



王建丽,牟林林,尤佳,等. NaCl 胁迫对中间偃麦草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2022(11):62-67.

NaCl 胁迫对中间偃麦草种子萌发和幼苗生长的影响

王建丽¹,牟林林¹,尤佳¹,张冬梅¹,庄煦¹,宋雨桐²,邸桂俐¹

(1. 黑龙江省农业科学院 草业研究所,黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 哈尔滨师范大学 生命科学与技术学院,黑龙江 哈尔滨 150025)

摘要:为确定不同中间偃麦草种质对 NaCl 的耐受值,以 5 份中间偃麦草材料为研究对象,利用不同浓度 NaCl 溶液(25,50,100,200,300 和 400 mmol·L⁻¹)模拟盐胁迫,测定种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数,相对盐害率,以及幼苗胚根长和胚芽长,并建立相对发芽率与盐胁迫浓度的回归方程。结果表明,随盐胁迫浓度增加,中间偃麦草种子萌发指标呈下降趋势,相对盐害率呈上升趋势,幼苗胚根、胚芽长也呈下降趋势,且盐胁迫对胚根抑制作用大于胚芽。具体表现为低浓度 NaCl(25 mmol·L⁻¹)胁迫对 5 份种质的发芽率,发芽指数、活力指数和胚芽长无显著影响,随盐胁迫浓度增加,种子萌发抑制程度加剧。当中度 NaCl(200 mmol·L⁻¹)胁迫时,除中偃 25 号外,其他 4 份材料的发芽率在 75%以上,中偃 25 号种子发芽势为 0。高浓度 NaCl(300 mmol·L⁻¹)胁迫下,5 份材料的发芽率、发芽指数大幅度降低,相对盐害率大幅提高,其中中偃 3 号相对盐害率最高,为 82.12%,中偃 24 号相对盐害率最低,为 66.58%。当盐浓度达到 400 mmol·L⁻¹,所有材料均不萌发,相对盐害率达 100%。根据建立的最优一元二次回归方程可知,在种子萌发阶段,种子耐盐性从大到小依次为中偃 13 号>中偃 24 号>中偃 25 号>中偃 3 号>中偃 1 号。

关键词:中间偃麦草;NaCl 胁迫;种子萌发;幼苗生长;耐盐性

近年来,随着我国耕地面积的逐渐减少以及畜牧业的快速发展,饲料的需求量占比逐年增高,粮食安全压力也逐年增大,发展饲草产业是缓解粮食安全压力的有效措施^[1]。松嫩平原是我国苏打盐碱地分布的主要区域,而非重度盐碱地区完全具备可耕作性,在其上种植耐盐碱饲草,不仅符合经济上“不与粮棉争地”的发展原则,也可以改良盐碱地,缓解东北地区的粮食供给压力^[2-4]。因而选育优质耐盐饲草种质资源具有重要的现实意义。中间偃麦草是小麦的多年生野生近缘种,具有生物量大、蛋白含量高、抗寒、抗旱和耐盐碱等优良性状,已广泛应用于许多畜牧业发达国家和地区^[5-6]。此外中间偃麦草是根茎疏丛型草本植物,具有横向根状茎,可有效改善土壤质量以及地表和地下水水质,具有很强的生态系统修复能力^[7]。当前针对中间偃麦草耐盐性研究较少,仅见沙吾列·沙比汗等^[8]研究了中间偃麦草和偃麦草苗期耐盐性评价试验,而关于盐胁迫对中间偃麦草种子萌发的影响尚鲜见报道。因此本试验以 5 种中间偃麦草为试验材料,研究不同浓度 NaCl

溶液处理对中间偃麦草种子萌发和幼苗生长的影响,并探究中间偃麦草种子萌发的适宜浓度值、临界浓度值和极限浓度值,明确种子萌发阶段对 NaCl 胁迫的耐受程度,以期对苏打盐碱地的治理与改良以及耐盐品种选育提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

