

# 成都平原秋冬季圆白萝卜鲜食品种适宜性筛选

高佳<sup>1,2</sup>, 田玉肖<sup>1</sup>, 罗静红<sup>1</sup>, 罗芳耀<sup>1</sup>, 唐月明<sup>1</sup>, 李晓梅<sup>2,3</sup>, 杨峰<sup>2,3</sup>, 冉茂林<sup>2,3</sup>

(1. 四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川成都 610066) (2. 农业农村部西南地区园艺作物生物学及种质创制重点实验室, 四川成都 610066) (3. 四川省农业科学院水稻高粱研究所, 四川德阳 618000)

**摘要:** 为评价筛选出圆白萝卜优质鲜食品种, 本文以5个成都地区选育和主栽的圆白萝卜品种为对象, 开展了萝卜采后13项营养(Vc、可溶性蛋白、可溶性固形物、可溶性糖、还原糖、干物质量、果肉和果皮纤维素)与外观品质指标(果肉和果皮色差、果肉和果皮硬度、果皮韧性)的测定与分析。通过数据统计分析、相关性分析和因子评价确定了5个鲜食萝卜品质核心评价指标为果肉可溶性固形物、纤维素、色差L\*值、Vc和可溶性蛋白; 通过层次分析确定各核心评价指标的权重分别为49.81%、26.39%、13.71%、6.09%和4.00%; 通过灰色关联度分析对供试品种进行了品质综合排序, 优选出综合鲜食品质最优的品种为黑叶春不老。供试品种中2个常规种鲜食品质整体优于杂交种, 但3个杂交种的田间丰产性更优。

**关键词:** 萝卜; 鲜食; 品质; 层次分析; 灰色关联度分析

文章编号: 1673-9078(2021)05-139-144

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.5.1027

## Selection of Autumn/Winter Varieties of *Raphanus sativus* L. Suitable for Fresh Consumption

GAO Jia<sup>1,2</sup>, TIAN Yu-xiao<sup>1</sup>, LUO Jing-hong<sup>1</sup>, LUO Fang-yao<sup>1</sup>, TANG Yue-ming<sup>1</sup>, LI Xiao-mei<sup>2,3</sup>, YANG Feng<sup>2,3</sup>, RAN Mao-lin<sup>2,3</sup>

(1. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Science, Chengdu 610066, China) (2. Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (Southwest Region), Chengdu 610066, China)

(3. Rice and Sorghum Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Deyang 618000, China)

**Abstract:** Five varieties of *Raphanus sativus* L. commonly grown in the Chengdu region were compared with the aim of selecting those of high quality for cultivation of freshly consumable crops. Quality was assessed based on 13 post-harvest nutritional indices (including dry matter mass and the contents of Vc, soluble proteins, soluble solids, soluble sugars, reducing sugars, and pulp and peel cellulose), as well as appearance indices (for example, differences between pulp and peel color, pulp and peel firmness, and peel toughness). Statistical analyses, including correlation tests and factor evaluation, revealed that the soluble solids, cellulose, Vc, and soluble protein contents of the pulp, as well as differences in the color value L\* could serve as five key indices for evaluating the suitability of a variety for fresh consumption. The weights of these indices were determined based on an analytic hierarchy process as follows: 49.81%, 26.39%, 13.71%, 6.09%, and 4.00%, respectively. The overall quality of the five selected varieties was ranked according to gray correlation results, which indicated that the variety 'Hei Ye Chun Bu Lao' possessed the best quality in terms of fresh consumption. Among the assessed varieties, it was found that although two conventional varieties showed superior overall quality with respect to fresh consumption, the three hybrid varieties could be characterized by better field yields.

