

谢志明,玛依努尔·吾斯曼,覃志强,等. 盐胁迫对 4 种甜瓜种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(11):146-152.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.11.021

盐胁迫对 4 种甜瓜种子萌发及幼苗生理特性的影响

谢志明,玛依努尔·吾斯曼,覃志强,方志刚

(喀什大学生命与地理科学学院/新疆帕米尔高原生物资源与生态重点实验室,新疆喀什 844000)

摘要:为探讨盐胁迫对甜瓜种子萌发及幼苗生理特性的影响,鉴定甜瓜的耐盐性,用 NaCl 模拟盐胁迫,以常规伽师瓜、杂交伽师瓜、绿肉伽师瓜、西开欣 4 种甜瓜为材料,设定种子萌发期间 NaCl 浓度为 0、25、50、75、100、125 mmol/L,幼苗期 NaCl 浓度为 100 mmol/L。结果表明,盐胁迫显著影响了甜瓜种子萌发,不同甜瓜品种在盐胁迫下种子萌发存在较大差异,利用隶属函数法建立综合评价体系,发现 4 种甜瓜的耐盐性表现为西开欣 > 常规伽师瓜 > 杂交伽师瓜 > 绿肉伽师瓜。苗期试验结果表明,100 mmol/L NaCl 胁迫显著降低了 4 种甜瓜幼苗的株高、茎粗、叶面积及干物质的积累。其中,绿肉伽师瓜的降幅最大。除此之外,盐胁迫下,绿肉伽师瓜幼苗叶绿素含量显著降低,细胞膜透性和丙二醛含量均显著升高,其余甜瓜品种叶片叶绿素含量和丙二醛含量变化不显著。综合上述研究结果可知,西开欣和常规伽师瓜为耐盐型甜瓜,绿肉伽师瓜为盐敏感型甜瓜。

关键词:甜瓜;盐胁迫;种子萌发;幼苗;生理特性;隶属函数法

中图分类号:Q945.78;S652.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)11-0146-07

盐渍土在全球分布广泛,据统计,全球现有盐

渍土地面积约 $1.1 \times 10^9 \text{ hm}^2$,我国盐渍土面积约为 $9.9 \times 10^7 \text{ hm}^2$,其中,新疆是我国盐渍土地面积最大、分布最广的区域^[1-2]。除自然原因外,由于农田施肥量增加及不合理的灌溉,使土壤盐渍化呈现出增长趋势,对农业生产造成不利影响^[3]。土壤盐渍化是世界各国重点关注的环境和生态问题之一,已经成为限制农业生产的重要因素。盐渍土地的开发和利用,对于农业生产和土地的可持续发展具有重大意义。

种子萌发和幼苗生长容易受环境中盐分的影

收稿日期:2022-07-04

基金项目:喀什大学高层次人才科研启动项目(编号:022019032);新疆帕米尔高原生物资源与生态重点实验室开放课题项目(编号:XJDX1714-2021-09)。

作者简介:谢志明(1998—),女,黑龙江双鸭山人,硕士研究生,主要从事植物逆境生理与资源利用研究。E-mail:x13125926016@126.com。

通信作者:方志刚,博士,副教授,主要从事植物逆境生理与资源利用研究。E-mail:fangyi20@126.com。

[24]雷月,宫彦龙,邓茹月,等. 基于主成分分析和聚类分析综合评价蒸谷米的品质特性[J]. 食品工业科技,2021,42(7):258-267.

[25]巨晓军,章明,屠云洁,等. 基于主成分分析的不同品种鸡肉品质评价[J]. 家畜生态学报,2021,42(4):45-51.

[26]孟鑫,吕剑,罗石磊,等. 不同营养液浓度对日光温室番茄果实品质的影响[J]. 中国蔬菜,2021(10):85-90.

[27]赵玉红,孙涛,朱柯钰,等. 陕北基质栽培樱桃番茄品种的筛选[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(10):73-82.

[28]Hao S X, Cao H X, Wang H B, et al. Effects of water stress at different growth stages on comprehensive fruit quality and yield in different bunches of tomatoes in greenhouses [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2019, 12(3): 67-76.

[29]喻华平,赵志常,高爱平,等. 基于主成分分析和聚类分析的 23 份黄皮种质资源的品质评价[J]. 热带作物学报,2022,43(7):

1357-1364.

[30]李炜,毕影东,刘建新,等. 寒地野生大豆资源农艺性状的相关性和主成分分析[J]. 土壤与作物,2022,11(1):10-17.

[31]雷涛,毕远杰,马娟娟,等. 不同水分-沸石量-埋深条件下番茄生长特性研究[J]. 人民黄河,2022,44(2):153-156,160.

[32]李旭峰,马娟娟,孙西欢,等. 节水减氮对温室番茄生长及水氮利用率的影响[J]. 排灌机械工程学报,2021,39(10):1056-1061.

[33]聂伟燕,赵尊练,夏云飞,等. 水分胁迫对线辣椒根系生长及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(4):30-36.

[34]王学文,付秋实,王玉珏,等. 水分胁迫对番茄生长及光合系统结构性能的影响[J]. 中国农业大学学报,2010,15(1):7-13.

