

中东-中亚厚皮甜瓜种质资源表型分析及综合评价

刘翔宇, 艾尼瓦尔·阿不都拉, 徐彦军, 王瑞华,
潘 雯, 阿力木·阿不迪力木, 吴海波

(新疆维吾尔自治区农业科学院吐鲁番试验站 新疆吐鲁番 838000)

摘 要: 为丰富我国甜瓜种质资源库, 从中东-中亚引入 60 份厚皮甜瓜种质资源, 对其 19 个表型性状进行了初步研究, 并采用基本统计量、相关性、主成分及聚类分析等分析方法进行综合评价。结果表明, 19 个表型性状的变异系数为 4.32%~54.98%, 其中果脐的变异系数最大, 为 54.98%, 产量遗传多样性指数最高, 为 2.25。H9-52、H9-40 和 H9-37 生长势较强; H9-25、H9-13 和 H9-15 果脐较大; H9-17 单瓜质量较大, H9-10 和 H9-13 瓜皮较厚, H9-50 瓜肉较厚。产量和生育期所受影响因素众多, 相关性分析表明这两者与其他性状的相关关系也最复杂。主成分分析将 19 个性状简化为 8 个主成分, 累计贡献率为 86.044%, 命名为生长势因子、形态因子、产量因子、品质因子和熟期因子。聚类分析将 60 份种质资源分为 5 类, 不同类群在产量、生长势、熟性方面差异显著。综合评价居前五名的厚皮甜瓜品种为 H9-17、H9-26、H9-15、H9-29 和 H9-30。结果表明, 引入的中东-中亚甜瓜种质资源具有丰富的遗传多样性, 对拓宽我国甜瓜育种的遗传基础具有重要价值。

关键词: 厚皮甜瓜; 中东-中亚地区; 表型分析; 综合评价

中图分类号: S652

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)10-029-10

Phenotypic analysis and comprehensive evaluation of thick skinned melon germplasm resources from the Middle East-Central Asia area

LIU Xiangyu, Anwar·Abdulla, XU Yanjun, WANG Ruihua, PAN Wen, Alimu·Abudilimu, WU Haibo

(Turpan Research Institute of Agricultural Sciences, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Turpan 838000, Xinjiang, China)

Abstract: To enrich the melon germplasm resources in China, 60 thick-skinned melon accessions were introduced from the Middle East-Central Asia region. Nineteen phenotypic traits were investigated, and comprehensive evaluation was conducted using analytical methods such as basic statistics, correlation analysis, principal component analysis (PCA), and cluster analysis. The results showed that the coefficient of variation for the 19 phenotypic traits ranged from 4.32% to 54.98%, with the largest coefficient of variation observed in fruit umbilicus (54.98%), and the highest genetic diversity index found in yield (2.25). H9-52, H9-40, and H9-37 exhibited strong growth vigor; H9-25, H9-13, and H9-15 had larger fruit umbilici; H9-17 exhibited greater single fruit mass, H9-10 and H9-13 had thicker pericarp, and H9-50 had thicker mesocarp. Yield and growth period are influenced by multiple factors, and correlation analysis indicated that these two traits had the most complex relationships with other traits. Principal component analysis simplified the 19 traits into eight principal components, with a cumulative contribution rate of 86.044%, named as growth vigor factor, morphology factor, yield factor, quality factor, and maturity factor. Cluster analysis classified the 60 germplasm resources into five groups, with significant differences observed among the groups in terms of yield potential, growth vigor, and maturity. The top five thick-skinned melons based on comprehensive evaluation were H9-17, H9-26, H9-15, H9-29 and H9-30. These findings demonstrate that the introduced germplasm resources from the Middle East-Central Asia region possess rich genetic diversity, holding significant value for broadening the genetic basis of melon breeding in China.

Key words: Thick-skinned melon; Middle East-Central Asia area; Phenotypic analysis; Comprehensive evaluation

收稿日期: 2025-03-24; 修回日期: 2025-05-22

基金项目: 新疆维吾尔自治区现代农业产业技术体系(XJARS-06-06); 上合组织国际科技合作计划(2022E01035); 新疆维吾尔自治区农业农村发展创新与服务项目(NTFW-2025-14); 吐鲁番市重点研发项目(2024008); 新疆维吾尔自治区科技特派员农村创新创业行动项目(2024KZ006)

作者简介: 刘翔宇, 男, 正高级农艺师, 研究方向甜瓜种质资源评价。E-mail: lxy791021@sina.com

通信作者: 吴海波, 男, 研究员, 研究方向为甜瓜育种与栽培。E-mail: sea0222@126.com

甜瓜是世界上主要的瓜果作物之一,其主产区包括东亚、中东-中亚、美洲和环地中海栽培区。中东-中亚是世界厚皮甜瓜的次生起源中心,拥有丰富的野生和栽培种质资源,在果实形状、颜色、风味、抗病性和耐旱性等方面表现出显著的多样性和重要的育种价值^[1]。我国是甜瓜生产和消费大国,2023 年全国甜瓜种植面积达 48.6 万 hm²,产量 1 756.4 万 t,占世界总产量的 49%以上^[2-3]。然而,遗传基础狭窄和品种同质化问题严重制约了我国甜瓜产业的进一步发展^[1]。乌兹别克斯坦作为中东-中亚栽培区的典型代表,拥有 160 种不同类型的甜瓜品种^[4]。从中东-中亚栽培区引入甜瓜种质资源,对拓宽我国甜瓜遗传基础、增加遗传多样性和优化品种类型具有重要意义。

