

干旱与盐胁迫对玉米杂交种萌发及幼苗生长的影响*

塔伊尔·买买提江¹, 兰海燕^{1†}, 王长海²

(1. 新疆大学 生命科学与技术学院, 新疆生物资源基因工程重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046;

2. 九圣禾种业股份有限公司, 新疆 昌吉 831113)

摘要: 为探讨干旱和盐渍环境对玉米生长早期的影响, 采用PEG6000处理模拟干旱胁迫、NaCl处理模拟盐胁迫, 对种植于新疆、山西及东北地区的6种玉米杂交种进行种子萌发及幼苗生长实验. 结果表明: 随着PEG或NaCl浓度的升高, 萌发指标及幼苗生长指标均受到抑制. NaCl对玉米种子萌发及主根伸长的抑制作用比PEG的强, 低浓度的PEG促进玉米种子主根的生长. 以种子萌发指标及幼苗生长指标衡量, 6种玉米杂交种对胁迫的抗性由强到弱顺序为: 新玉110>新玉47>九玉J03>KWS2564>九圣禾2468>新玉80. 综上所述, 干旱、盐胁迫使玉米萌发和幼苗生长受到不同程度抑制, 但不同杂交种的敏感性不同.

关键词: 玉米; 杂交种; 干旱和盐胁迫; 种子萌发; 幼苗生长

DOI: 10.13568/j.cnki.651094.651316.2019.10.22.0002

中图分类号: S565.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7675(2021)01-0061-08

引文格式: 塔伊尔·买买提江, 兰海燕, 王长海. 干旱与盐胁迫对玉米杂交种萌发及幼苗生长的影响[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2021, 38(1): 61-68.

英文引文格式: Maimaitijiang Tayier, LAN H Y, WANG C H. Effects of drought and salt stress on seed germination and seedling growth of maize hybrids[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and English), 2021, 38(1): 61-68.

Effects of Drought and Salt Stress on Seed Germination and Seedling Growth of Maize Hybrids

Maimaitijiang Tayier¹, LAN Haiyan¹, WANG Changhai²

(1. Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetic Engineering, School of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830046, China;

2. Join Hope Seed Co., LTD., Changji Xinjiang 831113, China)

Abstract: The objective of the present study is to clarify the effect of drought and salt on the early growth of seed and seedling of maize hybrid, which may provide theoretical evidence for maize production. In the present study, the effects of salt (NaCl) and simulated drought (PEG6000) on seed germination and seedling growth of six maize hybrids were studied. The results showed that with the increasing of NaCl and PEG concentrations, the germination and seedling growth indices were reduced, and the inhibitory effect of NaCl on germination and main root length was stronger than that of PEG. The lower concentration of PEG promoted the growth of main roots of seedlings. According to seed germination and seedling growth indices, the order of stress tolerance of six maize hybrids were ranked from stronger to weaker as: XY110>XY47>JYJ03>KWS2564>JSH2468>XY80. In conclusion, drought or salt stress inhibited maize seed germination and seedling growth to some extent, however, different hybrids presented diverse sensitivities, our results will provide reference for maize production and development of stress-resistant varieties in the future.

Key words: Maize; hybrid seed; drought or salt stress; seed germination; seedling growth

0 引言

玉米 (*Zea mays*) 是我国第一大农作物^[1]. 近年来播种面积持续增加, 已达到 38×10^7 hm², 年均增长 67×10^5

* 收稿日期: 2019-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660068); 新疆维吾尔自治区重大科技专项(2018A01001); 新疆维吾尔自治区重点实验室开放课题(2016D03015).

作者简介: 塔伊尔·买买提江(1991-), 男, 硕士生, 从事植物抗逆分子生物学的研究, E-mail: 825449269@qq.com.

† 通讯作者: 兰海燕(1969-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事植物抗逆分子生物学的研究, E-mail: lanhaiyan@xju.edu.cn.

hm²[2]。干旱、盐渍导致作物生长缓慢、产量下降甚至绝收[3]。我国干旱、半干旱及盐渍地区的面积约占国土面积的57.5%[2,4]，而旱地玉米播种面积占种植面积的三分之二[4]。同时，由于近年来过量施肥造成土壤盐渍化现象加重，使玉米在生长发育过程中受到干旱、盐碱的胁迫，从而造成玉米减产。因此，研究干旱、盐胁迫对玉米萌发和幼苗生长的影响，将对干旱、半干旱地区的玉米生产具有一定的指导意义[5]。盐、旱胁迫显著影响玉米的发育及产量[6,7]。胡燕梅[6]、余贵海[8]、胡兴波[5]、穆延召[9]等研究表明，玉米种子在受到干旱、盐胁迫过程中萌发指数有显著降低趋势；盐胁迫下玉米根长及根缘细胞的活力显著下降[10]，并导致酶活性的改变[11,12]；干旱环境使玉米产量下降[1,13,14]。由于不同玉米品种(杂交种)对干旱、盐等的敏感性不同，因此，本文对种植于新疆、山西及东北不同区域的6个玉米杂交种进行了干旱(聚乙二醇，PEG6000模拟)、盐(NaCl)胁迫对种子萌发及幼苗生长影响的研究，为探讨不同玉米杂交种耐旱耐盐特性和玉米杂交种的生产提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试玉米杂交种为：新玉47、新玉80、新玉110、九玉J03、九圣禾2468、KWS2564，均由九圣禾种业股份有限公司提供。品种特性见表1。

