

甜瓜种质资源遗传多样性分析与评价

迟翔丹¹, 赵艳菲¹, 王薇², 陈莹¹

(1. 吉林省蔬菜花卉科学研究所 长春 130118; 2. 吉林农业大学园艺学院 长春 130118)

摘要:为筛选出优质的甜瓜种质资源,对吉林省蔬菜花卉科学研究所现存的65份甜瓜种质资源进行遗传多样性分析与评价,对其果实主要性状进行调查统计、数据分析。通过对果实性状进行遗传分析,发现其变异系数的变化范围为16.62%~59.25%,多样性指数变化范围为4.11~4.38;对甜瓜果实性状进行相关性分析,有22对性状间呈极显著相关,有2对性状间呈显著相关;对甜瓜资源的果实性状进行主成分分析,在累积贡献率为84.19%处,筛选出了5个主成分因子,分别为糖酸因子、质量因子、表型因子、果柄因子、品质因子;对甜瓜果实性状进行聚类分析,在欧式距离12.5处将65份甜瓜种质资源聚为三大类群;通过综合评价得分计算,筛选出了10份果实性状较好的种质资源,分别为卡加里麝香、Q196、拉贾斯坦蜜瓜、FY39、斑比洋香瓜、Q174、Q171、浓郁的甜味132、蜜露、Q163,他们的品质优良、单果质量适中。

关键词:甜瓜;果实;农艺性状;评价

中图分类号:S652

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2024)12-019-10

Analysis and evaluation of genetic diversity of melon germplasm resources

CHI Xiangdan¹, ZHAO Yanfei¹, WANG Wei², CHEN Ying¹

(1. Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute, Changchun 130118, Jilin, China; 2. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China)

Abstract: To screen out high-quality melon germplasm resources, genetic diversity analysis and evaluation were conducted on 65 existing melon germplasm resources at Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute. The investigation, statistics, and data analysis were conducted on the main fruit traits. Through genetic analysis of the fruit, it was found that the coefficient of variation ranged from 16.62% to 59.25%, and the diversity index ranged from 4.11 to 4.38. Correlation analysis was conducted on the fruit traits of cantaloupe, with 22 traits showing extremely significant correlation and 2 traits showing significant correlation. Principal component analysis was conducted on the fruit traits of melon resources, and five principal component factors were selected at a cumulative contribution rate of 84.19%, namely sugar acid factor, mass factor, phenotype factor, fruit stem factor, and quality factor. Cluster analysis was conducted on the fruit traits of cantaloupe, and 65 cantaloupes were clustered into three major groups at a Euclidean distance of 12.5. Through comprehensive evaluation score calculation, 10 varieties with good traits were selected, including Kagari Musk, Q196, Rajasthan Honey Melon, FY39, Bambi Western Melon, Q174, Q171, Rich Sweetness 132, Milu, Q163, which had excellent quality and moderate fruit mass.

Key words: Melon; Fruit; Agronomic traits; Evaluate

甜瓜又名香瓜,为葫芦科黄瓜属一年生匍匐或攀援草本植物。林德佩^[1]将甜瓜(*Cucumis melo*)种下划分成两个亚种,即短毛甜瓜亚种(*ssp. agrestis*)和长毛甜瓜亚种(*ssp. melo*)。甜瓜含有丰富的营养物质,口感香甜,在水果市场上备受青睐。中国是甜瓜生产大国,2022年甜瓜种植面积增长到38.08万hm²,总产量增长到1386.5万t^[2]。甜瓜作为世界重要的

瓜果作物之一,具有栽培周期较短、栽培技术较简单、生产适应性较强、投入产出比较高、增加农民收入效果显著等优点,是一种高效经济的瓜果作物^[3]。

种质是决定生物遗传性状并将遗传信息从亲代传递给子代的遗传物质,具有种质并能繁衍的生物体统称为种质资源或遗传资源^[4]。目前,我国已建立了种质资源中长期保存体系,在国家西瓜甜瓜

收稿日期:2024-07-30;修回日期:2024-11-05

基金项目:吉林省财政专项;吉林省财政厅(20240013)

作者简介:迟翔丹,女,研究实习员,研究方向为甜瓜育种及栽培。E-mail:939375151@qq.com

通信作者:王薇,女,教授,研究方向为瓜类育种及栽培。E-mail:wangwei@jlau.edu.cn

陈莹,女,副研究员,研究方向为甜瓜育种及栽培。E-mail:56429596@qq.com

中期库保存了约 2000 份甜瓜种质资源^[5]。甜瓜种质资源是科学研究与新品种培育的重要物质基础,在甜瓜生产中起着重要作用。虽然甜瓜已经育成了许多新品种,但由于甜瓜种质遗传背景复杂、种质资源呈现多样性,所以也产生诸多问题。如杂交育种遗传背景狭窄、育成的品种具有地域适应性等^[6]。

