

# 基于 R 语言 GGE 双标图的辽宁地区薄皮甜瓜品种 2 年区域试验产量分析

李 宁

(丹东农业科学院 辽宁凤城 118109)

**摘要:**为了综合评价 2 年甜瓜区域试验品种基因型及基因与环境的互作关系,为甜瓜品种区域试验和育种工作提供理论依据,应用 GGE 双标图对 2 年甜瓜区域试验品种多点产量数据进行分析。结果表明,堪甜 98 和金凤凰 9 号是兼具丰产性和稳产性,并具有广泛适应性的优良甜瓜品种。试点分析表明,5 个试点存在或强或弱的正向相关性,2020 年和 2021 年 5 个试点分为 2 个和 3 个生态亚区。2020 年盘锦、2021 年沈阳试点是兼备区分力和代表性的较为理想的试点环境,可以用于筛选高产稳产甜瓜品种;丹东试点是具备强区分力的种植环境,可以用来淘汰不稳定甜瓜品种,但是不能筛选稳产的优良品种。GGE 双标图能直观展示甜瓜品种的丰产性和稳产性,确认参试品种的生态适应区域,鉴别试点环境的区分能力和目标生态区的代表性,在甜瓜的种植推广工作中具备一定的参考价值。

**关键词:**甜瓜品种;区域试验;GGE 双标图;稳产性;试点鉴别力

中图分类号:S652

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2023)01-035-07

## Yield analysis of muskmelon varieties in Liaoning regional test for 2 years based on R language GGE biplot

LI Ning

(Dandong Academy of Agricultural Sciences, Fengcheng 118109, Liaoning, China)

**Abstract:** In order to comprehensively evaluate the genotype of melon varieties in two-year regional test and the interaction between genes and environment, and to provide theoretical basis for melon variety regional test and breeding, GGE double plot was used to analyze the multi-point yield data of melon varieties in two-year regional test. The results showed that Kantian 98 and Jinfenghuang No. 9 were excellent melon varieties with high and stable yield and wide adaptability. The analysis shows that there is a strong or weak positive correlation among the five pilots. The five pilots are divided into two and three ecological subregions in 2020 and. Panjin in 2021 and Shenyang in 2021 are ideal pilot environments with both discrimination and representativeness, which can be used to screen melon varieties with high and stable yield. Dandong pilot is a planting environment with strong discrimination, which can be used to eliminate unstable melon varieties, but can not screen excellent varieties with stable yield. GGE double plot can directly show the high and stable yield of melon varieties, confirm the ecological adaptation areas of the tested varieties, and identify the distinguishing ability of the pilot environment and the representativeness of the target ecological areas, which has certain reference value in melon planting and extension.

**Key words:** Melon varieties; Regional test; GGE biplot; Stable yield; Pilot discrimination

农作物高产稳产是重要的产量育种目标,但由于农作物的产量性状受到基因效应、环境因素、基因与环境互作效应的共同影响,导致相同的品种在不同的种植环境中、不同的年际间产量均表现出一定的差异。因此,客观、准确地把握与评价作物基因与环境的互作模式,是作物区域试验分析的核心任务<sup>[1]</sup>。作物的基因与环境相互作用(即产量的稳

定性)分析一直是国内外学者研究的重点,曾先后提出了多种多样的分析方法<sup>[1-6]</sup>。其中 GGE(基因与基因-环境互作)双标图法是由严威凯等<sup>[1]</sup>提出、用于分析基因和基因与环境互作的方法,此方法同时考虑基因型(G)、基因与环境互作(G×E),可以更直观准确地用于品种丰产稳产性、区域适应性及试验地点鉴别力的综合分析评价<sup>[2]</sup>。近年来,GGE 双标图

收稿日期:2022-04-10;修回日期:2022-10-09

基金项目:国家西瓜产业技术体系综合试验站 CARS-25-01A(2020-2021)

作者简介:李 宁,男,助理研究员,主要从事园艺育种工作。E-mail:luigilee@163.com

被科研工作者广泛地用于多种作物的区域试验资料分析,为农作物新品种在不同生态种植区域的适应性评价提供了新方法<sup>[7-13]</sup>,克服了传统的分析方法难以全面准确地对品种和试点种植环境进行综合评价的缺点。甜瓜作为深受广大消费者喜爱的高产经济作物之一,高产、优质、高效是适宜推广甜瓜品种的必备特征。为适应市场及生产需要,科学准确地对甜瓜新品种的综合生产力和区域适应性进行评价,对参试品种的推广及保持区域试验的稳定性具有重要的意义。