**Key words:** radish; fresh food; quality; analytic hierarchy process; gray correlation

引文格式:

高佳, 田玉肖, 罗静红, 等. 成都平原秋冬季圆白萝卜鲜食品种适宜性筛选[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 139-144, +122

GAO Jia, TIAN Yu-xiao, LUO Jing-hong, et al. Selection of autumn/winter varieties of *Raphanus sativus* L. suitable for fresh consumption [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(5): 139-144, +122

收稿日期: 2020-11-06

基金项目: 四川省科技计划资助项目(2018NZ0001), 四川省农作物育种攻关项目(2021YFYZ0022)

作者简介: 高佳(1983-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮藏保鲜与加工; 通讯作者: 冉茂林(1963-), 男, 研究员, 研究方向: 萝卜育种与栽培

萝卜 (*Raphanus sativus* L.) 为十字花科萝卜属作物, 是一种原产于我国, 以膨大肉质根为产品器官的重要根类蔬菜<sup>[1]</sup>。我国萝卜种植面积广、栽培历史悠久、种质资源丰富, 品种分类复杂, 按照生态类型分包括长白萝卜、樱桃萝卜和油用萝卜; 按栽培季节和冬性强弱分为秋冬萝卜、冬春萝卜、春夏萝卜和夏秋萝卜; 按皮色和肉色可分为红皮、绿皮、白皮、红肉、绿肉等; 按肉质根形态包括圆形、扁圆形、椭圆形、细颈圆形、圆柱形、圆锥形、弯月形、倒圆锥形等; 按用途可分为鲜食用、加工用和饲用等<sup>[2,3]</sup>。各地区萝卜主栽品种受生态条件、栽种习惯和品种资源等因素影响仍以地方品种为主<sup>[2]</sup>, 因此对萝卜地方品种品质特性进行综合评价既有利于充分挖掘优异品种资源, 又可为明确产品市场流通方向提供科学指导。

四川是我国五大萝卜主产省之一, 萝卜常年种植面积约 10 公顷<sup>[2]</sup>, 主要种植类型包括圆白萝卜、红萝卜和长白萝卜<sup>[4]</sup>。其中, 圆白萝卜是四川特色萝卜品种, 主要以秋冬季种植为主, 根型呈近圆形, 白皮白肉、口感鲜甜、既可鲜食又可加工用, 成为川渝地区萝卜种植的主要品种类型<sup>[4,5]</sup>。鲜食是当前蔬菜消费的主要形式, 随着人们消费水平的提高, 口感好、风味佳、营养丰富、优质安全的蔬菜品种日益受到市场欢迎。因此, 本文以 5 个四川本地选育和主栽的圆白萝卜品种为研究对象, 测试了不同品种在成都平原生态条件下统一种植采收后的 13 项外观和营养品质指标, 通过相关性分析、层次分析、灰色关联度分析对比品种间采收的品质差异, 以期筛选和评价优质鲜食圆白萝卜品种提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试品种: 蜀萝 11 号、蜀萝 9 号、C92925、郫县小黄叶和黑叶春不老, 其中蜀萝 11 号<sup>[5]</sup>、蜀萝 9 号<sup>[6]</sup>和 C92925 由四川省农业科学院水稻高粱研究所选育, 黑叶春不老和郫县小黄叶为传统地方品种。所有萝卜样品均统一种植于四川省德阳市东湖乡大同村的萝卜种植基地。2019 年 9 月 15 日播种, 1 m 起垄, 每垄两行, 株距 25 cm, 行距 50 cm, 顺序排列, 小区面积 0.03 亩, 小区株数 160 株, 底肥亩施 N-P-K 复合肥 50 kg。2019 年 12 月 13 日统一采收, 果实大小一致, 果形均匀, 表面无机械损伤, 无明显病虫害危害。萝卜原料采收后于 4 h 内运回实验室, 4 °C 冷库贮藏备用。

### 1.2 仪器与设备

CR-400 色差仪, 日本 Konica Minolta 公司; TA.XT Plus 质构仪, 英国 SMS 公司; Synergy HTX 多功能酶标仪, 美国 BioTek 公司; 5810R 冷冻离心机, 德国 Eppendorf 公司; Fibertec 8000 纤维素仪, 丹麦 FOSS 分析仪器公司; PAL-1 手持式糖度计, 日本 ATAGO 公司; DHG-9075A 电热恒温鼓风干燥箱, 上海齐欣科学仪器有限公司; JA31002 电子天平, 上海精天电子仪器有限公司; 沪制 01130048 游标卡尺, 上海恒量量具有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 样品处理

