

西藏野生石榴果实重要性状与综合评价

樊瑶羽¹, 仁增朗加², 董建梅¹, 任媛¹, 葛大朋¹, 招雪晴¹, 苑兆和^{1*}

(1. 南京林业大学, 南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学林学院, 江苏 南京, 210037;

2. 西藏自治区林木科学研究院, 西藏 拉萨 850000)

摘要:【目的】对西藏干热河谷地区采集的21个野生石榴单株果实样本, 进行综合分析与评价, 为野生石榴种质资源的保存表型数据库提供资料, 也为选育优良石榴品种提供科学依据。【方法】采用游标卡尺、电子天平、质构仪和蒽酮比色法等测定21个石榴样本的果实外观和内在品质, 并进行相关性分析; 采用“合理-满意度”和多维价值理论合并规则的综合评价方法, 将单果质量、果形指数、果皮厚度、籽粒硬度、百粒质量、出籽率、可溶性糖、可溶性固形物、可滴定酸、维生素C含量、糖酸比和固酸比等12个指标进行对比分析和综合评价。【结果】格布5号果型指数最大; 军拥1号单果质量最小, 果皮最薄, 百粒质量最小, 糖酸比最低; 则拉1号的果皮厚度最大; 昌西1号百粒质量最大; 叶巴1号出籽率最大; 古拉3号出籽率最低; 古拉1号可溶性固形物和可溶性糖含量最高; 昌西3号维生素C含量最高; 珠拉1号糖酸比和固酸比最大。部分指标存在显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关或负相关; 合成“合理-满意度”最高的为珠拉1号。【结论】21个野生石榴样本间的果实品质差异明显, 野生石榴大多具有果小、硬籽、较酸的特点, 且样本间的果实品质差异明显, 从表型层面展现了野生石榴资源丰富的遗传变异性。从最终合成的“合理-满意度”来看, 珠拉1号的整体果实内外品质性状最佳, 可进行引种、选育。

关键词: 石榴; 果实品质; 相关性分析; 多维价值理论; 西藏

中图分类号: S665.4

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1000-2006(2023)04-0073-08



Comprehensive evaluation on important traits of wild pomegranate fruits from Tibet

FAN Yaoyuwei¹, Renzeng Langjia², DONG Jianmei¹, REN Yuan¹,
GE Dapeng¹, ZHAO Xueqing¹, YUAN Zhaohe^{1*}

(1. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Nanjing Forestry University, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. Forest science research institute of tibet, Lhasa 850000, China)

Abstract: 【Objective】The fruit samples of 21 wild pomegranate plants collected in the dry-hot valley area of Tibet were comprehensively analyzed and evaluated to provide information for phenotypic database of wild pomegranate germplasms and provide scientific basis for breeding excellent pomegranate varieties. 【Method】The fruit external and internal qualities of 21 pomegranate samples were determined by vernier caliper, electronic balance, texture analyzer and anthrone colorimetry, and the correlation analysis was carried out. Based on the comprehensive evaluation methods including ‘reasonable satisfaction’ and multidimensional value theory, 12 indexes, such as single fruit weight, fruit shape index, peel thickness, seed hardness, 100-aril weight, seed yield, soluble sugar content, soluble solids content, titratable acid content, vitamin C content, sugar-acid ratio and solid-acid ratio were selected to analyze and evaluate comprehensively. 【Result】The fruit shape index of Gebu 5 was the largest. Junyong 1 had the smallest single fruit weight, the thinnest peel, the smallest 100-aril weight, and the lowest sugar-acid ratio. The peel thickness of Zela 1 was the largest; Changxi 1 had the largest 100-aril weight; the seed yield of Yeba 1 was the highest while Gula 3 the lowest. The content of soluble solids and soluble sugar in Gula 1 was the highest. Changxi 3 had the highest vitamin C content;

收稿日期 Received: 2022-03-17

修回日期 Accepted: 2023-03-29

基金项目: 西藏自然科学基金项目(XZ2019ZRG-153)。

第一作者: 樊瑶羽(fyyw@njfu.edu.cn)。* 通信作者: 苑兆和(zhyuan88@hotmail.com), 教授。

引文格式: 樊瑶羽, 仁增朗加, 董建梅, 等. 西藏野生石榴果实重要性状与综合评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(4): 73-80. FAN Y Y W, Renzeng Langjia, DONG J M, et al. Comprehensive evaluation on important traits of wild pomegranate fruits from Tibet[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(4): 73-80. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202203035.

sugar-acid ratio and solid-acid ratio of Zhula 1 were the largest. Correlations between some indexes were significant ($P < 0.05$) or extremely significant ($P < 0.01$) positive or negative. The highest synthetic ‘reasonable satisfaction’ was Zhula 1. 【Conclusion】The fruit qualities of 21 wild pomegranate samples were significantly different. Most of wild pomegranates were characterized by small fruit, hard seed and high content of acids, indicating a rich genetic variability of wild pomegranate resources at the phenotypic level. According to the results of final synthetic ‘reasonable-satisfaction’, the overall fruit external and internal quality traits of Zhula 1 are optimal, which can be used as resources for introduction and selective breeding.

