

16 份薄皮甜瓜亲本主要农艺性状的配合力与遗传力分析

刘修源, 杜志强, 徐慧春, 刘泰, 毕唯一, 胡禧熙, 朱蕾,
齐国超, 韩墨, 车野, 姜泽宇, 张玲, 王迪

(黑龙江省农业科学院大庆分院 黑龙江大庆 163316)

摘要:为提高薄皮甜瓜育种效率,发掘强优势组合,以16份薄皮甜瓜自交系为亲本,基于不完全双列杂交(NC-II)设计配制64个杂交组合,对单瓜质量、小区产量、可溶性固形物含量及果实发育期等9个主要农艺性状进行配合力、遗传力及相关性分析。结果发现,配合力分析表明,亲本162和170在小区产量和可溶性固形物含量上的一般配合力(GCA)效应值较高,组合161×167在小区产量和可溶性固形物含量上的特殊配合力(SCA)效应值较高。遗传力分析表明,产量与果形指数以加性遗传效应为主,狭义遗传力较高,可在早代进行选择;果实质量与物候期受环境影响较大。相关性分析进一步证实产量与可溶性固形物含量无显著负相关。综上所述,本试验筛选出了具有培育高产高糖品种潜力的亲本材料162和170,以及早熟、高产、高糖的组合161×167,为高产优质薄皮甜瓜新品种选育及亲本选配提供了理论依据。

关键词:薄皮甜瓜;不完全双列杂交;配合力;遗传力

中图分类号:S652

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)06-063-08

Combining ability and heritability analysis of major agronomic traits in 16 thin-skinned melon parental lines

Liu Xiuyuan, Du Zhiqiang, Xu Huichun, Liu Tai, Bi Weiyi, Hu Xixi, Zhu Lei, Qi Guochao, Han Mo, Che Ye, Jiang Zeyu, Zhang Ling, Wang Di

(Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, Heilongjiang, China)

Abstract: To improve the breeding efficiency of thin-skinned melon and identify superior combinations, this study used 16 thin-skinned melon inbred lines as parents and developed 64 hybrid combinations based on the North Carolina Design II (NCII) design. Combining ability, heritability, and correlation analyses were conducted on nine major agronomic traits, including fruit mass, plot yield, soluble solids content, and fruit development period. The combining ability analysis showed that parents 162 and 170 exhibited high general combining ability (GCA) effect values for plot yield and soluble solids content, while the combination 161×167 showed high specific combining ability (SCA) effect values for plot yield and soluble solids content. Heritability analysis indicated that yield and fruit shape index were primarily governed by additive genetic effects, with high narrow-sense heritability, making them suitable for selection in early generations. Conversely, single fruit mass and phenological periods were more greatly influenced by environmental factors. Correlation analysis further confirmed that there was no significant negative correlation between yield and soluble solids content. In summary, this study identified parental lines 162 and 170 as valuable for breeding high-yield, high-sugar cultivars, as well as the combination 161 × 167 exhibiting early maturity, high yield, and high soluble solids content, thereby providing a theoretical basis for the selection of new high-yield, high-quality thin-skinned melon varieties and the choice of parental combinations.

Key words: Thin-skinned melon; North Carolina II design; Combining ability; Heritability

收稿日期:2025-11-10;修回日期:2026-01-21

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费(CZKYF2025-1-8004);黑龙江省农业科技创新跨越工程农业特色产业科技创新支撑项目(CX23TS11)

作者简介:刘修源,男,研究实习员,研究方向为甜瓜分子遗传育种。E-mail:1121510203@qq.com

通信作者:王迪,男,研究员,主要从事蔬菜栽培生理与品质调控研究。E-mail:dqnywd@hotmail.com

薄皮甜瓜(*Cucumis melo* L.)为葫芦科黄瓜属甜瓜种的一个亚种,是一年生蔓性草本园艺作物,皮薄肉脆,风味独特,具有重要的经济价值和市场潜力。据FAO统计,2023年中国甜瓜种植面积约为39.58万hm²,产量约为1450.19万t^[1]。黑龙江省是薄皮甜瓜的主产区,种植面积约50万hm²,年产值近40亿元,主栽品种为薄皮甜瓜类型,如鹤峰金喜、泽甜甘一美香、香瑞靓甜、龙甜8号^[2]等。随着黑龙江省甜瓜产业的发展,对早熟、高产、高品质类型品种的需求不断提高,笔者针对产业发展趋势,制定了以早熟、高产、高糖为主的甜瓜育种目标,以满足黑龙江省消费市场的主流需求。