[35]张倩,曾健,张振华,等. 循环曝气地下滴灌下温室番茄生长特性与产量研究[J]. 农业机械学报,2022,53(2):365-377.

[36]古成彬,陆玲鸿,宋根华,等. 外源褪黑素预处理对于旱胁迫下桃苗生长的缓解效应[J]. 植物生理学报,2022,58(2):309-318.

响,当介质中盐分达到一定浓度时,能够破坏细胞内外离子和水分的平衡,使种子发芽率、胚根长、活力指数等萌发指标降低,但低盐胁迫下,又可促进某些种子萌发^[4]。在植物幼苗期,高盐胁迫通过离子毒害作用,损伤细胞质膜和叶绿体,积累活性氧,降低光合作用,从而减少光合产物积累^[5]。研究表明,大麦种子可以在 NaCl 含量高达 3% 条件下萌发,藜麦幼苗能够在 400 mmol/L NaCl 环境中生长^[6-7]。因此,开展植物耐盐性研究对作物生产与品质改良具有积极意义。甜瓜(*Cucumis melo* L.)是具有一定耐盐性的葫芦科作物,其耐盐性仅次于南瓜^[8]。新疆属典型的温带大陆性气候,适宜种植甜瓜,尤其在南疆地区,甜瓜是重要的经济作物,其口感香甜,风味独特,广受消费者欢迎,成为当地农牧民增收的主要渠道,但土壤的次生盐渍化限制了甜瓜的产量和品质提升^[9]。因此,筛选和培育耐盐的甜瓜品种对发展当地甜瓜产业具有重要意义。已有研究指出,在种子萌发期和幼苗期能够快速鉴定植物的耐盐性,为农业生产提供优良的种质材料,这在黑果枸杞和苜蓿种子的耐盐性研究中已被证实^[10-11]。然而,有关南疆地区甜瓜品种间是否存在耐盐性差异,目前的研究尚不多见。

本研究以南疆地区主栽的常规伽师瓜、绿肉伽师瓜、杂交伽师瓜及西开欣 4 个甜瓜品种为材料,采用 NaCl 模拟盐胁迫,分析甜瓜种子萌发期各项指标的变化及苗期植株响应盐胁迫的生理特性,鉴定 4 个甜瓜品种的耐盐性,以期为耐盐型甜瓜的生理机制研究提供理论依据,同时为盐渍化土地中栽培甜瓜提供参考。

1 材料与方法

试验于 2021 年 9 月至 2022 年 5 月于喀什大学生命与地理科学学院新疆帕米尔高原生物资源与生态重点实验室植物逆境生物研究室完成。

1.1 试验材料

常规伽师瓜(新疆西域种业股份有限公司)、杂交伽师瓜(新疆西域种业股份有限公司)、绿肉伽师瓜(新疆吉丰种业有限公司)和西开欣(昌吉市金秋种业有限公司)种子购自喀什市农博城现代瓜果种业营销店,目前均为南疆地区主栽甜瓜品种。

1.2 试验方法

种子发芽试验:采用 NaCl(分析纯)模拟盐胁迫,共设置 0(CK)、25、50、75、100、125 mmol/L 共 6

个 NaCl 浓度。挑选饱满均匀的种子,经 5% NaClO 溶液消毒 5 min,用无菌水冲洗干净后,将 20 粒种子置于铺有双层滤纸的培养皿中,置于暗处培养 3 d 后开始光照,光—暗周期为 12 h—12 h,光照度为 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,昼夜温度为 28 $^{\circ}\text{C}/22$ $^{\circ}\text{C}$,湿度为 30% ~ 40%。每个处理 3 次重复,种子萌发期间,保持滤纸湿润。定期统计种子萌发情况。

幼苗试验:选取大小均匀饱满的甜瓜种子,播于装有基质(草炭土、椰糠、蛭石混合均匀)的花盆中,置于植物培养室中,种子萌发后,转移至光—暗周期为 12 h—12 h,光照度为 350 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,昼夜温度为 28 $^{\circ}\text{C}/22$ $^{\circ}\text{C}$,湿度为 30% ~ 40% 的植物培养室中继续培养,待子叶展平后,每个花盆留苗 4 株,待甜瓜幼苗长到 3 叶 1 心时,保持土壤水分为 75% ~ 80%,用 100 mmol/L NaCl 模拟盐胁迫处理,以浇去离子水的甜瓜幼苗为对照,每个品种处理 3 次重复。盐胁迫处理 1 周后进行取样测定。

1.3 种子萌发指标的测定

按照赵玮等的方法,统计每天的发芽数,7 d 后,计算种子萌发的各项指标,包括发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数等指标^[12]。为客观评价不同品种在萌发期的耐盐差异,参考 Fang 等的方法^[13],取上述指标相对值(处理指标值/对照指标值)用于比较品种间种子萌发差异,采用相对指标的均值来表征不同甜瓜品种在盐浓度下的萌发特性。

1.4 甜瓜耐盐性评价

利用隶属函数和标准差系数综合评价 4 个甜瓜品种在芽苗期间的耐盐性^[14]。不同品种的特定隶

属值 $X(\mu) = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$ 。公式中: $X(\mu)$ 代表第 μ 个

被评价参数指标的隶属值; X 为评价参数指标如相对发芽率均值; X_{\max} 为某个被评价参数指标的最大值; X_{\min} 为相应被评价参数指标中的最小值。隶属函数值越大,耐盐性越强。

