果 树 学 报 2026，43（8）：2052-2062
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20250750

# 不同沙棘种质果实与种子表型多样性分析

冉兰芳[1]，马 仲[2*]

（[1]青海大学农牧学院，西宁 810016；[2]青海大学农林科学院，西宁 810016）

**摘 要：【目的】**深入探究青海高寒地区不同沙棘种质果实与种子表型性状的变异特点与多样性，为筛选优良沙棘种质及其合理利用提供依据。**【方法】**对青海高寒地区36份沙棘种质的果实与种子表型性状开展多样性分析、相关性分析和聚类分析，并依据主成分分析进行综合评价。**【结果】**36份沙棘种质果实与种子质量性状的多样性指数为0.00~1.14；数量性状变异系数为11.46%~68.42%，多样性指数为1.25~2.08。其中，外果皮厚度的变异系数最大，果实形状与千粒质量的多样性指数最大。聚类分析得到3个类群：果皮轻薄和中果类群、厚果皮和小果类群、大果长果柄类群。主成分分析筛选出3个主成分，累计贡献率达80.011%。2013-05、杂优2号、阜杂、LJ-10-03、LJ-10-56、杂优1号这6份种质的果实与种子表型性状的综合得分较高。结合相关性分析，筛选出果实纵径、种子长度、单果质量、千粒质量、果皮厚度这5个关键评价指标。**【结论】**青海高寒地区不同沙棘种质的果实与种子质量性状变异较丰富，数量性状多样性指数较高。经过多指标综合评价筛选出6份种质可用于青海高寒地区沙棘的品种选育及合理开发利用。

**关键词：**沙棘；种质资源；表型性状；多样性分析

**中图分类号：**S793.6 **文献标志码：**A **文章编号：**1009-9980(2026)08-2052-11

## Analysis of fruit and seed phenotypic diversity in different sea buckthorn germplasms

Ran Lanfang[1], Ma Zhong[2*]

*([1]College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China; [2]Academy of Agriculture and Forestry Science, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China)*

**Abstract:**【Objective】The collection, evaluation, and rational utilization of sea buckthorn germplasm resources form the foundation for breeding superior varieties and developing effective production practices. Qinghai Province possesses an abundance of sea buckthorn germplasm resources. This study aimed to investigate the genetic diversity of fruit and seed phenotypic traits among local and introduced sea buckthorn varieties in alpine region of Qinghai, with the objective of identifying germplasm exhibiting exceptional seed and fruit characteristics.【Methods】This study systematically evaluated the phenotypic traits of fruits and seeds from 36 sea buckthorn germplasm samples collected in alpine region of Qinghai. The aim was to establish a reference for assessing fruit quality, improving germplasm breeding, and supporting the sustainable development of the sea buckthorn industry in Qinghai Province. Evaluated quality traits included fruit shape, seed shape, seed coat color, and grooves, while quantitative traits encompassed berry stalk length, berry longitudinal and transverse diameters, berry shape index, berry volume, single berry weight, seed length and width, seed shape index, seed volume, 1000-grain weight, exocarp and endocarp mass, as well as exocarp and endocarp thickness. Subsequent analyses included diversity, correlation, and cluster analyses of these phenotypic traits, culminating in a comprehensive evaluation through principal component analysis.【Results】The fruits and seeds of 36 sea buckthorn germplasms exhibited significant genetic diversity, with quality traits showing a diversity in-

**收稿日期：**2026-01-03 **接受日期：**2026-02-07

**基金项目：**水利部沙棘良种选育试验示范项目（K9925026）

**作者简介：**冉兰芳，女，在读硕士研究生，研究方向为特色经济林栽培与应用。E-mail：YS240954000756@qhu.edu.cn

***通信作者** Author for correspondence. E-mail：qhmazhong@qhu.edu.cn

dex ranging from 0 to 1.14. Fruit shapes displayed the highest variation types and the largest diversity index, while seed grooves exhibited the smallest diversity index, present in all germplasm seeds. It indicated that the distribution of this trait was relatively stable among different description types. Among the 36 sea buckthorn germplasms, oblate ones were the most common, accounting for 40.74%, followed by round ones, accounting for 38.43%, and cylinder ones had the lowest proportion, only 2.78%. The coefficient of variation for the 15 quantitative traits varied from 11.46% to 68.42%. Notably, exocarp thickness and endocarp mass demonstrated substantial variation, with coefficients of variation exceeding 60%, and berry stalk length, berry volume, single berry weight, seed volume, exocarp mass, and endocarp thickness, were all above 30%, indicating considerable dispersion of phenotypic traits among different sea buckthorn germplasms. The diversity index for quantitative traits ranged from 1.25 to 2.08. Berry stalk length, berry transverse diameter, single fruit weight, seed length and width, seed shape index, seed volume, 1000-grain weight, and endocarp thickness all exhibited diversity indices exceeding 2.00, classifying them as highly variable traits. The genetic diversity index for the remaining traits fell between 1.00 and 2.00. The correlation analysis revealed intricate and strong correlations among diverse phenotypic traits in different sea buckthorn germplasms. Subsequent cluster analysis categorized 36 sea buckthorn germplasm resources into three distinct groups: the first group featured medium-sized fruits with thin and light fruit skins; the second group exhibited small fruits with thick fruit skins; the third group showcased large fruits with elongated fruit stalks. The principal component analysis demonstrated that the cumulative contribution rate of the three principal components identified was 80.011%. Specifically, the first principal component primarily reflected the quality and shape of fruits and seeds, the second principal component predominantly characterized the exocarp thickness, and the third principal component was mainly associated with the endocarp thickness. The comprehensive assessment indicated that the highest overall score was recorded in 2013-05 (5.510).【Conclusion】The variation in fruit and seed quality traits among sea buckthorn germplasms in alpine region of Qinghai is relatively extensive, and the diversity index for quantitative traits is notably high. Through a combination of correlation analysis and principal component analysis, five key indicators for assessing sea buckthorn plant traits are identified: berry longitudinal diameter, seed length, single fruit weight, 1000-grain weight, and berry peel thickness. These indicators can serve as crucial reference points for subsequent quality analysis, evaluation of sea buckthorn germplasm resources, and variety breeding efforts. The comprehensive scores of fruit and seed phenotypic traits of six sea buckthorn germplasms namely 2013-05, Zayou No. 2, Fuza, LJ-10-03, LJ-10-56, and Zayou No. 1, rank among the highest as a result of integrating various evaluation methods, and are suitable for breeding sea buckthorn varieties and for the rational development and utilization in alpine region of Qinghai.