表 1 供试玉米品种特征
Tab 1 Characteristics of tested maize hybrids

杂交种名称	杂交种简称	种子类别	籽粒形状	籽粒颜色	千粒重/g	生育期/天	适应地域
新玉47	XY47	杂交种	半马齿形	金黄色	335	125~127	新疆北疆
新玉80	XY80	杂交种	硬粒形	金黄色	278	88~90	新疆南疆
新玉110	XY110	杂交种	半马齿形	黄色	249	88~92	新疆南疆
九玉J03	JYJ03	杂交种	半马齿形	黄色	410	127~129	东北中熟区
九圣禾2468	JSH2468	杂交种	半马齿形	黄色	307	103~105	山西南部
KWS2564	KWS2564	杂交种	马齿形	黄色	325	126~128	新疆北疆

1.2 实验方法

PEG6000 模拟干旱胁迫处理：共设6个浓度，质量分数分别为0、50、100、150、200、250 g/L PEG 溶液和蒸馏水处理(对照)。NaCl胁迫处理：设0、100、200、300、400、500 mmol/L NaCl 6个浓度处理。每处理4个重复、每重复30粒种子，均匀播于铺有3层水饱和滤纸的13 cm培养皿中，置于16 h光照、8 h黑暗、25℃、相对湿度50%、光照强度100 μmol m⁻² s⁻¹的人工气候箱(RXZ-500D-LED, 浙江宁波江南仪器厂)中萌发。第2天初次计数，统计发芽势，第7天末次计数，统计发芽(出苗)率，并从各重复中随机选取10株幼苗进行芽(苗)长、主根长、不定根数、芽(苗)鲜重、发芽指数、根冠比、活力指数、发芽速度的测定。相关指标计算公式如下：

$$\text{根冠比} = \text{根鲜重} / \text{芽(苗)鲜重} \quad (1)$$

$$\text{发芽率} GP = n / N \times 100\% \quad (2)$$

其中： n 为第7天的发芽种子数； N 为供试种子总数。

$$\text{发芽指数} GI = \sum \frac{G_t}{D_t} \quad (3)$$

其中： G_t 为第 t 天的发芽种子数， D_t 为对应 G_t 的发芽天数(d)。

$$\text{活力指数} VI = GI \times SH \quad (4)$$

其中： SH 为苗高(cm)。

$$\text{发芽速度} GV = \sum \frac{G_i}{T_i} \quad (5)$$

其中： i 是发芽时间； G_i 是第 i 天的发芽率； T_i 是发芽天数(d)。

1.3 数据分析

采用Microsoft Excel 2019对数据进行统计，采用SPSS 22.0软件进行Duncan法单因素方差分析(One-way ANOVA)和多重比较，显著性水平设定为 $P=0.05$ 。采用Graphpad Prism Version 5.01进行软件作图。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对玉米杂交种萌发的影响

PEG胁迫下玉米杂交种种子萌发实验结果显示(图1),低、中浓度PEG对种子萌发的影响不大,各杂交种均能达到80%以上的萌发率;而高浓度PEG胁迫下,新玉47、新玉110和KWS2564与对照组无显著差异,呈现较好的耐旱性,九玉J03、九圣禾2468也能达到75%以上的萌发率,新玉80萌发率比其他品种稍低.萌发速率、发芽指数、活力指数的测定结果显示(图2、表2),随着PEG浓度的上升,萌发速率、发芽指数、活力指数等指标均显著降低.

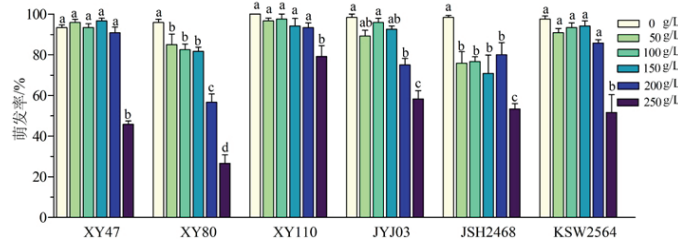


图 1 PEG胁迫对玉米杂交种萌发的影响

Fig 1 Effect of PEG on seed germination of maize hybrids

注:图中、表中不同小写字母表示方差分析结果差异显著($P < 0.05$).

