

盐碱胁迫对红车轴草种子萌发的影响

杨雪君¹, 毛金枫¹, 张雪¹, 裴毅¹, 刘芳², 聂江力¹

(1. 天津农学院 园艺园林学院, 天津 300384; 2. 天津市翠屏湖科学园, 天津 301908)

摘要:以红车轴草种子为试材, 利用不同浓度的 NaCl 溶液、NaHCO₃ 溶液、NaCl 和 NaHCO₃ (1:1) 混合溶液在培养皿中模拟 3 种盐碱环境, 观察红车轴草种子的萌发状况, 以期明确红车轴草的耐盐碱能力。结果表明:红车轴草种子发芽率、发芽势、相对发芽率、发芽指数、活力指数、苗鲜重和胚根长等指标, 表现出随 NaCl、NaHCO₃、NaCl 和 NaHCO₃ 混合溶液(1:1)浓度的增加, 总体呈下降趋势。苗鲜重和胚根长, 呈现显著的负相关关系, 相对盐害率与溶液浓度呈现正相关关系。NaCl 胁迫下红车轴草种子萌发的耐盐浓度 8.091‰, 半数抑制浓度 10.146‰, 极限浓度 12.200‰; NaHCO₃ 胁迫下红车轴草萌发的耐盐浓度 5.483‰, 半数抑制浓度 7.434‰, 极限浓度 9.386‰; NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 混合溶液胁迫下红车轴草萌发的耐盐浓度 6.081‰, 半数抑制浓度 7.253‰, 极限浓度 8.425‰。蒸馏水复萌试验表明, 经 3 种盐碱胁迫后红车轴草种子均有不同程度的复萌。综上所述, 红车轴草种子具有一定的抗耐盐碱能力。

关键词:盐碱; 红车轴草; 种子; 发芽; 胁迫

中图分类号:S 551+.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)09-0069-06

在自然环境因素和人类活动的共同影响下, 全球土壤盐碱化趋势日益严重。据统计, 现今全世界盐碱地面积约 9.543 8 亿 hm², 我国约占其中的十分之一, 且比重不断增高。盐碱土壤不利于植物生长, 种子在萌发阶段对此尤为敏感。种子萌发是植物生长的基础, 是植物生长定居的前提, 也是植物生活史的最初生长阶段^[1]。天津地区地处滨海, 土壤盐碱以 NaCl 为主, 并伴有 NaHCO₃, 常以斑块状态分布。

红车轴草(*Trifolium pratense* L.) 属豆科车轴草属多年生草本植物, 又名红花苜蓿、红三叶等。茎直立中空, 叶近椭圆, 花冠紫红色, 是家禽家畜的优良牧草^[2-3], 广泛分布于全国大部分地区^[4]。因其具有药食兼用的作用, 近年来, 备受人们关注^[5]。现代药理研究表明, 红车轴草具有消炎杀菌、抗 HIV 的作用, 还具有抗骨质疏松、抗焦虑、抗抑郁、抗氧化、防衰老、预防和治疗更年期

综合征等作用^[6-7]。

现以红车轴草种子为试材, 采用盐碱胁迫的方法, 研究不同浓度的盐碱溶液对红车轴草种子胁迫及解除胁迫后种子复萌的影响。以发芽率、发芽势和胚根长、苗鲜重、复萌率等作为指标, 探讨红车轴草种子的耐盐碱能力, 以期为天津盐碱区域的红车轴草栽培、植被恢复及土壤的改良提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为优质的红车轴草种子, 采购于河北省安国市北方种子种植基地, 并保存于天津农学院园艺园林学院园林植物教研室。

供试仪器: 电子天平、恒温培养箱(MJ-150)等; 用具: 培养皿、滤纸、镊子、直尺、量筒、烧杯、容量瓶、玻璃棒、滴管、锥形瓶、试剂瓶、标签纸等。

1.2 试验方法

1.2.1 试验材料的处理 挑选出饱满均匀的优质种子, 用 0.1% KMnO₄ 溶液浸泡消毒约 15 min。然后倒出 KMnO₄ 溶液, 蒸馏水冲洗 3~5 遍即可进行播种。

1.2.2 试验设计 试验分 3 个阶段: 预试验、正式试验和复萌试验。在预试验中, 将选好的红车轴草种子置于铺 2 层滤纸的培养皿(直径 9 cm)中, 随机取 50 粒种子后加盖 1 张滤纸, 再配制 3 组浓度分别 5‰、10‰、15‰ 的 NaCl 溶液, NaHCO₃ 溶液以及 NaCl 与 NaHCO₃

第一作者简介:杨雪君(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向为果树学。E-mail:1553320588@qq.com.