笔者采用 R 语言 GGE 双标图的方法,对辽宁地区 2020—2021 年的甜瓜新品种多点区域试验的结果进行分析。利用 GGE 双标图对参试品种的丰产性、稳产性、试验环境的鉴别能力进行分析探讨,结合分析参试甜瓜品种的品质与抗病性结果,为优良甜瓜新品种的筛选与推广以及种植区域的确定奠定基础,也为甜瓜品种区域试验点的设置提供理论参考。

## 1 材料与分析

### 1.1 材料

参试品种为 7 个,彩虹 7 号为对照品种,参试品种详情见表 1。

表 1 参试品种名称及编号

品种编号	品种名称	供种单位
T1	元鸿花蜜脆	海城市三星生态农业有限公司
T2	早丰白玉	海城市三星生态农业有限公司
T3	花仙子	海城市三星生态农业有限公司
T4	翠丽	海城市三星生态农业有限公司
T5	堪甜 98	喀左县辽西蔬菜科研所
T6	金凤凰 9 号	丹东农业科学院
T7(CK)	彩虹 7 号	富尔农艺有限公司

### 1.2 试验设计

试验于 2020—2021 年在辽宁省进行甜瓜品种区域试验,设置 5 个试验点,包括丹东市、阜新市、盘锦市、辽阳市、沈阳市。试验采用统一方案,在春大棚中进行,随机区组排列,设置 3 次重复,小区面积不少于 6 m<sup>2</sup>,株距 40 cm,行距 65 cm,折合 667 m<sup>2</sup>保苗 2564 株。采用地爬式栽培。主蔓 4 片真叶时掐尖,选留 3 条健壮子蔓,每株预计留瓜 3 个。全区测产后折算为标准面积产量。试验地通风透光性好、无遮阴、地势平整、排灌方便、前茬一致、肥力均匀、中等。试验地四周设保护行。根据当地实际情况及时育苗、定植,确保全苗。管理水平与当

地中等生产水平相当,及时中耕、施肥、排灌、治虫。

利用手持式糖度计测量甜瓜的可溶性固形物含量(%)。霉霜病和白粉病的鉴定参考杨柳燕等<sup>[14]</sup>、吕淑珍等<sup>[15]</sup>、马鸿艳<sup>[16]</sup>的刷叶法。参照马鸿艳<sup>[16]</sup>和贺玉花<sup>[17]</sup>的病级分类方法把病情分 6 级。病情指数的计算公式为:病情指数(DI)= $\sum$ (病级×该病级株数)/(最高级代表值×调查总株数)×100。抗感程度为免疫(IM):DI=0;高抗(HR):0.01<DI<11.11;中抗(MR):11.11<DI<22.22;抗病(R):22.22<DI<33.33;感病(S):33.33<DI<55.55;中感(MS):55.55<DI<77.77;高感(HS):77.77<DI<100<sup>[14-16]</sup>。

### 1.3 分析方法

笔者采用 R 语言 GGE BIPlotGUI 程序包进行参试品种产量的 GGE 双标图构建,利用“丰产性和稳产性”功能图分析参试品种的丰产性和稳产性,利用“理想品种排序”功能图筛选潜在的优良品种,利用“哪个赢在哪里”功能图进行参试品种适应性鉴定,利用“区分力与代表力”功能图分析试点的鉴别力<sup>[1]</sup>。应用 DPS 7.05 软件对甜瓜多点产量进行联合方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 甜瓜品种多点产量比较分析

由表 2 可知,2020 年 7 个甜瓜品种在 5 个试验点的产量变幅为 28.946~41.504 t·hm<sup>-2</sup>。T5 平均产量最高,T7 平均产量最低。不同试点间平均产量比较,丹东平均产量最高,达 37.987 t·hm<sup>-2</sup>,阜新试点平均产量最低,达 30.816 t·hm<sup>-2</sup>。

