山东农业大学学报(自然科学版),2026,57(4):778-786 VOL.57 NO.4 2026
Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition) doi:10.3969/j.issn.1000-2324.2026.04.018

8个石榴品种果实品质分析和综合评价

梁 静[1,2],梁 燕[1],舒秀阁[1],杨 蕾[1,2],田泽新[1],罗 华[3],李体松[4],赵登超[1,2*]

1. 山东省林业科学研究院,山东 济南 250013
2. 石榴国家林业和草原局重点实验室,山东 枣庄 277300
3. 枣庄市石榴研究院,山东 枣庄 277300
4. 山东兴颐健康产业有限公司,山东 枣庄,277300

摘 要: 为进一步筛选适宜枣庄峄城栽培的优良石榴品种,丰富当地石榴品种结构,本研究采用‘大树移栽’的方式引进8个国内石榴优良品种,并运用主成分分析法对不同品种果实品质进行综合评价。结果表明,*b**值、果肉硬度、可滴定酸、可溶性糖、果籽硬度5个指标可作为8个石榴品种果实品质评价的核心评价指标。果实品质综合排序依次为‘峄城大红袍’‘新疆大籽’‘突尼斯软籽’‘紫美’‘六月红’‘陕西三白’‘净皮甜’‘甜绿籽’。‘峄城大红袍’‘突尼斯软籽’‘新疆大籽’果个大、籽粒大、果皮红色且光泽度强,可溶性糖含量较高,耐贮运,既可满足鲜果市场需求,也可用于鲜榨加工。‘紫美’口感酸甜,籽粒软,风味浓郁,可用于加工果汁等。

关键词: 石榴; 引种; 果实品质; 综合评价

中图法分类号: S665.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2324(2026)04-0778-09

Analysis and Comprehensive Evaluation of Fruit Quality of Eight Pomegranate Cultivars

LIANG Jing[1,2], LIANG Yan[1], SHU Xiu-ge[1], YANG Lei[1,2], TIAN Ze-xin[1], LUO Hua[3], LI Ti-song[4], ZHAO Deng-chao[1,2*]

1. *Shandong Academy of Forestry, Jinan 250014,China*
2. *Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Pomegranate, Zaozhuang 277300, China*
3. *Zaozhuang Pomegranate Research Institute, Zaozhuang 277300,China*
4. *Shandong Xingyi Health Industry Co., Ltd. , Zaozhuang 277300,China*

Abstract: To further screen superior pomegranate cultivars suitable for cultivation in Yicheng, Zaozhuang, and enrich the local pomegranate variety structure, this study introduces eight superior domestic pomegranate cultivars via large-tree transplanting and conducts a comprehensive evaluation of fruit quality among different cultivars using principal component analysis. The results show that five indices, namely *b value**, flesh firmness, titratable acid content, soluble sugar content, and seed hardness, can serve as the core evaluation indices for fruit quality assessment of the eight pomegranate cultivars. The comprehensive ranking of fruit quality is as follows: Yicheng Dahongpao > Xinjiang Dazi > Tunisian Soft Seed > Zimei > Liuyuehong > Shaanxi Sanbai > Jingpitian > Tianlvzi.(Same below) Yicheng Dahongpao, Tunisian Soft Seed, and Xinjiang Dazi feature large fruit and seeds, red and glossy peel, and high soluble sugar content, making them suitable for storage and transportation. These varieties can meet the demands of the fresh fruit market and are also suitable for fresh pressing and processing. Zimei has a sweet-sour taste, soft seeds, and a strong flavor, making it suitable for juice processing.

Keywords: Pomegranate; introduction; fruit quality; comprehensive evaluation

枣庄石榴已有两千多年的栽培历史,目前石榴产业已经形成了一二三产全产业链创新发展模式,石榴鲜果年产量达5万t,石榴相关产品畅销全国各地,成为枣庄市峄城区乡村产业振兴的重要产业[1,2]。目前山东省主要栽培石榴品种以硬籽石榴品种为主,包括传统地方品种‘大青皮甜’‘红皮甜’‘大马牙甜’和新品种‘秋艳’‘桔艳’‘鲁青1号’等[3]。我国石榴主产区主要集中在山东枣庄、河南荥阳、陕西临潼、云南蒙自、安徽淮北等地区[4],经过多年的栽培,石榴主产区均有各自独特的石榴品种资源,其中,‘突尼斯软籽’石榴凭借其优异性状(籽粒大、软籽等特性)在

收稿日期: 2026-03-17 **修回日期:** 2026-06-21

基金项目: 山东省重点研发计划(农业良种工程)(2024LZGC028);中央财政林业改革发展资金项目(鲁[2025]TG14号)

第1作者简介: 梁 静(1981-),女,硕士,高级工程师,研究方向:经济林良种选育与栽培工作。E-mail:lj3886377@163.com

***通讯作者:** Author for correspondence. E-mail:zdc-1@163.com

四川、云南被广泛推广并实现规模化种植。然而石榴品种大多具有区域属性,我国目前仅有一个国审良种[5],石榴优良品种的推广和应用受到严重限制,不能满足产业发展的需求。