近两年,农业农村部立足产业需求,确定了首批可利用资源,其中就有甜瓜资源^[7]。通过对不同地区甜瓜品种的遗传分析,为甜瓜育种提供了理论支持。通过分析遗传多样性,确定具有优良性状的基因资源,如抗病性、高产、优质等,以助力目标育种。如康利允等^[8]探明了不同甜瓜种质资源氮钾双高效遗传差异,筛选出了氮钾双高效种质资源;王禄星等^[9]筛选出甜瓜白粉病室内苗期抗性鉴定方法,并在此基础上在宁夏地区对 23 份甜瓜种质资源进行白粉病抗病性评价。但目前以东北地区甜瓜为栽培背景的研究较少,且同名异物、同物异名现象频发。因此,笔者利用吉林省蔬菜花卉科学研究院现存的 65 份甜瓜种质资源,对其果实进行主要品质性状的测定,通过对测得的数据进行相关性分析、遗传多样性分析、主成分分析和聚类分析,深入了解甜瓜种质资源果实品质性状之间的关系、遗传多样性情况并进行分类归纳,为甜瓜种质资源的开发利用和品种改良提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验材料为 65 份甜瓜种质资源,供试材料编号和名称见表 1,供试材料为吉林省蔬菜花卉科学研究院多年来培育自交系、杂交种及引进的外地品种。

1.2 方 法

本试验于 2022 年 10 月至 2024 年 2 月在吉林省长春市吉林省蔬菜花卉科学研究院 B3 日光温室进行。该温室土壤为壤土,肥力均匀。单行种植,行株距 120 cm×40 cm。田间进行统一管理,采用吊蔓栽培,单蔓整枝,瓜前 1~2 片叶摘心。3 月中旬播种育苗,2 周后定植,5 月 7 日开始人工授粉,6 月中旬采收结束。

1.3 指标测定及分析方法

于甜瓜果实成熟时,每份材料选取 3 个性状相近的果实,进行 3 次重复测量。使用游标卡尺、直尺、电子天平等测量果实外在品质性状。果实内在品质性状的测定中,采用手持糖度计测定中心可溶性固形物、边部可溶性固形物含量;采用蒽酮比色

法测定果糖、葡萄糖含量;采用碱滴定法测定柠檬酸、苹果酸含量;采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定维生素 C 含量;采用考马斯亮蓝比色法测定蛋白质含量^[10]。

对测得的甜瓜主要农艺性状进行赋值,综合数量性状,在 WPS 中进行数据统计,在 IBM SPSS Statistics 27 分析软件中输入赋值和标准化后的数值,进而计算分布频率、最大值、最小值、极差、平均值、标准差和多样性指数 H' ;变异系数=标准差/平均值;利用皮尔逊相关性分析法,对各性状进行相关性分析;在软件中进行主成分分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 甜瓜种质资源果实品质性状多样性分析

甜瓜果实外在品质性状变异系数见表 2,变化范围为 16.62%~59.25%,由高到低分别为果柄粗度(59.25%)>果柄长度(46.15%)>单果质量(37.62%)>果脐大小(31.28%),该数据表明,果柄性状遗传变异率较高。其他 3 个性状变异系数由高到低分别为果实长度(25.19%)>果肉厚度(20.60%)>果实宽度(16.62%),果实的长宽变异范围较为狭窄。多样性指数变化范围为 4.111~4.383,均值为 4.255,多样性指数越高,代表其性状多样性越丰富,差异性显著。多样性指数最高的性状为果肉厚度,达 4.383,不同果实果肉厚度均有差异性;其次为果脐大小(4.361)、果柄粗度(4.344),多样性指数最高的 3 个性状分布于甜瓜果实的不同部位,反映不同位置的多样性丰富度均有不同;排名第四的为果实宽度(4.212),果实长度(4.186)和果柄长度(4.185)多样性指数接近;多样性指数最低的为单果质量,仅有 4.111。

甜瓜内在品质是综合评价的基础。对 65 份甜瓜种质资源内在品质进行多样性分析,结果如表 3 所示。变异系数变化范围为 17.49%~43.89%,平均值 29.17%。变异系数最高的是维生素 C 含量(43.89%);其次是苹果酸含量(43.29%),变异程度仅低于维生素 C 含量;蛋白质含量是体现果实品质的重要指标,其变异系数为 30.81%;变异系数较低的分别是中心可溶性固形物含量(17.49%)、果糖含量(21.33%)、边部可溶性固形物含量(24.23%)、葡萄糖含量(26.05%),反映出果实甜度能够稳定遗传,有助于筛选出优质品种。多样性指数变化范围为 4.094~7.034,均值为 4.917,仅有 2 个品质性状超过平均值,分别是柠檬酸含量(7.034)和苹果酸含量(6.736),两种酸含量的多样性较为丰富;其次是蛋白