近年来,国内外学者从田间表型性状^[5-6]、果实性状^[7-8]、遗传多样性^[9-10]等角度对甜瓜种质资源进行了大量研究。我国在甜瓜种质资源评价和利用方面取得了重要进展,但遗传多样性呈下降趋势^[11-12]。相关性分析、主成分分析和聚类分析等方法在甜瓜遗传多样性研究中得到广泛应用。冯路路等^[8]对 209 份甜瓜种质资源的果实性状进行了综合评价,发现单果质量、果实纵径、果形指数、果腔纵径、果肉厚度和可溶性固形物含量等性状的变异系数较大,遗传改良空间较大。迟翔丹等^[9]发现,甜瓜不同果实性状间相关关系复杂。李超等^[10]对 51 份新疆老汉瓜类甜瓜品种进行主成分分析,结果表明,前 6 个主成分的累计贡献率为 74.01%。卿东山等^[12]通过聚类分析将 164 份甜瓜种质资源分为 5 类,揭示了不同资源间的亲缘关系。

针对我国甜瓜品种同质化和品种类型固化问题,本研究从中东-中亚引入甜瓜种质资源,在新疆吐鲁番市进行综合评价,旨在了解其品质特性及在

我国的适应性表现,筛选出综合表现优良的品种,扩展我国甜瓜育种基因池,为甜瓜新品种选育拓宽遗传基础。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试甜瓜品种为自乌兹别克斯坦引进的 60 份甜瓜种质资源,编号依次为:H9-1~H9-60。

1.2 设 计

试验共开展了 2 年,2023 年在新疆维吾尔自治区农业科学院吐鲁番试验站高昌区东坎试验基地进行,2024 年在约 30 km 外的亚尔镇试验基地进行。该地区属典型的大陆性干旱荒漠气候,干燥少雨,年平均降水量 16 mm,蒸发量 3000 mm 以上,日照充足,昼夜温差大,年有效活动积温 5300 ℃以上,无霜期 270 d,土壤类型为灌耕土。

试验采用随机区组设计,3 次重复,每年每重复每份材料种 10 株,株距 50 cm,行距采用宽窄行(同一膜内两行间距 40 cm,相邻两膜相邻两行间距 260 cm)。

1.3 栽培管理

采取水肥一体化膜下滴灌模式种植。两膜中心距 3.0 m。一膜两行两条滴灌带,同一膜内两行相背爬行生长。全生育期灌溉 15 次,共 228 m³·667 m²。

1.4 数据采集与分析

依据 NY/T 2388—2013《农作物优异种质资源评价规范 甜瓜》^[13]选取 20 个评价指标(见表 1),涵盖植株生长势(x1~x6)、果实形态(x7~x14)、品质(x15~x16)、产量(x17~x18)、生育期(x19)、果形指数(x20)等性状。各指标测量方法严格遵照上述规范。

表 1 评价指标
Table 1 Morpho-agronomic traits

代号 Code	指标 Trait	单位 Units	代号 Code	指标 Trait	单位 Unit
x1	主蔓长度 Main vine length	m	x11	纵径 Longitudinal diameter	cm
x2	主蔓粗度 Main vine diameter	mm	x12	横径 Transverse diameter	cm
x3	节间长度 Internode length	cm	x13	果皮厚度 Rind thickness	cm
x4	叶片长度 Leaf length	cm	x14	果肉厚度 Flesh thickness	cm
x5	叶片宽度 Leaf width	cm	x15	边部可溶性固形物含量 Edge soluble solids content	%
x6	坐果节位 Fruit-bearing node position		x16	中心可溶性固形物含量 Central soluble solids content	%
x7	果柄长度 Fruit stalk length	cm	x17	单瓜质量 Single fruit mass	kg
x8	果柄粗度 Fruit stalk diameter	mm	x18	产量 Yield	t·667 m ²
x9	种腔直径 Seed cavity diameter	cm	x19	生育期 Growth period	d
x10	果脐大小 Fruit navel size	cm	x20	果形指数 Fruit shape index	

1.5 数据分析

采用 IBM SPSS Statistics 19.0、Origin 2021 和 Data Processing System 15.10 进行数据分析,包括描述性统计、相关分析、主成分分析和聚类分析。遗传多样性指数采用 Shannon-Weaver 信息多样性指数公式计算^[14-16]。

2 结果与分析

2.1 表型性状多样性分析

对 60 份甜瓜种质资源的 19 个表型性状进行描述性统计分析(表 2),结果表明,果脐大小的变异系数最高,达到 54.98%,其变化范围为 0.35~3.87 cm,平均值为 1.86 cm;果皮厚度的变异系数次之,为 34.25%,变化范围为 0.23~1.32 cm,平均值为 0.58 cm;生育期的变异系数最低,仅为 4.32%,变化范围为 78.00~93.00 d,平均值为 83.97 d。各性状的遗传多样性指数介于 0.69~2.25,其中产量的遗传多

样性指数最高,而主蔓长度的遗传多样性指数最低。根据马育华^[15]的研究,变异系数可分为三类:0%~10%为遗传变异度较小,>10%~20%为中等,>20%为较大。在本研究中,果脐大小、果皮厚度、产量、单瓜质量、果柄长度、坐果节位和果实纵径等 7 个性状的变异系数均超过 20%,表明这些性状引种后变异较大,易受环境因素影响,引种后表现出较强的可塑性。变异系数处于 10%~20%区间的指标有果肉厚度、果柄粗度、中心可溶性固形物含量、节间长度、主蔓长度、主蔓粗度、种腔直径、边部可溶性固形物含量、叶片宽度、果实横径和叶片长度,说明这 11 个指标引种后变异中等。生育期这一指标遗传变异度小于 10%,说明引种后变异较小,相对固化,表现稳定。由此可见,19 个性状的遗传多样性指数遗传变异度分布各不相同,说明引种的这 60 份甜瓜种质资源遗传基础差异较大,类型丰富。

由图 1 可知,坐果节位、叶片长度、叶片宽度和

表 2 60 份甜瓜种质资源的农艺性状变异分析

Table 2 Variation analysis of agronomic characteristics of 60 melon germplasm resources