枣庄石榴鲜果自然成熟期在中秋节后,秋季连续多雨易造成裂果,石榴鲜果市场竞争力不强等问题限制其产业发展。在其他地区石榴鲜果冲击下,品种单一和结构性过剩问题日益严重[1]。为了进一步推动山东石榴产业高质量发展,根据产业发展需求,采用‘大树移栽’引种栽培方式[6,7],从新疆、云南、四川等地引进当地主要栽培的‘新疆大籽’‘紫美’‘六月红’等优新品种[4,8,9],在设施内进行栽培。通过对果实品质进行分析和评价,筛选适宜栽培的品种,为实现优良品种跨区域栽培提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地点位于山东枣庄市峄城区石榴精品种植示范园,属暖温带季风性气候区。四季分明,季风明显,雨热同季。全区年平均日照为2 226.4 h,以4、5月份日照时数最多,月平均可达216.5 h。土壤由石灰岩母质发育而成,土壤种类为淋溶褐土,质地为壤土,厚度≥0.8 m,pH值在6.5至7.1之间,有机质≥1.6%[10,11]。

1.2　试验材料

分别从新疆、陕西、云南、河南、四川引种8~10年生、树体健壮、无明显病虫害的石榴丰产大树,采用带土球方法栽植于石榴精品种植示范园,采用环状沟施肥法施入高钾型(15-5-25)复合肥1 kg/株,常规不套袋管理,2024年秋季果实成熟期均实现坐果量50~70个/株,各品种分别选取树体挂果量均匀的3株作为试验株。每株树体在正南方向分别采集5个成熟果实用于指标的测定。

1.3　试验方法

1.3.1 *石榴果实外观品质测定*　果实称重并计算平均值作为单果质量;数显游标卡尺测定果实横径、纵径和果皮厚度。剥取石榴全部籽粒,随机选取百粒籽粒,百分之一天平称取质量,重复3次,取平均值为籽粒百粒质量;百粒籽粒取汁后剩余种子,百分之一天平称取质量,重复3次,取平均值为百粒种子质量。

1.3.2 *果皮色泽测定*　用手持色差仪(CS-10)分别对8个品种各5个果实三个侧面的L^*值(亮度)、a^*值(红绿色差)和b^*值(黄蓝色差)进行测定,取平均值进行分析[12]。

1.3.3 *石榴果实内在品质测定*　用质构仪测定石榴籽粒质地品质指标[13],包括石榴籽粒的果膜硬度、果肉硬度、果籽硬度等质构特性。计算出汁率,出汁率(%)=(百粒籽粒质量-百粒种子质量)/

表1 不同石榴品种果实原产地和果实特性

Table 1 Origin and fruit characteristics of different pomegranate cultivars

品种 Variety	原产地 Origin	树龄/年 Tree age	果实特性 Fruit characteristics
峄城大红袍 Yicheng Dahongpao	山东枣庄峄城	10	果实扁圆球形,果皮呈鲜红色,果面光亮;籽粒粉红色,透明,汁多味甜,核较硬。
新疆大籽 Xinjiang Dazi	新疆喀什叶城	9	果实圆球形,果皮鲜红色,果面光洁;籽粒鲜红色,汁多味甜。
净皮甜 Jingpitian	陕西西安临潼	9	果实圆球形,果皮薄,果面光洁,底色黄白,果面具粉红或红色着色;籽粒大,粉红色,充分成熟后深红色,风味甜,核较硬。
陕西三白 Shaanxi Sanbai	陕西西安临潼	9	果实圆球形,果皮较薄,充分成熟后黄白色;籽粒黄白或乳白色,味浓甜且有香味,核较软。
甜绿籽 Tianlvzi	云南红河蒙自	9	果实圆球形,果皮黄绿色,具红条纹彩霞,果锈较多;籽粒淡红色,风味甜,核小。
突尼斯软籽 Tunisian Soft Seed	河南郑州荥阳	9	果实近圆球形,果个大,微显棱肋。果皮近成熟时果皮由黄变红,果皮薄,光洁明亮,个别果有少量果锈。籽粒红色,风味甘甜,核仁软。
六月红 Liuyuehong	云南红河蒙自	8	果实近球形,果皮浓红,风味酸甜,核仁软。
紫美 Zimei	四川凉山会理	8	果实近球形,果皮深红色,果皮质地粗糙;籽粒紫红色,风味酸甜,核仁软。

百粒籽粒质量×100%；用数显糖度计（ATAGO PAL-3）测定可溶性固形物含量；可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定[14]；可滴定酸含量按 GB 12456-2021 测定[15]；糖酸比由可溶性糖与可滴定酸之比计算所得。

1.4 数据处理与分析

数据采用 Excel 2016 和 SPSS 23.0 软件进行统计和相关分析，相关绘图由 Origin2024.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同石榴品种果实外观品质指标对比分析