5 种中间偃麦草品系及来源信息详见表 1。

表 1 中间偃麦草材料来源

品系	来源
中偃 1 号	甘肃农业大学
中偃 3 号	哈尔滨师范大学
中偃 13 号	黑龙江省农业科学院草业研究所
中偃 24 号	黑龙江省农业科学院草业研究所
中偃 25 号	北京畜牧兽医研究所

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验采用 NaCl 溶液模拟盐胁迫,共设置 5 个梯度,分别为 0,25,50,100,200,300 和 400 mmol·L⁻¹,对照(CK)则采用蒸馏水。试验选用取饱满无损伤、大小一致的种子,用 75%酒精清洗 1 min,蒸馏水冲洗 3~4 次,随后用 10%NaClO 消毒 5 min,蒸馏水冲洗 5~6 次,最后用无菌滤纸吸干水分后置于铺有双层滤纸的 90 mm 培养皿中。处理组中加入 5 mL 不同浓度的 NaCl 溶液,CK 组则加入 5 mL 蒸馏水。采取

收稿日期:2022-08-26

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费(CZKYF2022-1-B012)。

第一作者:王建丽(1977—),女,博士,副研究员,从事牧草分子设计与遗传育种。E-mail:wangjianlivip@126.com。

随机区组设计,每培养皿放 30 粒种子,每个处理 3 次重复,置于温度为 25 ℃/16 ℃、12 h 光照/12 h 黑暗的变温光照培养箱中进行试验。每日称重,以补充蒸发所散失的水分,从而维持盐浓度恒定。

1.2.2 测定项目及方法 本试验共进行 15 d,种子露白即视为萌发。从第 3 天开始每天定时记录各个培养皿中萌发种子数,用第 3 天发芽率计算发芽势,共持续 15 d(发芽率连续 3 d 不变为止)。第 15 天测量胚根长、胚芽长,每个重复测定 5 粒种子,最终结果取平均值。

通过建立中间偃麦草相对发芽率与盐胁迫浓度的回归方程,对中间偃麦草种子萌发阶段进行耐盐性评价,以相对发芽率下降至 75%、50%、25%时所对应的 NaCl 溶液浓度作为 5 份种质的耐盐适宜浓度、耐盐半致死浓度及耐盐极限浓度。

发芽率(%)=(发芽种子总数/供试种子总数)×100

发芽势(%)=(第 3 天发芽种子数/供试种子总数)×100

发芽指数=∑GT/DT

式中,GT 为第 T 天的种子发芽率,DT 指相应的发芽天数。

活力指数=GI×S

式中,S 为平均全株长。

相对盐害率(%)=(CK 发芽率—处理发芽率)/CK 发芽率×100

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2010 统计数据、计算并制图,采用 SPSS 22.0 软件进行发芽率、发芽势、胚芽、胚根长等指标数据的方差分析,并将 5 份种质的相对发芽率与盐浓度进行最优曲线估计与曲线回归分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对中间偃麦草种子萌发的影响

2.1.1 盐胁迫对种子发芽率的影响 由表 2 可知,5 份种质材料的种子发芽率随盐浓度的升高呈下降趋势,当盐浓度为 25 mmol·L⁻¹时,5 份种质的发芽率略低于 CK 但差异不显著,说明 25 mmol·L⁻¹盐分胁迫对种子萌发无显著影响。当盐浓度为 50 mmol·L⁻¹时,除中偃 25 号外,其他 4 份种质发芽率与 CK 相比显著下降,但发芽率仍在 90%以上,其中中偃 13 号和中偃 1 号发芽率较高,分别为 93.12%和 92.11%。当盐浓度为 200 mmol·L⁻¹时,除中偃 25 号外,其他 4 份材料的发芽率在 75%以上,中偃 13 号发芽率更高,达 79.34%。当盐浓度为 300 mmol·L⁻¹时,5 份种质的发芽率均大幅度下降,其中中偃 24 号和中偃 13 号发芽率为 33.42%和 27.50%,中偃 1 号和中偃 3 号发芽率不足 20%,分别为 18.76%和 17.51%。当盐浓度为 400 mmol·L⁻¹时,5 份种质的种子均未萌发。