1.5 甜瓜幼苗期形态及生理指标的测定

用直尺测量甜瓜株高,用游标卡尺测量茎粗,干鲜质量用千分之一天平称量。根冠比的测定参照熊韬等的试验方法^[15];叶面积测定采用纸样称质量法^[16];丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法^[17];叶绿素含量用 95% 乙醇研磨法^[18]测定;细胞膜透性采用 DDS-307 电导率仪测定,每个指标均测定 3 次。

1.6 数据分析

数据统计和整理使用 Excel 2016,使用 Origin 9.0 和 SPSS 26.0 进行差异分析及绘图。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对种子发芽指标的影响

由表 1 可知,与 CK 相比,盐胁迫未显著影响常规伽师瓜和西开欣的发芽率和发芽势。50 mmol/L 盐胁迫下,西开欣种子发芽率为 86.7%,绿肉伽师瓜发芽率则为 33.3%;125 mmol/L(高盐)胁迫下,杂交伽师瓜的种子发芽率和发芽势仅分别为 18.3%和 6.7%。25 mmol/L(低盐)胁迫下,绿肉伽师瓜的发芽势显著低于对照。当盐浓度增加到

100 mmol/L 时,杂交伽师瓜和绿肉伽师瓜的发芽势分别为 13.3%和 5.0%。高盐胁迫下,绿肉伽师瓜的发芽率和发芽势均为 0。低盐胁迫下,西开欣种子发芽指数可达 20.7,绿肉伽师瓜种子发芽指数与对照相比显著降低 51.1%。然而,该处理条件下,常规伽师瓜和西开欣种子活力指数分别为 3.6 和 5.0。高盐胁迫下,常规伽师瓜、杂交伽师瓜、西开欣的发芽指数分别下降至 13.6、3.2 和 10.7,其活力指数分别为 1.0、0.2 和 0.9,绿肉伽师瓜种子发芽指数和活力指数均为 0。低盐胁迫可促进甜瓜根长生长但未达显著水平,高盐胁迫下,常规伽师瓜、杂交伽师瓜、西开欣的根长分别下降 48.6%、47.2%、56.9%,绿肉伽师瓜的根长为 0。

表 1 盐胁迫对种子发芽指标的影响

品种	NaCl 浓度 (mmol/L)	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽指数	活力指数	根长 (cm)
常规伽师瓜	CK	78.3±5.8a	56.7±10.4ab	21.4±2.0a	2.5±0.2b	3.7±0.5ab
	25	81.7±5.8a	66.7±7.6a	20.7±3.7ab	3.6±0.6a	4.8±0.7a
	50	83.3±11.5a	68.3±5.8a	21.2±2.9a	3.7±0.5a	4.3±1.2a
	75	75.0±5.0a	51.7±11.5ab	16.7±2.7abc	1.9±0.3bc	2.3±0.5bc
	100	73.3±25.7a	43.3±16.1b	14.3±5.4bc	1.2±0.4cd	2.4±0.5bc
	125	66.7±10.4a	38.3±16.1b	13.6±3.4c	1.0±0.3d	1.9±0.7c
杂交伽师瓜	CK	51.7±5.8a	45.0±10.0a	17.9±3.8a	2.3±0.5a	3.6±0.8ab
	25	53.3±14.4a	45.0±21.8a	17.2±7.1a	2.8±1.2a	5.1±1.0a
	50	56.7±2.9a	46.7±15.3a	16.3±4.2a	3.1±0.8a	4.6±1.3a
	75	31.7±7.6b	21.7±10.4ab	7.0±3.1b	0.9±0.4b	3.5±0.9ab
	100	25.0±5.0b	13.3±14.4b	4.3±2.4b	0.5±0.3b	2.5±0.6b
	125	18.3±2.9b	6.7±2.9b	3.2±0.3b	0.2±0.0b	1.9±0.7b
绿肉伽师瓜	CK	50.0±5.0a	21.7±2.9a	9.4±2.1a	1.2±0.3a	2.9±0.4a
	25	50.0±10.0a	6.7±2.9bc	4.6±1.4b	0.6±0.2b	3.7±2.1a
	50	33.3±7.6b	8.3±5.8b	4.1±2.7b	0.4±0.3b	3.6±1.8a
	75	21.7±7.6bc	8.3±5.8b	3.3±1.5bc	0.3±0.1bc	2.6±0.3a
	100	18.3±7.6c	5.0±5.0bc	2.7±1.9bc	0.2±0.2bc	1.9±0.2ab
	125	0.0±0.0d	0.0±0.0c	0.0±0.0c	0.0±0.0c	0.0±0.0b
西开欣	CK	65.0±21.8ab	46.7±10.4ab	18.1±3.3ab	3.5±0.6bc	5.1±2.5abc
	25	76.7±2.9ab	55.0±0.0a	20.7±2.8a	5.0±0.7a	6.8±1.9a
	50	86.7±5.8a	50.0±5.0ab	19.8±1.1a	4.0±0.2ab	6.1±1.4ab
	75	68.3±20.8ab	43.3±16.1ab	15.5±5.7abc	2.7±1.0cd	6.0±1.5ab
	100	55.0±17.3ab	38.3±12.6ab	12.5±3.1bc	2.1±0.5d	3.5±1.0bc
	125	51.7±18.9b	30.0±10.0b	10.7±3.3c	0.9±0.3e	2.2±0.5c

