

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)06-0481-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.06.001

遗传育种

## 彩色马铃薯产量和品质性状评价

史瑞翔, 李博雯, 孙圣卿, 吴晓红, 王竞红\*

(东北林业大学园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:** 彩色马铃薯中含有丰富的花青素, 具有很好的抗氧化功能和药用价值。为明确不同彩色马铃薯产量及品质差异, 进而筛选高产优质的彩色马铃薯品种, 试验以‘大同里外黄’为对照, 11个彩色马铃薯为研究材料, 测定其产量性状与品质性状, 并分析了短期贮藏下彩色马铃薯中花青素的含量变化。‘民丰红’的产量最高, 达33 558 kg/hm<sup>2</sup>, 与对照品种‘大同里外黄’(22 550 kg/hm<sup>2</sup>)差异显著。‘民丰红’的综合性状最好, 其次是‘永丰3号’‘青薯9号’。与贮藏前相比, 贮藏30 d彩色马铃薯块茎中花青素含量均降低; 与贮藏30 d相比, 贮藏60 d 5个品种(系)花青素含量升高, 7个品种(系)含量降低, 但均低于贮藏前马铃薯块茎花青素的含量。研究为生产筛选出了高产或综合性状好的彩色马铃薯品种, 并明确了短期贮藏下彩色马铃薯块茎中花青素的含量变化规律。

**关键词:** 彩色马铃薯; 产量; 品质; 花青素; 贮藏

## Assessment of Yield and Quality Traits of Color Potato

SHI Ruixiang, LI Bowen, SUN Shengqing, WU Xiaohong, WANG Jinghong\*

(College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

**Abstract:** Color potatoes are rich in anthocyanins, which have good antioxidant function and medicinal value. In order to clarify the differences in yield and quality of different color potatoes, and then screen color potato varieties with high yield and good quality, the yields and quality traits of 11 color potato varieties (lines) were measured using 'Datongliwaihuang' as a control, and the anthocyanin change patterns under short-term storage was analyzed in this experiment. The yield of 'Minfenghong' was the highest, reaching 33 558 kg/ha, which is significantly different from the control variety 'Datongliwaihuang' (22 550 kg/ha). 'Minfenghong' had the best comprehensive characters, followed by 'Yongfeng 3' and 'Qingshu 9'. Compared with those before storage, the anthocyanin content in color potato tubers stored for 30 days decreased; compared with 30 days storage, the anthocyanin content of five varieties (lines) increased and that of seven varieties (lines) decreased after 60 days storage, but all of them were lower than that of potato tubers before storage. In this study, color potato varieties with high yield or good comprehensive traits are screened for production, and the change pattern of anthocyanin content in color potato tubers during short-term storage is clarified.

**Key Words:** color potato; yield; quality; anthocyanin; storage

收稿日期: 2022-10-20

基金项目: 东北林业大学大学生创业训练项目(202210225415)。

作者简介: 史瑞翔(2001-), 女, 本科生, 主要从事植物种质资源创新。

\*通信作者(Corresponding author): 王竞红, 教授, 研究方向为园林植物应用, E-mail: jinglife26@126.com。

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)块茎富含多种营养成分, 诸如淀粉、蛋白质、脂肪、还原糖、多种维生素以及矿物质<sup>[1,2]</sup>。随着功能农业的兴起, 人们开始更多地关注功能农产品, 对马铃薯的研究重点从吃饱发展到能提供更高的营养保健价值<sup>[3,4]</sup>, 因而富含高花青素含量的彩色马铃薯成为马铃薯产业研究的热点。马铃薯薯肉颜色与块茎所含的花青素、类胡萝卜素含量相关, 花青素含量的不同使其呈现红色、紫色和橙色等<sup>[5,6]</sup>。花青素是天然水溶性色素, 具有提高人体免疫力、预防疾病发生、提高抗氧化能力等重要作用<sup>[7,8]</sup>, 与人类健康紧密相关。彩色马铃薯已成为天然色素和抗氧化剂的重要来源, 已广泛应用于食品业、医药业、饲料行业等多个领域<sup>[9-11]</sup>, 引起了研究者更多的关注。

目前有关彩色马铃薯的研究报道主要集中在几个方面, 诸如组成成分测定<sup>[5,12]</sup>、相关基因表达<sup>[13]</sup>、引种比较评价<sup>[14,15]</sup>以及遗传图谱构建<sup>[16]</sup>等。花青素特有的缺电子结构特征, 会受到活性氧负离子和自由电子的攻击, 导致其不稳定, 易发生降解<sup>[17]</sup>。因此, 彩色马铃薯收获后花青素含量、组分结构及相关基因表达调控会发生明显变化。李倩<sup>[18]</sup>比较分析了不同贮藏条件下马铃薯花青素含量的变化, 指出在不同贮藏温度下花青素含量都降低, 且不同温度间花青素含量下降比例差异不显著; 李洁雅等<sup>[19]</sup>测定了不同贮藏期间彩色马铃薯花青素的含量、组分, 并分析了相关基因的表达, 指出花青素总含量、相关基因表达量随着贮藏时间的延长都表现降低, 花青素组分也减少, 但没有明晰不同贮藏条件下花青素的变化趋势。