**Key words:** Sea buckthorn; Germplasm resources; Phenotypic traits; Diversity analysis

沙棘（*Hippophae rhamnoides* L.）是胡颓子科沙棘属的一种浆果果树[1]，耐干旱、寒冷与瘠薄，对青海高寒环境具有较强的适应性[2]。沙棘的叶、果实、种子等各部位富含多种对人体有益的营养物质和生物活性物质[3-4]。其中，果实含有近200种营养成分，具有抗氧化、免疫调节、降血糖、降血脂、抑制肿瘤、缓解炎症及韧带损伤等功效，被称为“药食同源”水果[5-7]。丰富的种质资源是良种选育的基础，而果实与种子表型性状多样性可极大程度地体现种质资源的多样性和植物本身的生物学特性，与植物生存繁殖、传播、适应性等方面紧密联系[8-9]。沙棘作为我国重要的生态经济树种，不同沙棘品种（系）果实与种子表型性状存在较大差异，其中质量性状表现出较强的变异能力[10]。新疆野生沙棘果实性状中，果实颜色的性状变异最大，其次是种子颜色[11]。西藏5种野生沙棘果实与种子的表型性状相互影响、协同

生长，果实与种子的横径是影响体积、百果（种）质量等指标的最主要性状[12]。辽西地区种植的俄罗斯第三代大果沙棘果实性状中，百果质量的变异程度最高，其次是果实纵径与果实横径[13]。内蒙古不同种群沙棘种子性状中，变异系数最大的同为质量[14]。因此，沙棘果实与种子的质量可作为沙棘种质资源筛选的重要指标。果实与种子作为植物遗传物质的关键载体，其表型变异是探究遗传规律的重要依据[15-16]。表型性状受物种遗传特性和其所处生境条件的协同作用，是生态适应性的直接体现[17-18]。中国沙棘的果实与种子大小随经纬度减小而增大，果柄缩短；果形指数随海拔升高而增大，种子厚度增加[19]。

迄今，我国在沙棘引种、选种、杂交育种等方面取得较大进展，已培育出具备果大、高产、少刺和品质优等综合优异性状的品种（系）[20-21]，培育出了适应不同地区的经济型、叶用型及生态型等良种[22-23]，推动了我国沙棘产业的健康发展。然而，关于青海高寒地区不同沙棘种质果实表型性状多样性的研究较少。因此，本研究对青海高寒地区36份沙棘种质果实与种子表型性状进行多样性分析，以期揭示其变异程度并进行综合评价，筛选出具有优良性状的沙棘种质，为青海高寒地区沙棘品种的选育与合理开发利用提供参考依据。

# 1 材料和方法

## 1.1 试验地概况

试验地点位于大通县城关镇苗圃基地（101°33′16″ E，37°02′55″ N），地处青海省东部河湟谷地、祁连山南麓、湟水河上游北川河流域，海拔2573 m。年均气温4.9 ℃，年平均日照时数2553 h，年降水量523.3 mm，年平均蒸发量1 762.8 mm，降水量多集中于8月，12月最少，年平均相对湿度56%。年内无霜期61~133 d，最大风速18 m·s$^{-1}$。土壤属于河漫滩淤积土，质地较好，有机质含量和土壤肥力较高。此试验地点的气候和生态条件能够满足沙棘植株生长及其性状的正常表达。

## 1.2 试验材料

36份试验材料均来自大通县城关镇苗圃，AH-21-01、CY-19-01、CY-19-02、QY-19-01、QY-19-02、QY-22-01、QY-22-02、DT-19-06、DT-19-08、YY-17-03、YY-17-10、YY-17-13、YY-17-14、YY-17-20、YY-17-23、中优3号、中优7号、中优11号为中国沙棘；LJ-10-03、LJ-10-56、LJ-12-03、LJ-12-04、LJ-12-08、LJ-12-11、QQHE-19-01、QQHE-19-03、QQHE-19-06、QQHE-19-07、QQHE-19-10、杂交10号、杂交54号、杂优12号、杂优2号、杂优1号、阜杂为蒙中杂交沙棘；2013-05为大果沙棘。其中，AH系列从内蒙古敖汉旗引进；CY系列从辽宁朝阳引进；QY系列从甘肃庆阳引进；YY系列从山西右玉引进；QQHE系列和2013-05、LJ系列从黑龙江齐齐哈尔和龙江引进；其余为青海本地自主培育。部分沙棘种质的结实情况如图1所示，以上所有种质均未进入盛果期。

## 1.3 试验方法

不同沙棘种质的果实均于成熟期适时采收。每份沙棘种质选取6株树势相同的代表性植株，采摘自然成熟果实500 g，果实大小均匀、成熟度一致、无机械损伤及病虫害，随后立即带回实验室。

1.3.1 质量性状鉴定 每份沙棘种质按四分法选取100粒果实作为1个样本，参照《沙棘种质资源描述规范和数据标准》[24]，采用目测观察法对果实形状、种子形状、种子颜色、种子凹沟等性状进行鉴定，依次记录各性状类型并对其进行赋值（表1）。

1.3.2 数量性状测定 使用电子天平（精度0.01 g、0.001 g、0.000 1 g）分别测量单果质量和百果质量、千粒质量、果皮质量；使用数显游标卡尺（精度0.01 mm）测量果柄长度、果实纵径、果实横径、种子长度、种子宽度和果皮厚度。根据果形指数的比较结果和划分标准（果形指数：<0.90为扁圆形；0.91~1.10为圆形；1.11~1.40为卵圆形；>1.41为圆柱形）判断果实形状。根据公式计算沙棘果形指数、种形指数、果实体积与种子体积[25]、变异系数（Coefficient of variation，*CV*）及Shannon-Weaver多样性指数*H'*[26]。计算公式如下：

$$\text{果形指数} = \text{果实纵径}/\text{果实横径}； \quad (1)$$

$$\text{种形指数} = \text{种子长度}/\text{种子宽度}； \quad (2)$$

$$\text{果实体积}/mm^3 = 4\pi abc/3； \quad (3)$$

$$\text{种子体积}/mm^3 = 4\pi\,\mathrm{def}/3； \quad (4)$$

$$CV/\% = （\text{标准差}/\text{平均值}）\times 100； \quad (5)$$

$$H' = -\sum Pi \ln Pi。 \quad (6)$$

（3）、（4）式中，a=b=果实横径/2；c=果实纵径；d=e=种子宽度/2；f=种子长度/2。

（6）式中，$P_i$为某一性状在第i个级别出现的频率。

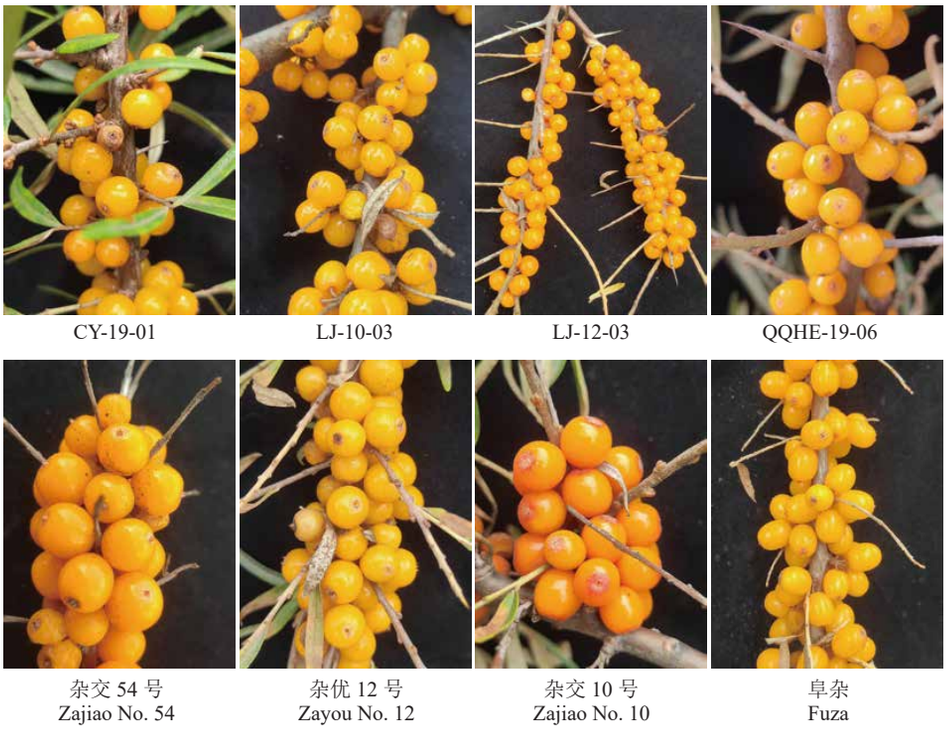



**图 1　部分沙棘种质**

**Fig. 1　Selected sea buckthorn germplasms**

**表 1　沙棘表型性状的描述规范**

**Table 1　Description of phenotypic traits of sea buckthorn**

| 性状 Trait | 描述规范 Descriptive specification | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 果实形状 Berry shape, BS | | 扁圆形 Oblate | 圆形 Round | 椭圆形 Elliptical | 圆柱形 Cylinder |
| 种子形状 Seed shape, SS | | 卵圆形 Oval round | 长卵圆形 Ovate-oblong | | |
| 种子颜色 Seed coat color, SCC | | 褐色 Brown | 棕褐色 Chocolate brown | 深褐色 Dark brown | |
| 种子凹沟 Hollow of seed, HS | 无 Absent | 有 Present | | | |

