



# 基于越橘南高丛与北高丛正反交群体的果实贮藏相关性状 筛选及其遗传倾向

刘有春<sup>1,2</sup>, 刘威生<sup>1</sup>, 王兴东<sup>1</sup>, 杨艳敏<sup>1</sup>, 魏鑫<sup>1</sup>, 孙斌<sup>1</sup>, 张舵<sup>1</sup>, 杨玉春<sup>1</sup>, 刘成<sup>1</sup>, 李天忠<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>辽宁省果树科学研究所, 辽宁营口 115009; <sup>2</sup>中国农业大学园艺学院, 北京 100193)

**摘要:**【目的】筛选与越橘果实贮藏性相关的性状并揭示其遗传规律, 为越橘果实贮藏性改良育种提供依据。【方法】调查越橘果实的果蒂痕大小、果实硬度、可溶性固形物含量、酸含量、果实重量、果型指数、贮藏性等7个性状, 通过相关性分析和主成分分析筛选与贮藏性相关的主要性状, 利用正反交群体分析其遗传倾向。【结果】相关性分析和主成分分析结果表明, 越橘果实贮藏性与果蒂痕性状呈极显著负相关( $P < 0.001$ ), 与果实硬度性状呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 二者是与蓝莓贮藏性相关的主要性状。越橘果实带柄和脱柄贮藏试验表明果蒂痕大小对越橘果实贮藏有重要影响。果蒂痕大小和果实硬度性状在正、反交群体中呈正态分布, 表现为多基因控制的数量性状, 变异系数均大于15%。正、反交群体果蒂痕大小趋近于亲本平均值, 无父母本倾向, 其广义遗传力( $H^2$ )在正、反交群体中分别为0.887和0.867, 其遗传变异主要来自遗传效应, 遗传潜能较大。正、反交群体果实硬度平均值均趋于低值亲本, 即存在倾向于果实硬度变小的劣质遗传,  $H^2$ 在正、反交组合中分别为0.535和0.514, 表明越橘果实硬度遗传效应较小, 遗传不稳定, 易受环境影响。【结论】越橘果实果蒂痕大小和果实硬度性状与贮藏性密切相关, 其中果蒂痕性状呈趋中遗传, 其遗传变异主要来自遗传效应, 遗传潜能大, 超高亲遗传不明显; 果实硬度性状遗传受低值亲本影响较大, 存在明显的劣质遗传倾向, 遗传效应小, 受环境影响大。

**关键词:** 越橘; 贮藏性; 果蒂痕; 果实硬度; 正反交; 广义遗传力

## Screening and Inheritance of Fruit Storage-Related Traits Based on Reciprocal Cross of Southern×Northern High Bush Blueberry (*Vaccinium* Linn)

LIU YouChun<sup>1,2</sup>, LIU WeiSheng<sup>1</sup>, WANG XingDong<sup>1</sup>, YANG YanMin<sup>1</sup>, WEI Xin<sup>1</sup>, SUN Bin<sup>1</sup>, ZHANG Duo<sup>1</sup>,  
YANG YuChun<sup>1</sup>, LIU Cheng<sup>1</sup>, LI TianZhong<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Liaoning Institute of Pomology, Yingkou 115009, Liaoning; <sup>2</sup>College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing 100193)

**Abstract:** 【Objective】 This study was aimed to screen the diagnostic phenotypic traits for the storability of blueberry fruit and analyze their inheritance to assist the storage improvement breeding. 【Method】 Seven phenotypic traits were investigated, including stem scar, berry firmness, soluble solids content, acid content, fruit weight, fruit index and storability, among which the storability related traits was screened through correlation analysis and principal component analysis (PCA), and the inheritance was analyzed with reciprocal cross progenies. 【Result】 The correlation analysis and PCA showed that stem scar was negatively correlated with fruit storability ( $P < 0.001$ ), but berry firmness was positively correlated with fruit storability ( $P < 0.01$ ). Both stem scar and berry

收稿日期: 2020-02-24; 接受日期: 2020-04-21

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31701881)、辽宁省重点研发计划(2019JH2/10200010)、辽宁省农业科学院学科建设计划(2019DD164924)、地方专业性技术创新平台(2018103002)

联系方式: 刘有春, Tel: 18641713730; E-mail: liuyouchun911@126.com. 通信作者刘成, E-mail: stevecliu@hotmail.com. 通信作者李天忠, E-mail: litianzhong1535@163.com

firmness played major roles in the development of the storability of blueberry fruit. The storage test of fruit with and without stalk revealed that stem scar had a great influence on the storability of blueberry. The size of stem scar and berry firmness presented normal distributions in reciprocal populations with the coefficient of variation of more than 15%, suggesting that stem scar and berry firmness were quantitatively controlled by polygenes. The mean of stem scar in the reciprocal populations was similar to the mid-parental values, and its broad sense heritability ( $H^2$ ) in reciprocal populations were 0.887 and 0.867, respectively, indicating that the variations of stem scar mainly resulted from inheritance, and were mainly affected by additive effects. The mean of berry firmness in both reciprocal populations was prone to low value parent, and its broad sense heritability was 0.585 and 0.514, respectively in reciprocal populations, indicating that berry firmness was affected to a great extent by environmental effects.

【Conclusion】 The stem scar and berry firmness were the major traits for blueberry fruit storability. The inheritance of stem scar inclined to the mid-parental value, and its variation was mainly controlled with genetic effects, while berry firmness value tended to the low-value parent with large environmental effects.

**Key words:** blueberry; storability; stem scar; berry firmness; reciprocal population; genetic heritability

## 0 引言

【研究意义】越橘 (*Vaccinium corymbosum* Linn), 商品名蓝莓 (Blueberry), 果实营养丰富、风味独特, 备受消费者青睐。然而, 越橘果实汁多、皮薄, 成熟期主要集中在高温多雨的夏季, 采后呼吸作用旺盛, 蒂部易受霉菌侵染, 导致果实快速软化、褐变并腐烂变质<sup>[1-3]</sup>, 极不耐运输和贮藏。货架期短是制约越橘产业发展的瓶颈问题之一。近几年快速发展的保鲜技术通过各种物理、化学保鲜措施可有效延长越橘果实贮藏期。然而, 任何保鲜措施都依赖果实自身耐贮性, 在遗传水平上解析耐贮性相关性状及其遗传规律, 通过育种手段改善果实自身贮藏性, 提高越橘果实保鲜效果, 对越橘产业发展具有重要意义。【前人研究进展】基于越橘果实不耐贮藏的特性, 目前研究大多集中在采后保鲜技术、采后衰变机理、生理代谢等方面。据报道, 越橘果实采后预冷措施保鲜期能延长一倍以上<sup>[4]</sup>, 冰温保鲜是越橘果实较理想的保鲜方式, 冰温条件下越橘果实呼吸强度降低, 失重率、果实硬度、口感及营养等变化减小<sup>[5-6]</sup>。此外, 利用 1-MCP (1-甲基环丙烯) 气调处理抑制乙烯产生<sup>[7-10]</sup>、控制呼吸强度等, 从而延缓果实后熟软化<sup>[11-13]</sup>; 通过保鲜涂膜<sup>[14-17]</sup>、植物精油<sup>[18-20]</sup>、<sup>60</sup>Co- $\gamma$  辐照<sup>[2,21-22]</sup>、熏蒸<sup>[23-24]</sup>等措施抑制病原菌活性, 从而达到越橘果实贮藏保鲜的目的。目前鲜见越橘果实贮藏相关性状筛选及性状遗传方面的研究报道, 耐贮运品种选育工作相对落后。【本研究切入点】目前有关越橘采后贮藏方面的研究忽视了果实本身的贮藏性, 在改善果实本身耐贮性的基础上, 保鲜措施才能最大程度发挥作用, 达到最佳贮藏保鲜效果。因此, 通过育种提高、改良越橘果实的贮藏性基础 (如果蒂痕、果实硬度等) 十

分必要。【拟解决的关键问题】本研究通过特定贮藏条件下, 筛选与果实贮藏性密切相关的性状, 利用正、反交群体反映出性状的遗传倾向和特点, 为越橘果实贮藏保鲜和越橘果实贮藏性改良育种提供参考依据。