为筛选优质高产、耐贮藏的彩色马铃薯品种, 进而明确短期贮藏下花青素含量的变化趋势, 本研究以不同薯皮薯肉颜色的马铃薯为材料, ‘大同里外黄’为对照, 对其产量性状、品质性状比较分析, 并测定短期贮藏下花青素含量, 旨在拓宽彩色马铃薯种质资源, 为彩色马铃薯种质资源的筛选、评价、利用等提供研究基础。同时, 也为彩色马铃薯合理贮藏条件的选择提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

马铃薯材料包括‘大同里外黄’(CK)、“荷兰14号”‘E3’‘民丰红’‘青薯9号’‘黑金刚’‘川引2号’‘永丰3号’‘475’‘476’‘后旗红’以及‘红颜’, 由山西蓬勃农业科技股份有限公司提供, ‘大同里外黄’在当地表现良好, 选其作为对照材料。试验采用单因素随机区组设计, 每个小区长6 m、宽4 m, 播种行距80 cm, 株距30 cm, 每一品种(系)设置3次重复。2021年5月10日播种, 9月下旬成熟后分期收获。

### 1.2 试验地概况

试验于大同市左云县马铃薯种植基地进行, 左云县位于山西省北部, 无霜期95~130 d, 昼夜温差大, 日照充足, 试验地地势平坦, 土壤肥沃, 是山西省马铃薯的传统种植区。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 产量性状测定

收获时按小区全部收获, 将小区产量换算为公顷产量。同时, 从每一种植小区选取马铃薯5株, 用于测定产量构成因子的各个指标(单株产量、单株结薯数、单薯平均鲜重、商品薯率), 其中商品薯率为单株内单个马铃薯块茎重量大于75 g的块茎总重量与单株产量的比值。

#### 1.3.2 品质性状测定

马铃薯收获时, 于每小区挑选10株马铃薯, 筛选出10个大小一致、薯形规则的块茎, 分成两部分, 各5个块茎。一部分用于品质性状测定, 另一部分贮藏于4℃的恒温箱(无光照, 湿度为80%左右), 贮藏0, 30和60 d时测定马铃薯块茎中花青素含量。马铃薯品质指标(干物质含量、淀粉含量、还原糖含量、蛋白质含量、维生素C含量)的测定参照《马铃薯试验研究方法》<sup>[20]</sup>。采用柠檬酸—磷酸氢二钠缓冲液法测定花青素含量<sup>[21]</sup>。

#### 1.3.3 数据处理

试验数据应用Microsoft excel 2007计算马铃薯产量因子、各品质指标含量的平均值, 以及最大值、最小值与变异系数, 对测定的相关指标利用

SPSS 20 软件进行方差分析、显著性分析和相关性分析。采用模糊数学隶属函数综合评价马铃薯的产量性状、品质指标。马铃薯的淀粉含量、维生素 C 含量、蛋白质含量、干物质含量与综合品质指标呈正相关, 利用公式  $X(\mu) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$  计算隶属值; 与综合营养品质呈负相关的还原糖含量, 采用公式  $X(\mu) = 1 - [(X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})]$ 。公式中  $X$  表示不同马铃薯品种某一指标的测定值, 该指标测定值中的最小值用  $X_{\min}$  表示, 最大值用  $X_{\max}$  表示。通过计算, 将马铃薯品种各个指标隶属值累加后取平均值。平均隶属值越高, 表明其综合

性状越好。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同彩色马铃薯产量比较

不同彩色马铃薯品种(系)产量变化为 11 958~33 558 kg/hm<sup>2</sup>, 平均值为 20 287 kg/hm<sup>2</sup>, 其中‘民丰红’产量显著高于对照‘大同里外黄’(CK), 较 CK 增产 48.82%, 增产幅度最大。‘川引 2 号’‘红颜’‘475’‘476’产量显著低于对照‘大同里外黄’(CK)。  
‘476’产量最低, 较对照产量降低 46.97%, 与‘476’相比, ‘民丰红’增产 180.63%(表 1)。

表 1 不同彩色马铃薯品种(系)产量  
Table 1 Yield of different color potato varieties (lines)

| 品种(系)<br>Variety (line)    | 皮色<br>Skin color | 肉色<br>Flesh color | 小区产量(kg/24 m <sup>2</sup> )<br>Plot yield | 折合产量(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Equivalent yield (kg/ha) | 位次<br>Rank |
|----------------------------|------------------|-------------------|---|---|------------|
| 大同里外黄(CK) Datongliwaihuang | 黄                | 黄                 | 54.12 ± 12.51                             | 22 550 ± 5 215 bcd                                    | 5          |
| 荷兰 14 号 Holland 14         | 粉红               | 黄                 | 62.01 ± 1.39                              | 25 838 ± 581 b  | 3          |
| E3                         | 粉红               | 黄                 | 57.00 ± 7.21                              | 23 750 ± 3 005 bc                                     | 4          |
| 民丰红 Minfenghong            | 红                | 黄                 | 80.54 ± 7.65                              | 33 558 ± 3 186 a                                      | 1          |
| 青薯 9 号 Qingshu 9           | 红                | 黄                 | 66.03 ± 14.67                             | 27 513 ± 6 113 b                                      | 2          |
| 后旗红 Houqihong              | 红                | 黄                 | 47.21 ± 3.70                              | 19 671 ± 1 543 cde                                    | 6          |
| 永丰 3 号 Yongfeng 3          | 红                | 黄                 | 42.17 ± 11.04                             | 17 571 ± 4 602 defg                                   | 8          |
| 川引 2 号 Chuanyin 2          | 红                | 黄                 | 36.13 ± 3.58                              | 15 054 ± 1 492 efg                                    | 9          |
| 红颜 Hongyan                 | 红                | 黄                 | 30.43 ± 7.87                              | 12 679 ± 3 278 fg                                     | 11         |
| 475                        | 红                | 红                 | 35.63 ± 4.80                              | 14 846 ± 2 000 efg                                    | 10         |
| 黑金刚 Black King Kong        | 紫                | 紫                 | 44.30 ± 3.32                              | 18 458 ± 1 381 cdef                                   | 7          |
| 476                        | 紫                | 紫                 | 28.70 ± 4.01                              | 11 958 ± 1 671 g                                      | 12         |
| 平均值 Mean                   |                  |                   | 48.69                                     | 20 287  |            |
| 变异系数(%) CV                 |                  |                   | 13.99                                     | 13.99   |            |

