

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.03.001

# 燕山北部山区板栗优良种质资源收集及其品质评价

杜常健<sup>1</sup>, 孙佳成<sup>1</sup>, 武妍妍<sup>1</sup>, 张国庆<sup>3</sup>, 樊清波<sup>3</sup>, 陈卫东<sup>3</sup>,  
任菲<sup>2</sup>, 严冬辉<sup>2</sup>, 江泽平<sup>2</sup>, 史胜青<sup>1\*</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业和草原局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 3. 河北省迁西县林业局, 河北 唐山 064300)

**摘要:** [目的] 通过等级评分和因子分析相结合的方法筛选优良种质, 为板栗优良种质资源收集和选育提供借鉴。[方法] 在燕山北部山区收集板栗农家种和优良单株种质 63 个, 以燕山早丰为对照, 通过测定不同种质种子的单果鲜质量、含水量、淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白的含量, 并且利用等级评价法和因子评价法综合求出各种品质评价的排名。[结果] 在 63 个种质中, 单果鲜质量 QX63 的最大, 为 13.6 g, QX59 的最小, 为 6.5 g, 平均值 8.7 g; 含水量 QX61 的最大, 为 50.7%, QX38 的最小, 为 37.6%, 平均值为 42.9%; 可溶性糖 QX6 的最大, 为 17.1%, QX53 的最小, 为 4.8%, 平均值 9.8%; 淀粉含量 QX62 的最大, 为 58.6%, QX5 的最小, 为 17.4%, 平均值为 34.3%; 可溶性蛋白 QX39 的最大, 为 1.1%, QX52 的最小, 为 0.16%, 平均值 0.56%。品质综合评价前 20 名依次为 QX42、QX34、QX8、QX43、QX7、QX6、QX41、QX35、QX55、QX22、QX61、QX2、QX4、QX30、QX52、QX40、QX11、QX5、QX49、QX58。[结论] 不同板栗种质之间单果鲜质量、含水量、淀粉、可溶性糖以及可溶性蛋白的含量存在显著差异, 这些品质指标可作为优良种质资源的评价指标。QX42 可以作为早熟种质, 并且为最优种质; QX34 (第 2)、QX35 (第 8) 可作为晚熟种质。

**关键词:** 板栗; 种质资源; 品质评价; 因子评价; 等级评价

**中图分类号:** S727.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2020)03-0001-11

板栗 (*Castanea mollissima* BL.) 是我国重要的经济林树种之一<sup>[1-2]</sup>。据 2013 年统计栽培面积 111 万  $\text{hm}^2$ , 年产量 165 万 t, 占全球产量 70% 以上<sup>[3-4]</sup>。种质资源是蕴藏在生物中各水平上遗传变异的总合, 任何遗传改良技术或新品种的培育都离不开最基本的遗传资源<sup>[5]</sup>。因此, 优良的种质资源是板栗高产稳产的基础, 对种质资源收集与筛选意义重大。我国板栗资源丰富且实生变异类型多, 选种潜力极大<sup>[6]</sup>。充分挖掘我国优良板栗种质资源, 比较其品质差异, 是板栗资源保护、选育和开发利用的重要保障。

品质综合评价是板栗种质资源筛选的重要手段。目前, 板栗品质评价中最常用的指标有单果鲜质量、含水量、淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白等, 其中, 单果鲜质量对于板栗产量至关重要, 含水量影响贮存效果, 而淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白又是衡量板栗果实营养价值的重要指标<sup>[7-9]</sup>。在品质分析的基础上, 可应用多种方法对不同板栗种质或品种进行品质综合评价。如朱灿灿等对 34 个不同板栗品种应用模糊数学法进行了隶属函数模糊评价其果实品质<sup>[7]</sup>; 阚黎娜等采用 SPSS 软件对 38 个不同产地、品种板栗进行了主成分分析和聚类分析<sup>[8]</sup>;

收稿日期: 2019-07-08 修回日期: 2020-04-08

基金项目: 林木培育重点实验室专项资金“迁西县优良板栗资源收集与保存 (ZDRIF201712)”; 国家林业和草原局科技发展中心项目“燕山北部山区板栗遗传资源评价与挖掘 (KJZXSA2019045)”

\* 通讯作者: 史胜青, 副研究员, 硕士生导师. 主要研究方向: 林木抗逆机制与抗逆育种. Email: shi.shengqing@caf.ac.cn

路超等采用因子分析与隶属函数相结合的方法对河北迁西 16 个板栗种质资源进行了综合评价<sup>[9]</sup>。

燕山北部是我国板栗的传统主产区,栽培历史悠久,且燕山独特的自然环境造就了燕山板栗具有香、甜、糯、肉质细腻等独特风味,在国内外享有盛誉<sup>[10-11]</sup>。然而,近年来,市场上对早熟品种的板栗需求量大,价格高,导致大面积板栗树被嫁接为早熟品种,这不仅导致栽培品种较单一,容易发生病害,还会造成大量优良种质资源的丢失或破坏。因此,收集、保存和选育新的燕山板栗良种具有重要意义。基于此,本文以主栽的燕山早丰品种为参照,对在燕山北部山区收集到的 63 个优良单株或农家种板栗种质进行分析,记录果实成熟时期,测定单果鲜质量、含水量、淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白等指标,采用等级划分法和因子分析法相结合的手段对收集的优良种质资源进行品质评价。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料

以河北省板栗主产区迁西县为中心,在县域境内及周边收集 63 个优良单株,并以燕山早丰的母树为对照,其位于迁西县汉儿庄乡杨家峪村,树高约 12 m,胸径 80.6 cm,树龄约 120 a。具体采集信息如下(表 1):

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 通过走访和调查,在燕山北部山区收集农家种和优良单株种质 63 个,记录每棵树的生长和结实情况及所处环境。在 8 月底至 10 月上旬期间,当选定单株开始自然落果 2~3 d 后,采集板栗种子,立即置于 4℃ 冰箱短暂保存,然后分批带回实验室测定鲜质量或烘干保存。每个种质随机采集 300 粒,测定单果鲜质量、含水量、淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白等指标(每个处理 3 个重复,每个重复随机选取 20 粒),并对各品质指标进行综合评价。

1.2.2 板栗单果鲜质量、含水量、可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白含量测定 单果鲜质量和含水量测定:参照 GB/T5009.3-2003《食品中水分的测定》进行,首先测定单质量,然后持续烘干至衡质量,计算含水量。

可溶性糖和淀粉含量测定:板栗烘干后,利用蒽酮比色法<sup>[12]</sup>测定,具体方法参照各自试剂盒

(苏州科铭生物技术有限公司)。可溶性糖标准条件下测定的回归方程为: $y=4.275x-0.07$ (式中, $x$ 为标准品浓度( $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), $y$ 为吸光值)。可溶性糖含量( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,干质量) $=[(\Delta A+0.07)\div 4.275\times V1]\div(W\times V1\div V2)=2.34\times(\Delta A+0.07)\div W$ (式中, $\Delta A$ :测定样品吸光值; $V1$ :加入样本体积 0.04 mL; $V2$ :加入提取液体积, $W$ :样本干质量(g))。