由表 3 可知,2021 年甜瓜品种多点产量变幅为 28.946~45.012 t·hm<sup>-2</sup>。T5 平均产量最高,T7 产量最低。不同试点的甜瓜平均产量表现不同,丹东试点平均产量最高,为 38.578 t·hm<sup>-2</sup>,阜新试点平均产量最低,为 32.193 t·hm<sup>-2</sup>。

### 2.2 甜瓜品种丰产性和稳产性

GGE 双标图中的“丰产性与稳产性”功能图可以用于解释分析参试品种的丰产稳产性。由图 1 可知,2020 年丰产性最好的品种是 T5,其次是 T6、T4 和 T2,T3 丰产性接近平均水平,丰产性最低是 T7;稳产性最好的是 T6,其次是 T5 和 T7,稳产性最差的是 T1。2021 年丰产性最好的是 T5,其次是 T6、T1 和 T2,T2 最接近产量平均水平;稳产性最好的是 T5,其次是 T6 和 T1。综合 2 年参试品种丰产性和稳产性看,T6 和 T5 是丰产性和稳产性兼优的甜

表 2 2020 年参试品种与试点平均产量与位次

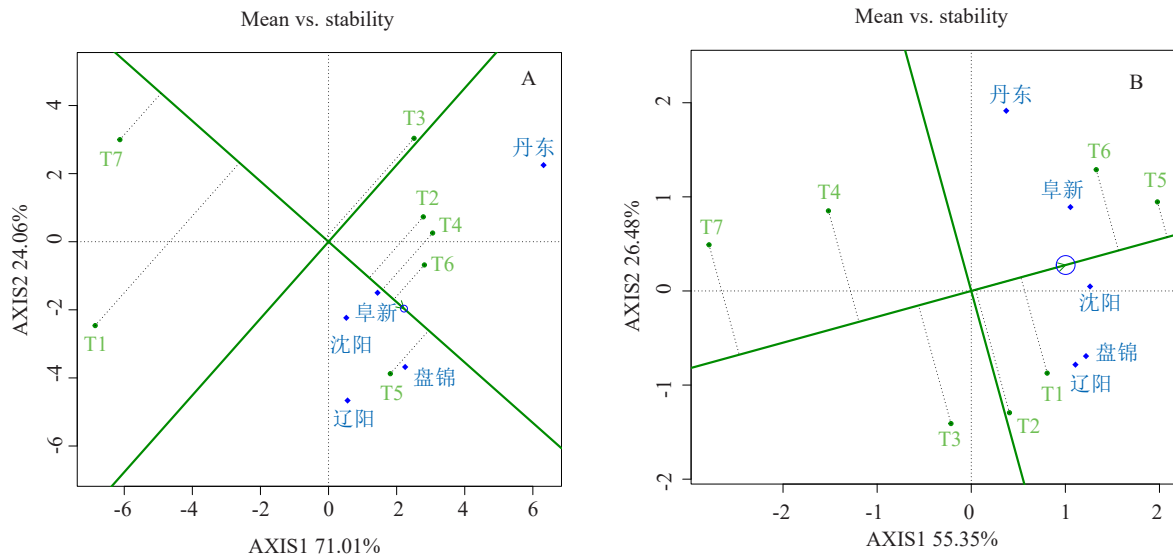
(t·hm<sup>-2</sup>)

品种编号	丹东市	阜新市	盘锦市	辽阳市	沈阳市	平均	位次
T1	30.994	29.880	32.738	34.732	35.459	32.761	6
T2	40.643	32.031	34.489	33.132	34.328	34.925	4
T3	41.504	30.264	32.653	32.319	33.978	34.144	5
T4	40.724	31.581	35.272	33.184	34.780	35.108	2
T5	38.386	32.048	36.851	36.841	34.636	35.752	1
T6	40.406	30.964	35.667	34.845	33.651	35.106	3
T7(CK)	33.255	28.946	30.985	31.347	31.455	31.198	7
平均产量	37.987	30.816	34.094	33.771	34.041	34.142	
位次	1	5	2	4	3		

表 3 2021 年参试品种与试点平均产量与位次

(t·hm<sup>-2</sup>)