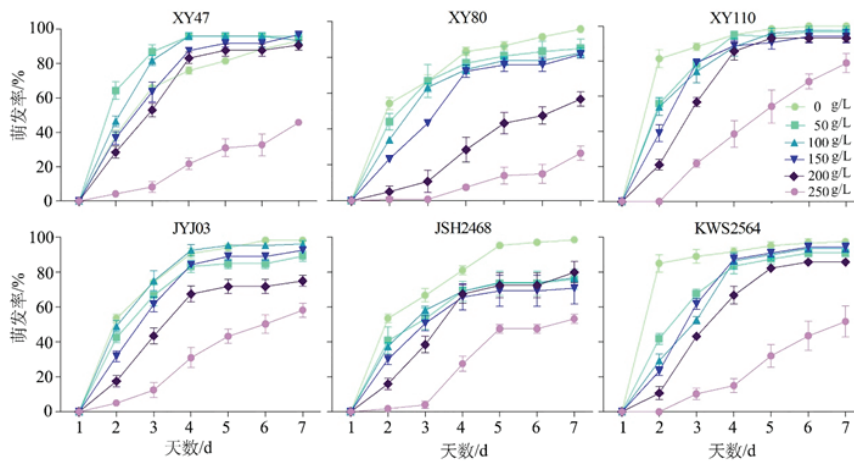


图 2 PEG胁迫对玉米杂交种萌发速率的影响

Fig 2 Effect of PEG on seed germination rate of maize hybrids

表 2 PEG胁迫对玉米杂交种萌发指标的影响

Tab 2 Effects of PEG on seed germination indices of maize hybrids

PEG浓度 (g/L)	杂交种	发芽指数	活力指数	杂交种	发芽指数	活力指数	杂交种	发芽指数	活力指数
0		31.33±0.59cd	480.40±5.23b		34.93±0.53a	591.05±6.87a		35.47±0.24a	415.78±6.28b
50		40.12±0.42a	814.59±4.32a		31.70±0.26ab	459.98±4.21b		27.96±0.63b	546.66±7.23a
100	XY47	36.89±0.28b	477.06±4.21b	XY80	29.11±0.23bc	290.52±6.87c	JSH2468	28.08±0.19b	563.20±1.23a
150		32.62±0.56c	285.11±2.39c		25.11±0.45c	190.60±2.89d		25.16±0.27b	270.77±6.27c
200		29.35±0.46d	211.32±1.89d		11.36±0.29d	55.67±2.17e		22.67±0.46b	194.31±5.36c
250		8.52±0.23e	34.86±4.65e		3.51±0.47e	8.32±3.25e		10.23±0.92c	34.61±2.45d
0		43.39±0.45a	844.44±3.98a		37.01±0.28a	485.20±4.21c		43.25±0.46a	621.12±2.56a
50		37.95±0.29b	518.90±4.16b		32.46±0.39b	693.41±3.29a		32.93±0.37b	569.43±4.36b
100	XY110	36.97±0.61b	354.17±4.98c	JYJ03	36.36±0.12a	572.09±4.23b	KWS2564	30.19±0.14b	361.99±1.25c
150		34.67±0.57b	371.69±6.87c		31.00±0.34b	392.17±3.27d		30.42±0.62b	283.24±6.35d
200		29.49±0.63c	185.82±7.16d		23.11±0.16c	182.86±6.16e		23.87±0.69c	120.10±2.45e
250		15.10±0.17d	40.62±5.89e		11.91±0.24d	49.07±4.21f		8.40±0.17d	21.51±1.63f

2.2 盐胁迫对玉米杂交种萌发的影响

不同玉米杂交种在NaCl胁迫下的萌发结果显示(图3),随着NaCl浓度的增加,对供试杂交种萌发的抑制作用也逐渐增强,发芽率明显下降,各品种呈现不同的趋势,总体显示新玉47、九玉J03、九圣禾2468比新玉80、新玉110和KWS2564的耐盐性强.各杂交种的发芽速率(图4)、发芽指数、活力指数(表3)也随NaCl浓度的上升逐渐下降,具有与萌发率相似的趋势.高盐浓度(500 mmol/LNaCl)胁迫下,新玉47、九玉J03、九圣禾2468具有较低萌发率,而新玉80、新玉110和KWS2564的萌发率为零.就萌发率、发芽速率、发芽指数、活力指数而言,从大到小的顺序为:九玉J03>新玉47>九圣禾2468.