淀粉标准条件下测定的回归方程为: $y=2.936x-0.0295$ (式中, $x$ 为标准品浓度( $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ), $y$ 为吸光值)。淀粉含量( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,干质量) $=(A+0.0295)\times V1\div 2.936\div(W\times V1\div V2)=0.578\times(A+0.0295)\div W$ (式中, $A$ :样品吸光值; $V1$ :加入反应体系中样本体积 0.05 mL; $V2$ :加入提取液体积 1.7 mL; $W$ :样本干质量(g))。

可溶性蛋白测定:参照考马斯亮蓝法<sup>[13]</sup>。称取鲜样,利用改良型 Bradford 蛋白浓度测定试剂盒(上海生工)测定不同种质板栗的可溶性蛋白含量。

1.2.3 数据处理 利用 Excel 和 SPSS 软件对原始数据进行方差分析和主成分分析。

评价方法 1(等级评价法):通过对各个品质指标划分为 4 个等级,4 个等级设定为 100、80、60、40 分,通过查阅文献和专家咨询确定各个指标权重,最终加权求总分数。

$$\text{综合得分 } M_1 = \sum (X_n \times A_n)$$

式中: $X$ 为各个品质指标根据等级划分所得分数, $A$ 为品质指标所对应的权重, $n$ 为品质指标个数。

评价方法 2(因子评价法):

$$F_N = \sum (X_n \times C_n) \quad (1)$$

$$\text{综合得分 } M_2 = \sum (F_N \times B_N) \quad (2)$$

式(1~2)中: $F_N$ 为第  $N$  个提取主成分的成绩, $B_N$ 为提取主成分  $N$  对应方差贡献率的比重, $C_n$ 为  $n$  品质指标在主成分  $N$  下的载荷向量/主成分  $N$  特征值的算术平方根, $X$ 为各个品质指标的标准值, $N$ 为主成分数, $n$ 为品质指标数。

综合排名=0.5×方法 1 排名+0.5×方法 2 排名

## 2 结果分析

### 2.1 品质指标分析

2.1.1 单果鲜质量 通过对收集到的板栗单果鲜质

表1 燕山山区北部搜集优良单株地点信息

Table 1 Location information of elite chestnut individuals collected in northern Yanshan Mountains

代号 Code	地点 Location	纬度(N) Latitude	经度(E) Longitude	代号 Code	地点 Location	纬度(N) Latitude	经度(E) Longitude
QX1	汉儿庄乡小龙湾村	40°23'20"	118°11'42"	QX33	抚宁县旧县村	39°52'34"	119°12'39"
QX2	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'23"	118°13'24"	QX34	抚宁县旧县村	39°52'39"	119°13'21"
QX3	汉儿庄乡鸽子峪村	40°21'00"	118°14'28"	QX35	抚宁县旧县村	39°51'28"	119°12'26"
QX4	汉儿庄乡杨家峪村	40°24'35"	118°13'44"	QX36	太平寨镇擦岩子村	40°14'53"	118°34'35"
QX5	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'53"	118°13'36"	QX37	太平寨镇擦岩子村	40°16'36"	118°20'60"
QX6	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'45"	118°13'26"	QX38	太平寨镇擦岩子村	40°16'36"	118°20'61"
QX7	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'33"	118°13'34"	QX39	太平寨镇擦岩子村	40°16'36"	118°20'62"
QX8	汉儿庄乡杨家峪村	40°24'25"	118°13'48"	QX40	太平寨镇大岭寨村	40°17'07"	118°31'46"
QX9	汉儿庄乡杨家峪村	40°24'28"	118°13'42"	QX41	太平寨镇王家峪村	40°14'44"	118°33'42"
QX10	汉儿庄乡杨家峪村	40°24'43"	118°13'55"	QX42	滦阳镇石梯子村	40°16'36"	118°20'59"
QX11	汉儿庄乡杨家峪村	40°24'48"	118°13'51"	QX43	滦阳镇苇子峪村	40°24'04"	118°22'56"
QX12	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'43"	118°13'29"	QX44	滦阳镇黄石哨一村	40°22'47"	118°16'15"
QX13	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'39"	118°13'31"	QX45	滦阳镇黄石哨一村	40°22'47"	118°16'15"
QX14	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'41"	118°13'28"	QX46	渔户寨镇白草洼村	40°16'36"	118°20'59"
QX15	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'31"	118°13'32"	QX47	渔户寨镇东水峪村	40°16'52"	118°25'08"
QX16	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'30"	118°13'32"	QX48	渔户寨镇青山口村	40°18'03"	118°24'44"
QX17	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'23"	118°13'24"	QX49	渔户寨镇东水峪村	40°18'27"	118°20'48"
QX18	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'06"	118°13'23"	QX50	渔户寨镇东水峪村	40°18'18"	118°20'48"
QX19	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'50"	118°13'27"	QX51	渔户寨镇东水峪村	40°18'21"	118°20'37"
QX20	汉儿庄乡尖山峪村	40°23'23"	118°14'35"	QX52	渔户寨镇东水峪村	40°18'23"	118°20'59"
QX21	汉儿庄乡尖山峪村	40°22'50"	118°14'14"	QX53	洒河镇长河峪村	40°19'27"	118°14'42"
QX22	汉儿庄乡尖山峪村	40°22'31"	118°14'24"	QX54	洒河镇长烈马峪村	40°19'27"	118°14'42"
QX23	汉儿庄乡脑峪村	40°25'01"	118°13'35"	QX55	旧城乡麦子峪村	40°10'53"	118°22'33"
QX24	汉儿庄乡脑峪村	40°24'35"	118°14'52"	QX56	旧城乡麦子峪村	40°10'51"	118°22'51"
QX25	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'46"	118°13'37"	QX57	金厂峪镇刘存寨村	40°17'28"	118°26'54"
QX26	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'23"	118°13'24"	QX58	尹庄镇樊庄村	40°07'09"	118°29'43"
QX27	汉儿庄乡尖山峪村	40°22'57"	118°14'30"	QX59	罗家屯镇西寨村	40°09'33"	118°26'28"
QX28	汉儿庄乡尖山峪村	40°22'40"	118°14'52"	QX60	罗家屯镇西寨村	40°09'33"	118°26'27"
QX29	汉儿庄乡鸽子峪村	40°21'35"	118°14'28"	QX61	青龙县温杖子村	40°16'43"	118°49'17"
QX30	汉儿庄乡杨家峪村	40°24'57"	118°13'56"	QX62	兴隆镇三道河村	40°22'27"	118°29'18"
QX31	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'23"	118°13'24"	QX63	渔户寨镇东水峪村	40°18'18"	118°20'50"
QX32	抚宁县旧县村	39°51'44"	119°10'35"	燕山早丰	汉儿庄乡杨家峪村	40°23'03"	118°13'18"

注:未注明所在县的均采集于迁西县境内。

Note: All the counties that are not indicated were collected in Qianxi County.