责任作者:裴毅(1971-), 男, 辽宁锦州人, 博士, 副教授, 现主要从事药用植物学与生药学等研究工作。E-mail:peiyee@126.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31100401); 天津市科技计划资助项目(13ZLZLZF05700); 天津市科技特派员资助项目(15JCTPJC59500)。

收稿日期:2015-12-23

(1:1)混合溶液,取适量滴入准备好的培养皿中,重复3组,保持发芽湿度,以蒸馏水为对照,于25℃恒温培养箱(MJ-150)中暗培养。在预试验的基础上设置正式试验的浓度梯度,分别为2‰、4‰、6‰、8‰、10‰、12‰、14‰,连续8 d观察种子发芽情况并记录。在第8天,取出各处理组中已发芽种子,测定苗鲜重、胚根长;再取出各处理组中未发芽的种子,经蒸馏水清洗3遍,去盐胁迫后,滴加蒸馏水,进行种子复萌试验,计算复萌率。

1.3 项目测定

种子发芽以胚根突破种皮达到种子长度的一半为标准,计算发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、半数抑制浓度、复萌率、胚根长、苗鲜重。

发芽率(GP,%)=(发芽种子总数/供试种子总数)×100;发芽势(GE,%)=(3 d内发芽种子数/供试种子总数)×100;发芽指数(GI)= \sum (第t天种子的萌发数/相应的种子发芽天数);活力指数(VI)=发芽指数×苗鲜重;相对发芽率(%)=(某一盐处理下的发芽率/对照组的发芽率)×100;相对盐害率(%)=(对照组的发芽数-各处理发芽数)/对照组的发芽数×100;复萌率(%)=复萌的种子数/经盐胁迫未萌发种子数×100。

耐盐程度分析包括,耐盐浓度(适宜值):发芽率达到对照组发芽率75%时相对应的盐浓度;半数抑制浓度(临界值):发芽率达到对照组发芽率50%时相对应的盐浓度。极限值:发芽率达对照25%时相对应的盐浓度。

1.4 数据分析

试验数据采用SPSS 19.0软件进行方差分析,其中不同盐碱处理水平之间,不同测量指标之间均采用单因素方差分析,运用LSD和Duncan(D)进行比较。利用SPSS软件在Probit(概率)回归方法分析“浓度相对发芽率”的关系,分析耐盐程度。

2 结果与分析

2.1 NaCl溶液胁迫下红车轴草种子萌发状况

由表1可知,在不同浓度的NaCl胁迫下,红花车轴草的发芽率、发芽势、相对发芽率及相对盐害率均不同。当NaCl浓度为2‰时,发芽率为93.33%,与对照组差异不显著;在4‰ NaCl溶液处理下,发芽率、发芽势均高于对照组,相对发芽率达到100.08%,相对盐害率为-0.08%,可以看出NaCl溶液低浓度组有促进红车轴草种子发芽的趋势,但是与对照组差异不显著;当NaCl浓度增加到6‰,随着盐浓度的增加,发芽率逐渐降低,发芽率为88.67%,与对照组相比,差异并不显著,但是其发芽势为73.33%,显著低于对照组的92.67%;当NaCl浓度为8‰时,发芽率为64.67%,极显著低于对照组。

由图1可知,不同浓度NaCl溶液对红车轴草种子发芽率影响不同。2‰ NaCl溶液第4天发芽率达到

表1 NaCl溶液处理对红车轴草发芽率、发芽势、相对发芽率、相对盐害率的影响

NaCl 浓度 NaCl concentration /‰	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination potential	相对发芽率 Relative germination rate	相对盐害率 Relative salt injury indexes
CK	94.00aA	92.67aA	100.00	0.00
2	93.33aA	92.67aA	99.32	0.68
4	94.08aA	93.33aA	100.08	-0.08
6	88.67aA	73.33bA	94.29	5.71
8	64.67bB	53.33cB	68.65	31.35
10	53.33bB	38.67dB	56.74	43.26
12	26.67cC	10.00eC	28.64	71.36
14	8.00dC	3.33eC	8.57	91.43