## 1 材料与方法

试验于 2018—2019 年在辽宁省果树科学研究所进行。

### 1.1 材料

1.1.1 贮藏相关性状筛选的试材 试材选择种植于辽宁省果树科学研究所资源圃的 26 份越橘品种和育种圃的 98 份杂交后代 (表 1), 试材模型丰富, 可较全面表征果实质量、果型指数、果蒂痕大小、果肉硬度、可溶性固形物含量、酸含量及贮藏性特征。

### 1.1.2 贮藏相关性状遗传倾向分析的试材

试验材料为南高丛越橘品种 ‘N6’ (*V. corymbosum* SHB)、北高丛越橘品种 ‘Berkeley’ (*V. corymbosum* NHB) 及其 291 株杂交后代 (已通过真杂种鉴定)。亲本 ‘N6’ 具有小果、圆形、果蒂痕中等大小、果肉较软、风味浓郁等特征; ‘Berkeley’ 为大果、扁圆形、果蒂痕大、果实硬度较高、风味偏淡的越橘品种。正交群体 ‘Berkeley’  $\times$  ‘N6’ 120 株, 反交群体 ‘N6’  $\times$  ‘Berkeley’ 171 株。2008 年建立正反交群体, 2011 年起开花结果, 现已全面进入盛果期。杂种苗定植株行距为 0.6 m  $\times$  1.0 m, 土壤 pH 约 4.8, 生长期间亲本与杂交群体采用相同的施肥、灌溉、修剪等管理措施。

### 1.2 方法

1.2.1 果实采收 采样方法参照刘有春等<sup>[25-26]</sup>的方法进行, 在树体果实大部分进入成熟期后, 于晴天上午 8:00—10:00 选取树体中上部外围的已具有成熟特征的果实采收, 即果实充分膨大, 果皮完全转变成

表 1 供试材料  
Table 1 Test materials

| 栽培/杂交组合类型组合   | 品种份数                  | 品种名称   |
|---|-----------------------|--|
| Cultivation/Hybrid cross type                         | Accessions of variety | Name of variety  |
| 北高丛越橘<br><i>V. corymbosum</i> northern highbush (NHB) | 12                    | 斯巴坦 Spartan, 蓝丰 Bluecrop, 伯克利 Berkeley, 泽西 Jersey, 布里吉塔 Brigitta, 杜克 Duke, 埃利奥特 Elliott, 晚蓝 Lateblue, 达柔 Darrow, 喜来 Sierra, 日出 Sunrise, 早蓝 Earliblue |
| 南高丛越橘<br><i>V. corymbosum</i> southern highbush (SHB) | 7                     | 奥尼尔 O'Neal, 密斯梯 Misty, 佐治亚宝石 Georgiagem, 莱格西 Legacy, 比洛克西 Biloxi, N6, N5   |
| 半高丛越橘 <i>V. corymbosum</i> half-highbush              | 4                     | 北陆 Northland, 北村 Northcountry, 齐佩瓦 Chippewa, 北蓝 Northblue  |
| 矮丛越橘 <i>V. augustifolium</i>                          | 1                     | 美登 Blomidon  |
| 兔眼越橘 <i>V. virgatum</i>                               | 2                     | 园蓝 Gardenblue, 梯扶蓝 Tifblue   |
| 北高丛×北高丛<br>NHB×NHB                                    | 33                    | 斯巴坦 Spartan×蓝丰 Bluecrop, 泽西 Jersey×斯巴坦 Spartan, 康维尔 Coville×斯巴坦 Spartan  |
| 北高丛×南高丛 NHB×SHB                                       | 29                    | 斯巴坦 Spartan×N6, 斯巴坦 Spartan×奥尼尔 O'Neal, 伯克利 Berkeley×N6  |
| 南高丛×北高丛 SHB×NHB                                       | 17                    | N5×伯克利 Berkeley, N6×斯巴坦 Spartan  |
| 南高丛×南高丛 SHB×SHB                                       | 19                    | 奥尼尔 O'Neal×密斯梯 Misty   |

紫色或紫黑色，果蒂粉色退净，充分表现品种的固有风味。为尽量保证亲本及后代果实成熟度的一致性，取样由同一实验者完成，采后于-50℃下保存备用。

1.2.2 果实表型性状数据收集 平均单果重采用称重法测量；果型指数=纵径/横径，纵径和横径采用数显游标卡尺测量；果蒂痕大小为数显游标卡尺测量的果蒂痕直径（mm）；可溶性固形物与总酸含量采用越橘专用数显糖酸一体机（ATAGO，日本）测定；果肉硬度采用浆果专用便携式硬度计测定。以上指标均为3次重复，每次重复测量10个果实，取平均值用于后续分析。

1.2.3 贮藏期计算 在供试越橘果实贮藏试验中，通过恒温冰箱（海尔）设定温度4℃，空气湿度60%，降低外界因素变化影响贮藏室环境。每份样品取100粒越橘果实装入容器（带孔），每隔5 d调查一次，当10%样品出现皱缩/发霉/软化则视为样品贮藏期结束，并记录贮藏天数。

1.2.4 贮藏性对比试验处理 为了验证果蒂痕对越橘果实贮藏的重要性，越橘果实设果蒂痕小于1.0 mm（A）、1.1—2.0 mm（B）、2.1—3.0 mm（C）、大于3.0 mm（D）4个处理，进行相同条件下（恒温4℃）带柄贮藏（模拟果蒂无伤口）和脱柄贮藏（常规方式）对比试验，每处理150 g，每5 d调查1次，测量果实硬度变化，拍照记录果实状态。

1.3 数据统计分析

1.3.1 遗传相关性分析及主成分分析 7个供试性状的表型数据，取其平均值（±标准差）用于统计分析。

采用“Pearson”方法计算相关性（correlation）和显著性差异分析；随后通过离差标准化法对数据进行标准化转化为无量纲数值，经“factoextra”软件包进行主成分分析（principal component analysis, PCA），以上分析均在R中进行。

1.3.2 遗传分析 根据CHEN等<sup>[27]</sup>报道的方法计算正反交群体的广义遗传力（The broad sense heritability,  $H^2$ ），根据崔艳波等<sup>[28]</sup>的方法计算变异系数（coefficient of variation,  $CV$ ），参照刘有春等<sup>[29]</sup>的方法计算超亲遗传，包括超高亲（Ratio of higher than high parent,  $HH$ ）、超中亲（Ratio of higher than middle parent,  $HM$ ）、超低亲（Ratio of lower than low parent,  $LL$ ）。上述分析均通过R中“ggplots 2”<sup>[30]</sup>分析包完成绘图。