量分析(图1)显示:当地主栽品种燕山早丰平均单果鲜质量为9.1g;收集的63个优良单株和农家种的单果鲜质量可划分4个等级,从高到低排列依次为:等级Ⅰ(15个)、等级Ⅱ(15个)、等级Ⅲ(15个)、等级Ⅳ(18个)。等级Ⅰ包括

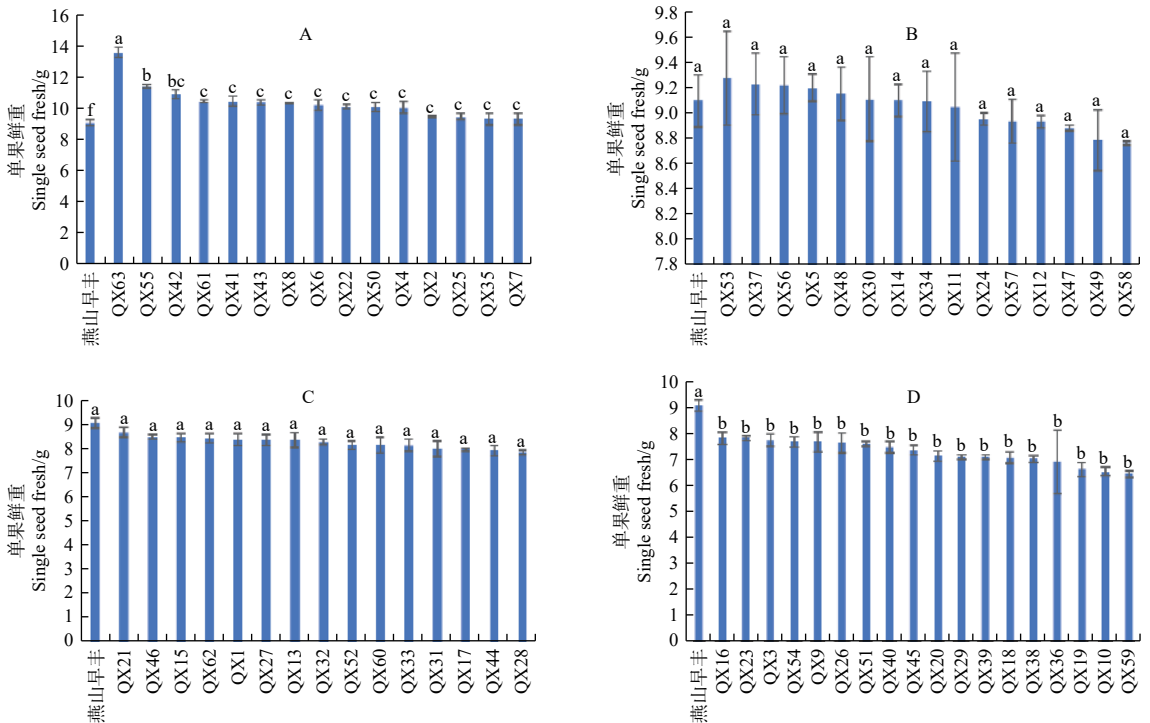
QX63、QX55、QX42、QX61、QX41、QX43、QX8、QX6、QX22、QX50、QX4、QX2、QX25、QX35、QX7,其中,最大值13.6g,最小值9.4g,平均值10.4g(图1A)。等级Ⅱ包括QX53、QX37、QX56、QX5、QX48、QX30、

QX14、QX34、QX11、QX24、QX57、QX12、QX47、QX49、QX58, 其中, 最大值 9.3 g, 最小值 8.8 g, 平均值 9.1 g (图 1 B)。等级 III 包括 QX21、QX46、QX15、QX62、QX1、QX27、QX13、QX32、QX52、QX60、QX33、QX31、QX17、QX44、QX28, 其中, 最大值 8.7 g, 最小值 7.9 g, 平均值 8.3 g (图 1 C)。等级 IV 包括 QX16、QX23、QX3、QX54、QX9、QX26、QX51、QX40、QX45、QX20、QX29、QX39、QX18、QX38、QX36、QX19、QX10、QX59, 其中, 最大值 7.8 g, 最小值 6.5 g, 平均值 7.3 g (图 1 D)。

2.1.2 含水量 燕山早丰的含水量为 40.9% (图 2)。等级 I 包括 QX61、QX33、QX49、QX22、QX8、QX48、QX42、QX52、QX34、QX36、QX35、QX18、QX30、QX40, 其中, 最大值 50.7%, 最小值 44.7%, 平均值 47.1% (图 2 A)。等级 II 包括 QX58、QX56、QX7、QX53、QX41、QX25、QX62、QX45、QX16、QX3、QX57、QX54、QX26、QX43、QX4, 其中, 最大值 44.6%, 最小

值 42.8%, 平均值 43.5% (图 2 B)。等级 III 包括 QX6、QX21、QX10、QX47、QX14、QX9、QX51、QX15、QX23、QX12、QX60、QX5、QX28、QX11、QX24, 其中, 最大值 42.7%, 最小值 41.2%, 平均值 42.0% (图 2 C)。等级 IV 包括 QX31、QX13、QX20、QX29、QX2、QX19、QX50、QX27、QX46、QX39、QX32、QX1、QX63、QX17、QX37、QX44、QX59、QX38, 其中, 最大值 41.0%, 最小值 37.6%, 平均值 39.7% (图 2 D)。

2.1.3 淀粉含量 燕山早丰的淀粉含量为 49.1% (图 3)。等级 I 包括 QX62、QX52、QX61、QX54、QX57、QX59、QX33、QX34、QX56、QX48、QX55、QX51、QX49、QX50、QX47, 其中, 最大值 58.6%, 最小值 46.5%, 平均值 50.8% (图 3 A)。等级 II 包括 QX60、QX39、QX35、QX38、QX12、QX63、QX42、QX46、QX11、QX58、QX43、QX24、QX17、QX15、QX20; 其中, 最大值 41.8%, 最小值 32.4%, 平均值 36% (图 3 B)。等级 III 包括 QX23、QX53、



注: A、B、C、D 分别是等级 I、II、III 和 IV 各自包含的板栗种质; 不同的小写字母表示不同种质间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同

Notes: A, B, C and D is the chestnut germplasm in grade I, II, III and IV, respectively; lowercase letters indicate the significant level of different germplasm,  $P < 0.05$ , and the same is as follows

