

薄皮甜瓜品种(系)光合性能综合评价 及高光效品种筛选

康利允, 王慧颖, 李晓慧, 高宁宁, 李海伦, 常高正, 赵卫星

(河南省农业科学院园艺研究所 郑州 450002)

摘要:通过对薄皮甜瓜品种(系)的光合性能进行综合评价,筛选高光效种质资源,为薄皮甜瓜高光效育种奠定基础。采用苗期穴盘基质栽培,对45个薄皮甜瓜品种(系)的光合指标和农艺性状进行测定,利用主成分分析、隶属函数分析、聚类分析法对薄皮甜瓜品种(系)的光合性能进行综合评价,筛选出适宜的高光效评价指标和高光效品种(系)。结果表明,45个薄皮甜瓜品种(系)的15个性状的变异系数存在较大差异,介于10.32%~54.75%,其中净光合速率、气孔导度、水分利用效率、植株鲜质量和植株干质量等5个性状变异较大,变异系数均大于30%;通过主成分分析,提取5个主成分,累计贡献率达84.915%,筛选出净光合速率、植株鲜质量、植株干质量、根体积、根鲜质量、根干质量、气孔导度、蒸腾速率、饱和蒸汽压差、叶片瞬时水分利用效率、叶绿素相对含量、叶面积作为薄皮甜瓜高光效能力的评价指标;对综合光效率评价进行聚类分析,将45个薄皮甜瓜品种(系)分为4类,高光效类型、亚高光效类型、中等高光效类型和低光效类型。初步筛选出波妞、皇子168、TS-16、15-171、TS-13、15-146、TS-14、A69、TS-9、TS-6、TS-12、15-142等12个高光效品种(系),可作为育种的高光效薄皮甜瓜种质。

关键词:薄皮甜瓜;苗期;高光效;综合评价;筛选

中图分类号:S652

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)07-034-07

Comprehensive evaluation of photosynthetic performance of oriental melon varieties(lines) and screening of high photosynthetic efficiency

KANG Liyun, WANG Huiying, LI Xiaohui, GAO Ningning, LI Hailun, CHANG Gaozheng, ZHAO Weixing

(Institute of Horticulture, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: Through comprehensively evaluating the photosynthetic performance of oriental melon varieties(lines), screening for high-efficiency germplasm resources, and laying the foundation for high-efficiency breeding of oriental melon. This study used seedling stage plug substrate cultivation to measure the photosynthetic indicators and agronomic traits of 45 oriental melon varieties (lines). Principal component analysis, membership function analysis, and cluster analysis were used to comprehensively evaluate the photosynthetic performance of oriental melon varieties (lines), and suitable high-efficiency evaluation indicators and varieties were screened. The results showed that there were significant difference in the variation amplitude of 15 traits among 45 oriental melon varieties (lines), ranging from 10.32% to 54.75%. Among them, five traits, such as net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), water use efficiency (WUE), fresh plant mass, and dry plant mass, had large variations, and the coefficient of variation of all these traits was greater than 30%. Through principal component analysis, five principal components were extracted, and their cumulative contribution rate reached 84.915%. P_n , plant fresh mass, plant dry mass, root volume, root fresh mass, root dry mass, G_s , transpiration rate (T_r), vapor pressure difference (VPD), WUE, relative chlorophyll content (SPAD value), and leaf area were screened out as evaluation indexes for the high photosynthetic efficiency ability of oriental melon. Through cluster analysis of the comprehensive photosynthetic efficiency evaluation (D) values, 45 oriental melon varieties (lines) were divided into four categories: High photosynthetic efficiency type, sub-high photosynthetic efficiency type, medium-high

收稿日期:2025-02-25;修回日期:2025-04-16

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-25);河南省西瓜产业技术体系建设项目(HARS-22-10-G1);河南省科技攻关项目(232102110246);河南省农业良种攻关项目(2022010503);河南省农业科学院自主创新项目(2025ZC036)

作者简介:康利允,女,副研究员,主要从事西瓜、甜瓜土壤及营养生理研究。E-mail:kangliyun2004@126.com

通信作者:赵卫星,男,研究员,主要从事西瓜、甜瓜营养及栽培生理研究。E-mail:wxzhao2008@163.com

photosynthetic efficiency type, and low photosynthetic efficiency type. Twelve varieties (lines) with high photosynthetic efficiency, such as Boniu, Huangzi 168, TS-16, 15-171, TS-13, 15-146, TS-14, A69, TS-9, TS-6, TS-12, and 15-142, were preliminarily screened out, which can be used as germplasm of oriental melon and high photosynthetic efficiency suitable for breeding.