## 2 结果

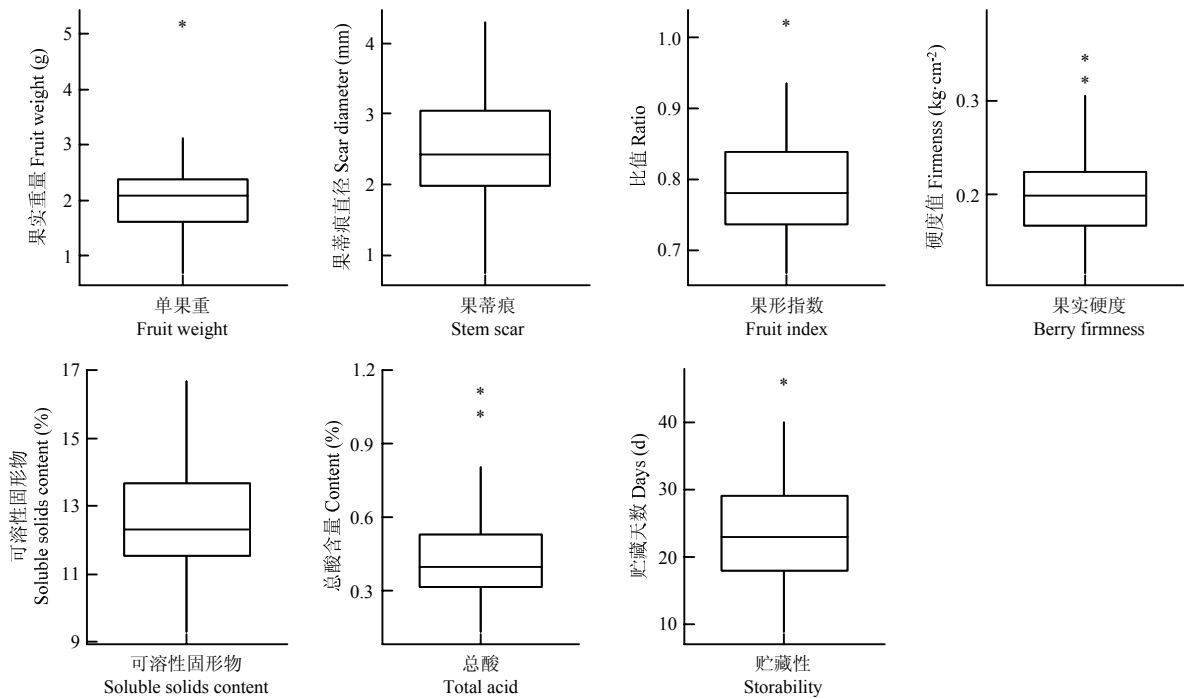
2.1 越橘果实性状分布范围分析

124个供试品种/杂交后代果实的单果重、果蒂痕大小、果形指数、果实硬度、可溶性固形物、总酸和贮藏性性状的范围值如图1所示。多数样品单果重分布范围在0.70—3.11 g，平均2.00 g，1个样品单果重大于5.00 g；果蒂痕直径分布范围在0.75 mm—4.29 mm，平均2.55 mm；果形指数分布范围相对较小，在0.67—0.94，1个样品果形指数1.02，为圆形果实；果实硬度的分布范围在0.12—0.30，有2个样品硬度值大于0.30，分别为0.33和0.39，明显高于其他供试样品；可溶性固形物含量分布范围在9.32%—16.67%，

其中含量值大于 13% 的样品占 36.94%；总酸含量分布范围在 0.14%—0.80%，有 2 个样品的总酸含量大于 1.00%，分别是 1.02% 和 1.15%，口感酸度大；果实贮藏期（4℃）在 9—38 d，有 2 个样品贮藏期大于 40 d，分别为 40 和 46 d，为耐贮品种，贮藏期≥30 d 的品种/杂交后代占供试样品总数的 22.3%。

2.2 相关性分析与越橘果实贮藏相关性状筛选

采用二项正态分布置信检测方法对每一项指标进行两两置信检测，采用 Pearson 相关系数分析供试性状间的相关性，筛选与越橘果实贮藏性相关性状，（表 2）。单果重与果型指数呈极显著负相关（ $P<0.001$ ），与可溶性固形物含量呈显著负相关（ $P<0.05$ ），



箱体高度等于四分位间距，代表数据的集中分布范围，包含样本 50% 的测定数据，箱体中间横线表示中间值，上下截止线之间包含了 99% 的样本测定数据，星号（\*）表示超出本体值外的极值  
The height in a box is equal to the interquartile distance, indicating the distribution for 50% of the data, the horizontal lines in the interior of each box are the median values. Approximately 99% of the data falls inside the whiskers (the dotted lines extending from the top and bottom of the box). The data outside these whiskers are indicated by asterisk (\*)

图 1 供试样品果实 7 个性状数量值分布范围  
Fig. 1 A range of seven traits of blueberry fruit tested

表 2 越橘果实供试性状相关性分析

Table 2 Correlation analysis among tested traits of blueberry fruit

| 指标<br>Index                     | 单果重<br>Fruit weight | 果蒂痕<br>Stem scar | 果型指数<br>Index | 果实硬度<br>Berry firmness | 可溶性固形物含量<br>Soluble solids content | 酸含量<br>Acid content | 贮藏性<br>Storability |
|---------------------------------|---------------------|------------------|---------------|------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------|
| 单果重 Fruit weight                | 1                   |                  |               |                        |                                    |                     |                    |
| 果蒂痕 Stem scar                   | 0.1                 | 1                |               |                        |                                    |                     |                    |
| 果型指数 Index                      | -0.724***           | -0.136           | 1             |                        |                                    |                     |                    |
| 果实硬度 Berry firmness             | 0.147               | -0.146           | -0.105        | 1                      |                                    |                     |                    |
| 可溶性固形物含量 Soluble solids content | -0.227*             | 0.113            | 0.142         | -0.034                 | 1                                  |                     |                    |
| 酸含量 Acid content                | -0.201              | -0.167           | 0.245*        | 0.077                  | 0.105                              | 1                   |                    |
| 贮藏性 Storability                 | -0.053              | -0.527***        | -0.03         | 0.315**                | 0.145                              | 0.118               | 1                  |

\*、\*\*和\*\*\*分别表示在 0.05、0.01 和 0.001 水平上显著相关 \* , \*\* and \*\*\* means significant at 0.05, 0.01and 0.001 level, respectively

表明单果重越大，果实性状越趋近于扁圆形，反之则趋近于圆形或近圆形，且单果重增加会影响可溶性固形物含量的积累。贮藏性与果蒂痕大小呈极显著负相关（ $P<0.001$ ），与果实硬度呈极显著正相关（ $P<0.01$ ），表明果蒂痕大严重影响越橘果实贮藏，而果实硬度大则有利于越橘果实贮藏。

上述相关性分析表明果蒂痕与果实贮藏时间极显著相关（ $P<0.001$ ），以下通过带柄贮藏（模拟果蒂无伤口）和脱柄贮藏（常规方式）对比进一步验证果蒂痕对越橘果实贮藏的影响。如图 2 所示，

果蒂痕 4 个处理在 4℃ 恒温下贮藏 20 d 后，带柄贮藏（左）越橘果实表观新鲜度明显好于脱柄贮藏（右），脱柄贮藏处理随果蒂痕增大，果实皱缩及发霉程度增加，而带柄贮藏各处理果实表观均新鲜，无明显差异。如表 3 所示，带柄贮藏 20 d 后，4 个处理越橘果实硬度稍有降低，降低幅度分别为 9.25%、13.28%、13.79%和 14.81%，而脱柄处理果实硬度快速降低，降低幅度分别为 57.27%、59.77%、65.95%和 71.76%，表明果蒂痕是影响越橘果实贮藏时间的主要因素之一。

表 3 4℃贮藏过程中越橘果实硬度变化  
Table 3 Firmness change of blueberry fruit during 4℃ storage

| 处理<br>Treatment | 带柄贮藏 Storage with fruit stalks  |   |   |                        | 脱柄贮藏 Storage without fruit stalks                         |   |                        |
|-----------------|---|---|---|------------------------|---|---|------------------------|
|                 | 贮藏前果实硬度<br>Berry firmness<br>before storage<br>(kg·cm <sup>-2</sup> ) | 20 d 后果实硬度  | 降低幅度                                    | 新鲜/皱缩/发霉               | 20 d 后果实硬度  | 降低幅度                                    | 新鲜/皱缩/发霉               |
|                 |   | Berry firmness of after<br>20 days (kg·cm <sup>-2</sup> ) | Reduced extent of<br>berry firmness (%) | Fresh/shrunk/<br>moldy | Berry firmness of after<br>20 days (kg·cm <sup>-2</sup> ) | Reduced extent of<br>berry firmness (%) | Fresh/shrunk/<br>moldy |
| A               | 0.227   | 0.206   | 9.25                                    | 新鲜 Fresh               | 0.097   | 57.27                                   | 皱缩 Shrunk              |
| B               | 0.256   | 0.222   | 13.28                                   | 新鲜 Fresh               | 0.103   | 59.77                                   | 皱缩 Shrunk              |
| C               | 0.232   | 0.200   | 13.79                                   | 新鲜 Fresh               | 0.079   | 65.95                                   | 皱缩 Shrunk              |
| D               | 0.206   | 0.184   | 14.81                                   | 新鲜 Fresh               | 0.061   | 71.76                                   | 皱缩+发霉<br>Shrunk+Moldy  |