Keywords: *Punica granatum* (pomegranate); fruit quality; correlation analysis; multidimensional value theory; Tibet

干热河谷属于局部的干旱生境,其在世界统一划分的三大类干旱地区中,既不属于大陆中心荒漠,也不属于副热带稀树草原^[1]。干热河谷具有干湿季节分明,气候炎热干燥,气温年较差较小,气候垂直变化大,热量资源丰富等特点^[2]。在 1992 年,张荣祖等^[3]提出了有关干热河谷气候的相关参数指标为最冷月平均气温高于 12 ℃,最暖月平均气温 24~28 ℃,日均温不低于 10 ℃,年均积温大于 7 000 ℃;全年无霜日持续时间大于 350,年均降雨量 600 ~ 800 mm,年均蒸发量 2 750~3 850 mm,年均干燥度 2.0 以上。

石榴(*Punica granatum*),又名安石榴、树榴、丹若、山力叶等^[4],属千屈菜科(Lythraceae)石榴属,大部分为 3~5 m 高灌木,少数为小乔木,高可达 8 m,是集观赏、食用和药用为一体的经济树种^[5-6]。中国、伊朗、土耳其、印度以及美国合称为世界五大石榴主产国,产量达世界总产量的 76%^[7]。当前,石榴研究区域主要集中于地理起源和分布、形态学和生理学、代谢产物以及其药理作用和临床应用等方面^[8-9]。全世界石榴栽培品种约为 500 种,均来源于野生石榴的长期驯化。因此,开展野生石榴的果实品质研究,可为后续石榴的选育提供依据,也利于野生石榴资源的保存。关于中国石榴野生种质资源的文献记录极少。段盛煌等^[10]发现海拔 1 700~3 000 m 的三江流域存在大量野生石榴群,其中大部分为酸石榴,占 99%。李乡旺等^[11]发现在三江流域地区分布有大片野生石榴林。

灰色关联度、主成分与层次分析法以及“合理-满意度”和多维价值理论是常用的评价果实综合品质的方法,即根据多个评价指标来反映果实品质的整体特性^[12]。孙颖等^[13]研究发现采用灰色关联度分析法,对野漆树(*Toxicodendron succedanea*)的果实品质进行评价分析,为野漆树优株的选育提供依据。Nafees 等^[14]研究发现利用相关性、主成分和聚类分析相结合的方法,对野生石榴的生物化学成分进行测定和分析,可筛选出品质优良的石榴品种,为其选育提供科学依据。采用“合理-满意度”和多维价值理论的综合评价方法对果实品质进行综合评价,可较全面地评价品种品质的优劣^[15]。而西藏野生石榴资源亟待进一步研究利用。笔者以西藏干热河谷区内成熟野生石榴果实为试材,对野生石榴果实性状较为突出的 21 株石榴果实性状进行相关性和“合理-满意度”分析,以期对野生石榴的研究评价和利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

2019 年 10 月对西藏左贡、八宿、察隅 3 个县的安巴村、昌西村、邓许村、格布村、古拉村、军拥村、叶巴村、则拉村和珠拉村,共 9 个村周边进行实地调研,用 GPS 记录其经纬度,成功定位 21 株野生石榴单株并获得果实样本(表 1)。所采果实大小和成熟度基本一致,无机械损伤和明显病虫害。

表 1 西藏野生石榴单株名称、采集地及定位信息

Table 1 List of wild pomegranate names, collection sites, location and elevation information in Tibet

编号 No.	单株名称 name	口感 taste	采集地 collection site	北纬 latitude(N)	东经 longitude(E)	海拔/m altitude
1	安巴 1 号 Anba 1	酸甜	察隅县安巴村	29°02'25.889 9"	97°58'58.191 1"	2 322.84
2	安巴 3 号 Anba 3	酸涩	察隅县安巴村	28°22'18.055 1"	98°27'09.136 8"	2 364.00
3	昌西 1 号 Changxi 1	甜	察隅县昌西村	28°22'18.055 2"	98°27'09.136 8"	1 791.26
4	昌西 3 号 Changxi 3	酸甜	察隅县昌西村	28°22'19.412 3"	98°27'12.146 4"	1 783.68
5	昌西 4 号 Changxi 4	酸甜	察隅县昌西村	28°22'12.878 4"	98°27'11.534 3"	1 838.79
6	邓许 Dengxu	酸	察隅县邓许村	28°26'35.725 1"	98°27'25.664 4"	1 798.06
7	格布 4 号 Gebu 4	酸	察隅县格布村	28°36'39.834 0"	98°27'08.211 6"	2 314.93