表1 供试材料编号及名称
Table 1 Number and name of the tested material

编号 Number	材料名称 Material name	材料类型 Material type	材料来源 Material sources	编号 Number	材料名称 Material name	材料类型 Material type	材料来源 Material sources
1	伊丽莎白甜瓜 Elizabeth Melon	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	19	Q96	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
2	姜的骄傲 Qiang's Pride	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	20	Q171	厚皮 Thick skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
3	卡加里麝香 Calgary Musk	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	21	Q98	厚皮 Thick skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
4	拉贾斯坦蜜瓜 Rajasthan Honey Melon	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	22	Q101	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
5	蜜露 Milu	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	23	Q176	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
6	小灰驯鹿甜瓜 Little Grey Reindeer Melon	薄皮 Thin skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	24	Q102	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
7	2020-92-4	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	25	Q103	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
8	早生蜜 F ₁ Zaoshengmi F ₁	薄皮 Thin skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	26	Q104	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
9	婚礼的倒影 Wedding Reflection	薄皮 Thin skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	27	Q105	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
10	19-79-1	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	28	Q106	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
11	黑卡梅尔 Black Carmel	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	29	Q108	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
12	斑比洋香瓜 Bambi Western Melon	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	30	Q112	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
13	浓郁的甜味 132 Rich Sweetness 132	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	31	Q113	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
14	玛丽妈妈的馅饼 Mary Mom's Pie	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	32	Q164	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
15	164	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	33	Q163	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
16	明尼苏达州 Minnesota	厚皮 Thick skin	吉林省吉研种业科技开发有限公司 Jilin Jiyan Seed Industry Technology Development Limited Company	34	22-Q45	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
17	Q109	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	35	21-Q54	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
18	Q165	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	36	HT	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究院 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute

表 1 (续)
Table 1 (continued)

编号 Number	材料名称 Material name	材料类型 Material type	材料来源 Material sources	编号 Number	材料名称 Material name	材料类型 Material type	材料来源 Material sources
37	FY39	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	52	Q183	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
38	F2020-153	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	53	Q185	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
39	M2020-149	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	54	Q186	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
40	F2020-149	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	55	Q188	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
41	Q35	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	56	Q189	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
42	Q46	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	57	Q187	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
43	Q171	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	58	22-Q53	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
44	Q111	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	59	Q181	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
45	Q113	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	60	Q190	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
46	Q165	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	61	Q191	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
47	Q171	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	62	Q192	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
48	Q174	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	63	Q193	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
49	Q172	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	64	Q195	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
50	Q176	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute	65	Q196	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute
51	Q184	薄皮 Thin skin	吉林省蔬菜花卉科学研究所 Jilin Vegetable and Flower Science Research Institute				

质含量(4.525);四种糖含量多样性指数由高到低为葡萄糖含量(4.344)、果糖含量(4.207)、边部可溶性固形物含量(4.202)、中心可溶性固形物含量(4.197);多样性指数最低的是维生素 C 含量,仅有 4.094。

2.2 甜瓜种质资源果实品质性状相关性分析

由表 4 可知,果实长度与单果质量(0.611)、果实

宽度与单果质量(0.631)、果实宽度与果实长度(0.460)、果肉厚度与单果质量(0.757)、果肉厚度与果实长度(0.534)、果肉厚度与果实宽度(0.682)均呈极显著正相关,反映出果实长宽数值越大,果肉厚度数值越大,反之相同。果柄粗度与果实宽度(0.373)呈极显著正相关,与单果质量(0.272)呈显著正相关。

表 2 甜瓜果实在品质性状多样性分析

Table 2 Diversity analysis of external quality traits of melon fruit

参数 Parameter	单果质量 Single fruit mass/g	果实长度 Fruit length/cm	果实宽度 Fruit width/ cm	果肉厚度 Fruit pulp thickness/cm	果柄长度 Fruit stalk length/cm	果柄粗度 Fruit stalk thickness/cm	果脐大小 Umbilical size/cm
最小值 Min value	242.33	7.80	7.07	1.42	1.74	0.37	0.92
最大值 Max value	1 396.24	24.07	15.03	3.53	8.77	3.37	3.95
极差 Range	1 153.91	16.27	7.96	2.11	7.03	3.00	3.03
平均值 Average value	566.70	12.26	9.89	2.15	4.42	1.46	2.11
标准差 Standard deviation	213.211	3.088	1.644	0.443	2.040	0.865	0.660
变异系数 Coefficient of variation/%	37.62	25.19	16.62	20.60	46.15	59.25	31.28
多样性指数 H' Diversity index H'	4.111	4.186	4.212	4.383	4.185	4.344	4.361

表 3 甜瓜果实在品质性状多样性分析

Table 3 Diversity analysis of intrinsic quality traits in melon fruits

参数 Parameter	w(中心可溶性 固形物) Central soluble solids content/%	w(边部可溶性 固形物) Edge soluble solids content/%	w(果糖) Fructose content/%	w(葡萄糖) Glucose content/%	w(维生素 C) Vitamin C content/%	w(蛋白质) Protein content/%	w(柠檬酸) Citric acid content/%	w(苹果酸) Malic acid content/%
最小值 Min value	5.08	4.30	5.82	1.41	5.82	0.59	0.10	0.05
最大值 Max value	17.55	14.17	11.93	3.51	35.88	1.85	0.25	0.32
极差 Range	12.47	9.87	6.11	2.10	30.06	1.26	0.15	0.27
平均值 Average value	13.01	8.76	8.88	2.42	21.47	1.23	0.17	0.19
标准差 Standard deviation	2.28	2.12	1.89	0.63	9.42	0.38	0.04	0.08
变异系数 Coefficient of variation/%	17.49	24.23	21.33	26.05	43.89	30.81	26.29	43.29
多样性指数 H' Diversity index H'	4.197	4.202	4.207	4.344	4.094	4.525	7.034	6.736