平均单果质量是衡量果实大小的重要指标，根据石榴分级标准可分为大果型、中果型和小果型[16]。如表 2 所示，8 个石榴品种的单果质量范围在 184.19~386.27 g 之间，其中‘突尼斯软籽’‘峄城大红袍’‘紫美’‘新疆大籽’平均单果质量在 300~400 g 之间，属大果型，‘六月红’‘甜绿籽’‘陕西三白’‘净皮甜’平均单果质量在 150~300 g 之间，属中果型。横径范围在 71.72~90.34 mm 之间，纵径范围在 66.13~78.05 mm 之间。果形指数是判定果实形状的最直观标准。‘甜绿籽’‘陕西三白’‘突尼斯软籽’‘净皮甜’‘紫美’果形指数在 0.90~1.00 之间，果实呈椭圆形，‘峄城大红袍’‘新疆大籽’‘六月红’果形指数在 0.80~0.90 之间，果实呈圆形或近圆形。根据石榴籽粒分级标准可分为大籽粒、中等籽粒和小籽粒[16]。‘突尼斯软籽’百粒质量最大，在 50 g 以上，属大籽粒；其次是‘甜绿籽’‘峄城大红袍’‘六月红’‘新疆大籽’，均在 30 g 以上，属中籽粒；‘净皮甜’‘陕西三白’‘紫美’籽粒不足 30 g，属小籽粒品种。在果皮厚度方面，‘峄城大红袍’‘六月红’‘新疆大籽’‘突尼斯软籽’果皮均大于 3 mm，更耐贮运，‘净皮甜’‘陕西三白’‘甜绿籽’果皮较薄，更适于产地加工或食用。

表 2 不同石榴品种果实外在品质指标对比

Table 2 Comparison of external fruit quality indicators in different pomegranate varieties

品种 Variety	单果质量/g Single fruit weight	横径/mm Transverse diameter	纵径/mm Longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	百粒质量/g 100-aril weight	果皮厚度/mm Peel thickness
峄城大红袍 Yicheng Dahongpao	351.10±50.51bc	89.10±2.25a	76.05±4.61b	0.86±0.03bc	40.43±4.08b	4.84±1.29a
新疆大籽 Xinjiang Dazi	341.25±50.90bc	89.36±6.41a	75.20±3.81bc	0.85±0.07c	39.41±2.95b	3.66±0.09abcd
净皮甜 Jingpitian	184.19±6.29d	71.72±0.26b	66.13±0.30d	0.92±0.01ab	28.53±1.43c	2.47±0.15de
陕西三白 Shaanxi Sanbai	201.21±17.25d	71.86±2.35b	66.85±1.85d	0.93±0.05a	28.98±1.33c	2.83±0.68cd
甜绿籽 Tianlvzi	233.88±30.65cd	74.33±3.54b	69.81±2.50cd	0.94±0.01a	43.32±3.77b	1.61±0.31e
突尼斯软籽 Tunisian Soft Seed	386.27±50.40a	90.34±3.52a	84.42±3.41a	0.93±0.03a	50.96±1.46a	3.16±0.63bcd
六月红 Liuyuehong	293.88±33.88bc	86.39±2.12a	72.94±3.14bc	0.84±0.02c	36.60±7.41b	3.99±0.75abc
紫美 Zimei	345.51±25.53bc	87.03±0.97a	78.05±2.29b	0.89±0.02abc	25.77±7.10c	4.08±0.39ab

注：不同小写字母表示品种间差异显著（$P<0.05$），下同。

Note：Different lowercase letters indicate significant differences among cultivars at $P<0.05$, the same below.

2.2 不同石榴品种果皮色泽指标对比分析

果皮色泽是反映石榴果实外观品质的重要指标。如图 1 所示，对 8 个石榴品种的果皮表面色度进行测定，L^*值、a^*值、b^*值均差异显著。L^*值反映果皮光泽度，‘甜绿籽’‘陕西三白’L^*值较高，分别为 78.04 和 76.91，二者无显著差异，其次是‘突尼斯软籽’‘净皮甜’‘新疆大籽’‘峄城大红袍’，再次为紫美，‘六月红’最低，为 35.63。

*a**值为正值反映红色着色度,*a**值越高,红色着色越深。‘紫美’*a**值最高,为49.59,其次是‘突尼斯软籽’,再次为‘峄城大红袍’、‘新疆大籽’、‘六月红’。*b**值也反映果皮颜色,*b**值正值越大,黄色越深。‘陕西三白’‘甜绿籽’*b**较高,分别为39.97和37.56,二者无显著差异,其次是‘净皮甜’和‘紫美’,再次为‘峄城大红袍’‘突尼斯软籽’‘新疆大籽’,‘六月红’最低,为14.19。