品种编号	丹东市	阜新市	盘锦市	辽阳市	沈阳市	平均	位次
T1	36.478	31.547	36.487	34.818	34.381	34.742	3
T2	31.940	32.364	38.145	33.680	32.927	33.811	5
T3	33.175	30.780	33.842	35.265	32.813	33.175	6
T4	42.811	30.397	30.874	32.981	32.181	33.849	4
T5	43.738	35.232	36.769	35.137	33.727	36.921	1
T6	45.012	33.632	35.654	33.642	35.464	36.681	2
T7(CK)	36.892	31.397	30.862	31.515	28.946	31.922	7
平均产量	38.578	32.193	34.662	33.863	32.920	34.443	
位次	1	5	2	3	4		



注：图中小圆圈代表平均环境值，带箭头的直线称作平均环境轴，箭头的方向代表产量表现的正向方向，越接近正向方向产量丰产性越好，品种位点距平均环境轴的距离代表了品种的稳产性，越靠近平均环境轴，即垂直于平均环境轴的虚线越短，其稳产性也好，反之越差。A 为 2020 年，B 为 2021 年。图 2~4 同。

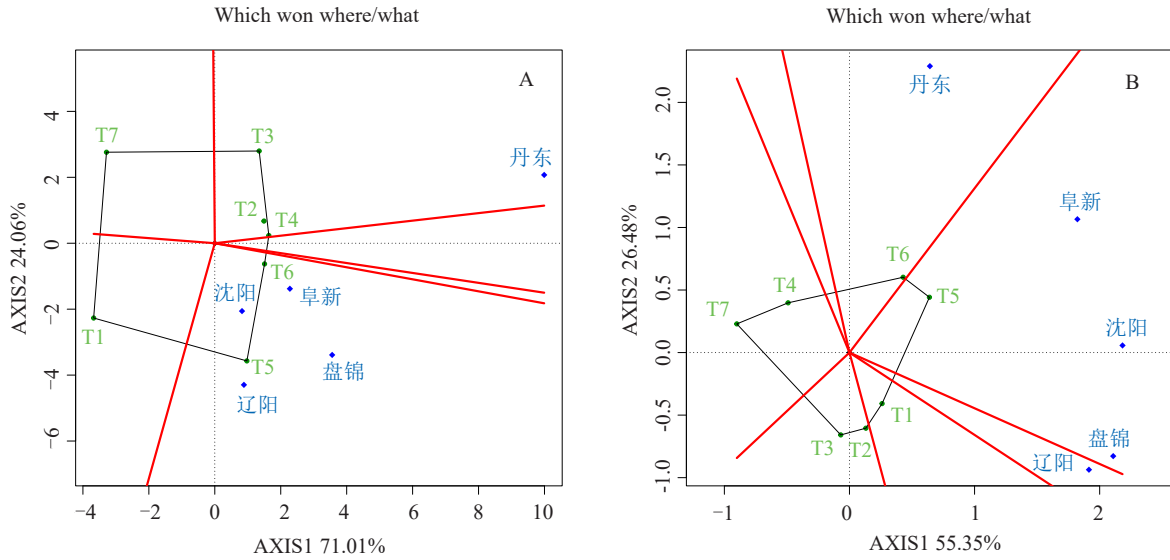
图 1 甜瓜品种丰产性和稳产性双标图

瓜品种。

### 2.3 甜瓜品种区域适应性

“哪个赢在哪里”功能图(图 2)解释了参试品种的生态区域适应性。2020 年 5 个试点被分在 2 个扇区，

丹东为 1 个扇区，T3 和 T4 是产量表现“最优品种”，其余 4 个试点在 1 个扇区，T5 和 T6 是最优品种。2021 年 5 个试点被分在 3 个扇区，丹东为 1 个扇区，T6 是产量表现最优品种，阜新、沈阳和盘锦为 1



