植物遗传资源学报 2025，26（4）：693-707
Journal of Plant Genetic Resources
DOI：10.13430/j.cnki.jpgr.20240706001

制干枣种质资源果实品质综合评价

陈鑫如[1,2]，石美娟[2]，王亚兴[1,2]，任海燕[2]，薛晓芳[2]，苏万龙[2]，刘　丽[2]，
赵爱玲[2]，王永康[2]，李登科[2]，李　毅[2]
（[1]山西农业大学园艺学院，晋中 030800；[2]山西农业大学果树研究所/果树种质创制和利用山西省重点实验室，太原 030031）

摘要：选取197份制干枣种质作为研究对象，基于层次分析法对其物性、外观和内在品质分析评价，从22项品质性状中选取关键性指标，构建综合评价体系；采用层次分析与灰色关联度相结合的方法对干枣种质果实品质进行全面分析和综合评价，并分别根据等权及加权关联度对其进行排序，筛选优异制干枣种质。结果表明，干枣种质果实品质间存在一定差异，变异系数为5.687%~68.430%；品质性状各指标间存在不同程度的相关性，鲜枣果实粘附性与干枣果实咀嚼度呈显著负相关；采用层次分析法构建了干枣种质果实品质综合评价模型，结合相关性分析结果确定了干枣咀嚼度、干枣单果重、干枣硬度、干枣果皮平展度、干枣果实颜色、干枣可溶性糖含量、干枣可溶性固形物含量7项关键性状为评价干枣果实品质特性主要指标；对197份枣种质进行了品质评价，依据灰色关联分析结果，筛选出15份综合品质优异的制干枣种质。本研究为优良制干枣种质精准鉴定和高效利用提供科学依据。

关键词：枣；种质资源；制干种质；层次-灰色关联分析；综合评价

Comprehensive Evaluation of Fruit Quality of Dried Jujube Germplasm Resources

CHEN Xinru[1,2]，SHI Meijuan[2]，WANG Yaxing[1,2]，REN Haiyan[2]，XUE Xiaofang[2]，SU Wanlong[2]，
LIU Li[2]，ZHAO Ailing[2]，WANG Yongkang[2]，LI Dengke[2]，LI Yi[2]
（[1]*College of Horticulture，Shanxi Agricultural University，Jinzhong 030800*；[2]*Institute of Fruit Trees，Shanxi Agricultural University/Shanxi Key Laboratory of Fruit Tree Germplasm Creation and Utilization，Taiyuan 030031*）

Abstract：197 dry jujube germplasm accessions were applied in this study，a evaluation system was developed through of physical，appearance，and intrinsic quality traits，with 22 quality traits initially considered. Key indices were selected to construct the evaluation framework，and a combined approach of hierarchical analysis and gray correlation analysis were deployed to thoroughly analyze and comprehensively evaluate the fruit quality of dry jujube germplasm. Superior germplasm was identified based on weight and weighted correlation values.The results revealed significant variability in physical，appearance，and internal quality traits，with coefficients of variation ranging from 5.687% to 68.430%. Various correlations were observed among the quality traits. A significant negative correlation was observed between the adhesion of fresh jujube fruits and the chewiness of dried jujube fruits. To systematically evaluate the fruit quality traits of dried jujube germplasm，a

收稿日期：2024-07-06　　**网络出版日期：**2025-01-06
URL：https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240706001
第一作者研究方向为枣种质资源创新与利用，E-mail：2320207476@qq.com
通信作者：王永康，研究方向为枣种质资源与遗传育种，E-mail：274322374@qq.com
基金项目：山西省科技重大专项计划“揭榜挂帅”项目（202201140601027）；农业农村部作物种质资源保护专项（111721301354052002）；国家科技资源共享服务平台项目（NHGRC2024-NH12-1）；国家现代农业产业技术体系（CARS-30-5-02，CARS-30-ZZ-22）；山西农业大学“十四五”生物育种工程项目（YZGC031）

Foundation projects：Shanxi Provincial Major Science and Technology Special Plan Revealed the List of Project Funding (202201140601027)；Special Project on the Protection of Species and Resources of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs (111721301354052002)；National Science and Technology Resource Sharing Service Platform Project (NHGRC2024-NH12-1)；China Agriculture Research System (CARS-30-5-02，CARS-30-ZZ-22)；Shanxi Agricultural University's "14th Five-Year Plan" Biological Breeding Project (YZGC031)

comprehensive evaluation model was constructed using the Analytic Hierarchy Process (AHP). Combining the results of correlation analysis, seven key traits included dried jujube chewiness, dried jujube fruit weight, dried jujube haedness, dried jujube peel flat range, dried jujube fruit color, dried jujube total soluble sugar content and dried jujube soluble solid content were contentidentified as primary indicators for assessing dried jujube fruit quality. The quality of 197 samples was systematically evaluated, leading to the identification of 15 accessions with outstanding comprehensive quality for dried jujube production.

Key words: Chinese jujube; germplasm resources; dried germplasm; hierarchy-grey association analysis; comprehensive evaluation

枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)为鼠李科(Rhamnaceae)枣属(*Ziziphus* Mill.)植物,是我国特色果树和重要生态经济林树种,目前为我国第一大干果和第七大果树,生产规模占全球98%以上[1]。枣是重要的药食同源果品,根据用途主要分为制干、鲜食和加工蜜枣三大类,其中制干枣产量占比70%以上,是枣产业健康可持续发展的重要组成部分。枣原产于我国,种质资源遗传多样性丰富,《枣卷》[2]记载的700个品种中制干品种383个,占54%。因此筛选和利用好优异制干枣种质资源对于提升枣产业科技创新能力和高质量发展具有重要作用。

目前,种质鉴定评价[3-4]已有大量相关研究,鲜枣果实品质评价[5-8]研究也相对较多,针对制干枣种质的研究[9-14]多为新疆地区引种栽培品种的果实品质表现及其在新疆不同地区品质评价研究。果实品质综合评价是通过选取能够反映评价对象的代表性指标,经统计学分析对评价对象做出客观、准确、科学的评价。目前,综合评价方法应用广泛,包括灰色关联评价法[15]、层次分析法[16]、主成分分析法[17-18]等,其中,层次分析法作为一种定性与定量结合、系统化、层次化的分析方法,可将复杂问题分解,适用于解决无法完全定量分析的难题,是一种将个人主观判断进行定量化客观描述的方法[19],该方法在干枣种质果实品质评价方面还很少有报道。层次分析法可将感性判断转换为多个因素两两间的重要度比较上,从而将定性判断量化,将果实客观与感官评价相结合构建多目标综合评价体系,使果实品质评价结果更全面客观。层次分析法无法体现指标之间的关联性,可结合灰色关联度分析进行综合评价,灰色关联度分析法在多性状量化的基础上,利用综合性状的全部优良信息,将理想性状作为同一对比标准,计算关联系数、关联度,最终根据关联度大小对评价对象进行排序[15]。

本研究以大群体原始种质资源为试材,对不同地区来源、不同类型制干枣种质果实的物性品质、外观品质和内在品质开展系统研究,制定优质制干枣筛选的数据标准,结合统计学方法对种质进行综合评价,初步构建制干枣种质评价方法,利用该方法对197份制干枣种质进行综合品质评价,最终筛选出优异制干枣种质,为优良制干枣种质精准鉴定和高效利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验果实样品均采自国家枣种质资源圃(山西太谷),海拔830 m,年均温10.6 ℃,无霜期160~180 d,年降水量400~600 mm,属典型黄土高原气候土壤生态条件。砧木为酸枣,树龄10~15年,常规田间管理水平。共采集197份枣种质,采样方法参照《枣种质资源描述规范和数据标准》[20]。鲜果为脆熟期果实,采集后直接测定相关品质性状。干果采用人工晾晒和田间自然晾干相结合的方法进行处理。

