D(n) = \sum [N(in) \times W(i)]$ 。其中,  $D(n)$  指第  $n$  个样品的的综合评价价值,  $W(i)$  指第  $i$  主因子的权重系数。

表 1 供试枸杞材料的编号和名称

Table 1 The code and name of the 32 genotypes of wolfberry used in the study

编号 Code	名称 Name	果实颜色 Fruit color	编号 Code	名称 Name	果实颜色 Fruit color
1	w-11-15	浅黄 Light yellow	17	白条 Baitiao	红 Red
2	w-12-27	浅黄 Light yellow	18	圆果 Yuanguo	红 Red
3	w-11-30	浅黄 Light yellow	19	扁果 Bianguo	红 Red
4	宁夏黄果 Ningxiahuangguo	浅黄 Light yellow	20	蒙杞 1 号 Mengqi NO.1	红 Red
5	z-11-18	浅黄 Light yellow	21	北方 Beifang	红 Red
6	黄果 Huangguo	黄 Yellow	22	截萼 Jiee	红 Red
7	宁杞 1 号 Ningqi NO.1	红 Red	23	新疆 Xinjiang	红 Red
8	宁杞 2 号 Ningqi NO.2	红 Red	24	紫柄 Zibing	红 Red
9	宁杞 3 号 Ningqi NO.3	红 Red	25	柱筒 Zhutong	红 Red
10	宁杞 4 号 Ningqi NO.4	红 Red	26	云南 Yunnan	红 Red
11	宁杞 5 号 Ningqi NO.5	红 Red	27	红枝 Hongzhi	红 Red
12	宁杞 6 号 Ningqi NO.6	红 Red	28	中国 Zhongguo	暗红 Dark red
13	宁杞 7 号 Ningqi NO.7	红 Red	29	昌吉 Changji	暗红 Dark red
14	大麻叶 Damaye	红 Red	30	株系 0507 Zhuxi0507	紫色 Purple
15	小麻叶 Xiaomaye	红 Red	31	株系 0508 Zhuxi0508	紫色 Purple
16	白花 Baihua	红 Red	32	黑果 Heiguo	黑 Black

## 2 结果

### 2.1 不同果色枸杞鲜果品质性状的变异特征

对 32 份不同果色枸杞鲜果 24 项主要品质指标进行测定, 结果如表 2 所示, 各指标变异系数差异较大,

变异系数范围为 14.3%—113.4%。其中, 变异系数较高指标有苹果酸含量、蔗糖含量和黄酮含量, 其 CV 分别为 113.4%、111.9%和 92.3%; 变异系数较低指标有横径、总糖含量和总酸含量, 其 CV 分别为 14.3%、22.8%和 22.8%。不同果色枸杞鲜果品质性状存在较大

表 2 枸杞鲜果品质指标的变异情况

Table 2 Variation of wolfberry fresh fruit quality indices

性状 Traits	最大值 Max value	最小值 Min value	平均值 Mean value	标准差 SD	变异系数 CV (%)
X <sub>1</sub> 单果重 Fruit mass (g)	1.23	0.23	0.64	0.26	41.0
X <sub>2</sub> 纵径 Length diameter (mm)	23.28	7.36	15.09	4.30	28.5
X <sub>3</sub> 横径 Cheek diameter (mm)	14.69	6.17	9.41	1.34	14.3
X <sub>4</sub> 果形指数 Fruit shape index	2.65	0.68	1.63	0.41	24.9
X <sub>5</sub> 果柄长 Fruit stalk length (mm)	24.70	4.29	16.13	4.45	27.6
X <sub>6</sub> 果肉厚 Flesh thickness (mm)	3.67	0.11	1.36	0.64	47.2
X <sub>7</sub> 种子数 Seed number	37.64	7.25	22.08	8.11	36.7
X <sub>8</sub> 果糖含量 Fructose content (mg·g <sup>-1</sup> )	95.33	5.05	43.93	16.80	38.2
X <sub>9</sub> 葡萄糖含量 Glucose content (mg·g <sup>-1</sup> )	108.45	15.44	56.71	17.77	31.3
X <sub>10</sub> 蔗糖含量 Sucrose content (mg·g <sup>-1</sup> )	30.82	0.68	3.36	3.76	111.9
X <sub>11</sub> 甜度值 Sweetness value	248.15	33.63	119.93	40.80	34.0
X <sub>12</sub> 草酸含量 Oxalic acid content (mg·g <sup>-1</sup> )	5.91	0.09	2.93	1.27	43.2
X <sub>13</sub> 酒石酸含量 Tartaric acid content (mg·g <sup>-1</sup> )	26.16	0.63	11.20	6.50	58.0
X <sub>14</sub> 奎尼酸含量 Quinic acid content (mg·g <sup>-1</sup> )	5.78	0.84	2.46	1.22	49.5
X <sub>15</sub> 苹果酸含量 Malic acid content (mg·g <sup>-1</sup> )	15.83	0.14	2.80	3.18	113.4
X <sub>16</sub> 柠檬酸含量 Citric acid content (mg·g <sup>-1</sup> )	40.92	2.26	13.64	9.73	71.3
X <sub>17</sub> 总酸含量 Total acid content (mg·g <sup>-1</sup> )	50.85	14.32	33.04	7.55	22.8
X <sub>18</sub> 糖酸比 sugar/acid	12.82	2.09	4.83	1.67	34.5
X <sub>19</sub> 总糖含量 Total sugar content (mg·g <sup>-1</sup> )	209.09	61.68	149.26	33.98	22.8
X <sub>20</sub> 多糖含量 Polysaccharide content (mg·g <sup>-1</sup> )	156.1	40.3	110.0	2.86	26.0
X <sub>21</sub> 黄酮含量 Flavonoids content (μg·g <sup>-1</sup> )	185.44	0.00	41.02	37.87	92.3
X <sub>22</sub> 甜菜碱含量 Betaine content (μg·g <sup>-1</sup> )	7.86	1.16	3.13	1.47	46.9
X <sub>23</sub> 总类胡萝卜素含量 Total carotenoid content (μg·g <sup>-1</sup> )	328.57	0.42	87.09	65.44	75.1
X <sub>24</sub> 维生素 C Vitamin C content (mg·g <sup>-1</sup> )	4.48	0.03	1.96	0.84	42.8