### 1.4　数据处理与分析

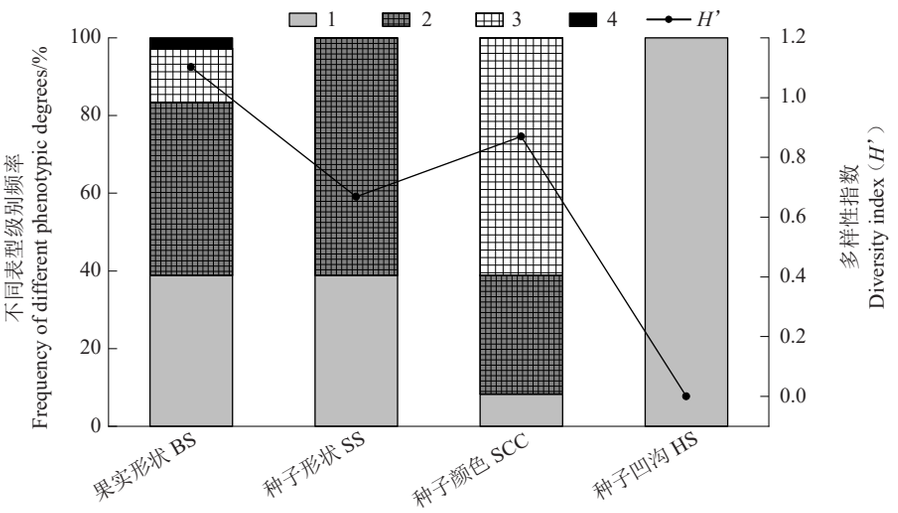
使用Microsoft Excel 2022 软件对试验数据进行统计整理，采用SPSS Statistics 25.0软件进行变异分析、聚类分析与主成分分析，利用Origin 2025 软件进行相关性分析和作图。

## 2　结果与分析

### 2.1　不同沙棘种质果实与种子表型性状多样性分析

如图2所示，质量性状的多样性指数（*H'*）均值为0.69，其中果实形状的多样性指数（1.14）最高，表明其在不同描述类型中均衡分布；其次是种子颜色（0.95）。36份沙棘种质中果实形状以扁圆形（40.74%）居多，其次是圆形（38.43%），圆柱形（2.78%）最低。种子形状以长卵圆形（59.72%）为主；种子颜色多数表现为深褐色（54.17%），棕褐色（33.80%）次之。种子凹沟的多样性指数最小，供试沙棘种质的种子均具有凹沟，表明该性状在不同描述类型中分布比较稳定。

由表2可知，36份沙棘种质间性状的差异较大，遗传变异较丰富。果实数量性状的变异系数均值为34.10%，其中果柄长、果实体积、单果质量、种子体积、外果皮质量和厚度、内果皮质量与厚度这8个性状的变异系数均在30%以上，变异程度较大。其中，




色块 1~4 分别代表表 1 中各性状的不同表型级别，其长度代表各个级别频率（左侧 *Y* 轴）；折线表示多样性指数（右侧 *Y* 轴）。

The color blocks 1-4 represent the different phenotypic degrees as listed in Table 1, with the length of each block indicating the frequency of that every degree (on the *Y*-axis labeled on the left) and the line depicting the diversity index (on the *Y*-axis labeled on the right).

**图 2 36 份沙棘种质质量性状频率分布和多样性指数**

**Fig. 2 Frequency distribution and diversity index of quality traits in 36 sea buckthorn germplasms**

**表 2 36 份沙棘种质数量性状多样性分析**

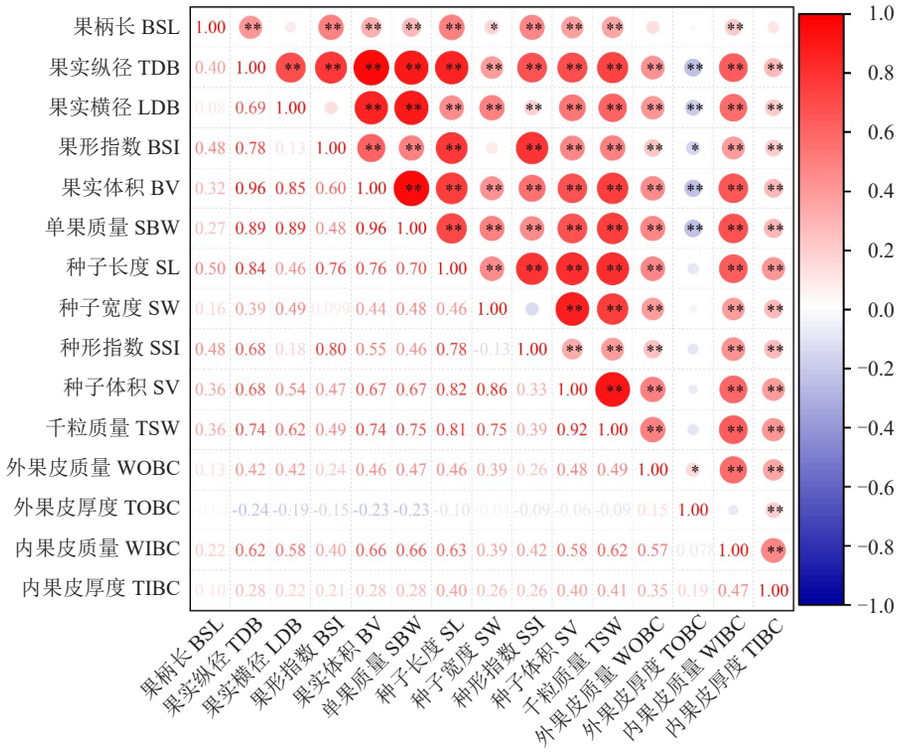
**Table 2 Diversity analysis of quantitative traits in 36 sea buckthorn germplasms**