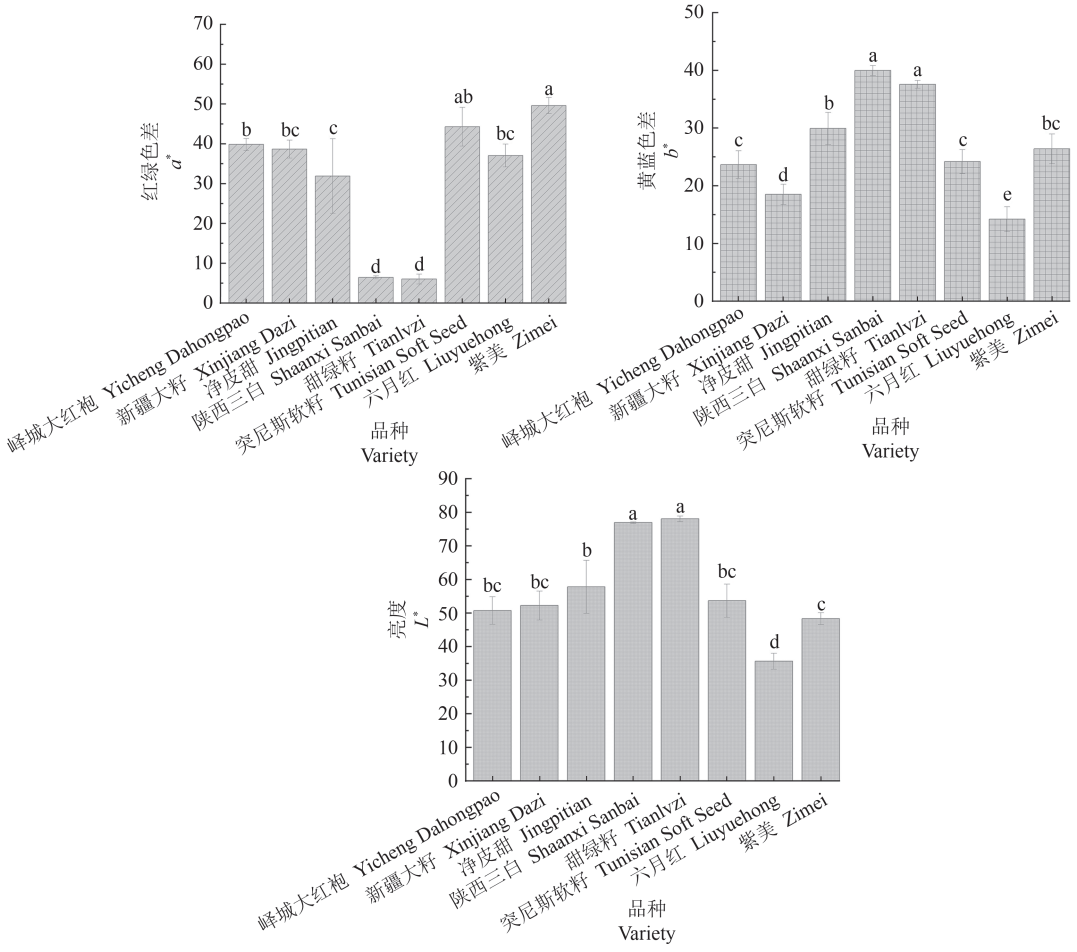


图1 不同石榴品种果皮色泽指标

Fig. 1 Peel color indexes of different pomegranate varieties

2.3　不同石榴品种果实内在品质指标对比分析

相比果实硬度计测定,利用质构仪测定果膜强度、果肉和果籽硬度,能更为客观准确地反映出石榴籽粒的质地特性[13,17]。由表3所示,8个石榴品种的果膜强度、果肉硬度、果籽硬度均差异显著。‘净皮甜’果膜强度最高,为228.97 g,‘突尼斯软籽’最低,为119.82 g,其他6个品种果膜强度范围在119.02~184.11 g之间。‘净皮甜’果肉硬度最高,为274.27 g,其显著高于其他品种。‘新疆大籽’的果籽硬度最高,为7 454.48 g;‘陕西三白’‘净皮甜’‘峄城大红袍’‘甜绿籽’果籽硬度范围在3 945.43~6 805.30 g之间;‘紫美’突尼斯软籽’‘六月红’果籽硬度不足2 000 g。出汁率是评价果实是否适宜鲜榨加工的重要指标之一,加工果汁对酸含量、糖酸比有一定的要求[18]。8个石榴品种的出汁率在76.82 %~85.91 %之间,且差异显著。果实可溶性固形物含量在14.80%~17.27%之间。可溶性糖含量在102.28~158.17 mg/g之间。果实可滴定酸含量在1.52~12.11 mg/g之间,‘紫美’最高,其显著高于其他品种。8个石榴品种的糖酸比在10.06~89.77之间,其中‘突尼斯软籽’糖酸比最高,口感最甜;其次是‘陕西三白’,‘紫美’糖酸比最低,口感最酸。

2.4　不同石榴品种果实指标间相关性分析

由表4可知,采用Pearson相关系数对8个石

表3 不同石榴品种果实内在品质指标对比

Table 3 Comparison of internal fruit quality indicators of different pomegranate varieties