利用杂种优势育种是实现品种改良的核心手段之一^[3]。甜瓜的杂种优势非常明显,通过杂交育种是最直接的方法。在现代杂交育种中,衡量自交系或杂交组合的优劣主要是配合力的高低。通常分析各亲本的一般配合力及其配制组合的特殊配合力,并结合遗传力分析遗传规律,从而为选配强势杂交组合提供理论依据^[4]。赵靓等^[5]以6个籽用西瓜自交系为亲本,配制了21个杂交组合,发现了4个一般配合力较高的亲本,以及3个综合表现突出的杂交组合;杨蛟峰^[6]采用不完全双列杂交法配制36个杂交组合,发现了4个一般配合力较高的薄皮甜瓜亲本,以及3个特殊配合力突出的强优势组合;程志强等^[7]按部分双列杂交法,配制6个组合,通过配合力及相关性分析,发现了3个有不同优势性状的亲本;王志强等^[8]采用不完全双列杂交设计,配制16个西瓜杂交组合,发现西瓜果形指数等广义遗传力和狭义遗传力较大,育种中适合进行早期选择。沈佳等^[9]以Griffing双列杂交配制28份甜瓜杂交组合,发现了4个特殊配合力较高的组合。

本试验采用不完全双列杂交试验设计,对16个自交系(8母本×8父本)及64个杂交组合进行了配合力及遗传力分析,通过方差分析、配合力效应分析、遗传参数估计、相关性分析,评估不同亲本的配合力特性,筛选出核心亲本和优良杂交组合,评价9个主要农艺性状的遗传表现,以期为薄皮甜瓜杂交育种的亲本组配与品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 方法

供试亲本均来自黑龙江省农业科学院大庆分院多年选择的16份薄皮甜瓜自交系,均为常规自

交系品种,具体表型数据见表1。其编号分别为:159、160、161、162、163、164、165、166(母本);167、168、169、170、171、172、173、174(父本),采用不完全双列杂交设计(NCII),共配制64个杂交组合。

2025年春于黑龙江省绥化市安达封闭育种基地,对16份薄皮甜瓜亲本及64个杂交后代采用32孔穴盘(540mm×280mm)播种,冷棚育苗,露地定植,田间采用随机区组设计,每小区面积6.5m²,3次重复。大垄双行,膜下微喷,垄宽1.3m,株距0.35m。采用地爬式栽培模式,三蔓整枝。

2025年7月于果实成熟期每个小区选取长势良好且较一致的果实10个,测定各项指标。

使用百分之一电子天平测定果实质量;使用游标卡尺测定果实横径、果实纵径;果形指数=纵径/横径;使用手持折光糖度仪测定可溶性固形物含量;采用全区测产的方式测定小区产量。

记录小区总瓜数、株数,单株结果数=总瓜数/株数。

在植株开花坐果初期,以整个小区植株为观测对象,观察并记录小区约70%植株主茎第一雌花开放的日期,计算播种至第一雌花开放历时天数为雌花期。

在植株果实成熟期间,以整个小区植株为观测对象,观察并记录小区约70%的果实达到成熟可采收的时期。计算果实第一雌花开放至成熟可采收历时天数为果实发育期。

1.2 数据分析

采用Excel 2016软件进行数据整理,采用SPSS 26.0进行方差分析;配合力分析使用R(v4.3.2)的lme4包(<https://cran.r-project.org/package=lme4>)拟合线性混合模型;遗传力分析使用Sommer包(<https://cran.r-project.org/package=sommer>)计算各遗传参数的方差分量;使用GGally包(<https://cran.r-project.org/package=GGally>)计算9个农艺性状间的Pearson相关系数矩阵,进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 配合力方差分析

由表2可知,区组间均无显著差异,且组间间的9个性状均存在极显著差异,说明各杂交组合间存在遗传差异,可以进行下一步配合力分析。母本和父本的一般配合力方差中,除母本的单株结果数差异显著外,其余性状均达到极显著水平。父母本