注:表中同列不同小写字母表明差异显著, $P<0.05$;不同大写字母表明差异极显著, $P<0.01$ 。下同。

Note: The different lowercase letters in the same column show significant difference ($P<0.05$), the different capital letters show highly significant difference ($P<0.01$). The same below.

93.33%,对照组和4‰ NaCl溶液第4天的发芽率为94.00%,这3组之后发芽率都没有变化;但随着溶液浓度的增加,发芽率也有降低趋势,6‰ NaCl溶液第6天发芽率为88.67%;8‰ NaCl溶液第6天发芽率为64.67%;10‰ NaCl溶液第6天发芽率为53.33%,12‰ NaCl溶液第6天发芽率为26.67%,14‰ NaCl溶液第6天发芽率为8.00%。

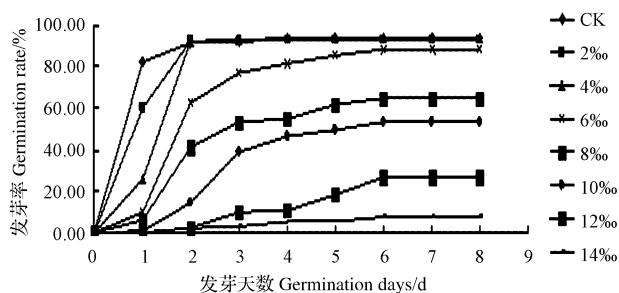


图1 不同浓度NaCl胁迫下红车轴草种子的累积发芽曲线

Fig. 1 The cumulative germination curve of *T. pratense* L. seed under different concentration of NaCl solution

由表2可知,苗鲜重、胚根长、发芽指数及活力指数呈现出随NaCl溶液浓度增加而降低的现象,可见NaCl溶液对红车轴草种子有抑制作用。当NaCl溶液为2‰~8‰浓度时,苗鲜重与对照组差异不显著;10‰浓度处理下的苗鲜重0.0115 g与对照组0.0214 g差异极显著。当处理浓度为2‰~6‰时,胚根长略高于或低于对照组,差异不显著;当NaCl浓度为8‰时,胚根长3.26 cm,极显著低于对照组。

表 2 NaCl 溶液处理对红车轴草种子重量和长度的影响

Table 2 Effect of NaCl stress on *T. pretense* L. seed weight and length

NaCl 浓度	苗鲜重	胚根长	活力指数	发芽指数
NaCl concentration	Seedling fresh	Radicle length	Vigor	Germination
/‰	weight/g	/cm	index	index
CK	0.021 4aA	4.80abAB	0.95aA	43.89aA
2	0.024 0aA	5.40aA	0.92aA	38.25bA
4	0.022 6aA	4.53bAB	0.67bAB	29.81cB
6	0.022 6aA	4.09bBC	0.49bcBC	21.81dC
8	0.021 5aA	3.26cC	0.33cCD	14.96dE
10	0.011 5bB	1.51dD	0.11dDE	9.43fDE
12	0.007 0cB	0.66eDE	0.03dE	3.43gEF
14	0.006 2cB	0.32eE	0.00dE	1.20gF

2.2 NaHCO₃ 溶液胁迫下红车轴草种子萌发状况

由表 3 可知,当 NaHCO₃ 溶液浓度为 2‰时,发芽率为 92.00%,与对照组差异不显著;当 NaHCO₃ 溶液浓度超过 4‰,随着浓度的升高,红车轴草种子的发芽率、发芽势、相对发芽率显著降低;在盐浓度 4‰时,发芽率为 76.00%、相对发芽率为 80.94%、相对盐害率为 19.06%。

表 3 NaHCO₃ 溶液处理对红车轴草种子发芽率、发芽势、相对发芽率、相对盐害率的影响

Table 3 Effect of NaHCO₃ stress on germination rate,germination potential,relative germination rate and relative salt injury indexes of *T. pretense* L. %