注: 数据以平均值 ± 标准差表示。同列数据上标不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 采用邓肯氏新复极差法。下同。

Note: Data is presented as mean ± standard deviation. Different lowercase letters following the data in the same column indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

### 2.2 不同彩色马铃薯产量构成比较

对不同彩色马铃薯的单株结薯数、单薯平均鲜重、单株产量及商品薯率分析发现, 参试材料单株结薯数均值为 5.53 个/株, 变异系数为 38.60%, ‘后旗红’的单株结薯数最多, 为 11.67 个/株, ‘荷兰 14 号’最少, 显著低于对照‘大同里外黄’(CK); 单薯平均鲜重均值为 0.17 kg, 变异系数为 37.00%, 各品种(系)与对照之间差异不显著。

不同彩色马铃薯的单株产量均值为 0.79 kg/株, 变异系数为 26.32%, ‘大同里外黄’(CK)的单株产量最高, 为 1.58 kg/株, 除‘民丰红’外, 其他彩色马铃薯的单株产量均显著低于对照, ‘475’最低, 为 0.28 kg/株; 12 个马铃薯的商品薯率介于 43.47%~100%, 均值为 80.00%, 变异系数最小为 14.00%, ‘荷兰 14 号’的商品薯率为 100%, 显著高于‘后旗红’‘475’, ‘后旗红’最低为 43.47%(表 2)。

表2 不同彩色马铃薯品种(系)产量构成因子  
Table 2 Yield components of different color potato varieties (lines)

| 品种(系)<br>Variety (line)    | 单株结薯数(个/株)<br>Tuber number per plant (No./plant) | 单薯平均鲜重(kg)<br>Mean tuber weight | 单株产量(kg/株)<br>Yield per plant (kg/plant) | 商品薯率(%)<br>Marketable tuber percentage |
|----------------------------|--|---------------------------------|--|--|
| 大同里外黄(CK) Datongliwaihuang | 8.00 ± 4.00 ab                                   | 0.23 ± 0.10 a                   | 1.58 ± 0.31 a                            | 89.33 ± 0.09 ab                        |
| 荷兰14号 Holland 14           | 2.00 ± 1.00 c                                    | 0.20 ± 0.12 a                   | 0.41 ± 0.22 ef                           | 100 ± 0 a                              |
| E3                         | 4.00 ± 1.00 bc                                   | 0.17 ± 0.07 a                   | 0.62 ± 0.12 def                          | 89.16 ± 0.05 ab                        |
| 民丰红 Minfenghong            | 5.00 ± 1.00 bc                                   | 0.26 ± 0.02 a                   | 1.27 ± 0.18 ab                           | 86.03 ± 0.06 ab                        |
| 青薯9号 Qingshu 9             | 6.33 ± 3.51 bc                                   | 0.16 ± 0.08 a                   | 0.79 ± 0.09 cde                          | 79.81 ± 0.20 ab                        |
| 后旗红 Houqihong              | 11.67 ± 4.04 a                                   | 0.09 ± 0.01 a                   | 0.99 ± 0.20 bed                          | 43.47 ± 0.09 c                         |
| 永丰3号 Yongfeng 3            | 4.00 ± 1.00 bc                                   | 0.21 ± 0.08 a                   | 0.81 ± 0.18 cde                          | 92.25 ± 0.07 ab                        |
| 川引2号 Chuanyin 2            | 5.33 ± 1.53 bc                                   | 0.12 ± 0.05 a                   | 0.58 ± 0.12 def                          | 80.31 ± 0.15 ab                        |
| 红颜 Hongyan                 | 4.00 ± 1.00 bc                                   | 0.10 ± 0.01 a                   | 0.42 ± 0.12 ef                           | 75.22 ± 0.18 ab                        |
| 475                        | 3.33 ± 2.31 bc                                   | 0.10 ± 0.03 a                   | 0.28 ± 0.13 f                            | 71.96 ± 0.25 b                         |
| 黑金刚 Black King Kong        | 5.00 ± 2.00 bc                                   | 0.27 ± 0.28 a                   | 0.51 ± 0.29 ef                           | 76.34 ± 0.14 ab                        |
| 476                        | 7.67 ± 3.21 ab                                   | 0.15 ± 0.01 a                   | 1.16 ± 0.51 bc                           | 83.59 ± 0.07 ab                        |
| 平均值 Mean                   | 5.53   | 0.17                            | 0.79                                     | 80.00                                  |
| 变异系数(%) CV                 | 38.60  | 37.00                           | 26.32                                    | 14.00                                  |