表 1 亲本材料部分表型特征

Table 1 Partial phenotypic data of parental materials

编号 Code	品系名 Strain name	甜瓜类型 Type	果形 Fruit shape	果实皮色 Epidermis color	果面光滑度 Surface smoothness	内果肉颜色 Inner flesh color	瓢色 Pulp color
159	QT22-112	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	苹果形 Apple-shaped	青白 Bluish white	浅沟 Shallow furrow	白 White	黄 Yellow
160	QT22-113	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	梨形 Pear-shaped	浅五龙白 Pale wulong white	浅沟 Shallow furrow	白 White	黄 Yellow
161	QT22-115	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	梨形 Pear-shaped	乳白 Milky white	光滑 Smooth	白 White	白 White
162	QT22-121	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	阔梨形 Broad pear-shaped	黄、白 Yellow & white	浅沟 Shallow furrow	白 White	黄 Yellow
163	QT22-127	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	梨形 Pear-shaped	乳黄 Milky yellow	浅沟 Shallow furrow	白 White	黄 Yellow
164	QT22-131	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	苹果形 Apple-shaped	乳黄 Milky yellow	光滑 Smooth	白 White	白 White
165	QT22-135	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	长锥形 Long conical	白、绿 White & green	光滑 Smooth	青白 Bluish white	黄 Yellow
166	QT19-89	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	阔梨形 Broad pear-shaped	白、黄绿 White & yellowish green	浅沟 Shallow furrow	白 White	黄 Yellow
167	QT22-133	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	苹果形 Apple-shaped	黄绿 Yellowish green	有沟 Furrowed	青白 Bluish white	黄 Yellow
168	QT21-146	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	梨形 Pear-shaped	五龙白 Wulong white	浅沟 Shallow furrow	白 White	黄 Yellow
169	QT21-147	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	梨形 Pear-shaped	白、黄绿 White & yellowish green	浅沟 Shallow furrow	白 White	黄 Yellow
170	QT21-148	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	梨形 Pear-shaped	五龙白 Wulong white	浅沟 Shallow furrow	白 White	黄 Yellow
171	QT21-152	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	梨形 Pear-shaped	白、黄绿 White & yellowish green	浅沟 Shallow furrow	浅黄 Pale yellow	黄 Yellow
172	QT19-95	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	长梨形 Long pear-shaped	白、黄绿 White & yellowish green	浅沟 Shallow furrow	白 White	白 White
173	QT23-18-1	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	梨形 Pear-shaped	白、黄绿 White & yellowish green	浅沟 Shallow furrow	白 White	白 White
174	QT23-33	薄皮甜瓜 Thin-skinned muskmelon	阔梨形 Broad pear-shaped	黄白 Yellowish white	浅沟 Shallow furrow	白 White	白 White

表 2 亲本及杂交组合 9 个性状方差分析结果(*F* 值)

Table 2 Analysis of variance for 9 traits in parents and hybrid combinations(*F* value)

变异来源 Source of variation	果实质量 Fruit mass	果实横径 Fruit trans-verse diameter	果实纵径 Fruit longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	可溶性固形物含量 Soluble solids content	雌花期 Female flowering period	果实发育期 Fruit development period	单株结果数 Number of fruits per plant	小区产量 Total yield per plot
区组 Block	0.36	0.61	0.92	1.31	1.05	0.45	0.89	0.78	1.12
组合 Combination	25.80**	8.45**	12.76**	9.33**	6.59**	10.24**	18.91**	5.12**	22.6**
母本 Female(A)	15.70**	6.89**	9.45**	7.12**	4.25**	8.33**	15.64**	3.78*	14.3**
父本 Male(B)	12.40**	10.56**	7.11**	5.89**	5.01**	11.02**	9.77**	6.45**	11.2**
A×B 互作 A×B interaction	3.20**	1.89	2.95**	1.74	2.11*	1.48	2.86**	2.05*	4.1**

注: *表示在 0.05 水平差异显著; **表示在 0.01 水平差异极显著。下同。

Note: * indicate significant difference at 0.05 level; ** indicate extremely significant difference at 0.01 level. The same below.

互作效应(A×B)在果实横径、果形指数和雌花期上差异不显著,在其余性状上均达到显著或极显著水平。

2.2 一般及特殊配合力分析

由表 3 可知,在果实质量方面:亲本 161 和 159

表 3 亲本 9 个性状的一般配合力效应值
Table 3 General combining ability (GCA) effects of 9 traits in parents

亲本 Parents	果实质量 Fruit mass	果实横径 Fruit transverse diameter	果实纵径 Fruit longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	可溶性固形物 含量 Soluble solids content	雌花期 Female flowering period	果实发育期 Fruit development period	单株结果数 Number of fruits per plant	小区产量 Total yield per plot
159	60.79	0.52	-0.39	-0.15	-0.32	0.50	-0.13	1.02	-8.89
160	18.46	0.39	-1.43	-0.25	0.78	1.50	-0.13	-0.35	2.56
161	87.46	0.69	-0.16	-0.15	-2.88	-0.50	-4.13	-0.06	7.48
162	-23.88	0.17	1.97	0.17	1.58	-0.50	3.88	0.40	5.36
163	-100.21	-0.81	-1.83	-0.14	-1.12	-1.50	-4.13	-0.09	-6.55
164	-0.21	0.35	-1.49	-0.26	1.72	-0.50	2.88	-0.27	-0.66
165	-78.54	-2.11	3.77	0.99	0.18	-1.50	2.88	-0.57	-5.68
166	36.12	0.82	-0.46	-0.20	0.05	2.50	-1.13	-0.08	6.36
167	46.75	1.41	-2.09	-0.42	-1.23	-1.75	0.88	0.93	-13.66
168	40.42	-0.39	-0.12	0.03	-0.70	1.25	-0.13	-1.56	-10.75
169	-20.25	0.11	0.78	0.06	-0.17	0.25	-0.13	-0.48	-1.70
170	28.42	0.78	0.35	-0.09	1.10	2.25	-1.13	-0.02	5.62
171	-38.92	-0.45	0.71	0.15	-0.57	1.25	-0.13	0.79	8.89
172	-20.25	-0.29	2.71	0.37	1.23	0.25	0.88	-0.21	0.87
173	0.75	-1.39	-1.05	0.10	0.90	-1.75	-0.13	-0.21	2.02
174	-36.92	0.21	-1.29	-0.20	-0.57	-1.75	-0.13	0.75	8.70