NaHCO ₃ 浓度	发芽率	发芽势	相对发芽率	相对盐害率
NaHCO ₃ concentration	Germination rate	Germination potential	Relative germination rate	Relative salt injury indexes
/‰				
CK	94.00aA	92.67aA	100.00	0.00
2	92.00aAB	89.33aA	98.02	1.98
4	76.00bBC	72.00bAB	80.94	19.06
6	63.33cCD	55.33cBC	67.21	32.79
8	50.67dD	48.67cC	54.05	45.95
10	20.00eE	16.67dD	21.22	78.78
12	1.33fF	0.67eD	1.39	98.61
14	0.67fF	0.67eD	0.71	99.29

由图 2 可以看出,随着 NaHCO₃ 浓度的增加,红车轴草种子的累计发芽率逐渐下降。经过 1 d 的处理,2‰~10‰组的开始发芽时间与 CK 组相同,12‰~14‰组是从第 3 天开始发芽的,可以说明 NaHCO₃ 胁迫不仅影响红车轴草种子的发芽率,还影响其发芽时间。对照组溶液第 4 天发芽率达到 94.00%;2‰浓度溶液第 4 天发芽率达到 92.00%,这 2 组之后几天发芽率均没有变化;4‰浓度溶液第 6 天的发芽率为 76.00%,6‰浓度溶液第 6 天发芽率为 63.33%;8‰浓度溶液第 6 天发芽率为 50.67%;10‰浓度溶液第 6 天发芽率为 20.00%,12‰浓度溶液第 5 天发芽率为 1.33%,14‰浓度溶液第 3 天发芽率为 0.67%,之后几天发芽率均无变化。

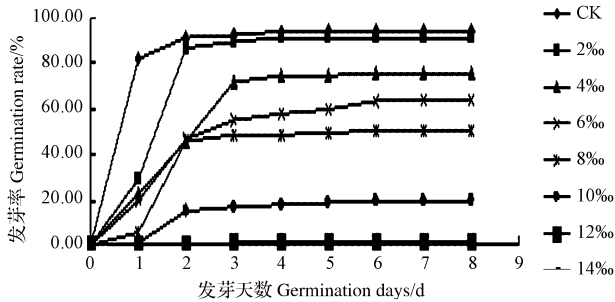


图 2 不同浓度 NaHCO₃ 胁迫下红车轴草种子的累积发芽曲线

Fig. 2 The cumulative germination curve of *T. pretense* L. seed under different concentration of NaHCO₃ solution

由表 4 可知,经 NaHCO₃ 溶液胁迫处理的红车轴草种子,幼苗的鲜重、胚根长和活力指数均随溶液浓度的增加而下降,当 NaHCO₃ 溶液浓度为 2‰时,苗鲜重为 0.014 1 g,胚根长为 3.03 cm,活力指数为 0.42,发芽指数为 29.67,均极显著低于对照组。说明红车轴草种子在萌芽过程中对 NaHCO₃ 溶液的浓度变化非常敏感。

表 4 NaHCO₃ 溶液处理对红车轴草种子重量和长度的影响

Table 4 Effect of NaHCO₃ stress on *T. pretense* L. seed weight and length

NaHCO ₃ 浓度	苗鲜重	胚根长	活力指数	发芽指数
NaHCO ₃ concentration	Seedling fresh	Radicle length	Vigor	Germination
/‰	Weight/g	/cm	index	index
CK	0.021 4aA	4.80aA	0.95aA	43.89aA
2	0.014 1bB	3.03bB	0.42bB	29.67bB
4	0.007 9cCD	1.27cC	0.17cC	21.95cC
6	0.009 1cC	0.79cdCD	0.17cC	19.76cdCD
8	0.008 7cC	0.69cdeCD	0.12cdC	13.47dD
10	0.003 6dDE	0.45deCD	0.016cdC	4.66eE
12	0.002 0dE	0.13deD	0.001 0dC	0.18eE
14	0.000 9dE	0.03eD	0.000 3dC	0.11eE