图 1 板栗优良单株的单果鲜质量

Fig. 1 Single seed fresh weight of the elite individual chestnut germplasm

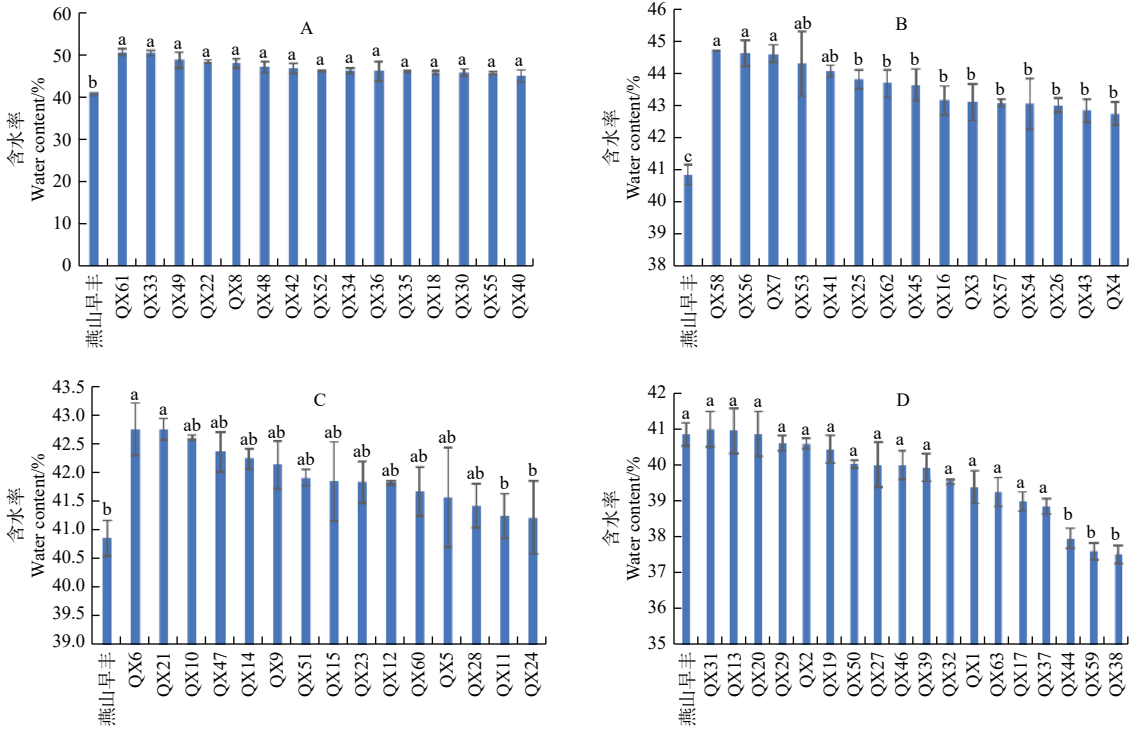


图 2 板栗优良单株的种子含水量

Fig. 2 Water content in seeds from the elite individual chestnut germplasm

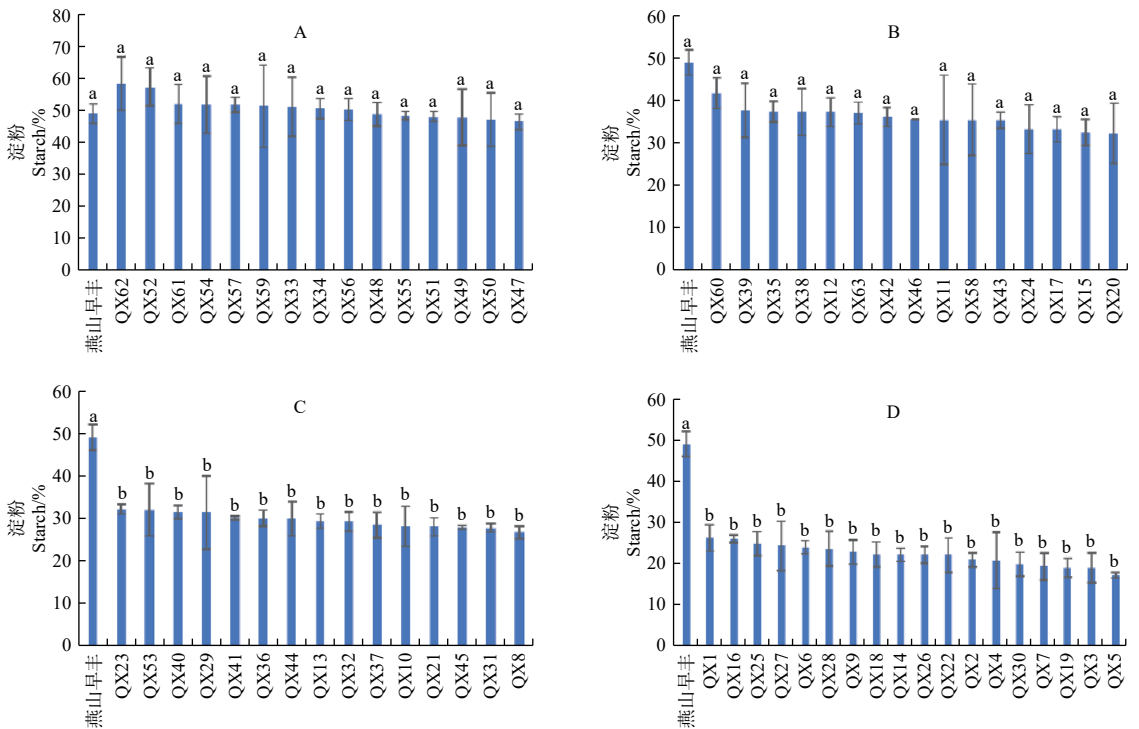


图 3 板栗优良单株的种子淀粉含量

Fig. 3 Starch content in seeds from the elite individual chestnut germplasm

QX40、QX29、QX41、QX36、QX44、QX13、QX32、QX37、QX10、QX21、QX45、QX31、QX8, 其中, 最大值 32.3%, 最小值 26.9%, 平均

值 29.7% (图 3 C)。等级 IV 包括 QX1、QX16、QX25、QX27、QX6、QX28、QX9、QX18、QX14、QX26、QX22、QX2、QX4、QX30、QX7、

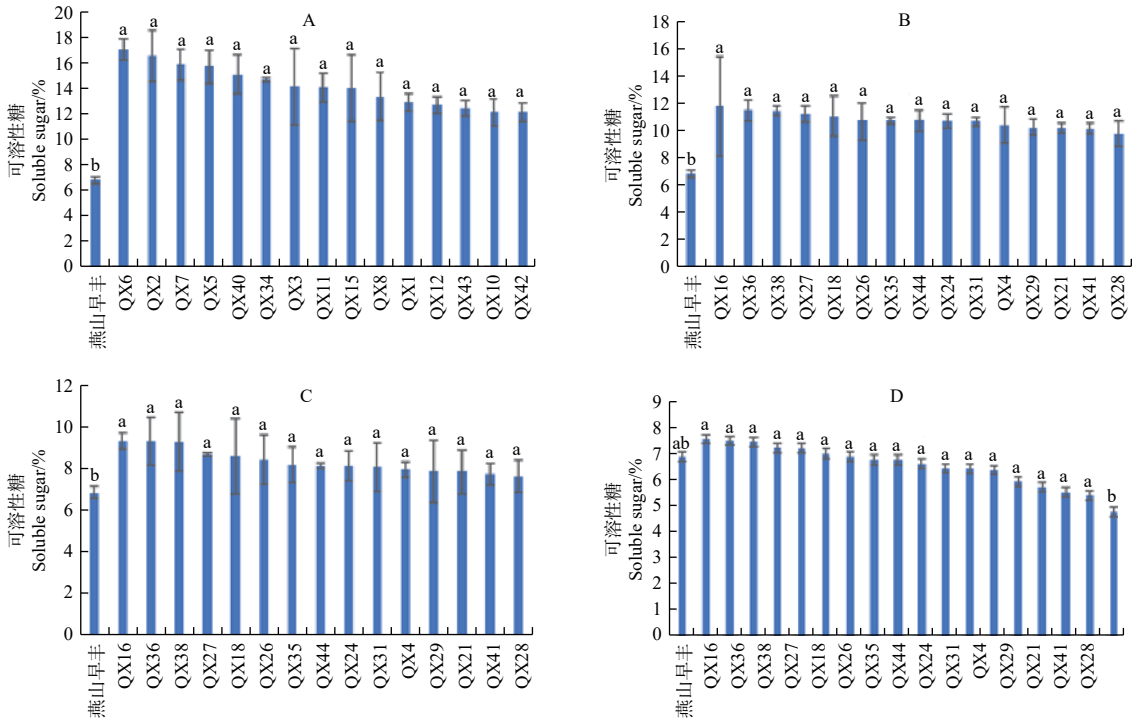


图4 板栗优良单株的种子可溶性糖含量

Fig. 4 Soluble sugar content in seeds from the elite individual chestnut germplasm