正向 GCA 效应最佳,GCA 效应值分别为 87.46 和 60.79,是该组中最有潜力的可以培育大果型的亲本。在果实形状方面:亲本 167 在果实横径上表现最佳,为 1.41;亲本 165 在果实纵径上表现最佳,为 3.77;亲本 165 在果形指数上的正向 GCA 效应最佳,为 0.99,是培育长果形品种的优良亲本。亲本 164、162 在可溶性固形物含量上表现突出,GCA 效应值分别为 1.72 和 1.58,适于作高糖育种亲本。在物候期方面:亲本 167、173、174 在雌花期上负向 GCA 效应最佳,均为-1.75,这些亲本材料可缩短生育前期天数,提前进入果实发育期。亲本 161、163 在果实发育期上的负向 GCA 效应最佳,均为-4.13,是培育早熟品种的优良亲本。在结果能力方面:亲本 159 和 167 在单株结果数上表现最佳,GCA 效应值分别为 1.02 和 0.93,有助于提高后代坐果数。在产量方面:亲本 171 和 174 在小区产量上表现最佳,GCA 效应值分别为 8.89 和 8.70。综合可溶性固形物含量和小区产量,162(可溶性固形物含量 GCA 为 1.58,小区产量 GCA 为 5.36)和 170(可溶性固形物含量 GCA 为 1.10,小区产量 GCA 为 5.62)是具有培育高产高糖品种潜力的优异亲本。

由表 4 可知,对 64 个杂交组合农艺性状进行特殊配合力分析表明,不同杂交后代的杂种优势在多个农艺性状上表现明显。在果实质量方面:组合 163×169 的果实质量 SCA 最高,为 160.15,组合

163×174 次之,为 137.12。在可溶性固形物方面:组合 161×168 和 161×167 表现最佳,SCA 效应值分别为 5.59 和 4.22。在果形指数方面,各组合 SCA 效应值变幅较大,组合 162×171 的负向 SCA 效应值最高,为-0.74;161×167 的正向 SCA 效应值最高,为 0.56。在物候期方面:组合 164×168 在雌花期上负向 SCA 效应值最佳,为-4.23,说明此组合开花早,通过缩短生育前期天数而达到早熟目标。组合 162×168 在果实发育期上的负向 SCA 效应值最佳,为-9.25,表现出较好的早熟特性,是培育早熟品种的理想组合。在单株结果数方面:164×170 有着最高的 SCA 效应值,为 2.15。在小区产量方面:组合 159×167 表现最为突出,其小区产量 SCA 效应值为 35.61,表明该组合在产量上具有较强的非加性遗传效应。组合 159×168 的小区产量 SCA 效应值次之,为 24.76。综合可溶性固形物含量和小区产量,161×167 的可溶性固形物含量 SCA 效应值为 4.22,排名第 2,小区产量 SCA 效应值为 5.83,正向特殊配合力效应明显,该组合在高产高糖品种选育中为核心候选组合。

2.3 遗传参数估计

由表 5 可知,果实纵径、果形指数与小区产量的环境效应占比较低,分别为 8.8%、7.4%和 15.4%,且加性效应占比均较高,分别为 67.6%、71.1%和 64.3%,表明这些性状有较高的遗传稳定性,在筛选

表4 杂交组合9个性状的特殊配合力效应值

Table 4 Specific combining ability (SCA) effects of 9 traits in hybrid combinations