注：图2中所有参试品种的多边形是由各方向上距离原点最远的品种位点连接形成，垂直于各边的射线将多边形分成多个扇区，扇区顶端的品种是该区域表现最好的品种。

图2 甜瓜品种区域适应性双标图

个扇区，T5为最优品种，辽阳为1个扇区，但此扇区内没有适应该区的最优品种，说明参试品种在该试点表现均不是最好。没有落入试点扇区的品种在所有试点表现均一般。

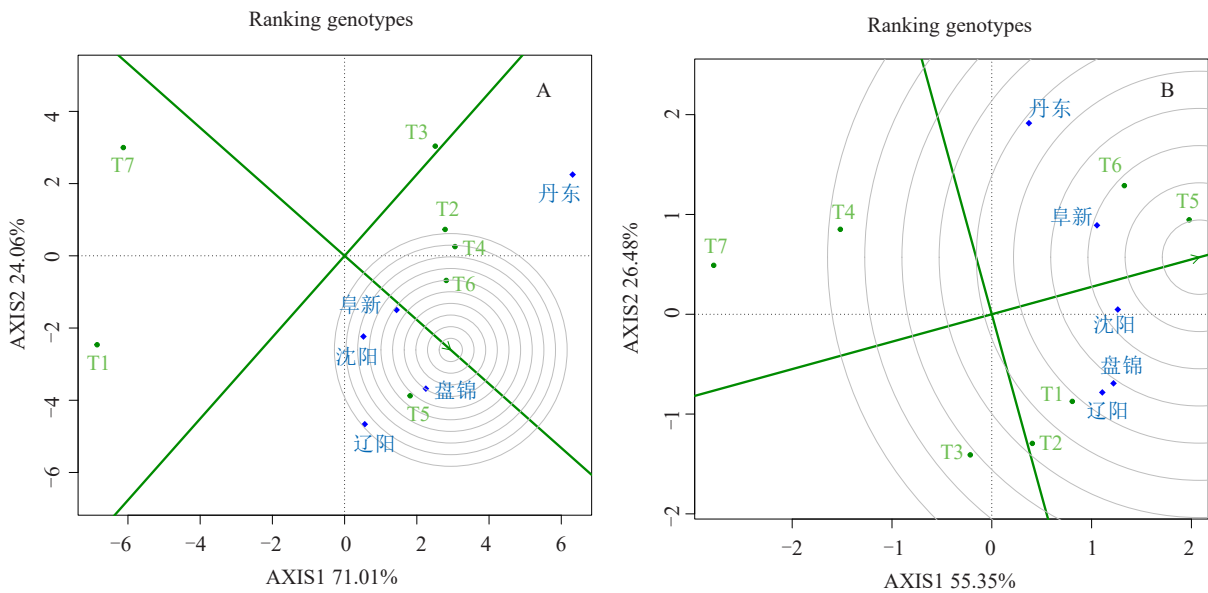
2.4 甜瓜品种综合排序

由“理想品种”排序图(图3)可以看出，2020年理想品种排序：T5>T6>T4>T2>T3>T1>T7；2021年理想品种排序为：T5>T6>T1>T2>T3>

T4>T7。2年的甜瓜理想品种排序结果中，T5均是处于同心圆内，且距离圆心最近，表明其与理想品种接近程度最高，表现最为突出，是同时具备较高丰产性、稳产性的优良品种，其次为T6，也是丰产性稳产性较好的品种。