QX19、QX3、QX5；其中，最大值 26.4%，最小值 17.4%，平均值 22.2%（图 3 D）。

2.1.4 可溶性糖含量 燕山早丰的可溶性糖含量为 6.9%(图 4)。等级 I 包括 QX6、QX2、QX7、QX5、QX40、QX34、QX3、QX11、QX15、QX8、QX1、QX12、QX43、QX10、QX42，其中，最大值 17.1%，最小值 12.2%，平均值 12.4%(图 4A)。等级 II 包括 QX16、QX36、QX38、QX27、QX18、QX26、QX35、QX44、QX24、QX31、QX4、QX29、QX21、QX41、QX28，其中，最大值 11.8%，最小值 9.8%，平均值 10.8%(图 4B)。等级 III 包括 QX37、QX33、QX39、QX30、QX45、QX17、QX46、QX51、QX47、QX20、QX32、QX9、QX23、QX52、QX13，其中，最大值 9.4%，最小值 7.7%，平均值 8.4%(图 4C)。等级 IV 包括 QX25、QX14、QX62、QX61、QX60、QX50、QX19、QX63、QX59、QX57、QX48、QX22、QX54、QX49、QX55、QX56、QX58、QX53，其中，最大值 7.6%，最小值 4.8%，平均值 6.5%(图 4D)。

2.1.5 可溶性蛋白含量 燕山早丰的可溶性蛋白含量为 0.80%(图 5)。等级 I 包括 QX39、QX33、QX32、QX57、QX36、QX59、QX25、QX45、

QX8、QX1、QX15、QX40、QX14、QX53、QX46，其中，最大值 1.10%，最小值 0.70%，平均值 0.83%（图 5 A）。等级 II 包括 QX4、QX17、QX60、QX62、QX35、QX27、QX31、QX61、QX37、QX50、QX9、QX51、QX13、QX2、QX22，其中，最大值 0.69%，最小值 0.56%，平均值 0.62%(图 5 B)。等级 III 包括 QX48、QX21、QX38、QX34、QX6、QX23、QX55、QX20、QX44、QX49、QX18、QX3、QX16、QX56、QX26，其中，最大值 0.53%，最小值 0.43%，平均值 0.49%(图 5 C)。等级 IV 包括 QX29、QX10、QX12、QX11、QX19、QX42、QX63、QX24、QX47、QX30、QX41、QX58、QX54、QX43、QX28、QX5、QX7、QX52，其中，最大值 0.42%，最小值 0.16%，平均平均值 0.31%（图 5 D）。

## 2.2 等级划分评价

等级 I、等级 II、等级 III、等级 IV 4 个等级依次设定分数为 100、80、60、40，然后依照品质综合评价方法对板栗各个品质指标赋予权重，单果鲜质量、含水量、可溶性糖均为 0.25，淀粉和可溶性蛋白均为 0.125<sup>[7,14]</sup>，等级评价法计算结果及前 20 名见表 2。

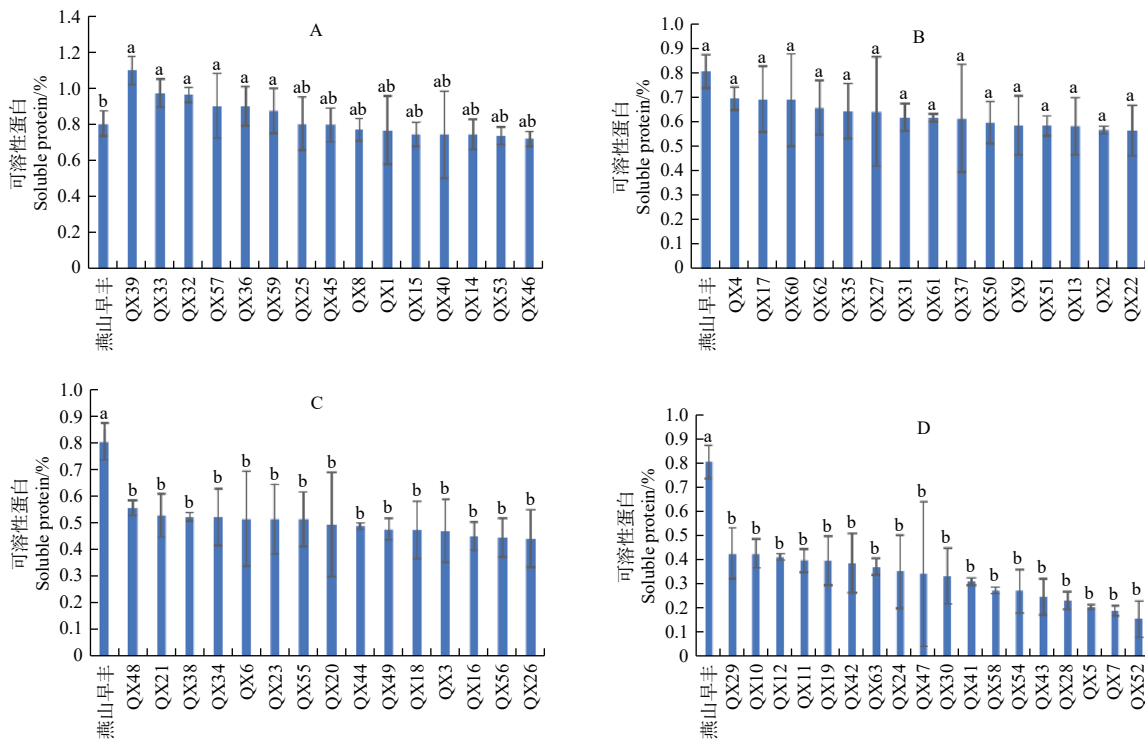


图5 板栗优良单株的种子可溶性蛋白含量

Fig. 5 Soluble protein content in seeds from the elite individual chestnut germplasm

表2 板栗种质品质的等级评价法排名

Table 2 Chestnut germplasms quality evaluation ranking by rank evaluation method

代号 Code	名次 Ranking	代号 Code	名次 Ranking	代号 Code	名次 Ranking	代号 Code	名次 Ranking
QX8	1	QX36	17	QX11	33	QX27	49
QX35	2	QX15	18	QX1	34	QX26	50
QX61	3	QX7	19	QX60	35	QX18	51
QX34	4	QX62	20	QX51	36	QX16	52
QX33	5	QX6	21	QX47	37	QX13	53
QX57	6	QX56	22	QX37	38	QX9	54
QX55	7	QX50	23	QX32	39	QX54	55
QX42	8	QX41	24	QX24	40	QX44	56
QX40	9	QX2	25	QX59	41	QX38	57
QX4	10	QX58	26	QX5	42	QX28	58
QX25	11	QX52	27	QX39	43	QX23	59
QX22	12	QX45	28	QX31	44	QX10	60
QX53	13	QX14	29	QX3	45	QX20	61
QX49	14	QX46	30	QX21	46	QX29	62
QX48	15	QX30	31	QX17	47	QX19	63
QX43	16	QX12	32	QX63	48		