1.2 试验方法

测定制干枣种质鲜果和干果两种状态的果实品质性状,包括外观品质性状(干枣单果重、干枣果实形状、干枣果实颜色、干枣果皮平展度)、内在品质性状(干枣果皮厚度、干枣果肉厚度、干枣果肉软硬、干枣果肉弹性、干枣果肉粘度、干枣果肉粗细、干枣果肉紧密度、干枣果实甜味、干枣果实酸味、干枣可食率、干枣含水率、干枣可滴定酸、干枣可溶性固形物含量、干枣可溶性糖含量)及物性品质性状(干枣和鲜枣的硬度、粘附性、弹性、内聚力、黏度、咀嚼度、回复性)。其中干枣果实形状、干枣果实颜色、干枣果皮平展度、干枣果皮厚度、干枣果肉粗细、干枣果肉紧密度、干枣果实甜味、干枣果实酸味等品质性状分级标准及外观评价和口感评价分级标准均参照《枣种质资源描述规范和数据标准》[20]。测定样果均为10个。

干枣单果重采用电子天平测量,干枣可溶性固形物含量测定采用便携式数显测糖仪(ATAGO PAL-1,天津中世沃克),干枣可滴定酸含量测定采用酸碱

滴定法，干枣含水率采用烘干法；干枣可食率（%）=（干枣单果重−干枣核重）/干枣单果重×100%，干枣核重为干枣果肉剔除干净后枣核的质量。果实物性品质利用英国 Stable Micro Systems 公司质构仪（TA. XT. plus）测定。随机选择果实样品去皮后置于载物台上进行物性品质测试。测试时保持果实放置位置和方向不变，采用 Texture Expert 软件对测试曲线分析，获取硬度、粘附性、弹性、内聚力、黏度、咀嚼度、回复性等参数，每个样品重复 10 次。

1.3　数据分析

使用 Excel 软件计算性状最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数、性状频率，层次分析法权重系数的确定及加权灰色关联度的计算均参照张梅等[11]的方法进行，采用 SPSS、SPSSAU 和 GraphPad Prism 进行数据整理分析和作图。

2　结果与分析

2.1　干枣种质果实品质差异性分析

全部供试干枣种质果实品质质量性状的分级统计结果（表 1）表明，果实品质中不同品质性状分级占比各不相同，其中干枣果实颜色和果实形状多表现为赭红、卵圆形；干枣果皮主要以皱缩、厚度以中为主，干枣果肉以软硬适中、弹性强、粘度适中、粗细及厚度适中和果肉较致密为主，分别占 56.5%、47.2%、43.7%、51.7%、45.6% 和 43.1%；果实甜味及酸味以甜（52.2%）、无酸味（85.7%）为主。

表 1　干枣种质果实质量性状频率分析

Table 1　Frequency analysis of fruit quality traits in dried jujube germplasm　（%）

性状 Traits	性状分级 Grading of traits				
	1	2	3	4	5
干枣果实颜色	浅红	红	赭红		
DJFC	（15.6）	（30.3）	（54.1）		
干枣果皮平展度	皱缩	较平展	平展		
DJPFR	（61.9）	（32.4）	（5.7）		
干枣果肉软硬	软	中	硬		
DJPSH	（31.9）	（56.5）	（11.6）		
干枣果肉弹性	弱	中	强		
DJPE	（16.7）	（36.1）	（47.2）		
干枣果肉粘度	小	中	大		
DJPV	（19.7）	（43.7）	（36.6）		
干枣果肉厚度	薄	中	厚		
DJPUT	（18.7）	（45.6）	（35.7）		
干枣果皮厚度	薄	中	厚		
DJPET	（33.5）	（36.7）	（29.8）		
干枣果肉紧密度	疏松	较致密	致密		
DJPC	（24.3）	（43.1）	（32.6）		
干枣果肉粗细	细	中	粗		
DJPF	（28.6）	（51.7）	（19.7）		
干枣果实甜味	无	微甜	甜	极甜	
DJFSW	（6.7）	（21.8）	（52.2）	（19.3）	
干枣果实酸味	无	微酸	酸	极酸	
DJFST	（85.7）	（10.6）	（3.7）	（0）	
干枣果实形状	圆形	卵圆形	长圆形	倒卵圆形	圆柱形
DJFSH	（15.9）	（33.6）	（20.5）	（14.5）	（15.5）
干枣口感评价	极差	差	中	好	极好
DJTE	（0.5）	（6.5）	（36.5）	（46.1）	（10.4）
干枣外观评价	极差	差	中	好	极好
DJAE	（0）	（9.1）	（45.6）	（41.9）	（3.4）

括号内数据为性状分级种质数所占比例

DJFC：Dried jujube fruit color；DJPFR：Dried jujube peel flat range；DJPSH：Dried jujube pulp soft and hard；DJPE：Dried jujube pulp elasticity；DJPV：Dried jujube pulp viscosity；DJPUT：Dried jujube pulp thickness；DJPET：Dried jujube peel thickness；DJPC：Dried jujube pulp compactness；DJPF：Dried jujube pulp fineness；DJFSW：Dried jujube fruit sweet；DJFST：Dried jujube fruit sour taste；DJFSH：Dried jujube fruit shape；DJTE：Dried jujube taste evaluation；DJAE：Dried jujube appearance evaluation；The same as below；Data in parentheses are the proportion of graded germplasm number of traits

由表2可知，果实品质数量性状变异系数为5.687%~68.430%。在果实外观品质性状中，干枣单果重变异系数为41.268%；在果实内在品质性状中，干枣含水率、干枣可食率、干枣可溶性固形物含量、干枣可溶性糖含量、干枣可滴定酸含量变异系数分别为27.617%、7.665%、13.750%、23.183%、7.924%；在果实物性品质性状中，干枣咀嚼度变异系数最大，为68.430%，其次是干枣硬度（61.582%）、干枣黏度（58.030%），干枣内聚力变异系数最小，为5.687%。以上结果说明干枣果实品质数量性状存在不同程度的差异性，筛选优异制干枣种质需进一步综合评价分析。

2.2 枣种质果实品质相关性分析

由鲜枣与干枣果实物性品质相关性分析结果可知（表3），鲜枣硬度、鲜枣内聚力、鲜枣黏度、鲜枣咀嚼度彼此之间呈极显著相关，鲜枣回复性与鲜枣粘附性、鲜枣内聚力、鲜枣黏度、鲜枣咀嚼度均呈极显著正相关；鲜枣粘附性与干枣咀嚼度均呈显著负相关，粘合度是反映咀嚼果肉时，果肉对口腔接触面粘着性质，粘附性越低，果肉咀嚼度越高。综上，鲜枣与干枣物性品质存在关联性，可进一步探究鲜枣粘附性对干枣咀嚼度的预测能力。

干枣硬度、干枣粘附性、干枣弹性、干枣内聚力、干枣黏度、干枣咀嚼度、干枣回复性、干枣单果重彼此之间存在不同程度的显著或极显著相关；干枣含水率与干枣硬度、干枣粘附性、干枣黏度、干枣回复性、干枣单果重存在不同程度的显著或极显著相关；干枣可食率与干枣单果重呈极显著正相关，与干枣回复性呈显著正相关；干枣可溶性糖含量与干枣粘附性、干枣回复性均呈显著负相关，与干枣咀嚼度呈显著正相关。以上结果说明干枣果实质构属性与理化成分之间存在相互作用，因这些相关性的存在，直接利用品质性状对果品状况进行综合评价将会产生信息重叠，可导致评价结果出现偏差。从相关性分析结果可知，干枣品质性状指标间存在高度相关性，可对品质性状指标进行筛选，简化评价指标体系。

2.3 干枣果实品质性状综合评价模型的建立

根据干枣果实品质的测试指标特性，采用层次分析法，将果实物性品质、外观品质和内在品质多指标相结合，构建评价模型，模型分3层由22个评价指标构成（表4），22个评价指标中包含7个物性品质性状、4个外观品质性状及11个内在品质性状。

表2 干枣种质果实数量性状描述统计分析

Table 2 Statistical analysis of fruit quantitative traits of dried jujube germplasm