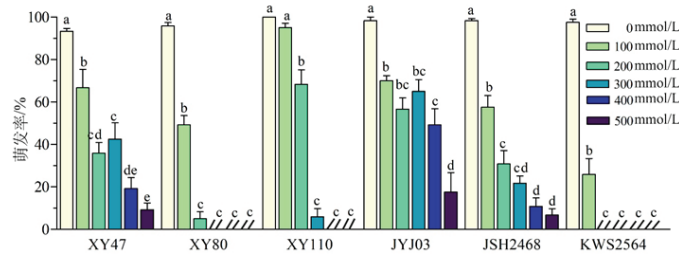


图3 NaCl胁迫对玉米杂交种萌发的影响

Fig 3 Effect of NaCl on seed germination of maize hybrids

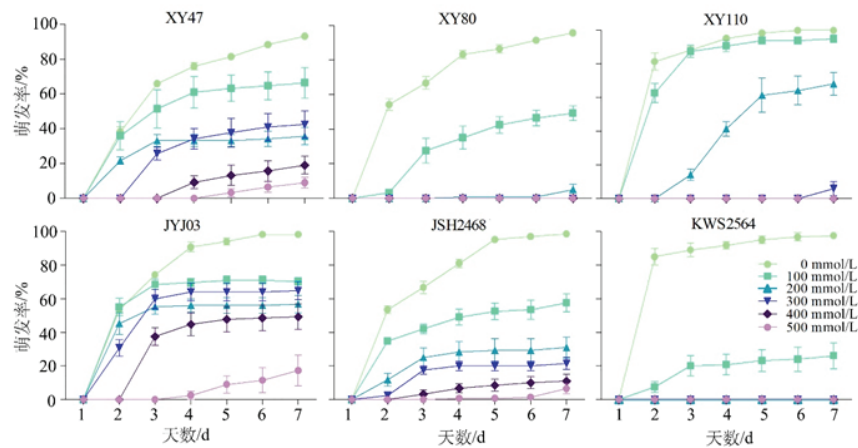


图4 NaCl胁迫对玉米杂交种萌发速率的影响

Fig 4 Effect of NaCl on seed germination rate of maize hybrids

表3 NaCl胁迫对玉米杂交种萌发指标的影响

Tab 3 Effects of NaCl on seed germination indices of maize hybrids

NaCl浓度 (mmol/L)	杂交种	发芽指数	活力指数	杂交种	发芽指数	活力指数	杂交种	发芽指数	活力指数
0		31.33±0.56a	470.37±7.89a		34.93±0.19a	308.45±5.63a		35.47±0.57a	415.78±5.27a
100		25.01±0.32b	163.82±6.24b		12.86±0.24b	67.15±2.35b		21.38±0.29b	184.98±1.26b
200	XY47	14.32±0.12c	34.24±3.28c	XY80	0.36±0.23c	0.17±0.15c	JSH2468	10.90±0.95c	58.99±1.36b
300		11.25±0.25c	15.87±6.14c		0.00±0.00c	0.00±0.00c		6.75±0.54d	21.74±5.23c
400		3.10±0.14d	1.58±0.18c		0.00±0.00c	0.00±0.00c		2.29±0.16e	3.03±1.23c
500		0.92±0.09d	0.21±0.02c		0.00±0.00c	0.00±0.00c		0.48±0.13e	0.12±0.08c
0			43.39±0.76a		402.26±6.45a			37.99±0.26a	940.33±6.89a
100	XY110	39.36±0.62b	179.90±2.16b	JYJ03	31.77±0.57b	228.11±2.34b	KWS2564	8.40±0.24b	62.09±5.23b
200		14.37±0.13c	23.43±5.32c		25.56±0.48c	119.39±2.15c		0.00±0.00c	0.00±0.00c
300		0.25±0.08d	0.14±0.12d		25.92±0.19c	65.84±4.23d		0.00±0.00c	0.00±0.00c
400		0.00±0.00d	0.00±0.00d		14.98±0.23d	18.57±4.26e		0.00±0.00c	0.00±0.00c
500		0.00±0.00d	0.00±0.00d		2.18±0.15e	1.29±0.08e		0.00±0.00c	0.00±0.00c

2.3 干旱、盐对玉米杂交种幼苗生长的影响

2.3.1 干旱胁迫对玉米杂交种幼苗生长的影响

由图5、表4可知, 随着PEG浓度的上升, 6种玉米品种的芽(苗)长、主根长、根冠比均受到抑制, 但不同品种的响应程度不同. 新玉110、新玉80芽(苗)长被显著抑制, 但九玉J03、九圣禾2468在50 g/LPEG胁迫下芽(苗)长比对照组显著伸长 ($P < 0.05$), KWS2564、新玉47无显著差异 ($P > 0.05$). 低浓度PEG胁迫下, 新玉47、九玉J03、九圣禾2468和KWS2564主根长与对照组有显著差异 ($P < 0.05$), 而新玉80、新玉110则无显著变化 ($P > 0.05$). 在高浓度PEG处理下, 所有品种的主根比显著升高 (KWS2564除外).

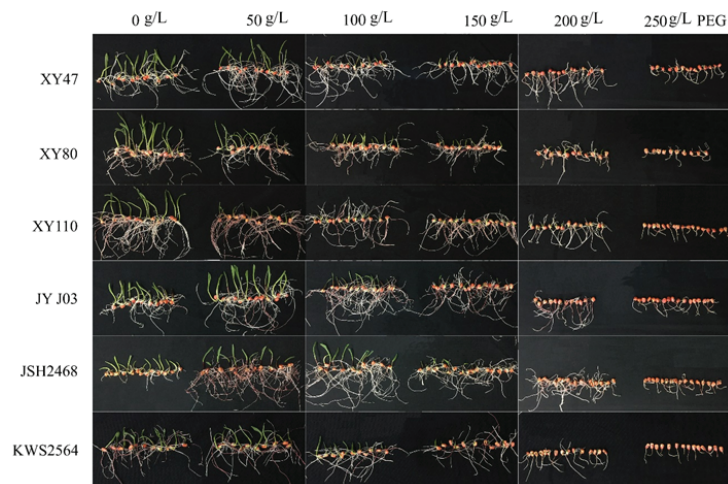


图 5 PEG胁迫对玉米杂交种萌发及幼苗生长的影响

Fig 5 Effect of PEG on seed germination and seedling growth of maize hybrids

表 4 PEG胁迫对玉米幼苗生长指标的影响

Tab 4 Effects of PEG on seedling growth indices in germination stage of maize hybrids