2.3 主成分分析

2.3.1 相关性分析 板栗品质指标间的相关性分析

可以了解其内在联系, 为筛选优良品种提供依据。通过对淀粉、可溶性糖、含水量、单果鲜质量、可溶性蛋白进行相关性分析发现: 淀粉和可溶性糖呈负相关 ( $R=-0.446, P<0.01$ ), 单果鲜质量和含水量呈正相关 ( $R=0.292, P<0.05$ ), 淀粉和含水量呈正相关 ( $R=0.255, P<0.05$ ), 但相关程度都很弱 (表3)。

2.3.2 因子分析评价 通过主成分分析得到各个主成分的方差贡献率 (表4) 和主成分载荷矩阵 (表5)。从表4可以看出, 第1主成分方差贡献率为32.37%, 第2主成分方差贡献率为26.82%。前2个主成分方差贡献率累计为59.19%, 说明前2个主成分可代替评价板栗的品质质量, 能够反映原数据的大部分信息。

主成分载荷矩阵能够表示某个品质成分对主成分的影响大小和影响方向。第1主成分中, 载荷较高的质量指标为淀粉、可溶性糖和含水量, 载荷权重分别为0.808、-0.698、0.582, 能够说明第1主成分主要反映了淀粉、可溶性糖和含水量的信息, 而且淀粉和含水量产生正影响, 可溶性糖产生负影响。第2主成分中载荷较高的为单果鲜质量和可溶性蛋白, 分别为0.712和-0.668, 说明第2主成分

表3 单果鲜质量、含水量、淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between single seed fresh, water content, starch, soluble sugars, and soluble proteins

品质指标 Quality parameters	单果鲜质量 Single seed fresh	含水量 Water content	淀粉 Starch	可溶性糖 Soluble sugars	可溶性蛋白 Soluble proteins
单果鲜质量Single seed fresh	1	0.292*	0.078	-0.015	-0.196
含水量Water content	0.292*	1	0.255*	-0.081	-0.037
淀粉Starch	0.078	0.255*	1	-0.446**	0.094
可溶性糖Soluble sugars	-0.015	-0.081	-0.446**	1	-0.141
可溶性蛋白Soluble proteins	-0.196	-0.037	0.094	-0.141	1

注:相关性分析结果为主成分分析计算,\*显著水平为0.05,\*\*显著水平为0.01。

Notes: Correlation results for principal component analysis. \*Significance is 0.05, \*\* Significance is 0.01

表4 板栗品质指标主成分的方差贡献率

Table 4 Variance contribution rates of the principal components to the quality al index characteristics of Chinese chestnuts

主成分 Principal component	初始特征值Initial eigenvalue			提取平方和载入Extract square sum loading		
	特征值 Eigenvalues	方差贡献率 Variance contribution rate %	累积贡献率 Cumulative contribution rate %	特征值 Eigenvalues	方差贡献率 Variance contribution rate %	累积贡献率 Cumulative contribution rate %
1	1.619	32.37	32.37	1.619	32.372	32.372
2	1.341	26.82	59.19	1.341	26.817	59.189
3	0.846	16.93	76.12			
4	0.682	13.64	89.76			
5	0.512	10.24	100.00			

表5 板栗品质质量指标的主成分载荷矩阵

Table 5 Loading matrix of two principal components to the quality al quality characteristics of Chinese chestnuts

	主成分1Principal component	主成分2Principal component
单果鲜质量Single seed fresh	0.349	0.712
含水量Water content	0.582	0.452
淀粉Starch	0.808	-0.187
可溶性糖Soluble sugar	-0.698	0.385
可溶性蛋白Soluble protein	0.137	-0.668

主要反映了可溶性糖和含水量的信息,单果鲜质量产生正影响,可溶性蛋白产生负影响,而其他品质成分影响较小。根据主成分分析结果,综合各个主成分求出板栗种质资源因子评价排名(表6)。

## 2.4 综合品质评价

通过方法1等级划分法和方法2因子分析法的排名,分别赋予权重0.5,求出综合排名(表7)。前20名可做为优良种质的待选种质,按照名次分别为QX42、QX34、QX8、QX43、QX7、QX6、QX41、QX35、QX55、QX22、QX61、QX2、QX4、QX30、QX52、QX40、QX11、QX5、QX49、QX58。

表6 板栗种质品质的因子评价法排名

Table 6 Evaluation of Quality Evaluation of Chestnut Germplasm by Factor Evaluation Method

代号 Code	名次 Ranking	代号 Code	名次 Ranking	代号 Code	名次 Ranking	代号 Code	名次 Ranking
QX7	1	QX8	17	QX40	33	QX14	49
QX5	2	QX16	18	QX44	34	QX25	50
QX43	3	QX22	19	QX15	35	QX51	51
QX42	4	QX58	20	QX56	36	QX53	52
QX6	5	QX26	21	QX27	37	QX46	53
QX41	6	QX47	22	QX48	38	QX17	54
QX63	7	QX10	23	QX19	39	QX62	55
QX30	8	QX55	24	QX31	40	QX36	56
QX2	9	QX21	25	QX37	41	QX60	57
QX11	10	QX18	26	QX23	42	QX45	58
QX28	11	QX4	27	QX9	43	QX33	59
QX3	12	QX35	28	QX1	44	QX57	60
QX34	13	QX61	29	QX13	45	QX32	61
QX12	14	QX49	30	QX20	46	QX39	62
QX52	15	QX29	31	QX38	47	QX59	63
QX24	16	QX54	32	QX50	48		



表7 板栗种质品质评价的综合排名

Table 7 Comprehensive ranking of chestnut germplasm quality evaluation

代号 Code	名次 Ranking	代号 Code	名次 Ranking	代号 Code	名次 Ranking	代号 Code	名次 Ranking
QX42	1	QX11	17	QX28	33	QX54	49
QX34	2	QX5	18	QX16	34	QX51	50
QX8	3	QX49	19	QX50	35	QX44	51
QX43	4	QX58	20	QX26	36	QX60	52
QX7	5	QX12	21	QX21	37	QX29	53
QX6	6	QX48	22	QX36	38	QX9	54
QX41	7	QX15	23	QX62	39	QX13	55
QX35	8	QX63	24	QX18	40	QX32	56
QX55	9	QX24	25	QX14	41	QX23	57
QX22	10	QX3	26	QX1	42	QX17	58
QX61	11	QX56	27	QX37	43	QX19	59
QX2	12	QX47	28	QX46	44	QX59	60
QX4	13	QX25	29	QX10	45	QX38	61
QX30	14	QX33	30	QX31	46	QX39	62
QX52	15	QX53	31	QX45	47	QX20	63
QX40	16	QX57	32	QX27	48		