性状 Traits	最大值 Max.	最小值 Min.	均值 Mean	标准差 *SD*	变异系数(%)*CV*
干枣硬度(N)DJH	4690.293	413.320	1347.244	829.655	61.582
干枣粘附性(N·S)DJA	−0.179	−395.657	−41.148	61.175	−
干枣弹性(mm)DJS	1.513	0.696	0.923	0.140	15.198
干枣内聚力DJCO	0.863	0.591	0.744	0.042	5.687
干枣黏度(N)DJG	3307.814	300.526	982.403	570.090	58.030
干枣咀嚼度DJCH	4074.490	282.741	938.070	641.925	68.430
干枣回复性DJR	0.465	0.132	0.237	0.050	21.036
干枣单果重(g)DJFW	15.668	1.990	6.146	2.536	41.268
干枣含水率(%) DJFWC	43.830	11.434	24.942	6.879	27.617
干枣可食率(%)DJER	100	95.530	94.089	7.212	7.665
干枣可滴定酸含量(%)DJTAC	1.204	0.383	0.999	0.079	7.924
干枣可溶性固形物含量(%)DJSSC	72.000	36.000	63.680	8.756	13.750
干枣可溶性糖含量(%)DJTSC	80.260	22.271	45.387	10.522	23.183

−：无数据

DJH：Dried jujube hardness；DJA：Dried jujube adhesiveness；DJS：Dried jujube springness；DJCO：Dried jujube cohesiveness；DJG：Dried jujube gummiiness；DJCH：Dried jujube chewiness；DJR：Dried jujube resilience；DJFW：Dried jujube fruit weight；DJFWC：Dried jujube fruit water content；DJER：Dried jujube edibility ration；DJTAC：Dried jujube titratable acid conten；DJSSC：Dried jujube soluble solid content；DJTSC：Dried jujube total soluble sugar content；The same as below；−：No data

表 3　枣种质果实品质性状相关性分析

Table 3　Correlation analysis of fruit quality traits in jujube germplasm

指标 Index	干枣可溶性糖含量 DJTSC	干枣可溶性固形物含量 DJSSC	干枣可滴定酸含量 DJTAC	干枣可食率 DJER	干枣含水率 DJFWC	干枣单果重 DJFW	干枣回复性 DJR	干枣咀嚼度 DJCH	干枣黏度 DJG	干枣内聚力 DJCO	干枣弹性 DJS	干枣粘附性 DJA	干枣硬度 DJH	鲜枣回复性 FJR	鲜枣咀嚼度 FJCH	鲜枣黏度 FJG	鲜枣内聚力 FJCO	鲜枣弹性 FJS	鲜枣粘附性 FJA	鲜枣硬度 FJH
鲜枣硬度 FJH	−0.040	−0.040	−0.022	−0.079	−0.070	−0.145	0.043	0.032	0.076	−0.031	−0.083	0.039	0.066	0.183	0.870**	0.930**	0.522**	−0.155	−0.675**	1
鲜枣粘附性 FJA	−0.098	0.074	−0.054	−0.076	−0.101	0.037	0.051	−0.193*	0.014	−0.099	0.103	−0.089	0.025	0.265**	−0.715**	−0.683**	−0.553**	−0.057	1	
鲜枣弹性 FJS	0.070	−0.025	0.046	0.126	0.033	−0.133	0.032	0.011	0.048	0.008	−0.031	−0.022	0.039	−0.036	0.157	−0.109	0.021	1		
鲜枣内聚力 FJCO	0.027	−0.068	0.038	−0.042	0.030	−0.101	−0.014	−0.026	0.016	−0.073	−0.117	0.091	0.015	0.436**	0.790**	0.781**	1			
鲜枣黏度 FJG	−0.032	−0.063	−0.002	−0.072	−0.049	−0.146	0.022	0.001	0.046	−0.056	−0.107	0.081	0.039	0.343**	0.957**	1				
鲜枣咀嚼度 FJCH	0.002	−0.064	0.021	−0.038	−0.030	−0.176	0.044	0.001	0.057	−0.041	−0.130	0.076	0.047	0.328**	1					
鲜枣回复性 FJR	−0.162	−0.061	−0.036	−0.086	−0.074	−0.068	−0.034	−0.006	0.029	−0.061	−0.058	−0.005	0.031	1						
干枣硬度 DJH	0.095	−0.016	0.125	−0.083	−0.141*	−0.375**	−0.276**	0.940**	0.995**	−0.371**	0.193**	−0.632**	1							
干枣粘附性 DJA	−0.149*	−0.027	−0.039	0.030	0.226**	0.298**	0.528**	−0.635**	−0.604**	0.405**	−0.235**	1								
干枣弹性 DJS	0.119	0.071	−0.039	0.030	0.077	0.215**	−0.153*	0.460**	0.195**	0.142*	1									
干枣内聚力 DJCO	−0.133	0.037	−0.045	0.065	0.125	0.234**	0.493**	−0.287**	−0.297**	1										
干枣黏度 DJG	0.090	−0.014	0.133	−0.076	−0.140*	−0.380**	−0.240**	0.941**	1											
干枣咀嚼度 DJCH	0.140*	0.004	0.107	−0.042	−0.091	−0.296**	−0.292**	1												
干枣回复性 DJR	−0.163*	0.031	0.071	0.154*	0.386**	0.389**	1													
干枣单果重 DJFW	−0.091	0.057	−0.080	0.338**	0.342**	1														
干枣含水率 DJFWC	−0.137	0.021	−0.053	0.095	1															
干枣可食率 DJER	−0.151	0.006	0.086	1																
干枣可滴定酸含量 DJTAC	0.072	−0.078	1																	
干枣可溶性固形物含量 DJSSC	0.007	1																		
干枣可溶性糖含量 DJTSC	1																			

*、** 分别表示在 $P<0.05$、$P<0.01$ 水平相关性显著

*, ** indicate significant correlation at the level of $P<0.05$ and $P<0.01$, respectively. FJH: Fresh jujube hardness; FJA: Fresh jujube adhesiveness; FJS: Fresh jujube springness; FJCO: Fresh jujube cohesiveness; FJG: Fresh jujube gummiiness; FJCH: Fresh jujube chewiness; FJR: Fresh jujube resilience; The same as below

表4 干枣种质果实品质评价分层结构模型

Table 4 A hierarchical structure model for fruit quality evaluation of dried jujube germplasm

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	指标层 Index layer
果实品质 Jujube fruit quality	物性品质	干枣硬度、干枣粘附性、干枣弹性、干枣内聚力、干枣黏度、干枣咀嚼度、干枣回复性
	外观品质	干枣单果重、干枣果实形状、干枣果实颜色、干枣果皮平展度
	内在品质	干枣果皮厚度、干枣果肉厚度、干枣果肉粗细、干枣果肉紧密度、干枣果实甜味、干枣果实酸味、干枣可食率、干枣含水率、干枣可滴定酸含量、干枣可溶性固形物含量、干枣可溶性糖含量

在准则层中物性品质、外观品质和内在品质3大类指标间依据1~9标度法[16]建立判别矩阵及计算指标权重。干枣果实品质因素准则层判别矩阵及一致性检验结果见表5,在准则层中,果实内在品质是最基本的品质指标,影响干枣果实食用口感及销售,因此处于优先级;其次是果实外观品质,在满足消费者基本需求上,影响干枣果实经济效益;果实物性品质侧面反映果实口感及储运,处于第3位。

表5 干枣种质果实品质因素准则层判别矩阵及一致性检验结果

Table 5 Level termination matrix and consistency test results of fruit quality factors of dried jujube germplasm

指标类型 Indicator type	物性品质 Material quality	外观品质 Exterior quality	内在品质 Internal quality	权重(%) Weight	CR值 CR value	一致性检验结果 Results of the consistency test
物性品质 Material quality	1.000	0.500	0.333	16.378	0.009	通过
外观品质 Exterior quality	2.000	1.000	0.500	29.726		
内在品质 Internal quality	3.000	2.000	1.000	53.896		

干枣果实品质指标层判别矩阵及一致性检验结果见表6、表7、表8。由表可知,在果实外观品质中,干枣单果重、干枣果皮平展度是较重要指标,干枣单果重影响干枣果实的市场竞争力,干枣果皮平展度是干枣果实美观度的评判指标,因此两者可作为外观品质评价的主要指标;在果实物性品质中,干枣咀嚼度是在质构仪模拟牙齿咀嚼过程中的代表性指标,其重要性占首位,可综合反映果实品质胶着性及弹性,因此可作为物性品质的主要评价指标之一,其次是干枣硬度,是最直接反应口感的一项指标;在果实内在品质中,干枣果实甜味占主导地位,是口感评判干枣果实品质的最直接指标,这与实际相符合,因此在内在品质评价准则中为最重要品质,其次是干枣可溶性糖含量、干枣可溶性固形物含量和干枣可食率,权重值分别为18.276%、12.613%和9.104%,干枣可溶性糖含量和干枣可溶性固形物含量是反映干枣果实口感的重要营养品质,干枣可食率可反映食用部分的大小及比例。

