



寇津铭, 高建昌, 刘树泽, 等. 黄河三角洲盐碱地区中果型西瓜耐盐碱性综合评价[J]. 南京农业大学学报, 2026, 49(4): 812-821.

Kou J M, Gao J C, Liu S Z, et al. Comprehensive evaluation of salt-alkali tolerance of medium-sized watermelon in the saline-alkali soil region of the Yellow River Delta[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2026, 49(4): 812-821.

黄河三角洲盐碱地区中果型西瓜耐盐碱性综合评价

寇津铭¹, 高建昌², 刘树泽¹, 何川³, 任娜娜¹, 张义彤¹, 许春辉¹, 王亚秀¹, 姚传宇⁴, 郝延杰^{1*}

(1.滨州市农业科学院, 山东 滨州 256600; 2.中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京 100081; 3.滨城区农业农村局, 山东 滨州 256600; 4.滨州市农业技术推广中心, 山东 滨州 256600)

摘要: [目的] 本研究旨在筛选适合黄河三角洲盐碱地区种植的中果型西瓜品种, 构建综合评价体系, 为盐碱地农业可持续发展提供理论依据和技术支撑。 [方法] 以 10 个耐盐碱西瓜新品种及对照品种‘麒麟’为试验材料, 在山东省滨州市选择中度盐碱地块 (pH8.11, 含盐量 0.326%) 种植, 调查并测定各品种西瓜生长、果实品质及产量相关的 14 个指标, 并利用隶属函数法、主成分分析法、聚类分析和回归分析, 综合评价各西瓜品种耐盐碱能力。 [结果] 西瓜 2120 长势最佳, 西瓜 2107 叶片 SPAD 值、果实中心和边部可溶性固形物含量均最高 (68.20、12.57% 和 11.70%), 西瓜 2116 感官品质得分排名第 1。隶属函数综合评价表明 2120 (0.644)、2107 (0.634) 和 2116 (0.599) 均优于对照品种‘麒麟’ (0.588)。主成分分析提取 4 个主成分 (累积方差解释率 78.277%), 分别主要关联生长产量、果实品质、果皮性状和开花坐果, 2107 (1.434)、2120 (1.300) 和 2116 (0.619) 综合得分均高于‘麒麟’ (0.444)。聚类分析将西瓜 2112、2114、2116、2107、2120、2113 和‘麒麟’归为第 I 类, 综合表现优异。利用回归分析建立评价模型, 并能够较好地预测不同西瓜品种在黄河三角洲盐碱地区耐盐碱性综合表现。 [结论] 本研究筛选出耐盐碱优质西瓜品种 2107、2116 和 2120, 其兼具高产和优品特性, 全生育周期、SPAD 值、边部可溶性固形物含量、产量和纵径可以作为耐盐碱西瓜品种评价重要依据。

关键词: 黄河三角洲; 盐碱地区; 西瓜; 综合评价; 隶属函数; 主成分分析

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1000-2030(2026)04-0812-10

Comprehensive evaluation of salt-alkali tolerance of medium-sized watermelon in the saline-alkali soil region of the Yellow River Delta

KOU Jinming¹, GAO Jianchang², LIU Shuze¹, HE Chuan³, REN Nana¹, ZHANG Yitong¹,
XU Chunhui¹, WANG Yaxiu¹, YAO Chuanyu⁴, HAO Yanjie^{1*}

(1. Binzhou Academy of Agricultural Sciences, Binzhou 256600, China; 2. Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. Bincheng District Agriculture and Rural Bureau, Binzhou 256600, China; 4. Binzhou Agricultural Technology Extension Center, Binzhou 256600, China)

Abstract: [Objectives] This study aimed to screen medium-sized watermelon varieties suitable for cultivation in the saline-alkali soil of the Yellow River Delta and to construct a comprehensive evaluation system, which should provide theoretical and technical support for sustainable agricultural development in saline-alkali lands. [Methods] Using 10 new salt-tolerant watermelon varieties and the control variety ‘Qilin’ as experimental materials, plots of moderate saline-alkali soil (pH8.11, 0.326% salinity) were selected in the city of Binzhou, Shandong Province for planting. Fourteen indicators related to growth, fruit quality, and yield were investigated and measured. The salt-tolerance capacity of each variety was comprehensively evaluated using the membership function method, principal component analysis (PCA), cluster analysis, and regression analysis. [Results] Watermelon variety 2120 exhibited the best growth vigor. 2107 had the highest value of soil-plant analysis development (SPAD) in leaves, the center soluble solid content and the edge soluble solid content of fruit (68.20, 12.57% and 11.70%, respectively), 2116 ranked first in sensory quality score. The membership function comprehensive evaluation values (*D*-values) of 2120 (0.644), 2107 (0.634), and 2116 (0.599) were all higher than that of the control ‘Qilin’ (0.588). PCA extracted four principal components (cumulative variance contribution rate 78.277%), which were mainly associated with growth yield, fruit quality, rind characteristics, and flowering and fruit setting, respectively. The comprehensive scores of 2107 (1.434), 2120 (1.300), and 2116 (0.619) were all higher than that of ‘Qilin’ (0.444). Cluster analysis classified the 11 varieties into four categories, with 2112, 2114, 2116, 2107, 2120, 2113 and ‘Qilin’ grouped into the category I, showing excellent comprehensive performance. A comprehensive evaluation model based on regression analysis was

收稿日期: 2025-03-09

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程重大研究任务: 高端蔬菜品种国产化 (CAAS-ZDRW202103)

作者简介: 寇津铭, 助理研究员。* 通信作者: 郝延杰, 副研究员, 主要从事蔬菜栽培技术及生理生态研究, E-mail: bznkyhyj@163.com。

established and could effectively predict the salt-alkali tolerance performance of different watermelon varieties in the Yellow River Delta saline-alkali regions. [Conclusions] 2107, 2116 and 2120 were identified as salt-tolerant and high-quality watermelon cultivars, combining high yield and excellent quality traits. The total growth period, SPAD value, edge soluble solid content, yield and length can serve as critical evaluation criteria for salt-tolerant watermelon varieties.