Key words: Oriental melon; Seedling stage; High photosynthetic efficiency; Comprehensive evaluation; Screening

光合作用是植物生长的基础,植物干物质积累的90%~95%来自叶片的光合作用^[1]。诸多研究表明,同一作物不同品种的光合效率存在明显的遗传差异性^[2],李瑛等^[3]对47个葡萄品种(系)的耐弱光能力进行评价,认为希娜玛瑙、独角兽等36个品种(系)为耐弱光葡萄品种(系),其中巨峰、夏黑等25个葡萄品种同时也具有较强的耐强光能力。充分挖掘作物自身潜力,提高光合利用能力,是实现作物高产优质的最有效方法。目前,有关大豆^[4]、马铃薯^[5]、甘薯^[6]等作物品种间的光合性能已做了较多研究,并选育出高光效品种。范元芳等^[7]研究发现,高光效大豆种质具有较高的净光合速率、气孔导度、电子传递速率和PSII反应中心激发能捕获效率。许国春等^[8]研究指出,SPAD值与光合效率综合评价指数呈显著正相关,且在一定程度上能有效反映马铃薯的光合能力,可作为马铃薯高光效种质的初筛指标。徐乐等^[9]研究发现,净光合速率、水分利用率、羧化效率、气孔导度是实现甘薯高光合能力的重要光合特性。大量研究认为,弱光胁迫造成作物减产和品质下降^[10-12],从而导致经济效益降低。甜瓜(*Cucumis melo* L.)是一种喜光蔓性草本植物,群

体内部叶片密集,透光性较差^[13],因此,选育高光效甜瓜品种具有重要意义。但关于薄皮甜瓜光合性能综合评价及高光效品种(系)筛选的研究鲜有报道,鉴于此,笔者以45个薄皮甜瓜品种(系)为试验材料,对苗期光合指标和农艺性状进行测定,筛选出薄皮甜瓜的光合性能评价指标及建立有效的综合评价体系,得到高光效品种(系),以期为选育高光效品种提供理论依据和种质资源。

1 材料与方法

1.1 供试材料

参试薄皮甜瓜品种(系)共45个(表1),均由河南省农业科学院园艺研究所提供。

1.2 试验设计

试验于2023年3—4月在河南省农业科学院温室进行。采用穴盘基质栽培方法,基质为草炭+蛭石(体积比3:1)。挑选籽粒饱满、均匀一致的种子直播于32孔穴盘中,待子叶完全展开后,浇pH为6.0的营养液(由1/2倍Hoagland和1/1000倍Arnon微量元素组成)。第一周用1/4浓度营养液,第二周用1/2浓度营养液,以后均用全量营养液。

表1 薄皮甜瓜品种(系)的编号及名称
Table 1 Number and name of oriental melon varieties (lines)

编号 Number	品种(系) Variety(line)	来源 Origin	编号 Number	品种(系) Variety(line)	来源 Origin	编号 Number	品种(系) Variety(line)	来源 Origin
1	TS-1	河南 Henan	16	TS-17	河南 Henan	31	15-146	河南 Henan
2	TS-2	河南 Henan	17	TS-18	河南 Henan	32	15-150	河南 Henan
3	TS-3	河南 Henan	18	TS-20	河南 Henan	33	15-151	河南 Henan
4	TS-4	河南 Henan	19	A43	湖北 Hubei	34	15-154	河南 Henan
5	TS-5	河南 Henan	20	A68	湖北 Hubei	35	15-155	河南 Henan
6	TS-6	河南 Henan	21	A69	湖北 Hubei	36	15-156	河南 Henan
7	TS-7	河南 Henan	22	15-117	河南 Henan	37	15-157	河南 Henan
8	TS-8	河南 Henan	23	15-118	河南 Henan	38	15-158	河南 Henan
9	TS-9	河南 Henan	24	15-132	河南 Henan	39	15-164	河南 Henan
10	TS-10	河南 Henan	25	15-134	河南 Henan	40	15-167	河南 Henan
11	TS-11	河南 Henan	26	15-135	河南 Henan	41	15-171	河南 Henan
12	TS-12	河南 Henan	27	15-136	河南 Henan	42	博洋9 Boyang 9	河南 Henan
13	TS-13	河南 Henan	28	15-142	河南 Henan	43	波妞 Boniu	河南 Henan
14	TS-14	河南 Henan	29	15-143	河南 Henan	44	皇子 168 Huangzi 168	河南 Henan
15	TS-16	河南 Henan	30	15-145	河南 Henan	45	珍甜 18 Zhentian 18	河南 Henan

1.3 测定项目与方法

在甜瓜植株生长到 5 叶期的晴天 09:00—11:30, 每品种(系)选取长势一致的代表性植株 5 株,采用 CIRAS-3 便携式光合仪测定其最新完全展开叶的净光合速率(P_n)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、饱和蒸气压差(VPD)、叶片瞬时水分利用效率(WUE)等气体交换参数。WUE= P_n/T_r 。采用手持式叶绿素仪 SPAD-502 测定叶绿素相对含量(SPAD 值)。每品种(系)选取长势一致的代表性植株 10 株,采用直尺测定其株高及最新完全展开叶的叶长、叶宽,叶面积=叶长×叶宽;采用游标卡尺测定茎粗;采用天平测定植株鲜质量、植株干质量、根鲜质量和根干质量;采用排水法测定根体积。