表6 干枣种质果实外观品质性状指标层判别矩阵及一致性检验结果

Table 6 Level termination matrix and consistency test results of fruit exterior quality traits of dried jujube germplasm

外观品质指标 Appearance quality index	干枣单果重 DJFW	干枣果实形状 DJFSH	干枣果实颜色 DJFC	干枣果皮平展度 DJPFR	权重(%) Weight
干枣单果重 DJFW	1.000	5.000	2.000	1.000	35.461
干枣果实形状 DJFSH	0.200	1.000	0.250	0.200	6.492
干枣果实颜色 DJFC	0.500	4.000	1.000	0.333	18.586
干枣果皮平展度 DJPFR	1.000	5.000	3.000	1.000	39.461

表中数据的一致性检验结果均为通过

The consistency test results are passed

表 7　干枣种质果实物性品质性状指标层判别矩阵及一致性检验结果

Table 7　Level termination matrix and consistency test results of fruit material quality traits of dried jujube germplasm

物性品质指标 Material quality index	干枣硬度 DJH	干枣粘附性 DJA	干枣弹性 DJS	干枣内聚力 DJCO	干枣黏度 DJG	干枣咀嚼度 DJCH	干枣回复性 DJR	权重(%) Weight
干枣硬度 DJH	1.000	5.000	2.000	3.000	1.000	0.167	5.000	15.391
干枣粘附性 DJA	0.200	1.000	0.333	3.000	1.000	0.143	3.000	7.640
干枣弹性 DJS	0.500	3.000	1.000	5.000	1.000	0.125	1.000	10.008
干枣内聚力 DJCO	0.333	0.333	0.200	1.000	0.250	0.125	0.333	3.069
干枣黏度 DJG	1.000	1.000	1.000	4.000	1.000	0.200	3.000	10.544
干枣咀嚼度 DJCH	6.000	7.000	8.000	8.000	5.000	1.000	8.000	48.012
干枣回复性 DJR	0.200	0.333	1.000	3.000	0.333	0.125	1.000	5.336

表中数据的一致性检验结果均为通过

The consistency test results are passed

表 8　干枣种质果实内在品质性状指标层判别矩阵及一致性检验结果

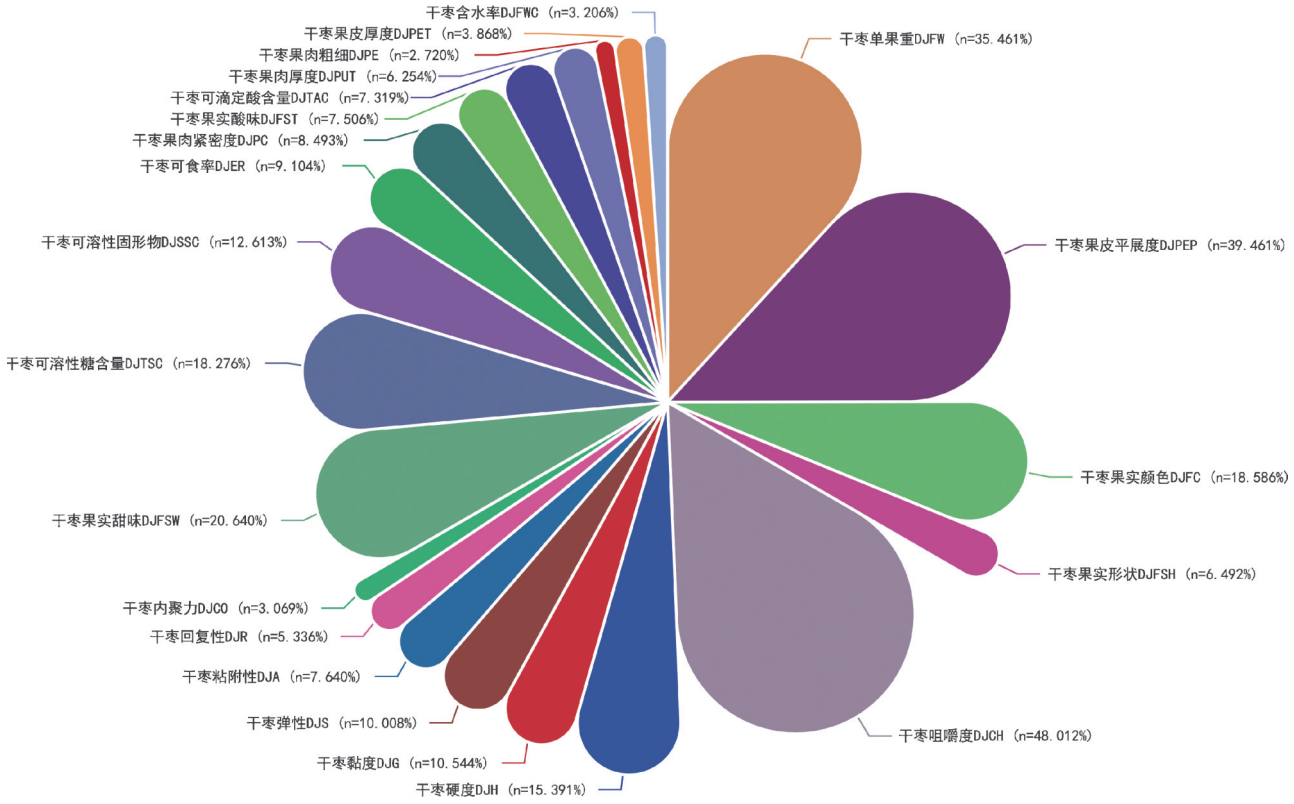
Table 8　Level termination zmatrix and consistency test results of fruit internal quality traits of dried jujube germplasm

内在品质指标 Intrinsic quality index	干枣果皮厚度 DJPET	干枣果肉粗细 DJPF	干枣果肉厚度 DJPUT	干枣果肉紧密度 DJPC	干枣果实甜味 DJFSW	干枣果实酸味 DJFST	干枣可食率 DJER	干枣含水率 DJFWC	干枣可滴定酸含量 DJTAC	干枣可溶性固形物含量 DJSSC	干枣可溶性糖含量 DJTSC	权重(%) Weight
干枣果皮厚度 DJPET	1.000	0.500	2.000	0.333	0.250	0.333	0.333	2.000	0.500	0.333	0.250	3.868
干枣果肉粗细 DJPF	2.000	1.000	3.000	0.500	0.333	2.000	0.500	2.000	0.500	0.500	0.250	6.254
干枣果肉厚度 DJPUT	0.500	0.333	1.000	0.250	0.200	0.200	0.250	0.500	0.500	0.500	0.200	2.720
干枣果肉紧密度 DJPC	3.000	2.000	4.000	1.000	0.333	0.500	0.500	4.000	3.000	0.333	0.250	8.493
干枣果实甜味 DJFSW	4.000	3.000	5.000	3.000	1.000	3.000	3.000	5.000	5.000	3.000	1.000	20.640
干枣果实酸味 DJFST	3.000	0.500	5.000	2.000	0.333	1.000	0.500	2.000	1.000	0.500	0.333	7.506
干枣可食率 DJER	3.000	2.000	4.000	2.000	0.333	2.000	1.000	4.000	0.500	0.500	0.250	9.104
干枣含水率 DJFWC	0.500	0.500	2.000	0.250	0.200	0.500	0.250	1.000	0.333	0.333	0.250	3.206
干枣可滴定酸含量 DJTAC	2.000	2.000	2.000	0.333	0.200	1.000	2.000	3.000	1.000	0.333	0.500	7.319
干枣可溶性固形物含量 DJSSC	3.000	2.000	2.000	3.000	0.333	2.000	2.000	3.000	3.000	1.000	1.000	12.613
干枣可溶性糖含量 DJTSC	4.000	4.000	5.000	4.000	1.000	3.000	4.000	4.000	2.000	1.000	1.000	18.276