表 4 甜瓜果实在品质性状相关性分析

Table 4 Correlation analysis of external quality traits of melon fruit

性状 Traits	单果质量 Single fruit mass	果实长度 Fruit length	果实宽度 Fruit width	果肉厚度 Fruit pulp thickness	果柄长度 Fruit stem length	果柄粗度 Fruit stalk thickness	果脐大小 Navel size
单果质量 Single fruit mass	1						
果实长度 Fruit length	0.611**	1					
果实宽度 Fruit width	0.631**	0.460**	1				
果肉厚度 Fruit pulp thickness	0.757**	0.534**	0.682**	1			
果柄长度 Fruit stalk length	-0.060	0.053	0.080	-0.039	1		
果柄粗度 Fruit stalk thickness	0.272*	0.118	0.373**	0.243	0.066	1	
果脐大小 Umbilical size	-0.110	-0.285*	0.128	-0.074	-0.137	0.182	1

注:*表示在 0.05 水平显著相关;**表示在 0.01 水平极显著相关。下同。

Note: * means significant correlation at 0.05 level; ** means extremely significant correlation at 0.01 level. The same below.

由表5可知,边部可溶性固形物含量与中心可溶性固形物含量(0.970)呈极显著正相关;果糖含量与中心可溶性固形物含量(0.954)、边部可溶性固形物含量(0.965)均呈极显著正相关;葡萄糖含量与中心可溶性固形物含量(0.960)、边部可溶性固形物含量(0.974)、果糖含量(0.995)均呈极显著正相关,反映出果实内不同组分糖含量之间的关联是非常明

显的;柠檬酸含量与中心可溶性固形物含量(-0.942)、边部可溶性固形物含量(-0.951)、果糖含量(-0.985)、葡萄糖含量(-0.983)呈极显著负相关;苹果酸与各组分糖含量也呈极显著负相关,即柠檬酸、苹果酸含量越高,各组分糖含量越低;且柠檬酸含量与苹果酸含量(0.983)呈极显著正相关。

2.3 甜瓜果实品质性状指标的主成分分析

表5 甜瓜果实在品质性状相关性分析
Table 5 Correlation analysis of intrinsic quality traits of melon fruit

性状 Traits	中心可溶性 固形物含量 Central soluble solids content	边部可溶性 固形物含量 Edge soluble solids content	果糖含量 Fructose content	葡萄糖含量 Glucose content	维生素C含量 Vitamin C content	蛋白质含量 Protein content	柠檬酸含量 Citric acid content	苹果酸含量 Malic acid content
中心可溶性固形物含量 Central soluble solids content	1							
边部可溶性固形物含量 Edge soluble solids content	0.970**	1						
果糖含量 Fructose content	0.954**	0.965**	1					
葡萄糖含量 Glucose content	0.960**	0.974**	0.995**	1				
维生素C含量 Vitamin C content	-0.110	-0.103	-0.069	-0.073	1			
蛋白质含量 Protein content	-0.203	-0.167	-0.127	-0.135	0.108	1		
柠檬酸含量 Citric acid content	-0.942**	-0.951**	-0.985**	-0.983**	0.084	0.114	1	
苹果酸含量 Malic acid content	-0.930**	-0.947**	-0.976**	-0.975**	0.079	0.116	0.983**	1

对65份甜瓜种质资源的15个果实性状进行主成分分析,由图1可知,碎石图的纵坐标为特征值,前5个主成分特征值大于1。碎石图曲线的陡峭程度,可以直接反映各成分的变化趋势,进而明确主成分的提取数量^[11]。