Keywords: Yellow River Delta; saline-alkali soil region; watermelon; comprehensive evaluation; membership function; principal component analysis

盐碱地作为我国重要的后备土地资源,其开发利用对于保障国家粮食安全和农业可持续发展具有战略意义^[1-3]。黄河三角洲是我国重要的土地资源开发区,盐碱耕地近 50 万 hm^2 ,滨州市地处黄河三角洲腹地,盐碱耕地有 10 万 hm^2 左右,占全市耕地总面积的 25.89%,其中耕层盐含量小于 0.2% 的轻度盐碱地面积约 5.4 万 hm^2 ,盐含量 0.2%~0.4% 的中度盐碱地面积约 3.3 万 hm^2 ^[2-3]。盐碱耕地复杂生态条件给农业生产带来极大挑战,却也为筛选和培育适应特殊生态条件的农作物品种提供了契机。

西瓜(*Citrullus lanatus* L.)作为一种常见瓜类作物,因其鲜嫩多汁、清凉爽口、营养丰富等特性,深受各地人民喜爱^[4-5]。有研究表明,西瓜具有一定耐盐碱性,在轻中度盐碱地区能够正常生长,因其盐碱地富含丰富的钾离子及其他无机盐离子,使得生产出来的西瓜口感脆甜、风味独特、品质上乘,市场供不应求^[6-9]。另一方面,盐碱胁迫会改变西瓜正常生理代谢过程,特别是胁迫程度较大时,不仅会降低西瓜的光合作用效率,还会导致细胞膜结构受损、营养离子失衡,抑制西瓜的生长和发育,进而降低西瓜产量和品质^[10-11]。滨州西瓜产业发展良好,2016 年播种面积达 2 万 hm^2 以上,总产量百万余吨,销往京津冀乃至全国各地。然而,随着土地日益紧张、缺少特色品牌、品种混杂退化以及市场变动等原因,近几年播种面积和总产量相对减少,急需引进具有特色的西瓜新品种,特别是具有一定耐盐碱胁迫的西瓜品种,这对于盐碱地综合利用、建立特色西瓜品牌和进一步扩大当地西瓜产业意义重大。

传统单一指标评价方式难以全面反映复杂盐碱环境下西瓜对盐碱的耐受性,建立一套适合盐碱环境的西瓜耐盐碱性综合评价方法尤为重要。隶属函数法和主成分分析法作为多元统计分析方法,为解决这一问题提供了新思路。隶属函数法能快速将不同量纲的指标标准化,转化为统一隶属度值,再经过加权计算便于综合比较^[12-13];主成分分析法可将多个具有相关性的指标降维转化为少数相互独立的主成分,保留原始数据大部分信息,更清晰地揭示数据间内在联系^[14-15],2 种方法在西瓜品种筛选中均有所应用。

因此,本研究综合运用隶属函数法、主成分分析法和聚类分析等多种方法,以中果型西瓜品种‘麒麟’为对照,对前期种植表现较好的 10 个耐盐碱品种进一步展开耐盐碱性综合评价,通过分析不同西瓜品种在盐碱地环境下各项指标表现情况,构建科学合理的西瓜耐盐碱性综合评价体系,筛选适合大面积推广的品种,为该地区西瓜品种选育、栽培管理及品质提升提供理论依据与技术支持,进而推动黄河三角洲盐碱地农业可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的 10 个西瓜品种来自中国农业科学院蔬菜花卉研究所,内部编号分别为 2107、2111、2112、2113、2114、2116、2117、2118、2119 和 2120,以本地种植较多和市场较受欢迎的中果型西瓜品种‘麒麟’(山东寿禾种业有限公司)作为对照。

1.2 种植条件

试验于 2023 年在山东省滨州市滨城区秦皇台乡秦皇台生态园(37° 29'N, 118° 7'E)开展,试验土地平整,前茬为小麦,土壤为砂壤土,肥力中等,中度盐碱化。试验开展前测定该地块土壤理化性质,各指标如下:pH 8.11,总含盐量 0.326%,有机质含量 $8.40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解氮含量 $125.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效磷含量 $33.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $152.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。耕地前撒施有机肥 $7\,500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,三元复合肥(N 、 P_2O_5 、 K_2O)的质量分数分别为 15%、15%、15%、45%) $600 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,钙镁磷肥 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,硫酸钾 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 作为底肥。旋耕后起垄并覆膜,行距 2.25 m,株距 0.40 m。

1.3 试验设计

每品种为 1 个处理,设 11 个处理,3 次重复,共计 33 个小区,试验地周围预留 2 m 保护行,完全随机区组分布。每个小区面积为 18 m^2 ,长 4.5 m,宽 4.0 m,每小区栽种 20 株,双行对爬式栽培。所有供试品种于

2023年4月9日播种育苗,5月12日(即生理苗龄达3叶1心左右时)进行定植,采用三蔓整枝(即当蔓伸长至30 cm左右时,从瓜蔓基部选留1条主蔓2条侧蔓,其他全部疏除),人工授粉,及时疏掉主蔓第1瓜,选留第2瓜或第3瓜,2条侧蔓不留瓜;当主蔓长势不如侧蔓时,则主蔓不留瓜,改留该侧蔓上的第2瓜或第3瓜)。视天气情况,并分别于西瓜移栽后、开花坐果期和果实膨大初期等时期利用滴灌进行田间浇水,保证土壤充分湿润,整个生长期灌溉4~5次,其他田间管理参照当地农民惯例进行。

1.4 试验方法

1.4.1 土壤指标测定 将试验区分为9部分,做好标记并依次取种植前和各生育时期0~20 cm耕层土样,各时期土样充分混合后,放室内自然风干,过0.25 mm孔径筛充分混匀后,用于测定土壤盐含量、pH值和土壤养分^[16]。

1.4.2 生物学性状调查 每小区选取长势较为一致的5株西瓜,调查植株生育期和第一雌花节位;定期观察各小区西瓜坐果性、生长势和发病情况;西瓜果实膨大期时,分别利用刻度尺和游标卡尺测量植株主蔓长度和主茎粗,并采用日本美能达公司SPAD-502叶绿素测定仪测定叶片叶绿素相对含量(SPAD值)。

1.4.3 果实性状调查 西瓜成熟后,每小区选5个长势较为一致的西瓜,观察记录果皮颜色和瓢色;用刻度尺测量果实纵径、横径;用游标卡尺测量果皮厚度;用果实硬度计测定果实最大横径处的果实硬度;用手持式测糖仪测定果实中心可溶性固形物和边部可溶性固形物含量。

1.4.4 产量测定 西瓜成熟后,每小区选5个长势较为一致的西瓜测定单瓜重,每小区西瓜采摘总产量计为小区产量,并根据小区面积计算折合成每公顷产量。

1.4.5 西瓜感官品质评价 根据相关标准及评分体系^[17-19]构建评分标准。1)果实外观(20分):外观一致、完整且无损伤为10分,畸形、裂果、虫伤、病虫斑、日灼伤或机械损伤等异常情况,每项扣1~2分;果形适中且美观为10分,较适中为7~9分,果形偏扁或偏长为4~6分,果形过扁或过长且严重不符合一般审美为1~3分。2)剖面纤维(10分):剖面色泽均匀且质地一致为10分,出现色泽不均匀的条状粗纤维、块状粗纤维或木栓化等异常情况,每出现1项扣1分。3)剖面空心(10分):没有空心为10分,空心最长处与空心最宽处的乘积每增加1扣1分。4)果肉颜色(10分):颜色均匀一致为10分,颜色不一致的区域占比每增加10%,扣1分。5)果肉质地(10分):酥脆、脆为9~10分,沙或硬为5~8分,软肉0~4分。6)种子数量(10分):有籽西瓜种子数量≤200粒为10分,每增加30粒扣1分;无籽西瓜着色籽子数量≤5粒为10分,每增加1粒减1分。7)口感风味(20分):好为16~20分,较好为10~15分,一般为6~9分,差为1~5分。8)果肉异味(10分):无异味的为10分,异味轻为7~9分,异味中为4~6分,异味重为0~3分。