表中数据的一致性检验结果均为通过

The consistency test results are passed

根据准则层在目标层中的权重和各指标在准则层中的权重(图1)。对干枣种质果实品质指标权重进行排序(表9),从干枣果实品质性状中,确定了干枣种质果实品质15项评价指标,其权重值由大到小排列顺序为干枣咀嚼度、干枣果皮平展度、干枣单果重、干枣果实甜味、干枣果实颜色、干枣可溶性糖含量、干枣硬度、干枣可溶性固形物含量、干枣黏度、干枣弹性、干枣可食率、干枣果肉紧密度、干枣粘附性、干枣果实酸味、干枣可滴定酸含量。结合相关性分析结果,可将制干枣品质评价指标简化为:干枣咀嚼度、干枣单果重、干枣硬度、干枣果皮平展度、干枣果实颜色、干枣可溶性糖含量、干枣可溶性固形物含量。



括号内n值表示该品质性状在目标中的权重

Value of n in parentheses represents the weight of that quality trait in the target

图1 指标层在目标层中的权重值及占比

Fig. 1 The weight value and proportion pie chart of the index layer in the target layer

2.4 干枣种质果实品质综合评价

灰色关联分析可通过对比评价项与参考标准的相似程度,进而针对评价项进行评价。本研究依据干枣果实品质性状统计分析结果,并将优异传统制干枣种质太谷壶瓶枣、交城骏枣、稷山板枣、保德油枣、延川狗头枣各指标平均值确定为参考值,其可作为评价筛选优异制干种质的参考标准(表10、表11)。

对数据进行标准化、无量纲化处理,分辨系数取0.50,各评价指标等权关联,通过比较等权关联度大小,得到综合评价排名结果,根据层次分析法确定的各品质评价指标权重值,计算获得干枣种质果实品质的加权灰色关联度排名(表12)。由表12可知,等权排名前15名枣种质分别为稷山板枣、赞宝、交城骏枣、襄汾官滩王、北京太子枣、太谷壶瓶枣、金谷大枣、河曲小油枣、延川狗头枣、保德油枣、灵武长枣、灰枣新1号、长红1号、神木方头枣、临县长木枣-1;加权排名前15名枣种质分别为交城骏枣、太谷壶瓶枣、稷山板枣、灵武长枣、延川狗头枣、金谷大枣、赞宝、保德油枣、晚脆蜜、河曲小油枣、北京太子枣、中阳木枣、新郑灰枣、官滩2号、赞皇大枣。

表 9　干枣种质果实品质指标在目标层中的权重及排序

Table 9　Weight and ranking of fruit quality index of dried jujube germplasm in the target layer

指标层 Index layer	目标层中的权重（%） Water in the target layer	位次 Ranking	指标层 Index layer	目标层中的权重（%） Water in the target layer	位次 Ranking	指标层 Index layer	目标层中的权重（%） Water in the target layer	位次 Ranking
干枣果皮平展度 DJPFR	39.461	2	干枣咀嚼度 DJCH	48.012	1	干枣果实甜味 DJFSW	20.640	4
干枣单果重 DJFW	35.461	3	干枣硬度 DJH	15.391	7	干枣可溶性糖含量 DJTSC	18.276	6
干枣果实颜色 DJFC	18.586	5	干枣黏度 DJG	10.544	9	干枣可溶性固形物含量 DJSSC	12.613	8
干枣果实形状 DJFSH	6.492	16	干枣弹性 DJS	10.008	10	干枣可食率 DJER	9.104	11
			干枣粘附性 DJA	7.640	13	干枣果肉紧密度 DJPC	8.493	12
			干枣回复性 DJR	5.336	18	干枣果实酸味 DJFST	7.506	14
			干枣内聚力 DJCO	3.069	21	干枣可滴定酸含量 DJTAC	7.319	15
						干枣果肉厚度 DJPUT	6.254	17
						干枣果皮厚度 DJPET	3.868	19
						干枣含水率 DJFWC	3.206	20
						干枣果肉粗细 DJPF	2.720	22

表 10　干枣种质果实品质质量性状评判标准

Table 10　Quality evaluation criteria of dried jujube germplasm

性状 Traits	中等 Secondary	较好 Preferably	极好 Excellent
干枣果实形状 DJFSH	卵圆形	长圆形	圆柱形
干枣果实颜色 DJFC	浅红	红	赭红
干枣果皮平展度 DJPFR	皱缩	较平展	平展
干枣果皮厚度 DJPET	厚	中	薄
干枣果肉厚度 DJPUT	薄	中	厚
干枣果肉弹性 DJPE	弱	中	强
干枣果肉粘度 DJPV	小	大	中
干枣果肉软硬 DJPSH	硬	软	中
干枣果肉粗细 DJPF	粗	中	细
干枣果肉紧密度 DJPC	疏松	较致密	致密
干枣果实甜味 DJFSW	微甜	甜	极甜
干枣果实酸味 DJFST	酸	微酸	无

表 11 干枣种质果实品质评判标准

Table 11 Dried jujube germplasm and fruit quality evaluation criteria

性状 Traits	太谷壶瓶枣 Taigu Hupingzao	交城骏枣 Jiaocheng Junzao	稷山板枣 Jishan Banzao	保德油枣 Baode Youzao	延川狗头枣 Yanchuan Goutouzao	平均值（参数值） Mean value（parameter value）
干枣硬度(N)DJH	1203.677	1475.105	1616.815	1182.209	1087.052	1312.971
干枣粘附性(N·S)DJA	−12.585	−19.437	−6.495	−23.814	−11.360	−14.738
干枣弹性(mm)DJS	0.896	0.932	0.895	0.955	0.953	0.926
干枣内聚力DJCO	0.732	0.725	0.761	0.821	0.780	0.764
干枣黏度(N)DJG	875.448	1063.462	1223.441	977.552	839.513	995.883
干枣咀嚼度DJCH	782.222	994.796	1179.504	931.547	824.329	942.479
干枣回复性DJR	0.206	0.203	0.239	0.358	0.236	0.248
干枣单果重DJFW	4.578	9.074	6.598	6.588	5.596	6.487
干枣含水率 (%)DJFWC	13.869	16.484	27.079	28.972	30.940	23.469
干枣可食率(%)DJER	96.214	95.739	96.544	94.809	92.709	95.203
干枣可滴定酸含量(%)DJTAC	1.006	1.012	0.872	1.016	0.968	0.975
干枣可溶性固形物含量(%)DJSSC	70.000	72.000	70.000	69.000	76.000	71.400
干枣可溶性糖含量(%)DJTSC	54.442	57.167	56.220	55.860	64.600	57.658

表 12 干枣种质果实品质性状灰色关联分析结果

Table 12 Results of grey association analysis of dried jujube germplasm

序号 No.	种质名称 Germplasm name	等权关联度 Isobar correlation degree	排名 Ranking	加权关联度 Weighting correlation degree	排名 Ranking	序号 No.	种质名称 Germplasm name	等权关联度 Isobar correlation degree	排名 Ranking	加权关联度 Weighting correlation degree	排名 Ranking
1	稷山板枣	0.9938	1	0.9858	3	17	官滩1号	0.9780	17	0.9819	17
2	赞宝	0.9925	2	0.9846	7	18	晚脆蜜	0.9780	18	0.9844	9
3	交城骏枣	0.9919	3	0.9890	1	19	官滩2号	0.9767	19	0.9828	14
4	襄汾官滩王	0.9912	4	0.9800	22	20	荥阳枣	0.9750	20	0.9817	18
5	北京太子枣	0.9905	5	0.9842	11	21	杜村蘑菇枣	0.9730	21	0.9640	81
6	太谷壶瓶枣	0.9900	6	0.9860	2	22	太谷木枣	0.9686	22	0.9794	28
7	金谷大枣	0.9891	7	0.9847	6	23	定襄崖枣	0.9680	23	0.9760	33
8	河曲小油枣	0.9886	8	0.9843	10	24	鲁枣3号	0.9669	24	0.9791	29
9	延川狗头枣	0.9812	9	0.9848	5	25	大果壶瓶酸	0.9645	25	0.9816	19
10	保德油枣	0.9809	10	0.9845	8	26	盐山六月红	0.9633	26	0.9770	32
11	灵武长枣	0.9809	11	0.9856	4	27	临县硭硭枣	0.9628	27	0.9603	96
12	灰枣新1号	0.9806	12	0.9801	26	28	临县牛心脆	0.9611	28	0.9804	23
13	长红1号	0.9806	13	0.9755	36	29	柯城酸枣	0.9610	29	0.9802	24
14	神木方头枣	0.9803	14	0.9781	31	30	榆次酸牙枣	0.9594	30	0.9711	46
15	临县长木枣-1	0.9785	15	0.9821	16	31	延川老牙酸枣	0.9593	31	0.9813	21
16	睢县小酥枣	0.9780	16	0.9815	20	32	临县扁枣	0.9592	32	0.9641	80