对数据进行标准化处理后(见表6~7),以特征

值大于1.0为标准提取主成分^[12],得到5个主成分,累积贡献率高达84.191%,具有一定的代表性,包含了甜瓜果实品质性状的大部分信息。

由表6~7可知,第1主成分特征值为6.160,累积贡献率为41.065%,对其作用的特征向量为正,由高到低分别为葡萄糖含量(0.981)、果糖含量

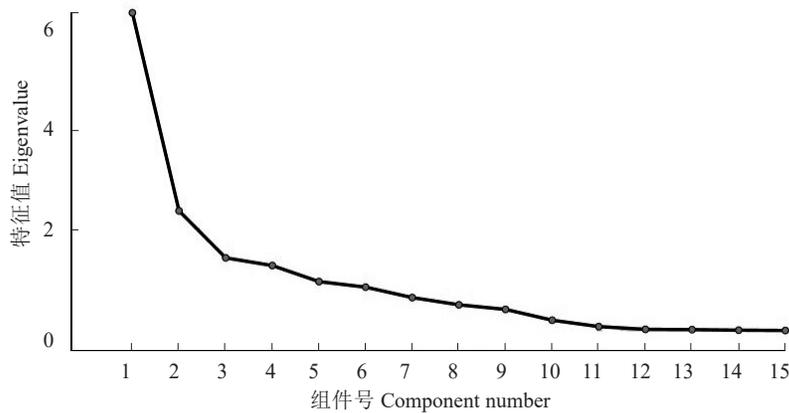


图1 主成分分析碎石图
Fig. 1 Scree plot of principal component analysis

表6 主成分分析解释的总方差表
Table 6 Total variance explained by principal component analysis

成分 Component	初始特征值 Initial Eigenvalues			提取平均和载入 Extraction Sums of Squared Loadings		
	合计 Total	贡献率 Rate of variance/%	累积贡献率 Cumulative/%	合计 Total	贡献率 Rate of variance/%	累积贡献率 Cumulative/%
1	6.160	41.065	41.065	6.160	41.065	41.065
2	2.948	19.652	60.717	2.948	19.652	60.717
3	1.392	9.282	69.999	1.392	9.282	69.999
4	1.122	7.477	77.476	1.122	7.477	77.476
5	1.007	6.714	84.191	1.007	6.714	84.191
6	0.686	4.572	88.763			
7	0.636	4.243	93.006			
8	0.425	2.836	95.842			
9	0.279	1.860	97.702			
10	0.221	1.476	99.178			
11	0.065	0.432	99.610			
12	0.028	0.185	99.795			
13	0.018	0.122	99.917			
14	0.009	0.060	99.977			
15	0.003	0.023	100.000			

表7 主成分荷载矩阵
Table 7 Principal component loading matrix

性状 Traits	农艺性状成分 Component of agronomic traits				
	1	2	3	4	5
葡萄糖含量 Glucose content	0.981	-0.144	-0.066	0.059	0.010
果糖含量 Fructose content	0.978	-0.158	-0.055	0.042	0.024
边缘可溶性固形物含量 Edge soluble solids content	0.978	-0.080	-0.067	0.040	-0.018
中心可溶性固形物含量 Central soluble solids content	0.975	-0.039	-0.033	0.060	-0.019
柠檬酸含量 Citric acid content	-0.967	0.213	0.063	-0.030	0.004
苹果酸含量 Malic acid content	-0.952	0.250	0.066	-0.050	0.012
单果质量 Single fruit mass	0.158	0.871	-0.132	-0.170	0.028
果肉厚度 Fruit pulp thickness	0.255	0.832	-0.096	-0.150	0.031
果实宽度 Fruit width	0.375	0.754	0.173	-0.010	0.168
果实长度 Fruit length	0.125	0.724	-0.405	0.115	0.017
果脐大小 Umbilical size	0.139	-0.148	0.640	-0.420	0.455
蛋白质含量 Protein content	-0.217	-0.280	-0.604	-0.250	0.203
果柄粗度 Fruit stalk thickness	0.342	0.346	0.531	0.039	-0.002
果柄长度 Fruit stalk length	-0.220	0.144	0.244	0.807	-0.105
维生素 C 含量 Vitamin C content	-0.122	-0.058	-0.187	0.395	0.846

(0.978)、边部可溶性固形物含量(0.978)、中心可溶性固形物含量(0.975);特征向量为负的有柠檬酸含量(-0.967)、苹果酸含量(-0.952),第1主成分主要与果实内在糖酸含量有关,因此可以定性为糖酸因子。第2主成分特征值为2.948,累积贡献率为60.717%,对应的特征向量中,单果质量、果肉厚度、果实长度、果实宽度较大,第2主成分主要与果实质量有关,定性为质量因子。第3主成分特征值为1.392,累积贡献率为69.999%,特征向量为正的是

果脐大小(0.640)、果柄粗度(0.531),第3主成分主要与表型性状有关,定性为表型因子。第4主成分特征向量为1.122,累积贡献率为77.476%,对其有影响特征向量为果柄长度(0.807),定性为果柄因子。第5主成分特征值为1.007,累积贡献率达84.191%,有影响特征向量为维生素C含量(0.846),可定性为品质因子。