综合光效率评价(D)值= $\sum_{j=1}^n[U(X_j)w_j]$, 其中, 隶属函数值 $U(X_j)=(X_j-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$, 权重 $w_j=\sum_{j=1}^np_j$, X_j 表示第 j 个筛选指标; $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 分别为筛选指标的最大值和最小值; w_j 表示第 j 个筛选指标

在所有指标中所占的权重; p_j 表示第 j 个筛选指标的贡献率。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 20.0 对数据进行统计分析, 其中, 主成分分析采用降维-因子分析法, 相关分析采用 Pearson 法, 聚类分析采用系统聚类法。

2 结果与分析

2.1 薄皮甜瓜光合指标和农艺性状差异

45 个薄皮甜瓜品种(系)的光合指标和农艺性状差异明显(表 2), 不同品种(系)间 15 个指标和性状的变异系数均较大, 介于 10.32%~54.75%。其中 P_n 、 G_s 、WUE、植株鲜质量和植株干质量等 5 个指标和性状变异较大, 均大于 30%。SPAD 值、茎粗和叶面积的变异相对较小, 变异系数分别为 15.06%、10.32%和 19.72%, 说明选取的 45 个薄皮甜瓜品种(系)具有较丰富的遗传多样性, 难以采用单一性状来判断甜瓜品种(系)间光合性能的差异, 需要建立综合评价体系, 来评价不同品种的光合能力。

表 2 不同薄皮甜瓜品种(系)光合指标和农艺性状差异

Table 2 Differences in photosynthetic indexes and agronomic traits of different oriental melon varieties(lines)

指标或性状 Index or trait	均值 Mean	标准差 SD	变幅 Range	变异系数 CV/%
$P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	22.17	8.10	8.57~36.20	36.53
$C_i/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	259.40	63.03	146.00~462.00	24.30
$G_s/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	349.62	191.42	72.00~935.00	54.75
$T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	5.60	1.67	1.95~9.60	29.75
VPD/kPa	2.17	0.53	1.13~3.70	24.51
WUE	4.00	1.20	1.67~6.30	30.09
SPAD 值 SPAD value	28.59	4.30	21.00~39.00	15.06
株高 Plant height/cm	9.26	2.19	5.04~13.68	23.70
茎粗 Stem diameter/mm	4.09	0.42	3.18~5.32	10.32
叶面积 Leaf area/ cm^2	7.94	1.57	4.83~11.39	19.72
植株鲜质量 Plant fresh mass/($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	2.61	0.87	1.14~6.23	33.42
植株干质量 Plant dry mass/($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	0.32	0.16	0.12~0.93	49.23
根体积 Root volume/ cm^3	0.51	0.15	0.25~1.03	28.81
根鲜质量 Root fresh mass/($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	0.45	0.12	0.22~0.89	26.05
根干质量 Root dry mass/($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	0.05	0.01	0.03~0.11	27.44

2.2 薄皮甜瓜光合指标和农艺性状相关性分析

对 45 个薄皮甜瓜品种(系)的光合指标和农艺性状进行相关性分析(表 3), 结果表明, P_n 与 G_s 、 T_r 、WUE、株高、植株干质量呈极显著正相关, 与植株鲜质量呈显著正相关, 与 VPD、根鲜质量呈极显著负相关; C_i 与 G_s 、 T_r 呈极显著正相关, 与 VPD、WUE 呈

极显著负相关; G_s 与 T_r 呈极显著正相关, 与 VPD 呈极显著负相关; T_r 与 VPD 呈极显著负相关, 与植株干质量呈显著负相关; VPD 与植株干质量、根鲜质量呈显著正相关; WUE 与 SPAD 值呈显著正相关, 与株高呈显著负相关; SPAD 值与株高呈极显著负相关; 株高与植株鲜质量、植株干质量、根鲜质量呈

表3 不同薄皮甜瓜品种(系)光合指标和农艺性状相关性分析

Table 3 Correlation analysis of photosynthetic indexes and agronomic traits of different oriental melon varieties (lines)

指标 Index	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15
X1	1														
X2	0.006	1													
X3	0.573**	0.612**	1												
X4	0.476**	0.435**	0.875**	1											
X5	-0.738**	-0.445**	-0.829**	-0.714**	1										
X6	0.652**	-0.400**	-0.074	-0.268	-0.278	1									
X7	0.198	0.116	0.081	-0.121	-0.184	0.352*	1								
X8	0.380**	-0.048	-0.256	-0.202	0.269	-0.320*	-0.387**	1							
X9	-0.007	-0.200	-0.242	-0.146	0.145	0.050	-0.186	0.296*	1						
X10	-0.079	0.084	-0.042	-0.122	-0.018	0.042	-0.203	0.219	-0.202	1					
X11	0.303*	-0.073	-0.242	-0.231	0.229	-0.149	-0.038	0.532**	0.514**	0.011	1				
X12	0.427**	-0.02	-0.292	-0.326*	0.329*	-0.239	0.087	0.477**	0.333*	0.023	0.899**	1			
X13	-0.262	-0.105	-0.159	-0.055	0.226	-0.235	-0.097	0.268	0.442**	-0.018	0.726**	0.613**	1		
X14	-0.339**	-0.204	-0.263	-0.135	0.349*	-0.261	-0.195	0.390**	0.492**	0.076	0.776**	0.627**	0.901**	1	
X15	-0.231	-0.112	-0.186	-0.181	0.231	-0.070	0.079	0.270	0.509**	-0.102	0.853**	0.750**	0.807**	0.838**	1