2.3 越橘果实贮藏性相关性状主成分分析

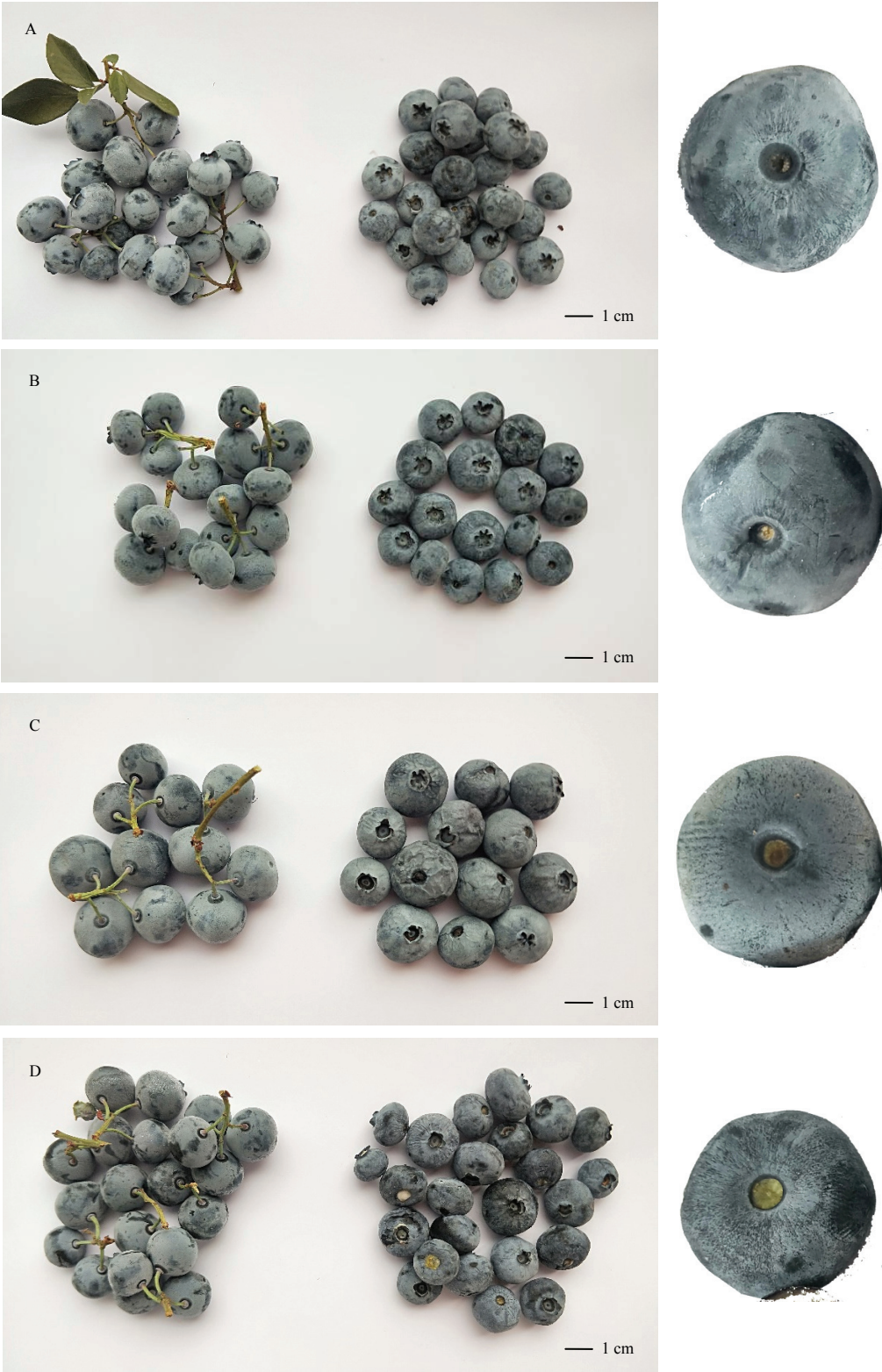
对 124 个供试越橘品种/品系的果实性状进行主成分分析，将单果重、果蒂痕大小、果实硬度等 7 个性状转化为 7 个主成分，根据各主成分的特征值和贡献率进行主成分提取，如表 4 所示，前 4 个主成分累计方差贡献率为 79.828%，反映了性状的主要信息。其中第一主成分和第二主成分方差贡献率分别是 28.583%和 24.159%，为最主要主成分，第三主成分和第四主成分方差贡献率分别是 14.610%和 12.476%。为了更好地解释各指标与主成分因子之间的对应关系，绘制平面图，以载荷值大小反映各变量在主成分中的重要程度(图 3)。

第一主成分（PC1）方差贡献率为 28.583%，与果型指数、酸含量、贮藏时间呈正相关，与果实重量和果蒂痕大小呈负相关，其中果型指数和果实大小的方差占 PC1 方差的 66.494%，即主要代表了外观性状的方差，果型指数和果实大小呈负相关。第二主成分（PC2）方差贡献率为 24.159%，与果实贮藏时间、果实硬度、果实大小正相关，与果蒂痕大小、果型指数负相关，其中果实贮藏时间、果蒂痕大小和果实硬度的方差占 PC2 方差的 84.324%，即主要代表了贮藏相关性状的方差，可以看出果实贮藏时间与果肉硬度呈正相关，与果蒂痕大小呈负相关。

表 4 越橘果实供试性状主成分值  
Table 4 PCs scores of blueberry tested traits

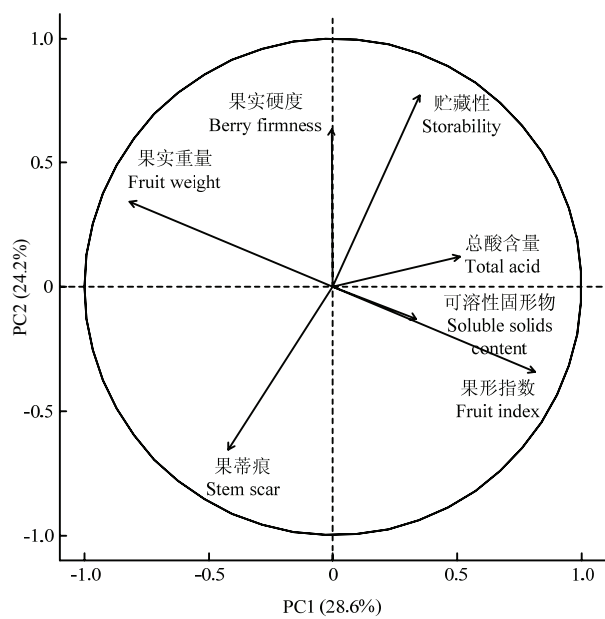
| 主成分<br>Principal component | 特征值<br>Eigenvalue | 方差贡献率<br>Variance contribution rate (%) | 累计方差贡献率<br>Cumulative variance contribution rate (%) |
|----------------------------|-------------------|---|--|
| 1                          | 2.001             | 28.583                                  | 28.583   |
| 2                          | 1.691             | 24.159                                  | 52.742   |
| 3                          | 1.023             | 14.610                                  | 67.352   |
| 4                          | 0.873             | 12.476                                  | 79.828   |





A—D 表示果蒂痕大小。A:  $\leq 1.0$  mm, B: 1.1—2.0 mm, C: 2.1—3.0, D:  $> 3.0$  mm; 左: 带柄贮藏, 右: 不带柄储藏  
A-D represent stem scar size. A:  $\leq 1.0$  mm, B: 1.1—2.0 mm, C: 2.1—3.0, D:  $> 3.0$  mm. Left: storage with fruit stalks, Right: storage without fruit stalks

图 2 果蒂痕对越橘果实贮藏性的影响 (4℃贮藏 20 d)  
Fig. 2 Effect of stem scar size on blueberry storability (4℃ storage for 20 days)



括号中百分数代表各主成分所占的方差贡献率  
The percentage in brackets represents the variance contribution rate of each principal component

图 3 越橘果实供试性状第一、第二主成分平面图  
Fig. 3 Plots of blueberry tested trait for the first two PCs