变异, 可为筛选优质鲜食枸杞资源创造更大选择空间。

## 2.2 不同果色枸杞果实主要品质指标间的相关性分析

通过对不同果色枸杞 24 项鲜果性状指标相关性分析(表 3), 结果表明, (1) 产量性状间大多数指标存在显著相关, 单果重与纵径呈极显著相关 ( $P < 0.01$ ), 两者与多数指标存在显著相关性, 且与横径、果形指数、果柄长、果肉厚、种子数等相关系数较高, 表明果实质量大小与果实主要农艺性状密切相关。(2) 风味指标间的相关性表现为: 果糖含量与葡萄糖含量、甜度值、酒石酸含量、糖酸比、柠檬酸、奎尼酸、苹果酸等指标呈显著相关 ( $P < 0.05$ ), 且与前 3 个指标达到极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 与后 2 个指标极显著负相关 ( $P < 0.01$ ); 葡萄糖含量与甜度值、酒石酸含量极显著正相关 ( $P < 0.01$ ), 与苹果酸含量极显著负相关 ( $P < 0.01$ ); 蔗糖与酒石酸和柠檬酸含量极显著

相关 ( $P < 0.01$ ), 且前者正相关后者负相关; 甜度值与酒石酸、奎尼酸、苹果酸含量极显著相关 ( $P < 0.01$ ), 但与后 2 个指标呈负相关; 草酸含量与其他酸指标均达到极显著相关 ( $P < 0.01$ ), 且与酒石酸、奎尼酸和柠檬酸含量相关系数较高; 酒石酸与柠檬酸含量呈极显著负相关 ( $P < 0.01$ ); 总酸与草酸、奎尼酸、苹果酸、柠檬酸含量极显著相关 ( $P < 0.01$ )。(3) 功能活性因子之间大多数没有显著性, 唯有总糖与多糖、黄酮和胡萝卜素含量呈极显著相关 ( $P < 0.01$ ); 黄酮与甜菜碱和维生素 C 含量极显著相关 ( $P < 0.01$ )。可见, 不同指标间相关系数差异较大, 其中, 果糖含量与甜度值相关性最高, 相关系数为 0.98, 甜菜碱与总类胡萝卜素含量相关性最低, 相关系数仅为 0.01; 但相比较而言, 产量性状指标间相关系数值较高, 功能活性指标间相关系数值较低。

表3 枸杞鲜果品质量指标的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of wolfberry fresh fruit quality indices

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>	X <sub>20</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>		
X <sub>2</sub>		0.896																							
X <sub>3</sub>		0.610	0.465																						
X <sub>4</sub>		0.682	0.892	0.071																					
X <sub>5</sub>		0.456	0.618	0.209	0.579																				
X <sub>6</sub>		0.422	0.381	0.275	0.241	0.383																			
X <sub>7</sub>		0.510	0.530	0.393	0.381	0.528	0.464																		
X <sub>8</sub>		0.414	0.480	0.231	0.416	0.499	0.448	0.348																	
X <sub>9</sub>		0.076	0.059	0.186	-0.030	0.165	0.330	0.068	0.811																
X <sub>10</sub>		0.273	0.329	0.169	0.273	0.183	0.225	0.255	0.173	0.108															
X <sub>11</sub>		0.345	0.392	0.238	0.314	0.425	0.443	0.294	0.980	0.897	0.250														
X <sub>12</sub>		0.359	0.224	0.143	0.159	0.124	-0.011	0.083	0.166	0.043	0.162	0.147													
X <sub>13</sub>		0.433	0.346	0.296	0.203	0.262	0.286	0.352	0.391	0.271	0.424	0.402	0.739												
X <sub>14</sub>		-0.228	-0.325	-0.187	-0.279	-0.286	-0.205	-0.273	-0.297	-0.138	-0.106	-0.265	0.490	0.241											
X <sub>15</sub>		-0.016	-0.132	-0.166	-0.068	-0.307	-0.235	-0.380	-0.385	-0.322	-0.153	-0.389	0.401	-0.054	0.449										
X <sub>16</sub>		-0.456	-0.365	-0.418	-0.206	-0.169	-0.354	-0.253	-0.240	-0.167	-0.294	-0.251	-0.481	-0.666	0.003	-0.165									
X <sub>17</sub>		-0.177	-0.222	-0.329	-0.127	-0.137	-0.316	-0.196	-0.143	-0.121	-0.058	-0.145	0.419	0.150	0.611	0.289	0.508								
X <sub>18</sub>		0.309	0.344	0.243	0.317	0.220	0.354	0.104	0.226	0.078	-0.067	0.180	-0.148	-0.136	-0.381	-0.031	-0.424	-0.708							
X <sub>19</sub>		0.231	0.238	-0.054	0.323	0.109	0.134	-0.138	0.207	0.053	-0.184	0.147	0.269	0.016	0.086	0.363	-0.204	-0.030	0.646						
X <sub>20</sub>		0.224	0.181	0.068	0.180	0.140	0.103	0.239	-0.068	-0.135	0.124	-0.079	0.175	-0.022	0.114	0.345	0.043	0.215	0.069	0.286					
X <sub>21</sub>		0.161	0.144	0.212	0.018	0.118	0.412	0.226	0.167	0.150	0.656	0.227	-0.077	0.337	-0.142	-0.160	-0.322	-0.208	-0.051	-0.294	-0.003				
X <sub>22</sub>		0.471	0.481	0.181	0.429	0.249	0.331	0.384	0.152	-0.081	0.495	0.130	0.358	0.532	-0.188	-0.095	-0.603	-0.296	0.335	0.153	0.059	0.345			
X <sub>23</sub>		0.307	0.485	0.025	0.527	0.359	0.275	0.165	0.309	0.043	0.027	0.237	-0.240	-0.216	-0.355	-0.083	0.099	-0.183	0.332	0.326	0.161	0.012	-0.001		
X <sub>24</sub>		0.203	0.374	-0.094	0.419	0.560	0.226	0.397	0.274	-0.029	0.518	0.235	0.218	0.372	0.095	-0.214	-0.039	0.219	-0.214	-0.151	0.085	0.431	0.264	0.174	