表 2 盐胁迫对中间偃麦草种子发芽率和发芽势的影响

指标	NaCl 浓度/ (mmol·L ⁻¹)	中偃 1 号	中偃 3 号	中偃 13 号	中偃 24 号	中偃 25 号
发芽率/%	0(CK)	98.33±1.32 a	97.92±1.14 a	100.00 a	100.00 a	96.67±0.91 a
	25	96.24±3.11 ab	95.41±2.82 ab	98.20±1.12 ab	97.45±0.95 ab	95.00±1.43 a
	50	92.11±3.45 b	91.83±3.10 b	93.12±1.71 bc	91.32±2.43 bc	91.67±3.76 ab
	100	82.50±2.72 c	80.24±4.14 c	87.69±2.41 c	84.23±4.31 c	86.67±2.83 b
	200	76.34±0.00 d	75.33±1.25 d	79.34±1.59 d	78.67±1.47 d	63.33±0.00 c
	300	18.76±0.00 e	17.51±0.00 e	27.50±0.00 e	33.42±0.10 e	21.67±0.00 d
	400	0 f	0 f	0 f	0 f	0 e
发芽势/%	0(CK)	68.44±2.53 a	61.32±3.23 a	71.30±2.60 a	75.10±3.21 a	63.33±3.38 a
	25	64.68±3.10 a	58.43±2.65 ab	62.22±3.73 b	68.43±2.80 b	53.33±2.54 b
	50	54.74±2.48 b	51.35±3.41 b	51.87±1.96 c	55.35±3.34 c	51.67±3.12 b
	100	35.81±2.81 c	27.38±3.10 c	45.50±3.52 c	47.38±1.97 d	31.67±3.01 c
	200	10.26±1.22 d	15.22±2.34 d	35.10±2.74 d	36.22±2.44 e	0 d
	300	0 e	3.820±0.83 e	12.24±1.10 e	10.82±1.23 f	0 d
	400	0 e	0 f	0 f	0 g	0 d

注:不同小写字母表示同一品种不同浓度间差异显著(P<0.05)。下同。

2.1.2 盐胁迫对种子发芽势的影响 随盐浓度增加,5 份种质的种子发芽势均低于 CK 且随盐浓度的升高呈下降趋势,其中中偃 13 号、中偃 24 号、中偃 25 号的发芽势在 $25\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的盐胁迫下显著降低,中偃 1 号和中偃 3 号在浓度为 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,发芽势显著降低。当盐浓度为 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份材料的发芽势均小于 50%,其中中偃 13 号和中偃 24 号发芽势较高,分别为 45.50% 和 47.38%。当盐浓度达 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,中偃 25 号发芽势为 0,中偃 13 号和中偃 24 号发芽势高于 35%。盐浓度为 $300\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,中偃 13 号和中偃 24 号发芽势高于 10%,而中偃 1 号发芽势为 0。当盐浓度为 $400\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,所有种质发芽势均为 0(表 2)。