| 数量性状 Quantitative traits | 均值 Mean | 标准差 SD | 极大值 Max. | 极小值 Min. | 极差 Range | 变异系数 Coefficient of variation，*CV*/% | 多样性指数 *DI*（*H'*） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 果柄长度 Berry stalk length，BSL/mm | 1.77 | 0.55 | 3.83 | 0.55 | 3.28 | 30.95 | 2.05 |
| 果实纵径 Longitudinal diameter of berry，LDB/mm | 7.50 | 1.80 | 13.55 | 4.20 | 9.35 | 24.03 | 1.96 |
| 果实横径 Transverse diameter of berry，TDB/mm | 7.57 | 1.04 | 10.38 | 4.91 | 5.47 | 13.78 | 2.07 |
| 果形指数 Berry shape index，BSI | 0.99 | 0.16 | 1.59 | 0.67 | 0.92 | 16.59 | 1.88 |
| 果实体积 Berry volume，BV/mm$^3$ | 226.70 | 113.32 | 606.31 | 48.77 | 557.54 | 49.99 | 1.98 |
| 单果质量 Single berry mass，SBW/g | 0.30 | 0.14 | 0.80 | 0.08 | 0.72 | 46.09 | 2.03 |
| 种子长度 Seed length，SL/mm | 4.46 | 0.84 | 6.71 | 2.98 | 3.73 | 18.78 | 2.05 |
| 种子宽度 Seed width，SW/mm | 2.64 | 0.30 | 3.33 | 1.88 | 1.45 | 11.46 | 2.06 |
| 种形指数 Seed shape index，SSI | 1.69 | 0.27 | 2.46 | 1.02 | 1.44 | 16.04 | 2.03 |
| 种子体积 Seed volume，SV/mm$^3$ | 16.80 | 5.71 | 35.87 | 5.92 | 29.95 | 33.96 | 2.03 |
| 千粒质量 Thousand seed mass，TSW/g | 13.58 | 3.92 | 24.00 | 4.50 | 19.50 | 28.85 | 2.08 |
| 外果皮质量 Weight of outer berry coat，WOBC/g | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 49.65 | 1.93 |
| 外果皮厚度 Thickness of outer berry coat，TOBC/mm | 0.03 | 0.02 | 0.30 | 0.01 | 0.29 | 68.42 | 1.25 |
| 内果皮质量 Weight of inner berry coat，WIBC/g | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 68.29 | 1.83 |
| 内果皮厚度 Thickness of inner berry coat，TIBC/mm | 0.06 | 0.02 | 0.10 | 0.02 | 0.08 | 34.66 | 2.01 |

外果皮厚度的变异系数（68.42%）最大，其次是内果皮质量（68.29%），种子宽度的变异系数最小，仅为11.46%。15个数量性状的多样性指数（*H'*）均值为1.95，明显高于质量性状（0.69），表明数量性状的遗传多样性更丰富。其中，果柄长度、果实横径、单果质量、种子长度、种子宽度、种形指数、种子体积、千粒质量和内果皮厚度这9个性状的多样性指数均大于2，表明这类性状在不同沙棘种质间的差异较大。其中，以千粒质量（2.08）的多样性指数最高，果实横径（2.07）和种子宽度（2.06）次之，外果皮厚度（1.25）最低。

## 2.2 不同沙棘种质果实与种子表型性状相关性分析

相关性分析（图3）结果表明，在果实表型性状方面，果实纵径和果实横径均与果实体积、单果质量、千粒质量、内果皮质量呈极显著正相关（*P*<




*表示显著相关（$P<0.05$），**表示极显著相关（$P<0.01$）。

* indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

**图3　36份沙棘种质数量性状相关性分析**

**Fig. 3　Correlation analysis of quantitative traits in 36 sea buckthorn germplasms**

0.01），单果质量与果实体积、内果皮质量的相关系数分别为0.96、0.66；在种子表型性状方面，种子长度和种子宽度均与种子体积、千粒质量呈极显著正相关（$P<0.01$）。综合果实与种子表型性状可知，千粒质量和种子长度均与果实纵径、单果质量、内果皮质量呈极显著正相关（$P<0.01$），果形指数与种子长度、种形指数的相关系数分别为0.76、0.80。沙棘种质果实与种子表型性状间存在较复杂的相关关系。

### 2.3　不同沙棘种质果实与种子表型性状聚类分析

对36份沙棘种质果实的15个数量性状进行系统聚类分析，结果显示（图4，表3），当遗传距离为12.5时，可将其分为3类。第Ⅰ类包含32份种质，其种子宽度、种子体积、千粒质量、果皮质量与厚度均最小，其余性状指标仅次于第Ⅲ类群，表明该类群种子质量较小、果皮轻薄，果实大小中等。第Ⅱ类仅包含YY-17-13种质，其外果皮质量和厚度、内果皮厚度均大于其余类群，而果柄长度、果实纵径和横径、果形指数、果实体积、单果质量、种子长度、种形指数均最小，表明该类群主要表现为果皮较厚、果实较小、果柄较短，果实成熟期采摘难度较大。第Ⅲ类包含3份种质，除外果皮质量与厚度及内果皮厚度外，其他性状指标在3个类群中均最大，表明此类群果实和种子较大，果实采摘难度较小，且果实外观品质较好。

### 2.4　不同沙棘种质果实与种子表型性状主成分分析与综合评价

对36份沙棘种质的15个果实数量性状数据标准化处理后进行主成分分析。结果显示（表4），共提取了3个主成分，其贡献率分别为58.477%、13.479%、8.055%，累计贡献率达80.011%，较好地反映了沙棘果实表型性状的综合信息。主成分1中载荷量绝对值较大的表型性状为果实横径、果实体积、种子长度、单果质量、千粒质量、种子体积、内果皮质量、果形指数、果实纵径和种形指数，主要反映了果实和种子的质量与形状；主成分2主要表征外果皮厚度；主成分3中的载荷量绝对值较大的为内果皮厚度。

进一步对沙棘果实表型性状进行综合评价，计算综合得分值（$F$），数值越大，则该种质果实的综合性状表现越好。由表5可知，$F$值的变化范围为−3.772~5.510，其中2013-05、杂优2号、阜杂、LJ-10-03、LJ-10-56、杂优1号的排名相对靠前，综合性