注: *、**分别表示在 0.05、0.01 水平上显著相关。X1. P_n ; X2. C_i ; X3. G_s ; X4. T_r ; X5. VPD; X6. WUE; X7. SPAD 值; X8. 株高; X9. 茎粗; X10. 叶面积; X11. 植株鲜质量; X12. 植株干质量; X13. 根体积; X14. 根鲜质量; X15. 根干质量。下同。

Note: * and **represent significant correlation at 0.05 and 0.01 level, respectively. X1. P_n ; X2. C_i ; X3. G_s ; X4. T_r ; X5. VPD; X6. WUE; X7. SPAD value; X8. Plant height; X9. Stem diameter; X10. Leaf area; X11. Plant fresh mass; X12. Plant dry mass; X13. Root volume; X14. Root fresh mass; X15. Root dry mass. The same below.

极显著正相关,与茎粗呈显著正相关;茎粗与植株鲜质量、根体积、根鲜质量、根干质量呈极显著正相关,与植株干质量呈显著正相关;植株鲜质量与植株干质量、根体积、根鲜质量、根干质量呈极显著正相关;植株干质量与根体积、根鲜质量、根干质量呈极显著正相关;根体积与根鲜质量、根干质量呈极显著正相关;根鲜质量与根干质量呈极显著正相关。

2.3 薄皮甜瓜光合指标和农艺性状主成分分析

对 45 个薄皮甜瓜品种(系)的光合指标(P_n 、 C_i 、 G_s 、 T_r 、VPD、WUE 和 SPAD 值)和农艺性状(株高、茎粗、叶面积、植株鲜质量、植株干质量、根体积、根鲜质量和根干质量)共 15 个指标进行主成分分析,根据特征值大于 1 的原则,提取了 5 个主成分(表 4),累计贡献率达 84.915%。第 1 主成分贡献率 36.864%,主要由 P_n 、VPD、植株鲜质量、植株干质量、根体积、根鲜质量、根干质量决定;第 2 主成分贡献率 18.015%,主要由 G_s 、 T_r 决定;第 3 主成分贡献率 13.644%,主要由 WUE 决定;第 4 主成分贡献率 8.702%,主要由 SPAD 值决定;第 5 主成分贡献率 7.690%,主要由叶面积决定。

2.4 薄皮甜瓜品种(系)光合性能评价及高光效品种筛选

以主成分分析法确定的 12 个指标(P_n 、VPD、植

表4 不同薄皮甜瓜品种(系)光合指标和农艺性状主成分分析

Table 4 Principal component analysis of photosynthetic indexes and agronomic traits of different oriental melon varieties (lines)

指标 Index	C1	C2	C3	C4	C5
X1	0.612	0.344	0.579	0.319	0.065
X2	-0.294	0.551	-0.453	-0.374	0.195
X3	-0.597	0.762	-0.095	-0.005	0.029
X4	-0.499	0.742	-0.203	0.147	-0.225
X5	0.638	-0.644	-0.196	-0.121	-0.187
X6	-0.282	-0.233	0.836	0.207	0.286
X7	-0.182	0.022	0.518	-0.730	0.217
X8	0.572	0.049	-0.359	0.333	0.225
X9	0.535	0.195	0.325	0.355	-0.307
X10	0.030	-0.088	-0.279	0.333	0.814
X11	0.853	0.365	0.148	-0.035	0.167
X12	0.813	0.234	0.046	-0.269	0.233
X13	0.764	0.423	0.122	0.014	-0.073
X14	0.848	0.325	0.067	0.124	-0.036
X15	0.798	0.397	0.307	-0.124	0.010
特征值 Eigenvalue	5.530	2.702	2.047	1.305	1.153
贡献率 Contribution rate/%	36.864	18.015	13.644	8.702	7.690
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	36.864	54.879	68.523	77.225	84.915