新鲜萝卜样品每品种 20 个果清水洗净表面, 测量单果重和果形指数; 再将单果纵切成两半, 一半用于测定果皮和果肉色差、硬度、可溶性固形物、果肉干物质量等鲜样指标, 另一半于赤道处横切, 取宽为 3 cm 长条形组织, 人工削皮, 将果皮和果肉组织采用液氮分别冷冻粉碎, 保存于 -80 °C 超低温冰箱内用于测定果肉 Vc、果肉可溶性蛋白、果肉可溶性糖、果肉还原糖、果肉纤维素、果皮纤维素等指标, 每个品种 5 个果混合粉碎保存为 1 个重复, 每品种 4 个重复。

#### 1.3.2 指标测定

##### 1.3.2.1 鲜样指标测定

单果重和果形指数分品种单果测量计算, 果皮和果肉色差采用色差仪测定。果肉硬度、果皮硬度和果皮韧性采用质构仪 P/2 探针从萝卜果皮向果肉中心部位穿刺测定, 测试速度 1 mm/s, 位移 20 mm。定义探针穿透果皮的最大力 (测试图形中第一个峰值) 为果皮硬度, 探针接触样品至穿透果皮之间的位移距离为果皮韧性 (初始值至第一个最大峰之间的位移距离), 探针穿刺位移 5~20 mm 的平均力为果肉硬度。可溶性固形物取果肉汁液采用手持式糖度计测定。干物质量取萝卜中心部位果肉切片混样后采用烘干法<sup>[7]</sup>测定, 结果记为烘干后样品质量占鲜重的百分比。上述指标中干物质量测定时每品种 5 个果取样混合后为 1 个重复, 每品种测 4 个重复; 其余指标单果取样, 每品种测 20 个重复。

##### 1.3.2.2 冻样指标测定

Vc 含量按照国标 GB 5009.86-2016<sup>[8]</sup>中 2,6-二氯靛酚滴定法测定; 可溶性蛋白采用考马斯亮蓝染色法<sup>[7]</sup>测定; 可溶性糖采用蒽酮试剂法测定; 还原糖采用 3,5-二硝基水杨酸法<sup>[7]</sup>测定; 果肉和果皮纤维素按照国标 GB/T 5009.10-2003<sup>[9]</sup>方法, 采用纤维素分析仪测定。上述指标每品种测 4 个重复。

表1 供试萝卜品种田间表现

Table 1 Field cultivation data of radish materials

| 样品名称    | 熟期  | 最佳收获期    | 叶色  | 类型  | 平均单果重/g | 果形指数 |
|---------|-----|----------|-----|-----|---------|------|
| 蜀萝 11 号 | 中熟  | 80 d 左右  | 黄绿色 | 杂交种 | 996.21  | 0.94 |
| 蜀萝 9 号  | 中熟  | 80 d 左右  | 绿色  | 杂交种 | 946.13  | 0.99 |
| C92925  | 中晚熟 | 90 d 左右  | 绿色  | 杂交种 | 832.01  | 0.96 |
| 郫县小黄叶   | 中熟  | 80 d 左右  | 绿色  | 常规种 | 660.72  | 0.94 |
| 黑叶春不老   | 晚熟  | 100 d 左右 | 深绿色 | 常规种 | 497.19  | 1.25 |

## 1.4 数据分析

采用 Excel 2007 软件对所有测定指标进行数据整理,采用 IBM SPSS Statistics 22 软件进行相关性分析,评价指标间信息重叠度,确定核心评价指标;采用层次分析法,确定评价评价指标的相对权重;采用灰色系统理论,以各指标的最优值设定理想品种,计算关联系数;结合层次分析法确定的权重计算加权关联系数并排序,对品种的鲜食特性进行评价<sup>[10-12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 萝卜样品基础指标数据分析