2.1.3 盐胁迫对种子发芽指数的影响 由图 1

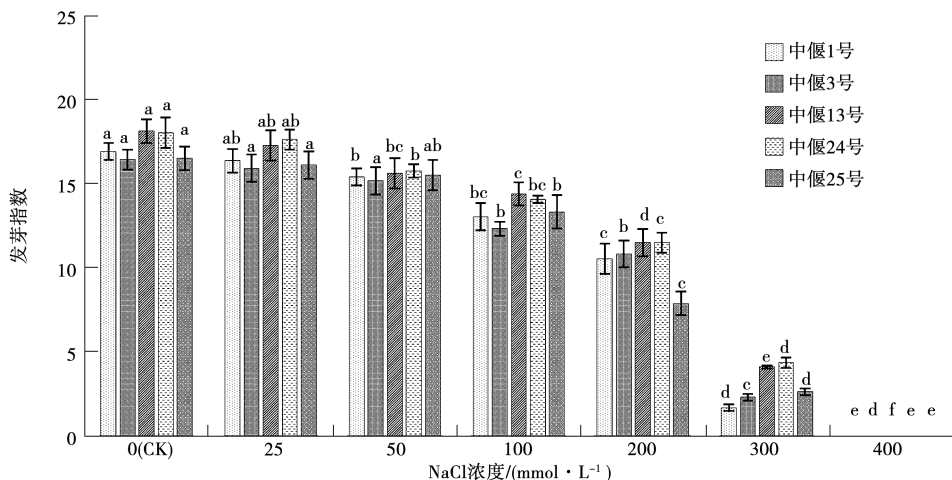


图 1 盐胁迫对中间偃麦草种子发芽指数的影响

注:不同小写字母表示同一品种不同浓度间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.1.4 盐胁迫对种子活力指数的影响 如图 2 可知,5 份种质材料的种子活力指数随盐浓度的升高呈下降趋势,且任一盐浓度下中偃 13 号和中偃 24 号种子活力指数均高于其他 3 份种质。当盐浓度为 $25\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份种质的活力指数与 CK 相比差异不显著,当盐浓度为 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份材料的活力指数显著低于 CK。当盐浓度为 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,中偃 13 号和中偃 24 号种子活力指数与 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组差异不显著,活力指数均为 3.10。当盐浓度为 $300\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,中偃 25 号种子活力指数降至 0,当盐浓度为 $400\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份种质的种子活力指数均为 0。

2.1.5 盐胁迫对种子相对盐害率的影响 由图 3

可知,5 份种质材料的种子发芽指数随盐浓度的升高呈下降趋势,且任一盐浓度下中偃 13 号和中偃 24 号发芽指数均高于其他 3 个种质。当盐浓度为 $25\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份种质的发芽指数略低于 CK 但差异不显著,当盐浓度为 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,中偃 1 号、中偃 13 号和中偃 24 号发芽指数显著低于 CK,发芽指数分别为 15.40,15.60 和 15.74,中偃 3 号和中偃 25 号发芽指数与 CK 差异不显著。当盐浓度为 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份种质发芽指数均显著低于 CK。当盐浓度为 $300\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份种质的发芽指数均大幅度下降,中偃 1 号、中偃 3 号、中偃 13 号、中偃 24 号和中偃 25 号发芽指数与 CK 相比分别降低了 90.02%、85.90%、77.34%、75.83% 和 84.04%。当盐浓度为 $400\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份种质的发芽指数均为 0。

可知,增加 NaCl 溶液浓度,5 份种质种子的相对盐害率均呈上升趋势,当盐浓度为 $400\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,所有种子相对盐害率均达到 100.00%。当盐浓度为 $25\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份种质种子的相对盐害率显著高于 CK,其中中偃 25 号相对盐害率最低,仅为 1.73%。当盐浓度为 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份种质种子的相对盐害率与 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理时有所增加,但差异不显著。当盐浓度为 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,除中偃 24 号外,其他 4 份种质相对盐害率较 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著增加,其中中偃 25 号增幅最高,为 233.36%。当盐浓度为 $300\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,5 份种质种子的相对盐害率由高到低依次为中偃 3 号(82.12%)、中偃 1 号(80.92%)、中偃 25 号(77.59%)、中偃 13 号(72.50%)和中偃 24 号(66.58%)。