在品质评价前20名的板栗种质中(图6),8月下旬成熟的QX42,9月上旬成熟有QX8、QX43、QX6、QX41、QX55、QX22、QX61、QX2、QX4、QX30、QX52、QX11、QX5、QX58。9月中旬的有QX7、QX40、QX49。10月上旬成熟的有QX34、QX35。

### 3 讨论

#### 3.1 种质资源的各品质指标分析

板栗属于异花授粉植物,分布范围广泛,因

此,长期进化过程中形成了丰富的种质资源,有着丰富的遗传多样性,故选种潜力大<sup>[6,15-16]</sup>。本研究以燕山北部地区收集的优良单株和农家种板栗种质资源为材料,通过记录板栗树的相关生长状况,测定不同种质的相关品质成分等手段,对其进行综合的品质评价,为筛选优良的种质资源奠定基础。

单果鲜质量大小对于板栗的产量有着重要的影响,而含水量多少对板栗的贮藏有很大的影响<sup>[11]</sup>。通过对63个种质资源和燕山早丰的分析结果显示,单果鲜质量QX63的最大,为13.6g, QX59的最小,为6.5g,平均值8.7g。不同种质的单果鲜质量差异显著,可以根据等级筛选不同大小的种质,满足市场的多元化需求。等级I和II单果鲜质量的平均值都大于燕山早丰的平均值,等级III和IV的平均值小于燕山早丰。含水量QX61的最大,为50.7%, QX38的最小,为37.6%,平均值为42.9%;等级I、II、III含水量的平均值都高于燕山早丰,而等级IV小于燕山早丰。这表明不同种质间含水量差异较大,但其变化范围与路超等<sup>[9]</sup>对类似分布区的16份板栗种质研究结果类似。含水率与储藏的时间密切相关,因此,把含水率纳入品质评价中具有重要意义。可溶性糖含量能够直接影响板栗的甜度与口感风味,而且植物的抗逆性也与非结构碳水化合物如可溶性糖、淀粉密切相关<sup>[17]</sup>,因此,可溶性糖是板栗品质评价的一个重要指标<sup>[18]</sup>。63个种质可溶性糖QX6的最大,为17.1%, QX53的最小,为4.8%,平均值9.8%;等级I、II、III可溶性糖的平均值都高于燕山早丰,而等级IV小于燕山早丰。结果表明,不同种质间可溶性糖变化幅度较大,与阚黎娜等<sup>[8]</sup>、路超等<sup>[9]</sup>对类似分布区板栗种质可溶性糖含量(5.6%~7.6%)的研究结果

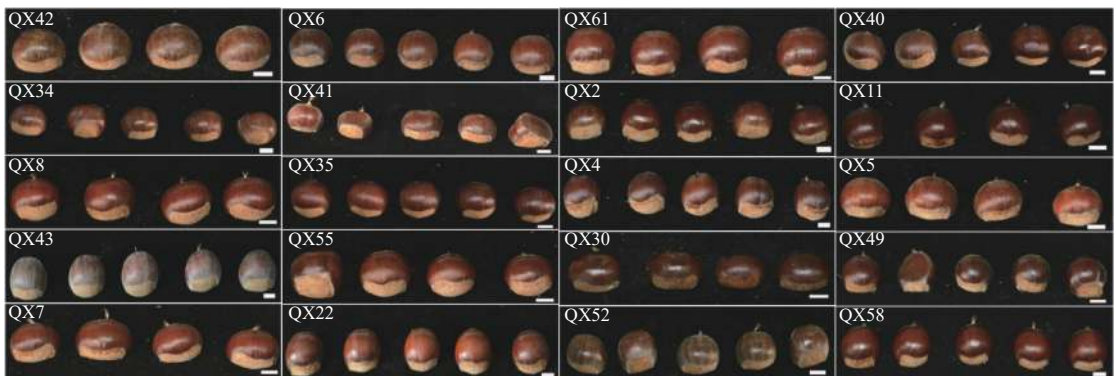


图6 综合品质评价前20名板栗种质资源

Fig. 6 The top 20 chestnut germplasm resources for comprehensive quality evaluation

差异较大。因此,本研究为筛选板栗采收后即含糖量较高的种质奠定了基础。淀粉是板栗食用品质的主要因素,而且影响后续板栗食品加工产品的口感和品质等<sup>[19]</sup>。63个种质淀粉含量 QX62 的最大,为 58.6%, QX5 的最小,为 17.4%,平均值为 34.3%;等级 I 的淀粉含量平均值大于燕山早丰,而等级 II、III、IV 都小于燕山早丰。然而,阚黎娜等<sup>[8]</sup>和张乐等<sup>[20]</sup>对燕山地区几种板栗栽培品种淀粉含量的测定结果为 22.9%~38.1%,也说明本研究中不同种质间淀粉差异显著。蛋白质为人体唯一氮源,其含量多少直接影响到板栗的乳化性、吸水性等<sup>[20]</sup>。因此,可溶性蛋白也可以作为板栗品质评价的重要指标。63个种质可溶性蛋白 QX39 的最大,为 1.1%, QX52 的最小,为 0.16%,平均值 0.56%;等级 I 的可溶性蛋白含量平均值大于燕山早丰,而等级 II、III、IV 都小于燕山早丰。

不同种质之间单果鲜质量、含水量、淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白含量存在显著差异,说明不同种质的板栗在各品质指标积累方面已发生分化现象,这些品质指标可作为筛选种质资源的指标。通过与已有品种燕山早丰的比较,含水量燕山早丰属于等级 IV,单果鲜质量属于等级 II,淀粉含量属于等级 I,可溶性糖含量属于等级 IV,蛋白含量属于等级 I,说明收集的种质资源的品质相对于燕山早丰较好,可以进行后续品质综合评价筛选优良种质。

### 3.2 种质资源品质评价

板栗是最有代表的木本粮食产业,随着板栗种植面积的扩大,板栗优良种质资源的收集和筛选具有重要意义<sup>[21]</sup>。品质评价是种质资源筛选的重要环节,而在板栗品质评价方面,诸多研究者采用等距分级评价法<sup>[22]</sup>、模糊数学法<sup>[7,23]</sup>等进行评价,这些方法各具优势,但同时片面性强,多个因素共同影响,导致了评价结果不确定性。本研究采用等级评分和因子分析相结合的方法<sup>[9,22,24]</sup>,其中,等级评分法是根据查阅相关文献和专家打分,赋予各个品质指标比例权重,计算各指标的等级分数求出综合排名;因子分析法是利用主成分分析进行降维,即把类似因子归类到一个具有代表性的公共因子中,减少了指标数量,然后通过公共因子成绩以及其方差贡献率比例计算综合成绩<sup>[24]</sup>,通过方差分析和相关性分析,既结合因子的单方面影响,又结合因子的相互影响<sup>[9]</sup>。2种方法的结果不一致,因为这

2种方法的侧重点不一样,等级评分法由专家打分确定产生,有人为因素在里面,各品质指标占比存在异议;而因子评分法通过降维的方法产生,板栗主要品质指标未被凸出,有一定的片面性。因此,结合2种方法,可以兼顾多种优势,减少单一方法的片面性,结果更有信服性,而且适合大样本种质资源的筛选。