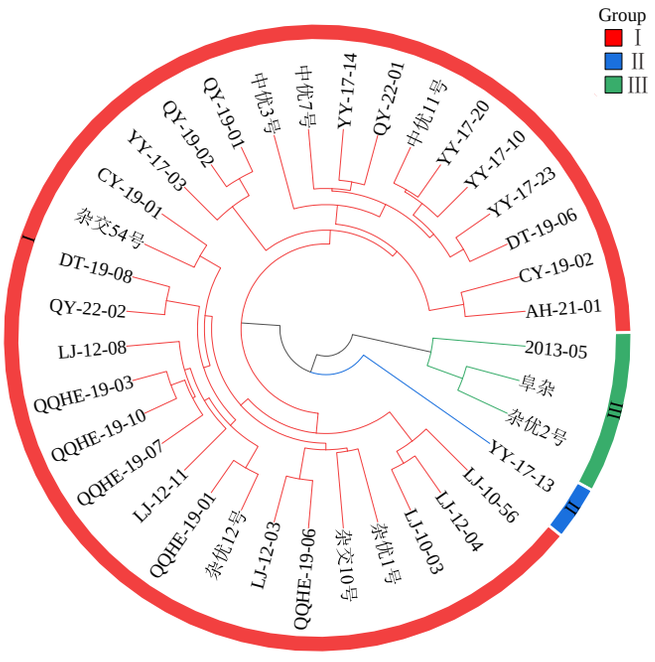



**图 4 36 份沙棘种质数量性状聚类分析**

**Fig. 4 Cluster analysis of quantitative traits in 36 sea buckthorn germplasms**

**表 3 36 份沙棘种质各类群数量性状主要特征**

**Table 3 Main characteristics of various groups of quantitative traits in 36 sea buckthorn germplasms**

| 序号 No. | 性状 Traits | Ⅰ类（*n*=32）Group Ⅰ（*n*=32） | Ⅱ类（*n*=1）Group Ⅱ（*n*=1） | Ⅲ类（*n*=3）Group Ⅲ（*n*=3） |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 果柄长度 BSL/mm | 1.77 | 1.29 | 2.20 |
| 2 | 果实纵径 LDB/mm | 7.18 | 5.71 | 11.54 |
| 3 | 果实横径 TDB/mm | 7.46 | 7.45 | 8.84 |
| 4 | 果形指数 BSI | 0.96 | 0.77 | 1.31 |
| 5 | 果实体积 BV/mm³ | 206.67 | 127.73 | 473.01 |
| 6 | 单果质量 SBW/g | 0.28 | 0.21 | 0.61 |
| 7 | 种子长度 SL/mm | 4.30 | 4.28 | 6.22 |
| 8 | 种子宽度 SW/mm | 2.62 | 3.03 | 2.79 |
| 9 | 种形指数 SSI | 1.65 | 1.41 | 2.24 |
| 10 | 种子体积 SV/mm³ | 15.85 | 20.67 | 25.64 |
| 11 | 千粒质量 TSW/g | 10.835 | 14.333 | 20.761 |
| 12 | 外果皮质量 WOBC/g | 0.005 9 | 0.010 8 | 0.008 8 |
| 13 | 外果皮厚度 TOBC/mm | 0.03 | 0.09 | 0.03 |
| 14 | 内果皮质量 WIBC/g | 0.001 6 | 0.001 8 | 0.005 7 |
| 15 | 内果皮厚度 TIBC/mm | 0.05 | 0.08 | 0.07 |

**表 4 36 份沙棘种质主成分分析结果**

**Table 4 Principal component analysis results in 36 sea buckthorn germplasms**

| 性状 Traits | 主成分 Principal component | | |
|---|---|---|---|
| | PC1 | PC2 | PC3 |
| 果实横径 TDB | 0.950 | −0.233 | −0.060 |
| 果实体积 BV | 0.946 | −0.132 | −0.153 |
| 种子长度 SL | 0.944 | −0.113 | 0.179 |
| 单果质量 SBW | 0.938 | −0.056 | −0.205 |
| 千粒质量 TSW | 0.922 | 0.214 | −0.100 |
| 种子体积 SV | 0.861 | 0.207 | −0.034 |
| 内果皮质量 WIBC | 0.818 | 0.133 | 0.023 |
| 果形指数 BSI | 0.778 | −0.461 | 0.247 |
| 果实纵径 LDB | 0.760 | 0.197 | −0.467 |
| 种形指数 SSI | 0.716 | −0.478 | 0.420 |
| 果柄长度 BSL | 0.610 | −0.267 | 0.121 |
| 种子宽度 SW | 0.602 | 0.585 | −0.342 |
| 外果皮质量 WOBC | 0.522 | 0.476 | 0.215 |
| 外果皮厚度 TOBC | −0.096 | 0.726 | 0.433 |
| 内果皮厚度 TIBC | 0.480 | 0.425 | 0.523 |
| 特征值 Eigen value | 8.772 | 2.022 | 1.208 |
| 贡献率 Contribution rate/% | 58.477 | 13.479 | 8.055 |
| 累计贡献率 Total contribution rate/% | 58.477 | 71.956 | 80.011 |

状优良。

## 3 讨 论

植物表型性状因自身遗传物质、环境及其他因素的影响而具有一定程度的变异性[27]，可直接反映植物的遗传多样性，在植物优良品种的选育过程中具有重要意义[28-29]。植物表型性状的变异系数与多样性指数可以反映不同品种（系）间的差异程度与多样性水平，其中变异系数与其环境的适应能力密切相关[30]。在本研究中，36 份沙棘种质的果实表型性

**表5　36份沙棘种质主成分综合评价**

**Table 5　Comprehensive evaluation of principal components in 36 sea buckthorn germplasms**

| 种质 Germplasm | 主成分值 Math of principal component | | | | 排名 Ranking |
|---|---|---|---|---|---|
| | *F*1 | *F*2 | *F*3 | *F* | |
| AH-21-01 | −1.125 | 1.688 | −0.591 | −0.598 | 22 |
| CY-19-01 | 0.506 | 1.005 | 1.994 | 0.740 | 13 |
| CY-19-02 | −0.555 | 1.874 | −0.215 | −0.112 | 19 |
| DT-19-06 | −3.218 | −1.994 | −1.373 | −2.826 | 33 |
| DT-19-08 | −1.756 | 1.043 | 0.282 | −1.080 | 24 |
| QY-19-01 | −4.576 | −1.225 | 1.737 | −3.375 | 35 |
| QY-19-02 | −5.053 | −1.590 | 1.870 | −3.772 | 36 |
| QY-22-01 | −3.284 | 0.055 | 0.085 | −2.383 | 31 |
| QY-22-02 | −1.010 | 0.376 | 0.382 | −0.636 | 23 |
| YY-17-03 | −3.816 | −0.270 | 1.718 | −2.662 | 32 |
| YY-17-10 | −2.097 | 0.140 | −1.608 | −1.672 | 28 |
| YY-17-13 | −1.252 | 5.162 | 1.701 | 0.124 | 17 |
| YY-17-14 | −2.909 | −0.297 | 0.095 | −2.167 | 30 |
| YY-17-20 | −1.296 | −0.278 | −1.454 | −1.141 | 25 |
| YY-17-23 | −2.284 | −1.378 | −0.804 | −1.982 | 29 |
| 中优 11 号 Zhongyou No. 11 | −1.841 | −0.024 | −1.661 | −1.518 | 27 |
| 中优 7 号 Zhongyou No. 7 | −1.861 | 1.038 | −2.248 | −1.413 | 26 |
| 中优 3 号 Zhongyou No. 3 | −3.782 | −0.488 | −1.745 | −3.023 | 34 |
| LJ-10-03 | 3.592 | 1.176 | −0.409 | 2.782 | 4 |
| LJ-10-56 | 3.127 | 2.004 | −0.681 | 2.554 | 5 |
| LJ-12-03 | 2.292 | 0.268 | −0.600 | 1.660 | 8 |
| LJ-12-04 | 2.195 | 1.271 | −0.605 | 1.757 | 7 |
| LJ-12-08 | 0.742 | 0.900 | −0.167 | 0.677 | 14 |
| LJ-12-11 | 1.828 | −0.080 | 0.951 | 1.419 | 10 |
| QQHE-19-01 | −0.128 | −1.670 | 0.315 | −0.342 | 20 |
| QQHE-19-03 | 1.335 | −0.465 | 1.340 | 1.033 | 12 |
| QQHE-19-06 | 1.666 | −0.359 | −0.641 | 1.093 | 11 |
| QQHE-19-07 | −0.127 | −0.441 | 0.990 | −0.067 | 18 |
| QQHE-19-10 | 0.734 | −1.087 | 0.555 | 0.410 | 15 |
| 杂交 54 号 Zajiao No. 54 | 0.251 | 0.503 | 0.331 | 0.301 | 16 |
| 杂优 12 号 Zayou No. 12 | −0.107 | −2.035 | 0.028 | −0.417 | 21 |
| 杂交 10 号 Zajiao No. 10 | 2.019 | 0.380 | −0.799 | 1.459 | 9 |
| 杂优 2 号 Zayou No. 2 | 5.859 | −0.852 | 0.459 | 4.186 | 2 |
| 杂优 1 号 Zayou No. 1 | 3.034 | −1.672 | 0.606 | 1.998 | 6 |
| 阜杂 Fuza | 5.058 | −1.305 | 0.060 | 3.484 | 3 |
| 2013-05 | 7.840 | −1.375 | 0.102 | 5.510 | 1 |