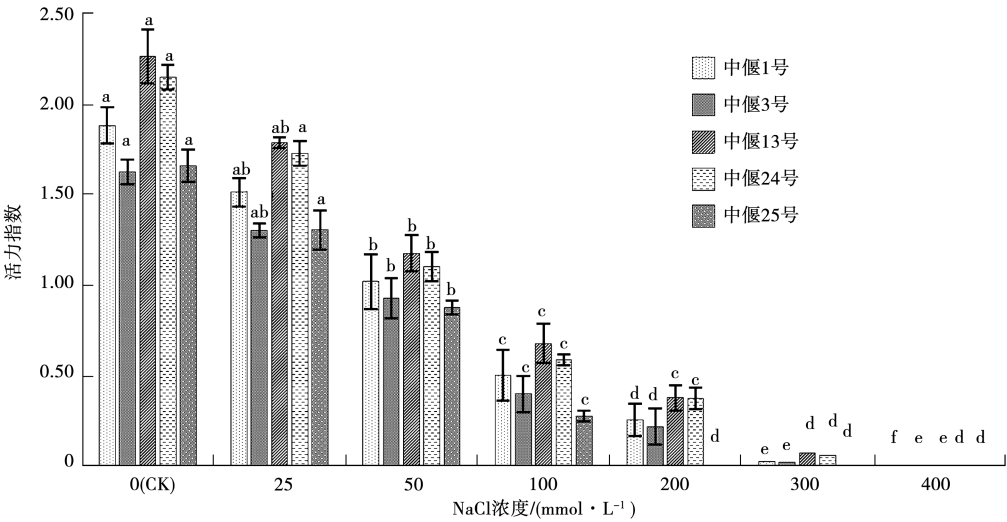


图2 盐胁迫对中间偃麦草种子活力指数的影响

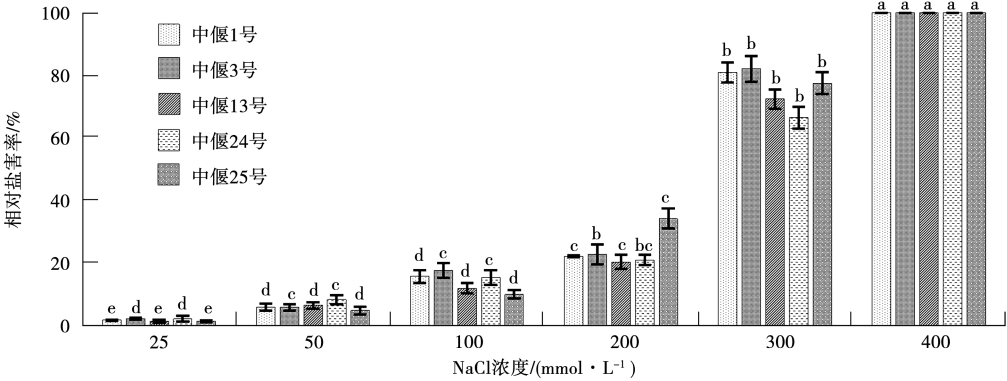


图3 盐胁迫对中间偃麦草种子相对盐害率的影响

2.2 盐胁迫对中间偃麦草幼苗生长的影响

由表3可知,随盐浓度增加,5份种子幼苗的胚根长呈下降趋势。当盐浓度为25 mmol·L⁻¹时,中偃1号、中偃13号和中偃24号胚根长度与CK相比差异显著,降幅分别为19.35%、27.50%、27.68%。当盐浓度为50 mmol·L⁻¹时,中偃3号和中偃25号胚根长也显著低于CK,降幅分别为60.26%和57.61%。当盐浓度为200 mmol·L⁻¹时,中偃25号胚根长为0。当盐浓度为300 mmol·L⁻¹时,萌发材料中,中偃1号胚根长降幅最小,降幅为89.25%。当盐浓度为400 mmol·L⁻¹时,其他4份种质也不萌发,胚根长均为0。随盐浓度增加,5份种子幼苗的胚芽长也呈下降趋势。当盐浓度为25 mmol·L⁻¹时,5份种质胚芽长与CK相比略减少,但差异不显著。盐浓度为50 mmol·L⁻¹时,5份种质胚芽长与CK相比显著降低,其中中偃25号降幅最大,为41.31%,中偃3号降幅最小,为36.07%。当盐浓度为200 mmol·L⁻¹时,

中偃25号胚芽长和胚根长均为0。当盐浓度为300 mmol·L⁻¹时,中偃13号胚芽长降幅最小,为85.49%,而中偃1号降幅达94.13%。当盐浓度为400 mmol·L⁻¹时,所有种质均不萌发。