PEG浓度 (g/L)	杂交种	芽长(cm)	根长(cm)	根冠比	杂交种	芽长(cm)	根长(cm)	根冠比
0		6.51±0.14a	8.82±0.17bc	0.85±0.04d		8.30±0.37a	8.62±0.28a	0.55±0.06d
50		5.80±0.13a	14.50±0.11a	1.44±0.07cd		5.78±0.39b	8.73±0.32a	0.96±0.12cd
100	XY47	1.97±0.19b	10.96±0.09b	2.51±0.12cd	XY80	2.94±0.15c	7.04±0.12ab	1.43±0.23bc
150		0.92±0.06c	7.82±0.15c	3.45±0.17c		1.70±0.06d	5.89±0.14bc	2.39±0.14ab
200		0.30±0.03c	6.90±0.14c	11.86±1.64b		0.94±0.18de	3.96±0.24cd	2.73±0.12ab
250		0.22±0.01c	3.87±0.33d	6.39±0.19a		0.33±0.02e	2.04±0.13d	3.01±0.99a
0		7.40±0.38a	12.06±0.86a	1.16±0.13c		5.06±0.12b	8.05±0.14b	1.23±0.19b
50		3.18±0.13b	10.49±0.47ab	2.13±0.12bc		7.36±0.21a	14.00±0.16a	0.99±0.02b
100	XY110	1.62±0.14c	7.96±0.39bc	2.44±0.41bc	JYJ03	3.27±0.18c	12.46±0.71a	2.81±0.11ab
150		1.46±0.12c	9.26±0.16b	4.46±0.13a		1.59±0.02d	11.06±0.14a	4.84±0.05a
200		0.74±0.03d	5.56±0.23bc	4.27±0.39ab		0.37±0.07e	7.54±0.62b	5.03±0.71a
250		0.05±0.01e	2.64±0.11c	2.85±0.56bc		0.11±0.02e	4.01±0.28c	2.06±0.06b
0		4.32±0.09b	3.71±0.15c	0.67±0.05d		4.63±0.32a	9.73±0.53b	1.25±0.08ab
50		5.84±0.19a	13.71±1.21a	1.64±0.12bc		5.29±0.12a	12.09±0.96a	1.26±0.12ab
100	JSH2468	5.05±0.16b	15.00±0.83a	2.03±0.11bc	KWS2564	2.88±0.19b	9.11±0.61b	1.75±0.09ab
150		1.74±0.09c	9.02±0.61b	3.01±0.13b		1.07±0.15c	8.24±0.16b	4.49±0.61a
200		0.65±0.04d	7.92±0.58b	6.16±0.99a		0.39±0.06cd	4.64±0.44c	2.18±0.26b
250		0.16±0.01d	3.22±0.12c	1.49±0.18bc		0.06±0.01d	2.50±0.13d	0.74±0.27c

2.3.2 盐胁迫对玉米杂交种幼苗生长的影响

NaCl胁迫对玉米杂交种的芽(苗)长、根长、根冠比等生长指标影响呈显著水平. 表5显示, 随着NaCl浓度的升高, 各项指标均受到抑制. 新玉80、新玉110和KWS2564在高于300 mmol/LNaCl浓度胁迫下, 种子不能萌动(图6), 而在200 mmol/LNaCl浓度时其各项生长指标已降为零(表5), 显示出较强的盐敏感性. 新玉47、九玉J03、九圣禾2568在高浓度NaCl胁迫下具有一定的芽长、根长, 表现一定的耐盐性. 耐盐性从强到弱依次为: 九玉J03>九圣禾2468>新玉47.

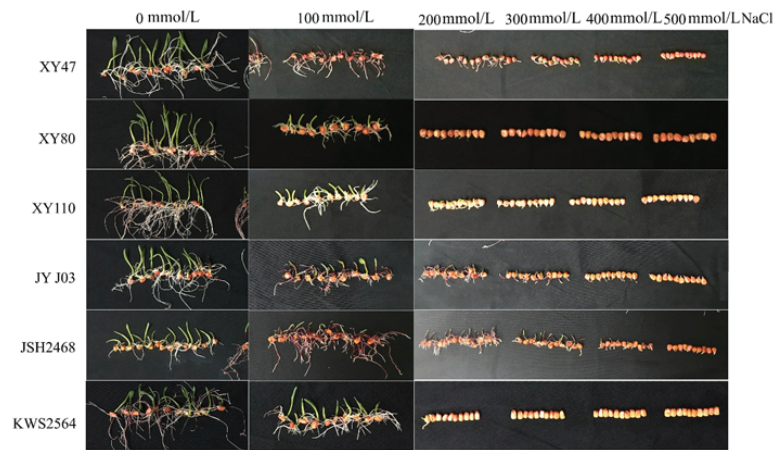


图 6 NaCl胁迫对玉米杂交种萌发及幼苗生长的影响

Fig 6 Effect of NaCl on seed germination and seedling growth of maize hybrids

表 5 NaCl胁迫对玉米幼苗生长指标的影响

Tab 5 Effects of NaCl on seedling growth indices in germination stage of maize hybrids