2.3 不同彩色马铃薯产量及其构成因子相关性分析

分析彩色马铃薯平均产量、产量构成因素间的相关性。结果表明, 单株结薯数与单株产量呈极显著正相关( $P<0.01$ ), 相关系数 $r$ 为0.635; 单

株结薯数与商品薯率呈极显著负相关( $P<0.01$ ), 相关系数 $r$ 为-0.582; 单薯平均鲜重与单株结薯数呈显著负相关( $P<0.05$ ), 相关系数 $r$ 为-0.352(表3)。

表3 不同彩色马铃薯品种(系)产量与产量构成的相关性  
Table 3 Correlation of yield and yield components in different color potato varieties (lines)

| 变量<br>Variable                   | 单株产量<br>Yield per plant | 商品薯率<br>Marketable tuber percentage | 单株结薯数<br>Tuber number per plant |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 商品薯率 Marketable tuber percentage | 0.046                   |                                     |                                 |
| 单株结薯数 Tuber number per plant     | 0.635**                 | -0.582**                            |                                 |
| 单薯平均鲜重 Mean tuber weight         | 0.092                   | 0.305                               | -0.352*                         |

注:  $n = 36$ 。\*表示显著相关( $P<0.05$ ), \*\*表示极显著相关( $P<0.01$ )。下同。

Note:  $n = 36$ . \* means significance ( $P<0.05$ ); \*\* means high significance ( $P<0.01$ ). The same below.

2.4 不同彩色马铃薯品质性状比较

对彩色马铃薯的品质性状分析发现, 马铃薯干物质平均含量为21.32%, 变异系数为14.30%, ‘民丰红’含量最高, 达30.03%, 显著高于除对照‘大同里外黄’(CK)外, ‘永丰3号’外的其他品种(系), ‘476’含量最低, 为13.81%; 淀粉平均含量为14.10%, 变异系数为30.28%, 对照‘大同里外黄’(CK)的淀粉含量最高, 为22.03%, 显著高于‘E3’‘红颜’‘黑

金刚’及‘476’, ‘476’含量最低为7.98%。

彩色马铃薯蛋白质平均含量为1.31%, 变异系数为16.77%, ‘黑金刚’含量最高, 为1.70%, 显著高于对照‘大同里外黄’(CK), ‘后旗红’含量最低为0.83%, 显著低于对照; 还原糖平均含量为0.15%, ‘川引2号’含量最高, 为0.48%, ‘青薯9号’含量最低, 仅为0.02%, 对照‘大同里外黄’(CK)的含量显著高于除‘E3’‘川引2号’‘红颜’‘黑

金刚’外的其他参试材料; 12个彩色马铃薯维生素C含量为8.34~24.71 mg/100 g, ‘永丰3号’的维生素C含量最高, 为24.71 mg/100 g, 显著高于对照‘大同里外黄’(CK), ‘荷兰14号’‘475’‘黑金刚’‘476’的维生素C含量显著低于对照, 且‘黑金刚’含量最低, 为8.34 mg/100 g(表4)。

## 2.5 不同彩色马铃薯品质性状相关性

对马铃薯品质性状间相关性进行分析(表5)。结果表明, 干物质含量与淀粉含量呈极显著正相关( $P<0.01$ ), 相关系数 $r$ 为0.794; 蛋白质含量与维生素C含量呈显著负相关( $P<0.05$ ), 相关系数 $r$ 为-0.407; 其他品质指标间无显著相关性。

表4 不同彩色马铃薯品种(系)品质性状

Table 4 Quality traits of different color potato varieties (lines)