状存在丰富的多样性。质量性状的遗传多样性指数为0.00~1.14，果实形状的遗传多样性指数最大，表明供试沙棘种质的果实形状变异类型较丰富，以扁圆形为主。种子凹沟的多样性指数最小，且供试沙棘种质的种子均具有凹沟，未出现无凹沟类型，具有较强的稳定性。在本试验中，果柄长度与单果质量的变异程度较大，果实纵径的变异系数大于果实横径，表明果实横径具有更强的遗传稳定性，与前人研究结果一致[13]；其多样性指数介于1.25~2.08之间，单果质量、果实纵径、果实横径、果形指数、千粒质量、种子长度、种子宽度、种形指数等表型性状的遗传多样性指数较高，蕴含的变异信息较丰富，但与果实、种子形状相关的性状变异程度较小，与戈素芬等[13]、谢嗣荣等[14]的研究结果一致，表明果实和种子质量方面具有较大的遗传改良潜力，可作为沙棘种质资源筛选的重要因子之一。本研究中，36份沙棘种质的质量性状多样性指数均值（0.69）低于数量性状（1.95），表明数量性状的多样性更丰富[31-33]，能够为后续育种工作提供一定参考。

相关性分析结果表明，沙棘果实与种子的多数表型性状存在显著相关关系（$P<0.05$），当其中一个性状指标发生变化时可能会引起其他指标的变化，从而为品种的遗传改良提供了可能，该结果与前人对沙棘果实表型性状的研究相近[34]。果形指数与果实纵径、种形指数的相关系数分别为0.78、0.80，表明果形指数不仅可反映果实形状，主要受种子形状的影响，还与果实纵径密切相关。在果实表型性状方面，果实纵径和果实横径均与果实体积、单果质量、千粒质量、内果皮质量呈极显著正相关（$P<0.01$），表明果实纵径与果实横径共同影响果实体积、果实和种子及内果皮质量，且果实纵径的影响更大。在种子表型性状方面，种子长度和宽度均与种子体积、千粒质量呈极显著正相关（$P<0.01$），表明种子长度和宽度共同影响了种子体积与质量，其中，种子宽度对种子体积的影响更大，而对种子质量的影响更小。果实体积、单果质量、种子体积、千粒质量、外果皮质量及内果皮质量各性状间的相关系数均较高，表明果实、种子与果皮质量间存在相互影响和协同关系。

本研究通过聚类分析将36份沙棘种质分为3个类群。第Ⅰ类群可用于选育果皮轻薄和中等果个的种质。第Ⅱ类群的外果皮质量和厚度、内果皮厚度均高于其余类群，而果柄长度、果实纵径和横径、果形指数、果实体积、单果质量、种子长度、种形指数则低于第Ⅰ、Ⅲ类群，属于小果型，且果柄长度仅为1.29 mm。果柄长度影响果实采摘和处理的便利性，可反映果实可采收性[20]；果柄越长越有利于采收，因此，此类群果

实成熟时的采摘难度较大，且果皮最厚；第Ⅲ类可用于选育大果、长果柄型种质，其与西藏野生沙棘聚类分析[12]中第1类群的总体特征相似。本试验结果表明，大果型沙棘种质的果柄长度大于小果型沙棘，与唐克等[23]研究结果相同。因此，长果柄且易于采收可作为选育优良沙棘种质的重要指标之一[35]。此外，沙棘果实与种子表型性状是反映果实品质的重要参数，可直接影响感官品质、商品价值和采收效率，与环境适应性和生存繁殖策略密切相关[12]。其中，百果质量可直观反映果实大小和丰产性，是影响沙棘果实产量与商品品质的重要因素。因此，果实和种子的大小与质量对优良种质筛选具有重要意义。

主成分分析已广泛应用于植物品种（系）表型性状的综合评价。本研究通过此方法筛选到3个主成分，累计贡献率达80.011%，能较好地反映数量性状的基本特性。果实纵径、种子长度、单果质量、千粒质量、种子体积等的载荷量绝对值较大，是导致沙棘种质果实表型性状差异的主要因素。进一步结合相关性分析，可筛选出果实纵径、种子长度、单果质量、千粒质量、果皮厚度5个核心性状，作为鉴定和评价沙棘种质的重要依据。植物种质资源综合评价是育种过程中的重要环节之一[36]，可较为全面、客观地计算多个性状的综合得分，从而对不同种质的性状进行比较和评价[37-38]。根据综合得分值$F$可知，2013-05、杂优2号等种质的果实与种子综合表现优良，而中国沙棘表现较差。但研究表明，大果沙棘存在成熟期提前、采收贮存困难、产量下降等问题[39]；杂交沙棘的抗逆性和抗病性较弱、对环境的适应性较差；而中国沙棘在我国分布面积最广、数量最多、生态经济利用程度最高[40]，具有抗逆性好、易成活、适应性强等特点，且黄酮含量较高[41]。因此，仅依据不同沙棘种质果实与种子的表型性状进行综合评价，存在一定程度的局限性。后续研究可结合沙棘的其他性状与品质指标开展综合分析，为筛选适合青海高寒地区种植且具有优良性状与品质的沙棘资源提供参考。

## 4 结 论

青海高寒地区不同沙棘种质的果实与种子表型性状具有丰富的多样性，划分为3个不同特性的类群；基于相关性分析与主成分分析筛选出5个沙棘果实表型性状评价的主要指标，并综合评价出6份在果实与种子表型性状方面表现优异的种质，可作为该地区沙棘品种（系）选育的核心亲本。

## 参考文献 References：


[1] 夏立泉，韩富忠，冶俊森 . 沙棘在吉林西部退化土地治理中的作用[J]. 国际沙棘研究与开发，2009，7(2)：20-23.
Xia Liquan，Han Fuzhong，Ye Junsen. Significance of seabuckthorn in degraded land management of west Jilin Province[J]. The Global Seabuckthorn Research and Development，2009，7(2)：20-23.

[2] 周帅 . 西藏3种沙棘植物形态解剖特征及其环境适应性研究[D]. 林芝：西藏农牧学院，2023.
Zhou Shuai. Morphological and anatomical characteristics and environmental adaptability of three species of *Hippophae* in Tibet[D]. Linzhi：Xizang Agricultural and Animal Husbandry University，2023.

[3] Liu J W，Bai J W，Shao C T，Yao S N，Xu R，Duan S Y，Wang L B，Xu Y Q，Yang Y. Optimization of ultrasound-assisted aqueous two- phase extraction of polysaccharides from seabuckthorn fruits using response methodology，physicochemical characterization and bioactivities[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture，2023，103(6)：3168-3183.

[4] Hao Y K，Zhou F B，Dong J J，Wang Y，Lang Z F，Li S，Li S. Study on the role of flavonoids derived extract from seed residues of *Hippophae rhamnoides* on high-fat diet induced obese mice[J]. Journal of King Saud University - Science，2020，32(2)：1597-1603.

[5] 李曦光，李萧婷，王蕾，高健，罗磊 . 基于空间差异的新疆沙棘资源果实品质及营养成分分析[J]. 农业工程学报，2023，39(23)：268-275.
Li Xiguang，Li Xiaoting，Wang Lei，Gao Jian，Luo Lei. Fruit quality and medicinal components in Xinjiang sea buckthorn under spatial distribution differences[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2023，39(23)：268-275.

[6] 方贵平，毕金峰，刘春海，岳丽华，李旋，刘佳，王雅 . 中国四个地区代表性沙棘果实综合品质评价[J]. 农业工程学报，2022，38(21)：249-260.
Fang Guiping，Bi Jinfeng，Liu Chunhai，Yue Lihua，Li Xuan，Liu Jia，Wang Ya. Evaluation of the comprehensive quality of sea buckthorn fruit in four areas of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2022，38(21)：249-260.