表 1(续)

编号 No.	单株名称 name	口感 taste	采集地 collection site	北纬 latitude(N)	东经 longitude(E)	海拔/m altitude
8	格布 5 号 Gebu 5	酸	察隅县格布村	28°36'39.834 0"	98°27'08.211 6"	2 329.89
9	古拉 1 号 Gula 1	酸	察隅县古拉村	29°01'13.918 7"	97°57'09.093 5"	2 374.35
10	古拉 3 号 Gula 3	酸	察隅县古拉村	29°01'12.964 8"	97°57'30.448 8"	2 376.82
11	军拥 1 号 Junyong 1	酸	左贡县军拥村	29°51'24.451 2"	97°25'27.411 6"	2 699.71
12	军拥 3 号 Junyong 3	酸	左贡县军拥村	29°51'19.008 0"	97°25'05.433 6"	2 609.86
13	军拥 4 号 Junyong 4	酸	左贡县军拥村	29°51'23.641 2"	97°25'22.371 6"	2 732.00
14	叶巴 1 号 Yeba 1	酸	八宿县叶巴村	29°52'45.447 6"	97°22'47.722 8"	2 661.81
15	叶巴 2 号 Yeba 2	酸	八宿县叶巴村	29°52'43.471 2"	97°16'51.337 2"	2 637.02
16	叶巴 3 号 Yeba 3	酸	八宿县叶巴村	29°52'43.478 4"	97°22'53.166 0"	2 709.42
17	则拉 1 号 Zela 1	酸	察隅县则拉村	28°29'31.236 0"	98°27'16.343 9"	2 053.30
18	则拉 3 号 Zela 3	酸	察隅县则拉村	28°29'29.198 4"	98°27'08.330 4"	2 082.00
19	则拉 4 号 Zela 4	酸	察隅县则拉村	28°29'24.518 4"	98°27'09.252 0"	2 008.00
20	珠拉 1 号 Zhula 1	甜	察隅县珠拉村	28°44'11.194 8"	98°26'21.793 0"	2 125.50
21	珠拉 2 号 Zhula 2	酸	察隅县珠拉村	28°44'10.579 2"	98°26'21.012 0"	2 118.41

1.2 实验方法

1.2.1 果实外观品质测定

单果质量和百粒质量采用电子天平进行称质量;果形指数和果皮厚度采用游标卡尺进行测定,果形指数取纵、横径之比;籽粒硬度采用 TA.XT.Plus 型质构仪(英国 SMS 公司)测定。

1.2.2 果实内在品质测定

采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[16];氢氧化钠滴定法测定可滴定酸含量^[17];手持式糖量计测定可溶性固形物含量^[18];维生素 C 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法^[19]。糖酸比和固酸比用均值进行计算。

1.2.3 品质指标评价

采用“合理-满意度”和多维价值理论的综合评价方法对石榴的果实品质综合评价^[20]。果皮厚度、籽粒硬度和可滴定酸属于值越小越好的指标,其单因素“合理-满意度”采用公式(1)进行计算。另一些指标属于在一定范围内,值越大越好,故采用公式(2)进行计算;而根据层次分析法计算出各指标的权重值,采用公式(3)合成“合理-满意度”,得到各石榴果实品质指标(b_i)的综合得分 $[M(b_i)]$,并据此排名。

对于一些指标而言,其数值越小越好,则

$$M(b_i)=\frac{\max(b_i)-b_i}{\max(b_i)-\min(b_i)}。 \tag{1}$$

反之,对于一些指标,以 b_i 为各品种的单果质量为例,人们期望单果质量越大越好,则 $\max(b_i)$ 的满意度就为 1, $\min(b_i)$ 的满意度就为 0。

$$M(b_i)=\frac{b_i-\min(b_i)}{\max(b_i)-\min(b_i)}。 \tag{2}$$

以权重 W_i 表示各指标对石榴果实品质的贡献程度,采用层次分析法建立判断矩阵,确定权重值,具体参照曹茂林^[21]的方法计算“合理-满意度”值(V),其公式为:

$$V=\sum M_i \times W_i。 \tag{3}$$

“合理-满意度”值(V)越高,越符合人们的期望要求。

1.2.4 数据分析

运用 Excel 2013 和 SPSS 22.0 整理数据并进行相关处理,用 Origin 8.5 作图。

2 结果与分析

2.1 不同野生石榴果实外观品质的差异

平均单果质量(m)是衡量果实大小的重要指标,根据石榴单果质量的大小,可将其划分为 4 种类型,即特大果形($m \geq 400$ g)、大果型($300 \leq m < 400$) g、中果型($150 \leq m < 300$) g、小果型($m < 150$ g)^[22]。西藏地区的野生石榴,果实较小,除了安巴 1 号、格布 4 号、则拉 1 号和则拉 4 号的果实质量大于 150 g,属于中果型以外,其余野生石榴均小于 150 g 为小果型,以军拥 1 号的果实质量为最小,仅为 53.23 g(图 1a)。果形指数(纵、横径之比)为 $[0.60, 0.80)$ 时,果实呈扁圆形; $[0.80, 0.90)$ 时,果实呈圆形或近圆形; $[0.90, 1.00)$ 时,果实呈椭圆形或圆锥形; ≥ 1.00 时,果实则为长圆形。格布 5 号的果形指数最大,为 1.01,果实为长圆形;在野生石榴中,果形指数为 $[0.87, 1.01)$,则有 3 种果形,绝大多数野生石榴的果形为椭圆形,占 67%;仅有 6 个野生石榴单株的果形指数不足 0.90,为圆形或近圆形,分别是昌西 1 号、古拉 3 号、军拥 3

3.41。综合以上内在品质参数表明:绝大多数的野生石榴为酸石榴,故可滴定酸含量较高,而仅有个别单株表现甜的性状,可滴定酸含量较低,糖酸比和固酸比较高。

2.3 21 个野生石榴品种果实品质指标间的相关性分析

将 21 个野生石榴果实品质的单果质量等 12 项

指标进行相关性分析,结果(表 2)表明,单果质量与果形指数、果皮厚度,果形指数与果皮厚度,可溶性固形物含量与可滴定酸含量间呈极显著正相关($P<0.01$);单果质量与可溶性糖含量,出籽率与 VC 含量,VC 含量与糖酸比间呈极显著负相关($P<0.01$);果形指数与百粒质量、果皮厚度与籽粒硬度、可滴定酸含量与糖酸比间呈显著相关($P<0.05$)。

表 2 野生石榴果实品质 12 项指标的相关系数

Table 2 Correlation coefficients of 12 indicators

指标 index	SFW	FSI	PT	SH	HGW	RS	SS	TSS	TA	VC	SS/TA	TSS/TA
SFW	1.00											
FSI	0.97 **	1.00										
PT	0.96 **	0.93 **	1.00									
SH	0.22	0.08	0.44 *	1.00								
HGW	0.45 *	0.52 *	0.41	-0.14	1.00							
RS	0.28	0.34	0.25	-0.12	0.17	1.00						
SS	-0.45 **	-0.35	-0.31	0.01	-0.06	-0.20	1.00					
TSS	-0.21	-0.23	-0.27	-0.15	0.17	-0.11	-0.07	1.00				
TA	0.06	0.14	-0.01	-0.37	0.27	0.19	-0.25	0.54 **	1.00			
VC	-0.15	-0.16	-0.16	-0.05	0.23	-0.57 **	0.31	0.35	-0.09	1.00		
SS/TA	-0.07	-0.10	-0.10	-0.27	-0.23	0.34	-0.22	-0.04	0.47 *	-0.72 **	1.00	
TSS/TA	-0.17	-0.16	-0.10	0.13	0.08	-0.33	-0.04	0.16	0.13	0.18	-0.27	1.00

注:SFW.单果质量 single fruit weight;FSI.果形指数 fruit shape index;PT.果皮厚度 percarp thinckness; SH.籽粒硬度 seed hardness;HGW.百粒质量 hundred-grain weight;RS. 出籽率 seed rate; SS. 可溶性糖 soluble sugar;TSS.可溶性固形物 total soluble solid;.: TA.可滴定酸 titratable acid;VC.维生素 C Vitamin C; SS/TA.糖酸比 the ratio of sugar to acid; TSS/TA. the ratio of solid to acid。* 表示显著相关($P<0.05$), ** 表示极显著相关($P<0.01$) * . represented a significant correlation($P<0.05$), * * . represented an extremely significantly correlation($P<0.01$).下同。The same below.