优良的种质资源是通过大量种质资源筛选出来的,科学的品质评价方法对种质资源的筛选具有重要意义。根据等级评分法和因子分析法的排名分别赋予权重 0.5,求出综合排名。2种评价方法相结合,更具优势,可以完善板栗品质的综合评价体系。本研究中,综合品质评价前 20 名可作为优良种质资源备选种质,但仍需后续观测和示范,研究其抗逆性和产量的稳定性。

## 4 结论

在燕山北部山区收集的 63 个板栗种质之间单果鲜质量、含水量、淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白含量存在显著差异,这些品质指标可作为优良种质资源的品质评价指标。品质综合评价前 20 名依次为 QX42、QX34、QX8、QX43、QX7、QX6、QX41、QX35、QX55、QX22、QX61、QX2、QX4、QX30、QX52、QX40、QX11、QX5、QX49、QX58,其中, QX42 可以作为早熟种质,并且为最优种质, QX34 (第 2)、QX35 (第 8) 可作为晚熟种质。通过等级评分和因子分析相结合的方法对所收集的板栗种质资源进行品质评价,为板栗优良种质资源筛选提供了参考。

### 参考文献:

- [1] 李瑶瑶. 板栗红枣的营养价值及复合饮料的发展前景[J]. 中国果菜, 2014, 34(6): 44-47.
- [2] 耿建暖. 板栗加工中不同去皮工艺对褐变的影响比较研究[J]. 食品工业, 2013, 34(8): 54-56.
- [3] 黄武刚. 中国板栗生产的现状、问题与对策[J]. 中国林业, 2003, 53(7): 18-19.
- [4] 秦岭, 姜奕晨, 张卿, 等. 板栗良种引种及配套栽培技术[J]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [5] Brown A H D, Weir B S. Measuring genetic variability in plant populations[J]. *Developments in Plant Genetics and Breeding*, 1983, 1: 219-239.
- [6] 乔婧芬, 杜浩. 我国板栗生产存在的问题及可持续发展对策[J]. 现代农业科技, 2010, 38(23): 351-352.
- [7] 朱灿灿, 姬付勇, 耿国民. 不同板栗品种(单株)果实重要农艺性状的模糊综合评价[J]. 经济林研究, 2017, 35(4): 13-21.

- [8] 阙黎娜,李倩,谢爽爽,等.我国板栗种质资源分布及营养成分比较[J].食品工业科技,2016,37(20):396-400.
- [9] 路超,郭素娟.16份板栗种质资源主要营养品质分析与综合评价[J].食品工业科技,2016,37(23):358-362.
- [10] 王同坤,董超华,齐永顺,等.燕山板栗种质资源遗传多样性的RAPD分析[J].果树学报,2006,23(4):547-552.
- [11] 唐兆宏,刘霞,刘树庆,等.燕山板栗和太行山板栗品质差异的研究[J].中国农学通报,2010,26(19):103-107.
- [12] 翁霞,辛广,李云霞.萘酚比色法测定马铃薯淀粉总糖的条件研究[J].食品研究与开发,2013,33(17):86-88.
- [13] 张文德,李信荣,尹璐,等.GB/T 5009.5-2003,食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [14] 杨晴,齐永顺,张京政,等.燕山板栗营养品质的模糊综合评价[J].经济林研究,2008,26(1):62-66.
- [15] Labonte N R, Peng Z, Keith W. Signatures of selection in the genomes of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume): The Roots of Nut Tree Domestication[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 810.
- [16] Feiyang J, Wei W, Yang L, et al. Construction of a SNP-based high-density genetic map using genotyping by sequencing (GBS) and QTL analysis of nut traits in Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume)[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2018, 9: 816.
- [17] 邵艳军,山仑.植物耐旱机制研究进展[J].中国生态农业学报,2006,14(4):16-20.
- [18] Zhang L, Lin Q, Feng Y, et al. Transcriptomic identification and expression of starch and sucrose metabolism genes in the seeds of Chinese chestnut (*Castanea mollissima*)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(3): 929-942.
- [19] Xie F, Yu L, Su B, et al. Rheological properties of starches with different amylose/amylopectin ratios[J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 49(3): 371-377.
- [20] 张乐,王赵改,杨慧,等.不同板栗品种营养成分及风味物质分析[J].食品科学,2015,37(10):164-169.
- [21] 戴永务,刘伟平,洪燕真,等.世界主要木本粮食生产和贸易格局变动分析[J].林业经济问题,2012,32(4):295-300.
- [22] 刘艳,柳文祥,王金金,等.炒食板栗品种营养品质评价及糖组分分析[J].北京农学院学报,2013,28(2):21-24.
- [23] 周家华,常虹,熊融,等.不同板栗品种营养品质的模糊综合评价研究[J].食品工业,2013,34(1):113-116.
- [24] Swisher L L, Beckstead J W, Bebeau M J. Factor analysis as a tool for survey analysis using a professional role orientation inventory as an example[J]. *Physical Therapy*, 2004, 84(9): 788-799.

## Collection and Quality Evaluation of Elite Chestnut Germplasm Resources in Northern Yanshan Mountains

DU Chang-jian<sup>1</sup>, SUN Jia-cheng<sup>1</sup>, WU Yan-yan<sup>1</sup>, ZHANG Guo-qing<sup>3</sup>, FAN Qing-bo<sup>3</sup>, CHEN Wei-dong<sup>3</sup>, REN Fei<sup>2</sup>, YAN Dong-hui<sup>2</sup>, JIANG Ze-ping<sup>2</sup>, SHI Sheng-qing<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of National Forestry and Grassland Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Forestry Bureau of Qianxi County, Qianxi 064300, Hebei, China)

**Abstract:** [Objective] To select the elite germplasms with the method combining both grade and factor evaluating so as to provide references for the collection and breeding of elite chestnut germplasms. [Method] Sixty-three germplasms, including local varieties and elite individuals, were collected in Northern Yanshan Mountains and taking the chestnut cultivar ‘Yanshanzaofeng’ sample as the control. The ranking of quality assessments for different germplasms was determined by grade evaluating method and the factor evaluating method with the following physiological indexes: fresh weight, water content, starch, soluble sugars and soluble proteins, compared with those in ‘Yanshanzaofeng’. [Result] Among these germplasms, the average weight of single fresh seed was 8.7 g, while the maximum was 13.6 g and the minimum was 6.5 g. The average water content was 42.9%, while the maximum was 50.7% and the minimum was 37.6%. The average soluble sugar content was 9.8%, while the maximum was 17.1% and the minimum was 4.8%. The average starch content was 34.3%, while the maximum was 58.6% and the minimum was 17.4%. The average soluble protein content was 0.56%, while the maximum was 1.1% and the minimum was 0.16%. [Conclusion] There are significant differences in fresh seed weight, water content, starch, soluble sugars and soluble proteins among the seeds from different chestnut germplasms. These quality indexes could be used as indicators for the evaluation of the elite germplasms. The elite germplasms estimated through the combination of the graded scores and the factor analysis in this study will provide references for the collection and selection of the elite chestnut germplasms.

**Keywords:** *Castanea mollissima*; germplasm; quality evaluation; factor evaluation; grade evaluation