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	平均 Mean	标准差 SD	变异系数 CV/%	遗传多样性指数 Genetic diversity
主蔓长度 Main vine length/m	3.53	1.63	2.48	0.39	15.75	0.69
主蔓粗度 Main vine diameter/mm	18.43	8.75	14.49	2.10	14.47	2.03
节间长度 Internode length/cm	50.33	21.67	33.35	5.38	16.14	1.95
叶片长度 Leaf length/cm	17.81	10.33	14.15	1.70	11.99	2.08
叶片宽度 Leaf width/cm	25.14	14.59	18.87	2.38	12.64	2.01
坐果节位 Fruit-bearing node position	16.67	5.00	10.14	2.63	25.92	1.98
果柄长度 Fruit stalk length/cm	6.65	1.47	3.72	1.01	27.18	1.99
果柄粗度 Fruit stalk diameter/mm	9.50	4.64	7.24	1.26	17.45	2.01
种腔直径 Seed cavity diameter/cm	8.60	4.83	6.62	0.88	13.30	1.96
果脐大小 Fruit navel size/cm	3.87	0.35	1.86	1.02	54.98	1.81
纵径 Longitudinal diameter/cm	31.60	11.40	20.99	4.93	23.50	2.03
横径 Transverse diameter/cm	18.77	10.57	14.53	1.77	12.20	2.08
果皮厚度 Rind thickness/cm	1.32	0.23	0.58	0.20	34.25	1.86
果肉厚度 Flesh thickness/cm	5.40	2.00	3.20	0.64	19.98	1.89
边部可溶性固形物含量 Edge soluble solids content/%	8.60	4.83	6.62	0.88	13.30	1.96
中心可溶性固形物含量 Central soluble solids content/%	10.80	4.97	7.81	1.33	17.05	2.06
单瓜质量 Single fruit mass/kg	3.93	0.80	2.04	0.69	33.95	2.04
产量 Yield/(t·667 m ²)	3.50	0.71	1.82	0.62	33.96	2.25
生育期 Growth period/d	93.00	78.00	83.97	3.63	4.32	2.07

果柄粗度 4 个指标箱体大小匀称、无异常值,且中位线与平均值很接近或重合,这表明 60 份材料在这 4 个指标上的遗传距离较小。主蔓长度、果柄长度、果脐大小、主蔓粗度和节间长度等形态指标存在数量不等的异常值,这说明 60 份甜瓜资源在

这 5 个指标上遗传背景差异较大,材料类型较丰富。尤其是主蔓长度、果柄长度和果脐大小等指标箱体较小且存在个别异常值,说明大多数材料形态指标分布在较小的区间内,但几个异常值与其他材料遗传距离较大。H9-52、H9-40 和 H9-37 这 3 个

材料的主蔓长度极显著大于中位数,说明这3个材料的生长势较强。H9-20的主蔓粗度显著小于中位数,结合田间表现判断这份材料植株不健壮。H9-25、H9-13和H9-15果脐较大且与中位数相比差异显著。今后可根据育种目标选择相应的种质资源。

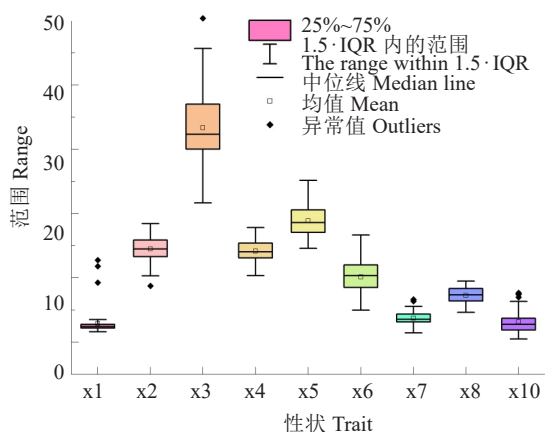


图1 种质资源植株长势总体描述

Fig. 1 Phenotypic characterization of plant growth in germplasm resources

2.2 表型性状相关性分析

由表3可知,各性状间存在复杂的正负相关关系,部分性状间表现出显著的相关性。具体而言,51对性状间的相关性达到显著水平,其中36对性状间呈极显著正相关,另有1对性状间呈极显著负相关。其中,存在极显著正相关的性状有:产量与主蔓长度、产量与单瓜质量、主蔓长度与生育期、生育期与叶片长度、生育期与坐果节位、生育期与产量、果实横径与果肉厚度、果柄粗度与主蔓粗度等;存在显著正相关的性状有:主蔓长度与叶片长度、主蔓长度和种腔直径等;存在极显著负相关的性状为坐果节位与果柄粗度。

综上可知,产量和生育期与其他性状间的关系最复杂,说明影响产量和生育期的因素较复杂。品种越早熟,主蔓和节间长度越短、叶片越小,果实越小,产量越低。此外还发现,叶片宽度、果柄长度、果柄粗度、果脐大小和中心可溶性固形物含量与其他性状之间的相关系数较低。同时也说明不同性状间反映的信息重叠赘余,需通过主成分分析方法对数据进行降维处理,进而识别出系统变化的主要规律。

2.3 表型性状主成分分析

通过主成分分析法对15个重要性状变量进行分析,得到8个主要综合评价指标,其贡献率依次为21.103%、14.351%、12.094%、9.691%、8.60%、

由图2可知,果皮厚度、果肉厚度和单瓜质量3个指标存在异常值,其中单瓜质量显著高于中位数的材料为H9-17,果皮厚度显著厚于中位数的材料为H9-10和H9-13,果肉厚度显著厚于中位数的材料为H9-50。

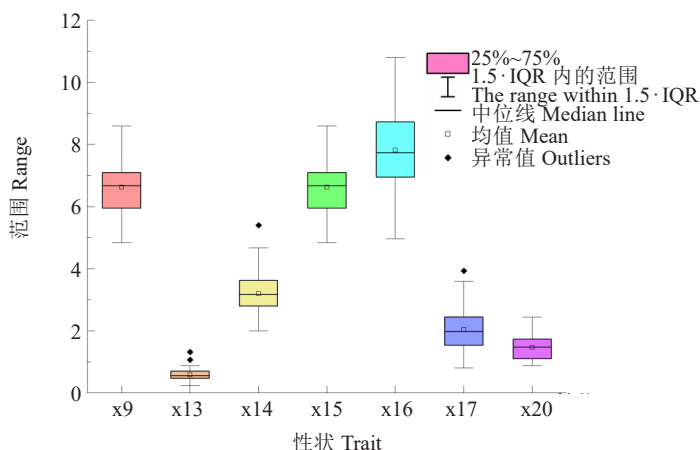


图2 种质资源产量与品质总体描述

Fig. 2 General characterization of yield and quality in germplasm resources

7.050%、6.873%和6.281%(表4),累计贡献率达到86.044%。这8个综合指标对原始15个变量的贡献值介于0.748~0.954之间,成功将原有的15个单一性状变量转化为8个互不相关的综合指标,这些新指标充分保留了原始数据的主要信息。