注:表中数据为平均值±标准差(n=3),根据邓肯氏检验,同一列数据后不同小写字母表示同一品种不同处理间在 0.05 水平上差异显著。表 2 同。

2.2 盐胁迫对种子相对发芽指标的影响

由表 2 可知,盐胁迫未显著影响常规伽师瓜和西开欣种子相对发芽率及相对发芽势。50 mmol/L

NaCl 胁迫下,仅绿肉伽师瓜种子相对发芽率低于 100%;高盐胁迫下,除绿肉伽师瓜外,其余甜瓜品种相对发芽率均高于 35.4%。25~100 mmol/L 盐胁

胁迫下,与对照相比,绿肉伽师瓜相对发芽势显著降低 61.8% ~ 77.0%, 杂交伽师瓜相对发芽势在 100 ~ 125 mmol/L 盐胁迫下显著降低。盐浓度高于 50 mmol/L 时,杂交伽师瓜相对发芽指数、相对活力指数均开始显著降低。常规伽师瓜在 100 ~ 125 mmol/L 盐胁迫下,相对发芽指数和相对活力指数均显著低于对照;该处理条件下,西开欣种子的相对活力指数显著低于对照。25 ~ 125 mmol/L 盐

胁迫下,与对照相比,绿肉伽师瓜相对发芽势、相对发芽指数和相对活力指数均显著降低。低盐胁迫下,常规伽师瓜、杂交伽师瓜、绿肉伽师瓜和西开欣的相对根长分别增加 29.7%、41.7%、27.6% 和 33.3%,但未达显著水平。高盐胁迫下,与对照相比,常规伽师瓜和绿肉伽师瓜的相对根长显著下降,但杂交伽师瓜和西开欣的相对根长下降不显著。

表 2 盐胁迫对甜瓜种子萌发相对指标的影响

品种	NaCl 浓度 (mmol/L)	相对发芽率 (%)	相对发芽势 (%)	相对发芽指数 (%)	相对活力指数 (%)	相对根长 (%)
常规伽师瓜	CK	100.0 ± 7.4a	100.0 ± 18.4ab	100.0 ± 9.3a	100.0 ± 9.3b	100.0 ± 14.0ab
	25	104.3 ± 7.4a	117.6 ± 13.5a	96.6 ± 17.1ab	143.8 ± 25.4a	131.8 ± 18.2a
	50	106.4 ± 14.7a	120.6 ± 10.2a	99.0 ± 13.4a	146.7 ± 19.8a	117.3 ± 33.2a
	75	95.7 ± 6.4a	91.2 ± 20.4ab	78.0 ± 12.8abc	75.5 ± 12.4bc	63.6 ± 13.5bc
	100	93.6 ± 32.8a	76.5 ± 28.4b	66.9 ± 25.1bc	47.5 ± 17.9cd	64.5 ± 13.7bc
	125	85.1 ± 13.3a	67.6 ± 28.4b	63.4 ± 15.8c	41.6 ± 10.4d	50.9 ± 19.7c
杂交伽师瓜	CK	100.0 ± 11.2a	100.0 ± 22.2a	100.0 ± 21.3a	100.0 ± 21.3a	100.0 ± 23.1ab
	25	103.2 ± 27.9a	100.0 ± 48.4a	95.9 ± 39.3. a	125.8 ± 51.6a	140.4 ± 27.9a
	50	109.7 ± 5.6a	103.7 ± 33.9a	90.8 ± 23.5a	138.2 ± 35.8a	126.6 ± 35.8a
	75	61.3 ± 14.8b	48.1 ± 23.1ab	39.1 ± 17.4b	41.2 ± 12.5b	96.3 ± 24.0ab
	100	48.4 ± 9.7b	29.6 ± 23.1b	23.9 ± 13.6b	22.0 ± 14.4b	69.7 ± 16.1b
	125	35.5 ± 5.6b	14.8 ± 6.4b	18.0 ± 1.8b	10.5 ± 1.0b	53.2 ± 18.3b
绿肉伽师瓜	CK	100.0 ± 10.0a	100.0 ± 13.3a	100.0 ± 22.6a	100.0 ± 22.6a	100.0 ± 15.0a
	25	100.0 ± 20.0a	30.8 ± 13.3bc	49.2 ± 14.4b	45.1 ± 13.2b	128.7 ± 70.7a
	50	66.7 ± 15.3b	38.5 ± 26.6b	43.8 ± 28.7b	31.6 ± 20.7b	123.0 ± 60.7a
	75	43.3 ± 15.3bc	38.5 ± 26.6b	35.4 ± 15.8bc	23.2 ± 10.4bc	90.8 ± 11.1a
	100	36.7 ± 15.3c	23.1 ± 23.1bc	28.3 ± 20.4bc	18.2 ± 13.1bc	66.7 ± 7.2ab
	125	0.0 ± 0.0d	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0b
西开欣	CK	100.0 ± 33.5ab	100.0 ± 22.3ab	100.0 ± 18.1ab	100.0 ± 18.1bc	100.0 ± 48.1abc
	25	117.9 ± 4.4 ab	117.9 ± 0.0a	113.9 ± 15.2a	140.4 ± 18.7a	132.5 ± 37.0a
	50	133.3 ± 8.9a	107.1 ± 10.7ab	109.1 ± 6.3a	112.5 ± 6.5ab	119.5 ± 27.8ab
	75	105.1 ± 32ab	92.9 ± 34.4ab	85.6 ± 31.5abc	75.6 ± 27.8cd	116.2 ± 29.8ab
	100	84.6 ± 26.6ab	82.1 ± 27.0ab	68.8 ± 16.9bc	58.8 ± 14.5d	67.5 ± 18.7bc
	125	79.5 ± 29.1b	64.3 ± 21.4b	59.0 ± 18.3c	24.2 ± 7.5e	43.5 ± 9.8c