2.4 基于层次分析法的各指标权重

由于各指标对石榴果实品质的影响各异,可依据 1~9 标度法,可构造 12 阶判断矩阵。对所构造的判断矩阵进行一致性检验,一致性比率为 $0.083<0.1$,即认为该判断矩阵具有满意的一致性,

所构造的判断矩阵中各影响因子的相互关系较为一致。据此得出各指标权重(表 3)可知,风味对果实品质的影响最大,故糖酸比和固酸比赋予的权重值最大,均为 0.195,与之相关的可溶性糖、可溶性固形物和可滴定酸也占有较大的权重值。

表 3 石榴果实品质各指标权重值

Table 3 The weight values of 12 indicontors

指标 index	SFW	FSI	PT	SH	HGW	RS	SS	TSS	TA	VC	SS/TA	TSS/TA
权重值 weight	0.042	0.036	0.040	0.042	0.038	0.038	0.060	0.100	0.132	0.082	0.195	0.195

2.5 “合理-满意度”和多维价值理论综合评价

从“合理-满意度”分析结果的得分和排名(表 4)可以看出,珠拉 1 号得分最高,为 0.76,合成的“合理-满意度”最高,说明珠拉 1 号的品质相较于

其他,为最佳;昌西 1 号和安巴 1 号也具有较高的满意度;得分最低的是军拥 3 号,得分仅为 0.10,品质表现最差。

表 4 野生石榴“合理-满意度”分析

Table 4 The results of “Reasonableness and Satisfaction Index” analysis of wild pomegranate

单株名称 name	SFW	FSI	PT	SH	HGW	RS	SS	TSS	TA	VC	SS/TA	TSS/TA	V	排名 rank
安巴 1 号 Anba 1	0.79	0.30	0.45	0.94	0.54	0.34	0.60	0.02	0.65	0.87	0.19	0.15	0.40	3
安巴 3 号 Anba 3	0.40	0.50	0.87	0.59	0.24	0.63	0.60	0.34	0.30	0.41	0.07	0.06	0.30	14
昌西 1 号 Changxi 1	0.47	0.20	0.50	0.60	1.00	0.15	0.14	0.54	0.88	0.05	0.28	0.51	0.45	2

表 4(续)

单株名称 name	SFW	FSI	PT	SH	HGW	RS	SS	TSS	TA	VC	SS/TA	TSS/TA	V	排名 rank
昌西 3 号 Changxi 3	0.41	0.00	0.59	0.27	0.75	0.61	0.14	0.00	0.57	1.00	0.08	0.11	0.31	13
昌西 4 号 Changxi 4	0.70	0.44	0.64	0.49	0.66	0.78	0.48	0.65	0.36	0.33	0.07	0.09	0.35	6
邓许 Dengxu	0.57	0.45	0.72	0.76	0.55	0.66	0.37	0.66	0.40	0.00	0.07	0.10	0.32	11
格布 4 号 Gebu 4	0.94	0.34	0.34	1.00	0.36	0.68	0.31	0.24	0.57	0.36	0.11	0.13	0.34	9
格布 5 号 Gebu 5	0.63	1.00	0.54	0.56	0.27	0.68	0.00	0.12	0.29	0.92	0.01	0.04	0.28	16
古拉 1 号 Gula 1	0.41	0.46	0.18	0.79	0.44	0.65	0.51	1.00	0.23	0.18	0.05	0.08	0.32	12
古拉 3 号 Gula 3	0.33	0.04	0.42	0.56	0.39	0.00	0.60	0.07	0.40	0.02	0.10	0.06	0.20	19
军拥 1 号 Junyong 1	0.00	0.34	1.00	0.54	0.00	0.65	0.11	0.72	0.06	0.56	0.00	0.04	0.24	18
军拥 3 号 Junyong 3	0.41	0.11	0.33	0.00	0.06	0.59	0.37	0.13	0.00	0.05	0.02	0.00	0.10	21
军拥 4 号 Junyong 4	0.41	0.29	0.51	0.22	0.12	0.73	0.26	0.49	0.20	0.59	0.03	0.05	0.24	17
叶巴 1 号 Yeba 1	0.19	0.44	0.83	0.58	0.15	1.00	1.00	0.55	0.41	0.43	0.15	0.10	0.38	4
叶巴 2 号 Yeba 2	0.66	0.63	0.57	0.34	0.42	0.64	0.93	0.09	0.46	0.56	0.15	0.08	0.35	7
叶巴 3 号 Yeba 3	0.49	0.25	0.66	0.31	0.26	0.46	0.99	0.55	0.30	0.77	0.11	0.07	0.35	5
则拉 1 号 Zela 1	0.71	0.16	0.00	0.63	0.60	0.11	0.55	0.93	0.17	0.26	0.05	0.07	0.28	15
则拉 3 号 Zela 3	0.38	0.66	0.62	0.12	0.59	0.45	0.38	0.35	0.62	0.43	0.14	0.17	0.34	8
则拉 4 号 Zela 4	1.00	0.68	0.56	0.81	0.28	0.57	0.06	0.40	0.44	0.59	0.04	0.10	0.33	10
珠拉 1 号 Zhula 1	0.39	0.16	0.86	0.71	0.56	0.59	0.68	0.27	1.00	0.49	1.00	1.00	0.76	1
珠拉 2 号 Zhula 2	0.58	0.12	0.81	0.67	0.67	0.81	0.29	0.02	0.11	0.05	0.02	0.01	0.19	20