由表4可知,各主成分从原始指标中提取的信息量介于0.748~0.954,充分反映了原始指标的主要特征。具体而言,第1主成分在主蔓长度、主蔓粗度、节间长度和叶片宽度上具有较高载荷,主要反映了植株生长势相关的性状,因此命名为“生长势因子”。该主成分的贡献率为21.103%,相当于3.165个原始指标的信息量。

第2、第3和第4主成分分别在果皮厚度、果肉厚度、果实横径、坐果节位和果实纵径上表现出较高载荷,主要反映了果实的形态特征,因此统称为“形态因子”。这3个主成分的累计贡献率为36.136%,相当于5.421个原始指标的信息量。

第5和第7主成分分别在单瓜质量和产量上载荷较高,主要反映了果实的丰产性,因此命名为“产量因子”。这2个主成分的累计贡献率为15.473%,相当于2.321个原始指标的信息量。

第6主成分在中心可溶性固形物含量上载荷较高,主要反映了果实的品质特征,因此命名为“品质因子”。该主成分的贡献率为7.05%,相当于

表 3 不同指标间的相关性
Table 3 The correlation between different indicators

指标 Index	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18
x2	0.366**																	
x3	0.353**	0.079																
x4	0.304*	0.127	0.031															
x5	0.235	0.218	-0.145	0.875**														
x6	0.385**	-0.147	0.180	0.271*	0.203													
x7	0.090	-0.033	0.041	-0.132	-0.110	0.131												
x8	0.212	0.509**	-0.113	-0.001	0.051	-0.353**	-0.117											
x9	0.261*	-0.074	0.309*	0.075	0.042	0.536**	-0.004	-0.133										
x10	0.106	0.077	0.039	0.097	0.021	-0.220	0.059	0.200	-0.252									
x11	0.535**	0.240	0.460**	0.210	0.083	0.026	0.234	0.186	-0.063	0.210								
x12	0.208	0.128	0.211	0.031	0.044	0.151	-0.156	0.213	0.521**	-0.132	0.022							
x13	0.073	0.089	0.398**	-0.006	-0.127	-0.168	-0.145	0.070	0.172	0.047	0.213	0.365**						
x14	0.222	0.108	0.105	0.291*	0.254	0.204	-0.174	0.147	0.196	-0.063	0.102	0.624**	-0.009					
x15	0.261*	-0.074	0.309*	0.075	0.042	0.536**	-0.004	-0.133	1.000**	-0.252	-0.063	0.521**	0.172	0.196				
x16	0.209	-0.032	0.055	0.025	-0.015	0.079	-0.126	0.094	0.163	-0.129	0.201	0.052	0.064	0.084	0.163			
x17	0.518**	0.143	0.497**	0.232	0.103	0.133	0.072	0.180	0.270*	0.163	0.669**	0.642**	0.372**	0.570**	0.270*	0.239		
x18	0.518**	0.143	0.498**	0.232	0.103	0.133	0.073	0.179	0.271*	0.163	0.669**	0.642**	0.372**	0.570**	0.271*	0.238	1.000**	
x19	0.588**	-0.008	0.457**	0.339**	0.170	0.528**	0.151	-0.023	0.304*	0.139	0.705**	0.288*	0.166	0.382**	0.304*	0.187	0.766**	0.767**

注: *表示在 0.05 水平显著相关; **表示在 0.01 水平极显著相关。
Note: * indicates significant correlation at 0.05 level; ** indicates extremely significant correlation at 0.01 level.

表 4 表型性状主成分分析
Table 4 The principal component analysis of phenotypic traits

性状 Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	共同度 Communality
主蔓长度 Main vine length	0.909	-0.203	0.013	0.041	-0.131	0.155	0.024	-0.055	0.914
主蔓粗度 Main vine diameter	0.621	-0.262	-0.504	0.413	0.087	0.095	0.113	0.014	0.908
节间长度 Internode length	0.634	-0.093	0.473	-0.431	-0.214	0.165	-0.094	-0.140	0.922
叶片长度 Leaf length	0.397	-0.542	0.045	-0.291	0.206	-0.148	0.374	-0.090	0.750
叶片宽度 Leaf width	0.660	0.214	0.353	-0.186	-0.113	0.138	-0.382	0.206	0.862
坐果节位 Fruit-bearing node position	0.238	0.265	0.538	0.492	0.257	-0.142	-0.224	-0.174	0.825
纵径 Longitudinal diameter	0.281	-0.017	0.445	0.650	0.170	-0.206	0.237	-0.159	0.853
横径 Transverse diameter	0.275	0.364	-0.033	0.145	-0.624	-0.337	-0.112	0.051	0.748
果皮厚度 Rind thickness	0.478	0.680	-0.272	-0.100	0.190	-0.190	0.254	0.207	0.954
果肉厚度 Flesh thickness	0.356	0.783	-0.201	-0.214	0.253	-0.048	0.222	0.076	0.947
边部可溶性固形物含量 Edge soluble solids content	0.537	-0.513	-0.315	-0.027	-0.178	-0.301	0.058	0.019	0.776
中心可溶性固形物含量 Central soluble solids content	0.063	0.194	-0.272	0.414	-0.363	0.681	0.153	-0.005	0.906
单瓜质量 Single fruit mass	0.283	0.060	-0.205	-0.134	0.560	0.322	-0.268	-0.346	0.752
产量 Yield	-0.107	0.069	0.603	-0.134	-0.079	0.263	0.614	0.067	0.854
生育期 Whole growth period	0.088	-0.328	0.170	0.166	0.312	0.118	-0.125	0.799	0.936
特征值 Eigenvalues	3.165	2.153	1.814	1.454	1.29	1.057	1.031	0.942	
贡献率 Contribution rate/%	21.103	14.351	12.094	9.691	8.60	7.050	6.873	6.281	
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	21.103	35.454	47.548	57.239	65.84	72.890	79.763	86.044	