组织由10名身体健康人员构成评分小组,依据此标准对各西瓜品种的感官品质进行打分。所有成员在品鉴前避免饮酒,且每品鉴1个样品后使用清水漱口。最终,汇总每个品种在各指标上的平均得分,并计算出各品种感官品质得分和排名情况。

1.4.6 隶属函数分析 通过公式计算隶属函数值,隶属函数公式: $U_{ij} = (X_{ij} - X_{j,\min}) / (X_{j,\max} - X_{j,\min})$ 。反隶属函数公式: $U_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{j,\min}) / (X_{j,\max} - X_{j,\min})$ 。式中: U_{ij} 表示第*i*个品种对于第*j*个指标的隶属函数值; X_{ij} 表示第*i*个品种的第*j*个指标的测定值; $X_{j,\max}$ 和 $X_{j,\min}$ 表示第*j*个指标的最大值和最小值。各指标权重:

$W_j = V_j / \sum_{j=1}^n C_{ij}, j=1, 2, \dots, n$ 。式中: W_j 表示第*j*个指标的权重; C_{ij} 表示第*j*个指标的标准差系数。最后利

用标准差系数法加权平均计算得出各西瓜品种盐胁迫下隶属函数综合评价值(*D*值), $D = \sum_{j=1}^n (U_{ij} \times W_j)$ 。

1.5 数据分析

采用Office 2023软件对原始数据进行分析处理,利用SPSS 25软件对数据进行描述性统计分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析,采用GraphPad Prism 10制作相关分析图。

2 结果与分析

2.1 西瓜种植土壤盐含量变化

如图1所示,西瓜全生长周期土壤盐含量整体呈现先下降后趋于稳定的变化趋势,并于开花坐果时期达到最低值(0.19%),这说明西瓜生长过程中持续受到了盐胁迫,并且随着种植灌溉以及自然降雨淋洗等作用,土壤盐含量较移栽前降低41.41%,盐分胁迫在一定程度上得到减弱。

2.2 参试西瓜品种生长状况及产量比较

如表 1 所示,参试的 11 个品种全生育周期为 93~96 d,2107 和 2114 全生育周期在参试品种里最短。各品种平均第一雌花节位为 7.40~8.67,2107 和 2114 雌花节位均为 7.40。各品种西瓜蔓长和茎粗为 214.71~245.83 cm 和 5.25~7.34 mm,其中 2118 和 2120 两项指标均显著高于‘麒麟’;2111 蔓长和茎粗显著低于‘麒麟’,生长势较弱;其他品种与‘麒麟’无显著差异。2107 的 SPAD 值最高,为 68.20,显著高于‘麒麟’,表明 2107 光合作用效率最高;2111 的 SPAD 值最低,为 52.53,说明 2111 光合作用效率最低;其他品种该指标与‘麒麟’无显著差异。参试 11 个西瓜品种产量差异较大,平均单果重为 2.11~5.17 kg,2118 最高,2111 最低。各品种西瓜小区产量和折合产量分别为 48.5~105.5 kg 和 26.92~58.59 t·hm⁻²,由高至低排序的品种依次为 2118、2120、2116、2114、‘麒麟’、2117、2113、2107、2112、2119、2111,2118、2120、2116 和 2114 较‘麒麟’分别增产了 25.95%、9.50%、2.39%和 0.52%。

表 1 参试西瓜品种生长状况及产量比较

品种编号 Variety number	全生育周期/d Entire growth period	第一雌花节位 The first female flower node	蔓长/cm Vine length	茎粗/mm Stem diameter	SPAD 值 SPAD value	单果重/kg Fruit weight	产量/ (t·hm ⁻²) Yield	较 CK 增产/% Increased yield compared with CK
2107	93.13 ^b	7.40 ^a	229.97 ^{bcd}	6.72 ^b	68.20 ^a	3.98 ^{bcd}	44.22 ^{bc}	-4.93
2111	95.47 ^{ab}	7.87 ^a	214.71 ^c	5.25 ^c	52.53 ^d	2.11 ^e	26.92 ^e	-42.13
2112	94.13 ^{ab}	7.60 ^a	233.60 ^{abc}	6.57 ^b	60.73 ^c	3.61 ^d	42.93 ^c	-7.71
2113	93.87 ^{ab}	8.27 ^a	223.46 ^{cde}	6.35 ^b	61.93 ^{bc}	4.12 ^{bc}	45.77 ^{bc}	-1.62
2114	93.33 ^b	7.40 ^a	227.43 ^{cde}	6.54 ^b	61.37 ^{bc}	3.66 ^{cd}	46.76 ^{bc}	0.52
2116	94.80 ^{ab}	7.47 ^a	229.93 ^{bcd}	6.72 ^b	60.77 ^c	4.20 ^b	47.63 ^{bc}	2.39
2117	96.07 ^a	8.67 ^a	222.71 ^{cde}	6.34 ^b	57.70 ^{cd}	3.63 ^d	46.40 ^{bc}	-0.25
2118	95.40 ^{ab}	8.47 ^a	242.71 ^{ab}	7.47 ^a	60.13 ^c	5.17 ^a	58.59 ^a	25.95
2119	95.87 ^a	7.93 ^a	216.32 ^{de}	6.13 ^b	56.60 ^{cd}	3.74 ^{cd}	35.36 ^d	-24.00
2120	94.40 ^{ab}	8.00 ^a	245.83 ^a	7.34 ^a	66.83 ^{ab}	3.61 ^d	50.94 ^{bc}	9.50
麒麟 Qilin	95.33 ^{ab}	7.93 ^a	226.28 ^{cde}	6.51 ^b	61.40 ^{bc}	3.91 ^{bcd}	46.52 ^{bc}	

注:同列数据中的不同小写字母表示不同品种间在 0.05 水平差异显著,下同。
Note: Different lowercase letters within the same column of data indicate significant differences among different varieties at 0.05 level. The same as follows.

2.3 参试西瓜品种果实性状比较

如表 2 所示,参试 11 个品种果实性状存在一定差异。其中,果形指数 1.00~1.20 的品种有‘麒麟’和 2113;果形指数 1.20~1.40 的品种较多,包括 2111、2119、2116、2112、2107 和 2114;果形指数大于 1.40 的品种有 2118、2120 和 2117。参试 11 个品种西瓜果皮颜色主要表现为墨绿宽齿带或浅绿狭齿带。果实瓢色上,除 2107 果实瓢色为鲜红色,其他品种均为深粉色。11 个品种果实中心可溶性固形物含量 10.07%~12.57%,2117、2119 和 2118 的中心可溶性固形物含量显著低于‘麒麟’,说明这 3 个品种西瓜中心部分整体口感较差。各品种果实边部可溶性固形物含量 8.63%~11.70%,2107 和 2112 的边部可溶性固形物含量显著高于‘麒麟’,说明 2107 和 2112 西瓜边部果实口感相比‘麒麟’更优。西瓜果皮厚度和硬度与果实抗裂性呈显著正相关^[20],参试各品种西瓜果皮厚度和硬度分别为 0.91~1.32 cm 和 10.88~14.65 kg·cm⁻²,‘麒麟’两项指标均为最低,说明‘麒麟’抗裂性相对较差。