调查了供试5个圆白萝卜品种的田间表现(表1),其中蜀萝 11 号、蜀萝 9 号和郫县小黄叶为中熟品种,在成都平原种植的最佳收获期为 80 d 左右;优选组合材料 C92925 为中晚熟品种,最佳收获期为 90 d 左右;黑叶春不老为晚熟品种,最佳收获期为 100 d 左右。5 个品种叶色均为不同深浅的绿色,其中蜀萝 11 号叶色偏黄,黑叶春不老叶色较深。蜀萝 11 号、蜀萝 9 号和组合 C92925 为杂交种类型,其余 2 个品种为常规种。5 个品种供试样品平均单果重由大到小依次为:蜀萝 11 号>蜀萝 9 号>C92925>郫县小黄叶>黑叶春不老,蜀萝 11 号平均单果重是黑叶春不老的 2 倍。如果以每亩种植 5500 株萝卜计算,蜀萝 11 号亩产可达 5.48 t,高产效益明显<sup>[5]</sup>。果形指数均值在 0.94~1.25 之间,除了黑叶春不老果形偏扁圆形,其余品种均为近圆形。萝卜的单位面积产量、熟性、种植时期等特性与生产效益密切相关,上述指标可以看出,3 个杂交萝卜品种相较 2 个常规品种具有明显的早上市、高产量等优势<sup>[5,6]</sup>。果实的果形指数与消费者鲜食购买的喜好程度有一定关系,且与其加工特性有关。作为加工用萝卜,近圆形和大果型品种更有利于加工过程中切分成率

的提高。四川泡菜用萝卜对个体的要求也以单个果 1.0~1.5 kg 为优选<sup>[13]</sup>。

表 2 为供试圆白萝卜品种鲜样测试指标的基础数据汇总。5 个品种所有测试指标变异系数在 1.6%~17.51%之间,可见品种在测试指标间表现出的整体差异不大。其中品种间变异系数在 10%以上,品种间差异相对较大的指标有:果皮纤维素>果肉可溶性固形物>果肉还原糖>果肉干物质质量>果肉可溶性糖>果肉 Vc 含量,而果皮和果肉色差  $L^*$  值变异系数均在 2.5% 以下,表明品种间颜色亮度  $L^*$  值差异较小。

萝卜果肉测试指标中, Vc、可溶性蛋白、可溶性固形物、可溶性糖、还原糖、干物质质量、纤维素均为品质指标。从测试结果来看,黑叶春不老的所有品质指标均显著最高,而蜀萝 11 号除可溶性糖和纤维素外其余所有品质指标均显著最低。果肉纤维素在品种间的变异系数为 6.95%,多数品种间数据差异不显著,表明在供试品种中果肉纤维素的差异不大,整体表现为 3 个杂交品种略高于 2 个常规品种。硬度和色差  $L^*$  为萝卜果肉的商品性指标,其中蜀萝 11 号、蜀萝 9 号、C92925 和黑叶春不老果肉硬度差异不显著,但显著低于郫县小黄叶; C92925 色差  $L^*$  显著最高,表明该品种颜色更亮白。萝卜果皮测试了 4 个指标,其中纤维素含量显著最高的品种为 C92925,其它 4 个品种差异不显著;果皮硬度和韧性均显著最高的品种为郫县小黄叶;果皮色差  $L^*$  值在品种间变化不大,蜀萝 9 号表皮  $L^*$  值显著最低,表现为果皮色泽相对较暗。果皮和果肉纤维素既可作为一种营养指标,也反应了萝卜的口感特性。对鲜食萝卜而言,果肉纤维素含量越高鲜食口感越差,而果皮纤维素含量越高相对耐贮藏特性更好。硬度和韧性反映了果肉和果皮的质构特性,果肉硬度高一定程度上果肉脆性越好,果皮硬度和韧性越高,耐贮藏特性越好。