表 12（续）

序号 No.	种质名称 Germplasm name	等权关联度 Isobar correlation degree	排名 Ranking	加权关联度 Weighting correlation degree	排名 Ranking	序号 No.	种质名称 Germplasm name	等权关联度 Isobar correlation degree	排名 Ranking	加权关联度 Weighting correlation degree	排名 Ranking
33	太谷小圆枣	0.9587	33	0.9733	41	69	兰考铃子枣	0.9238	69	0.9661	73
34	枣庄甜脆枣	0.9573	34	0.9800	27	70	临颍灵枣	0.9221	70	0.9622	87
35	朝阳晚枣	0.9572	35	0.9820	34	71	临县无核小枣	0.9201	71	0.9666	68
36	灵武圆枣	0.9566	36	0.9758	35	72	金丝 3 号	0.9199	72	0.9690	57
37	永城水枣	0.9563	37	0.9803	25	73	长垣枣	0.9187	73	0.9653	75
38	泗洪大团枣	0.9554	38	0.9720	44	74	稷山鸡心枣	0.9169	74	0.9722	52
39	临县牛奶奶枣	0.9551	39	0.9737	48	75	灵璧铃枣	0.9166	75	0.9687	59
40	宁陵大糠枣	0.9532	40	0.9688	58	76	平谷蜜枣	0.9166	76	0.9681	62
41	固镇枣-1	0.9750	41	0.9750	37	77	盱眙木刀枣	0.9148	77	0.9663	71
41	早熟躺枣	0.9528	42	0.9786	30	78	平陆娃娃枣	0.9133	78	0.9670	67
43	黄骅无核枣	0.9509	43	0.9710	47	79	中阳木枣	0.9132	79	0.9841	12
44	沧县无核枣	0.9509	44	0.9732	49	80	新郑灰枣	0.9112	80	0.9830	13
45	舞钢枣-1	0.9465	45	0.9740	38	81	研金 2 号	0.9105	81	0.9605	94
46	定襄黑腰子枣	0.9447	46	0.9713	45	82	旌德芮枣	0.9092	82	0.9591	101
47	临县黄瓜枣	0.9429	47	0.9738	40	83	延川大白枣	0.9073	83	0.9680	63
48	洪泽区枣	0.9407	48	0.9671	66	84	临县大木枣-3	0.9072	84	0.9651	76
49	鄢陵鸡蛋枣	0.9397	49	0.9739	39	85	阜宁枣	0.9065	85	0.9623	86
50	圆丰	0.9379	50	0.9685	60	86	阜宁木枣	0.9041	86	0.9650	77
51	繁昌长枣	0.9368	51	0.9721	43	87	朝阳无核枣	0.9036	87	0.9624	85
52	濉溪疙瘩枣	0.9357	52	0.9694	55	88	熊岳霜打红	0.9026	88	0.9613	91
53	鲁枣 7 号	0.9349	53	0.9691	56	89	朝阳没心枣	0.9026	89	0.9660	74
54	鲁枣 12 号	0.9343	54	0.9728	50	90	定襄小团枣	0.9022	90	0.9621	88
55	金丝丰	0.9341	55	0.9700	54	91	兴县老婆枣	0.9000	91	0.9612	92
56	泗洪沙枣	0.9340	56	0.9714	53	92	怀远脆枣	0.8997	92	0.9585	103
57	枣庄小铃枣	0.9335	57	0.9730	42	93	乐金 3 号	0.8987	93	0.9563	110
58	乐金 2 号	0.9326	58	0.9683	61	94	漯河疙瘩枣	0.8986	94	0.9620	89
59	研金 1 号	0.9326	59	0.9664	70	95	德阳贵妃枣	0.8959	95	0.9615	90
60	义乌尖头马枣	0.9318	60	0.9630	84	96	赞皇大枣	0.8959	96	0.9825	15
61	临圆红	0.9279	61	0.9662	72	97	淇县无核枣	0.8958	97	0.9582	105
62	临县蛮枣	0.9275	62	0.9672	65	98	雨乐 1 号	0.8955	98	0.9542	115
63	漯河石炭枣	0.9273	63	0.9725	51	99	太谷祀祖枣	0.8949	99	0.9633	82
64	新星	0.927	64	0.9673	64	100	河北紫枣	0.8946	100	0.9604	95
65	泗洪圆枣	0.927	65	0.961	93	101	侯马小脆枣	0.8946	101	0.9263	182
66	淳安胡桃枣	0.9263	66	0.9644	78	102	新郑长鸡心	0.8944	102	0.9584	104
67	彬县红瓶枣	0.9257	67	0.9665	69	103	封丘蚂蚁枣	0.8943	103	0.9593	100
68	乐陵无核小枣	0.9241	68	0.9631	83	104	灰枣枝变 1 号	0.8924	104	0.9562	111

表 12（续）

序号 No.	种质名称 Germplasm name	等权关联度 Isobar correlation degree	排名 Ranking	加权关联度 Weighting correlation degree	排名 Ranking	序号 No.	种质名称 Germplasm name	等权关联度 Isobar correlation degree	排名 Ranking	加权关联度 Weighting correlation degree	排名 Ranking
105	圆铃2号	0.8912	105	0.9580	107	141	中枣3号	0.8613	141	0.9411	152
106	漯河大灵枣	0.8911	106	0.9564	109	142	泗洪大枣	0.8601	142	0.9404	154
107	濉溪苹果枣	0.8901	107	0.9594	99	143	靖远小口大枣	0.8593	143	0.9413	151
108	乐金4号	0.8883	108	0.9643	79	144	金丝小枣	0.8589	144	0.9452	139
109	曲阜猴头枣	0.8883	109	0.9531	120	145	留坝木子枣	0.8581	145	0.9450	140
110	富平鸡蛋枣	0.8875	110	0.9590	102	146	平陆屯屯枣	0.8579	146	0.9460	138
111	平遥半截枣	0.8852	111	0.9581	106	147	临县毛枣	0.8567	147	0.9342	169
112	兰溪团枣	0.8847	112	0.9510	130	148	茌平圆铃枣	0.8566	148	0.9433	146
113	枣庄大铃枣	0.8841	113	0.9601	97	149	新郑红2号	0.8561	149	0.9463	135
114	鲁枣4号	0.8832	114	0.9560	113	150	如东酥小枣	0.8560	150	0.9520	127
115	福州圆白枣	0.8821	115	0.9544	114	151	泗洪大木枣	0.8550	151	0.9400	157
116	鲁枣11号	0.8802	116	0.9530	121	152	临县梗枣	0.8550	152	0.9260	184
117	临县大木枣-4	0.8798	117	0.9461	137	153	滨湖牛奶枣	0.8548	153	0.9500	131
118	星光	0.8797	118	0.9561	112	154	广宗早熟紫枣	0.8499	154	0.9391	159
119	襄汾早熟官滩	0.8795	119	0.9600	98	155	泗洪上塘枣	0.8493	155	0.9311	175
120	定襄羊粪蛋	0.8789	120	0.9540	116	156	稷山梅花枣	0.8490	156	0.9440	143
121	中秋贡1号	0.8789	121	0.9513	128	157	六安红珍珠枣	0.8481	157	0.9331	171
122	枣庄大果长红	0.8783	122	0.9525	122	158	仲秋红	0.8480	158	0.9394	158
123	泗洪木枣	0.8781	123	0.9470	134	159	鲁枣5号	0.8467	159	0.9380	163
124	怀来枣	0.8780	124	0.9533	118	160	迎白露	0.8465	160	0.9421	149
125	临县伢枣	0.8780	125	0.9532	119	161	泗洪长枣	0.8451	161	0.9434	145
126	榆次狗牙枣	0.8779	126	0.9523	123	162	诸暨白蒲枣-2	0.8448	162	0.9361	166
127	运城婆婆枣	0.8775	127	0.9570	108	163	临县甜酸枣	0.8440	163	0.9410	153
128	镇平九月寒	0.8773	128	0.9522	124	164	淳安大头马枣	0.8398	164	0.9382	161
129	金丝4号	0.8749	129	0.9472	133	165	临县大木枣-2	0.8395	165	0.9360	167
130	乐陵无核2号	0.8743	130	0.9521	126	166	永济蛤蟆枣	0.8393	166	0.9431	147
131	枣庄长红枣	0.8723	131	0.9511	129	167	佳县灰蛋蛋枣	0.8392	167	0.9420	150
132	朝阳木枣	0.8712	132	0.9383	160	168	运城相枣	0.8385	168	0.9403	155
133	临县翁翁枣	0.8708	133	0.9441	142	169	盱眙酸枣	0.8382	169	0.9293	178
134	新郑红1号	0.8695	134	0.9521	125	170	淳安马鞭枣	0.8375	170	0.9350	168
135	淳安白皮马枣	0.8693	135	0.9401	156	171	凤台小铃枣	0.8357	171	0.9381	162
136	彬县马牙枣	0.8686	136	0.9480	132	172	新郑八月炸	0.8354	172	0.9370	164
137	京枣31	0.8650	137	0.9430	148	173	宿城长枣	0.8351	173	0.9313	174
138	襄汾葫芦枣	0.8647	138	0.9435	144	174	泗洪大圆红	0.8349	174	0.9211	187
139	高唐陵枣	0.8644	139	0.9462	136	175	临县虎枣	0.8348	175	0.9364	165
140	东平枣	0.8628	140	0.9443	141	176	临县长木枣-2	0.8332	176	0.9320	173