3 讨 论

当前,综合评价法在许多水果评价中得以应用,焦艺等^[23]、陆新华等^[24]、高雪等^[25]均利用此评价方法分别对白桃(*Prunus persica*)、菠萝(*Ananas comosus*)和软枣猕猴桃(*Actinidia arguta*)的果实品质作出评价,但目前此法在石榴果实品质评价方面还鲜见报道。在外观品质方面,各品种间性状差异较为显著($P<0.05$);差异较小的性状为果形指数,介于0.82~1.01,为圆形或近圆形,受环境和单株的影响较小。西藏地区的石榴,单果质量较小,以中小型果实为主(大多不足150 g),横径

为45.28~69.40 mm,纵径为41.12~66.78 mm。Thakur等^[26]研究发现喜马拉雅山附近的6个不同地区的野生石榴果的单果质量为53.40~83.50 g,横纵径为41.70~62.80 mm,与本研究结果相似。在内在品质方面,有关野生石榴的可溶性固形物含量被多次报道,Sharma等^[27]测得其含量为12.00%~17.00%,Thakur等^[28]报道为15.40%~16.50%,而Khadivi等^[29]发现野生石榴的可溶性固形物含量为9.30%~27.00%,喜马偕尔邦地区的野生石榴的可溶性固形物含量甚至平均可达20.08%。本研究中西藏地区的野生石榴的可溶性固形物含量为13.97%~20.08%,与国外野生石榴

的可溶性固形物含量范围较为一致。

本研究首次通过对西藏干热河谷区域内的野生石榴种质资源果实性状相关性分析和多样性分析,利用“合理-满意度”和多维价值理论相结合的方法,对21个野生石榴样本的12个指标,进行综合评价。此外,相关性分析结果表明,少部分指标存在显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关或负相关,可滴定酸与糖酸比呈极显著负相关,说明影响石榴酸甜口感的主要因素是可滴定酸含量,而可溶性糖含量对其影响不显著,这与吴林等^[30]指出的糖酸比作为评价果实风味的重要指标,含酸量过高,无论含糖量高低,风味均不理想一致。梁俊等^[31]在苹果(*Malus domestica*)中也有相似发现,即苹果果实的甜味与含糖量不一定成正相关,但可以确定的是风味较甜的苹果,有机酸含量会很低。也有学者指出,糖酸比尽管能在一定程度上影响果实的风味,却无法完全代表果实真正的酸甜风味,可利用果实中的酸度值和甜度值构建酸甜风味指数,为水果品种的加工和选育提供参考^[32]。合成“合理-满意度”最高的是珠拉1号,最低的是军拥3号。研究发现,野生石榴果实具有丰富的性状变异,各样本间的果实品质差异明显,不同的指标既相对独立又存在一定的相关性。

通过野生资源调查方式挖掘优良资源并使其逐步发展成为产业,是育种者的一种重要手段。通过评选,得出珠拉1号、昌西1号和安巴1号的果实品质相较于其他的野生石榴,品质较佳,适宜于大面积推广;古拉3号、军拥1、3和4号果实品质较差,在品种改良和大面积推广时,要慎重考虑。果实的外观和理化性质,还与气候条件、管理措施等因素有关,因此为了提高试验结果的合理性,为今后的选育和改良工作提供指导作用,还应加强观察与分析,且在自然条件下对其进一步验证,全面系统地研究石榴的经济价值和营养价值。

综上,由于西藏野生石榴群分布于怒江干热河谷地带,该区域是较为闭塞的峡谷区,对野生石榴种质资源开展果实表型变异性研究,不仅为石榴育种提供基因材料,也为了解栽培石榴与野生石榴间遗传进化历程提供了参考。

参考文献(reference):

[1] 赵琳,郎南军,郑科,等.云南干热河谷生态环境特性研究[J].林业调查规划,2006,31(3):114-117. ZHAO L, LANG N J, ZHENG K, et al. A study on eco-environmental characteristics of dry and hot valley of Yunnan Province[J]. For Invent Plan, 2006, 31(3):114-117. DOI: 10.3969/j.issn.1671-3168.2006.03.029.

[2] 刘方炎,李昆,孙永玉,等.横断山区干热河谷气候及其对植被恢复的影响[J].长江流域资源与环境,2010,19(12):1386-1391. LIU F Y, LI K, SUN Y Y, et al. Effects of climate on vegetation recovery in dry-hot valleys of Hengduan Mountainous region in southwest China[J]. Resour Environ Yangtze Basin, 2010, 19(12):1386-1391.