株鲜质量、植株干质量、根体积、根鲜质量、根干质量、 G_s 、 T_s 、WUE、SPAD 值和叶面积),计算其 D 值,根据 D 值大小对 45 个薄皮甜瓜品种(系)的光合性能进行评价(表 5), D 值越大,表明其光合性能越强,反之越弱^[14]。光合性能较强的前 10 个品种(系)分别为皇子 168、波妞、15-171、TS-16、15-146、TS-13、TS-9、A69、TS-14、TS-12;光合性能较弱的 10 个品种(系)分别为 TS-20、15-134、15-150、15-118、15-145、A43、15-132、15-117、TS-18、15-135。对 D 值进行聚类分析的结果表明,45 个薄皮甜瓜品种(系)可分为 4 类(图 1),这与光合效率综合(D)值排序吻合度基本一致。其中,I 类为高光效类型,共 12 个品种(系),占 26.7%,包括波妞、皇子 168、TS-16、15-171、TS-13、15-146、TS-14、A69、TS-9、TS-6、TS-12、15-142;II 类为亚高光效类型,共 9 个品种(系),占 20.0%,包括 15-154、博洋 9、TS-11、TS-17、15-155、15-151、15-157、TS-10、珍甜 18;III 类为中等高光效类型,共 15 个品种(系),占 33.3%,包括 TS-8、15-164、TS-2、TS-5、TS-7、TS-4、15-158、15-167、A68、15-136、15-156、15-135、TS-3、15-143、TS-1;IV 类低光效类型,共 9 个品种(系),占 20.0%,包括 TS-18、15-117、15-118、15-145、A43、15-132、15-134、15-150、TS-20。

3 讨论与结论

同一作物不同品种间的光合效率和能力存在差异,导致不同品种生长率与生长能力不同,这为筛选和培育高光效种质资源提供了理论支撑^[15-16]。刘红梅等^[17]研究表明,不同基因组间光合效率有明显差异。农艺性状指标不仅是衡量植物生长速度的关键参数,还与植物光合能力紧密相关^[18]。Olakunle 等^[19]对豇豆农艺性状和光合性状进行关联分析,发现不同豇豆种质资源的农艺性状存在显著差异,且光合性状与籽粒产量呈显著正相关。郑宝香等^[20]研究认为,大豆高光效品种光合能力与单株质量、单株粒质量、收获指数等农艺性状的相关程度大于低光效品种。本试验结果表明,45 个薄皮甜瓜品种(系)光合指标和农艺性状差异显著,15 个指标和性状的变异系数均较大,介于 10.32%~54.75%,表明光合指标和农艺性状在薄皮甜瓜品种(系)间存在丰富的遗传多样性,同时本试验中选取的品种(系)类型丰富,具有较好的代表性,为甜瓜高光效种质筛选提供了丰富而广泛的遗传基础,这与在谷子^[21]、油菜^[22]、水稻^[23]的研究结果相似。

表 5 不同薄皮甜瓜品种(系)光效率评价
Table 5 Evaluation of light efficiency of different oriental melon varieties (lines)

品种(系) Variety (line)	$U(X1)$	$U(X2)$	$U(X3)$	$U(X4)$	$U(X5)$	D 值 D value	排序 Rank
TS-1	0.15	0.44	0.55	1.00	0.20	0.37	28
TS-2	0.33	0.37	0.71	0.09	0.37	0.38	26
TS-3	0.32	0.38	0.70	0.02	0.30	0.36	30
TS-4	0.28	0.37	0.63	0.35	0.42	0.38	27
TS-5	0.39	0.38	0.50	0.17	0.35	0.38	23
TS-6	0.38	0.37	0.82	0.51	0.32	0.45	11
TS-7	0.35	0.35	0.72	0.35	0.00	0.38	24
TS-8	0.30	0.42	0.39	0.24	0.79	0.38	25
TS-9	0.46	0.48	0.57	0.29	0.53	0.47	7
TS-10	0.30	0.46	0.57	0.64	0.25	0.41	19
TS-11	0.26	0.34	0.68	0.79	0.67	0.44	15
TS-12	0.38	0.50	0.71	0.49	0.31	0.46	10
TS-13	0.37	0.34	0.70	0.72	0.64	0.48	6
TS-14	0.37	0.46	0.68	0.48	0.53	0.47	9
TS-16	0.40	0.39	0.86	0.93	0.05	0.50	4
TS-17	0.35	0.68	0.35	0.28	0.60	0.43	16
TS-18	0.28	0.68	0.12	0.16	0.36	0.33	37
TS-20	0.19	0.47	0.00	0.09	0.13	0.20	45
A43	0.30	0.47	0.27	0.29	0.18	0.32	40
A68	0.25	0.53	0.32	0.27	0.58	0.35	32
A69	0.17	0.38	0.95	0.72	0.95	0.47	8
15-117	0.22	0.45	0.24	0.44	0.62	0.33	38
15-118	0.26	0.39	0.14	0.39	0.53	0.31	42
15-132	0.26	0.38	0.36	0.22	0.55	0.32	39
15-134	0.14	0.32	0.32	0.55	0.30	0.26	44
15-135	0.22	0.34	0.63	0.00	0.86	0.35	36
15-136	0.33	0.33	0.50	0.34	0.27	0.35	31
15-142	0.48	0.37	0.41	0.05	1.00	0.45	12
15-143	0.26	0.50	0.35	0.39	0.54	0.36	29
15-145	0.19	0.59	0.09	0.45	0.49	0.31	41
15-146	0.31	0.36	1.00	0.63	0.56	0.49	5
15-150	0.14	0.28	0.48	0.19	0.55	0.26	43
15-151	0.29	0.27	0.98	0.39	0.33	0.41	18
15-154	0.33	0.36	0.78	0.46	0.55	0.44	13
15-155	0.35	0.24	0.71	0.84	0.28	0.43	17
15-156	0.36	0.33	0.26	0.26	0.61	0.35	33
15-157	0.39	0.31	0.44	0.23	0.85	0.41	20
15-158	0.29	0.35	0.18	0.49	0.79	0.35	34
15-164	0.35	0.35	0.38	0.48	0.52	0.38	22
15-167	0.29	0.36	0.35	0.64	0.27	0.35	35
15-171	0.47	0.20	0.83	0.54	0.78	0.51	3
博洋 9 Boyang 9	0.49	0.39	0.32	0.35	0.62	0.44	14
波妞 Boniu	0.87	0.46	0.10	0.46	0.29	0.56	2
皇子 168 Huangzi 168	0.56	0.38	0.77	0.73	0.56	0.57	1
珍甜 18 Zhentian 18	0.46	0.43	0.24	0.58	0.08	0.40	21
权重 Weighting	0.43	0.21	0.16	0.10	0.09	0.01	