2.3 中间偃麦草种子萌发阶段耐盐性评价

由表4可知,5份种质的相对发芽率与盐浓度均呈现出良好的二次曲线函数关系时拟合程度最优。由建立的最优函数方程可知,在种子萌发阶段,中偃1号、中偃3号、中偃13号、中偃24号、中偃25号的耐盐适宜浓度分别是154.45,158.11,214.37,204.01和177.20 mmol·L⁻¹。耐盐半致死浓度分别为247.27,254.85,305.34,296.08和280.29 mmol·L⁻¹。耐盐极限浓度分别为307.21,317.44,374.84,365.65和363.47 mmol·L⁻¹,耐盐性由高到低依次为中偃13号>中偃24号>中偃25号>中偃3号>中偃1号。

表 3 盐胁迫对中间偃麦芽种子幼苗生长的影响

指标	NaCl 浓度/ (mmol·L ⁻¹)	中偃 1 号	中偃 3 号	中偃 13 号	中偃 24 号	中偃 25 号
胚根长/cm	0(CK)	0.93±0.13 a	0.78±0.09 a	1.20±0.22 a	1.12±0.18 a	0.62±0.10 a
	25	0.75±0.09 b	0.58±0.11 ab	0.87±0.15 b	0.81±0.13 b	0.57±0.09 ab
	50	0.32±0.06 c	0.31±0.05 b	0.44±0.09 cd	0.39±0.07 cd	0.30±0.04 b
	100	0.14±0.01 d	0.12±0.04 c	0.21±0.03 d	0.18±0.02 d	0.17±0.03 b
	200	0.10±0.02 d	0.10±0.02 c	0.17±0.02 d	0.15±0.03 d	0 c
	300	0.10±0.02 d	0.05±0.01 c	0.10±0.04 d	0.10±0.02 d	0 c
	400	0 e	0 e	0 e	0 e	0 c
胚芽长/cm	0(CK)	10.22±2.32 a	9.12±3.23 a	11.30±2.89 a	10.83±1.9 a	9.44±3.22 a
	25	8.50±1.43 ab	7.60±2.12 ab	9.54±3.32 ab	9.00±3.12 a	7.53±2.15 ab
	50	6.30±0.54 b	5.83±1.11 b	7.13±1.09 b	6.61±2.11 b	5.54±1.45 b
	100	3.70±0.12 c	3.13±0.55 c	4.51±0.88 c	4.08±1.44 c	1.72±0.89 c
	200	2.33±0.45 d	1.92±0.78 c	3.12±1.02 c	3.13±0.42 d	0 d
	300	0.60±0.34 d	0.71±0.21 d	1.64±0.25 d	1.24±0.11 d	0 d
	400	0 e	0 e	0 e	0 e	0 d

表 4 中间偃麦发芽率与盐浓度的回归分析

品种	回归方程	决定系数 R ²	适宜浓度值/ (mmol·L ⁻¹)	半致死浓度值/ (mmol·L ⁻¹)	极限浓度值/ (mmol·L ⁻¹)
中偃 1 号	y=-0.000004215x ² -0.001x+1.005	0.934 **	154.45	247.27	307.21
中偃 3 号	y=-0.000003836x ² -0.001x+1.004	0.931 **	158.11	254.85	317.44
中偃 13 号	y=-0.000005288x ² +0.993	0.962 **	214.37	305.34	374.84
中偃 24 号	y=-0.000005430x ² +0.976	0.972 **	204.01	296.08	365.65
中偃 25 号	y=-0.000003115x ² -0.001x+1.025	0.977 **	177.20	280.29	363.47