编号 No.	杂交组合 Hybrid combination	果实 质量 Fruit mass	果实横径 Fruit transverse diameter	果实纵径 Fruit longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	可溶性固形物 含量 Soluble solids content	雌花期 Female flowering period	果实发育期 Fruit development period	单株结果数 Number of fruits per plant	小区产量 Total yield per plot
1	159×167	19.45	-1.74	0.82	0.33	-0.55	0.47	-3.55	-1.78	35.61
2	159×168	-68.21	0.86	1.06	0.01	0.72	-3.23	2.75	0.72	24.76
3	159×169	7.15	-0.07	-1.38	-0.13	-1.31	-1.93	4.75	-0.80	13.40
4	159×170	-66.21	-0.71	-0.05	0.13	-0.28	-2.53	3.45	-1.64	0.61
5	159×171	-56.88	-1.84	-1.85	0.14	-0.51	-1.93	-6.55	-1.68	2.33
6	159×172	65.85	0.19	-1.48	-0.21	-0.01	-3.93	3.45	-0.82	-4.97
7	159×173	-48.15	-0.47	-0.58	0.02	-0.38	0.77	3.45	-0.91	9.62
8	159×174	19.12	0.63	1.32	0.10	1.19	2.47	-1.55	-1.68	6.76
9	160×167	24.49	-0.31	3.26	0.41	0.15	4.77	-2.55	-0.98	14.06
10	160×168	-35.88	0.46	2.16	0.20	-1.18	-3.53	-3.25	2.05	13.16
11	160×169	31.79	-0.94	-1.34	0.00	-2.31	-3.93	5.15	0.00	-8.83
12	160×170	18.82	-1.98	1.03	0.49	-1.38	-1.93	2.45	-0.43	-10.99
13	160×171	-91.15	-1.07	-2.11	-0.10	-1.91	-0.93	0.45	-0.02	-16.03
14	160×172	-105.21	-0.61	-1.01	0.01	-1.81	0.07	-2.25	1.21	-18.02
15	160×173	23.79	1.66	3.43	0.14	-1.78	3.47	-5.85	0.82	2.87
16	160×174	-45.15	-0.11	1.99	0.27	-0.41	1.77	-4.55	0.04	-9.64
17	161×167	-65.51	-2.58	1.56	0.56	4.22	0.77	-1.25	-1.26	5.83
18	161×168	-92.88	-0.74	0.49	0.22	5.59	-0.93	3.45	0.86	-1.51
19	161×169	-120.81	-0.38	-1.54	-0.11	0.05	-0.53	2.75	0.45	-10.11
20	161×170	-94.48	-2.31	-0.81	0.30	0.69	-0.93	-2.25	-0.52	-15.39
21	161×171	-78.85	-0.11	0.53	0.09	2.05	1.07	4.45	-1.08	-19.67
22	161×172	-28.81	-0.74	-2.97	-0.23	-0.45	-0.53	-2.55	0.51	-0.29
23	161×173	-88.51	1.19	1.62	0.00	2.39	0.07	0.45	-0.14	-10.68
24	161×174	42.45	-1.54	0.70	0.35	3.35	0.07	8.45	-0.83	-14.29
25	162×167	70.12	-2.22	-0.64	0.26	-0.45	0.07	-0.55	-1.46	10.18
26	162×168	-1.55	0.01	-0.40	0.01	-2.18	1.47	-9.25	0.94	6.98
27	162×169	13.82	0.21	-1.77	-0.21	-0.91	-1.23	-8.55	-0.21	-10.67
28	162×170	62.85	-1.36	-2.57	-0.05	-1.88	0.77	-8.55	-1.02	-11.86
29	162×171	81.49	0.61	-5.58	-0.74	-2.11	-0.93	-3.55	-2.06	-19.56
30	162×172	4.52	-0.46	-5.38	-0.55	-2.81	-2.53	-7.25	0.07	-3.82
31	162×173	39.52	2.34	-0.04	-0.35	-1.38	3.07	-4.55	-0.26	-4.05
32	162×174	72.19	-1.19	0.02	0.27	-0.01	1.47	-3.55	-1.01	-12.65
33	163×167	63.15	0.42	2.42	0.24	1.75	5.47	3.45	-0.94	21.95
34	163×168	3.19	0.86	0.10	-0.09	3.22	0.07	0.45	1.87	14.22
35	163×169	160.15	1.26	1.80	0.06	-0.11	-2.53	7.45	0.66	14.62
36	163×170	101.49	0.82	1.99	0.14	-0.88	-2.23	6.75	0.51	10.15
37	163×171	72.12	1.36	0.26	-0.14	0.39	-3.23	7.75	-0.48	-5.93
38	163×172	53.45	1.29	-0.98	-0.29	-0.11	2.07	-0.55	0.39	5.77
39	163×173	102.45	2.96	3.36	-0.05	1.42	-0.23	7.45	0.82	6.72
40	163×174	137.12	0.82	0.96	0.02	2.79	2.77	7.45	-0.44	2.28
41	164×167	-89.85	-1.55	0.06	0.19	-0.68	3.47	-5.55	0.06	3.31
42	164×168	-73.51	0.49	0.76	0.03	-2.11	-4.23	0.75	1.91	13.50
43	164×169	4.85	-0.31	0.22	0.09	-2.05	1.07	-3.55	-0.08	-6.81
44	164×170	-92.51	-2.87	-0.07	0.53	-5.11	-1.53	-2.55	2.15	-19.17
45	164×171	118.52	-0.14	-0.07	0.02	1.45	-2.23	-1.25	-0.52	-4.80
46	164×172	9.85	0.15	-1.91	-0.25	-3.05	-0.53	-2.85	0.00	-6.69
47	164×173	-24.15	1.45	2.23	0.04	-4.21	0.77	1.75	0.38	-0.61

表 4 (续)
Table 4 (Continued)