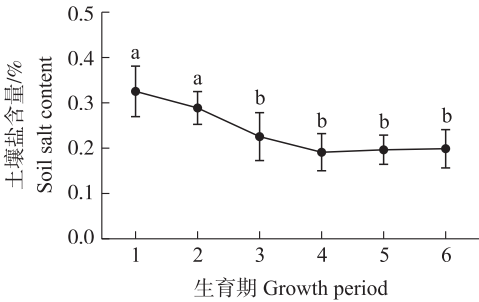


图 1 西瓜种植土壤盐含量变化

Fig. 1 The variation of soil salinity content for watermelon cultivation

1) 1~6 分别代表西瓜定植前、苗期、伸蔓期、开花坐果期、果实膨大期和成熟期。1-6 correspond to the pre-transplanting period, the seedling period, the vine extension period, the flowering and fruit-setting period, the fruit expansion period and the maturity period.

2) 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。Different lowercase letters indicate significant differences at 0.05 level.

表 2 参试西瓜品种果实性状比较
Table 2 Comparison of fruit traits among tested watermelon varieties

品种编号 Variety number	纵径/cm Longitudinal diameter	横径/cm Transverse diameter	果形指数 Fruit shape index	果皮颜色 Rind color	果实瓤色 Fruit flesh color	中心可溶性固形物含量/% Central soluble solid content	边部可溶性固形物含量/% Edge soluble solid content	果皮厚度/cm Rind thickness	果皮硬度/ (kg·cm ⁻²) Rind hardness
2107	24.24	17.92	1.35	墨绿宽齿带 Dark green wide band with dentate	鲜红 Bright red	12.57 ^a	11.70 ^a	1.12 ^{abc}	12.26 ^{cde}
2111	20.51	16.62	1.23	墨绿狭条带 Dark green narrow band	深粉 Deep pink	11.72 ^{bc}	10.42 ^{cd}	1.23 ^{ab}	13.45 ^{abc}
2112	23.48	17.51	1.34	墨绿宽齿带 Dark green wide band with dentate	深粉 Deep pink	11.81 ^{bc}	11.31 ^b	1.23 ^{ab}	12.78 ^{abcde}
2113	23.58	19.88	1.19	墨绿宽齿带 Dark green wide band with dentate	深粉 Deep pink	12.10 ^{ab}	9.77 ^e	1.32 ^a	14.65 ^a
2114	23.97	17.77	1.35	深绿狭齿带 Deep green narrow band with dentate	深粉 Deep pink	12.07 ^{ab}	10.27 ^d	1.18 ^{ab}	12.77 ^{abcde}
2116	23.35	17.85	1.31	浅绿狭条带 Light green narrow band	深粉 Deep pink	12.10 ^{ab}	10.47 ^{cd}	1.19 ^{ab}	12.98 ^{abcd}
2117	23.86	16.69	1.43	绿宽齿带 Green wide band with dentate	深粉 Deep pink	11.33 ^c	8.63 ^f	1.25 ^{ab}	14.38 ^{ab}
2118	24.63	17.37	1.42	浅绿狭齿带 Light green narrow band with dentate	深粉 Deep pink	10.07 ^e	8.80 ^f	1.22 ^{ab}	11.88 ^{cde}
2119	21.67	17.27	1.26	浅绿宽齿带 Light green wide band with dentate	深粉 Deep pink	10.71 ^d	8.60 ^f	1.07 ^{bc}	11.18 ^{de}
2120	24.29	17.18	1.42	绿狭齿带 Green narrow band with dentate	深粉 Deep pink	11.87 ^b	10.71 ^c	1.05 ^{bc}	12.54 ^{bcde}
麒麟 Qilin	21.71	19.92	1.09	浅绿狭条带 Light green narrow band	深粉 Deep pink	12.06 ^{ab}	10.42 ^{cd}	0.91 ^c	10.88 ^e

2.4 参试西瓜品种果实感官品质比较

按西瓜感官品质评分标准,由评分小组对各品种西瓜感官品质进行打分。结果如表 3 所示,2116 感官品质综合得分最高,整体表现为外观完整、形状适中、果肉颜色均匀、脆爽多汁、纤维及种子少、无异味和空心等情况,排名前五的品种依次为 2116、‘麒麟’、2111、2120 和 2107。

表 3 参试西瓜品种果实感官品质得分情况
Table 3 Sensory quality scores of fruits from tested watermelon varieties

品种编号 Variety number	果实外观 Fruit appearance	剖面纤维 Profile fiber	剖面空心 Profile hollow	果肉颜色 Flesh color	果肉质地 Pulp texture	种子数量 Seed number	口感风味 Taste flavor	果肉异味 Pulp odor	得分 Score	排名 Ranking
2107	17.3	9.2	10.0	10.0	10.0	8.0	19.0	10.0	93.5	5
2111	18.6	9.1	10.0	10.0	9.6	10.0	18.2	10.0	95.5	3
2112	15.5	9.9	8.0	10.0	9.4	8.0	17.6	9.8	88.2	7
2113	17.8	9.8	10.0	10.0	9.6	9.0	14.8	10.0	91.0	6
2114	16.0	9.2	7.0	10.0	9.2	9.0	17.1	10.0	87.5	8
2116	17.6	9.8	10.0	10.0	10.0	10.0	18.4	10.0	95.8	1
2117	16.8	8.5	10.0	10.0	9.4	10.0	12.6	10.0	87.3	9
2118	17.0	8.0	10.0	7.8	4.4	9.0	10.4	9.7	76.3	11
2119	17.5	8.8	10.0	10.0	6.4	10.0	8.8	9.9	81.4	10
2120	17.0	10.0	10.0	10.0	10.0	9.0	18.8	10.0	94.8	4
麒麟 Qilin	19.6	8.9	10.0	10.0	10.0	10.0	17.1	10.0	95.6	2

2.5 参试西瓜品种隶属函数评价

为全面反映不同西瓜品种综合性状差异,选择与西瓜生长、果实品质、产量及感官品质等相关的 14 个指标作为重要基础指标进行隶属函数分析评价。各性状隶属函数值越大表示该品种西瓜在某个性状上表现越好,D 值越大表示该品种西瓜基于隶属函数法综合表现越好。如表 4 所示,2120、2107 和 2116 综合评价均好于‘麒麟’,D 值依次为 0.644、0.634 和 0.599,分别位于第 1、2 和 3 位。