相关系数临界值:  $r_{0.05}=0.2617$ ;  $r_{0.01}=0.2617$  Critical value of correlation coefficient:  $r_{0.05}=0.2006$ ;  $r_{0.01}=0.2617$

### 2.3 不同果色枸杞果实品质指标的因子分析

对 24 项枸杞鲜果品质指标进行因子分析(表 4), 前 7 个因子的累计贡献率为 82.39%, 即前 7 个因子所含信息量占总信息量的 82.39%, 且 7 个因子的特征值均超过 1。表明前 7 个因子可以用于枸杞鲜果品质性状评价。因子 1 和 6 方差贡献率为 17.35 和 8.24, 代

表性指标分别为果形指数、纵径和横径, 可定义为产量因子; 因子 2、3 和 4 方差贡献率分为 13.31、12.48 和 12.26, 代表性指标分别为葡萄糖、甜度值、果糖、草酸、酒石酸、糖/酸和总酸, 可定义为风味因子; 因子 5 和 7 方差贡献率为 10.98 和 7.77, 代表性指标为黄酮、多糖, 可定义为功能活性因子。

表 4 枸杞鲜果品质指标的因子分析

Table 4 Factor analysis of wolfberry fresh fruit quality indices

性状 Traits	因子权重 Component weight						
	因子 1 Component 1	因子 2 Component 2	因子 3 Component 3	因子 4 Component 4	因子 5 Component 5	因子 6 Component 6	因子 7 Component 7
单果重 Fruit mass	0.6332	0.1027	0.3172	0.2077	0.0470	0.5221	0.1603
纵径 Length diameter	0.8447	0.1072	0.1825	0.2064	0.0864	0.3265	0.0612
果形指数 Fruit shape index	0.9128	0.0408	0.1112	0.1653	0.0419	-0.0435	0.0647
果柄长 Fruit stalk length	0.7346	0.2621	-0.0030	-0.0192	0.1341	0.1472	-0.0626
横径 Cheek diameter	0.0660	0.1368	0.1644	0.2146	0.0170	0.8486	0.0109
种子数 Seed number	0.4952	0.1006	0.0091	-0.0386	0.2853	0.5796	-0.0713
果肉厚 Flesh thickness	0.2121	0.4149	-0.0326	0.3019	0.4180	0.2711	0.1792
果糖 Fructose	0.3850	0.8864	0.0967	0.0776	0.0501	0.0699	-0.0858
葡萄糖 Glucose	-0.1190	0.9554	0.0368	0.0400	0.0312	0.0640	-0.0789
甜度值 Sweetness value	0.2571	0.9316	0.0982	0.0665	0.1203	0.0723	-0.0875
草酸 Oxalic acid	0.1362	0.0691	0.8891	-0.2243	-0.0537	0.0303	0.2338
酒石酸 Tartaric acid	0.1544	0.2719	0.8052	-0.1180	0.3222	0.1948	-0.0861
柠檬酸 Citric acid	-0.0348	-0.1048	-0.6776	-0.5506	-0.2579	-0.2341	-0.0042
奎尼酸 Quinic acid	-0.3075	-0.1210	0.4738	-0.4707	-0.0832	-0.2022	0.3367
总酸 Total acid	-0.0219	-0.0430	0.1941	-0.8520	-0.1353	-0.2270	0.2749
糖/酸 Sugar/Acid	0.2278	0.1142	-0.0450	0.8803	-0.1093	0.0096	0.1791
蔗糖 Sucrose	0.1932	0.0455	0.1900	-0.0139	0.8045	0.0289	-0.0204
黄酮 Flavonoids	-0.0624	0.1251	0.0109	0.0875	0.8929	0.1268	-0.0259
甜菜碱 Betaine	0.3617	-0.1291	0.4985	0.4099	0.4398	0.0594	-0.1060
总糖 Total sugar	0.2545	0.1732	0.2143	0.4437	-0.3304	-0.3117	0.5678
多糖 Polysaccharide	0.1784	-0.1001	-0.0865	-0.1367	0.1245	0.2190	0.8039
苹果酸 Malic acid	-0.1971	-0.3294	0.3360	0.0148	-0.1722	-0.2012	0.6573
总胡萝卜素 Total carotenoid	0.5949	0.1699	-0.4179	0.2174	-0.0077	-0.1104	0.2611
维生素 C VitaminC	0.5493	0.0669	0.1118	-0.3855	0.5735	-0.1603	-0.0735
特征值 Eigenvalue	4.16	3.20	2.99	2.94	2.64	1.98	1.87
累计贡献 Percent of variance (%)	17.35	30.66	43.14	55.40	66.38	74.62	82.39