NaCl浓度(mmol/L)	杂交种	芽长(cm)	根长(cm)	根冠比	杂交种	芽长(cm)	根长(cm)	根冠比
0		5.20±0.29a	9.81±0.71a	1.53±0.08ab		4.14±0.16a	4.69±0.19a	0.42±0.08c
100		1.97±0.02b	4.58±0.33b	3.30±0.05a		1.87±0.07b	3.35±0.18b	1.64±0.13b
200	XY47	0.53±0.03c	1.86±0.03c	2.67±0.06a	XY80	0.21±0.08c	0.26±0.06c	3.01±0.88a
300		0.40±0.04c	1.01±0.07c	3.19±0.02a		0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c
400		0.13±0.03c	0.38±0.05c	0.56±0.08b		0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c
500		0.00±0.00c	0.23±0.02c	0.00±0.00b		0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c
0		4.05±0.16a	5.22±0.17a	0.82±0.11ab		6.19±0.12a	18.56±0.89a	1.75±0.07a
100	1.87±0.14b	2.70±0.08b	1.83±0.08a	3.00±0.13b	4.18±0.04b	1.27±0.02a		
200	XY110	0.74±0.19c	0.89±0.02c	0.80±0.05ab	JYJ03	1.32±0.09c	3.35±0.03b	2.60±0.17a
300		0.24±0.07c	0.33±0.06c	0.95±0.12ab		0.83±0.08cd	1.71±0.01c	1.55±0.09a
400		0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c		0.43±0.03de	0.81±0.09c	1.14±0.02a
500		0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00c		0.15±0.04e	0.44±0.04c	1.81±0.03a
0		4.99±0.23a	6.73±0.19a	1.48±0.03b		4.86±0.23a	5.54±0.14a	1.46±0.16a
100	2.74±0.22b	5.91±0.16a	3.14±0.17a	3.66±0.12b	3.73±0.44b	0.99±0.11a		
200	JSH2468	2.17±0.09c	3.24±0.23b	1.37±0.07b	KWS2564	0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00b
300		1.90±0.03c	1.32±0.07c	0.51±0.08c		0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00b
400		0.61±0.04d	0.71±0.05c	0.54±0.09c		0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00b
500		0.05±0.01e	0.20±0.02c	0.09±0.01c		0.00±0.00c	0.00±0.00c	0.00±0.00b

3 讨论

我国要以占世界9%的耕地养活占世界22%的人口,粮食供给成为国民经济发展与社会稳定的根本保障.玉米作为我国第一大作物,耕种面积及产量的需求日益增加^[15].干旱、半干旱地区土壤水分蒸发量大、降雨量少的特征导致盐旱双重胁迫,严重影响农作物的生长^[16].本研究对6种玉米杂交种在盐、旱胁迫下的萌发及幼苗生长特性进行了研究,结果显示,盐、旱胁迫均显著抑制玉米种子萌发及幼苗生长;NaCl的抑制效应显著强于PEG的作用,可能NaCl和PEG对植物生长的抑制作用机制不同^[16-18].等渗透压的NaCl和PEG对玉米萌发率的影响没有显著差异,但NaCl对根的生长抑制作用显著高于PEG,可能是NaCl对根缘细胞的毒害作用所致^[19].

种子萌发期和幼苗期是植物生长周期中的两个重要阶段,容易受到非生物胁迫的影响^[19].本研究中6个玉米杂交种的各项萌发指标随着NaCl浓度的增加均受到抑制,这与其他玉米杂交种的胁迫结果一致^[20].其中新玉47、九玉J03及九圣禾2468表现出较强的耐盐性.玉米对干旱的敏感性比较强,干旱条件下玉米生长迟缓,并且产量下降^[5,13].本研究测试的玉米杂交种在高浓度NaCl(400 mmol/L)胁迫下,仍保持高于60%的萌发率(图1),表现出较好的耐旱性.本实验中,NaCl胁迫降低了玉米幼苗的根冠比及不定根的数量,高浓度的PEG显著抑制了幼苗生长.由此显示玉米对水分的敏感性^[21],通常种子萌发和幼苗生长指标能够显示品种早期适应环境的特

性^[22]. 本研究对6种不同区域分布的玉米杂交种萌发期及幼苗期耐受胁迫的比较研究, 将为今后玉米生产及抗逆育种提供理论依据.