表 12（续）

序号 No.	种质名称 Germplasm name	等权关联度 Isobar correlation degree	排名 Ranking	加权关联度 Weighting correlation degree	排名 Ranking	序号 No.	种质名称 Germplasm name	等权关联度 Isobar correlation degree	排名 Ranking	加权关联度 Weighting correlation degree	排名 Ranking
177	兰州圆枣	0.8327	177	0.9340	170	188	大荔蜂蜜罐	0.8216	188	0.9170	192
178	蓟县脆枣	0.8321	178	0.9310	176	189	黎城冬枣	0.8214	189	0.9172	191
179	茌平长枣	0.8308	179	0.9261	183	190	五台木枣	0.8188	190	0.9151	193
180	泗阳枣	0.8269	180	0.9290	180	191	朝阳齐脆枣	0.8174	191	0.9535	117
181	神木大团枣	0.8268	181	0.9300	177	192	昌云	0.8170	192	0.9200	189
182	泰安大脆枣	0.8263	182	0.9270	181	193	太谷脆枣	0.8143	193	0.9091	195
183	稷山水枣	0.8253	183	0.9330	172	194	大叶无核枣	0.8041	194	0.9150	194
184	孔府酥脆枣	0.8234	184	0.9230	186	195	伏脆蜜	0.8035	195	0.9190	190
185	冷四	0.8234	185	0.9210	188	196	曙光 3 号	0.8021	196	0.9090	196
186	雨虹	0.8234	186	0.9250	185	197	茌红 1 号	0.8097	197	0.8300	197
187	准格尔胖头枣	0.8219	187	0.9292	179						

综上可知，稷山板枣、交城骏枣、太谷壶瓶枣、金谷大枣、延川狗头枣、保德油枣、灵武长枣等传统制干枣种质排名靠前，而冷四、雨虹、大荔蜂蜜罐、黎城冬枣、太谷脆枣等鲜食种质位居末位，说明灰色关联分析法可用于制干枣种质评价及筛选。等权排名与加权处理后排名结果基本一致，两者相互验证了评价结果的准确性。加权处理后，中阳木枣、新郑灰枣和赞皇大枣等传统制干种质排名发生明显变化，说明依据层次分析法确定各评价指标权重可优化灰色关联综合评价排名结果。

3　讨论

王雷存等[21]采用层次分析法和熵值法确定苹果果实的单果重、果形指数、果实硬度、糖酸比等 12 项指标的客观权重，为苹果杂交 F_1 代果实性状综合选择提出了评价指标和量化评价模型。在对枣种质进行干枣果实品质评价时，由于样本群体大、评价指标多且关联度高，既有质量性状，又有数量性状，因此，选用层次分析法能实现定性与定量的统一转化，确保评价结果的科学性和有效性。层次分析法的核心内容为层次结构的建立和指标权重的确定，近年来，层次分析结合灰色关联度分析的方法在葡萄[22]、苹果[23]等果实的品质评价中得到应用。前人在对灰枣果实品种筛选评价工作中，将层次分析法和灰色关联法结合，从定性和定量分析两方面出发，获得的评价结果更严谨科学，具有一定的参考价值[24]。张梅等[11]仅对骏枣的质地品质和营养品质进行检测分析，在外观品质方面并未进行系统评价，且侧重于综合比较新疆不同县市骏枣品质特征的差异性。本研究检测分析了资源圃内 197 份制干枣种质果实品质性状，对不同干枣种质果实物性品质、外观品质和内在品质进行综合评价，从枣种质制干特性出发，应用层次分析法，构建制干枣种质综合评价体系，依据权重排序及相关性分析确定了核心评价指标。干枣咀嚼度、干枣单果重、干枣硬度、干枣果皮平展度、干枣果实颜色、干枣可溶性糖含量、干枣可溶性固形物含量 7 项品质性状为干枣种质果实品质评价的核心指标，这与樊保国等[18]对制干枣 9 个品质性状指标中发现单果质量、干枣口感和干枣含糖量等指标起决定作用及张梅等[11]研究确定硬度是决定骏枣质地的关键指标较一致，且本研究进行了完善。由此可知，在制干枣种质资源评价及筛选中采用层次分析法进行各项评价指标的客观权重确定及综合品质评价体系建立是较为可靠的。

在灰色关联分析法中，影响分析结果准确性的主要因素是“参考数列”的确定及参与分析的各个性状权重系数的确定。由于灰色关联度分析是以曲线几何性状的相似程度来判断关联度，因此参考数列的指标确定至关重要，它决定着关联分析结果的可靠性。范士杰[25]认为参考品种各性状值应稍高于所有参试品种相应性状值，这样可保证关联度的正向性，但在本研究中，品质指标并非全为正向指标，因此通过统计分析 5 份传统优异制干枣种质

果实物性品质性状、外观品质性状及内在品质性状均值频数及分布情况来构造优异制干枣种质筛选评价标准，依据此标准设定灰色关联参考值，通过关联分析，对制干枣种质资源筛选及评价取得了较理想的结果，验证了该评价标准可用于制干枣种质资源的选优。

随着人们对果实品质要求的提高，种质资源的评价方法也从定性指标向定量和定性指标结合、单因素指标向多因素指标综合评价的方向发展。本研究所使用的层次分析法将复杂问题层次化，通过判断矩阵和一致性检验来确定各项指标对评价品种品质性状的影响程度（权重值），避免了评价过程中由偶然因素造成的误差，但层次分析法的性状赋值有较强人为主观性，对品种信息不能完整利用。灰色关联度法可以涵盖品种性状的多个信息，使得评价结果更丰富全面，但在品种性状指标的权重系数上难免存在主观随意性。本研究基于层次分析法权重值进行加权关联分析，研究结果发现加权综合评价排名结果与等权排名结果基本一致，且个别传统制干枣种质排名得到了优化，因此，采用两者结合的方式，发挥各自的优越性，克服了优异制干枣种质在综合评价中漏选的弊端，使得评价体系更具科学性、合理性。

参考文献

[1] 刘孟军. 枣优质生产技术手. 北京：中国农业出版社，2004：275-323
Liu M J. Handbook of high-quality production technology of jujube. Beijing：China Agriculture Press，2004：275-323

[2] 曲泽洲，王永蕙. 中国果树志：枣卷. 北京：中国林业出版社，1993
Qu Z Z，Wang Y H. Chinese fruit trees：Jujube rolls. Beijing：China Forestry Press，1993

[3] 张慧艺，汪丽霞，吴伊静，毕旭灿，王刚，赵四清，徐昌杰，陈昆松. 18份胡柚种质果实品质分析与综合评价. 果树学报，2024，41(6)：1033-1043
Zhang H Y，Wang L X，Wu Y J，Bi X C，Wang G，Zhao S Q，Xu C J，Chen K S. Analysis and comprehensive evaluation offruit quality of 18 grapefruit germplasms. Journal of Fruit Science，2024，41(6)：1033-1043