[3] 张荣祖.横断山区干旱河谷[M].北京:科学出版社,1992:116-131. ZHANG R Z. The dry valleys of the Hengduan Mountains region[M]. Beijing: Science Press, 1992:116-131.

[4] 李保印.石榴[M].北京:中国林业出版社,2004:1-20. LI B Y. Pomegranate[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004:1-20.

[5] GRAHAM S A, HALL J, SYTSMA K, et al. Phylogenetic analysis of the Lythraceae based on four gene regions and morphology[J]. Int J Plant Sci, 2005, 166(6):995-1017. DOI: 10.1086/432631.

[6] KHEYRODIN H. Important of pomegranates in Iran[J]. Int J Res Stud Agric Sci, 2017, 3(10):1-9. DOI: 10.20431/2454-6224.0310001.

[7] JAIN K, DESAI N. Pomegranate the cash crop of India; a comprehensive review on agricultural practices and diseases[J]. Int J Health Sci Res, 2018, 8(5):315-336.

[8] AKPAROV Z I, BAYRAMOVA D B, MUSTAFAYEVA Z P, et al. Pomegranate (*Punica granatum* L.) genetic diversity in Azerbaijan[J]. Acta Hort, 2015(1089):253-256. DOI: 10.17660/actahortic.2015.1089.32.

[9] SHAYGANNIA E, BAHMANI M, ZAMANZAD B, et al. A review study on *Punica granatum* L. [J]. J Evid Based Complementary Altern Med, 2016, 21(3):221-227. DOI: 10.1177/2156587215598039.

[10] 段盛煌,宗学普,刘效义,等.西藏果树资源考察初报[J].园艺学报,1983,10(4):217-224. DUAN S L, ZONG X P, LIU X Y, et al. Preliminary report on the fruit germplasm resources in the autonomous region of Xizang[J]. Acta Hort Sin, 1983, 10(4):217-224.

[11] 李乡旺,毛品一,尹秉高,等.西藏古树的初步研究[J].西南林学院学报,1991,11(2):134-138. LI X W, MAO P Y, YIN B G, et al. A preliminary study on ancient trees of Tibet[J]. J Southwest For Coll, 1991, 11(2):134-138.

[12] 邓健康,刘璇,吴昕烨,等.基于层次分析和灰色关联度法的苹果(等外果)汁品质评价[J].中国食品学报,2017,17(4):197-208. DENG J K, LIU X, WU X Y, et al. Quality evaluation of apple (substandard) juice from different cultivars based on analytic hierarchy process and grey interconnect degree analysis[J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2017, 17(4):197-208. DOI: 10.16429/j.1009-7848.2017.04.025.

[13] 孙颖,刘儒,雷小林,等.日本野漆树果实品质的灰色关联度分析[J].中南林业科技大学学报,2017,37(4):38-43. SUN Y, LIU R, LEI X L, et al. Grey relativity analysis on seed quality of introduced wild sumac[J]. J Central South Univ For & Technol, 2017, 37(4):38-43. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2017.04.007.

[14] NAFEEES M, JASKANI M J, AHMAD S, et al. Biochemical diversity in wild and cultivated pomegranate (*Punica granatum* L.) in Pakistan[J]. J Hort Sci Biotechnol, 2017, 92(2):199-205. DOI: 10.1080/14620316.2016.1252250.