| 品种(系)<br>Variety (line)    | 干物质(%)<br>Dry matter | 淀粉(%)<br>Starch  | 蛋白质(%)<br>Protein | 还原糖(%)<br>Reducing sugar | 维生素C(mg/100 g)<br>Vitamin C |
|----------------------------|----------------------|------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 大同里外黄(CK) Datongliwaihuang | 28.11 ± 1.31 ab      | 22.03 ± 1.82 a   | 1.34 ± 0.03 bcd   | 0.33 ± 0.13 ab           | 18.03 ± 1.75 bc             |
| 荷兰14号 Holland 14           | 21.18 ± 1.05 bcde    | 15.20 ± 1.86 abc | 1.26 ± 0.07 bcd   | 0.11 ± 0.08 c            | 12.54 ± 4.43 de             |
| E3                         | 15.49 ± 5.07 de      | 9.75 ± 5.06 bc   | 1.26 ± 0.01 bcd   | 0.14 ± 0.03 bc           | 15.49 ± 3.39 cd             |
| 民丰红 Minfenghong            | 30.03 ± 6.39 a       | 16.43 ± 7.21 abc | 1.47 ± 0.03 ab    | 0.09 ± 0.03 c            | 19.45 ± 2.71 bc             |
| 青薯9号 Qingshu 9             | 21.39 ± 8.58 bcde    | 16.34 ± 5.25 abc | 1.16 ± 0.01 cd    | 0.02 ± 0.02 c            | 17.21 ± 1.79 bcd            |
| 后旗红 Houqihong              | 18.68 ± 0.89 cde     | 12.73 ± 0.34 abc | 0.83 ± 0.47 e     | 0.09 ± 0.03 c            | 15.68 ± 4.03 cd             |
| 永丰3号 Yongfeng 3            | 23.75 ± 2.58 abc     | 15.64 ± 8.58 abc | 1.35 ± 0.05 bcd   | 0.12 ± 0.04 c            | 24.71 ± 4.40 a              |
| 川引2号 Chuanyin 2            | 21.39 ± 1.58 bcde    | 16.41 ± 7.24 abc | 1.10 ± 0.01 d     | 0.48 ± 0.24 a            | 21.39 ± 3.49 ab             |
| 红颜 Hongyan                 | 22.10 ± 5.26 bcd     | 8.19 ± 6.19 bc   | 1.27 ± 0.03 bcd   | 0.14 ± 0.16 bc           | 20.98 ± 0.85 ab             |
| 475                        | 21.25 ± 0.49 bcde    | 18.00 ± 2.58 ab  | 1.44 ± 0.03 abc   | 0.04 ± 0.01 c            | 8.82 ± 0.21 e               |
| 黑金刚 Black King Kong        | 18.69 ± 2.48 cde     | 10.54 ± 4.23 bc  | 1.70 ± 0.12 a     | 0.22 ± 0.13 bc           | 8.34 ± 0.37 e               |
| 476                        | 13.81 ± 0.96 e       | 7.98 ± 0.85 c    | 1.48 ± 0.11 ab    | 0.08 ± 0.07 c            | 10.00 ± 0.68 e              |
| 平均值 Mean                   | 21.32                | 14.10            | 1.31              | 0.15                     | 16.05                       |
| 变异系数(%) CV                 | 14.30                | 30.28            | 16.77             | 52.44                    | 32.84                       |

表5 不同彩色马铃薯品种(系)品质性状相关性分析

Table 5 Correlation of quality traits in different colored potato varieties (lines)

| 变量<br>Variable     | 干物质<br>Dry matter | 淀粉<br>Starch | 蛋白质<br>Protein | 还原糖<br>Reducing sugar |
|--------------------|-------------------|--------------|----------------|-----------------------|
| 淀粉 Starch          | 0.794**           |              |                |                       |
| 蛋白质 Protein        | -0.191            | -0.096       |                |                       |
| 还原糖 Reducing sugar | 0.189             | 0.128        | -0.021         |                       |
| 维生素C Vitamin C     | 0.247             | 0.196        | -0.407*        | 0.170                 |

## 2.6 不同彩色马铃薯产量及品质指标隶属函数值综合评价

马铃薯产量因子、品质指标间相互联系, 有一定的相关性, 不能通过单一指标对其进行综合评价。为此, 采用隶属函数对不同彩色马铃薯品种(系)综合评价, 其中隶属函数平均值越高, 表明综合性状越好。经分析, ‘民丰红’综合性状最好, 其次是‘大同里外黄’‘永丰3号’‘青薯9号’和

‘476’的综合性状最差(表6)。

## 2.7 不同贮藏时期彩色马铃薯花青素含量差异

对彩色马铃薯的花青素含量分析发现, 贮藏0 d时, 所有参试材料花青素的平均含量为28.36 mg/100 g, 变异系数为42.67%, 含量为19.92~52.13 mg/100 g。‘E3’‘后旗红’‘475’‘黑金刚’‘476’含量显著高于对照‘大同里外黄’(CK), 其中‘475’的含量最高, 为52.13 mg/100 g。

彩色马铃薯 30 d 贮藏后, 花青素含量为 14.46~47.44 mg/100 g, 平均含量为 22.87 mg/100 g, ‘后旗红’‘475’‘黑金刚’‘476’含量显著高于对照‘大同里外黄’(CK); 60 d 贮藏后, 花青素含量为 13.69~31.10 mg/100 g, ‘民丰红’‘475’‘黑金刚’‘476’含量显著高于对照, 且‘黑金刚’含量最高, ‘E3’‘红颜’的含量显著低于对照, ‘E3’含量最低, 为

13.69 mg/100 g。

与 0 d 相比, 30 d 贮藏后, 12 个马铃薯品种(系)的花青素含量均下降。60 d 贮藏后, 与 30 d 相比, 7 个马铃薯品种(系)花青素含量降低, 5 个品种含量升高, 但均低于收获初期 0 d 的含量。贮藏期间, ‘民丰红’花青素含量降幅最少, ‘476’降幅最高(表 7)。