品种 Variety	果膜强度/g Aril membrane strength	果肉硬度/g Flesh firmness	果籽硬度 /g Seed hardness	出汁率/% Juice yield	可溶性固形物/% Soluble solids content	可溶性糖/（mg/g） Soluble sugars	可滴定酸/（mg/g） Titratable acid	糖酸比 Sugar-acid ratio
峄城大红袍 Yicheng Dahongpao	158.04±47.93bc	81.57±18.10c	6 447.04±381.40b	81.39±0.49b	16.77±0.25ab	132.15±6.35c	3.05±0.21cd	43.50±2.27c
新疆大籽 Xinjiang Dazi	184.11±48.29ab	112.74±52.44bc	7 454.48±805.88a	81.94±1.80b	16.23±0.86b	139.98±2.45b	3.46±0.30bc	40.63±3.93c
净皮甜 Jingpitian	228.97±51.08a	274.27±24.84a	4 977.60±426.53c	77.72±0.90c	16.73±0.06ab	138.35±0.81bc	3.69±0.33b	37.71±3.81c
陕西三白 Shaanxi Sanbai	181.22±6.06abc	166.76±61.23b	3 945.43±193.07d	76.82±1.39c	16.83±0.21ab	158.17±6.09a	2.19±0.39f	74.23±15.97b
甜绿籽 Tianlvzi	120.45±6.12c	88.34±11.78c	6 805.30±119.05b	85.91±1.09a	15.83±0.15b	116.71±3.05d	2.67±0.18de	43.90±4.12c
突尼斯软籽 Tunisian Soft Seed	119.82±7.81c	84.28±16.95c	1 516.66±125.30e	84.14±0.98ab	15.93±0.35b	135.31±5.02bc	1.52±0.16g	89.77±9.71a
六月红 Liuyuehong	134.51±33.60bc	172.71±6.69b	1 302.01±58.76e	83.84±2.24ab	14.80±0.20c	102.28±4.12e	2.40±0.13ef	42.66±2.51c
紫美 Zimei	119.02±10.21c	95.88±29.03c	1 902.53±250.31e	77.63±4.37c	17.27±0.47a	121.79±1.15d	12.11±0.10a	10.06±0.06d

榴品种的17项品质指标进行相关性分析，结果表明，不同石榴品种的品质指标间存在一定的相关性，单果质量与横径、纵径、a^*值呈极显著正相关（$P<0.01$），与L^*值、b^*值、果肉硬度呈极显著负相关（$P<0.01$），表明单果质量的改变影响果皮色泽和果实质地。果型指数与果皮厚度呈极显著负相关（$P<0.01$），表明果型指数对果皮厚度有显著影响。百粒质量与出汁率呈极显著正相关（$P<0.01$），与可滴定酸呈极显著负相关（$P<0.01$），与可溶性固形物、果肉硬度呈显著负相关（$P<0.05$），表明百粒质量越大，果实出汁率越高、酸度越低，但可溶性固形物含量与果肉硬度有所下降。果皮厚度与a^*值呈极显著正相关（$P<0.01$），与L^*值、b^*值极显著负相关，表明果皮厚度变化可影响果皮色泽。出汁率与可溶性固形物呈极显著负相关（$P<0.01$），与可溶性糖、可滴定酸呈显著负相关（$P<0.05$），表明果实出汁率越高，可溶性固形物、可溶性糖及可滴定酸含量越低。

表4 不同石榴果实主要品质指标相关系数

Table 4 Correlation coefficients of main fruit quality indicators of different pomegranate fruits

指标 Index	单果质量 Single fruit weight	横径 Transverse diameter	纵径 Longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	百粒质量 100-aril weight	果皮厚度 Peel thickness	亮度 L^*	红绿色差 a^*	黄蓝色差 b^*	果膜强度 Aril membrane strength	果肉硬度 Flesh firmness	果籽硬度 Seed hardness	出汁率 Juice yield	可溶性固形物 Soluble solids content	可溶性糖 Soluble sugar	可滴定酸 Titratable acid	糖酸比 Sugar-acid ratio
单果质量 Single fruit weight	1																
横径 Transverse diameter	0.942**	1															
纵径 Longitudinal diameter	0.934**	0.817**	1														
果形指数 Fruit shape index	−0.297	−0.571**	0.002	1													