在产量因子的 3 项指标中, 果形指数因子权重最高, 而果形指数为纵横径比, 为导出指标, 且与纵径呈极显著关系 ( $r=0.892$ ), 故选用纵径和横径指标即可代表产量因子。在 7 项风味因子中, 甜度值、总酸和糖/酸都是导出指标, 同时, 甜度值与果糖、葡萄糖

呈极显著相关 ( $r=0.980$ 、 $0.897$ ), 总酸与草酸呈极显著相关 ( $r=0.419$ ), 此外, 糖/酸与果糖也呈极显著相关 ( $r=0.226$ ), 因此, 选用果糖、葡萄糖、草酸和酒石酸等指标代表风味因子。

基于上述分析, 确定纵径、横径、果糖、葡萄糖、

草酸、酒石酸、黄酮、多糖等 8 项指标为枸杞鲜果品质综合评价指标。

根据相关性分析和因子分析, 获得影响枸杞果实品质的 8 项主要因子, 将其指标结合生产实践, 采用 1—9 标度法<sup>[15]</sup>构造出层次结构关系(表 5)中较低层因素相对于各自对应的高层因素的判断矩阵(表 6)。层次总排序和判断矩阵的一致性比例(CR)分别为 0, 低于 0.10, 说明构造的判断矩阵中各因素的相互关系

比较一致, 接受层次总排序结果, 从而得到纵径、横径、果糖、葡萄糖、草酸、酒石酸、黄酮、多糖等 8 项指标的权重分别为 17.74%、17.74%、10.75%、10.75%、5.38%、5.38%、10.75%、21.51%; 产量因子、风味因子和功能活性因子的权重分别为 35.48%、32.26%和 32.26%。可见, 多糖对枸杞果实品质贡献最大, 其次为纵径和横径, 然后为黄酮、果糖、葡萄糖, 而草酸和酒石酸对枸杞果实品质的影响较小。

表 5 枸杞鲜果品质指标的层次结构

Table 5 Hierarchical structure of wolfberry fresh fruit quality indices

枸杞鲜果品质 (A) Wolfberry Fresh fruit quality							
产量因子 (B1) Yield factors		风味因子 (B2) Flavor factors				功能活性因子 (B3) Functional active factors	
纵径 (C1) Length diameter	横径 (C2) Cheek diameter	果糖 (C3) Fructose	葡萄糖 (C4) Glucose	草酸 (C5) Oxalic acid	酒石酸 (C6) Tartaric acid	黄酮 (C7) Flavonoids	多糖 (C8) Polysaccharide

表 6 判别矩阵及其一致性检测

Table 6 Discriminant matrix and its consistency checking

A	B1	B2	B3	B1	C1	C2	B2	C3	C4	C5	C6	B3	C7	C8
B1	1	1.1	1.1	C1	1	1	C3	1	1	2	2	C7	1	0.5
B2		1	1	C2		1	C4		1	2	2	C8		1
B3			1				C5			1	1			
							C6				1			
CR=0.0000				CR=0.0000				CR=0.0000				CR=0.0000		

## 2.4 不同果色枸杞果实主要品质的综合评价

通过对枸杞鲜果品质指标数据标准化后的数值乘以各因子的权重, 计算出每个样品的综合得分, 用得分的高低进行枸杞鲜果品质排序(表 7)。结果表明, 不同果实枸杞鲜果综合品质存在较大差异。在供试的红色果枸杞中, 大部分材料的综合排名较高, 其中, ‘宁杞 2 号’ ‘蒙杞 1 号’ ‘宁杞 7 号’ ‘宁杞 6 号’ ‘扁果’ 和 ‘宁杞 1 号’ 排名为前 6, 这些枸杞主要特征为长椭圆形, 平均单果重 640 mg 以上, 果形指数大于 1.7, 果实糖含量较高, 且 ‘宁杞 1 号’ 和 ‘宁杞 7 号’ 是当前的主栽品种, 其他品种在生产上也有一定种植面积; ‘新疆’ 和 ‘红枝’ 是红色果枸杞中排名较后的种质材料, 该材料均为引进种质, 其生长习性表现出半野生化状态, 果实较小, 口感较差, 但其抗逆性较强。在供试黄色果枸杞中, 综合排名较高为 ‘w-11-30’, 较低为 ‘z-11-18’, 得分值分别为 0.484 和 0.343, 黄色果枸杞平均值为 0.383, 低于红色果枸杞和紫色果枸杞的得分(其平均值分别为 0.511 和 0.428), 但高于暗红色果和黑色果的得分