表 6 不同彩色马铃薯品种(系)隶属函数值

Table 6 Membership function values of different color potato varieties (lines)

| 品种(系)<br>Variety (line)    | 隶属函数值 X                        |                           |                                    |                             |                                  |             | 平均隶属函数值 X <sub>m</sub><br>Average membership<br>function value X <sub>m</sub> | 位次<br>Rank |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|---|------------|
|                            | Membership function value (X)  |                           |                                    |                             |                                  |             |   |            |
|                            | 干物质含量<br>Dry matter<br>content | 淀粉含量<br>Starch<br>content | 还原糖含量<br>Reducing sugar<br>content | 蛋白质含量<br>Protein<br>content | 维生素 C 含量<br>Vitamin C<br>content | 产量<br>Yield |   |            |
| 大同里外黄(CK) Datongliwaihuang | 0.88                           | 1.00                      | 0.33                               | 0.59                        | 0.59                             | 0.49        | 0.65  | 2          |
| 荷兰 14 号 Holland 14         | 0.45                           | 0.51                      | 0.81                               | 0.49                        | 0.26                             | 0.64        | 0.53  | 5          |
| E3                         | 0.10                           | 0.13                      | 0.74                               | 0.49                        | 0.44                             | 0.55        | 0.41  | 8          |
| 民丰红 Minfenghong            | 1.00                           | 0.60                      | 0.86                               | 0.74                        | 0.68                             | 1.00        | 0.81  | 1          |
| 青薯 9 号 Qingshu 9           | 0.47                           | 0.60                      | 1.00                               | 0.38                        | 0.54                             | 0.72        | 0.62  | 4          |
| 后旗红 Houqihong              | 0.30                           | 0.34                      | 0.85                               | 0.00                        | 0.45                             | 0.36        | 0.38  | 11         |
| 永丰 3 号 Yongfeng 3          | 0.61                           | 0.54                      | 0.78                               | 0.60                        | 1.00                             | 0.26        | 0.63  | 3          |
| 川引 2 号 Chuanyin 2          | 0.46                           | 0.60                      | 0.00                               | 0.31                        | 0.80                             | 0.14        | 0.39  | 10         |
| 红颜 Hongyan                 | 0.51                           | 0.02                      | 0.74                               | 0.50                        | 0.77                             | 0.03        | 0.43  | 7          |
| 475                        | 0.46                           | 0.71                      | 0.96                               | 0.70                        | 0.03                             | 0.13        | 0.50  | 6          |
| 黑金刚 Black King Kong        | 0.30                           | 0.18                      | 0.57                               | 1.00                        | 0.00                             | 0.30        | 0.39  | 9          |
| 476                        | 0.00                           | 0.00                      | 0.87                               | 0.75                        | 0.10                             | 0.00        | 0.29  | 12         |

表 7 不同贮藏时期彩色马铃薯品种(系)花青素含量

Table 7 Anthocyanin content of color potato varieties (lines) in different storage periods

| 品种(系)<br>Variety (line)    | 花青素含量(mg/100 g)     |                 |                  |                                  |
|----------------------------|---------------------|-----------------|------------------|----------------------------------|
|                            | Anthocyanin content |                 |                  |                                  |
|                            | 0 d                 | 30 d            | 60 d             | 降低百分率(%)<br>Percentage reduction |
| 大同里外黄(CK) Datongliwaihuang | 19.92 ± 0.94 e      | 14.88 ± 0.94 e  | 16.14 ± 0.02 de  | 18.98                            |
| 荷兰 14 号 Holland 14         | 20.75 ± 0.75 de     | 15.60 ± 0.60 e  | 14.55 ± 0.71 ef  | 29.88                            |
| E3                         | 24.78 ± 2.09 cd     | 19.50 ± 2.36 de | 13.69 ± 0.14 f   | 44.75                            |
| 民丰红 Minfenghong            | 20.80 ± 0.84 de     | 15.55 ± 0.66 e  | 19.66 ± 0.45 c   | 5.48                             |
| 青薯 9 号 Qingshu 9           | 20.96 ± 1.09 de     | 15.68 ± 1.21 e  | 16.38 ± 1.10 de  | 21.85                            |
| 后旗红 Houqihong              | 26.41 ± 1.68 c      | 21.04 ± 1.15 d  | 16.79 ± 0.61 de  | 36.43                            |
| 永丰 3 号 Yongfeng 3          | 20.08 ± 1.23 e      | 14.50 ± 1.43 e  | 14.93 ± 0.23 def | 25.65                            |
| 川引 2 号 Chuanyin 2          | 19.98 ± 0.47 e      | 14.46 ± 0.02 e  | 16.93 ± 0.70 d   | 15.27                            |
| 红颜 Hongyan                 | 22.99 ± 0.87 cde    | 17.57 ± 1.10 de | 13.84 ± 0.17 f   | 39.80                            |
| 475                        | 52.13 ± 5.28 a      | 47.44 ± 6.72 a  | 29.42 ± 1.74 a   | 43.56                            |
| 黑金刚 Black King Kong        | 43.10 ± 2.91 b      | 36.84 ± 3.26 c  | 31.10 ± 3.16 a   | 27.84                            |
| 476                        | 48.45 ± 3.24 a      | 41.38 ± 3.74 b  | 26.42 ± 1.59 b   | 45.47                            |
| 平均值 Mean                   | 28.36               | 22.87           | 19.15            | 29.58                            |
| 变异系数(%) CV                 | 42.67               | 51.85           | 32.48            |                                  |