[7] Wang K W，Xu Z Z，Liao X J. Bioactive compounds，health benefits and functional food products of sea buckthorn：A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition，2022，62(24)：6761-6782.

[8] 刁松锋，邵文豪，姜景民，董汝湘，孙洪刚 . 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究[J]. 生态学报，2014，34(6)：1451-1460.
Diao Songfeng，Shao Wenhao，Jiang Jingmin，Dong Ruxiang，Sun Honggang. Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits[J]. Acta Eco-

logica Sinica，2014，34(6)：1451-1460.

[9] 刘志龙，虞木奎，唐罗忠，方升佐 . 不同种源麻栎种子形态特征和营养成分含量的差异及聚类分析[J]. 植物资源与环境学报，2009，18(1)：36-41.
Liu Zhilong，Yu Mukui，Tang Luozhong，Fang Shengzuo. Variation and cluster analyses of morphological characters and nutrient content of *Quercus acutissima* seed from different provenances[J]. Journal of Plant Resources and Environment，2009，18(1)：36-41.

[10] 赵鑫丹，张东为，戈素芬，李前，阮成江 . 沙棘果实和种子表型性状及变异分析[J]. 种子，2023，42(9)：105-112.
Zhao Xindan，Zhang Dongwei，Ge Sufen，Li Qian，Ruan Chengjiang. Analysis on variation and phenotypic characters in berries and seeds of *Hippophae rhamnoides*[J]. Seed，2023，42(9)：105-112.

[11] 余天蓝，程功，曼苏尔•那斯尔，赵世荣，牛莹莹，赵英，廖康 . 新疆 6 个天然居群野生沙棘果实性状多样性研究[J]. 果树学报，2018，35(5)：548-556.
Yu Tianlan，Cheng Gong，Mansur Nasir，Zhao Shirong，Niu Yingying，Zhao Ying，Liao Kang. Study on fruit diversity of wild seabuckthorn in Xinjiang[J]. Journal of Fruit Science，2018，35(5)：548-556.

[12] 高文于，杨际学，吕庆鑫，白有志，杨红 . 西藏 5 种野生沙棘果实及种子表型性状差异分析[J]. 经济林研究，2025，43(2)：148-157.
Gao Wenyu，Yang Jixue，Lü Qingxin，Bai Youzhi，Yang Hong. Analysis of phenotypic differences in fruits and seeds of 5 wild *Hippophae rhamnoides* species in Xizang[J]. Non-wood Forest Research，2025，43(2)：148-157.

[13] 戈素芬，张东为，任丽华，胡建忠，温秀凤 . 辽西 8 个俄罗斯第三代大果沙棘良种的果实特性和生长节律的比较[J]. 经济林研究，2021，39(3)：49-57.
Ge Sufen，Zhang Dongwei，Ren Lihua，Hu Jianzhong，Wen Xiufeng. Comparison of berry characteristics and growth rhythm of 8 third generation seabuckthorns from Russia in western Liaoning，China[J]. Non-wood Forest Research，2021，39(3)：49-57.

[14] 谢嗣荣，吴帅，蔡金峰，曹福亮 . 内蒙古不同种群沙棘种子性状变异及其稳定性分析[J]. 林业科技开发，2015，29(6)：55-58.
Xie Sirong，Wu Shuai，Cai Jinfeng，Cao Fuliang. The variation and stability of seed characters among different places of origin of the *Hippophae rhamnoides* in Inner Mongolia[J]. China Forestry Science and Technology，2015，29(6)：55-58.

[15] 张学峰，杨双云，蔡红，黄豆，叶代全，边黎明 . 遗传改良对杉木针叶和种实性状的影响[J]. 广西植物，2023，43(7)：1296-1307.
Zhang Xuefeng，Yang Shuangyun，Cai Hong，Huang Dou，Ye Daiquan，Bian Liming. Effects of genetic improvement on traits of needle and cone of *Cunninghamia lanceolata*[J]. Guihaia，2023，43(7)：1296-1307.

[16] 赵崇斌，郭乙含，李舒庆，徐红霞，黄天启，林顺权，陈俊伟，杨向晖 . 宁海白×大房枇杷 $F_1$ 杂交群体果实性状的相关性及遗传分析[J]. 果树学报，2021，38(7)：1055-1065.
Zhao Chongbin，Guo Yihan，Li Shuqing，Xu Hongxia，Huang Tianqi，Lin Shunquan，Chen Junwei，Yang Xianghui. Correlation and genetic analysis of fruit traits in $F_1$ hybrid population of loquat generated from Ninghaibai × Dafang[J]. Journal of Fruit Science，2021，38(7)：1055-1065.

[17] Zhang Z R，Li W Y，Dong Y Y，Liu J X，Lan Q Y，Yang X，Xin P Y，Gao J. Geographic cline and genetic introgression effects on seed morphology variation and germination fitness in two closely related pine species in Southeast Asia[J]. Forests，2022，13(3)：374.

[18] Li Z X，Wang W H，Zhang H X，Liu J H，Shi B Y，Dai W Z，Liu K W，Zhang H G. Diversity in fruit morphology and nutritional composition of *Juglans mandshurica* Maxim in Northeast China[J]. Frontiers in Plant Science，2022，13：820457.

[19] 吴琼 . 中国沙棘、云南沙棘表型多样性研究[D]. 兰州：西北师范大学，2007.
Wu Qiong. Study on phenotypic diversity in *H. rhamnoides* subsp. *sinensis* and *H. rhamnoides* subsp. *yunnanensis* with a discussion on origin of *H. goniocarpa*[D]. Lanzhou：Northwest Normal University，2007.

[20] 张建国，罗红梅，黄铨，单金友，王春艳 . 大果沙棘不同品种果实特性比较研究[J]. 林业科学研究，2005，18(6)：643-650.
Zhang Jianguo，Luo Hongmei，Huang Quan，Shan Jinyou，Wang Chunyan. A comparative study on berry characteristics of large berry cultivars of sea buckthorn[J]. Forest Research，2005，18(6)：643-650.

[21] 赵东晓 . 我国第二阶段第二期（2021—2030 年）沙棘育种工作草案[J]. 中国水土保持，2020(2)：32-33.
Zhao Dongxiao. The draft of seabuckthorn breeding working in phase ii of the second stage of China from 2021 to 2030[J]. Soil and Water Conservation in China，2020(2)：32-33.

[22] 王丹，陈超 . 砒砂岩区沙棘生态工程建设的实践与思考[J]. 中国水土保持，2022(9)：51-54.
Wang Dan，Chen Chao. Practice and consideration on ecological engineering construction of seabuckthorn in arsenic sandstone areas[J]. Soil and Water Conservation in China，2022(9)：51-54.

[23] 唐克，吴雨蹊，王蕊，陶猛，单金友，周双，焦奎宝，王明洁，丁健 . 东北黑土区沙棘杂交品种（系）果实性状及营养成分比较[J]. 经济林研究，2023，41(3)：286-295.
Tang Ke，Wu Yuxi，Wang Rui，Tao Meng，Shan Jinyou，Zhou Shuang，Jiao Kuibao，Wang Mingjie，Ding Jian. Comparison of fruit characters and nutrient components of seabuckthorn hybrids (lines) in the black soil region of Northeast China[J]. Non-wood Forest Research，2023，41(3)：286-295.

[24] 宋洪伟，张冰冰 . 沙棘种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京：中国农业出版社，2006.
Song Hongwei，Zhang Bingbing. Descriptors and data standard for seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.)[M]. Beijing：China Agriculture Press，2006.