2.3 NaCl 与 NaHCO₃ (1 : 1)混合溶液胁迫下红车轴草种子萌发状况

由表 5 可以看出,2‰混合溶液胁迫对红车轴草种子的萌发有促进作用,在该浓度下,红车轴草种子的发芽率为 94.67%、发芽势为 94.00%,高于对照组的发芽率 94.00%及发芽势 92.67%,红车轴草种子的相对发芽率达 100.76%,相对盐害率 -0.76%,与对照组差异不显著;当混合液浓度为 4‰时,发芽率为 92.67%,与对照组无显著性差异;当浓度 6‰时,发芽率为 70.67%、相对发芽率 75.23%、相对盐害率 24.77%,与对照组差异极显著;当混合溶液浓度为 14‰时,相对盐害率达 100.00%,红车轴草种子不能萌发,被完全抑制。

表 5 NaCl 与 NaHCO₃ (1 : 1)混合溶液处理对红车轴草种子发芽率、发芽势、相对发芽率、相对盐害率

Table 5 Effect of mixed solution(1 : 1)stress on germination rate, germination potential,relative germination rate and relative salt injury indexes of *T. pretense* L. %

NaCl 与 NaHCO ₃ (1 : 1) 混合溶液浓度 Concentration of mixed solution/%	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination potential	相对发芽率 Relative germination rate	相对盐害率 Relative salt injury indexes
CK	94.00aA	92.67aA	100.00	0.00
2	94.67aA	94.00aA	100.76	-0.76
4	92.67aA	92.67aA	98.57	1.43
6	70.67bB	61.33bB	75.23	24.77
8	28.00cC	21.33cC	29.67	70.33
10	6.67dD	4.00dD	7.16	92.84
12	0.67dD	0.67dD	0.72	99.28
14	0dD	0dD	0.00	100.00

由图 3 可以看出,不同浓度 NaCl 与 NaHCO₃ (1 : 1)混合溶液对红车轴草进行处理后的种子,萌发集中在第 1~6 天,2‰浓度的混合溶液对红车轴草种子的萌发有一定促进作用,第 4 天发芽率达到 94.67%,对照组为 94.00%;随着混合溶液浓度的增加,发芽率持续降低,4‰浓度混合溶液第 4 天发芽率为 92.67%;6‰浓度混合溶液第 4 天发芽率为 66.00%;8‰浓度混合溶液第 4 天发芽率为 24.00%;10‰浓度混合溶液第 4 天发芽率仅为 4.67%;浓度 12‰时,第 4 天发芽率为 0%,第 5 天发芽率为 0.67%;当混合溶液浓度达 14‰时,种子受到严重胁迫,不发芽。

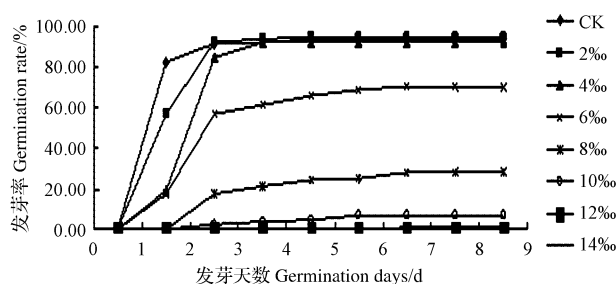


图 3 不同浓度 NaCl 和 NaHCO₃ (1 : 1)胁迫下红车轴草种子的累积发芽曲线

Fig. 3 The cumulative germination curve of *T. pretense* L. seed under different concentration of mixed solution 1 : 1

由表 6 可知,苗鲜重、胚根长、活力指数和发芽指数都表现出随着混合溶液浓度的增加而降低的现象,因此混合溶液对红车轴草种子的萌发有抑制作用。2‰浓度下的苗鲜重 0.021 1 g 与对照组 0.021 4 g 差异不显著。4‰浓度下的苗鲜重 0.014 2 g 与对照组 0.021 4 g 差异显著。6‰浓度下的苗鲜重 0.010 6 g 与对照组 0.021 4 g 差异极显著。2‰组的胚根长 3.45 cm 与对照组的 4.80 cm 差异极显著。NaCl 与 NaHCO₃ (1 : 1)混合溶液浓度为 2‰时,发芽指数与对照组的 43.89 存在