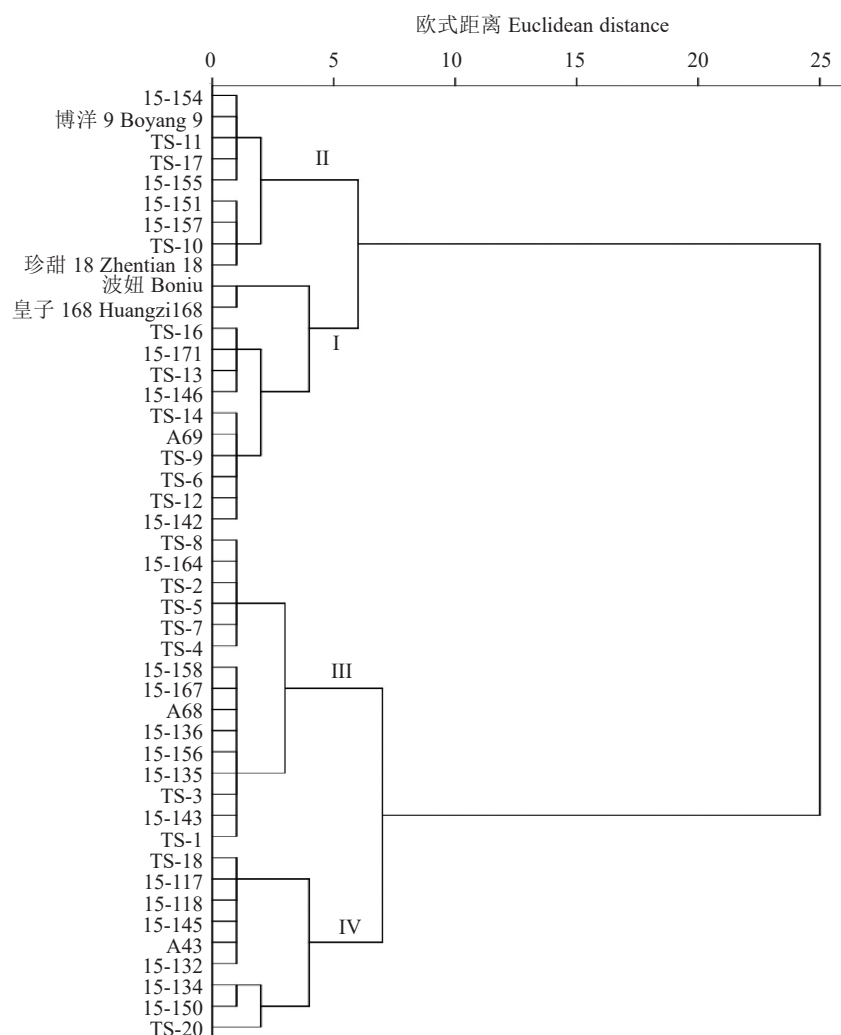


图1 45个薄皮甜瓜品种(系)光合性能的聚类分析

Fig. 1 Cluster analysis of photosynthetic performance of forty-five oriental melon varieties (lines)