1.057 个原始指标的信息量。

第 8 主成分在生育期上载荷较高,主要反映了果实的熟期特征,因此命名为“熟期因子”。该主成分的贡献率为 6.281%,相当于 0.942 个原始指标的信息量。

综上所述,通过主成分分析,将 60 份甜瓜种质资源的 15 个原始性状指标简化为 8 个相互独立的主成分,分别命名为生长势因子、形态因子、产量因子、品质因子和熟期因子。这些主成分能够有效降低数据维度,同时保留原始指标的主要信息,为后续分析提供了科学依据。

2.4 聚类分析与类群间比较分析

基于 60 份甜瓜资源的主成分值,采用离差平方和方法进行聚类分析(图 3)。当类间距离阈值设定为 0.9 时,60 份甜瓜资源被划分为 5 个主要类群。其中,第 1 类群包含 14 份资源,第 2 类包含 12 份资源,第 3 类包含 6 份资源,第 4 类包含 16 份资源,第 5 类包含 12 份甜瓜资源。同类资源在表型性状上表现出较高的相似性。

由图 4 可知,在植株生长势方面,第 1 类的主蔓长度、节间长度最优,第 2 类的叶片长度最优,第 3 类的主蔓粗度、叶片宽度最优,其他指标表现中庸,没有大的短板,属于生长势强的类型。第 4 类

和第 5 类的各生长势指标显著性均较差,属于生长势弱的类型。

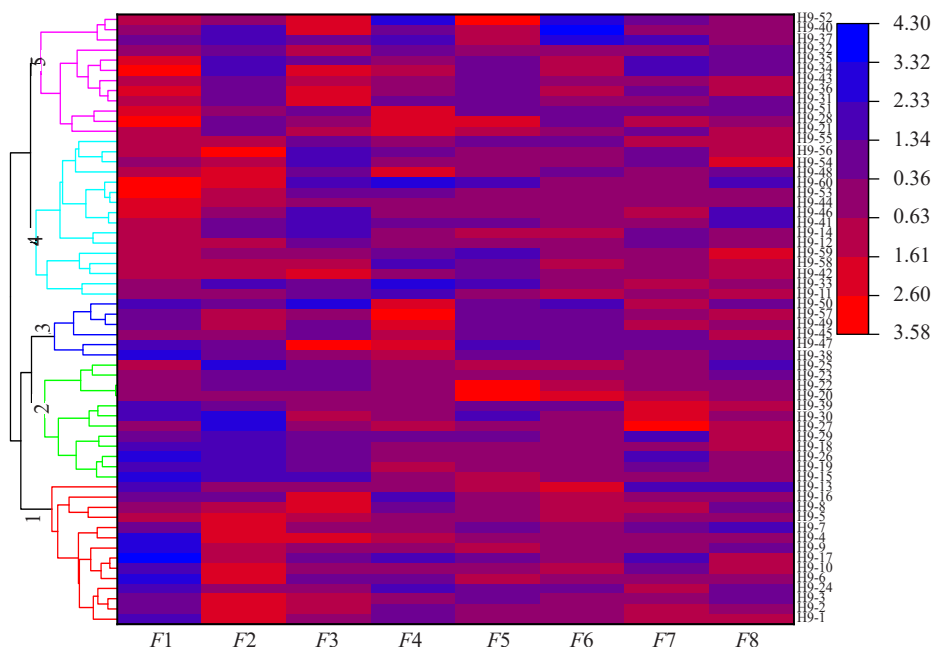
由图 5 可见,在坐果节位和果柄方面,第 1 类和第 5 类的果柄长度指标最大,第 2 类坐果节位最大,第 3 类果柄粗度最大。

由图 6 可见,在果实形态方面,第 1 类的纵径最大,横径中等,属于长形瓜;第 2 类瓜型中等;第 3 类的横径最大,纵径稍小,属于圆形瓜。第 4 类和第 5 类纵径和横径均小,属小型瓜。

由图 7 可见,在果实产量方面,第 1 类的单瓜质量和产量显著优于其他类别,属于高产型;第 2、第 3 类产量中等,属于中产型;第 4、第 5 类产量显著低于其他类别,属于低产型。

在果实生育期方面,第 1 类生育期与其他类相比显著较长,属于晚熟型;第 2、第 3、第 5 类生育期介于第 1 类与第 4 类之间,属于中熟型;第 4 类生育期与其他 4 类相比显著较短,属于早熟型。

由图 8 可见,在果实可溶性固形物含量方面,第 4、第 1、第 2 类与其他类别相比,中心可溶性固形物、边部可溶性固形物含量均较高,属于优质型;第 3 类次之,属于中质型;第 5 类边部可溶性固形物和中心可溶性固形物含量显著低于第 4 类,属于低质型。