(其平均值分别为 0.312 和 0.235) 可见, 不同果色枸杞鲜果品质综合排名为: 红色果 > 紫色果 > 黄色果 > 暗红色果 > 黑色果。

## 3 讨论

安巍等<sup>[16]</sup>对 60 份枸杞种质果实的 6 个数量性状分析, 发现果实性状的变异系数达 18.7%—55.5%, 材料间差异较大; 安巍等<sup>[17]</sup>利用 SRAP 标记, 对 29 份枸杞种质进行亲缘关系分析, 发现供试材料遗传多样性非常丰富; ZHAO 等<sup>[18]</sup>利用 18 条 SSR 标记, 对 139 份枸杞进行多样性研究, 供试枸杞平均杂合度为 0.4394, 存在 3 个亚型种群; 袁海静等<sup>[19]</sup>对 33 份枸杞种质资源的主要形态学性状进行调查分析, 结果表明, 枸杞资源形态差异较大, 遗传多样性程度较高。本研究选取的 32 份枸杞种质资源, 既有生产中大面积种植的主栽品种, 又有收集的全国各地农家品种和野生种, 还有人工杂交获得特异种质。从测定的不同果色枸杞 24 项变异系数来看, 其变化变异范围为 14.3%—113.4%, 反映出材料间差异较大, 遗传多样性丰富。

表 7 枸杞鲜果品质的综合评价

Table 7 Comprehensive evaluation of wolfberry fresh fruits quality

名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排序 Sequence	名称 Name	综合得分 Comprehensive score	排序 Sequence
w-11-15	0.368	24	白条 Baitiao	0.444	19
w-12-27	0.382	23	圆果 Yuanguo	0.448	18
w-11-30	0.484	12	扁果 Bianguo	0.595	5
宁夏黄果 Ningxiahuangguo	0.363	25	蒙杞 1 号 Mengqi NO.1	0.689	2
z-11-18	0.343	27	北方 Beifang	0.479	14
黄果 Huangguo	0.359	26	截萼 Jiee	0.475	15
宁杞 1 号 Ningqi NO.1	0.585	6	新疆 Xinjiang	0.32	30
宁杞 2 号 Ningqi NO.2	0.718	1	紫柄 Zibing	0.389	22
宁杞 3 号 Ningqi NO.3	0.504	9	柱筒 Zhutong	0.46	17
宁杞 4 号 Ningqi NO.4	0.539	8	云南 Yunnan	0.481	13
宁杞 5 号 Ningqi NO.5	0.495	10	红枝 Hongzhi	0.335	28
宁杞 6 号 Ningqi NO.6	0.605	4	中国 Zhongguo	0.325	29
宁杞 7 号 Ningqi NO.7	0.669	3	昌吉 Changji	0.299	31
大麻叶 Damaye	0.417	20	株系 0507 Zhuxi0507	0.389	21
小麻叶 Xiaomaye	0.493	11	株系 0508 Zhuxi0508	0.466	16
白花 Baihua	0.553	7	黑果 Heiguo	0.235	32

因子分析方法用于研究相关矩阵的内部依赖关系, 它将多个变量综合为少数几个“因子”, 但仍可再现原始变量与“因子”之间的相关关系, 实际上起着数据降维的作用<sup>[15]</sup>。因子分析已在桃<sup>[20]</sup>、枣<sup>[21]</sup>、芒果<sup>[22]</sup>、甘蔗<sup>[23]</sup>、苹果<sup>[24-25]</sup>、甘薯<sup>[26]</sup>、葡萄<sup>[27]</sup>、杏<sup>[28]</sup>等品质性状综合评价上得到应用, 利用确立出的主因子, 简化评价指标用于综合评价。本研究利用因子分析, 将 24 项枸杞鲜果品质指标归纳为 3 类因子, 分别为产量因子、风味因子和功能活性因子, 在同类因子指标中, 结合指标间的相关系数, 筛选出 8 项指标 (纵径、横径、果糖、葡萄糖、草酸、酒石酸、黄酮、多糖) 为枸杞鲜果品质评价的代表性指标。张波等<sup>[6]</sup>同样也利用因子分析对 3 个产区 3 个品种枸杞子进行综合评价, 从 5 项指标中筛选出权重较高因子为胡萝卜素、多糖和百粒重, 这与本研究确立主因子存在一定差异, 其原因一方面是张波等<sup>[6]</sup>未将 5 项指标进行相关性分析, 筛选出的因子没做过滤分析, 另一方面可能是干鲜枸杞的品质评价体系的确存在差异, 但还有待进一步研究。

层次分析是对一些较为复杂、模糊的问题, 通过主观经验来判断的定性问题半定量化, 构建有序的递阶层次模型, 确立层次判断矩阵中各指标的权

重, 是将定性分析与定量分析有机结合的综合评价方法<sup>[15,29]</sup>, 其方法用于梨<sup>[30]</sup>、枸杞<sup>[4]</sup>、菊花<sup>[31]</sup>、葡萄<sup>[27]</sup>品质评价研究。本研究利用层次分析, 确定了枸杞鲜果品质评价指标的权重, 量化 8 项指标对枸杞鲜果品质的影响程度, 筛选出 8 项指标可归纳为 3 个方面的作用因子, 依次为产量因子、风味因子和功效因子。鲜食枸杞作为近年发展起的新兴枸杞产业, 目前, 在鲜果市场中深受大家喜爱的是以果大、味甜和汁多的枸杞鲜果为主。因此, 本研究在确立评价指标权重时, 必须兼顾鲜食枸杞市场需求, 也要考虑枸杞“药食两用”的特性。在确立的 8 项指标中, 功能活性因子中多糖权重高, 接下来为产量因子中纵径与横径; 但就 3 大因子而言, 产量因子权重高于风味因子与功能活性因子, 而风味因子与功能活性因子权重基本相当, 从而使得本研究确立指标不同于张晓煜等<sup>[4]</sup>筛选出的宁夏枸杞子评价指标。