注：**表示差异极显著(P<0.01)。

3 讨论

盐碱胁迫下,种子萌发能力和幼苗生长状态是早期鉴定种质耐盐性的重要指标,也是评价该植物耐盐碱性的必要基础^[9-10]。种子在萌发期与幼苗形成阶段对盐碱环境较敏感,轻度胁迫下表现为种子活力下降、胚根、胚芽生长受抑,重度胁迫下种子可能停止萌发^[11-12]。发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数是反映种子质量^[13]、出苗速度和整齐度的指标^[14]。有研究表明,低浓度的NaCl溶液能够提高稗草^[15]、羊草^[16]等禾本科种子的萌发。本试验中,5份种质的种子萌发指标均随盐浓度的上升呈下降趋势。造成这一差异的原因可能是因为不同植物对盐碱胁迫的敏感程度存在一定的种间差异^[17]。此外,在低浓度盐胁迫下(25 mmol·L⁻¹),所有材料的发芽率、发芽指数和活力指数均与CK无显著差异,说明中间偃麦草对低浓度盐胁迫不敏感。陈雅琦等^[17]关于醉马草和高羊茅种子耐盐性研究也有相似结论。重度盐胁迫下(400 mmol·L⁻¹)所有种质发芽指标均为0,说明此时重度盐分胁迫已使种子材料不萌发。相对盐害率可以在一定程度上反映种子耐盐胁迫的程度^[18]。本试验中随盐浓度升高,5份

种质的种子相对盐害率均显著提高。其中在任一盐浓度下,中偃13号和中偃24号的相对盐害率都低于其他3份种质,能一定程度上说明其种子耐盐性相对较高。此外,本研究通过建立最优函数方程预测出5份种质的耐盐适宜浓度、耐盐半致死浓度、耐盐极限浓度,由此发现,中偃13号、中偃24号种子对于NaCl单盐胁迫具有更高的耐受性。

胚根成功突破种皮,是幼苗生长的关键,由于胚根是植物吸收水分的主要器官,因此也是最易受到盐胁迫的部位^[19]。本试验中,随盐浓度增加,5份种质的胚根和胚芽长均呈下降趋势,并且表现为,胚根抑制大于胚芽。黄立华等^[20]研究表明,NaCl胁迫下的高冰草种子萌发和幼苗生长受到抑制,且对胚根的抑制作用大于胚芽。这可能是由于幼苗胚根较胚芽先接触到盐溶液,因此受盐胁迫抑制更显著。试验还发现,中偃13号和中偃24号的胚根长和胚芽长均高于其他3份种质,说明二者具有更高的耐盐能力。

4 结论

本研究以5份中间偃麦草种质为材料,分析了NaCl胁迫对种子萌发和幼苗生长的影响,并对种子萌发阶段耐盐性进行评估。结果表明:盐

胁迫对 5 份种质的萌发及幼苗生长均有抑制作用。经评估,5 份中间偃麦草种子萌发阶段耐盐性由高到低依次为中偃 13 号>中偃 24 号>中偃 25 号>中偃 3 号>中偃 1 号。可优先考虑中偃 13 号作为改良苏打盐碱地的优良种质。

参考文献:

- [1] 张海博. 发展饲草产业是缓解粮食安全压力的有效措施[J]. 当代畜牧, 2015(20):87-88.
- [2] 张学志, 杨喜军. 松嫩平原盐碱地开发利用状况分析[J]. 吉林水利, 2013(12):29-31.
- [3] 徐子棋, 许晓鸿. 松嫩平原苏打盐碱地成因、特点及治理措施研究进展[J]. 中国水土保持, 2018(2):54-59, 69.
- [4] 孙广友, 王海霞. 松嫩平原盐碱地大规模开发的前期研究、灌区格局与风险控制[J]. 资源科学, 2016, 38(3):407-413.
- [5] 蒋勃, 张淑欣, 王惠, 等. 中间偃麦草种质改良及基因组学育种研究进展[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(6):1385-1394.
- [6] 王洪刚, 刘树兵, 亓增军, 等. 中间偃麦草在小麦遗传改良中的应用研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2000, 31(3):333-336.
- [7] DEHAAN L R, ISMAIL B P. Perennial cereals provide ecosystem benefits[J]. Cereal Foods World, 2017, 62(6):278-281.
- [8] 沙吾列·沙比汗, 张丽萍, 阿衣根·赛比汗, 等. 中间偃麦草和偃麦草苗期耐盐性评价[J]. 现代农业科技, 2016(7):277-278.
- [9] DUVAL M, GALLARDO K, CATUSSE J, et al. Seed germination and vigor[J]. Annual Review of Plant Biology, 2012, 63(3):71-77.