2. 4 越橘果实贮藏主要相关性状的遗传变异

相关性分析、果实贮藏对比和主成分分析表明果实蒂痕大小和果实硬度是影响越橘贮藏性的主要因素，以下对这两个性状进行遗传趋势分析。

如表 5 所示，亲本 ‘N6’ 和 ‘Berkeley’ 果实蒂痕大小和果实硬度性状存在差异，‘N6’ 果实蒂痕较小（1.964 mm）且果实硬度小（0.189 kg·cm<sup>-2</sup>）；‘Berkeley’ 果实硬度大（0.278 kg·cm<sup>-2</sup>）且果实蒂痕大（3.501 mm）。二者组配杂交群体，果实蒂痕大小和果实硬度性状在正、反交后代中均广泛分离，变异系数均在 15%以上。正、反交群体后代果实蒂痕大小平均值

分别是 2.847 和 2.683 mm，无明显差异，趋近于亲本平均值 2.732 mm，无父母本倾向。果实蒂痕大小的广义遗传力（*H*<sup>2</sup>）在正、反交群体中分别是 0.887 和 0.867，表明性状的变异主要来自遗传效应，遗传潜能大。正、反交群体后代果实硬度平均值分别为 0.185 和 0.186 mm，无明显差异，趋近于低值亲本，即杂交后代倾向于果实硬度变小的劣质遗传。果肉硬度广义遗传力（*H*<sup>2</sup>）在正、反交群体中分别是 0.535 和 0.514，表明越橘果实硬度遗传效应小，遗传不稳定，易受环境影响。

从超亲遗传趋势来看，对于果实蒂痕超低亲（*LL*）为优势遗传，正、反交群体的超低亲比率（*LL*）较低，分别为 9.357%和 6.667%，而劣质遗传，即超高亲比率（*HH*）也较低，分别为 5.848%和 10%，说明越橘果实蒂痕大小的杂种优势不明显。对于果实硬度而言，超高亲为优势遗传，但在杂交后代中超高亲率均极低，正交群体仅 1.754%，反交群体中无果实硬度大于 ‘Berkeley’（0.278 kg·cm<sup>-2</sup>）的后代，超中亲率也仅为 9.127，而劣质遗传，即超低亲率在正、反交群体中分别高达 53.801%和 56.667%，说明越橘果实硬度存在明显的劣质遗传趋势。

如图 4-A、C 所示，正、反交群体后代的果实蒂痕直径多集中在双亲之间，极低或极高值后代仅占少数，频率分布曲线呈单峰正态分布，说明越橘果实蒂痕直径是多基因控制的数量性状。如图 4-B、D 所示，正、反交群体后代的果实硬度频率分布曲线基本呈单峰正态分布，多数集中在 0.15—0.22 kg·cm<sup>-2</sup>，但半数杂交后代集中在低硬度区域，仅分离出极少数硬度值大于或接近高值亲本的后代。

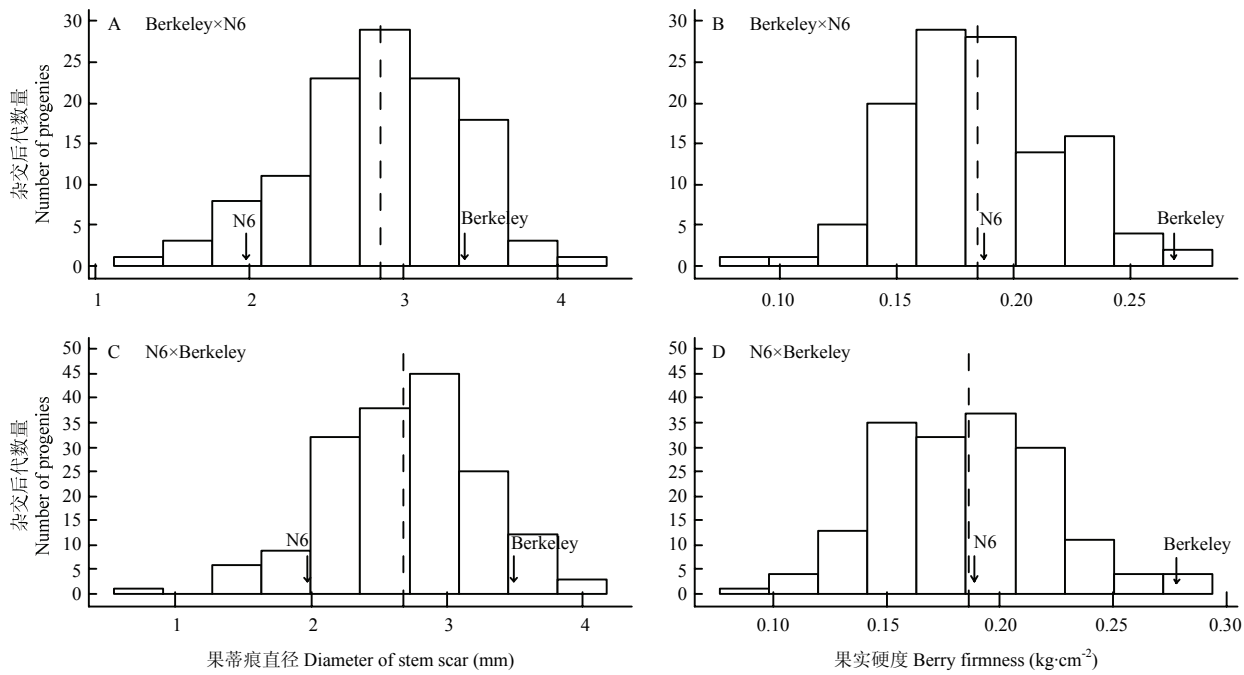
### 3 讨论

#### 3. 1 越橘果实蒂痕和果实硬度性状对果实贮藏性的影响

果实蒂痕是果柄与果实脱离时由于果皮破裂和果肉

表 5 杂交后代果实蒂痕大小和果实硬度的广义遗传力和超亲遗传  
Table 5 Broad-sense heritability and transgressive inheritance of stem scar size and berry firmness in progeny populations

| 性状<br>Trait                                      | 亲本 Parent |          |           | 正交群体 N6×Berkeley |             |                  |                       |                  |                  |                  | 反交群体 Berkeley×N6 |             |                  |                       |                  |                  |                  |
|--|-----------|----------|-----------|------------------|-------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
|  | N6        | Berkeley | $\bar{P}$ | $\bar{x}\pm S$   | 范围<br>Range | <i>CV</i><br>(%) | <i>H</i> <sup>2</sup> | <i>HM</i><br>(%) | <i>HH</i><br>(%) | <i>LL</i><br>(%) | $\bar{x}\pm S$   | 范围<br>Range | <i>CV</i><br>(%) | <i>H</i> <sup>2</sup> | <i>HM</i><br>(%) | <i>HH</i><br>(%) | <i>LL</i><br>(%) |
|  |           |          |           |                  |             |                  |                       |                  |                  |                  |                  |             |                  |                       |                  |                  |                  |
| 果实蒂痕大小<br>Stem scar size<br>(mm)                 | 1.964     | 3.501    | 2.732     | 2.847±0.534      | 1.412—4.29  | 18.750           | 0.887                 | 48.538           | 5.848            | 9.357            | 2.683±0.579      | 0.750—4.018 | 21.590           | 0.867                 | 61.667           | 10.000           | 6.667            |
| 果实硬度<br>Berry firmness<br>(kg·cm <sup>-2</sup> ) | 0.189     | 0.278    | 0.234     | 0.185±0.035      | 0.080—0.27  | 18.900           | 0.535                 | 10.526           | 1.754            | 53.801           | 0.186±0.038      | 0.086—0.282 | 20.240           | 0.514                 | 9.167            | 0.000            | 56.667           |



A、B 表示 Berkeley×N6 群体，C、D 表示 N6×Berkeley 群体；虚线表示群体平均值  
A and B represent population of Berkeley×N6, C and D represent population of N6×Berkeley, dotted line represent mean value of population