表 6 NaCl 与 NaHCO₃ (1 : 1)混合溶液处理对红车轴草种子重量和长度的影响

Table 6 Effect of mixed solution(1 : 1)stress on *T. pretense* L. seed weight and length

NaCl 与 NaHCO ₃ (1 : 1) 混合溶液浓度 Concentration of mixed solution/%	苗鲜重 Seedling fresh weight /g	胚根长 Radicle length /cm	活力指数 Vigor index	发芽指数 Germination index
0	0.021 4aA	4.80aA	0.950 0aA	43.89aA
2	0.021 1aA	3.45bB	0.790 0aA	37.64bB
4	0.014 2bAB	2.19cC	0.390 0bB	27.17cC
6	0.010 6bBC	1.27dD	0.220 0cBC	20.30dD
8	0.004 8cCD	0.33eE	0.029 0dC	5.68eE
10	0.004 1cCD	0.18eE	0.008 0dC	1.12fE
12	0.001 8cD	0.07eE	0.000 3dC	0.06fE
14	0cD	0.03eE	0dC	0fE

极显著差异。

2.4 红车轴草种子的耐盐程度分析

3 个处理中,随着浓度的变化,其各项指标也在变化,并当浓度达到一定程度时,种子的各项指标均表现出随浓度增加而下降的趋势。通过 SPSS 软件中的“概率单位回归”分析“浓度-反应”关系,且利用相对盐害率计算求出的耐盐浓度、半数抑制浓度。分析“浓度-反应”关系,通过计算可知,红车轴草种子对 NaCl 耐受程度模型方程为 $\text{Probit}(p)=3.337-0.329X$ 。红车轴草的耐盐浓度为 8.091‰,95%置信限度:上限为 8.524‰,下限为 7.581‰;半数抑制浓度为 10.146‰,95%置信限度:上限为 10.538‰,下限为 9.761‰;极限浓度为 12.200‰,95%置信限度:上限为 12.757‰,下限为 11.738‰。

红车轴草种子的耐 NaHCO₃ 模型为 $\text{Probit}(p)=2.569-0.346X$ 。红车轴草的耐盐浓度为 5.483‰,95%置信限度:上限为 6.242‰,下限为 4.505‰;半数抑制浓度 7.434‰,95%置信限度:上限为 8.176‰,下限为 6.705‰;极限浓度为 9.386‰,95%置信限度:上限为 10.404‰,下限为 8.611‰。

红车轴草种子对 NaCl 与 NaHCO₃ (1 : 1)混合溶液耐受程度模型为 $\text{Probit}(p)=4.174-0.576X$ 。红车轴草的耐盐浓度为 6.081‰,95%置信限度:上限为 6.388‰,下限为 5.719‰;半数抑制浓度为 7.253‰,95%置信限度:上限为 7.527‰,下限为 6.974‰;极限浓度为 8.425‰,95%置信限度:上限为 8.768‰,下限为 8.129‰。

2.5 盐胁迫对红车轴草种子苗鲜重和胚根长的影响

苗鲜重和胚根长度是种子发芽质量的 2 个重要指标。通过试验中的苗鲜重和胚根长的数据可以看出,苗鲜重、胚根长随 NaCl 溶液、NaHCO₃ 溶液、NaCl 与 NaHCO₃ (1 : 1)混合溶液浓度的升高而降低,即 3 种盐碱溶液处理都抑制了苗的生长。

由图 4 可以看出,3 种溶液处理下的红车轴草种子

的苗鲜重都呈现下降趋势。其中 NaCl 溶液及 NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 混合溶液呈现出较缓和的下降趋势,而 NaHCO₃ 溶液下降趋势很急速,说明在一定较低范围内的 NaHCO₃ 比 NaCl 对苗鲜重的抑制能力强。