2.3 不同甜瓜萌发期耐盐性评价

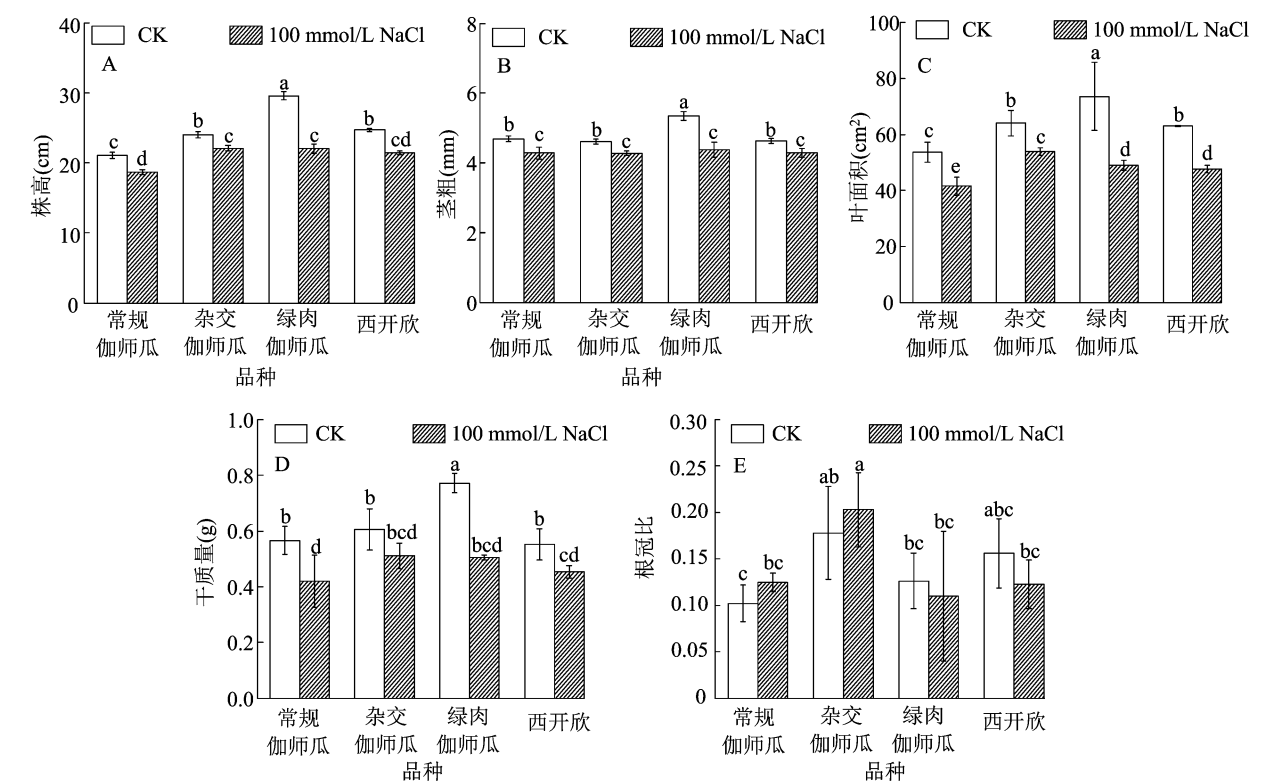
由表 3 可知,根据盐胁迫下种子萌发指标相对值结果,利用隶属函数建立综合评价体系,综合相对发芽率、相对发芽势、相对发芽指数、相对活力指数及相对根长的隶属函数均值,评估 4 种甜瓜在萌发期的抗盐性。结果表明,西开欣的综合隶属函数值最高,达到 0.858;其次是常规伽师瓜,综合隶属函数值为 0.750;杂交伽师瓜的综合隶属函数值为 0.507,绿肉伽师瓜隶属函数值为 0.069。

2.4 盐胁迫对甜瓜幼苗生长的影响

由图 1 可知,100 mmol/L 的 NaCl 胁迫可显著降低甜瓜的株高、茎粗、叶面积和干质量。其中,绿肉伽师瓜的株高较对照显著降低 25.68% (图 1 - A)。盐胁迫下,甜瓜茎粗的变化趋势与株高类似 (图 1 - B)。100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,常规伽师瓜、杂交伽师瓜、绿肉伽师瓜和西开欣的叶面积分别较对照下降 22.50%、16.01%、33.37% 和 24.42% (图 1 - C)。类似地,上述 4 种甜瓜的干质