4 结论

本实验对旱、盐胁迫下6种不同区域分布的玉米杂交种的萌发及幼苗生长结果的分析表明, 不同杂交种表现出生长早期不同的耐旱、耐盐特性. 以种子萌发指标及幼苗生长指标衡量, 6种玉米杂交种对胁迫的耐受性由强到弱的顺序为: 新玉110>新玉47>九玉J03>KWS2564>九圣禾2468>新玉80.

参考文献:

- [1] 陈印军, 王琦琪, 向雁. 我国玉米生产地位、优势与自给率分析[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(1): 7-16.
CHEN Y J, WANG Q Q, XIANG Y. Analysis on the status, superiority and self-sufficiency ratio of maize in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(1): 7-16. (in Chinese)
- [2] 王琦琪, 陈印军. 我国玉米种植的优势分析[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(3): 1-9.
WANG Q Q, CHEN Y J. Advantages analysis of corn planting in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018, 20(3): 1-9. (in Chinese)
- [3] 黄晓俊, 于飞, 敖芹. 干旱对玉米生长及产量影响的试验研究[J]. 贵州气象, 2012, 36(6): 25-28.
HUANG X J, YU F, AO Q. Experimental study on the effect of drought on the growth and yield of Maize[J]. Journal of Guizhou Meteorology, 2012, 36(6): 25-28. (in Chinese)
- [4] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845.
YANG J S. Development and prospect of the research on salt-affected soils in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 837-845. (in Chinese)
- [5] 胡兴波, 曹敏建, 王学智, 等. 不同玉米品种萌芽期及苗期抗旱性初步研究[J]. 玉米科学, 2004, 12(3): 66-67+70.
HU X B, CAO M J, WANG X Z, et al. Studies on drought resistance of the different hybrid in seedling emergence stage and in seedling stage[J]. Journal of Maize Science, 2004, 12(3): 66-67+70. (in Chinese)
- [6] 胡燕梅, 郭云贵, 姚艳, 等. 盐胁迫对玉米种子萌发及其幼苗生长的影响[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2017, 45(2): 137-143.
HU Y M, GUO Y G, YAO Y, et al. Effects of salt Stress on seed germination and seedling growth of maize[J]. Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), 2017, 45(2): 137-143. (in Chinese)
- [7] 杨少辉, 季静, 王罡, 等. 盐胁迫对植物影响的研究进展[J]. 分子植物育种, 2006, 4(S1): 139-142.
YANG S H, JI J, WANG G, et al. Effects of salt stress on plants[J]. Molecular Plant Breeding, 2006, 4(S1): 139-142. (in Chinese)
- [8] 余贵海, 起雪宏, 王正启, 等. 14个玉米杂交种萌发期抗旱性评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(7): 1499-1505.
YU G H, QI X H, WANG Z Q, et al. Evaluation of drought resistance for 14 corn hybrids at seed germination stage[J]. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2016, 29(7): 1499-1505. (in Chinese)
- [9] 穆延召, 彭云玲, 李玥, 等. NaCl胁迫对玉米杂交种子萌发的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(6): 40-44.
MU Y Z, PENG Y L, LI Y, et al. Effect of NaCl stress on seed germination of two maize hybrids[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2013, 48(6): 40-44. (in Chinese)
- [10] 陈波, 张燕, 曹墨菊, 等. 玉米种子萌发期根缘细胞对NaCl胁迫响应[J]. 华北农学报, 2014, 29(5): 139-143.
CHEN B, ZHANG Y, CAO M J, et al. The response of maize root border cells to NaCl stress in the germination stage[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2014, 29(5): 139-143. (in Chinese)
- [11] 姚海梅, 李永生, 张同祯, 等. 旱盐复合胁迫对玉米种子萌发和生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2301-2307.
YAO H M, LI Y S, ZHANG T Z, et al. Effects of combined drought and salinity stress on germination and physiological characteristics of maize (*zea mays*) [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, 27(7): 2301-2307. (in Chinese)
- [12] 丁燕, 呼凤兰, 畅博奇. NaCl胁迫对玉米种子萌发特性及 α -淀粉酶活性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2019(4): 11-14.
DING Y, HU F L, CHANG B Q. Effects of NaCl stress on seeds germination characteristic and α -amylase activity of maize seed[J]. Heilongjiang Agricultural Science, 2019(4): 11-14. (in Chinese)
- [13] 王鹏文, 戴俊英, 魏云鹏. 干旱胁迫对玉米产量和品质的影响研究[J]. 玉米科学, 1999(S1): 102-106.
WANG P W, DAI J Y, WEI Y P. The effects of drought stress on yield and quality of maize[J]. Journal of Maize Science, 1999(S1): 102-106. (in Chinese)
- [14] 陈坤, 杨耀迥, 苏琪, 等. 不同干旱胁迫对玉米产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2016(6): 70-71+162.