2.4 甜瓜果实在品质性状的聚类分析

由图2可知,在遗传距离为12.5处,将65份甜

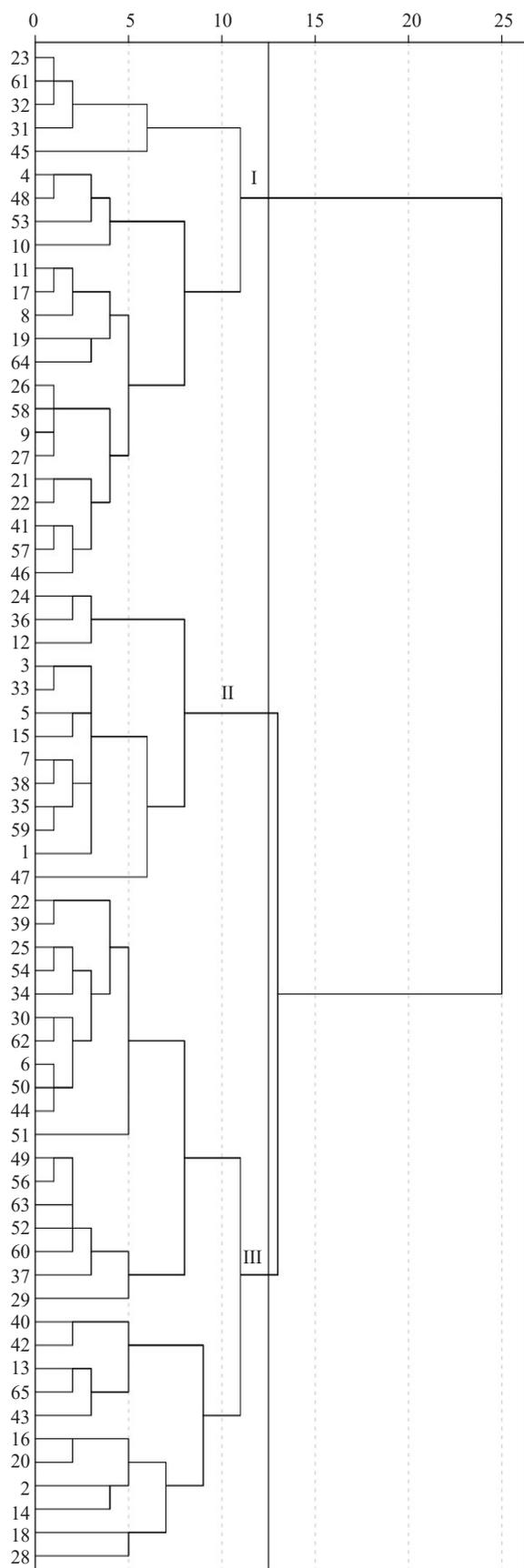


图2 聚类分析图

Fig. 2 Cluster analysis diagram

瓜资源聚为三大类。类群 I 共 23 份种质；类群 II 共 13 份种质；类群 III 共 29 份种质。

以上三大类群的 8 个内在品质性状均值见表 8。3 个类群中，类群 I 中心可溶性固形物含量和维生素 C 含量的平均值都是最高的，但是类群 I 中的维生素 C 含量(25.51)平均值远高于类群 II、III；类群 II 中的边部可溶性固形物含量(10.09)和果糖含量(10.11)较其他两个类群含量更高；类群 III 中的柠檬酸(0.16)和苹果酸含量(0.17)均值最低。

表 8 三大类群甜瓜果实在内在品质平均值

Table 8 The average intrinsic quality of melon fruits in three major groups

性状 Character	类群 I 平均值 Average of group 1	类群 II 平均值 Average of group 2	类群 III 平均值 Average of group 3
w(中心可溶性固形物) Central soluble solids content/%	12.92	14.62	12.36
w(边部可溶性固形物) Edge soluble solids content/%	8.55	10.09	8.34
w(果糖) Fructose content/%	8.71	10.11	8.47
w(葡萄糖) Glucose content/%	2.57	2.58	2.45
w(维生素 C) Vitamin C content/%	25.51	19.85	18.98
w(蛋白质) Protein content/%	1.28	1.20	1.20
w(柠檬酸) Citric acid content/%	0.17	0.18	0.16
w(苹果酸) Malic acid content/%	0.19	0.20	0.17

2.5 65 份甜瓜种质资源的综合评价

果实品质是引种、选育及加工利用的关键因素，其综合品质是多个品质指标共同作用的结果^[13]。根据主成分分析结果，通过选定的 5 个主成分的得分系数，对 65 份甜瓜种质资源进行综合评价。将 15 个果实性状标准化数值代入这 5 个主成分中，得到每个品种的综合得分。根据 5 个主成分的合计初始特征值和各自组成系数，计算出综合得分线性方程为： $F=0.410 65y_1+0.196 52y_2+0.092 82y_3+0.074 77y_4+0.067 14y_5$ 。

最终计算 65 份甜瓜种质资源综合得分的排名见表 9。综合得分变化范围在-1.71~1.72，F 值越高说明甜瓜资源表现越好。共有 10 份资源综合得分大于 1，说明这 10 份资源具有优良性状，分别是卡加里麝香、Q196、拉贾斯坦蜜瓜、FY39、斑比洋香瓜、Q174、Q171、浓郁的甜味 132、蜜露、

表9 种质资源综合评价排序
Table 9 Comprehensive evaluation and sorting of 65 melon germplasm resources