表2 供试萝卜品种基础指标数据

Table 2 Basic indexes data of radish materials

| 品种名称    | 果肉指标               |                    |                   |                    |                    |                    |                    |                     |                    | 果皮指标               |                      |                    |                    |
|---------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
|         | Vc/(mg/100 g)      | 可溶性蛋白/(mg/g)       | 可溶性固形物/%          | 可溶性糖/(mg/g)        | 还原糖/(mg/g)         | 干物质量/%             | 纤维素/(mg/g)         | 硬度/g                | L*                 | 纤维素(mg/g)          | 硬度/g                 | 韧性/mm              | L*                 |
| 蜀萝 11 号 | 7.97 <sup>c</sup>  | 1.35 <sup>c</sup>  | 4.05 <sup>d</sup> | 56.67 <sup>b</sup> | 28.96 <sup>c</sup> | 5.20 <sup>c</sup>  | 6.04 <sup>a</sup>  | 628.53 <sup>b</sup> | 80.56 <sup>b</sup> | 8.72 <sup>b</sup>  | 894.15 <sup>b</sup>  | 0.85 <sup>c</sup>  | 87.92 <sup>b</sup> |
| 蜀萝 9 号  | 8.74 <sup>c</sup>  | 1.64 <sup>ab</sup> | 4.43 <sup>c</sup> | 56.41 <sup>b</sup> | 33.48 <sup>b</sup> | 5.70 <sup>b</sup>  | 6.37 <sup>a</sup>  | 635.13 <sup>b</sup> | 77.94 <sup>c</sup> | 8.90 <sup>b</sup>  | 833.58 <sup>b</sup>  | 0.92 <sup>bc</sup> | 85.20 <sup>c</sup> |
| C92925  | 9.91 <sup>b</sup>  | 1.51 <sup>bc</sup> | 4.13 <sup>d</sup> | 55.95 <sup>b</sup> | 28.72 <sup>c</sup> | 5.40 <sup>bc</sup> | 6.15 <sup>a</sup>  | 621.07 <sup>b</sup> | 81.70 <sup>a</sup> | 12.62 <sup>a</sup> | 898.41 <sup>b</sup>  | 1.00 <sup>ab</sup> | 89.71 <sup>a</sup> |
| 郫县小黄叶   | 9.99 <sup>b</sup>  | 1.79 <sup>a</sup>  | 5.20 <sup>b</sup> | 75.01 <sup>a</sup> | 39.86 <sup>a</sup> | 7.14 <sup>a</sup>  | 5.24 <sup>b</sup>  | 784.91 <sup>a</sup> | 80.10 <sup>b</sup> | 8.13 <sup>b</sup>  | 1017.10 <sup>a</sup> | 1.01 <sup>a</sup>  | 89.38 <sup>a</sup> |
| 黑叶春不老   | 11.04 <sup>a</sup> | 1.62 <sup>ab</sup> | 6.03 <sup>a</sup> | 72.00 <sup>a</sup> | 38.65 <sup>a</sup> | 7.02 <sup>a</sup>  | 5.74 <sup>ab</sup> | 661.04 <sup>b</sup> | 80.16 <sup>b</sup> | 9.34 <sup>b</sup>  | 974.20 <sup>b</sup>  | 0.98 <sup>ab</sup> | 89.62 <sup>a</sup> |
| 均值      | 9.53               | 1.58               | 4.77              | 63.21              | 33.93              | 6.09               | 5.91               | 666.14              | 80.09              | 9.54               | 923.49 b             | 0.95               | 88.36              |
| 标准偏差    | 1.13               | 0.16               | 0.79              | 8.92               | 4.93               | 0.87               | 0.41               | 64.19               | 1.28               | 1.67               | 68.16                | 0.06               | 1.80               |
| 变异系数/%  | 11.81              | 9.87               | 16.57             | 14.12              | 14.54              | 14.25              | 6.95               | 9.64                | 1.60               | 17.51              | 7.38                 | 6.48               | 2.04               |