- CHEN K, YANG Y J, SU Q, et al. Influence of different drought stress on yield of maize[J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2016(6): 70-71+162. (in Chinese)
- [15] 唐华俊. 新形势下中国粮食自给战略[J]. 农业经济问题, 2014, 35(2): 4-10+110.
TANG H J. China's grain self-sufficiency strategy in new situation[J]. Issues in Agricultural Economy, 2014, 35(2): 4-10+110. (in Chinese)
- [16] 解卫海, 马淑杰, 祁琳, 等. Na⁺吸收对干旱导致的棉花叶片光合系统损伤的缓解作用[J]. 生态学报, 2015, 35(19): 6549-6556.
JIE W H, MA S J, QI L, et al. The mitigating effects of Na⁺ accumulation on the drought-induced damage to photosynthetic apparatus in cotton seedling[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(19): 6549-6556. (in Chinese)
- [17] ZHANG C F, HU J, LOU J, et al. Sand priming in relation to physiological changes in seed germination and seedling growth of waxy maize under high-salt stress[J]. Seed Science and Technology, 2007, 35(3): 733-738.
- [18] HAMAMA H, MURNIATI E. The effect of ascorbic acid treatment on viability and vigor maize (*Zea mays* L.) seedling under drought stress[J]. Hayati Journal of Biosciences, 2010, 17(3): 105-109.
- [19] 付长方, 张海艳. 盐胁迫对玉米种子萌发、幼苗叶绿素含量和渗透势的影响[J]. 山东农业科学, 2015, 47(5): 27-30.
FU C F, ZHANG H Y. Effects of salt stress on seed germination and seedling chlorophyll content and osmotic potential of maize[J]. Shandong Agricultural Science, 2015, 47(5): 27-30. (in Chinese)
- [20] YAO X Q, CHU J Z, WANG G Y. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress[J]. Biological Trace Element Research, 2009, 130(3): 283-290.
- [21] OUYANG X R, GUAN C Y, HILHORST H W M. Sensitivity of maize seed germination and seedling growth to water environment[J]. Journal of Hunan Agricultural University, 2001, 27(1): 7-12.
- [22] 徐文强, 杨祁峰, 牛俊义, 等. 温度与土壤水分对玉米种子萌发及幼苗生长特性的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(1): 69-74.
XU W Q, YANG Q F, NIU J Y, et al. Effects of temperatures and soil moisture content on seed germination and seedling growth characteristics of maize[J]. Journal of Maize Science, 2013, 21(1): 69-74. (in Chinese)

责任编辑: 赵新科

(上接第 60 页)

- [10] 梅琪, 哈力旦·A, 帕力旦·吐尔逊. 二维图像的基本处理与边缘检测[J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2008, 25(2): 235-240.
MEI Q, HALIDAN A, PALIDAN T. Basic processing and edge detection of 2D images [J]. Journal of Xinjiang University (Natural Science Edition), 2008, 25(2): 235-240. (In Chinese)
- [11] NIKOLIC M, TUBA E, TUBA M. Edge detection in medical ultrasound images using adjusted Canny edge detection algorithm[C]//2016 24th Telecommunications Forum (TELFOR). IEEE, 2016: 1-4.
- [12] QIAO B, JIN L, YANG Y. An adaptive algorithm for grey image edge detection based on grey correlation analysis[C]//2016 12th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS). IEEE, 2016: 470-474.
- [13] 郭萌, 胡辽林, 赵江涛. 基于Kirsch和Canny算子的陶瓷碗表面缺陷检测方法[J]. 光学学报, 2016, 36(9): 27-33.
GUO M, HU L L, ZHAO J T. Detection method of ceramic bowl surface defects based on Kirsch and Canny operators[J]. Acta Optics, 2016, 36(9): 27-33. (In Chinese)
- [14] JAIN A, NAMDEV A, CHAWLA M. Parallel edge detection by SOBEL algorithm using CUDA-C[C]//2016 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS). IEEE, 2016: 1-6.
- [15] YAM-UICAB R, LOPEZ-MARTINEZ J L, TREJO-SÁNCHEZ J A, et al. A fast Hough Transform algorithm for straight lines detection in an image using GPU parallel computing with CUDA-C[J]. The Journal of Supercomputing, 2017, 73(11): 4823-4842.
- [16] 张哈, 钱育蓉, 侯海耀. CUDA下地质图像边缘检测算法并行优化[J]. 计算机工程与设计, 2019, 40(3): 98-105.
ZHANG H, QIAN Y R, HOU H Y. Parallel optimization of geological image edge detection algorithm under CUDA[J]. Computer Engineering and Design, 2019, 40(3): 98-105. (In Chinese)
- [17] 唐斌, 龙文. 基于GPU+CPU的CANNY算子快速实现[J]. 液晶与显示, 2016, 31(7): 714-720.
TANG B, LONG W. Fast implementation of CANNY operator based on GPU+CPU [J]. LCD and Display, 2016, 31(7): 714-720. (In Chinese)
- [18] 马歌, 肖汉. 基于OpenCL的Prewitt算法的并行实现[J]. 现代电子技术, 2014(20): 103-106.
MA G, XIAO H. Parallel implementation of prewitt algorithm based on OpenCL [J]. Modern Electronic Technology, 2014(20): 103-106. (In Chinese)

责任编辑: 闫新云