表4 参试西瓜品种隶属函数得分及排名

Table 4 Membership function scores and rankings of tested watermelon varieties

品种编号 Variety number	全生育周期 Entire growth period	第一雌花节位 The first female flower node	蔓长 Vine length	茎粗 Stem diameter	SPAD 值 SPAD value	中心可溶性固形物含量 Central soluble solid content	边部可溶性固形物含量 Edge soluble solid content	果皮厚度 Rind thickness
2107	0.753	0.800	0.505	0.657	0.844	0.931	0.935	0.401
2111	0.321	0.667	0.154	0.184	0.125	0.650	0.580	0.191
2112	0.568	0.733	0.588	0.610	0.502	0.680	0.830	0.556
2113	0.617	0.533	0.355	0.540	0.557	0.777	0.397	0.358
2114	0.716	0.800	0.447	0.600	0.531	0.766	0.537	0.451
2116	0.444	0.778	0.504	0.659	0.503	0.779	0.594	0.654
2117	0.210	0.400	0.338	0.537	0.362	0.522	0.082	0.321
2118	0.333	0.444	0.798	0.900	0.474	0.103	0.127	0.377
2119	0.247	0.622	0.191	0.469	0.312	0.315	0.072	0.420
2120	0.519	0.600	0.870	0.859	0.781	0.702	0.659	0.679
麒麟 Qilin	0.346	0.622	0.420	0.590	0.532	0.763	0.579	0.938
品种编号 Variety number	果皮硬度 Rind hardness	单果重 Fruit weight	产量 Yield	纵径 Longitudinal diameter	横径 Transverse diameter	感官品质得分 Sensory quality scoring	D 值 D value	排名 Ranking
2107	0.461	0.602	0.469	0.893	0.407	0.870	0.634	2
2111	0.868	0.057	0.035	0.023	0.063	0.970	0.301	11
2112	0.346	0.494	0.437	0.716	0.299	0.604	0.556	7
2113	0.608	0.643	0.508	0.739	0.926	0.744	0.573	5
2114	0.458	0.510	0.533	0.830	0.368	0.569	0.559	6
2116	0.105	0.672	0.555	0.685	0.389	0.985	0.599	3
2117	0.810	0.500	0.524	0.804	0.082	0.559	0.453	9
2118	0.264	0.949	0.829	0.984	0.262	0.007	0.555	8
2119	0.504	0.531	0.247	0.294	0.235	0.263	0.362	10
2120	0.410	0.494	0.638	0.904	0.212	0.935	0.644	1
麒麟 Qilin	0.047	0.582	0.527	0.303	0.937	0.975	0.588	4

2.6 参试西瓜品种主成分分析及评价

对各品种西瓜生长、果实品质、产量及感官品质得分等相关 14 个指标的标准化后数据进行主成分分析,结果如表 5 所示。共提取到 4 个特征值大于 1 且累积方差贡献率达到 78.277%的主成分,说明这 4 个主成分能够反映 14 项指标的大部分信息。主成分 1 中,蔓长、茎粗、SPAD 值、单果重、产量和纵径具有较大的正系数,因此主成分 1 主要代表了以西瓜生长、产量为主的因子。主成分 2 中,果实中心可溶性固形物含量、边部可溶性固形物含量和感官得分具有较大的正系数,因此可以将主成分 2 看作以西瓜果实品质为主的因子。主成分 3 中,果皮厚度和果皮硬度正向系数较大,因此可以将主成分 3 视作以西瓜果皮性状为主的因子。主成分 4 中第一雌花节位具有较大的正系数,因此可以将主成分 4 视作以西瓜开花坐果为主的因子。

通过主成分特征向量计算公式,计算并获得 4 个主成分函数表达式,计算结果如下:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= -0.143X_1 + 0.028X_2 + 0.341X_3 + 0.408X_4 + 0.323X_5 - 0.001X_6 + 0.078X_7 - 0.205X_8 - 0.287X_9 \\
 &\quad + 0.373X_{10} + 0.405X_{11} + 0.364X_{12} + 0.145X_{13} - 0.074X_{14}; \\
 F_2 &= -0.242X_1 - 0.251X_2 - 0.015X_3 - 0.094X_4 + 0.2X_5 + 0.483X_6 + 0.459X_7 - 0.211X_8 - 0.113X_9 \\
 &\quad - 0.194X_{10} - 0.133X_{11} - 0.083X_{12} + 0.22X_{13} + 0.466X_{14}; \\
 F_3 &= -0.411X_1 - 0.059X_2 + 0.231X_3 + 0.056X_4 + 0.127X_5 + 0.083X_6 + 0.181X_7 + 0.481X_8 + 0.39X_9 \\
 &\quad - 0.143X_{10} - 0.05X_{11} + 0.354X_{12} - 0.426X_{13} - 0.044X_{14}; \\
 F_4 &= -0.053X_1 + 0.667X_2 - 0.341X_3 - 0.022X_4 + 0.29X_5 + 0.205X_6 - 0.11X_7 + 0.095X_8 + 0.365X_9 \\
 &\quad + 0.028X_{10} + 0.135X_{11} + 0.095X_{12} + 0.332X_{13} + 0.13X_{14}。
 \end{aligned}$$

式中: X_1 — X_{14} 依次代表不同品种西瓜全生育周期、第一雌花节位、蔓长、茎粗、SPAD 值、中心可溶性固形物含量、边部可溶性固形物含量、果皮厚度、果皮硬度、单果重、产量、纵径、横径和感官品质得分。以 4 个主成分的方差贡献率为权重得出西瓜主成分综合评价函数公式: $F = 0.437F_1 + 0.319F_2 + 0.148F_3 + 0.096F_4$,计算得出各西瓜品种综合得分 F 值及排名, F 值越大代表该品种耐盐碱性综合表现越好。如表 6 所示,按照

综合得分由高至低的品种依次为 2107、2120、2116、‘麒麟’、2114、2112、2113、2118、2117、2119、2111。

表 5 参试西瓜品种各性状的主成分分析

Table 5 PCA of various traits in tested watermelon varieties

指标 Index	主成分 1 PC1	主成分 2 PC2	主成分 3 PC3	主成分 4 PC4
全生育周期 Entire growth period	-0.313	-0.452	-0.524	-0.054
第一雌花节位 The first female flower node	0.061	-0.470	-0.075	0.686
蔓长 Vine length	0.746	-0.028	0.294	-0.350
茎粗 Stem diameter	0.893	-0.177	0.071	-0.022
SPAD 值 SPAD value	0.707	0.374	0.161	0.298
中心可溶性固形物含量 Central soluble solid content	-0.003	0.904	0.106	0.210
边部可溶性固形物含量 Edge soluble solid content	0.170	0.858	0.230	-0.113
果皮厚度 Rind thickness	-0.449	-0.394	0.612	0.098
果皮硬度 Rind hardness	-0.627	-0.211	0.496	0.375
单果重 Fruit weight	0.815	-0.363	-0.183	0.029
产量 Yield	0.886	-0.249	-0.064	0.138
纵径 Longitudinal diameter	0.796	-0.155	0.451	0.098
横径 Transverse diameter	0.318	0.411	-0.542	0.341
感官品质得分 Sensory quality scoring	-0.163	0.871	-0.056	0.134
特征值 Eigenvalues	4.789	3.494	1.620	1.056
方差贡献率/% Variance contribution rate	34.207	24.956	11.570	7.544
累积方差贡献率/% Cumulative variance contribution rate	34.207	59.162	70.733	78.277