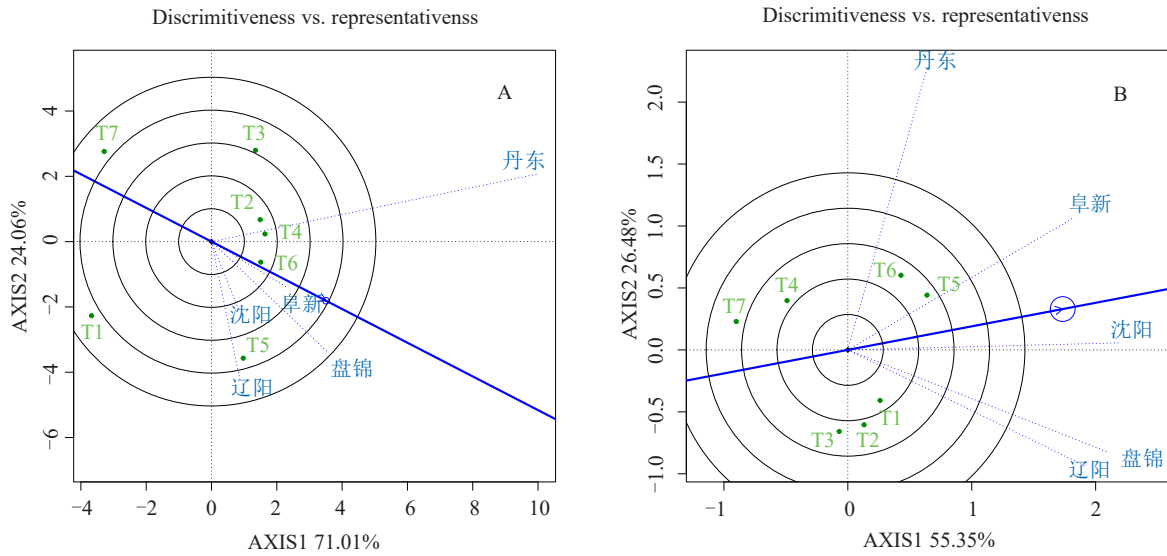
2.5 试点区分力与代表性

由图4可知，2020年，区分能力最大的是丹东试点，代表性最强的是阜新试点，阜新与盘锦，



注：以理想品种(丰产性和稳产性最好的品种)为圆心做同心圆，甜瓜品种与圆心的距离，解释了其与理想品种的接近程度，即距离越近品种产量的丰产性和稳定性越好。

图3 甜瓜品种理想品种排序双标图



注：“区分力和代表性”功能图可以探索试点环境对参试品种的区分能力和对目标生态区的代表性。图中带箭头的直线为平均环境轴，圆圈所在的位置为平均环境值。中心原点与各试点的连线为环境向量，向量之间的夹角代表了环境之间的相似性。环境向量的长短代表环境对品种的区分能力，环境向量与平均环境轴的夹角解释了其目标生态环境的代表性。

图4 试点的“区分力与代表性”双标图

沈阳与辽阳较为相似，辽阳与丹东相似性最低。2021年区分力最大是丹东试点，最具目标生态代表性的是沈阳试点，辽阳与盘锦试点相似性较高，丹东与辽阳试点相似性最低。

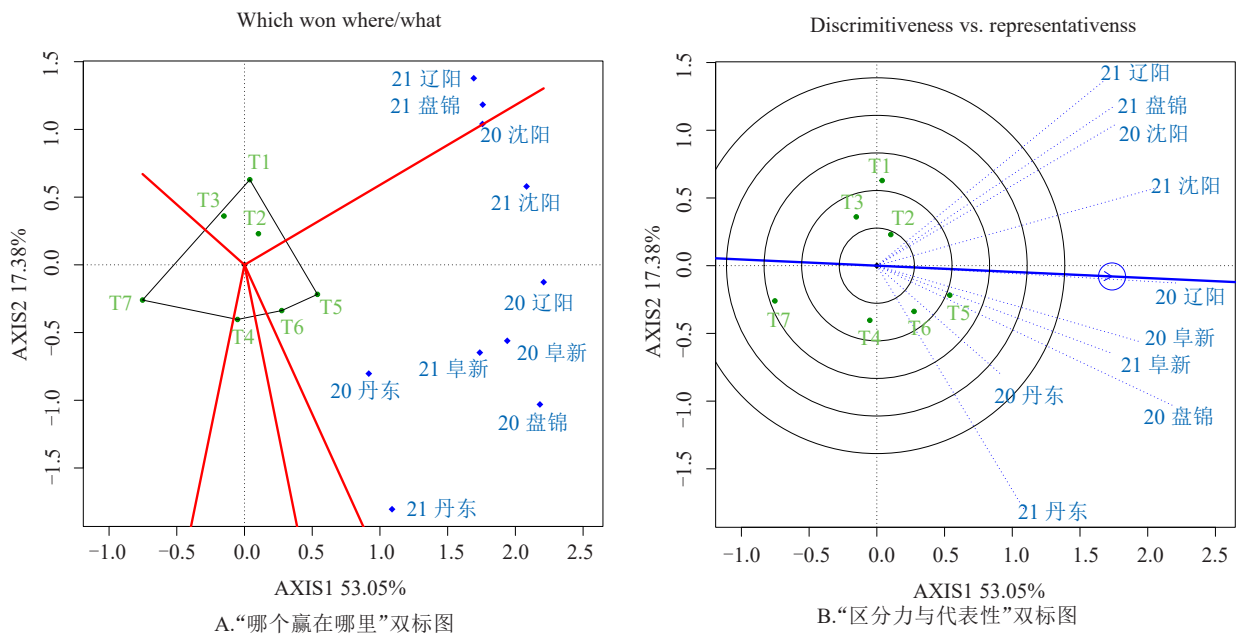
2.6 2年产量数据双标图

将7个参试品种5个重复性环境进行年际间GGE双标图分析。由图5可见，T5和T6在2年区

试试验中在大多数环境表现高产。T7和T4在2年间5个种植环境中产量表现一般。由区分力与代表性分析可知，丹东、阜新和沈阳年际间环境向量夹角较小，说明其年际间重复性强。