受作物种类、试验环境等因素的影响,作物高光效品种筛选指标并不一致^[24-26]。近年来,主成分分析、隶属函数分析和聚类分析成为了在作物综合评价方面较为常用的方法^[27-28]。张鲜等^[29]通过主成分分析,从15个指标的耐阴系数中筛选出株高、单株粒数、单株粒质量、千粒重、主茎粗等15个性状作为划分苦荞光合类别的筛选指标,并对通过隶属函数分析获得的耐阴综合评价(D)值进行聚类分析,将苦荞种质划分为3类。谢锐等^[30]通过主成分分析筛选出了 G_s 、 T_s 、 P_n 、SPAD值作为筛选马铃薯高光效种质的指标,聚类分析将马铃薯种质分为3类,分别是高光效资源、中等光效资源和低光效资源。本试验通过主成分分析,提取了5个主成分,累计贡献率达84.915%,筛选出 P_n 、植株鲜质量、植株干质量、根体积、根鲜质量、根干质量、 G_s 、 T_s 、VPD、WUE、SPAD值、叶面积等12个性状作为薄皮甜瓜高光效能力评价的指标;并对 D 值进行聚类

分析,将45个薄皮甜瓜品种(系)分为高光效、亚高光效、中等高光效和低光效4种类型,与光合效率综合(D)值排序吻合度较高。初步筛选出波姐、皇子168、TS-16、15-171、TS-13、15-146、TS-14、A69、TS-9、TS-6、TS-12、15-142等12个高光效品种(系),这为选育高光效薄皮甜瓜品种提供了一定的种质资源。

通过对高光效类群内12个品种(系)梳理发现,净光合速率测定最高值的品种(系)15-146和TS-12并没有在此类群内,表明高光效种质并非仅由净光合速率决定,而应该是多个光合指标和农艺性状综合表现的结果,这与前人的研究结果相似^[31-32]。因此,在高光效育种实践中,不能仅依据某一指标的高低评价作物的光合能力,而需要综合多个指标全面评价。在育种时,可优先选择3~5个关键指标初筛,缩小范围,再对留存品种(系)综合评价,以保障高光效育种工作高效进行。结合春小

麦、玉米等作物的高光效育种实践,本试验仅以苗期农艺性状和光合指标建立的高光效评价方法筛选薄皮甜瓜高光效品种(系),缺乏产量验证^[33-34]。笔者认为本文建立的方法虽不能完全真实可靠地评价薄皮甜瓜品种(系)的光合能力,但可为后续全生育期田间试验筛选高产高光效品种奠定基础。

综上所述,45个薄皮甜瓜品种(系)在光合指标与农艺性状上表现出较大差异;综合相关性分析与主成分分析,筛选出净光合速率、饱和蒸气压差、植株鲜质量、植株干质量、根体积、根鲜质量、根干质量、气孔导度、蒸腾速率、叶片瞬时水分利用效率、叶绿素相对含量、叶面积可作为薄皮甜瓜品种(系)的高光效能力评价指标;聚类分析将45个品种(系)分为高光效、亚高光效、中等高光效和低光效4个类型。初步筛选出波妞、皇子168、TS-16、15-171、TS-13、15-146、TS-14、A69、TS-9、TS-6、TS-12、15-142等12个高光效品种(系)。本研究建立的薄皮甜瓜高光效评价方法可为甜瓜高光效品种选育提供参考依据。