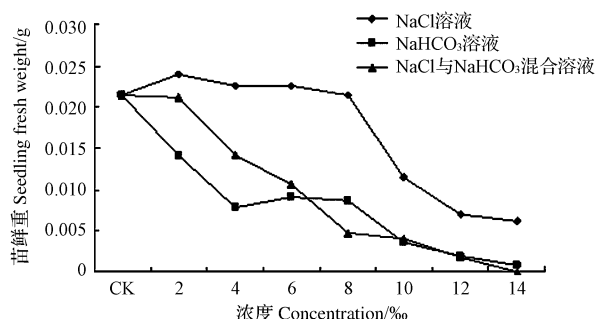


图4 不同浓度盐碱溶液胁迫下红车轴草种子的苗鲜重

Fig. 4 The seedling fresh weight of *T. pretense* L. seed under different concentration of solution

由图5可以看出,在2‰~6‰浓度范围内,在同等浓度下,NaHCO₃ 溶液处理胚根长最短,NaCl 处理下的胚根长最长。说明在较低范围内的 NaHCO₃ 比 NaCl 对胚根的抑制力强。

2.6 解除胁迫后红车轴草种子的复萌率

表7为经 NaCl、NaHCO₃、NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 混合溶液解除后经清水处理8d后,红车轴草种子的复萌情况。在随着 NaCl 溶液浓度增加,红车轴草种子的复萌率明显增加,说明经 NaCl 溶液处理后,未萌发的

表7

解除胁迫后红车轴草种子的复萌率

Table 7

The rate of germination again after relieving stress of *Trifolium pretense* L.

NaCl 溶液浓度	复萌率	NaHCO ₃ 溶液浓度	复萌率	NaCl 与 NaHCO ₃ (1:1) 混合溶液浓度	复萌率
NaCl concentration	Rate of germination again	NaHCO ₃ concentration	Rate of germination again	Concentration of mixed solution	Rate of germination again
/‰	/%	/‰	/%	/‰	/%
CK	0.00	CK	0.00	CK	0.00
2	0.00	2	0.00	2	0.00
4	50.00	4	0.00	4	0.00
6	71.43	6	25.00	6	50.00
8	80.00	8	16.67	8	28.00
10	81.25	10	15.00	10	26.32
12	82.28	12	10.00	12	17.50
14	96.88	14	5.00	14	5.00

3 讨论

3.1 NaCl、NaHCO₃、NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 混合溶液胁迫下红车轴草种子的萌发情况

发芽率指测试种子发芽数占测试种子总数的百分比,是种子发芽情况的重要指标,而在盐胁迫下红车轴草种子的发芽情况是反映红车轴草种子发芽潜力的重要指标。在种子发芽过程中,日发芽种子数达到最高峰时的种子数量占供测样品种子数的百分率即为发芽势。发芽势是种子生活力、发芽整齐度、生产潜力的重要指标。发芽指数是种子的发芽速度及整齐度,活力指数是种子活力水平的综合体现,可以反映出种子在较广范围

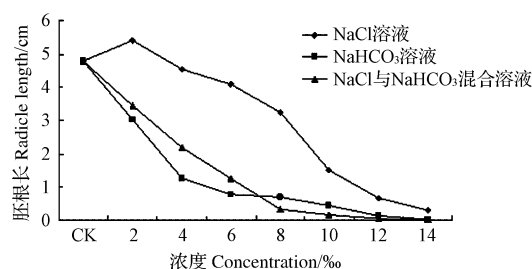


图5 不同浓度盐碱溶液胁迫下红车轴草种子的胚根长

Fig. 5 The seedling radicle length of *T. pretense* L. seed under different concentration of solution

种子没有失去生命活力。在解除 NaCl 溶液胁迫后,红车轴草种子能很好的萌芽,且萌芽率高达 96.88%。经 NaHCO₃ 溶液处理后,随着 NaHCO₃ 溶液浓度的升高,种子的萌芽率呈先增高后降低的趋势。在 NaHCO₃ 溶液浓度达 6‰时萌芽率最高,为 25.00%,而后随着 NaHCO₃ 溶液浓度的升高萌芽率呈明显下降趋势。说明经 NaHCO₃ 溶液胁迫处理后,未萌发的种子失去生命活力。经 NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 混合溶液胁迫后,随着 NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 溶液浓度的增加,红车轴草种子的萌芽率呈先增高后降低的趋势。当 NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 溶液浓度为 6‰时,萌芽率最高,为 50.00%,而后随着 NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 溶液浓度的升高萌芽率呈下降趋势。说明经 NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 溶液胁迫处理后,未萌发的种子失去生命活力。