排名 Rank	y1	y2	y3	y4	y5	综合得分(F) Comprehensive score (F)	材料编号 Material number	排名 Rank	y1	y2	y3	y4	y5	综合得分(F) Comprehensive score (F)	材料编号 Material number
1	1.21	-0.24	0.05	-0.01	-0.05	1.72	3	34	0.21	0.12	0.08	-0.03	-0.08	-0.13	59
2	-1.19	0.63	0.04	-0.09	0.15	1.59	65	35	0.13	-0.17	-0.04	-0.01	-0.06	-0.14	49
3	1.31	0.17	0.01	0.05	0.18	1.59	4	36	0.61	-0.21	0.06	0.16	-0.02	-0.14	35
4	1.78	-0.15	-0.09	0.01	0.05	1.53	37	37	1.44	0.25	-0.03	-0.02	-0.11	-0.18	60
5	1.03	0.15	-0.05	-0.03	0.01	1.39	12	38	-0.35	-0.31	0.04	0.01	-0.09	-0.22	26
6	-0.50	-0.03	-0.02	0.08	0.03	1.34	48	39	0.87	-0.19	0.04	0.05	0.15	-0.36	52
7	0.07	-0.14	0.16	0.13	-0.02	1.26	47	40	0.76	-0.09	0.12	0.03	-0.07	-0.43	11
8	-0.97	0.01	0.10	0.11	-0.05	1.23	13	41	0.39	-0.17	-0.08	0.02	0.06	-0.43	6
9	-1.45	-0.12	0.15	0.11	0.03	1.11	5	42	0.16	-0.03	-0.11	0.02	0.11	-0.47	2
10	1.33	-0.36	-0.04	-0.05	0.09	1.02	33	43	0.97	-0.06	-0.09	0.03	-0.02	-0.48	31
11	-0.64	0.36	-0.06	-0.04	-0.04	0.98	10	44	-0.89	0.21	-0.02	-0.10	0.08	-0.54	17
12	1.41	-0.06	0.03	-0.03	0.04	0.97	1	45	0.75	-0.04	-0.05	-0.06	-0.04	-0.56	28
13	1.17	0.05	-0.01	-0.07	0.08	0.91	39	46	-0.03	-0.02	0.01	-0.07	0.04	-0.66	29
14	-1.93	0.32	0.06	-0.06	-0.10	0.82	43	47	1.49	-0.35	-0.05	0.02	0.15	-0.69	38
15	0.78	-0.13	-0.06	-0.02	-0.09	0.75	40	48	1.52	-0.32	-0.03	0.11	0.05	-0.72	44
16	-0.53	-0.12	-0.07	-0.06	0.03	0.70	56	49	-0.16	0.25	-0.07	-0.09	-0.07	-0.75	16
17	-0.51	-0.06	0.00	-0.05	0.08	0.60	36	50	-1.08	0.20	-0.02	-0.14	-0.09	-0.75	57
18	-1.44	0.17	0.09	-0.05	0.06	0.56	45	51	-0.92	0.14	-0.05	-0.01	0.03	-0.80	58
19	-1.36	0.14	0.10	-0.04	-0.04	0.50	63	52	-0.19	-0.10	-0.05	-0.02	0.00	-0.80	8
20	-1.05	0.10	0.11	-0.06	-0.08	0.49	15	53	0.64	-0.55	-0.11	0.16	0.03	-0.81	51
21	0.62	-0.33	0.03	0.18	-0.02	0.48	21	54	-0.87	0.05	-0.10	-0.02	0.11	-0.82	54
22	0.30	-0.17	-0.05	0.03	0.07	0.36	25	55	0.52	-0.18	-0.07	-0.05	-0.12	-0.89	32
23	0.11	-0.05	0.04	0.08	0.01	0.30	34	56	0.32	0.17	0.06	0.08	0.08	-0.89	64
24	-0.21	-0.12	-0.01	0.17	0.07	0.22	41	57	-0.37	-0.21	-0.04	-0.03	-0.11	-0.90	30
25	-0.06	0.27	0.05	0.07	0.03	0.21	7	58	-1.15	0.04	0.24	-0.03	0.09	-0.97	20
26	-0.43	0.15	0.12	0.02	-0.07	0.20	23	59	0.02	0.04	-0.08	-0.06	-0.06	-1.01	62
27	-1.32	0.11	0.04	0.03	-0.08	0.18	22	60	-0.22	0.08	0.08	-0.06	-0.06	-1.12	50
28	-0.62	0.28	-0.12	-0.06	-0.04	0.17	53	61	0.28	-0.25	0.01	-0.03	-0.05	-1.16	18
29	-1.24	0.85	-0.13	-0.10	-0.06	0.15	42	62	-1.01	0.07	0.01	-0.08	0.01	-1.20	19
30	-1.10	0.19	0.05	-0.06	0.02	0.10	55	63	0.59	0.03	-0.09	-0.01	-0.03	-1.22	27
31	-0.43	0.04	0.01	-0.06	-0.04	-0.04	61	64	-0.59	-0.16	-0.02	-0.06	-0.07	-1.29	9
32	-0.64	-0.10	-0.02	-0.07	-0.07	-0.06	46	65	1.67	0.02	-0.08	0.07	-0.09	-1.71	14
33	0.94	-0.08	-0.02	0.13	0.06	-0.10	24								

Q163,品质优良、单果质量适中;有35份资源得分小于0,说明这些种质资源品质相对较差,参考价值较低。

3 讨论与结论

对物种遗传多样性进行研究,能够为植物分类、育种奠定一定的基础^[14]。本研究结果表明,甜瓜种质资源的多样性较为丰富。从果实外在品质来看,果柄、单果质量、果实长度变异系数较高,这与朱彩华等^[15]的研究结果一致;从果实内在品质来看,

甜瓜苹果酸含量的遗传系数和多样性指数均较高,遗传范围广,这与黄松等^[16]的结果相同。

研究各性状间的相关关系,可以有效地提高良种选育效率并使重要的性状得到改良^[17]。通过对65份甜瓜资源各性状之间的相关性进行分析,从甜瓜果实在品质来看,果实长宽与单果质量呈极显著正相关,即果实越长、越宽,单果质量越大;从甜瓜果实在品质来看,果实内不同糖含量间呈极显著正相关,与果实内柠檬酸含量、苹果酸含量呈极显著负相关,即糖分含量越高,酸含量越低。