续表

指标 Index	单果质量 Single fruit weight	横径 Transverse diameter	纵径 Longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	百粒质量 100-aril weight	果皮厚度 Peel thickness	亮度 L^*	红绿色差 a^*	黄蓝色差 b^*	果膜强度 Aril membrane strength	果肉硬度 Flesh firmness	果籽硬度 Seed hardness	出汁率 Juice yield	可溶性固形物 Soluble solids content	可溶性糖 Soluble sugar	可滴定酸 Titratable acid	糖酸比 Sugar-acid ratio
百粒质量 100-aril weight	0.457*	0.417*	0.493*	0.002	1												
果皮厚度 Peel thickness	0.469*	0.624**	0.328	−0.632**	−0.050	1											
亮度 L^*	−0.544**	−0.680**	−0.482*	0.516**	0	−0.642**	1										
红绿色差 a^*	0.691**	0.752**	0.653**	−0.397	0.032	0.620**	−0.855**	1									
黄蓝色差 b^*	−0.601**	−0.744**	−0.495*	0.595**	−0.232	−0.622**	0.908**	−0.760**	1								
果膜强度 Aril membrane strength	−0.421*	−0.303	−0.501*	−0.152	−0.249	0.029	0.064	−0.076	0.086	1							
果肉硬度 Flesh firmness	−0.565**	−0.472*	−0.554**	0.026	−0.431*	−0.18	−0.025	−0.136	0.066	0.681**	1						
果籽硬度 Seed hardness	−0.223	−0.225	−0.36	−0.064	0.100	−0.165	0.432*	−0.364	0.227	0.339	−0.092	1					
出汁率 Juice yield	0.336	0.338	0.354	−0.065	0.692**	−0.143	−0.091	−0.047	−0.269	−0.400	−0.441*	0.083	1				
可溶性固形物 Soluble solids content	−0.093	−0.212	−0.071	0.260	−0.405*	0.050	0.286	0.048	0.388	0.168	−0.064	0.220	−0.651**	1			
可溶性糖 Soluble sugar	−0.212	−0.277	−0.179	0.246	−0.131	−0.151	0.486*	−0.256	0.470*	0.462*	0.136	0.282	−0.485*	0.592**	1		
可滴定酸 Titratable acid	0.211	0.173	0.176	−0.076	−0.536**	0.254	−0.235	0.430*	−0.039	−0.189	−0.120	−0.241	−0.422*	0.500*	−0.193	1	
糖酸比 Sugar-acid ratio	−0.032	−0.069	0.122	0.289	0.501*	−0.203	0.301	−0.281	0.211	0	−0.105	−0.155	0.218	−0.211	0.459*	−0.741**	1

注:*和**分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平上显著相关。

Note: * and ** indicate significant correlations at $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively.

由表5可知,对8个石榴品种的17项品质指标进行主成分分析,根据特征值>1的原则,共提取5个主成分,其贡献率分别为28.974%、19.749%、15.646%、14.444%和9.472%,累积贡献率达88.284%。第1主成分主要综合了*b**值、*L**值、*a**值、横径、果皮厚度的信息,反映了果实的外观品质特征。*b**值与*L**值呈极显著正相关,与*a**值、横径、果皮厚度呈极显著负相关,因此,将*b**值作为第1主成分的代表指标。第2主成分主要综合了果肉硬度的信息,反映了果实质地品质特征。第3主成分主要综合了糖酸比和可滴定酸的信息,是反映果实酸度的指标。糖酸比与可滴定酸呈极显著负相关,因此,将糖酸比作为第3主成分代表指标。第4主成分主要综合了可溶性糖和可溶性固形物的信息,是反映果实甜度的指标。可溶性糖与可溶性固形物呈极显著正相关,因此,将可溶性糖作为第4主成分的代表指标。第5主成分主要综合了果籽硬度,反映了果籽的质地口感。综上所述,选取*b**值、果肉硬度、糖酸比、可溶性糖、果籽硬度5个指标作为不同石榴品种果实品质评价的核心指标。

由表6所示,根据5个主成分的载荷矩阵计算出每个主成分的得分,再以每个主成分的贡献率为权重对主成分得分进行加和,求得主成分综合得分Y。综合得分反映各品种品质的优劣。对Y值进行降序排列,依次为'峄城大红袍''新疆大籽''突尼斯软籽''紫美''六月红''陕西三白''净皮甜''甜绿籽'。

表5 主要经济性状相关矩阵的规格化特征向量
Table 5 Normalized eigenvectors of the correlation matrix for main economic traits

性状 Trait	主成分 Principal components				
	1	2	3	4	5
单果质量 Single fruit weight	0.646	0.7	0.082	0.016	−0.118
横径 Transverse diameter	0.816	0.524	0.089	−0.083	−0.035
纵径 Longitudinal diameter	0.480	0.75	0.158	0.049	−0.346
果形指数 Fruit shape index	−0.738	0.161	0.093	0.218	−0.380
百粒质量 100-aril weight	0.109	0.507	0.690	−0.254	0.145
果皮厚度 Peel thickness	0.815	0.042	-0.147	0.123	0.047
亮度 L^*	−0.859	0.015	0.140	0.263	0.317
红绿色差 a^*	0.838	0.206	−0.194	0.083	−0.300
黄蓝色差 b^*	−0.874	−0.063	−0.037	0.340	0.093
果膜强度 Aril membrane strength	0.142	−0.766	0.164	0.345	0.286
果肉硬度 Flesh firmness	−0.039	−0.902	−0.005	0.012	−0.199
果籽硬度 Seed hardness	−0.177	−0.031	0.038	0.125	0.919
出汁率 Juice yield	0.012	0.466	0.410	−0.679	0.175
可溶性固形物 Soluble solids content	−0.140	0.086	−0.411	0.842	0.106
可溶性糖 Soluble sugar	−0.202	−0.166	0.333	0.862	0.140
可滴定酸 Titratable acid	0.166	0.198	−0.885	0.217	−0.188
糖酸比 Sugar-acid ratio	−0.212	0.074	0.892	0.183	−0.212
特征值 Eigenvalues	4.926	3.357	2.660	2.456	1.610
贡献率/% Variance contribution rate	28.974	19.749	15.646	14.444	9.472
累计贡献率/% Cumulative contribution rate	28.974	48.723	64.369	78.813	88.284