注: 表中同列数据后不同小写字母表示品种间有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

表3 萝卜品种测试指标间相关性分析

Table 3 Correlation coefficient between indexes of radishes

| 项目     | Vc                 | 可溶性蛋白              | 可溶性固形物             | 可溶性糖               | 还原糖                 | 干物质量               | 果肉纤维素               | 果肉硬度               | 果肉 L*              | 果皮纤维素             | 果皮韧性              | 果皮硬度               | 果皮 L* |
|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------|
| Vc     | 1                  |                    |                    |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                   |                   |                    |       |
| 可溶性蛋白  | 0.37               | 1                  |                    |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                   |                   |                    |       |
| 可溶性固形物 | 0.76 <sup>**</sup> | 0.40               | 1                  |                    |                     |                    |                     |                    |                    |                   |                   |                    |       |
| 可溶性糖   | 0.58 <sup>*</sup>  | 0.70 <sup>**</sup> | 0.82 <sup>**</sup> | 1                  |                     |                    |                     |                    |                    |                   |                   |                    |       |
| 还原糖    | 0.50 <sup>*</sup>  | 0.65 <sup>**</sup> | 0.84 <sup>**</sup> | 0.91 <sup>**</sup> | 1                   |                    |                     |                    |                    |                   |                   |                    |       |
| 干物质量   | 0.71 <sup>**</sup> | 0.49 <sup>*</sup>  | 0.91 <sup>**</sup> | 0.90 <sup>**</sup> | 0.92 <sup>**</sup>  | 1                  |                     |                    |                    |                   |                   |                    |       |
| 果肉纤维素  | 0.22               | -0.55 <sup>*</sup> | -0.45              | -0.63 <sup>*</sup> | -0.60 <sup>*</sup>  | -0.53 <sup>*</sup> | 1                   |                    |                    |                   |                   |                    |       |
| 果肉硬度   | 0.33               | 0.64 <sup>**</sup> | 0.43               | 0.73 <sup>**</sup> | 0.65 <sup>**</sup>  | 0.63 <sup>**</sup> | -0.72 <sup>**</sup> | 1                  |                    |                   |                   |                    |       |
| 果肉 L*  | 0.27               | -0.37              | -0.14              | -0.12              | -0.31               | -0.11              | -0.14               | -0.05              | 1                  |                   |                   |                    |       |
| 果皮纤维素  | 0.29               | -0.22              | -0.32              | -0.44              | -0.61 <sup>**</sup> | -0.34              | 0.46                | -0.46 <sup>*</sup> | 0.55 <sup>*</sup>  | 1                 |                   |                    |       |
| 果皮韧性   | 0.67 <sup>**</sup> | 0.41               | 0.37               | 0.40               | 0.31                | 0.42               | -0.29               | 0.34               | 0.25               | 0.46 <sup>*</sup> | 1                 |                    |       |
| 果皮硬度   | 0.44               | 0.52 <sup>*</sup>  | 0.58 <sup>**</sup> | 0.85 <sup>**</sup> | 0.65 <sup>**</sup>  | 0.59 <sup>**</sup> | -0.62 <sup>*</sup>  | 0.72 <sup>**</sup> | 0.23               | -0.23             | 0.38              | 1                  |       |
| 果皮 L*  | 0.59 <sup>**</sup> | -0.04              | 0.39               | 0.43               | 0.20                | 0.42               | -0.40               | 0.24               | 0.76 <sup>**</sup> | 0.35              | 0.46 <sup>*</sup> | 0.59 <sup>**</sup> | 1     |

注: \*\*表示  $p < 0.01$ , \*表示  $p < 0.05$ 。

表4 判断矩阵及一致性检验

Table 4 Appraisal matrix and consistency check

| 项目     | 可溶性固形物 | 果肉纤维素 | 果肉 L*值 | Vc  | 可溶性蛋白 | 特征向量   |
|--------|--------|-------|--------|-----|-------|--------|
| 可溶性固形物 | 1      | 3     | 5      | 7   | 8     | 0.4981 |
| 果肉纤维素  | 1/3    | 1     | 3      | 5   | 7     | 0.2639 |
| 果肉 L*值 | 1/5    | 1/3   | 1      | 3   | 5     | 0.1372 |
| Vc     | 1/7    | 1/5   | 1/3    | 1   | 2     | 0.0609 |
| 可溶性蛋白  | 1/8    | 1/7   | 1/4    | 1/2 | 1     | 0.0400 |

表5 主评价指标权重

Table 5 Weight of main evaluation indexes

| 指标   | 可溶性固形物 | 果肉纤维素 | 果肉 L*值 | Vc   | 可溶性蛋白 |
|------|--------|-------|--------|------|-------|
| 权重/% | 49.81  | 26.39 | 13.72  | 6.09 | 4.00  |