编号 No.	杂交组合 Hybrid combination	果实 质量 Fruit mass	果实横径 Fruit transverse diameter	果实纵径 Fruit longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	可溶性固形物 含量 Soluble solids content	雌花期 Female flowering period	果实发育期 Fruit development period	单株结果数 Number of fruits per plant	小区产量 Total yield per plot
48	164×174	26.82	0.99	1.16	0.04	1.65	2.77	-0.25	0.16	-21.00
49	165×167	-115.51	-1.19	1.62	0.39	1.95	4.77	-5.55	0.01	16.46
50	165×168	101.12	3.12	1.00	-0.54	2.32	-1.23	-0.85	1.45	13.53
51	165×169	9.19	1.62	-2.44	-0.71	2.09	2.07	0.75	0.33	-0.39
52	165×170	19.82	0.69	0.69	-0.14	-0.58	-0.53	1.15	1.06	6.01
53	165×171	39.15	1.46	-0.21	-0.32	-1.91	2.07	1.45	0.72	1.36
54	165×172	85.19	1.89	-0.61	-0.49	-1.31	2.47	0.45	0.56	4.95
55	165×173	10.79	2.96	1.53	-0.42	1.32	2.77	3.75	0.00	-4.26
56	165×174	68.45	1.99	-0.94	-0.62	3.39	2.47	2.15	-0.21	-2.81
57	166×167	-47.88	-2.97	-0.04	0.40	0.89	0.47	0.45	-0.18	19.92
58	166×168	-63.15	0.51	0.93	0.04	1.25	-3.23	2.45	1.57	7.55
59	166×169	-40.48	-0.57	-0.27	0.07	1.02	-1.23	0.45	0.56	-6.22
60	166×170	-84.55	-1.48	-0.28	0.20	-0.55	-3.23	1.45	0.76	-3.45
61	166×171	2.49	-1.48	-1.64	0.05	0.22	-3.23	-2.25	-0.47	-9.64
62	166×172	1.52	0.39	-1.10	-0.20	0.92	-3.23	1.15	0.53	-0.51
63	166×173	-37.18	-0.54	1.02	0.23	0.35	1.77	2.45	0.42	-3.97
64	166×174	28.79	0.16	1.53	0.18	1.12	1.07	2.45	-0.33	-7.66

表 5 各杂交组合性状遗传参数估值
Table 5 Estimated genetic parameters for traits in hybrid combinations

遗传参数 Genetic parameters	果实质量 Fruit mass	果实横径 Fruit transverse diameter	果实纵径 Fruit longitu- dinal diameter	果形指数 Fruit shape index	可溶性固形物 含量 Soluble solids content	雌花期 Female flowering period	果实发育期 Fruit develop- ment period	单株结果数 Number of fruits per plant	小区产量 Total yield per plot
加性遗传方差 σ^2A Additive genetic variance σ^2A	1 257.4	0.51	15.21	0.086	5.78	2.25	4.28	1.39	124.3
显性遗传方差 σ^2D Dominant genetic variance σ^2D	472.6	0.19	5.31	0.026	1.96	0.71	1.31	0.47	39.1
环境方差 σ^2E Environmental variance σ^2E	1 895.1	0.33	1.98	0.009	2.54	3.67	4.35	0.88	29.8
表型方差 σ^2P Phenotypic variance σ^2P	3 625.1	1.03	22.5	0.121	10.28	6.63	9.94	2.74	193.2
加性效应占比 The proportion of additive effects/%	34.7	49.5	67.6	71.1	56.2	33.9	43.1	50.7	64.3
显性效应占比 The proportion of explicit effects/%	13.0	18.4	23.6	21.5	19.1	10.7	13.2	17.2	20.2
环境效应占比 Proportion of envi- ronmental effects/%	52.3	32.0	8.8	7.4	24.7	55.4	43.8	32.1	15.4
狭义遗传力 Narrow-sense heritability/ h^2	0.347	0.495	0.676	0.711	0.562	0.339	0.431	0.507	0.643
广义遗传力 Broad-sense heritability/ H^2	0.477	0.680	0.912	0.926	0.753	0.446	0.562	0.679	0.846

高产或有特异果形的杂交后代时,应注意评估亲本的 GCA 效应值。果实质量、雌花期的环境效应占比较高,均超过 52%;果实发育期的环境效应占比也达到 43.8%,易受环境影响。值得注意的是,所有性状的加性效应占比(33.9%~71.1%)均高于显性效应占比(10.7%~23.6%),说明这 9 个性状均主要受加性基因控制。

遗传力分析表明:狭义遗传力与广义遗传力多处于中等至较高水平。其中,果实纵径、果形指数、小区产量和可溶性固形物含量的广义与狭义遗传力均较高,分别为 0.912、0.926、0.846、0.753 和 0.676、0.711、0.643、0.562。这些性状可在早代进行直接表型选择。而果实质量、雌花期和果实发育期受环境影响较大,广义与狭义遗传力均较低,分别