表6 不同石榴品种果实主成分得分及综合得分
Table 6 Principal component scores and comprehensive scores of fruits of different pomegranate varieties

品种 Variety	F1	F2	F3	F4	F5	Y	排名 Rank
峄城大红袍 Yicheng Dahongpao	0.891	0.487	0.076	0.470	1.083	0.537	1
新疆大籽 Xinjiang Dazi	0.928	0.090	0.258	0.250	1.325	0.489	2
净皮甜 Jingpitian	0.221	1.151	1.570	0.285	−1.306	0.455	3
陕西三白 Shaanxi Sanbai	0.350	0.754	−2.109	0.547	−0.811	−0.077	4
甜绿籽 Tianlvzi	0.820	−0.730	0.065	−1.894	−0.786	−0.244	5
突尼斯软籽 Tunisian Soft Seed	−1.150	−0.746	0.486	1.198	−0.222	−0.252	6
六月红 Liuyuehong	−0.316	−1.723	−0.233	0.364	−0.227	−0.437	7
紫美 Zimei	−1.745	0.717	-0.113	−1.220	0.943	−0.468	8

3 讨论与结论

单果质量是衡量果实商品价值的重要因素，一定范围内单果质量越大，商品性越高[19]。本研究中，‘突尼斯软籽’‘峄城大红袍’‘新疆大籽’均为大果型，这与唐海霞等[20]、李明桂等[21]、张磊[22]等研究结果一致。但‘紫美’虽为大果型，在枣庄峄城仅有 345 g，单果质量低于其原产地[9]。籽粒大小和硬度是反映果实品质的重要指标，直接影响着口感和可食率。相关研究表明[3,8,20-22]，‘突尼斯软籽’为大籽粒，‘峄城大红袍’‘六月红’‘新疆大籽’为中等籽粒；‘新疆大籽’‘峄城大红袍’‘净皮甜’为硬籽，‘陕西三白’为半软籽，‘紫美’‘突尼斯软籽’‘六月红’为软籽，这与本研究结果一致。但‘甜绿籽’在蒙自地区为大籽粒、软籽[23]，在枣庄为中籽粒、硬籽，‘甜绿籽’籽粒变小、变硬，这可能与遗传、环境、土壤等条件改变有关[24-27]，尚需进一步研究。果皮厚度是衡量果实耐运特征的重要指标之一，一般情况下，果皮越厚果实越耐贮耐运，可以跨区运输，而果皮较

薄的果实基本适于产地加工或食用。本研究表明,‘峄城大红袍’‘突尼斯软籽’‘新疆大籽’‘六月红’‘紫美’果皮较厚,耐贮运。可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸及糖酸比是影响石榴果实风味的主要因素,鲜食一般选择可溶性糖含量高、可滴定酸含量低的品种,加工产品则需要果实有适宜的酸度[19,28-30]。本研究中,8个石榴品种的可溶性固形物均在在14%以上,‘陕西三白’‘新疆大籽’‘净皮甜’‘突尼斯软籽’‘峄城大红袍’可溶性糖含量高,更适合鲜食,也可加工,‘紫美’可滴定酸含量最高,糖酸比最低,风味浓郁,更适宜加工。

近年来,主成分分析在石榴果实品质研究中广泛应用。刘雪梅等[31]利用主成分分析法对山东主栽甜石榴品种果实品质进行评价,由高到低排序依次为‘鲁青1号’‘小红皮’‘秋艳’‘谢花’‘超红’‘泰山红’‘大青皮’‘三白’‘白花玉石籽’。杨磊等[22]对5个新疆石榴果实品质进行主成分分析,得出排序依次为‘叶城大籽甜’‘叶城甜石榴’‘皮亚曼石榴’‘叶城酸石榴’‘喀什甜石榴’‘喀什酸石榴’。张欢等[32]采用主成分分析法对河南、陕西和安徽的3个主栽石榴品种的10个品质指标进行分析,最终将单果重、果皮厚度、可溶性固形物、蛋白质和有机酸含量作为石榴果实品质评价的核心指标。本研究利用主成分分析法从8个石榴品种的17个品质指标中提取了5个主成分,反映所有品质指标88.284 %的信息,选取*b**值、果肉硬度、可滴定酸、可溶性糖、果籽硬度5个指标作为不同石榴品种果实品质评价的核心指标。经综合排序依次为‘峄城大红袍’‘新疆大籽’‘突尼斯软籽’‘紫美’‘六月红’‘陕西三白’‘净皮甜’‘甜绿籽’。

综上所述,本研究的8个品种中,‘峄城大红袍’‘突尼斯软籽’‘新疆大籽’果个大、籽粒大、果皮红色且光泽度强,可溶性糖含量较高,耐贮运,既可满足鲜果市场需求,也可用于鲜榨加工。‘紫美’口感酸甜,籽粒软,风味浓郁,可用于加工果汁等。

参考文献

[1] 李 严,李正军,刘 群,等. 枣庄市石榴产业现状及发展建议[J]. 农业工程,2025,15(06):157-160.