参考文献

- [1] CHASSOT A, STAMP P, RICHNER W. Root distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement[J]. *Plant and Soil*, 2001, 231(1): 123-135.
- [2] YWEI Y B, XU Y Z, KHAN A, et al. Analysis of photosynthetic characteristics and screening high light-efficiency germplasm in sugarcane[J]. *Plants*, 2024, 13(5): 587-601.
- [3] 李瑛, 张睿佳, 张伟达, 等. 基于光合特性的设施栽培耐弱光葡萄品种筛选[J]. *果树学报*, 2015, 32(5): 885-893.
- [4] 牛宁, 李振侠, 金素娟, 等. 黄淮海地区大豆光合特性及高光效种质筛选[J]. *中国油料作物学报*, 2018, 40(4): 524-532.
- [5] 尹旺, 罗小波, 卢扬, 等. 贵州马铃薯高光效品种资源筛选[J]. *西南农业学报*, 2020, 33(10): 2184-2189.
- [6] 苏春桃, 杨浩, 高秀梅, 等. 高光效甘薯种质筛选及光合特性分析[J]. *热带作物学报*, 2020, 41(12): 2462-2466.
- [7] 范元芳, 鲜东锋, 杨梅, 等. 不同种皮颜色大豆光合特性分析与高光效种质筛选[J]. *中国油料作物学报*, 2023, 45(4): 785-792.
- [8] 许国春, 罗文彬, 李华伟, 等. 马铃薯叶片光合效率遗传变异分析及高光效种质筛选[J]. *园艺学报*, 2021, 48(11): 2239-2250.
- [9] 徐乐, 张萌, 柴沙沙, 等. 147份不同甘薯种质资源的光合特性比较及聚类分析[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 1-9 (2023-01-30) <https://doi.org/10.16772/j.cnki.1673-1409.20240418.003>.
- [10] 徐月明, 辛海滨, 薛芳, 等. 弱光胁迫对鲜食甜玉米籽粒糖分积累及产量的影响[J]. *中国蔬菜*, 2023(10): 89-95.
- [11] 张鑫峰, 令狐绍凤, 沈元悦, 等. 弱光下黄瓜组合的植株性状和果实品质分析[J]. *四川农业大学学报*, 2022, 40(3): 395-401.
- [12] PARNIANI F, HAGHIGHI M, MIREEI S A. The effect of adjusting fruit loading by pruning on the yield and quality of sweet pepper in low light condition[J]. *South African Journal of Botany*, 2022, 147: 903-914.
- [13] 林德佩, 吴明珠, 王坚. 甜瓜优质高产栽培[M]. 北京: 金盾出版社, 1994.
- [14] 孙东雷, 卞能飞, 王幸, 等. 高油酸花生萌发期耐冷性综合评价及种质筛选[J]. *核农学报*, 2021, 35(6): 1263-1272.
- [15] VIRIDIANA S P, JOANNE D F, GEMMA M, et al. Genetic variation for photosynthetic capacity and efficiency in spring wheat[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2020, 71(7): 2299-2311.
- [16] 郭雅文, 薛婧, 宋光永, 等. 和田设施温室6个葡萄品种光合和叶绿素荧光日变化特征[J]. *西北植物学报*, 2024, 44(8): 1208-1217.
- [17] 刘红梅, 周新跃, 刘建丰, 等. 籼型杂交稻光合特性的配合力分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(4): 699-705.
- [18] 黄农荣, 傅友强, 钟旭华, 等. 华南双季稻主栽品种的光能利用效率及聚类分析[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(11): 1714-1724.
- [19] SANSO O, ABBERTON T M, ARIYO J, et al. Genome-wide association studies of photosynthetic and agronomic traits in cowpea collection[J]. *G3 Genes/Genomes/Genetics*, 2024, 14(12): 1-20.
- [20] 郑宝香, 满为群, 杜维广, 等. 高光效大豆光合速率与主要光合生理指标及农艺性状的关系[J]. *大豆科学*, 2008(3): 397-401.
- [21] 闫锋, 董扬, 赵富阳, 等. 谷子品种光合性能综合评价及高光效品种筛选[J]. *河南农业科学*, 2024, 53(5): 40-48.
- [22] WANG R, PENG W L, HU L Y, et al. Study on screening of canola varieties with high light use efficiency and evaluation of selecting indices[J]. *Oilseeds and Fats, Crops and Lipids*, 2020, 27(1): 43-52.
- [23] 路龙祥, 冀占东, 刘志坚, 等. 高光效水稻鉴定筛选方法[J]. *应用与环境生物学报*, 2022, 28(2): 358-372.
- [24] 张红欢. 桃不同栽培模式适宜高光效树形的评价与筛选[D]. 北京: 中国农业科学院, 2024.
- [25] 李纯佳, 覃伟, 徐超华, 等. 国外引进甘蔗栽培品种的光合气体交换参数遗传差异与聚类分析[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(12): 2288-2299.
- [26] 蒙祖庆, 宋丰萍, 罗涛. 早熟西藏玉米地方种高光效品种的鉴定筛选[J]. *西南农业学报*, 2017, 30(8): 1713-1719.
- [27] 陈永先, 陈瑞江, 都艺芝, 等. 耐旱甘薯种质资源的筛选与鉴定[J]. *中国农业科学*, 2025, 58(2): 214-237.
- [28] 刘屿洲, 顾小煜, 杨凤娟, 等. 耐高温胁迫西葫芦种质资源评价和筛选[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2024, 55(5): 804-813.
- [29] 张鲜, 赵少迪, 胡传伟, 等. 不同苦荞种质资源耐荫性评价及鉴定指标的筛选[J]. *核农学报*, 2025, 39(2): 214-227.
- [30] 谢锐, 金晓蕾, 韩志刚, 等. 马铃薯光合效率遗传分析及综合评价[J]. *江苏农业科学*, 2023, 51(7): 73-80.
- [31] 朱岚清, 饶德民, 邢伟明, 等. 典型高产大豆品种长农39群体冠层光合生理特性及农艺性状分析[J]. *大豆科学*, 2025, 44(2): 74-84.
- [32] 张健, 田佳星, 张国裕, 等. 瓜类作物耐低温弱光研究进展[J]. *中国瓜菜*, 2020, 33(10): 1-8.
- [33] 仇海龙, 李盼, 张殿凯, 等. 西北绿洲灌区麦后复种绿肥对减量施氮春小麦生长及产量的补偿效应[J]. *中国农业科学*, 2025, 58(3): 443-459.
- [34] YAN Y Y, DUAN F Y, LI X, et al. Photosynthetic capacity and assimilate transport of the lower canopy influence maize yield under high planting density[J]. *Plant Physiology*, 2024, 195(4): 2652-2667.