图 4 越橘正、反交群体果蒂痕直径和果实硬度频率分布和曲线图

Fig. 4 Histogram of frequency distribution and probability density curve of stem scar size and berry firmness in blueberry reciprocal populations

组织损伤而形成的小伤痕，通常是果实受霉菌侵染和失水的关口。葡萄、樱桃、草莓、软枣猕猴桃等果实带柄采收，尤其是葡萄，防止脱粒是提高商品性的重要指标。研究发现葡萄果柄粗细、果蒂痕大小与贮藏性密切相关，‘巨峰’葡萄果柄细，其果蒂面积小，单位面积果柄和果蒂承受的浆果自重大，导致果粒易在运输中脱落，果穗松动导致果蒂与果粒之间产生微小的伤痕，引起霉变进而加重脱粒，而‘秋红’等葡萄果柄粗，果蒂面积较大，耐拉力较大，单位面积果柄和果蒂承受的自重较小，果粒不易脱落<sup>[31]</sup>。本研究发现越橘果实果蒂痕对果实贮藏性的方差贡献率最大，其大小与贮藏时间呈极显著负相关，即果蒂痕越小，果实贮藏性越好，反之贮藏性越差，与葡萄有所不同，可能与葡萄和越橘果实的采收方式存在本质区别有关。葡萄整穗采收，所以防止脱粒是商品性、贮藏性的关键，果柄粗、果蒂面积大可减小单位面积果柄和果蒂承受的自重而减少脱粒；但越橘果实脱柄单粒采收，防止果蒂痕处霉变和失水是商品性和贮藏性的关键，果柄与果实脱离时果皮破损面积越小越有利

于贮藏。此外，本研究通过越橘果实带柄贮藏和脱柄常规贮藏对比发现，果实带柄贮藏（4℃）20 d 后，果实仍保持新鲜、果肉硬度小幅度下降，而脱柄贮藏后果实失水皱缩甚至果蒂痕发霉，果实硬度大幅降低，失水皱缩及硬度降低程度随着果蒂痕增大而增加，进一步证实了果蒂痕是影响越橘果实贮藏的关键因素。所以，在生产中选择果蒂痕小的品种对于提高果实贮藏性具有重要意义。

果实硬度是受果实自身质地、细胞结构、特殊离子成分以及果胶变化、采后呼吸代谢、酶活性、激素调节、温度等多种因素影响的复杂性状<sup>[32-34]</sup>。研究发现，硬度对葡萄、番茄、草莓果实贮藏性有重要影响，硬度越大贮藏性越好<sup>[34-36]</sup>。本研究发现，越橘果实硬度与贮藏时间呈显著正相关，对果实贮藏性的方差贡献仅次于果蒂痕大小。与草莓、葡萄等果实一样，越橘果实硬度也是影响越橘果实贮藏的主要因子，在生产上主要通过预冷<sup>[4]</sup>、冰温贮藏<sup>[5-6]</sup>及 1-MCP<sup>[7-10]</sup>、气调箱<sup>[11-13]</sup>处理，以抑制乙烯产生、控制呼吸强度等，从而延缓果实后熟软化。同时，笔者调查发现，越橘



果实硬度在品种间存在差异, 果皮厚、果肉致密、种子少的品种果实硬度普遍较高, 可见果皮厚度、果肉质地和种子数量等与果实硬度相关, 在品种选择时应给予重视。

### 3.2 越橘果蒂痕和果实硬度性状遗传特点

本研究通过带柄采收模拟不形成果蒂痕, 贮藏效果好, 与常规脱柄贮藏形成鲜明对比, 表明果实果蒂痕小对越橘果实贮藏意义重大, 而目前生产上选择品种时重点考虑产量、品质等经济性状而忽略果蒂痕, 因此, 培育果蒂痕小而干的越橘品种, 配合保鲜技术能有效提高越橘果实贮藏性。目前鲜见关于果蒂痕性状遗传规律的报道, 遗传特点尚不明确。本研究利用正、反交群体对越橘果实果蒂痕遗传倾向进行分析, 发现正交群体和反交群体后代果蒂痕大小平均值无明显差异, 无父母本倾向, 广义遗传力 ( $H^2$ ) 较高, 表明果蒂痕大小的变异主要来自遗传效应, 环境掩盖效应较小, 遗传潜能大, 可通过杂交选育小果蒂痕后代。

果实硬度是果实商品性和贮藏性的重要衡量指标之一<sup>[36-37]</sup>, 对果实口感也有重要影响, 就世界葡萄、草莓、越橘市场而言, 消费者更青睐果肉脆硬/较硬的品种, 因此果实硬度越来越受果树生产者和育种者的重视。以提高果实硬度为重要目标之一的草莓、葡萄、番茄等育种取得了重要进展, 培育了很多果实硬度大、耐储运的新品种, 对产业发展发挥了重要作用。浆果类果树中, 在草莓上开展了果实硬度遗传的相关研究, 但观点不尽一致。SPANGLO 等<sup>[38]</sup>认为果实硬度的遗传力较低, 具显著的非加性效应; BARRITT<sup>[39]</sup>则认为果实硬度具有较高的遗传力和较大的加性效应; 李英慧等<sup>[40]</sup>、祝朋芳等<sup>[41]</sup>分别利用 8 个和 10 个杂交群体对草莓果实硬度进行遗传分析, 果实硬度平均广义遗传力均为 0.57, 认为果实硬度属于多基因控制的数量性状, 普遍存在正向非加性效应, 草莓果实硬度较易通过杂交育种加以改善。番茄<sup>[42]</sup>、梨<sup>[28,43]</sup>中果肉硬度也存在相似遗传规律。本研究利用正、反交群体对越橘果实硬度的遗传倾向进行分析, 结果显示正、反交后代果实硬度平均值无差异, 均趋近低值亲本, 受低值亲本影响, 存在广泛的趋向硬度降低的劣质遗传趋势, 此外, 正、反交群体果实硬度的广义遗传力  $H^2$  相对较低, 说明该性状遗传效应小, 易受环境影响, 遗传中存在负向非加性效应。综上, 越橘果实硬度存在广泛的趋低劣质遗传趋势, 应避免选择果实硬度低的亲本, 高硬度果实选择难度大, 可能需要多

代杂交聚合控制果实硬度的基因, 从而获得果实硬度大的品种。

## 4 结论

果蒂痕大小和果实硬度是影响越橘果实贮藏的主要性状, 培育果蒂痕小、果实硬度大的越橘品种对提高越橘果实贮藏性具有重要意义。果蒂痕大小和果实硬度表现为多基因控制的数量性状, 其中果蒂痕大小存在趋中变异, 无父母本倾向, 变异主要来自遗传效应, 遗传潜能大, 超高亲遗传不明显; 果实硬度平均值均趋近于低值亲本, 存在遗传广泛的趋向硬度降低的劣质遗传趋势, 且遗传效应小, 易受环境影响。

**致谢:** 感谢北京科技大学刘冬成研究员对英文摘要的校正, 感谢辽宁省果树科学研究所刘硕博士在分析软件使用中的指导。

## References

- [1] MANNOZZI C, TYLEWICZ U, CHINNICI F, SIROLI L, ROCCULI P, ROSA M D, ROMANI S. Effects of chitosan based coatings enriched with procyanidin by-product on quality of fresh blueberries during storage. *Food Chemistry*, 2018, 251: 18-24.
- [2] 王琛, 李雪涛, 陶烨, 孟宪军.  $^{60}\text{Co}\gamma$  辐照对低温贮藏蓝莓品质和膜脂过氧化作用的影响. *食品科学*, 2016, 37(22): 318-323.  
WANG C, LI X T, TAO Y, MENG X J. Effect of  $^{60}\text{Co}\gamma$ -irradiation on storage quality and membrane lipid peroxidation of blueberry fruits during cold storage. *Food Science*, 2016, 37(22): 318-323. (in Chinese)
- [3] 于继男, 薛璐, 鲁晓翔, 陈绍慧. 温度驯化对蓝莓冰温贮藏期间生理品质变化的影响. *食品科学*, 2014, 35(22): 265-269.  
YU J N, XUE L, LU X X, CHEN S H. Effect of cold acclimation on quality of blueberry fruits during Ice-temperature storage. *Food Science*, 2014, 35(22): 265-269. (in Chinese)
- [4] 左建冬. 预冷、冰温技术在蓝莓保鲜中的应用. *制冷与空调*, 2017, 17(9): 80-82.  
ZUO J D. Application of precooling, ice-temperature technology in the preservation on blueberry. *Refrigeration and Air-conditioning*, 2017, 17(9): 80-82. (in Chinese)
- [5] 魏文平, 华璐云, 万金庆, 庞文燕, 宋立尧, 雷桥. 蓝莓冰温贮藏的实验研究. *食品工业科技*, 2012, 33(13): 346-348.  
WEI W P, HUA L Y, WAN J Q, PANG W Y, SONG X Y, LEI Q. Experimental study on ice temperature storage of blueberry. *Food*