[15] 陆新华,孙德权,吴青松,等.12个泰国菠萝品种的果实品质评价[J].热带作物学报,2011,32(12):2205-2208. LU X H,

- SUN D Q, WU Q S, et al. Evaluation on fruit quality of 12 pineapple cultivars introduced from Thailand [J]. Chin J Trop Crops, 2011, 32(12): 2205–2208. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2011.12.001.
- [16] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1990. ZHANG Z L. Experimental instruction of plant physiology[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 1990.
- [17] PARKER A K, HOFMANN R W, VAN LEEUWEN C, et al. Manipulating the leaf area to fruit mass ratio alters the synchrony of total soluble solids accumulation and titratable acidity of grape berries[J]. Aust J Grape Wine Res, 2015, 21(2): 266–276. DOI: 10.1111/ajgw.12132.
- [18] 郑丽静, 聂继云, 李明强, 等. 苹果风味评价指标的筛选研究[J]. 中国农业科学, 2015, 48(14): 2796–2805. ZHENG L J, NIE J Y, LI M Q, et al. Study on screening of taste evaluation indexes for apple[J]. Sci Agric Sin, 2015, 48(14): 2796–2805. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2015.14.011.
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 200–204. GAO J F. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 200–204.
- [20] 穆茜, 张丹丹, 李千惠, 等. 5个海棠品种果实品质分析及评价[J]. 南方农业学报, 2018, 49(5): 971–978. MU Q, ZHANG D D, LI Q H, et al. Evaluation of fruit quality of five crabapple (*Malus* spp.) cultivars[J]. J South Agric, 2018, 49(5): 971–978. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1191.2018.05.21.
- [21] 曹茂林. 层次分析法确定评价指标权重及 Excel 计算[J]. 江苏科技信息, 2012(2): 39–40. CAO M L. Determination of evaluation index weight by analytic hierarchy process and excel calculation[J]. Jiangsu Sci & Technol Inf, 2012(2): 39–40. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7530.2012.02.019.
- [22] 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(4): 148–151. ZHAO D C, SUN L, WANG X F, et al. Analysis and evaluation on main economic characters of pomegranate germplasm resources in Zaozhuang City[J]. Nonwood For Res, 2013, 31(4): 148–151. DOI: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2013.04.025.
- [23] 焦艺, 刘璇, 毕金峰, 等. 不同品种白桃 (*Prunus persica* L. Batsch) 果汁的品质评价[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(8): 114–119, 125. JIAO Y, LIU X, BI J F, et al. Quality evaluation of white-flesh peach juices from different cultivars[J]. Food Ferment Ind, 2014, 40(8): 114–119, 125. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2014.08.033.
- [24] 陆新华, 孙德权, 吴青松, 等. 12个泰国菠萝品种的果实品质评价[J]. 热带作物学报, 2011, 32(12): 2205–2208. LU X H, SUN D Q, WU Q S, et al. Evaluation on fruit quality of 12 pineapple cultivars introduced from Thailand[J]. Chin J Trop Crops, 2011, 32(12): 2205–2208. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2011.12.001.
- [25] 高雪, 章印, 辛广, 等. 不同成熟度软枣猕猴桃果实的划分标准及贮藏特性[J]. 中国农业科学, 2019, 52(10): 1784–1796. GAO X, ZHANG Y, XIN G, et al. Classification criteria and storage characteristics of *Actinidia arguta* fruits with different maturities[J]. Sci Agric Sin, 2019, 52(10): 1784–1796. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2019.10.011.
- [26] THAKUR N S, DHAYGUDE G S, GUPTA A. Physico-chemical characteristics of wild pomegranate fruits in different locations of Himachal Pradesh[J]. Int J Farm Sci, 2011, 1(2): 37–44.
- [27] SHARMA S D, SHARMA V K. Variation for chemical characters in some promising strains of wild pomegranate (*Punica granatum* L.) [J]. Euphytica, 1990, 49(2): 131–133. DOI: 10.1007/BF00027262.
- [28] THAKUR N S, BHAT M M, RANA N, et al. Standardization of pre-treatments for the preparation of dried arils from wild pomegranate[J]. J Food Sci Technol, 2010, 47(6): 620–625. DOI: 10.1007/s13197-010-0091-4.
- [29] KHADIVI A, MIRHEIDARI F, MORADI Y, et al. Morphological variability of wild pomegranate (*Punica granatum* L.) accessions from natural habitats in the Northern parts of Iran[J]. Sci Hortic, 2020, 264: 109165. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.109165.
- [30] 吴林, 张强, 臧慧明, 等. 云南丽江和吉林靖宇蓝莓糖酸组分差异分析[J]. 中国果树, 2019(6): 54–58, 64. WU L, ZHANG Q, ZANG H M, et al. Determination of sugar and acid components in blueberries from Lijiang, Yunnan and Jingyu, Jilin[J]. China Fruits, 2019(6): 54–58, 64. DOI: 10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2019.06.011.
- [31] 梁俊, 郭燕, 刘玉莲, 等. 不同品种苹果果实中糖酸组成与含量分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(10): 163–170. LIANG J, GUO Y, LIU Y L, et al. Analysis of contents and constituents of sugar and organic acid in different apple cultivars[J]. J Northwest A & F Univ (Nat Sci Ed), 2011, 39(10): 163–170. DOI: 10.13207/j.cnki.jnwf.2011.10.020.
- [32] 乔宇, 吕辉华, 吴继军, 等. 不同品种桑椹中糖酸组成和甜酸风味评价[J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(4): 44–49. QIAO Y, LYU H H, WU J J, et al. Analysis of organic acids and sugar compositions and flavor evaluation of different mulberry cultivars[J]. J Food Sci Technol, 2016, 34(4): 44–49. DOI: 10.3969/j.issn.2095-6002.2016.04.008.

(责任编辑 吴祝华)