[4] 赵双，黄颖宏，郤红丽. 30个杨梅品种果实品质分析与综合评价. 果树学报，2024，41(3)：392-402
Zhao S，Huang Y H，Xi H L. Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 30 bayberry cultivars. Journal of Fruit Science，2024，41(3)：392-402

[5] 薛晓芳，焦文丽，苏万龙，任海燕，王永康，石美娟，李登科，赵爱玲. 枣种质资源果实质地品质特性分析. 西北农业学报，2024，33(7)：1318-1328
Xue X F，Jiao W L，Su W L，Ren H Y，Wang Y K，Shi M J，Li D K，Zhao A L. Analysis of fruit quality characteristics of jujube germplasm resources. Journal of Northwest Agricultural Sciences，2024，33(7)：1318-1328

[6] 李慧，魏天军. 30个鲜食枣种质果实品质综合评价. 中国果树，2024 (2)：68-74
Li H，Wei T J. Comprehensive evaluation of fruit luality of 30 fresh jujube germplasms. China Fruit Trees，2024 (2)：68-74

[7] 艾海提·克然木，合塔尔·扎热，吴正保. ‘灰枣’果实外观品质指标相关性分析. 浙江林业科技，2023，43(1)：89-93
Ahti K，Ghattar Z，Wu Z B. Correlation analysis of fruit appearance and quality indices of 'Gray Jujube'. Zhejiang Forestry Science and Technology，2023，43(1)：89-93

[8] 李慧，魏天军. 基于主成分和灰色关联度分析的鲜食枣果实品质评价. 经济林研究，2021，39(1)：60-67
Li H，Wei T J. Quality evaluation of fresh jujube fruit based on principal component and grey correlation analysis. Economic Forest Research，2021，39(1)：60-67

[9] 贾宇尧. 基于传统品质与代谢组学的不同产地骏枣与灰枣干果品质研究. 杨凌：西北农林科技大学，2023
Jia Y Y. Study on dried fruit quality of Jun jujube and gray jujube from different origins based on traditional quality and metabolomics. Yangling：Northwest A&F University，2023

[10] 樊保国，李月梅，张强，李登科，杜学梅. 中阳木枣品种群果实制干品质性状及其综合评价. 西北农林科技大学学报，2019，47(12)：130-139
Fan B G，Li Y M，Zhang Q，Li D K，Du X M. Fruit drying quality traits and their comprehensive evaluation of Zhongyang jujube cultivars. Journal of Northwest A&F University，2019，47(12)：130-139

[11] 张梅，王利娜，王姝婧，杨智鹏，马路婷，刘伟峰，魏喜喜，李建贵. 基于层次-关联度的新疆骏枣品质性状分析及综合评价. 中南林业科技大学学报，2022，42(1)：78-85
Zhang M，Wang L N，Wang S J，Yang Z P，Ma L T，Liu W F，Wei X X，Li J G. Analysis and comprehensive evaluation of quality of Xinjiang jun jujube based on hierarchy-correlation degree. Journal of Central South University of Forestry & Technology，2022，42(1)：78-85

[12] 禄彩丽，何秉宇，马珊，张梅，魏喜喜，宋健，刘伟锋，李建贵. 环塔里木盆地骏枣质地品质及其与气象因子的关系. 西北农林科技大学学报，2021，49(2)：45-53
Lu C L，He B Y，Ma S，Zhang M，Wei X X，Song J，Liu W F，Li J G. Texture quality of jujube and its relationship with meteorological factors in the tarim basin. Journal of Northwest A&F University，2021，49(2)：45-53

[13] 黄瑶，刘丰鸣，赵文，孙佳，万胜，王利娜，王姝婧，杨智鹏，马路婷，禄彩丽，李建贵. 新疆不同产区灰枣和骏枣的质构分析. 经济林研究，2022，40(3)：65-76
Huang Y，Liu F M，Zhao W，Sun J，Wan S，Wang L N，Wang S J，Yang Z P，Ma L T，Lu C L. Texture analysis of gray jujube and jun jujube in different producing areas of Xinjiang.

Economic Forest Research, 2022, 40(3):65-76

[14] 樊保国,李月梅,张强,杜学梅, 王永康,李振岗.中阳木枣系品种果实制干品质的综合评价方法.中国农业大学学报, 2019,24(5):150-160
Fan B G, Li Y M, Zhang Q, Du X M, Wang Y K, Li Z G. Comprehensive evaluation method of fruit drying quality of Zhongyang wood jujube varieties. Journal of China Agricultural University, 2019, 24 (5):150-160

[15] 王博.宁夏引进枣种质资源生长表现及果实品质评价与分析.银川:宁夏大学, 2023
Wang B. Evaluation and analysis of the growth performance and fruit quality of imported jujube germplasm resources in Ningxia. Yinchuan:Ningxia University, 2023

[16] 弓成林,郭爱民,汪小伟,李骏,蔡智勇.灰色关联度和层次分析法在葡萄品质评价上的应用.西南农业学报, 2002(1): 79-82
Gong C L, Guo A M, Wang X W, Li J, Cai Z Y. Application of gray correlation and hierarchical analysis in grape quality evaluation. Southwest Agricultural University, 2002(1): 79-82

[17] 吴昊,苏万龙,石美娟,薛晓芳,任海燕,王永康,赵爱玲,李登科.枣种质果实性状多样性分析与综合评价.植物遗传资源学报, 2022, 23(6):1613-1625
Wu H, Su W L, Shi M J, Xue X F, Ren H Y, Wang Y K, Zhao A L, Li D K. Analysis and comprehensive valuation of fruit traits in jujube germplasm and fruits. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(6):1613-1625

[18] 樊保国,李登科.制干枣品种品质性状的因子分析与综合评价.植物遗传资源学报, 2011, 12(5):716-720
Fan B G, Li D K. Factor analysis and comprehensive evaluation of quality traits of dried jujube varieties. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(5):716-720

[19] Saatyt L. The analytic hierarchy process. New York: McCraw-Hill Inc,1980

[20] 李登科.枣种质资源描述规范和数据标准.北京:中国农业出版社, 2006
Li D K. Jujube germplasm resources description specifications and data standards. Beijing: China Agricultural Press, 2006

[21] 王雷存,樊红科,赵政阳,王飞, 高华.基于层次分析和熵值法的苹果杂交F_1代果实性状综合选择模式研究.北方园艺, 2011 (21): 4-8
Wang L C, Fan H K, Zhao Z Y, Wang F, Gao H. Analysis of fruit traits in F_1 based on hierarchical analysis and entropy method. Northern Horticulture, 2011 (21): 4-8

[22] 沈甜,牛锐敏,黄小晶,许泽华,陈卫平.基于层次-关联度和主成分分析的无核鲜食葡萄品质评价.食品工业科技, 2021, 42(3):53-60
Shen T, Niu R M, Huang X J, Xu Z H, Chen W P. Quality evaluation of seedless grapes based on hierarchy-correlation and principal component analysis. Food Industry Technology, 2021, 42 (3):53-60

[23] 邓健康,刘璇,吴昕烨,毕金峰,焦艺.基于层次分析和灰色关联度法的苹果(等外果)汁品质评价.中国食品学报, 2017, 17(4):197-208
Deng J K, Liu X, Wu X Y, Bi J F, Jiao Y. Quality evaluation of apple (and other exodex) juice based on hierarchical analysis and gray correlation method. Chinese Food Journal, 2017,17 (4):197-208

[24] 万胜,杨智鹏,黄瑶,王磊,孙佳.南疆不同地区灰枣果实品质性状分析及综合评价.经济林研究, 2022, 40(4):143-152
Wan S, Yang Z P, Huang Y, Wang L, Sun J. Analysis and comprehensive evaluation of fruit quality traits in different regions of southern Xinjiang. Economic Forest Research, 2022, 40(4):143-152

[25] 范士杰.试用灰色关联度分析评价油菜区试品种.种子, 1997 (3):55-58
Fan S J. Trial grey correlation degree analysis to evaluate the rapeseed area test varieties. Seed, 1997(3):55-58