表 3 盐胁迫下不同甜瓜萌发期隶属函数评价结果

品种	隶属函数值						排名
	相对发芽率	相对发芽势	相对发芽指数	相对活力指数	相对根长	综合隶属函数	
常规伽师瓜	0.71	0.97	0.88	0.94	0.24	0.750	2
杂交伽师瓜	0.35	0.42	0.36	0.49	0.92	0.507	3
绿肉伽师瓜	0.02	0.00	0.02	0.00	0.31	0.069	4
西开欣	0.91	0.96	0.99	0.85	0.59	0.858	1



数据为 3 次重复的平均值，根据邓肯氏检验，柱子下方不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。 下图相同

图1 盐胁迫对甜瓜幼苗生长及干物质积累的影响

量在盐胁迫下分别降低 25.90%、15.54%、34.60% 和 17.80% (图 1 - D)。盐胁迫下,不同甜瓜品种的根冠比未发生显著变化(图 1 - E)。

2.5 盐胁迫对甜瓜叶绿素、丙二醛含量及细胞膜透性的影响

盐胁迫下,甜瓜叶片生理特性变化见图 2。100 mmol/L 的 NaCl 胁迫下,绿肉伽师瓜叶片叶绿素含量显著降低 17.94%,叶片中 MDA 含量较对照显著升高 40.40%,其余甜瓜叶片叶绿素和 MDA 含量无显著变化(图 2 - A、图 2 - B)。与对照相比,100 mmol/L NaCl 胁迫下,常规伽师瓜、绿肉伽师瓜和西开欣的叶片细胞膜透性分别显著增加 25.70%、56.56%、和 18.94%(图 2 - C)。

3 讨论

3.1 盐胁迫对种子萌发的影响

研究表明,在盐环境中,种子萌发是一个复杂的生理代谢过程,种子的发芽率和发芽势随着 NaCl 浓度升高而降低^[19]。不同油菜品种种子萌发的试验结果表明,油菜种子对盐浓度非常敏感,低盐浓度就可显著抑制种子胚根和胚芽的生长,这主要是由于胚根首先与盐离子接触,引起油菜种子受到盐害作用^[20]。但杨宏伟等认为低浓度的 NaCl 溶液对种子萌发具有促进作用^[21]。本研究结果显示,25 mmol/L 的 NaCl 胁迫对杂交伽师瓜、常规种伽师瓜和西开欣种子萌发具有积极的促进作用,这可能

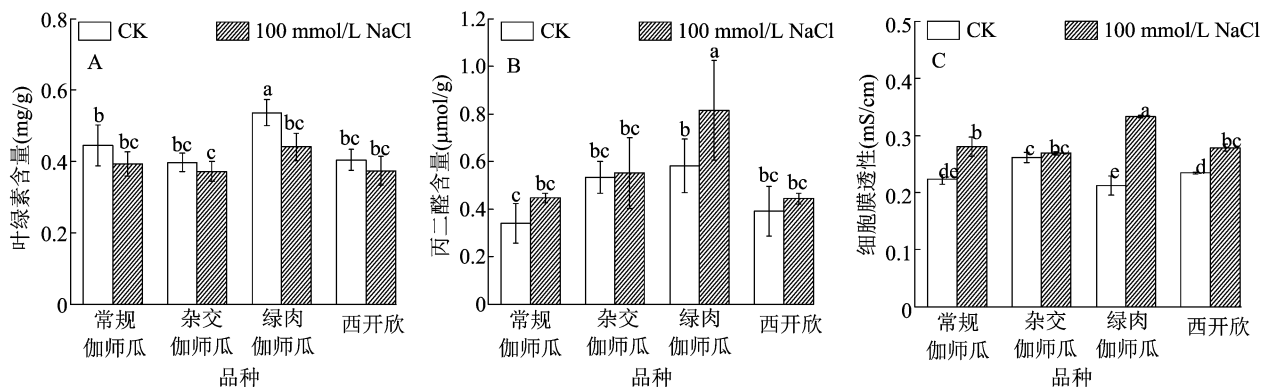


图2 盐胁迫对甜瓜叶片生理特性的影响

与低剂量的盐可使植物体内新陈代谢加快,促进植物的生长有关^[22]。盐胁迫下,菊科植物种子萌发的试验结果表明,随 NaCl 浓度升高,松果菊、金盏菊、地被菊种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均呈下降趋势,而波斯菊胚芽、胚根的生长表现出低促高抑的趋势^[23]。本研究部分结果与之类似。本研究中,NaCl 浓度为 25 ~ 75 mmol/L 时,西开欣根长明显高于对照,说明西开欣种子萌发适应于 NaCl 浓度低于 100 mmol/L 的盐胁迫,其相对发芽率保持在 100% 以上。鲁乃增等认为不同甜瓜种子在 NaCl 浓度为 0.5% ~ 2.5% 时,其发芽率、发芽势存在较大差异^[24]。本试验中,25 ~ 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫也导致 4 种甜瓜种子发芽指标存在较大差异,说明甜瓜品种间耐盐性差异较明显。另有研究表明,种子活力指数可作为反映作物齐苗与壮苗的重要指标,其指标值越高,耐盐性越强^[25]。本试验条件下,西开欣及常规伽师瓜的种子活力指数在 125 mmol/L 的盐胁迫下,仍维持较高水平。由此可知,选择西开欣或常规伽师瓜,有利于实现中轻度盐渍化土地的利用。