[25] 梅源，金小朵，段冰冰，王新，苏周晨星，任一嬰，刘旭 . 赤霞珠葡萄果实酚成熟度与果皮质地特性的关系[J]. 西北林学院学报，2021，36(1)：132-138.
Mei Yuan，Jin Xiaoduo，Duan Bingbing，Wang Xin，Su Zhou-

chenxing，Ren Yizhao，Liu Xu. Relationship between phenolic maturity and skin textural properties for Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*) grapes[J]. Journal of Northwest Forestry University，2021，36(1)：132-138.

[26] 张建霞，姜成英，吴文俊，戚建莉，金高明，张荣，姚玉芳 . 陇南98份油橄榄种质表型多样性分析[J]. 果树学报，2025，42(9)：1991-2002.
Zhang Jianxia，Jiang Chengying，Wu Wenjun，Qi Jianli，Jin Gaoming，Zhang Rong，Yao Yufang. Phenotypic diversity analysis of 98 olive germplasm accessions in Longnan[J]. Journal of Fruit Science，2025，42(9)：1991-2002.

[27] 李颖，张树航，郭燕，张馨方，王广鹏 . 中国板栗可溶性糖相关性状多样性分析[J]. 植物遗传资源学报，2023，24(2)：493-504.
Li Ying，Zhang Shuhang，Guo Yan，Zhang Xinfang，Wang Guangpeng. Diversity analysis of soluble sugar related traits in Chinese chestnut[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2023，24(2)：493-504.

[28] 段九菊，梁峥，贾民隆，宋卓琴，张超，曹冬梅 . 山西省萱草属野生资源的表型多样性分析[J]. 植物资源与环境学报，2021，30(6)：29-38.
Duan Jiuju，Liang Zheng，Jia Minlong，Song Zhuoqin，Zhang Chao，Cao Dongmei. Phenotypic diversity analysis of wild resources of *Hemerocallis* in Shanxi province[J]. Journal of Plant Resources and Environment，2021，30(6)：29-38.

[29] Liu D L，Wang X Q，Li W S，Li J J，Tan W B，Xing W. Genetic diversity analysis of the phenotypic traits of 215 sugar beet germplasm resources[J]. Sugar Tech，2022，24(6)：1790-1800.

[30] 董胜君，王若溪，张皓凯，陈建华，刘立新，于庆福 . 不同种源东北杏果实表型性状多样性分析[J]. 植物资源与环境学报，2020，29(6)：42-50.
Dong Shengjun，Wang Ruoxi，Zhang Haokai，Chen Jianhua，Liu Lixin，Yu Qingfu. Analysis on diversity of fruit phenotypic characters of *Armeniaca mandshurica* from different provenances[J]. Journal of Plant Resources and Environment，2020，29(6)：42-50.

[31] 尹明宇，高福玲，乌云塔娜 . 内蒙古西伯利亚杏种质资源表型多样性研究[J]. 植物遗传资源学报，2017，18(2)：242-252.
Yin Mingyu，Gao Fuling，Wuyun Tana. High-level genetic diversity of Siberian Apricot (*Armeniaca sibirica*) in Inner Mongolia revealed by phenotyping[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2017，18(2)：242-252.

[32] 董胜君，孙永强，陈建华，卢彩云，刘权钢，刘立新 . 野杏无性系表型性状多样性分析及综合评价[J]. 植物遗传资源学报，2020，21(5)：1156-1166.
Dong Shengjun，Sun Yongqiang，Chen Jianhua，Lu Caiyun，Liu Quangang，Liu Lixin. Phenotypic traits diversity analysis and comprehensive evaluation of *Armeniaca vulgaris* var. *ansu* clones[J]. Journal of Plant Genetic Resources，2020，21(5)：1156-1166.

[33] 董胜君，陈建华，刘立新，刘明国，吴月亮，夏泽臻 . 不同种源西伯利亚杏表型性状多样性研究[J]. 沈阳农业大学学报，2018，49(6)：686-696.
Dong Shengjun，Chen Jianhua，Liu Lixin，Liu Mingguo，Wu Yueliang，Xia Zezhen. Research on phenotypic trait diversity of *Armeniaca sibirica* from different provenances[J]. Journal of Shenyang Agricultural University，2018，49(6)：686-696.

[34] 乌丽雅斯，段爱国，张建国 . 不同生境中亚沙棘亚种表型遗传分化规律研究[J]. 国际沙棘研究与开发，2011，9(1)：16-23.
Wu Liyasi，Duan Aiguo，Zhang Jianguo. Study on phenotypic genetical diversity of *H. rhamnoides* subsp. *turkestanica*[J]. The Global Seabuckthorn Research and Development，2011，9(1)：16-23.

[35] 黄铨，佟金权，杨培林，吕志农 . 山西省关帝山中国沙棘种群表型结构的研究[J]. 林业科学研究，1992，5(5)：512-517.
Huang Quan，Tong Jinquan，Yang Peilin，Lü Zhinong. Study on the population phenotype structure of Chinese *Hippophae* in Guandishan，Shanxi province[J]. Forest Research，1992，5(5)：512-517.

[36] 尹世华，王康，黄晓霞，李淑斌，程小毛 . 47份月季品种表型多样性分析及综合评价[J]. 江西农业大学学报，2021，43(1)：94-105.
Yin Shihua，Wang Kang，Huang Xiaoxia，Li Shubin，Cheng Xiaomao. Phenotypic diversity analysis and comprehensive evaluation of 47 rose resources[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis，2021，43(1)：94-105.

[37] 孙珍珠，李秋月，王小柯，赵婉彤，薛杨，冯锦英，刘小丰，刘梦雨，江东 . 宽皮柑橘种质资源表型多样性分析及综合评价[J]. 中国农业科学，2017，50(22)：4362-4372.
Sun Zhenzhu，Li Qiuyue，Wang Xiaoke，Zhao Wantong，Xue Yang，Feng Jinying，Liu Xiaofeng，Liu Mengyu，Jiang Dong. Comprehensive evaluation and phenotypic diversity analysis of germplasm resources in Mandarin[J]. Scientia Agricultura Sinica，2017，50(22)：4362-4372.

[38] 江锡兵，滕国新，范金根，罗修宝，盛建洪，龚榜初 . 长江中下游区板栗主栽品种果实表型和品质综合评价[J]. 林业科学研究，2022，35(1)：70-81.
Jiang Xibing，Teng Guoxin，Fan Jingen，Luo Xiubao，Sheng Jianhong，Gong Bangchu. Comprehensive evaluation of fruit phenotype and quality of main Chinese chestnut cultivars in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. Forest Research，2022，35(1)：70-81.

[39] 金争平，蓝登明，周世权 . 中国沙棘优良类型选育和俄罗斯大果沙棘引种研究[J]. 沙棘，1998(4)：10-16.
Jin Zhengping，Lan Dengming，Zhou Shiquan. Breeding of superior sea buckthorn Varieties in China and introduction of Russian large-fruit sea buckthorn[J]. Hippophae，1998(4)：10-16.

[40] 卢顺光，卢健，温秀凤 . 沙棘植物资源分布与营养学应用综述[J]. 中国水土保持，2019(7)：45-49.
Lu Shunguang，Lu Jian，Wen Xiufeng. Summary of distribution of seabuckthorn plant resources and application of nutrition[J]. Soil and Water Conservation in China，2019(7)：45-49.

[41] 安雄韬 . 不同品种大果沙棘果实品质研究[J]. 绿色科技，2021，23(3)：78-80.
An Xiongtao. Study on fruit quality of different varieties of large berry sea buckthorn[J]. Journal of Green Science and Technology，2021，23(3)：78-80.