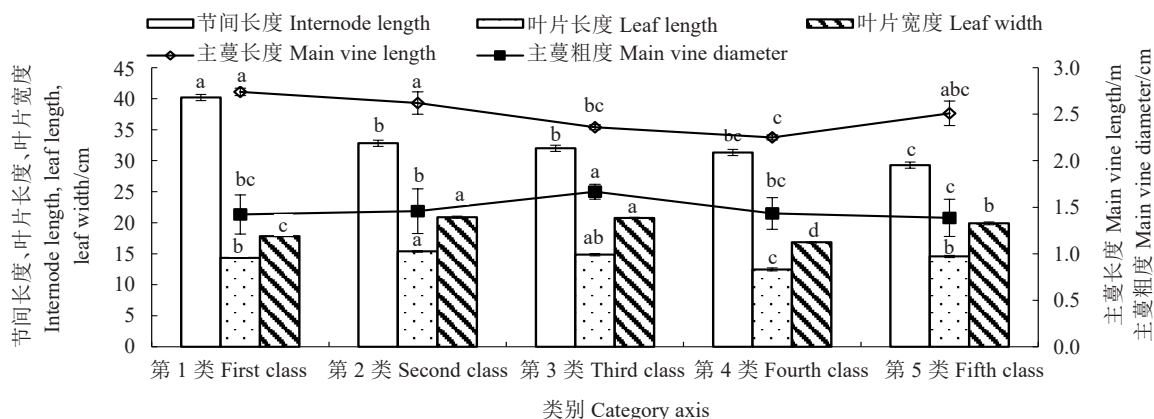


注: F1~F8 分别表示第 1~第 8 主成分值。

Note: F1-F8 representing separately the first main component value to the eighth main component value.

图 3 参试种质资源聚类图

Fig. 3 Cluster diagram of the tested germplasm resources



注: 不同类别同一指标的不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters of the same indicator in different categories indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图 4 不同类群植株生长势比较

Fig. 4 Comparison of plant growth vigor among different groups

3 讨论与结论

3.1 中东-中亚厚皮甜瓜种质资源表型遗传多样性

本研究对 60 份来自中东-中亚栽培区的厚皮甜瓜种质资源进行了表型性状鉴定。结果表明,果脐大小、果皮厚度、单瓜质量及产量等性状的变异系数较大,表明这些性状对环境变化较为敏感,具有较强的表型可塑性;而生育期、叶片长度等相关性状的变异系数较低,表现出较高的稳定性。进一步分析发现,产量及果实形态相关性状的变异系数普遍高于果实品质、植株形态及生育期相关性状,这

一结果与已有研究^[5,17]的结论基本吻合,表明不同性状对环境响应的差异性具有一致性规律。

变异系数分析表明,果脐大小、果皮厚度、单瓜质量和产量等指标变异系数较大,多样性分析表明,产量、果实横径、叶片长度、生育期和单瓜质量的遗传多样性指数较大,这些性状指标表现出显著的表型多样性和遗传变异性,为育种工作提供了较大的选择空间。基于不同育种目标,可以从现有种质资源中筛选出单瓜质量较大(>3.0 kg)的材料(如 H9-6、H9-9、H9-24、H9-4 和 H9-1)、果脐较大(>3.5 cm)的种质资源(如 H9-37、H9-9 和