- [10] 宋庆云, 黄圣, 吕艳伟. 盐碱胁迫对白榆种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子, 2018, 37(7):15-18.
- [11] 杨迎月, 毛桂莲, 麻冬梅, 等. 四种牧草种子在不同浓度 NaCl 或 NaHCO₃ 胁迫下的萌发特性[J]. 草地学报, 2022, 30(3):637-645.
- [12] 张磊, 侯云鹏, 王立春. 盐碱胁迫对植物的影响及提高植物耐盐碱性的方法[J]. 东北农业科学, 2018, 43(4):11-16.
- [13] 於丽华, 耿贵. 等胁迫下 NaCl 和 PEG 对甜菜种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 中国糖料, 2008(3):33-35.
- [14] 卢艳敏, 苏长青, 李会芬. 不同盐胁迫对白三叶种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2013, 22(4):123-129.
- [15] 邸桂俐, 高超, 韩微波, 等. 三种盐胁迫对稗草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2021(18):103-108.
- [16] 申忠宝, 潘多锋, 王建丽, 等. 混合盐碱胁迫对 5 种禾草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(5):914-920.
- [17] 陈雅琦, 苏楷淇, 李春杰. 盐胁迫对醉马草和高羊茅种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业科学, 2021, 38(5):870-879.
- [18] 阎旭东. 植物耐盐性鉴定及评价技术规程[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012.
- [19] AZZEDINE F, CAPRIOTTI A L, Caruso G, et al. Comparative analysis of metabolic proteome variation in ascorbate-primed and unprimed wheat seeds during germination under salt stress[J]. Journal of Proteomics, 2014, 108:238-257.
- [20] 黄立华, 梁正伟. 不同钠盐胁迫对高冰草种子萌发的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2007(6):173-176.

Effects of NaCl Stress on Seed Germination and Seedling Growth of *Elytrigia intermedia*

WANG Jian-li¹, MU Lin-lin¹, YOU Jia¹, ZHANG Dong-mei¹, ZHUANG Xu¹, SONG Yu-tong², DI Gui-li¹

(1. Institute of Forage and Grassland Science, Heilongjiang Academy of Agricultural Science, Harbin 150086, China; 2. College of Life Science and Technology, Harbin Normal University, Harbin 150025, China)

Abstract: In order to determine the tolerance value of different *Elytrigia intermedia* germplasms to NaCl, five samples of *Elytrigia intermedia* were used to simulate salt stress with different concentrations of NaCl solution (25, 50, 100, 200, 300, 400 mmol·L⁻¹). The germination rate, germination potential, germination index, vigor index, relative salt injury rate, and radicle length and plumule length of seedlings were measured, and the regression equation between relative germination rate and salt stress concentration was established. The results showed that with the increase of salt stress concentration, the germination index of seeds showed a downward trend, the relative salt damage rate showed an upward trend, and the radicle and embryo length also showed a downward trend, and the inhibition of salt stress on the radicle was greater than that on the embryo. The specific performance was that the low concentration NaCl (25 mmol·L⁻¹) stress had no significant effect on the germination rate, germination index, vigor index and embryo length of five germplasms. With the increase of salt stress concentration, the inhibition of seed germination increased. Under moderate NaCl (200 mmol·L⁻¹) stress, except Zhongyan 25, the germination rate of other four materials were more than 75%, and the germination potential of Zhongyan 25 seed was 0. Under the salt stress of high concentration (300 mmol·L⁻¹), the germination rate and germination index of five materials decreased significantly, and the relative salt damage rate increased significantly. Among them, Zhongyan 3 had the highest relative salt damage rate of 82.12%, and the Zhongyan 24 had lowest relative salt damage rate of 66.58%. When the salt concentration reached 400 mmol·L⁻¹, all materials did not germinate, and the relative salt damage rate reached 100%. According to the optimal one variable quadratic regression equation established, the salt tolerance of seeds at the germination stage was in the order of Zhongyan 13>Zhongyan 24>Zhongyan 25>Zhongyan 3>Zhongyan 1.

Keywords: *Elytrigia intermedia*; NaCl stress; seed germination; seedling growth; salt tolerance