表 6 参试西瓜品种主成分综合得分及排名

Table 6 PCA scores and rankings of tested watermelon varieties

品种编号 Variety number	F_1	F_2	F_3	F_4	综合得分 Comprehensive score	排名 Ranking
2107	1.151	2.122	1.504	0.333	1.434	1
2111	-5.258	0.602	0.568	-0.269	-2.048	11
2112	0.349	0.802	0.500	-0.787	0.406	6
2113	0.177	0.464	-0.171	1.679	0.362	7
2114	0.361	0.502	0.861	-0.173	0.428	5
2116	0.994	1.137	-0.777	-0.659	0.619	3
2117	-1.194	-2.171	0.564	0.868	-1.047	9
2118	2.803	-3.930	-0.009	-0.552	-0.082	8
2119	-2.139	-2.167	-0.969	-0.481	-1.815	10
2120	2.094	0.848	0.864	-0.133	1.300	2
麒麟 Qilin	0.662	1.792	-2.936	0.175	0.444	4

2.7 不同西瓜品种耐盐碱综合表现聚类分析

对 11 个不同西瓜品种进行系统聚类,由图 2 可知,在类间距离为 15 时可以将 11 个西瓜品种分为 4 类。第Ⅰ类包括 2112、2114、2116、2107、2120、2113 和‘麒麟’,该类群含有 2 个亚类,其中 2112、2114、2116、2107、2120 和 2113 为第 1 亚类,整体表现为西瓜生长、品质和产量等相关指标较好,综合得分较高;‘麒麟’为第 2 亚类,区别第 1 亚类主要在于该品种西瓜果形更圆润,但果皮厚度和硬度较小,不耐储运。第Ⅱ类包括 2117 和 2119,该类群西瓜生长、产量及品质等相关指标相对较差,综合得分低。第Ⅲ类为 2111,主要特点为长势较弱、产量低,但感官品质得分较高,位列所有品种第 2 名。第Ⅳ类为 2118,该品种生长势较强、产量较高,但果实感官品质得分及可溶性固形物含量均较低。

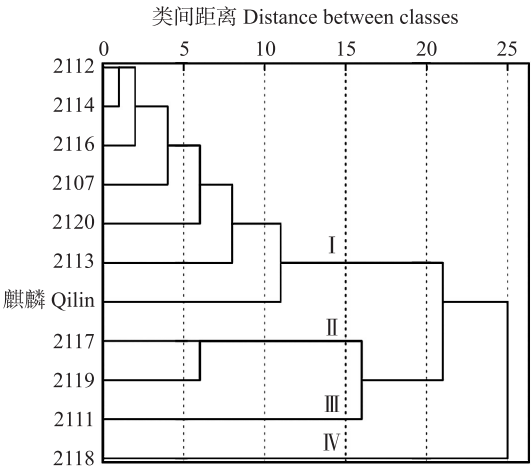


图 2 参试西瓜品种综合表现聚类分析图

Fig. 2 Cluster analysis diagram of the comprehensive performance of tested watermelon varieties

2.8 耐盐碱西瓜综合评价模型构建

对西瓜各指标与耐盐碱性综合表现(主成分综合得分)进行相关性分析,由表 7 可知,各品种西瓜植株 SPAD 值与综合表现呈极显著正相关,蔓长、茎粗、边部可溶性固形物含量、产量和纵径与综合表现呈显著正相关;全生育周期与综合表现呈极显著负相关。经验证,以综合表现为因变量,以全生育周期、蔓长、SPAD 值、边部可溶性固形物含量、产量和纵径 6 个指标为自变量进行回归分析,耐盐碱中型西瓜综合评价模型公式:综合表现=3.109-0.132×全生育周期-0.017×蔓长+0.112×SPAD 值+0.481×边部可溶性固形物含量+0.092×产量-0.107×纵径($R^2=0.988, P<0.01$),以上指标可以用作耐盐碱中型西瓜综合评价。

表 7 参试西瓜品种各指标与综合表现相关性分析

Table 7 Correlation analysis between various indices varieties and comprehensive performance of tested watermelon

指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	指标 Index	相关系数 Correlation coefficient
全生育周期 Entire growth period	-0.737 **	果皮厚度 Rind thickness	-0.544
第一雌花节位 The first female flower node	-0.380	果皮硬度 Rind hardness	-0.582
蔓长 Vine length	0.711 *	单果重 Fruit weight	0.472
茎粗 Stem diameter	0.712 *	产量 Yield	0.650 *
SPAD 值 SPAD value	0.937 **	纵径 Longitudinal diameter	0.682 *
中心可溶性固形物含量 Central soluble solid content	0.541	横径 Transverse diameter	0.429
边部可溶性固形物含量 Edge soluble solid content	0.628 *	感官品质得分 Sensory quality scoring	0.326

注: * 表示在 0.05 水平差异显著, ** 表示在 0.01 水平差异极显著。
Note: * indicates significant differences at 0.05 level, ** indicates extremely significant differences at 0.01 level.

3 讨论与结论

盐碱胁迫会显著影响西瓜的根系生长和养分吸收,且耐盐碱作物的耐盐碱能力很大程度上由品种特性所决定^[21-22]。因此,筛选出具有较好耐盐碱胁迫西瓜品种是盐碱地西瓜产业发展关键所在。苗峰等^[8]在沧州沿海地区开展西瓜品种比较试验,得出‘美国重茬王’和‘西农大霸王’2 个品种能够显著提高盐碱地西瓜的产量和品质。范学山等^[9,23]通过对盐碱土环境下西瓜植株的长势、果实品质等指标进行比较,先后筛选出‘科佳早熟’、‘早春红玉’和‘兰芯’等西瓜品种在浙江沿海地区进行推广。本试验中,在初始为中度盐碱的土壤条件下开展耐盐碱西瓜品种比较试验结果表明,2107 在果实品质、早熟性等方面表现突出,2116 和 2120 在生长势、果实品质、感官品质和产量等方面表现优异均衡,且综合评分高于‘麒麟’。这说明上述品种在耐盐碱性方面具有显著优势,适宜在黄河三角洲轻中度盐碱地区推广种植,这也进一步证明了开展耐盐碱品种筛选的可行性和必要性。

耐盐碱品种在盐碱胁迫下的生长表现是筛选的重要依据。盐胁迫会降低光合作用途径相关基因表达水平,使西瓜叶片气孔导度下降和光合色素含量降低,抑制光合作用^[11,24]。在本研究中,西瓜 SPAD 值和综合表现呈极显著正相关,这进一步证实了耐盐碱品种通常能够在高盐环境下维持较高的光合作用效率和较低的膜脂过氧化水平,从而表现出更强的生长势,并为果实生长奠定基础。同时,本研究还发现西瓜全生育周期与综合表现呈极显著负相关,这可能是因为较短的生育周期能够在一定程度上躲避盐碱胁迫,进而表现出较好的耐盐碱特性。