本研究通过建立枸杞鲜果综合品质评价体系, 得出 32 材料综合得分及优良度排序。综合评价价值较高材料为‘宁杞 2 号’‘蒙杞 1 号’‘宁杞 7 号’‘宁杞 6 号’‘扁果’‘宁杞 4 号’和‘宁杞 1 号’, 这些品种 (系) 综合表现优良, 其种植面积占到全国枸杞



总面积 90%以上;而‘昌吉’‘中国’和‘黑果’综合评价价值较低,其果实的果粒小、营养物质含量较低,唯有富含花色苷类物质的‘黑果’枸杞<sup>[32]</sup>在生产上零星种植,其他两个枸杞均为野生分布;此外,‘w-11-15’和‘w-12-27’是‘宁杞 1 号’与‘黄果’的杂交后代,果色为浅黄色,‘株系 0507’和‘株系 0508’是‘黑果’与‘宁杞 1 号’的杂交后代,果色为紫色,这 4 份株系单果重、风味物质含量较亲本‘黄果’和‘黑果’有大幅提高,但综合品质尚未超过‘宁杞 1 号’(部分功效物质高于‘宁杞 1 号’),其株系的表现一般,下一步可通过筛选淘汰或作为选育果色品种的授粉亲本。可见,本研究所获得的不同果色枸杞材料综合性状表现,与生产利用的实际表现基本相符。说明本研究通过因子分析和层次分析选出的 8 项指标具有代表性,可完全进行枸杞鲜果品质综合评价。此外,目前枸杞品质评价研究主要集中在枸杞子方面,而枸杞鲜果在制干过程中会发生物质转化或积累<sup>[33]</sup>,传统枸杞子测定评价技术已经不能适应枸杞鲜果市场发展需求。因此,本研究建立的枸杞鲜果品质评价方法,还可作为枸杞鲜果品质测定方法的参考标准。

本研究利用因子分析和层次分析,首次建立了枸杞鲜果品质综合评价方法,为枸杞鲜果品质规范化评价奠定了基础,将以往人们经验型的枸杞鲜果评议向半定量化转变,从而克服了人为因素造成评价差异。但需要说明的是,层次分析是一种半定量方法,很大程度上依赖于人们的经验,要求构建判别矩阵时不能带有主观臆断性,有时会使结果的可信度下降<sup>[26]</sup>。因此,在以后的研究中需要进一步完善探讨评价指标的选取,力求选取指标更具有代表性和实效性,为鲜食枸杞品种选育提供强有力的理论基础。

## 4 结论

不同果色枸杞鲜果品质指标表现出较大的差异,枸杞鲜果品质可用果实纵径、横径、果糖、葡萄糖、草酸、酒石酸、黄酮和多糖 8 项指标进行综合评价;不同果色枸杞鲜果综合品质呈现出明显差异,红色枸杞鲜果综合品质表现较优,黑色枸杞鲜果综合品质表现较差,其他果色枸杞鲜果综合品质表现居中;影响枸杞鲜果品质评价的关键因子依次为产量因子、风味因子和功能活性因子;采用因子分析与层次分析相结合方法可用于枸杞鲜果的综合评价。

## References

- [1] 白守宁. 宁夏枸杞研究. 宁夏: 宁夏人民出版社, 1999: 1-3.  
BAI S N. *Lycium barbarum Research*. Ningxia: Ningxia People's Press, 1999: 1-3. (in Chinese)
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部). 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 232-233.  
COMMITTEE OF CHINESE PHARMACOPOEIA. *Ministry of Public Health of PR China. Chinese Pharmacopoeia (vol 1)*. Beijing: China Medical Science Press, 2010: 232-233. (in Chinese)
- [3] 黄婷, 刘俭, 秦垦, 戴国礼, 张波, 李金平. 鲜食枸杞的品质要求研究. 宁夏农林科技, 2013, 54(12): 151.  
HUANG T, LIU J, QIN K, ZHANG B, LI J P. Study on quality requirements for fresh wolfberry. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science Technology*, 2013, 54(12): 151. (in Chinese)
- [4] 张晓煜, 刘静, 王来喜. 枸杞品质综合评价体系构建. 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. *Scientia Agriculturae Sinica*, 2004, 37(3): 416-421. (in Chinese)
- [5] 赵晓梅, 吴玉鹏, 王旭辉, 叶凯. 不同采摘期对枸杞果实性状和品质的影响. 西南农业学报, 2015, 28(2): 772-777.  
ZHAO X M, WU Y P, WANG X H, YE K. Effects of different picking periods on characteristics and quality of wolfberry fruits. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 28(2): 772-777. (in Chinese)
- [6] 张波, 罗青, 王学琴, 戴国礼. 不同产区宁夏枸杞品质分析比较. 北方园艺, 2014(15): 165-168.  
ZHANG B, LUO Q, WANG X Q, DAI G L. Fruit quality comparison of *Lycium barbarum* L. from different producing areas. *Northern Horticulture*, 2014(15): 165-168. (in Chinese)
- [7] 刘俭, 张波, 秦垦, 黄婷, 周璇, 戴国礼. 不同枸杞种质间品质比较与分析. 江西农业学报, 2015(1): 53-56.  
LIU J, ZHANG B, QIN K, HUANG T, ZHOU X, DAI G L. Comparison and analysis of fruit quality of different chinese wolfberry germplasms. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2015(1): 53-56. (in Chinese)
- [8] 石志刚, 杜慧莹, 门惠芹. 枸杞种质资源描述规范和数据标准. 中国林业出版社, 2012: 52-53.  
SHI Z G, DU H Y, MEN H Q. *Descriptors and Data Standard for Wolfberry (Lycium L.)*. China Forestry Press, 2012: 52-53. (in Chinese)
- [9] 赵智中, 张上隆, 徐昌杰, 陈昆松, 刘拴桃. 蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用. 园艺学报, 2001, 28(2): 112-118.