用主成分分析来筛选资源,这样筛选出来的资源不是某单一性状突出,而是相关性状综合优质,在育种上更有意义^[13]。对65份甜瓜资源的果实性状进行主成分分析后,简化为5个主成分,累积贡献率高达84.191%。第1主成分为糖酸因子,第2主成分为质量因子,第3主成分为表型因子,第4主成分为果柄因子,第5主成分为品质因子。

聚类分析是数理统计中研究“物以类聚”的一种方法^[18],该综合评价方法已用于分析辣椒^[19]、高抗晚疫马铃薯^[20]、豇豆^[21]、酿酒葡萄^[22]等。对65份甜瓜资源的15个性状进行聚类分析,在欧式距离12.5处将试材分为三大类群。第I类群包含23份资源,这类甜瓜资源维生素C含量较高;第II类群共13份资源,是资源份数最少的,此类甜瓜资源中心可溶性固形物和边部可溶性固形物含量较高,具有食用价值。第III类群包含29份资源,是三大类群中资源份数最多的,含酸量较低。

通过对65份甜瓜资源果实品质性状的主成分分析,根据5个主成分的合计初始特征值和各自组成系数,计算出综合得分。共有10份资源综合得分大于1,说明这10份资源具有优良性状,糖度较高、单果质量适中、品质良好;有35份资源得分小于0,这些种质资源品质相对较差,参考价值较低。

综上所述,通过对甜瓜果实的综合评价,发现这65份资源遗传范围较广、多样性丰富,不同性状间存在显著相关性,并筛选出了10份具有栽培价值、能够促进种质创新的资源。将来可以进一步扩大样本数量,选择跨地区和生长环境差异较大的资源,挖掘独特优良基因,并根据育种目标配制杂交组合、进行纯化,进一步丰富种质资源库。

参考文献

- [1] 林德佩. 甜瓜(*Cucumis melo* L.)种下分类专论[J]. 中国瓜菜, 2012, 25(5): 42-46.
- [2] 李军英, 刘建民, 刘胜尧. 薄皮甜瓜新品种 M916 的选育[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(8): 167-170.
- [3] 王志丹. 中国甜瓜产业经济发展研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [4] 潘秀兰, 梁改荣. 甜瓜种质资源的研究与应用[J]. 河南农业, 2017(15): 37-38.
- [5] 曹永生, 方洸. 国家农作物种质资源平台的建立和应用[J]. 生物多样性, 2010, 18(5): 454-460.
- [6] 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.
- [7] 马爱平. 种质资源要存起来也要用起来[N]. 科技日报, 2023-04-07(2).
- [8] 康利允, 李晓慧, 高宁宁, 等. 甜瓜氮钾双高效资源综合评价与筛选[J]. 果树学报, 2023, 40(11): 2340-2358.
- [9] 王禄星, 王晓敏, 宋建宇, 等. 宁夏甜瓜白粉病室内苗期抗病性鉴定方法及抗性种质资源筛选[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(8): 11-15.
- [10] 郝建军, 康宗利, 于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [11] 徐清宇, 余静, 朱大伟, 等. 基于主成分分析和聚类分析的不同水稻品种营养品质评价研究[J]. 中国稻米, 2022, 28(6): 1-8.
- [12] 李颖, 张树航, 郭燕, 等. 211 份板栗种质资源花序表型多样性和聚类分析[J]. 中国农业科学, 2020, 53(22): 4667-4682.
- [13] 温锦丽, 曹炜玉, 王月, 等. 基于主成分分析与聚类分析的软枣猕猴桃果实品质综合评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(1): 247-257.
- [14] 石磊. 籽用西瓜种质资源遗传多样性的分析和核心种质库的构建[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [15] 朱彩华, 高婷, 李梅, 等. 厚皮甜瓜种质资源果实性状的综合分析及评价[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(10): 32-41.
- [16] 黄松, 高路银, 杨森要, 等. 薄皮甜瓜糖酸含量及其与果实性状的灰色关联度分析[J]. 河南农业科学, 2018, 47(7): 112-115.
- [17] 郭颖. 梨种质资源农艺性状评价及其遗传多样性研究[D]. 新疆阿拉尔: 塔里木大学, 2019.
- [18] 闫世江, 张继宁, 刘洁. 聚类分析在黄瓜育种中的应用[J]. 当代生态农业, 2012(增刊 1): 9-12.
- [19] 吴迪, 付文婷, 吴康云, 等. 275 份辣椒种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(9): 47-53.
- [20] 孙邦升, 宋继玲, 杨梦平, 等. 117 份高抗晚疫病马铃薯种质资源遗传多样性分析[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(9): 37-46.
- [21] 王现丽, 牛玉, 杜公福, 等. 海南地区豇豆品种比较分析与综合评价[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(9): 151-158.
- [22] 王季姣, 王世伟, 潘越, 等. 新疆天山北麓产区酿酒葡萄种质抗寒性鉴定及综合评价[J]. 果树学报, 2024, 41(10): 1933-1946.