## 2.2 应用相关性分析筛选主评价因子

对表2中测试指标进行相关性分析(表3)可见,所有测试指标均与其它至少2个以上指标存在彼此的显著相关性,表明测试指标间相关性较好。其中可溶性固形物、可溶性糖、还原糖、干物质量4个指标彼此间相关系数均大于0.8,表现出极显著正相关性,表明这4个指标反应的品质特性在品种间的信息重合度较高;这4个指标还与Vc和果皮硬度表现出不同程度的显著或极显著正相关性,表明彼此间可能存在一定的内在联系。可溶性固形物、可溶性糖、还原糖均代表了萝卜果肉的糖度指标,新鲜圆白萝卜中富含了90%以上的水分,剩余干物中糖份含量很高,因此上述4个指标间相关高。此外,可溶性糖、还原糖和干物质量3个指标与可溶性蛋白和果肉硬度均呈现出显著或极显著正相关性,还与果肉纤维素呈显著负相关。有报道表明,萝卜的干物质量与可溶性糖、Vc和蛋白质含量极显著正相关,认为干物质量影响了萝卜的加工品质<sup>[4]</sup>,与本研究结果相似。本研究中,Vc与果皮韧性和果皮L\*值呈极显著正相关,可溶性蛋白与果肉硬度呈极显著正相关,具体原因尚待研究。

果肉硬度与果肉纤维素呈极显著负相关,表明果肉纤维素低硬度大则脆性较好。果肉硬度与果皮硬度呈极显著正相关,果肉L\*值与果皮L\*值极显著正相关,表明圆白萝卜果皮和果肉质地性状和颜色性状都表现出一致性。果皮硬度与果皮L\*极显著正相关,两者间可能存在某种内在联系。

为筛选萝卜适宜鲜食的品种,后续分析中只考察了9项主要食用部分果肉的测试指标。剔除信息重合度很高的可溶性糖、还原糖、干物质量3项指标,保留了测试方法相对简便的可溶性固形物指标;再剔除与果肉纤维素极显著负相关的果肉硬度,还剩下Vc、可溶性蛋白、可溶性固形物、果肉纤维素和果肉L\*

值这5项指标作为鲜食萝卜的核心评价指标进行后续分析。

## 2.3 应用层次分析法确定评价因子权重

参照Satty1-9标度<sup>[11]</sup>,按照各核心评价指标对鲜食萝卜影响的重要程度构造了两两比较的判断矩阵(表4),用和积分法计算出判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=5.24848$ 。对判断矩阵的一致性进行检验,当判断矩阵 $n=5$ 时,平均随机一致性指标 $RI=1.12$ ,一致性比率 $CI=0.06212$ , $CR=0.055464<0.1$ ,认为该判断矩阵一致性可接受,得到各指标的权重表5。其中,可溶性固形物含量评价得分最高为49.81%,可溶性蛋白含量权重最低为4.00%。

## 2.4 应用灰色关联度分析进行品种鲜食特性排序

对鲜食萝卜而言,可溶性固形物、Vc和可溶性蛋白含量越高,果肉纤维素含量越低,色泽越亮白,品质相对越好。参照各测定指标值,拟定了理想品种的参考值,参照张学杰等<sup>[10]</sup>的方法对数据进行无量纲化处理,分辨系数 $\rho=0.5$ 。赋予各指标的关联系数层次分析法确定的相应权重(表5),计算出各萝卜品种对理想品种的加权关联系数并进行排序,从表6中可见各品种加权关联度排序由大到小依次为:黑叶春不老>郫县小黄叶>C92925>蜀萝11号>蜀萝9号。表明,如果以果肉的可溶性固形物、纤维素、色差L\*值、Vc和可溶性蛋白含量作为评价指标,供试5个品种中鲜食品质相对最佳的品种为黑叶春不老,且2个常规品种在相同的生态条件和种植条件下鲜食品质整体优于3个杂交种。黑叶春不老是成都平原经过长期自然选择保留下来的常规品种,种植时间超过20年,因此在长期人工选择过程中保留了其优异的鲜食口感等品