为 0.477、0.446、0.562 和 0.347、0.339 和 0.431。说明果实质量、雌花期和果实发育期相对不适宜过早淘汰,需逐代选择,以选出优良品种,也表明提高栽培管理水平可有效显现出其优良特性。

2.4 相关性分析

由表 6 可知,在产量方面,小区产量与果实质量在 0.001 水平呈显著正相关,相关系数为 0.438;小区产量与单株结果数同样在 0.001 水平呈显著正相关,相关系数为 0.883。在果实质量方面,果实质量与果实横径在 0.01 水平呈显著正相关,与果形指数在 0.05 水平呈显著负相关。在果实形态方面,果形指数与果实横径在 0.001 水平呈显著负相关,与果实纵径在 0.001 水平呈显著正相关。在物候期方面,果实发育期与雌花期在 0.01 水平呈显著负相关,相关系数为-0.338。

表 6 杂交组合群体农艺性状的相关性分析
Table 6 Correlation analysis of agronomic traits in hybrid population

指标 Index	果实横径 Fruit trans- verse diameter	果实纵径 Fruit longitudinal diameter	果形指数 Fruit shape index	可溶性固形物 含量 Soluble solids content	雌花期 Female flowering period	果实发育期 Fruit develop- ment period	单株结果数 Number of fruits per plant	小区产量 Total yield per plot
果实质量 Fruit mass	0.351**	-0.148	-0.293*	-0.022	-0.090	-0.068	-0.009	0.438***
果实横径 Fruit transverse diameter		-0.035	-0.494***	0.145	-0.085	0.141	-0.030	0.142
果实纵径 Fruit longitudinal diameter			0.876***	0.280*	0.026	0.264*	0.125	0.012
果形指数 Fruit shape index				0.176	0.074	0.161	0.109	-0.072
可溶性固形物含量 Soluble solids content					0.021	0.195	-0.133	-0.149
雌花期 Female flowering period						-0.338**	0.108	0.077
果实发育期 Fruit development period							-0.065	-0.110
单株结果数 Number of fruits per plant								0.883***

注:*表示在 0.05 水平显著相关;**表示在 0.01 水平显著相关;***表示在 0.001 水平显著相关。
Note: * indicate significant correlation at 0.05 level; ** indicate significant correlation at 0.01 level; *** indicate significant correlation at 0.001 level.

3 讨论与结论

不完全双列杂交设计(NCII设计)以一组母本与另一组父本进行杂交,从而系统地评估两组亲本的一般配合力(GCA)和杂交组合的特殊配合力(SCA)^[10]。该设计还可有效分析某一性状的加性或非加性基因效应,研究遗传力^[11]。因此多应用于筛选优良亲本、评估杂种优势等育种工作,在小麦、玉米、水稻等作物中已有大量研究^[12-14]。本试验有 16

份供试亲本,群体规模较大,使用不完全双列杂交设计可高效计算自交系亲本的 GCA 效应值,相较于使用 Griffing 杂交设计等提高了育种效率。在甜瓜育种中,前人研究多侧重研究薄皮甜瓜的单果品质,如可溶性固形物含量、单果质量、果形指数等^[15],本试验将小区产量、单株结果数及雌花期、果实发育期等产量与生育期相关农艺性状纳入配合力与遗传力分析之中,可以更全面地评估甜瓜在黑龙江地区的栽培潜力。

强优势组合选配的关键在于亲本材料,而一般配合力由加性效应决定,能稳定遗传,可以评价亲本的利用价值;特殊配合力由非加性效应决定,不能稳定遗传,用以评价组合的杂种优势^[16]。本试验通过配合力分析发现,亲本 162、170 在可溶性固形物含量和小区产量上表现出较高的正向 GCA 效应,是育成高产、高糖品种的核心亲本,但其杂交组合 162×170 的可溶性固形物含量和小区产量的特殊配合力为-1.88 和-11.86,说明亲本一般配合力高的杂交组合,其特殊配合力未必高,这与赵福相等^[17]、游月华等^[18]的研究结论一致。亲本 163 的雌花期和果实发育期的一般配合力较低,在选育早熟品种时可作为亲本材料。其余亲本可根据不同的品种选配策略作为备选材料,如选育长果形品种可考虑亲本 165,选育大果型品种可考虑亲本 161。在分析特殊配合力时发现了一个有潜力的高产、高糖组合 161×167,该组合可溶性固形物含量和小区产量的 SCA 效应值均较高,同时其果实发育期的 SCA 效应值为-1.25,成熟期较短,兼具早熟、高产、高糖特性,为强优势组合。其余组合性状各有优劣,如 161×168 等在可溶性固形物含量上表现优异,但产量 SCA 效应值为负,可考虑在后续育种中对该组合的高世代材料进行定向选择。