西瓜的果形外观和口感品质也是消费者选择的重要标准,特别是西瓜可溶性固形物和糖含量,直接影响其市场竞争力和经济效益^[18]。本研究对参试各西瓜品种的感官品质和可溶性固形物含量等指标进行了评测,2118 虽然产量最高,但其果实感官品质较差且综合评分较低,说明高产和优质存在一定的权衡关系。而 2107、2116 和 2120 在产量、糖分及感官品质得分上表现均衡,适合作为盐碱地主推品种。相关研究表明,西瓜果形指数和果皮厚度均会影响西瓜果实食用比例和运输贮藏性能,相互关联平衡^[20,25-26]。例如圆形薄皮果可能在糖分积累上更具优势,而细长厚皮果则在抗裂性上表现更加优秀,适合贮藏运输。因此,耐盐碱西瓜品种筛选要采用科学评价方法,全面衡量各个指标差异和综合表现。

近年来,隶属函数法和主成分分析法在水稻^[27]、甘薯^[28]和蔬菜^[29]等作物品种的抗逆性研究中广泛应用,多种方法综合运用能让结果更加科学可靠。在本试验中,笔者综合运用了隶属函数法和主成分分析法,发现隶属函数法中西瓜生长表现权重较大,主成分分析法更注重感官品质和可溶性固形物含量,但综合得分结果基本相似,说明 2 种评价方法都能有效整合西瓜品种的生长、品质和产量等多指标信息,通过

标准化和降维处理,为筛选耐盐碱品种提供了科学依据。指标确定、方法选择以及数据处理也都可能影响最终评价结果,后续研究可进一步精选指标,如增加西瓜根系生长状况、生理变化情况以及其他品质相关指标等,细化权重的分配,以提升综合评价方法的精准性和实用性。聚类分析能够将西瓜品种根据其生长、品质和产量等性状划分为不同的类别,从而更直观地展示各品种的相似性和差异性。本试验通过聚类分析将11个品种分为4类,其中第Ⅰ类包含2107、2116和2120等,此类综合表现最为优异,这也进一步验证了隶属函数法和主成分分析法的结果。另外,本试验利用线性回归方法,将西瓜品种的生长性状、果实品质和产量等指标与综合评价得分建立关系,从回归情况来看该模型能够较好地预测品种的综合表现。

本研究结果表明,通过滴灌淋洗,轻中度盐碱土($<0.3\%$)可满足优质西瓜生长,这为黄河三角洲“以水压盐”的栽培模式提供了数据支撑。西瓜品种的盐碱适应性不仅取决于品种本身的耐逆性,还需结合优化的栽培管理措施。例如,通过调节氮素供给水平^[30]、施用土壤改良剂^[31]以及添加耐盐碱促生菌^[32-33]等措施,可以有效缓解盐碱胁迫对西瓜生长的不利影响。此外,不同盐碱地的土壤盐分组成和含量存在显著差异,这些因素都可能影响西瓜品种的适应性和表现。因此,未来研究仍应加强对不同盐碱地类型的分类研究,并利用转录和代谢组学等技术,深入了解耐盐碱西瓜耐盐机制,筛选出更具针对性的耐盐碱品种。

参考文献 References:

- [1] 冯起,尹鑫卫,朱猛,等. 统筹推进西北地区盐碱地综合治理利用:现状、挑战与对策建议[J]. 中国科学院院刊,2024,39(12):2060-2073.
Feng Q, Yin X W, Zhu M, et al. Overall promotion of integrated management and utilization of saline-alkali land in Northwest China: conditions, challenges, and recommendations[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2024, 39(12): 2060-2073 (in Chinese with English abstract).
- [2] 董红云,朱振林,李新华,等. 山东省盐碱地分布、改良利用现状与治理成效潜力分析[J]. 山东农业科学,2017,49(5):134-139.
Dong H Y, Zhu Z L, Li X H, et al. Analysis on distribution, utilization status and governance effect of saline-alkali soil in Shandong Province[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2017, 49(5): 134-139 (in Chinese with English abstract).
- [3] 赵耕毛,杨梦圆,陈硕,等. 我国盐碱地治理:现状、问题与展望[J]. 南京农业大学学报,2025,48(1):14-26.
Zhao G M, Yang M Y, Chen S, et al. Saline-alkali land management in China: current situation, problems and prospects[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2025, 48(1): 14-26 (in Chinese with English abstract).
- [4] 赵姜. 中国西瓜产业发展的经济学分析[D]. 北京:中国农业科学院,2013.
Zhao J. Economics analysis of watermelon industry in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [5] Vega-Castellote M, Pérez-Marín D, Torres-Rodríguez I, et al. Green, multivariate approach for obtaining a fingerprint of quality of watermelons at supermarket level using near infrared spectroscopy[J]. LWT: Food Science and Technology, 2023, 182: 114831.
- [6] 茅国芳,陆利民,杨晓华,等. 沪郊西瓜甜瓜设施栽培土壤次生盐渍化的基本特性与防治技术研究[J]. 上海农业学报,2005,21(1):58-66.
Mao G F, Lu L M, Yang X H, et al. Study on the basic characteristics and control technique of secondary salted soil under protected culture of watermelon and melon in Shanghai suburbs[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2005, 21(1): 58-66 (in Chinese with English abstract).
- [7] 姜右锦,张松林,刘阳. 盐碱地土壤养分和盐分含量的空间变异特征研究[J]. 河南农业科学,2020,49(3):70-78.
Jiang Y J, Zhang S L, Liu Y. Spatial variability of soil nutrient and salt contents in saline-alkali land soil[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2020, 49(3): 70-78 (in Chinese with English abstract).
- [8] 苗锋,赖德强,李雅静,等. 适宜环渤海盐碱区旱地种植西瓜品种的筛选[J]. 贵州农业科学,2017,45(12):35-37.
Miao F, Lai D Q, Li Y J, et al. Screening of suitable watermelon varieties for cultivation in saline and alkali soil around Bohai[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2017, 45(12): 35-37 (in Chinese with English abstract).
- [9] 范学山,张慧,杨耿庚,等. 浙江沿海地区耐盐小果型西瓜品种比较试验初报[J]. 浙江农业科学,2022,63(5):934-937, 939.
Fan X S, Zhang H, Yang G G, et al. Comparative experiment of salt-tolerant watermelon varieties in Zhejiang coastal area[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2022, 63(5): 934-937, 939 (in Chinese).
- [10] 朱士农. 盐胁迫下西瓜嫁接苗的生理响应及其耐盐机制的研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.
Zhu S N. Study on the physiological responses of grafted watermelon seedlings under salt stress and the mechanism of salt tolerance[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [11] 高博文,孙德玺,刘君璞,等. 盐胁迫对西瓜幼苗生理生化特性的影响[J]. 中国瓜菜,2022,35(8):35-41.
Gao B W, Sun D X, Liu J P, et al. Salt stress affects physiological and biochemical characteristics of watermelon seedlings[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(8): 35-41 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李秀启,尹国红,贾宝华,等. 基于模糊数学隶属函数法的南太行地区西瓜品种综合评价[J]. 蔬菜,2022(5):17-21.
Li X Q, Yin G H, Jia B H, et al. Comprehensive evaluation of watermelon cultivars in south Taihang area based on subordinate function analysis method of fuzzy mathematics[J]. Vegetables, 2022(5): 17-21 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王向东,宋玥,马艳芝. 不同生姜品种的品质比较与综合评价[J]. 中国农业科技导报,2023,25(4):56-66.
Wang X D, Song Y, Ma Y Z. Quality comparison and comprehensive evaluation of different *Zingiber officinale* Rosc. varieties[J]. Journal of