### 3 讨 论

实现高产是马铃薯品种筛选、新品种培育的一个重要指标。本试验测定并比较了12个马铃薯品种(系)的产量以及产量因子,结果表明,在相同的栽培条件下,各品种(系)间产量变化为11 958~33 558 kg/hm<sup>2</sup>,‘民丰红’产量最高,且显著高于对照‘大同里外黄’。单株产量与单薯平均鲜重、单株结薯数、商品薯率等相关,单株产量不变,单薯平均鲜重与单株结薯数呈负相关,即单株结薯数越多,单株平均鲜重越小。李晋田等<sup>[22]</sup>对3个马铃薯新品系及其亲本分析评价,结果表明单株产量与单株结薯数呈极显著正相关。齐海英等<sup>[23]</sup>研究表明马铃薯的单株结薯数与商品薯率呈极显著负相关,均与本试验结果一致。

近年来,随着马铃薯主粮化进程的推进,以及功能农业的快速发展,对马铃薯的要求由追求温饱转向追求较高的营养和品质<sup>[24]</sup>。干物质、淀粉、蛋白质、维生素C、还原糖等性状是评价马铃薯品质的主要指标<sup>[25]</sup>,其中,干物质、淀粉、还原糖的含量又与其加工品质密切相关。本试验测定了12个马铃薯的品质性状,干物质含量的变异系数最小,还原糖含量的变异系数最大。马铃薯干物质含量为13.81%~30.03%,淀粉含量为7.98%~22.03%,干物质含量高且淀粉含量高的材料能用于马铃薯全粉加工<sup>[26]</sup>。马铃薯块茎中淀粉含量与干物质含量密切相关,淀粉在马铃薯块茎内的干物质组分中占60%~80%<sup>[27]</sup>,李晋田等<sup>[22]</sup>、吴琪滢等<sup>[28]</sup>研究了不同马铃薯材料品质指标相关性,结果均表明,淀粉含量与干物质含量呈极显著正相关,与本试验结果一致。本试验中还原糖含量为0.02%~0.48%,介于刘媛等<sup>[29]</sup>的研究结果之间,用于炸片的马铃薯材料还原糖含量需低于0.4%,在0.10%~0.33%时炸片的色泽及口味最佳<sup>[26]</sup>,可依据不同种植目的选择彩色马铃薯材料。同时,马铃薯块茎品质指标含量是受多基因控制的复杂遗传性状,除与参试材料本身的基因型有关外,也受种植地气候、土壤条件、栽培技术等众多因素的影响,同一品种(系)马铃薯品质指标在不同种植区会出现明显差异<sup>[30]</sup>。

马铃薯中花青素由多种生物类黄酮组成,具有抗氧化、抗衰老、抗癌等功效。花青素含量也是判断马铃薯品质的一个重要指标<sup>[1]</sup>。本试验测定了贮藏0、30、60 d的马铃薯花青素含量,并分析了不同贮藏时期花青素含量的变化趋势,结果表明,贮藏0 d花青素含量为19.92~52.13 mg/100 g,高于黎礼谦等<sup>[31]</sup>研究结果,而低于李洁雅等<sup>[19]</sup>、姜超<sup>[32]</sup>的研究结果。12个马铃薯花青素含量随着贮藏时间的增加含量降低,这一变化趋势与李倩<sup>[18]</sup>、李洁雅等<sup>[19]</sup>研究结果相符。本试验筛选出花青素含量较高的马铃薯品种‘475’,以及短期贮藏后,花青素含量降幅最小的品种‘民丰红’,可为高含量花青素马铃薯品种的选育提供试验材料以及研究基础。

马铃薯的产量性状、品质指标受多个因素的影响,不能通过单一指标对马铃薯进行综合评价。模糊隶属函数法是广泛应用于各种领域的综合分析方法,可避免由单一指标分析带来的不全面性。本试验采用隶属函数法对参试马铃薯品种(系)的产量性状和品质指标进行了综合评价,‘民丰红’的综合性状最优,其次是对照‘大同里外黄’‘永丰3号’与‘青薯9号’,最差是‘476’。吴琪滢等<sup>[28]</sup>、王丹等<sup>[33]</sup>、李守强等<sup>[34]</sup>利用隶属函数综合评价法筛选出最佳的马铃薯品种,并对供试材料进行分类。目前,对马铃薯性状指标的综合评价还没有统一的方法,为使马铃薯评价体系更加完善,应建立一套标准化的评价方法及评价标准。同时,在筛选优质马铃薯品种时,由于品种间差异以及气候条件、土壤条件、栽培技术等的影响,应增加应试材料,开展多年多点试验,使试验结果更准确可靠。

12个彩色马铃薯品种(系)中,‘民丰红’综合性状最优,其次是‘永丰3号’‘青薯9号’,‘475’的花青素含量最高。可依据种植要求以及品种的性状表现,选择最佳的马铃薯品种(系)。

### [参 考 文 献]

- [1] 王颖,潘哲超,李先平,等. 马铃薯的营养价值与人体健康[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(8): 5-8.
- [2] 胡宏海,张泓,戴小枫. 马铃薯营养与健康功能研究现状[J]. 生