2.7 参试甜瓜品质、抗病性分析

将7个参试甜瓜品种的主要性状列于表4。由表4可知，7个试验品种中，T1、T2、T3、T4、T5均抗



注:20表示2020年,21表示2021年。

图5 2年产量数据GGE双标图

霜霉病;T6、T7为感霜霉病。所有品种均抗白粉病。T2和T3是属于单果质量较小,口感较软,可溶性固形物含量较高,产量偏低的品种。T1、T4、T5、T6均属于果肉口感适中,甜度适中的品种,其中T5和T6产量高,单果质量较大,含糖量较高。

表4 参试品种主要性状和抗病力分析

品种编号	单果质量/g	w(可溶性固形物)/%	果肉厚度	果肉硬度	霜霉病情指数	白粉病情指数
T1	365	13.20	中	中	25.50(R)	32.94(R)
T2	308	13.43	薄	软	28.38(R)	25.53(R)
T3	315	13.29	薄	软	23.60(R)	23.46(R)
T4	305	13.20	中	中	29.50(R)	27.09(R)
T5	430	13.00	中	中	31.75(R)	29.14(R)
T6	428	13.29	中	中	34.63(S)	26.85(R)
T7(CK)	350	11.45	中	中	35.16(S)	31.08(R)

### 3 讨论与结论

笔者应用R语言GGE双标图法对辽宁省2年甜瓜区域试验产量数据进行分析,结果表明,GGE双标图不仅可以综合评价甜瓜品种的丰产性和稳产性,还可以确定不同甜瓜品种的生态区域适应性,同时对试验环境进行相似性检验和同质性划分,并对试点环境的区分力和代表性进行综合评价,其双标图表现形式更为简单、直观。与传统方法相比可更准确定位不同甜瓜品种的生态区域适应性,提高了品种间选择的准确度、提高推广效率、缩短育种年限。

笔者对中甜瓜品种丰产性和稳产性研究表明,2020年和2021年甜瓜区域试验中,堪甜98是丰产性最好的品种,堪甜98与理想品种最为接近,其次是金凤凰9号,丰产性居于第2位。综合来看,堪甜98和金凤凰9号具有较好的丰产性、稳产性、抗病性和优良的品质。甜瓜品种的区域适应性分析表明,2020年和2021年5个试点环境分别被划分为2个和3个区域,同一区域的试点有着相似的生态环境,2年试点环境中丹东市均独自为一生态亚组,这可能与丹东市位于辽宁省东部特有的小气候区,明显区别于其余4个试验点有关。综合2年甜瓜区试产量数据双标图结果表明,堪甜98和金凤凰9号适宜在大部分地区种植推广。2021年辽阳、2021年盘锦和2020年沈阳试点环境中表现最好的甜瓜品种是元鸿花蜜脆。综上,堪甜98和金凤凰9号是兼顾丰产性、稳产性及广泛区域适应性,具有较高推广价值的优良的甜瓜品种。

理想的试点种植环境应同时具备较强的区分

力(环境向量线段长度)和代表性(与平均环境轴的夹角),即理想试点应兼备淘汰不稳定品种,筛选优良稳定品种的能力。笔者的研究表明,2020年5个试点间夹角均小于等于90°,其试点间呈或强或弱的相关性,代表力最强的试点为阜新试点,但由于其区分力较弱,不能称之为理想试点,区分力最强的试点是丹东试点,但其与平均环境轴夹角较大,代表性一般,兼备区分力和代表性的是盘锦试点。2021年5个试点中沈阳试点的代表性最强,且区分力也较强,是较为理想的试验种植环境,可以用于有效的选择高产稳产品种。丹东试点的区分力最强代表性最弱,与2020年结果相同,因此丹东试点可以用于淘汰不稳定品种,但不能筛选优良品种。2年区域试验产量双标图表明沈阳、阜新和丹东在年际间的重复性较强。