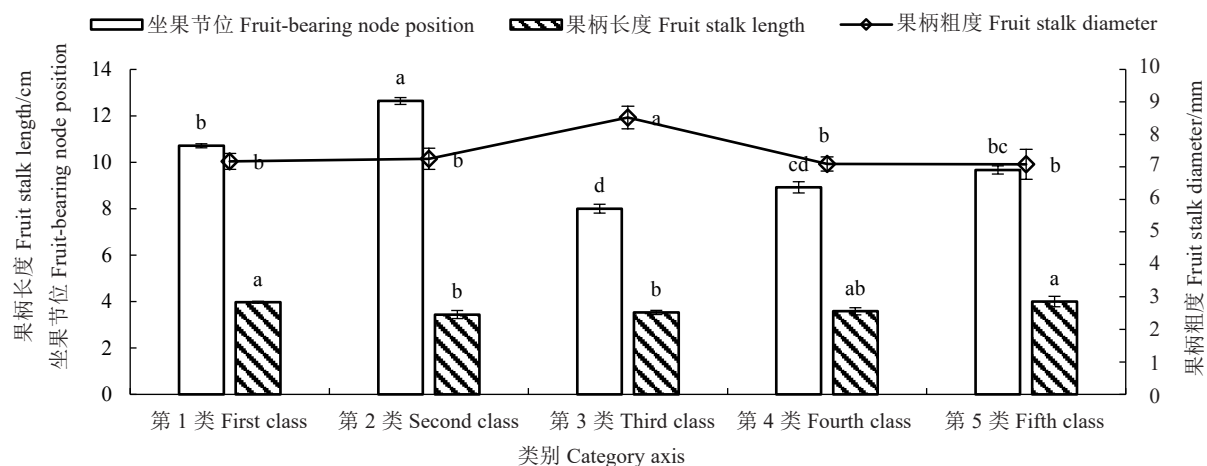


图5 不同类群植株生长势比较

Fig. 5 Comparison of plant growth vigor among different cultivar groups

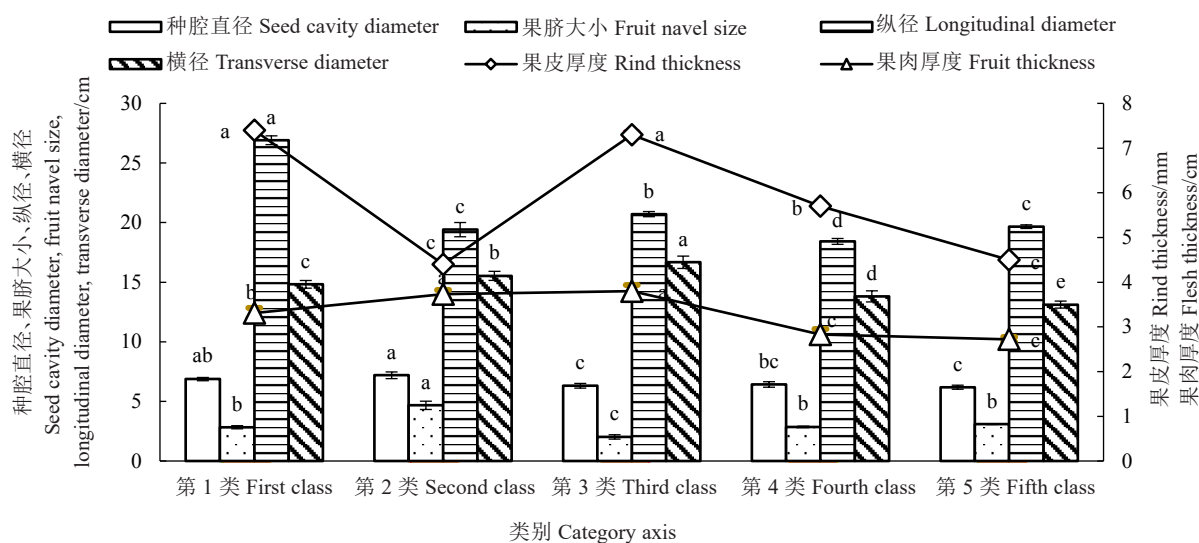


图6 不同类群果实形态指标比较

Fig. 6 Comparison of fruit morphological indices among different groups

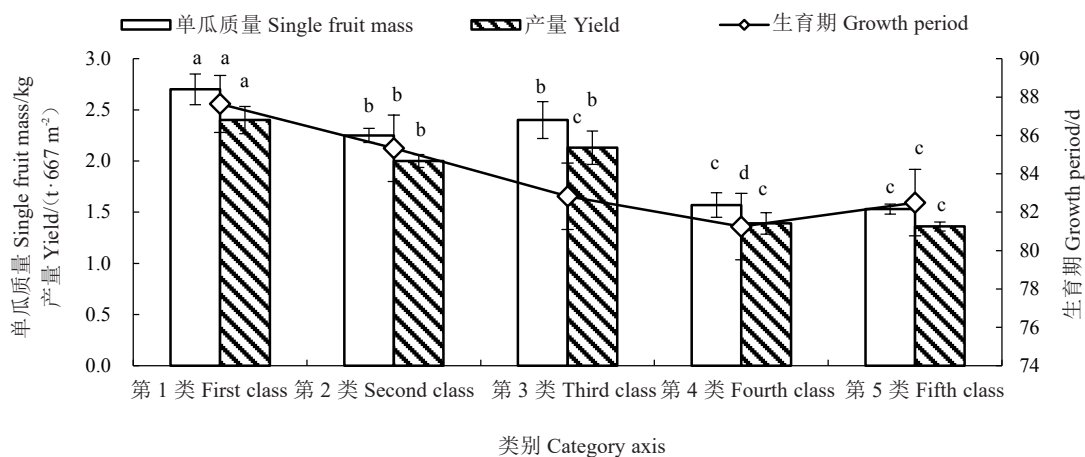


图7 不同类群果实产量及生育期比较

Fig. 7 Comparison of fruit yield and growth period among different groups

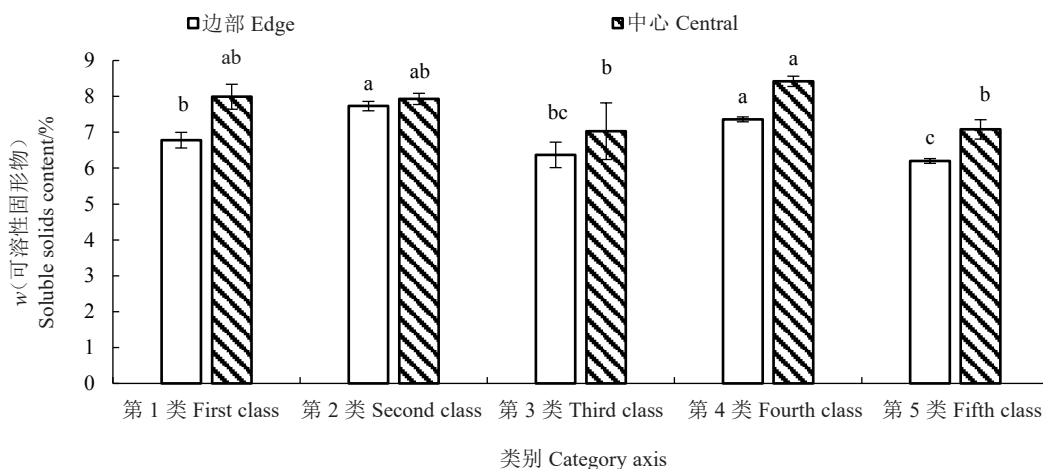


图8 不同类群甜瓜可溶性固形物含量比较

Fig. 8 Comparison of soluble solids content in melons among different groups

H9-17)、横径较宽(>18 cm)的种质资源(如 H9-57 和 H9-15)等进行品种改良,发挥其潜在的生产能力。

3.2 中东-中亚厚皮甜瓜主要性状在育种过程中的利用

中东-中亚厚皮甜瓜种质资源展现出多方面的特色性状。在耐贮运特性方面^[18]表现尤为突出,种质群体中果皮厚度的变异系数达到 34.25,其中 H9-10、H9-13 等材料的果皮厚度超过 1.0 cm,研究证实这与耐贮性呈显著正相关。这些种质还具有明显的大果型优势,如 H9-17 等材料的单瓜质量普遍较高。在形态多样性方面,果形指数(纵径/横径)的变异范围在 1.2~2.3,涵盖了长椭圆至扁圆等多种果形。此外,部分材料还具有特殊品质性状,如边部可溶性固形物含量高达 16%,且肉质致密。

我国传统甜瓜育种注重熟期、高产、抗病和优质等性状的协同改良^[2],但由于早熟性与产量、品质之间存在负相关关系^[19],整合这些特性面临较大挑战。当前,我国甜瓜产业更加注重“好种、好吃、好看、好卖”的综合目标^[2],包括简约化栽培^[20]、耐贮运^[21-22]、品质优良^[23]、货架期长^[24]等多方面需求。本研究基于厚皮甜瓜的生物学特性,从植株生长、果实外观、产量、品质及物候期等多个维度,筛选出 19 项关键评价指标,这与国内外研究趋势相吻合^[7,9]。通过主成分分析,这些指标被简化为 8 个独立主成分,可归类为生长势因子(包括主蔓长度、主蔓粗度、叶片长度、叶片宽度,表现突出的材料有 H9-52、H9-40、H9-37、H9-30)、形态因子(包括果皮厚度、果肉厚度、果实横径,表现突出的材料有 H9-10、H9-13、H9-50)、产量因子(主要是单瓜质量,表现突出的材料有 H9-17),以及品质