- industry technology, 2012, 33(13): 346-348. (in Chinese)
- [6] 刘铮, 黄含达, 杨静慧, 黄俊轩, 梁发辉, 张景新. -1℃贮藏下不同品种设施蓝莓果实耐储特性的比较. 北方园艺, 2019(14): 117-123. LIU Z, HUANG H D, YANG J H, HUANG J X, LIANG F H, ZHANG J X. Storage characteristics of different varieties of blueberry fruits stored at -1℃. *Northern of Horticulture*, 2019(14): 117-123. (in Chinese)
- [7] 吉宁, 龙晓波, 李江阔, 曹森, 张鹏, 马超, 马立志, 王瑞. 1-MCP 结合臭氧处理对蓝莓低温保鲜效果的影响. 食品工业科技, 2019(11): 302-307. JI N, LONG X B, LI J K, CAO S, ZHANG P, MA C, MA L Z, WANG R. Effect of 1-MCP coupling with ozone treatment on storage of blueberry at low temperature. *Science and Technology of Food Industry*, 2019(11): 302-307. (in Chinese)
- [8] 巴良杰, 罗冬兰, 曹森, 尤勇刚, 余碧青, 王瑞. 1-MP 结合  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  辐照对蓝莓贮藏品质的影响. 北方园艺, 2019(8): 118-124. BA L J, LUO D L, CAO S, YOU Y G, YU B Q, WANG R. Effects of 1-MCP combined with  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  irradiation on the quality of blueberry during storage. *Northern Horticulture*, 2019(8): 118-124. (in Chinese)
- [9] 纪淑娟, 周倩, 马超, 程顺昌. 1-MCP 处理对蓝莓常温货架品质变化的影响. 食品科学, 2013, 35(2): 322-327. JI S J, ZHOU Q, MA C, CHENG S C. Effect of 1-MCP treatment on quality changes of blueberry at room temperature. *Food Science*, 2013, 35(2): 322-327. (in Chinese)
- [10] CHIABRANDO V, GIACALONE G. Shelf life extension of highbush blueberry using 1-methylcyclopropene stored under air and controlled atmosphere. *Food Chemistry*, 2011, 126(4): 1812-1816.
- [11] 郭丹, 韩英群, 郝义. 箱式气调保鲜对蓝莓果实贮藏期及货架期品质生理影响. 西北农业学报, 2016, 25(12): 1829-1836. GUO D, HAN Y Q, HAO Y. Effect of box modified atmosphere storage on quality and physiology of blueberry during storage and shelf-life. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2016, 25(12): 1829-1836. (in Chinese)
- [12] 刘萌, 范新光, 王美兰, 周志才, 张长峰, 张玉华. 不同包装方法对蓝莓采后生理及贮藏效果的影响. 食品科学, 2013, 34(14): 346-350. LIU M, FAN X G, WANG M L, ZHOU Z C, ZHANG C F, ZHANG Y H. Influence of different packaging methods on physiological properties of blueberry during postharvest storage. *Food Science*, 2013, 34(14): 345-350. (in Chinese)
- [13] 孟宪军, 姜爱丽, 胡文忠, 田密霞, 刘程惠. 箱式气调贮藏对采后蓝莓生理生化变化的影响. 食品工业科技, 2011, 32(9): 379-383. MENG X J, JIANG A L, HU W Z, TIAN M X, LIU C H. Effects of plastic box modified atmosphere storage on the physiological and biochemical changes of postharvest blueberry fruits. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 32(9): 379-383. (in Chinese)
- [14] 邹小波, 杨志坤, 石吉勇, 黄晓玮, 张文, Haroon Elrasheid TAHIR. 阿拉伯胶/白色玫瑰茄提取物复合涂膜对低温贮藏蓝莓保鲜效果的影响. 食品科学, 2019, 40(7): 204-211. ZOU X B, YANG Z K, SHI J Y, HUANG X W, ZHANG W, HAROON E T. Preservation effect of gum arabic edible coating incorporated with white roselle extract (*Hibiscus sabdariffa* L.) on cold-stored blueberries. *Food Science*, 2019, 40(7): 204-211. (in Chinese)
- [15] 李翠萍, 袁磊, 杨延存, 王茜, 周凯乐, 刘双, 李鹏程. 山梨醇提高壳聚糖季铵盐涂膜对蓝莓的保鲜效果. 现代食品科技, 2018, 34(12): 117-121. LI C P, YUAN L, YANG Y C, WANG Q, ZHOU K L, LIU S, LI P C. Effect of plasticizers on the preservation of blueberries by quaternary ammonium salt of chitosan coating. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(12): 117-121. (in Chinese)
- [16] 张群利, 崔琳琳, 郑权, 郭泽凯, 丁云闪, 覃懿琴, 张佳俐, 何美杉, 陈钧浦. 纤维素复合抗菌保鲜膜包覆对采后蓝莓的保鲜效果. 食品工业科技, 2019, 40(19): 261-265. ZHANG Q L, CUI L L, ZHENG Q, WU Z K, DING Y S, TAN Y Q, ZHANG J L, HE M S, CHEN J P. Fresh-keeping effect of cellulose composite antibacterial preservative film on postharvest blueberry. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(19): 261-265. (in Chinese)
- [17] 孙莎, 邵海燕, 熊涛, 陈杭君, 刘瑞玲, 吴伟杰. 五倍子提取液对蓝莓采后病害和品质的影响. 林业科学, 2018, 54(6): 53-62. SUN S, GAO H Y, XIONG T, CHEN H J, LIU R L, WU W J. The effect of galla chinensis extract on postharvest disease and storage quality of blueberry. *Scientia Sive Sinicae*, 2018, 54(6): 53-62. (in Chinese)
- [18] LIN S H, WANG W, ZHANG J H, YANG X L. Initial screening of 10 plant essential oils *in vitro* antibacterial activity against blueberry pathogens. *Agricultural Science & Technology*, 2019, 20(3): 17-21.
- [19] 王和涛. 丁香精油与壳聚糖涂膜对蓝莓的保鲜效果. 食品工业, 2019, 40(1): 203-206. WANG H T. Effect of clove essential oil and chitosan compound film coating on blueberry preservation. *Food Industry*, 2019, 40(1): 203-206. (in Chinese)
- [20] 王磊明, 李洋, 张茜, 冯刚. 壳聚糖-肉桂精油复合膜对蓝莓保鲜效果的影响. 食品科技, 2017, 42(9): 14-20. WANG L M, LI Y, ZHANG Q, FENG G. Effects of composite