相同的甜瓜品种在2年相同试点环境种植,其试点生态亚区的划分,区分力及代表性和甜瓜品种的丰产性、稳产性和生态适应性均表现出一定差异,说明同一试点年际间环境气象因子存在一定差异,其双标图研究结果可以有效地反映品种基因型与环境的共同作用<sup>[18]</sup>。笔者在研究中,对这2年的甜瓜区域试验产量数据进行双标图分析,其结果具有一定的代表性和重演性。

通过2年的甜瓜产量数据双标图分析表明,2020年和2021年5个试点分别分为2个和3个生态亚区,其中丹东试点由于位于辽东地区,与其他4个试点同质性较弱,2年结果均单独位于1个生态亚区。2年甜瓜品种丰产性和稳产性分析表明,堪甜98和金凤凰9号是丰产性、稳产性俱佳,具有广泛的区域适应性品种。试点评价分析结果表明,2020年盘锦试点是较为理想的试验环境,2021年沈阳是较为理想的试验环境,丹东试点是具备较强区分力而代表性较弱的试验环境。笔者的研究表明,GGE双标图可以直观地解释品种是丰产和稳产性能,确定各参试品种的生态适应区域,并对试点环境的区分和代表能力进行鉴别分析,其分析结果对甜瓜品种的推广和种植提供参考。

#### 参考文献

- [1] 严威凯,盛庆来,胡跃高,等.GGE叠图法:分析品种×环境互作模式的理想方法[J].作物学报,2001,27(1):21-27.
- [2] ROMAGOSA I, FOX P N. Genotype × environment interaction and adaptation[M]. Plant Breeding Series, 1993:373-390.
- [3] 穆培源,庄丽,张吉贞,等.作物品种稳定性分析方法的研究进展[J].新疆农业科学,2003,40(3):142-144.
- [4] 胡秉民,耿旭.作物稳定性分析法[M].北京:科学出版社,

- 1993.
- [5] 吴元奇,潘光堂,荣廷昭.作物稳定性研究进展[J].四川农业大学学报,2005,23(4):482-489.
- [6] YAN W K, HUNT L A, SHENG Q L, et al. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot[J]. *Crop Science*, 2000, 40: 596-605.
- [7] 张安宁,毕俊国,王飞名,等.基于R语言的GGE双标图在节水抗旱稻新品种多点试验中的应用[J].上海农业学报,2019, 35(4):38-42.
- [8] 岳海旺,李春杰,李媛,等.河北省春播玉米品种产量稳定性及试点辨别力综合分析[J].核农学报,2018,32(7):1267-1280.
- [9] 步清,鲁月,郝德荣,等.AMMI模型和GGE双标图在江苏省糯玉米品种区域试验中的应用[J].分子植物育种,2022, 20(22):7628-7636.
- [10] 许乃银,荣义华,李健,等.GGE双标图在陆地棉高产稳产和适应性分析中的应用:以长江流域棉区国审棉花新品种‘鄂杂棉30’为例[J].中国生态农业学报,2017,25(6):884-892.
- [11] 宋慧,刘金荣,王素英,等.GGE双标图评价谷子‘豫谷18’的丰产稳产性和适应性[J].中国农业大学学报,2020,25(1): 29-38.
- [12] 余泽恩,罗莉霞,张芳,等.基于GGE的2018年我国冬油菜长江下游区域试验试点与品种评价[J].种子,2020,39(1): 122-131.
- [13] 王迪.GGE双标图分析黑龙江省甜瓜区域试验品种适应性和稳定性[J].黑龙江农业科学,2021(10):64-68.
- [14] 杨柳燕,徐永阳,徐志红,等.甜瓜霜霉病抗性遗传及SRAP分子标记[J].江苏农业学报,2012,28(5):1200-1202.
- [15] 吕淑珍,霍振荣,陈正武,等.黄瓜抗病性遗传研究初报[J].天津农林科技,1990(2):22-24.
- [16] 马鸿艳.甜瓜白粉病抗性遗传分析及相关基因SSR标记[D].哈尔滨:东北林业大学,2011.
- [17] 贺玉花.甜瓜霜霉病抗性基因的SSR标记[D].北京:中国农业科学院,2014.
- [18] 王兵伟,覃嘉明,郑加兴,等.一年两季鲜食糯玉米区域试验的GGE双标图分析[J].南方农业学报,2017,48(11):1961-1968.