因子与熟期因子(主要影响商品性和上市时间)。

通过聚类分析,60 份种质资源被划分为 5 个主要类群:第 1 类是生长势强、高产高质晚熟型长瓜;第 2 类是生长势强、中产高质中熟型瓜;第 3 类是生长势强、中产中质中熟型圆瓜;第 4 类是生长势弱、低产优质早熟小型瓜;第 5 类是生长势弱、低产低质中熟小型瓜。这些引进的中东-中亚种质资源在我国甜瓜育种中具有多方面的利用价值:厚皮种质如 H9-10 等可作为耐贮运品种选育的关键亲本,大果型材料如 H9-17 对提高商品产量具有直接利用价值,早熟小型材料(第 4 类群)适合设施栽培模式,高糖材料则可用于提高现有品种的糖度。

未来育种可筛选厚皮材料(如 H9-10、H9-13)用于耐贮性改良;针对皮厚、糖度等数量性状开发分子标记;通过 H9-17(大果)×H9-10(厚皮)等杂交组合聚合优良性状,根据不同类群特点(如第 1 类晚熟高产型)定向改良目标品种,重点解决性状间拮抗问题(如早熟性与品质的权衡),并通过多亲本杂交整合优良基因,如借鉴西洲密 17 号^[25]、西洲密 25 号^[26]和东方蜜 3 号^[27]的选育经验。同时,需对接市场需求,优化品种类型,推动我国甜瓜育种的可持续发展。

参考文献

- [1] 许勇.我国西甜瓜产业发展现状与趋势[C]//新疆西甜瓜产业高质量发展研讨会.新疆吐鲁番:新疆农业科学院,2024.
- [2] 伊鸿平.中国甜瓜育种发展回顾与展望[C]//新疆西甜瓜产业高质量发展研讨会.新疆吐鲁番:新疆农业科学院,2024.
- [3] 毛亮,周成松,潘卫萍,等.新疆西瓜甜瓜产业发展现状及对策建议[J].中国瓜菜,2024,37(6):195-201.
- [4] MAULYANOV S A, ESHBEKOV A E, SIDDIKOVA S Q. Ex-

- traction of polysaccharides from natural resources[J]. Journal of Research in Pharmacy, 2023, 27: 1-10.
- [5] 何晓庆, 艾琪, 白青, 等. 不同厚皮甜瓜品种果实品质和田间性状影响分析[J]. 陕西农业科学, 2024, 70(11): 50-52.
- [6] 于翠香, 谭化, 张海燕, 等. 吉林省引进甜瓜种质资源表型遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(7): 147-153.
- [7] DIAO Q N, TIAN S B, CAO Y Y, et al. Transcriptome analysis reveals association of carotenoid metabolism pathway with fruit color in melon[J]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 5004.
- [8] 冯路路, 闫洪朗, 王曼曼, 等. 209 份甜瓜种质资源果实性状的综合评价[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(16): 178-186.
- [9] 迟翔丹, 赵艳菲, 王薇, 等. 甜瓜种质资源遗传多样性分析与评价[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(12): 19-28.
- [10] 李超, 杨英, 郑贺云, 等. 新疆“老汉瓜”类甜瓜品种表型遗传多样性分析[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(9): 1650-1661.
- [11] 卢兰迎. 非洲角瓜种质资源鉴定评价[D]. 北京: 中国农业科学院, 2025.
- [12] 卿东山, 江鸿, 张露瑶, 等. 甜瓜种质资源形态学性状遗传多样性分析[J]. 中国蔬菜, 2023(4): 39-49.
- [13] 中华人民共和国农业部. 农作物优异种质资源鉴定评价规范 甜瓜: NY/T 2388—2013[S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [14] 马育华. 植物育种的数量遗传学基础[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1980: 1-6.
- [15] RANA M K, BHAT K V. A comparison of AFLP and RAPD markers for genetic diversity and cultivar identification in cotton[J]. Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology, 2004, 13(1): 19-24.
- [16] 刘志斋, 郭荣华, 石云素, 等. 中国玉米地方品种核心种质花期相关性状的表型多样性研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(6): 1591-1602.
- [17] 张丽娟. 不同品种厚皮甜瓜果实发育与环境因子的相关性及其品质比较的研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2022.
- [18] 周山涛. 果蔬贮藏学[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [19] 朱彩华. 厚皮甜瓜种质资源综合性评价[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2021.
- [20] 丁海凤, 于拴仓, 王德欣, 等. 中国蔬菜种业创新趋势分析[J]. 中国蔬菜, 2015(8): 1-7.
- [21] 林建城, 林河通, 郭振国, 等. 枇杷不同品种果实形态结构的比较及其与耐贮藏性的关系[J]. 热带作物学报, 2009, 30(1): 53-58.
- [22] 刘亚斌. 不同板栗种质在迁西地区表型多样性和耐贮藏性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- [23] 方智远. 中国蔬菜育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
- [24] 程瑞, 仲秀娟, 李越, 等. 从文献统计分析我国近 10 a 甜瓜育种特点及方向[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(5): 861-865.
- [25] 张瑞, 孙玉萍, 杨军, 等. 优质甜瓜新品种西州密 17 号的选育[J]. 中国瓜菜, 2013, 26(1): 29-31.
- [26] 张瑞, 廖新福, 杨军, 等. 优质哈密瓜新品种西州密 25 号的选育[J]. 中国瓜菜, 2012, 25(3): 20-23.
- [27] 李菊芬, 林涛, 马国斌. 哈密瓜类型甜瓜新品种东方蜜 3 号[J]. 园艺学报, 2020, 47(增刊 2): 3018-3019.