通过遗传力分析发现,果实纵径、果形指数、小区产量和可溶性固形物含量的广义和狭义遗传力均较高,说明这些性状主要受加性基因效应控制,可在早代进行严格选择。同时,单果质量、雌花期、果实发育期的广义和狭义遗传力均较低,说明受环境影响较大,这与栾非时等^[19]的结论相似,应提高栽培管理水平,以提高出现理想表型的概率。此外,果实质量、果实纵径的广义遗传力均高于狭义遗传力,各性状显性效应占比变幅为 10.7%~23.6%,亲本的杂种优势潜力较大,这与程志强等^[7]的研究结论一致。通过相关性分析发现,小区产量与果实质量、单株结果数呈极显著正相关,梁昕景等^[20]在 27 个白皮类型厚皮甜瓜品种的试验中得到了相似的结论,表明提高栽培管理能力、单果质量或坐果率可以增加产量。由遗传相关系数可知,果实质量相较单株结果数的狭义遗传力较低,说明通过提高单株结果数实现增产的效果更佳。另外,核心品质指标可溶性固形物含量与单株产量、小区产量并无显著负相关,因此在甜瓜杂交育种中,可以选育出同时具备高产、高糖理想类型的组合。

综上,本试验筛选出了小区产量和可溶性固形物含量均较高的亲本 162 和 170,是有潜力培育高产、高糖类型的亲本材料。并发现了一个强优势组合 161×167,该组合契合本次早熟、高产、高糖的育种目标。该结果为高产优质薄皮甜瓜新品种选育及亲本选配提供了理论依据。

参考文献

- [1] 尚建立,周丹,马双武,等.中国甜瓜种质资源收集保存与创新利用进展[J].果树学报,2025,42(11):2777-2786.
- [2] 温玲,赵丹,王刚,等.薄皮甜瓜新品种“龙甜8号”的选育[J].北方园艺,2019(7):200-202.
- [3] Paril J, Reif J, Fournier-level A, et al. Heterosis in crop improvement[J]. Plant Journal, 2024, 117(1):23-32.
- [4] 潘清洁,赵福胜,罗洪发,等.5个新选水稻三系不育系主要农艺性状配合力分析[J].南方农业学报,2020,51(1):36-41.
- [5] 赵靓,张恒斌,曾凯,等.籽用西瓜重要育种性状的配合力和遗传力分析[J].中国瓜菜,2023,36(8):19-26.
- [6] 杨蛟峰.薄皮甜瓜亲本自交系的聚类及其杂种优势分析[D].山西晋中:山西农业大学,2016.
- [7] 程志强,侯晟灿,程潇然,等.甜瓜主要农艺性状配合力及遗传力分析[J].中国果树,2018(2):36-38.
- [8] 王志强,刘声锋,王炬春,等.8个西瓜亲本材料主要农艺性状的配合力和遗传力分析[J].西北农业学报,2018,27(11):1615-1621.
- [9] 沈佳,寿伟松,张跃建.甜瓜果实主要品质性状的配合力及遗传力分析[J].浙江农业学报,2017,29(2):244-250.
- [10] Peng M, Wang Z Y, He Z B, et al. Combining ability, heritability, and heterosis for seed weight and oil content traits of castor bean(*Ricinus communis* L.)[J]. Agronomy, 2024, 14(6):1115.
- [11] 邹文广,许旭明,张受刚,等.水稻长穗大粒种质资源产量性状配合力及遗传力分析[J].福建农业学报,2014,29(4):324-328.
- [12] Yang W B, Qin Z L, Sun H, et al. Analysis of combining ability for stem-related traits and its correlations with lodging resistance heterosis in hybrid wheat[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2022, 21(1):26-35.
- [13] 李燕,何平,韩光煜,等.16份玉米自交系籽粒品质性状配合力及育种潜力分析[J].中国种业,2025(8):89-94.
- [14] 陈桂华,邓化冰,张桂莲,等.水稻茎秆性状与抗倒性的关系及配合力分析[J].中国农业科学,2016,49(3):407-417.
- [15] 沈佳,寿伟松,张跃建.甜瓜果实主要数量性状的配合力分析[J].中国瓜菜,2017,30(12):4-8.
- [16] 孙海东,刘腾飞,胡文彬,等.2个播期下粳型杂交稻米品质性状的配合力分析[J].杂交水稻,2025,40(5):24-34.
- [17] 赵福相,王旭文,孔宪辉,等.16份早熟陆地棉材料主要性状配合力分析[J].中国棉花,2023,50(12):17-22.
- [18] 游月华,陈萍萍,彭玉林,等.几个新选粳型糯稻不育系和恢复系主要农艺性状的配合力分析[J].农业科技通讯,2022(6):136-140.
- [19] 栾非时,张杨,王学征,等.厚皮甜瓜主要性状的配合力分析[J].东北农业大学学报,2014,45(1):108-112.
- [20] 梁昕景,夏玲,王学林,等.27个白皮类型厚皮甜瓜品种比较与综合评价[J].种子,2022,41(5):66-74.