- Agricultural Science and Technology, 2023, 25(4):56–66 (in Chinese with English abstract).
- [14] 侯东颖, 苏东涛, 郝科星, 等. 基于主成分和聚类分析的无籽西瓜果实性状的综合评价[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(5):37–41.
Hou D Y, Su D T, Hao K X, et al. Comprehensive evaluation of fruit characters of seedless watermelon based on principal component and cluster analysis[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(5):37–41 (in Chinese with English abstract).
- [15] 丁丁, 郑俊杰, 王红宝, 等. 滨海地区不同茶菊品种农艺性状及有效成分综合评价[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(10):45–53.
Ding D, Zheng L J, Wang H B, et al. Agronomic traits and effective components of different tea chrysanthemum varieties in coastal area[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25(10):45–53 (in Chinese with English abstract).
- [16] 马江黎, 梁文斌, 孙兴祥. 灌排水对盐渍化土壤性质和西瓜产量的影响[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(12):48–51.
Ma J L, Liang W B, Sun X X. Effect of irrigation and drainage on the properties of salinized soil and the yield of watermelon[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2020, 33(12):48–51 (in Chinese with English abstract).
- [17] 马双武, 刘君璞. 西瓜种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
Ma S W, Liu J P. Descriptors and Data Standard for Watermelon[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005 (in Chinese).
- [18] 李晶, 郁继华, 武玥, 等. 不同小果型西瓜品种品质评价[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(11):61–67.
Li J, Yu J H, Wu Y, et al. Quality evaluation of different small fruit watermelon varieties[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2020, 33(11):61–67 (in Chinese with English abstract).
- [19] DB42/T 1656—2021 西瓜果实品质鉴定技术规程[S].
DB42/T 1656—2021 Technical regulations for the quality evaluation of watermelon fruits[S] (in Chinese).
- [20] 高美玲, 李佳益, 于长宝, 等. 小型西瓜裂果相关性状遗传分析及相关性研究[J]. 北方园艺, 2016(17):1–4.
Gao M L, Li J Y, Yu C B, et al. Genetic analysis and correlation study on cracking related traits in mini-watermelon[J]. Northern Horticulture, 2016(17):1–4 (in Chinese with English abstract).
- [21] Zhu Y C, Yuan G P, Gao B W, et al. Comparative transcriptome profiling provides insights into plant salt tolerance in watermelon (*Citrullus lanatus*) [J]. Life, 2022, 12(7):1033.
- [22] 李雪芳, 柳雪, 王西娜, 等. 盐胁迫对嫁接西瓜幼苗根系构型、活力及离子分配的影响[J]. 南方农业学报, 2024, 55(10):3084–3095.
Li X F, Liu X, Wang X N, et al. Effects of salt stress on root configuration, vitality and ion distribution in grafted watermelon seedlings[J]. Journal of Southern Agriculture, 2024, 55(10):3084–3095 (in Chinese with English abstract).
- [23] 范学山, 庄定云, 张慧, 等. 浙江沿海地区耐盐西瓜品种对比试验[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(5):881–883.
Fan X S, Zhuang D Y, Zhang H, et al. Comparative trial of salt-tolerant watermelon varieties in Zhejiang coastal area[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2021, 62(5):881–883 (in Chinese).
- [24] Liu Y, Zhang W H, Elango D, et al. Metabolome and transcriptome analysis reveals molecular mechanisms of watermelon under salt stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2023, 206:105200.
- [25] Liao N Q, Hu Z Y, Li Y Y, et al. Ethylene-responsive factor 4 is associated with the desirable rind hardness trait conferring cracking resistance in fresh fruits of watermelon[J]. Plant Biotechnology Journal, 2019, 18(4):1066–1077.
- [26] 王学征, 赵正翔, 杨天天, 等. 西瓜果皮厚度的遗传模型及遗传方式分析[J]. 东北农业大学学报, 2024, 55(7):1–9, 50.
Wang X Z, Zhao Z X, Yang T T, et al. Genetic model and genetic mode analysis of watermelon rind thickness[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2024, 55(7):1–9, 50 (in Chinese with English abstract).
- [27] 刘梦红, 李逸, 李红宇, 等. 基于非线性主成分分析的北方粳稻苗期耐盐碱性综合评价[J]. 南方农业学报, 2022, 53(12):3380–3388.
Liu M H, Li Y, Li H Y, et al. Comprehensive evaluation of northern japonica rice saline-alkaline tolerance at seedling stage based on nonlinear principal component analysis[J]. Journal of Southern Agriculture, 2022, 53(12):3380–3388 (in Chinese with English abstract).
- [28] 吴瑶瑶, 贺金萍, 薛承康, 等. 甘薯耐盐性综合评价及耐盐指标筛选[J]. 南京农业大学学报, 2025, 48(3):572–580.
Wu Y Y, He J P, Xue C K, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance in sweetpotato and screening of salt tolerance parameters[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2025, 48(3):572–580 (in Chinese with English abstract).
- [29] 马肖静, 刘勇鹏, 尚文凯, 等. 44份西瓜种质资源苗期耐盐性综合评价[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(3):45–53.
Ma X J, Liu Y P, Shang W K, et al. Comprehensive evaluation of salt tolerance at seedling stage of 44 watermelon germplasm resources[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2024, 37(3):45–53 (in Chinese with English abstract).
- [30] 柳雪. 氯盐对西瓜生长的抑制作用及氮素调控研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2023.
Liu X. Study on inhibiting effect of chlorine to watermelon growth and its regulation by nitrogen[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2023 (in Chinese with English abstract).
- [31] 许世奇, 何彦臻, 李瑞, 等. 不同改良剂对盐渍土西瓜耐盐性和生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(10):2301–2312.
Xu S Q, He Y Z, Li R, et al. Effects of different amendments on salt tolerance and growth of watermelon in saline soils[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2023, 42(10):2301–2312 (in Chinese with English abstract).
- [32] 常海霞, 李静, 李明源, 等. 耐盐产吲哚乙酸 (IAA) 多功能菌株筛选及对盐胁迫小麦的促生效应[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(1):9–20.
Chang H X, Li J, Li M Y, et al. Screening of multifunctional salt-tolerant indole-3-acetic acid (IAA)-producing strains and their growth-promoting effects on wheat under salt stress[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2025, 41(1):9–20 (in Chinese with English abstract).
- [33] Bijalwan P, Jeddi K, Saini I, et al. Mitigation of saline conditions in watermelon with mycorrhiza and silicon application[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2021, 28(7):3678–3684.