质性状。但结合表 1 的田间性状可以看出, 3 个杂交品种(蜀萝 11 号、蜀萝 9 号和 C92925)在早熟、丰

产特性上具有明显优势, 对于规模种植过程中提高单位面积产量和效益作用明显。

表 6 各品种的关联系数和加权关联系数

Table 6 Correlation coefficients and weight coefficient of each varieties

| 品种名称    | 可溶性固形物 | 果肉纤维素  | 果肉 L*值 | Vc     | 可溶性蛋白  | 加权关联度  | 加权关联度排序 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 蜀萝 11 号 | 0.3948 | 0.5951 | 0.9491 | 0.4564 | 0.4654 | 0.5303 | 4       |
| 蜀萝 9 号  | 0.4323 | 0.5145 | 0.8497 | 0.5173 | 0.6380 | 0.5246 | 5       |
| C92925  | 0.4016 | 0.5665 | 1.0000 | 0.6482 | 0.5464 | 0.5480 | 3       |
| 郫县小黄叶   | 0.5335 | 0.9618 | 0.9299 | 0.6595 | 0.7957 | 0.7190 | 2       |
| 黑叶春不老   | 0.7131 | 0.6949 | 0.9326 | 0.8581 | 0.6260 | 0.7438 | 1       |

### 3 结论

本试验通过对 13 项测试指标进行统计分析、相关性分析和因子评价, 确定了鲜食圆白萝卜的核心评价指标为可溶性固形物、果肉纤维素、果肉色差 L\*值、Vc 和可溶性蛋白含量; 通过层次分析确定了各主评价指标的权重分别为 49.81%、26.39%、13.71%、6.09%和 4.00%; 应用灰色关联度分析对 5 个成都本地种植的圆白萝卜品种鲜食品质进行了适宜性排序, 选出性状相对最优的品种为黑叶春不老; 供试品种中常规种鲜食品质特性相对优于杂交种, 但杂交种丰产性相对更优。

### 参考文献

[1] 周长久,陈惠明.中国栽培萝卜(*Raphanus sativus* L. var. *longipinatus* Bailey)分布及起源中心的初步研究[J].北京农业大学学报,1991,14(4):47-53  
ZHOU Chang-jiu, CHEN Hui-ming. Study of the distribution of Chinese radish and its centre of origin [J]. Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis, 1991, 14(4): 47-53

[2] 包崇来,汪精磊,胡天华,等.我国萝卜产业发展现状与育种方向探讨[J].浙江农业科学,2019,60(5):707-710  
BAO Chong-lai, WANG Jing-lei, HU Tian-hua, et al. Discussion on the development status and breeding direction of radish industry in China [J]. Zhejiang Agricultural Sciences, 2019, 60(5): 707-710

[3] 连勇,张纪增.我国主要萝卜地方品种的形态和类型[J].中国蔬菜,1991,6:27-29,41  
LIAN Yong, ZHANG Ji-zeng. The morphology and types of main local radish varieties in China [J]. Chinese Vegetables, 1991, 6: 27-29, 41

[4] 冉茂林,雍晓平,李晓梅,等.四川省萝卜育种、产业发展现状与对策[J].蔬菜,2014,11:1-5

RAN Mao-lin, YONG Xiao-ping, LI Xiao-mei, et al. Current situation and countermeasures of radish breeding and industry development in Sichuan province [J]. Vegetables, 2014, 11: 1-5

[5] 李晓梅,杨峰,雍晓平,等.萝卜新品种蜀萝 11 号的选育[J].中国蔬菜,2020,4:87-89  
LI Xiao-mei, YANG Feng, YONG Xiao-ping, et al. A new radish F<sub>1</sub> hybrid- 'Shuluo No.11' [J]. Chinese Vegetables, 2020, 4: 87-89

[6] 冉茂林,陈天清,雍晓平,等.加工萝卜蜀萝 9 号(038A/C9274)的选育与应用[J].江西农业学报,2014,26(1):44-46  
RAN Mao-lin, CHEN Tian-qing, YONG Xiao-ping, et al. Breeding and application of processing-type radish variety 'Shuluo No.9' (038A/C9274) [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2014, 26(1): 44-46

[7] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007  
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Postharvest Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007

[8] GB/T 5009.86-2016 食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定[S]  
GB/T 5009.86-2016 Determination of Ascorbic Acid in Food [S]

[9] GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定[S]  
GB/T 5009.10-2003 Determination of Crude Fiber in Vegetable Foods [S]

[10] 张学杰.不同胡萝卜品种制汁加工特性的灰色关联度分析评价[J].食品科学,2007,28(7):54-56  
ZHANG Xue-jie. Evaluation on different carrot varieties for juice processing by grey correlative degree analysis [J]. Food Science, 2007, 28(7): 54-56

(下转第 122 页)