3.2 盐胁迫对甜瓜幼苗生长及生理的影响

盐胁迫会影响植物的生长和器官的分化,主要表现为抑制植物叶片生长,干扰色素分子吸收、传递和转换光能,降低叶绿素合成效率,使叶片光合作用能力减弱^[26-27]。本研究中,100 mmol/L NaCl 处理 4 种甜瓜后,其幼苗株高、茎粗、叶面积均显著降低。此外,盐胁迫导致甜瓜叶片中叶绿素含量明显减少,这与王玉萍等的试验结果^[28]类似,其原因主要是由于盐离子抑制了叶绿素合成酶,使叶绿素快速分解,从而降低光合作用,最终导致干物质积累减少^[29]。本研究也发现,盐胁迫下,绿肉伽师瓜的干质量与其叶绿素的变化趋势一致,但其叶绿素

酶活性需要进一步研究。丙二醛含量及细胞膜透性是植物响应逆境如干旱、盐渍的重要指标,其含量越高,表明细胞质膜结构受损伤程度越大^[30]。本研究中,在 100 mmol/L 的 NaCl 盐胁迫下,甜瓜叶片细胞膜透性增大,这与陈友根等的研究结果^[31]类似,可能是 NaCl 破坏了质膜结构,也可能是 Na⁺ 置换了具有保护作用的 Ca²⁺。此外,100 mmol/L 的 NaCl 导致绿肉伽师瓜叶片细胞积累过量的 MDA,表明盐胁迫严重损伤了其叶片脂膜的结构,使内含物释放出,从而增加了其细胞膜透性。

3.3 不同甜瓜品种的耐盐性差异

本研究发现,同一盐浓度胁迫下,4 种甜瓜种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数及根长均表现出较大差异,不同盐浓度胁迫下,甜瓜种子萌发指标随着盐浓度变化的趋势也不尽相同。因此,用单一种子萌发指标来评价 4 种甜瓜的耐盐性是片面的。采用模糊数学的方法,通过隶属函数建立综合评价体系可有效避免植物抗逆性评价的片面性,这在黑麦草、小麦的研究中已被证实^[32-33]。基于此,本研究通过隶属函数建立的综合评价,认为 4 种甜瓜在种子萌发期的耐盐性表现为西开欣 > 常规伽师瓜 > 杂交伽师瓜 > 绿肉伽师瓜。这与毛建才等的研究结果^[34]不同,这可能是试验材料数量、盐胁迫浓度设计及评价方法存在差异。

已有研究指出,甜瓜的耐盐性在萌发期、幼苗期、伸蔓期及坐果期可能存在差异,这主要与盐胁迫浓度、植株的生理状态及遗传基因有关^[35]。本试验中,盐胁迫显著影响了甜瓜的形态指标,100 mmol/L NaCl 胁迫下绿肉伽师瓜的株高、茎粗、叶面积降幅最大。此外,盐胁迫下,绿肉伽师瓜的叶绿素含量降幅最大,细胞膜透性和 MDA 含量增幅最大,这表明 100 mmol/L 的 NaCl 胁迫对绿肉伽

师瓜造成了严重的毒害作用,该结果与种子萌发期的试验结果一致,即绿肉伽师瓜为盐敏感型甜瓜。结合隶属函数和幼苗期形态及生理指标的变化,常规伽师瓜与西开欣的耐盐性相当,均为耐盐型甜瓜。

4 结论

本研究结果表明,用 NaCl 模拟盐胁迫能显著影响 4 种甜瓜种子萌发,用 100 mmol/L NaCl 处理甜瓜幼苗,可使绿肉伽师瓜叶绿素含量显著降低,细胞膜透性和 MDA 含量显著升高。盐胁迫下,根据种子萌发期的隶属函数值及 4 种甜瓜幼苗的形态指标及生理特性的变化可知,西开欣和常规伽师瓜的耐盐性强,绿肉伽师瓜的耐盐性最弱。

参考文献:

- [1] 杨劲松,姚荣江,王相平,等. 中国盐渍土研究:历程、现状与展望[J]. 土壤学报,2022,59(1):10-27.
- [2] 杜孝敬,张燕红,吕玉平,等. 不同香稻品种种子萌发和苗期对 NaCl 胁迫的响应[J]. 新疆农业科学,2022,59(4):827-838.
- [3] 张 昆,李明娜,曹世豪,等. 植物盐胁迫下应激调控分子机制研究进展[J]. 草地学报,2017,25(2):226-235.
- [4] 梁维维,张荟荟,贾纳提,等. NaCl 胁迫对野生苜蓿种子萌发特性的影响[J]. 草原与草坪,2021,41(6):105-110.
- [5] 薛淑媛,朱世东,李 雪,等. 外源亚精胺对盐胁迫下甜瓜幼苗光合和超微结构的影响[J]. 江苏农业学报,2013,29(3):613-618.
- [6] 白 云,张雨桐. 8 份大麦种质材料种子萌发期的耐盐性比较[J]. 草原与草业,2020,32(2):14-17.
- [7] 权有娟,袁飞敏,李 想,等. NaCl 胁迫对藜麦幼苗生长及生理特性的影响[J]. 广西植物,2021,41(5):823-830.
- [8] 陈嘉贝,张芙蓉,黄丹枫,等. 盐胁迫下两个甜瓜品种转录因子的转录组分析[J]. 植物生理学报,2014,50(2):150-158.
- [9] 赵丽娜,张芙蓉,莫 霏,等. 甜瓜盐碱逆境生理响应及相关基因研究进展[J]. 上海农业学报,2016,32(6):176-180.
- [10] 潘平新,倪 强,马 瑞,等. 不同盐分处理对黑果枸杞种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报,2021,29(2):342-348.
- [11] 包懿玮,刘博洋,李金艳,等. 苜蓿种子萌发和幼苗生长对盐碱胁迫的响应[J]. 吉林农业大学学报,2021,43(5):549-556.
- [12] 赵 玮,齐燕妮,张建平,等. 胡麻资源萌发期耐盐综合性评价[J]. 植物研究,2019,39(6):955-963.
- [13] Fang Z G, Hu Z Y, Zhao H H, et al. Screening for cadmium tolerance of 21 cultivars from Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam) during germination[J]. Grassland Science, 2017, 63(1): 36-45.
- [14] Jia W T, Miao F F, Lv S L, et al. Identification for the capability of Cd - tolerance, accumulation and translocation of 96 sorghum genotypes[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2017, 145:

391-397.

- [15] 熊 韬,闫 森,王豪杰,等. 盐碱胁迫对甜瓜种子萌发及幼苗生长发育的影响[J]. 新疆农业科学,2022,59(8):1965-1974.
- [16] 刘小锐,黄成东,祝红伟. 叶用莴苣叶面积测定方法的研究[J]. 中国蔬菜,2020(12):78-81.
- [17] 李小方,张志良. 植物生理学实验指导[M]. 5 版. 北京:高等教育出版社,2016.
- [18] 努尔凯麦尔·木拉提,杨亚杰,帕尔哈提·阿布都克日木,等. 小麦叶绿素含量测定方法比较[J]. 江苏农业科学,2021,49(9):156-159.
- [19] 斯琴巴特尔,吴红英. 盐胁迫对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 干旱区资源与环境,2000,14(4):77-81.
- [20] 马学才,孙丽霞,方 彦,等. NaCl 胁迫对白菜型冬油菜种子萌发的影响[J]. 甘肃农业科技,2020(11):30-36.
- [21] 杨宏伟,刘文瑜,沈宝云,等. NaCl 胁迫对藜麦种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 草业学报,2017,26(8):146-153.
- [22] 季 波,徐金鹏,时 龙,等. 10 种禾本科牧草种子萌发期耐盐性[J]. 新疆农业科学,2021,58(2):342-351.
- [23] 董 飞,王烽楠,朱 娇,等. NaCl 胁迫对 5 种菊科植物种子萌发的影响[J]. 山东农业科学,2021,53(11):45-50.
- [24] 鲁乃增,周礼彬,轩正英. NaCl 胁迫对甜瓜种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 河北农业科学,2011,15(11):17-20.
- [25] 周璐璐,伏兵哲,许冬梅,等. 盐胁迫对沙芦草萌发特性影响及耐盐性评价[J]. 草业科学,2015,32(8):1252-1259.
- [26] 张 潭,唐 达,李思思,等. 盐碱胁迫对枸杞幼苗生物量积累和光合作用的影响[J]. 西北植物学报,2017,37(12):2474-2482.
- [27] 向丽霞. 外源 γ -氨基酸调控甜瓜光合器官结构和性能缓解盐碱胁迫的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [28] 王玉萍,王映霞,白向利,等. 硅对 NaCl 胁迫下甜瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2015,24(5):108-116.
- [29] 王 堃,於丽华,赵慧杰,等. 不同时期 NaCl 胁迫对甜菜生长及光合作用的影响[J]. 作物杂志,2021(4):99-104.
- [30] 赵卫星,常高正,康利允,等. 甜瓜幼苗对 $\text{KNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$ 混合盐胁迫的生理响应[J]. 西南农业学报,2020,33(7):1423-1428.
- [31] 陈友根,章 敏,王冬良,等. 甜瓜幼苗对 NaCl 胁迫伤害的生理响应[J]. 安徽农业科学,2009,37(8):3390-3392.
- [32] 范 燕,闵丹丹,郭正刚,等. 多年生黑麦草种子萌发及苗期耐盐性的比较[J]. 草业科学,2017,34(4):724-734.
- [33] 库尼都孜阿依·吐尔汗,任 毅,颜 安,等. 新疆冬小麦品种萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质的筛选[J]. 新疆农业科学,2020,57(1):20-31.
- [34] 毛建才,熊 木,翟文强,等. 短期 NaCl 胁迫下 9 个甜瓜品种抗性生理指标的综合评价[J]. 新疆农业科学,2020,57(8):1421-1430.
- [35] 赵卫星,李晓慧,常高正,等. 不同品种甜瓜种子萌发对 NO_3^- 胁迫的响应及耐盐性评价[J]. 南方农业学报,2017,48(8):1441-1447.