- ZHAO Z Z, ZHANG S L, XU C J, CHEN K S, LIU Q T. Roles of sucrose-metabolizing enzymes in accumulation of sugars in satsuma mandarin fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, 28(2): 112-118. (in Chinese)
- [10] ZHAO J H, LI H X, XI W P, NIU L L, CAO Y L, WANG H F, WANG Y J, YIN Y. Changes in sugars and organic acids in wolfberry (*Lycium barbarum* L.) fruit during development and maturation. *Food Chemistry*, 2015, 173(2015): 718-724.
- [11] 赵建华. 枸杞果实发育期糖分及其糖代谢相关基因表达分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2016: 18-19.
- ZHAO J H. Study on sugar components and expression of sugar metabolizing genes in wolfberry (*Lycium* L.) fruit development [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016: 18-19. (in Chinese)
- [12] 张自萍, 廖国玲, 李弘武. 宁夏枸杞黄酮类化合物 HPLC 指纹图谱研究. *中草药*, 2008, 39(1): 103-105.
- ZHANG Z P, LIAO G L, LI H W. HPLC fingerprint of flavonoids from *Lycium barbarum*. *Chinese Traditional & Herbal Drugs*, 2008, 39(1): 103-105. (in Chinese)
- [13] 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. *食品科学*, 2010, 31(8): 199-201.
- WANG X J, WU Y, WANG L M. Determination of betaine in fruits of *Lycium barbarum* L. by solid phase extraction and high-performance liquid chromatography. *Food Science*, 2010, 31(8): 199-201. (in Chinese)
- [14] 李浩霞, 尹跃, 安巍, 赵建华, 王亚军. 枸杞果实发育阶段类胡萝卜素的变化. *西北林学院学报*, 2015, 30(6): 139-142.
- LI H X, YIN Y, AN W, ZHAO J H, WANG Y J. Changes of carotenoids accumulation of *Lycium barbarum* during fruit development. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30(6): 139-142. (in Chinese)
- [15] 唐启义, 冯明光. DPS<sup>®</sup>数据处理系统—实验设计、统分析及数据挖掘 (第2版). 北京: 科学出版社, 2010.
- TANG Q Y, FENG M G. *DPS<sup>®</sup> Data Processing System—Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining (2nd Edition)*. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese)
- [16] 安巍, 赵建华, 石志刚, 焦恩宁. 枸杞种质资源果实数量性状评价指标探讨. *果树学报*, 2007, 24(2): 172-175.
- AN W, ZHAO J H, SHI Z G, JIAO E N. Evaluation criteria of some fruit quantitative characteristics of wolfberry (*Lycium* L.) genetic resources. *Journal of Fruit Science*, 2007, 24(2): 172-175. (in Chinese)
- [17] 安巍, 王亚军, 尹跃, 罗青, 石志刚, 赵建华. 枸杞种质资源的 SRAP 分析. *浙江农业学报*, 2013, 25 (6): 1234-1237.
- AN W, WANG Y J, YIN Y, LUO Q, SHI Z G, ZHAO J H. SRAP analysis of wolfberry germplasm. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2013, 25(6): 1234-1237. (in Chinese)
- [18] ZHAO W G, CHUANG J W, CHO Y I, RHA W H, LEE G A, MA K H, HAN S H, BANG K H, PARK C B, KIM S M, PARK Y J. Molecular genetic diversity and population structure in *Lycium* accessions using SSR markers. *Comptes Rendus Biologies*, 2010, 333(11/12): 793-800.
- [19] 袁海静, 安巍, 李立会, 曹有龙, 刘伟华, 董立国, 李丁仁, 王孝. 中国枸杞种质资源主要形态学性状调查与聚类分析. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(4): 627-633.
- YUAN H J, AN W, LI L H, CAO Y L, LIU W H, DONG L G, LI D R, WANG X. The investigation and cluster analysis of main morphological characters for germplasm of Chinese wolfberry. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14(4): 627-633. (in Chinese)
- [20] MAULIÓ E, ARROYO L E, DAORDEN M E, VALENTINIB G H, CERVIGNIA G D L. Performance profiling of *Prunus persica* (L.) Batsch collection and comprehensive association among fruit quality, agronomic and phenological traits. *Scientia Horticulturae*, 2016, 198: 385-397.
- [21] 马庆华, 李永红, 梁丽松, 李琴, 王海, 许元峰, 孙玉波, 王贵禧. 冬枣优良单株果实品质的因子分析与综合评价. *中国农业科学*, 2010, 43(12): 2491-2499.
- MA Q H, LI Y H, LIANG L S, LI Q, WANG H, XU Y F, SUN Y B, WANG G X. Factor analysis and synthetical evaluation of the fruit quality of Dongzao (*Ziziphus jujuba* Mill. 'Dongzao') advanced selections. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(12): 2491-2499. (in Chinese)
- [22] 张劲, 黄丽, 夏宁, 韦保耀, 滕建文. 6个芒果品种品质特性评价研究. *食品科技*, 2011, 36(9): 65-69.
- ZHANG J, HUANG L, XIA N, WEI B Y, TENG J W. Evaluation of six mango cultivars by fruit quality characters. *Food Science & Technology*, 2011, 36(9): 65-69. (in Chinese)
- [23] 高三基, 傅华英, 陈如凯, 徐良年, 张华. 甘蔗品质指标的通径分析和因子分析. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(1): 81-84.
- GAO S J, FU H Y, CHEN R K, XU L N, ZHANG H. Path and factor analysis for quality indexes of sugarcane. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2006, 7(1): 81-84. (in Chinese)
- [24] 聂继云, 李志霞, 李海飞, 李静, 王昆, 毋永龙, 徐国锋, 闫震, 吴锡, 覃兴. 苹果理化品质评价指标研究. *中国农业科学*, 2012, 45(14): 2895-2903.
- NIE J Y, LI Z X, LI H F, LI J, WANG K, WU Y L, XU G F, YAN Z, WU X, QIN X. Evaluation indices for apple physicochemical quality.

- Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(14): 2895-2903. (in Chinese)
- [25] 聂继云, 毋永龙, 李海飞, 王昆, 徐国锋, 闫震, 吴锡. 苹果鲜榨汁品质评价体系构建. *中国农业科学*, 2013, 46(8): 1657-1667.  
NIE J Y, WU Y L, LI H F, WANG K, XU G F, YAN Z, WU X. Evaluation system established for fresh apple juice quality. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(8): 1657-1667. (in Chinese)
- [26] 唐忠厚, 魏猛, 陈晓光, 史新敏, 张爱君, 李洪民, 丁艳锋. 不同肉色甘薯块根主要营养品质特征与综合评价. *中国农业科学*, 2014, 47(9): 1705-1714.  
TANG Z H, WEI M, CHEN X G, SHI X M, ZHANG A J, LI H M, DING Y F. Characters and comprehensive evaluation of nutrient quality of sweetpotato storage root with different flesh colors. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(9): 1705-1714. (in Chinese)
- [27] 白世践, 李超, 王爱玲, 陈光, 赵荣华, 王勇, 蔡军社. 吐鲁番地区无核葡萄主要品质性状因子分析与综合评价. *西北农业学报*, 2016, 25(1): 92-102.  
BAI S J, LI C, WANG A L, CHEN G, ZHAO R H, WANG Y, CAI J S. Factor analysis and comprehensive evaluation of seedless grape quality in Turpan. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, 25(1): 92-102. (in Chinese)
- [28] AYOYR J, SAGAR M, HARRAK H, ALAHYANE A, ALFEDDY M N, TAOURIRTE M, BENICHO M. Evolution of some fruit quality criteria during ripening of twelve new Moroccan apricot clones (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Horticulturae*, 2017, 215: 72-79.
- [29] 虞晓芬, 傅玳. 多指标综合评价方法综述. *统计与决策*, 2004(11): 119-121.  
YU X F, FU D. A summary of comprehensive evaluation method with multi-index. *Statistics and Decision*, 2004(11): 119-121. (in Chinese)
- [30] 刘遵春, 包东娥, 廖明安. 层次分析法在金花梨果实品质评价上的应用. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2006, 34(8): 125-128.  
LIU Z C, BAO D E, LIAO M A. Application of analytic hierarchy process in evaluating Jinhua pear quality. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry(Natural Science Edition)*, 2006, 34(8): 125-128. (in Chinese)
- [31] 王青, 戴思兰, 何晶, 季玉山, 王朔. 灰色关联法和层次分析法在盆栽多头小菊株系选择中的应用. *中国农业科学*, 2012, 45(17): 3653-3660.  
WANG Q, DAI S L, HE J, JI Y S, WANG S. Application of grey correlation analysis and AHP method in selection of potted chrysanthemum. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(17): 3653-3660. (in Chinese)
- [32] 闫亚美, 戴国礼, 冉林武, 罗青, 李晓莺, 秦垦, 巫鹏举, 曾晓雄, 曹有龙. 不同产地野生黑果枸杞资源果实多酚组成分析. *中国农业科学*, 2014, 47(22): 4540-4550.  
YAN Y M, DAI G L, RAN L W, LUO Q, LI X Y, QIN K, WU P J, ZENG X X, CAO Y L. The polyphenols composition of *Lycium ruthenicum* murr. from different places. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(22): 4540-4550. (in Chinese)
- [33] 马文平, 李赫, 叶立勤, 陈敏, 张杉. 不同采收期枸杞干燥过程中主要类胡萝卜素的变化. *中国农业科学*, 2007, 40(7): 1492-1497.  
MA W P, LI H, YE L Q, CHEN M, ZHANG S. Changes of the main carotenoids pigment contents during the drying processes at different harvest stage in *Lycium barbarum* L. fruits. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(7): 1492-1497. (in Chinese)

(责任编辑 赵伶俐)