- membrane of chitosan and cinnamon essential oil on preservation of blueberries. *Food Science and Technology*, 2017, 42(9): 14-20. (in Chinese)
- [21] 陶烨, 王琛, 高雅, 李晓平, 崔智博, 孟宪军. 不同剂量  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  辐照对蓝莓果实贮藏品质的影响. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(7): 2779-2785.
- TAO Y, WANG C, GAO Y, LI X P, CUI Z B, MENG X J. Effects of different doses of  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  irradiation on storage quality of blueberry fruits. *Journal of Food Safety and Quality*, 2017, 8(7): 2779-2785. (in Chinese)
- [22] 龙明秀, 吴凤玉, 田竹希, 刘敏, 何扬波, 李咏富, 石彬, 梁倩.  $^{60}\text{Co}$ - $\gamma$  辐照处理对蓝莓保鲜效果的影响. *核农学报*, 2019, 33(11): 2165-2176.
- LONG M X, WU F Y, TIAN Z X, LIU M, HE Y B, LI Y F, SHI B, LIANG Q. Effect of  $^{60}\text{Co}$  irradiation treatment on preservation effects of blueberry. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(11): 2165-2176. (in Chinese)
- [23] 姬亚茹, 周福慧, 姜爱丽, 顾思彤, 胡文忠. 乙醇熏蒸处理对采后蓝莓果实品质的影响. *包装工程*, 2018, 13: 85-92.
- JI Y R, ZHOU F H, JIANG A L, GU S T, HU W Z. Effects of ethanol fumigation treatments on the quality of postharvest blueberry fruits. *Packaging Engineering*, 2018, 13: 86-92. (in Chinese)
- [24] 廖嘉, 胡文忠, 权春善, 姬亚茹, 杨香艳, 龙娅, 李元政. 采后浆果熏蒸保鲜技术的研究进展. *食品与发酵工程*, 2019, 45(14): 277-284.
- LIAO J, HU W Z, QUAN C S, JI Y R, YANG X Y, LONG Y, LI Y Z. Fumigation preservation technology for postharvest berries: A review. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(14): 277-284. (in Chinese)
- [25] 刘有春, 陶承光, 魏永祥, 刘成, 王兴东, 刘威生, 杨艳敏. 越橘果实糖酸含量和不同发育阶段的变化及其与叶片中可溶性糖含量的相关关系. *中国农业科学*, 2013, 46(19): 4110-4118.
- LIU Y C, TAO C G, WEI Y X, LIU C, WANG X D, LIU W S, YANG Y M. Fruit sugar and acid content, variation at different fruit development stages and their relationship with leaf soluble sugar content of blueberry. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(19): 4110-4118. (in Chinese)
- [26] 刘有春, 魏永祥, 王兴东, 刘成, 蒋明三, 张舵, 袁兴福, 陶承光. 南高丛越橘品种‘Sapphire’和北高丛品种‘Berkeley’正反交后代果实糖酸组分含量的遗传倾向. *中国农业科学*, 2014, 47(24): 4878-4885.
- LIU Y C, WEI Y X, WANG X D, LIU C, JIANG M S, ZHANG D, YUAN X F, TAO C G. Inheritance tendency of sugar and acid contents in the reciprocal cross progenies’ fruits of Southern×Northern high Bush blueberry (*Vaccinium*). *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(24): 4878-4885. (in Chinese)
- [27] CHEN X S, WU Y, CHEN M X, HE T M, FENG J R, LIANG Q, LIU W, YANG H H, ZHANG L J. Inheritance and correlation of self-compatibility and other yield components in the apricot hybrid F1 populations. *Euphytica*, 2006, 150(12): 69-74.
- [28] 崔艳波, 陈慧, 乐文全, 张树军, 伍涛, 陶书田, 张绍玲. ‘京白梨’与‘鸭梨’正反交后代果实性状遗传倾向研究. *园艺学报*, 2011, 38(2): 215-224.
- CUI Y B, CHEN H, LE W Q, ZHANG S J, WU T, TAO S T, ZHANG S L. Studies on genetic tendency of fruit characters in reciprocal crosses generation between ‘Jingbaili’ and ‘Yali’ pear cultivars. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(2): 215-224. (in Chinese)
- [29] 刘有春, 鄂辉邦, 刘成, 王兴东, 杨艳敏, 孙斌, 张舵, 袁兴福, 魏永祥. 越橘半同胞系杂交后代果实糖酸性状的变异和遗传倾向. *果树学报*, 2016, 33(6): 664-675.
- LIU Y C, E H B, LIU C, WANG X D, YANG Y M, SUN B, ZHANG D, YUAN X F, WEI Y X. Variability and inheritance of sugar and acid content in blueberry (*Vaccinium*) fruit of half-sib crosses. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(6): 664-675. (in Chinese)
- [30] WICKHAM H. ggplot2: elegant graphics for data analysis. *Springer*. 2016
- [31] 周会玲, 李嘉瑞. 葡萄果实结构与耐贮性关系的研究. *中国农学通报*, 2005, 21(7): 239-241.
- ZHOU H L, LI J R. The relationship between fruit structure and storability in table grapes. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(7): 239-241. (in Chinese)
- [32] JEWEL B. Maintaining fruit firmness [D]. Arizona: University of Arizona, 2004.
- [33] 王金英, 马中国, 宗灿华. 果胶的提取与应用. *中国林副特产*, 2000, 5(2): 17-18.
- WANG J Y, MA Z G, ZONG C H. Extraction and application of pectin. *Quarterly of Forest By-Product and Specialty in China*, 2000, 5(2): 17-18. (in Chinese)
- [34] 魏宝东, 姜炳义, 冯辉. 番茄果实货架期硬度变化及其影响因素的研究. *食品科学*, 2005, 26(3): 249-252.
- WEI B D, JIANG B Y, FENG H. Studies on changes of hardness degree of tomato fruit and factors affected shelf-Life. *Food Science*, 2005, 26(3): 249-252. (in Chinese)
- [35] 张会芳, 刘桂珍, 张超. 草莓果实硬度影响因素及其调控措施研究进展. *长江蔬菜*, 2009(12): 4-7.
- ZHANG H F, LIU G Z, ZHANG C. Research progress on influencing

- factors and control measures of strawberry fruit firmness. *Changjiang Vegetable*, 2009(12): 4-7. (in Chinese)
- [36] 彭永彬, 李玉, 徐鹏程, 王晨, 上官凌飞. 葡萄果实硬度及影响硬度的主要因素. *浙江农业学报*, 2014, 26(5): 1227-1234.
- PENG Y B, LI Y, XU P C, WANG C, SHANGGUAN L F. Grape fruit firmness and the main influencing factors. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2014, 26(5): 1227-1234. (in Chinese)
- [37] 王力荣, 朱更瑞, 方伟超. 桃(*Prunus persica* L.)种质资源果实数量性状评价指标探讨. *园艺学报*, 2005, 32(1): 1-5.
- WANG L R, ZHU G R, FANG W C. The evaluating criteria of some fruit quantitative characters of peach (*Prunus persica* L.) genetic resource. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(1): 1-5. (in Chinese)
- [38] SPANGLO L P S, HSU C S, FEJER S O. Heritability and genetic variance components for 20 fruit and plant characters in the cultivated strawberry. *Genome*, 1971, 13: 443-456.
- [39] BARRITT B H. Breeding strawberry for fruit firmness. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1979, 104(5): 663-665.
- [40] 李英慧, 王火旭, 任秀云. 草莓果实硬度遗传和选择研究. *辽宁师范大学学报:自然科学版*, 2000, 20(3): 316-318.
- LI Y H, WANG H X, REN X Y. Study on heredity and selection of fruit firmness of strawberry. *Journal of Liaoning Normal University (Natural Science Edition)*, 2000, 20(3): 316-318. (in Chinese)
- [41] 祝朋芳, 陈长青. 草莓两个经济性状遗传特性的研究. *北方果树*, 2004(3): 8-9.
- ZHU P F, CHEN C Q. A study on genetic traits of two economic characters in strawberry. *Northern Fruits*, 2004(3): 8-9. (in Chinese)
- [42] 何艳龙. 番茄果实硬度遗传规律研究. *北方园艺*, 2016(14): 17-22.
- HE Y L. Study on genetic low of fruit firmness of tomato. *Northern Horticulture*, 2016(14): 17-22. (in Chinese)
- [43] 赵亚楠, 欧春青, 王斐, 张艳杰, 马力, 姜淑苓. 梨 F<sub>1</sub> 代群体果实性状的遗传分析及相关性研究. *西北农业学报*, 2018, 27(12): 1811-1818.
- ZHAO Y N, OU Q C, WANG F, ZHANG Y J, MA L, JIANG S L. Genetic analysis and correlation study on pear fruit characteristics in F<sub>1</sub> generation. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27(12): 1811-1818. (in Chinese)

(责任编辑 赵伶俐)