- 物产业技术, 2017(4): 31-35.
- [3] 王拴福. 山西省马铃薯产业的发展对策与思路 [J]. 中国马铃薯, 2013, 27(6): 378-380.
- [4] 黄凤玲, 张琳, 李先德, 等. 中国马铃薯产业发展现状及对策 [J]. 农业展望, 2017, 13(1): 25-31.
- [5] 张静, 赵昶灵, 郭华春. “彩色马铃薯”块茎花色苷分子结构研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2009(21): 719-725.
- [6] 张春秋, 金黎平. 马铃薯色素的遗传及调控研究进展 [J]. 中国蔬菜, 2007(4): 35-38.
- [7] 白粉娥, 成宇峰. 两种彩色马铃薯品种花色苷成分分析及其总抗氧化活性的比较研究 [J]. 保鲜与加工, 2018, 18(2): 108-113.
- [8] 仇菊, 刘鹏, 孙君茂. 彩色马铃薯营养保健功能及其食品开发研究进展 [J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 226-229.
- [9] Li X P, Sui Y, Li S Y, *et al.* A-type procyanidins from litchi pericarp ameliorate hyperglycaemia by regulating hepatic and muscle glucose metabolism in streptozotocin (STZ)-induced diabetic mice fed with high fat diet [J]. *Journal of Functional Foods*, 2016, 27: 711-722.
- [10] Liu Y, Tikunov Y, Schouten R E, *et al.* Anthocyanin biosynthesis and degradation mechanisms in Solanaceous vegetables: a review [J]. *Frontiers in Chemistry*, 2018, 6: 52.
- [11] Nizioł-Lukaszewska Z, Wasilewski T, Bujak T, *et al.* *Cornus mas* L. extract as a multifunctional material for manufacturing cosmetic emulsions [J]. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 2018, 16(4): 284-292.
- [12] 张春秋, 刘杰, 谢开云, 等. 高效液相色谱法测定马铃薯薯肉中类胡萝卜素 [J]. 食品科学, 2008, 29(4): 302-305.
- [13] 许芸梅, 李玉梅, 贾玉鑫, 等. 马铃薯红色薯肉调控基因的精细定位与候选基因分析 [J]. 中国农业科学, 2019, 52(15): 2678-2685.
- [14] 毛向红, 白小东, 齐海英. 大同马铃薯新品种引进筛选与展示试验 [J]. 山西农业科学, 2018, 46(8): 1302-1304, 1391.
- [15] 何天久, 吴巧玉, 吕树明, 等. 早熟马铃薯新品系的引进与比较试验 [J]. 中国马铃薯, 2016, 30(3): 135-139.
- [16] 崔阔澍, 陈龙, 于肖夏, 等. 四倍体彩色马铃薯分子遗传连锁图谱构建研究 [J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2015, 47(4): 116-121.
- [17] 徐青, 王代波, 刘国华, 等. 花青素稳定性影响因素及改善方法研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 218-224.
- [18] 李倩. 彩色马铃薯花色苷组分及其在块茎形成和贮藏过程中的变化 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [19] 李洁雅, 李红艳, 叶广继, 等. 马铃薯储藏期花青素变化及合成相关基因表达分析 [J]. 作物学报, 2022, 48(7): 1669-1682.
- [20] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 160-221.
- [21] 刘桂玲, 李海霞, 郭宾会, 等. 不同提取方法对甘薯花青素含量测定的影响 [J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 91-94.
- [22] 李晋田, 姚燕辉, 邢丽斌, 等. 3个马铃薯新品系及其亲本农艺性状分析评价 [J]. 中国马铃薯, 2022, 36(2): 111-119.
- [23] 齐海英, 白小东, 杨春, 等. 马铃薯品种(系)经济性状与营养品质综合评价 [J]. 山西农业科学, 2021, 49(7): 855-859.
- [24] 尚晋伊, 史小峰. 中国马铃薯主食产业化发展现状与前景展望 [J]. 科技资讯, 2018, 16(21): 109-111.
- [25] Sanchez P D C, Hashim N, Shamsudin R, *et al.* Applications of imaging and spectroscopy techniques for non-destructive quality evaluation of potatoes and sweet potatoes: a review [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2020, 96: 208-221.
- [26] 陈若男. 马铃薯无性系农艺性状、产量和品质的评价 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [27] 刘娟. 马铃薯种质资源加工性状评价及品种筛选 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [28] 吴琪滢, 李德明, 郭志乾, 等. 西北地区不同马铃薯种质资源产量和营养品质综合分析与评价 [J]. 中国马铃薯, 2021, 35(6): 489-499.
- [29] 刘媛, 王健, 任丛涛, 等. 冀西北坝上地区8种马铃薯营养及质构品质评价 [J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 79-85, 107.
- [30] 池再香, 杜正静, 杨再禹, 等. 贵州西部马铃薯生育期气候因子变化规律及其影响分析 [J]. 中国农业气象, 2012, 33(3): 417-423.
- [31] 黎礼谦, 罗英舰, 郑元利, 等. 6个紫色马铃薯品种在遵义地区综合品质分析与评价 [J]. 种子, 2021, 40(3): 136-140.
- [32] 姜超. 彩色马铃薯优良新品系培育及花青素组分的HPLC-MS分析 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [33] 王丹, 张志成, 曹兴明, 等. 乌兰察布市22份马铃薯品种的分析与评价 [J]. 北方农业学报, 2020, 48(5): 34-42.
- [34] 李守强, 田世龙, 李梅, 等. 主成分分析和隶属函数法综合评价15种(系)马铃薯的营养品质 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(6): 272-276.