[2] 李双孝,张子祺,崔钊达. 山东枣庄峄城石榴产业发展现状、问题及对策[J]. 中国果树,2025(07):131-137.

[3] 谭旦丹,郝 丽,马 超,等. 我国石榴主要品种及育种方向[J]. 中国果菜,2025,45(04):80-84.

[4] 罗 华,毕润霞,赵登超,等. 我国石榴产业发展现状与对策[J]. 黑龙江农业科学,2025(06):92-98.

[5] 陈 颖,魏士省,褚 莉,等. 山东枣庄峄城区石榴产业发展优势、存在的问题和建议[J]. 果树实用技术与信息,2023(01):33-36.

[6] 殷晓芳. 石榴大树移栽及栽后养护技术探讨[J]. 种子科技,2021(06):49-50.

[7] 毕润霞,郝兆祥,马 敏,等. 石榴大树移栽及栽后养护技术[J]. 果树实用技术与信息,2018(10):16-17.

[8] 刘文江. 新疆石榴(Punica L.)资源及其开发利用[J]. 干旱区研究,2007,24(02):219-222.

[9] 黄 云,刘 斌,李贵利,等. 石榴新品种—'紫美'的选育[C]. 中国园艺学会石榴分会,中国农产品市场协会,中国农业国际合作促进会,中国经济林协会. 中国石榴研究进展(四). 攀枝花市农林科学研究院, 四川省农业科学院园艺研究所,凉山彝族自治州亚热带作物研究所,2022:4-6.

[10] 李 健. 当代中国休闲观光农业发展模式研究——以枣庄冠世榴园为例[D]. 济南:山东大学,2011.

[11] 李全景,安广池,张 越,等. 枣庄市石榴的气候品质等级评价[J]. 浙江农业科学,2022,63(08):1883-1886.

[12] 王璐伟,陈利娜,李好先,等. 不同类型果袋对天使红石榴果实品质的影响[J]. 果树学报,2024,41(01):113-121.

[13] 赵登超,贾 明,唐贵敏,等. 质构穿刺检测石榴籽粒质地品质[J]. 热带作物学报,2016,37(07):1419-1423.

[14] 赵世杰,史国安,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002:84-85.

[15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准食品中总酸的测定:GB 12456—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.

[16] 赵登超,孙 蕾,王小芳,等. 枣庄石榴种质资源果实经济性状分析与评价[J]. 经济林研究,2013,31(04):148-151.

[17] 唐贵敏,孙 蕾,梁 静,等. 不同类型石榴品种果实品质分析与质构特性评价[J]. 北方园艺,2018(16):85-89.

[18] 梁 静,舒秀阁,唐贵敏,等. 不同石榴品种在河南的生长势观测及果实品质分析[J]. 生物灾害科学,2022,45(04):80-484.

[19] 郭小兰,郑晓莉,胡进彬,等. 惠州市5个蓝莓品种果实品质综合评价[J]. 安徽农学通报,2025,31(12):1-6.

[20] 唐海霞,王传增,冯立娟,等. 11个软籽石榴品种在山

东地区的引种试验初报[J]. 分子植物育种,2026,24(01):147-153.
[21] 李明桂,王庆军,朱 薇. 适合枣庄地区栽植的几个优良石榴品种[J]. 果农之友,2022(10):6-7.
[22] 杨 磊,靳 娟,樊丁宇,等. 新疆石榴果实品质主成分分析[J]. 新疆农业科学,2018,55(02):262-268.
[23] 李松开,李 戈,贾晓辉,等. 蒙自甜绿籽与软籽石榴品质比较分析[J]. 云南农业,2025,39(01):85-88.
[24] 刘思佳,李雪旎,李思思,等. 不同栽培环境对灵武长枣果实大小与品质的影响[J]. 北方园艺,2025(21):42-50.
[25] 薛 辉,曹尚银,刘贝贝,等. 不同土壤类型及肥料对突尼斯软籽石榴种子硬度的影响[J]. 江西农业学报,2017,29(01):43-46.
[26] 颜少宾,周 平,郭 瑞,等. 避雨栽培对桃果实品质的影响[J]. 核农学报,2025,39(12):2746-2756.
[27] 秦改花,黎积誉,刘春燕,等. 石榴籽粒硬度研究进展[J]. 果树学报,2021,38(05):806-816.
[28] 郑丽静,聂继云,闫 震. 糖酸组分及其对果实风味的影响研究进展[J]. 果树学报,2015,32(02):303-312.
[29] Fattahi J, Hamidoghli Y, Fotouhi R, et al. Assessment of fruit quality and antioxidant activity of three citrus species[J]. South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment,2011,2(2):113-128.
[30] 何大柃,马建成,崔鸿荣,等. 十个桃品种营养品质评价及加工适应性研究[J]. 保鲜与加工, [2025-12-24].
[31] 刘雪梅,赵 飞,潘少香,等. 山东主栽甜石榴品种果实品质特征分析及评价[J]. 中国果菜,2023,43(11):31-37+44.
[32] 张 欢,慕新浩,李 珂,等. 不同石榴品种果实品质的主成分分析[J]. 南阳师范学院学报,2020,19(06):33-39.