内能否迅速生长和生长的整齐程度^[8]。从总体上来看,当 NaCl、NaHCO₃、NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 混合溶液浓度达到较高值时都会对种子的萌发有抑制作用。

通过比较 NaCl、NaHCO₃、NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 混合溶液胁迫下红车轴草种子萌发的耐盐浓度、半数抑制浓度及极限浓度的比较,可知红车轴草种子在这3组处理中萌发的耐盐浓度的大小排列为 NaHCO₃ < NaCl 与 NaHCO₃ (1:1) 混合 < NaCl。说明红车轴草种子对于 NaHCO₃ 的耐盐浓度比 NaCl 的低。在张秀玲等^[1]的试验中,随 NaHCO₃ 溶液处理组浓度的增加,罗布麻种子的发芽率、发芽指数等指标均为下降趋势,整体趋势与

该试验相同。所以可得,红车轴草种子对 NaHCO_3 具有一定的耐盐性^[9]。

3.2 NaCl 、 NaHCO_3 、 NaCl 与 NaHCO_3 (1:1)混合溶液胁迫对红车轴草种子生长初期的影响

在盐胁迫条件下,在盐碱溶液浓度升高的同时,植物细胞内的水势降低,植物吸水困难,当浓度达到一定程度后,植物体内的水分会有外渗的情况出现。此时植株内的相对含水量会降低,植物正常的生理过程受到干扰,甚至受到伤害,严重时会导致植株死亡^[10]。

4 结论

该试验表明,不同浓度的 NaCl 、 NaHCO_3 、 NaCl 与 NaHCO_3 (1:1)混合溶液都对红车轴草种子的萌发具有抑制作用。红车轴草种子对于 NaCl 的极限浓度为 12.200%,对于 NaHCO_3 的极限浓度为 9.386%,对于 NaCl 与 NaHCO_3 (1:1)混合溶液的极限浓度为 8.425%。综合各指标表明,红车轴草种子为种子萌发率比较高的植物,种子发芽时具有一定的耐盐性,其耐盐性大小排列为 $\text{NaCl} > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl}$ 与 NaHCO_3 (1:1)混合。其中, NaHCO_3 溶液会使红车轴草种子出现失去活力的现象, NaCl 与 NaHCO_3 (1:1)混合溶液也会使红车轴草种子出现失去活力的现象,而 NaCl 处理后的未萌芽种子大多数为休眠的状态,在除去 NaCl 胁迫后仍然可以继续正常萌发。综上,红车轴草在萌芽期间对 NaCl 、 NaHCO_3 、 NaCl 与 NaHCO_3 (1:1)混合溶液

有较高的耐性。

通过发芽率、发芽势、相对发芽率、影响种子相对发芽率之间的比较,得出了 75%、50%、25% 的盐碱浓度下,种子耐盐适宜值、临界值、极限值。综合各指标表明,红车轴草为种子发芽率较高的植物,种子在萌芽时有一定的耐盐碱能力,并且耐 NaCl 强于耐 NaHCO_3 。

参考文献

- [1] 张秀玲,李瑞利,石福臣.盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响[J].南开大学学报,2007,40(4):13-18.
- [2] 周兆琼.红车轴草的栽培及加工利用[J].云南农业大学学报,1999,3(4):25-26.
- [3] 张文淑.红车轴草[J].农村养殖技术,2002(15):27.
- [4] 孙健,耿彤,肖峰,等.红车轴草异黄酮的研究进展[J].国外医药,2007,22(4):150-151.
- [5] KHAN A V, AHMED Q U, SHUKLA I, et al. Antibacterial activity of leaves extracts of *Trifolium alexandrinum* Linn, against pathogenic bacteria causing tropical diseases[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2012, 2(3):189-194.
- [6] SABUDAK T, GULER N. *Trifolium* L-A review on its phytochemical and pharmacological profile[J]. Phytotherapy Research, 2009, 23(3):439-446.
- [7] SHARAF M. Chemical constituents from the seeds of *Trifolium alexandrinum*[J]. Natural Product Research, 2008, 22(18):1620-1623.
- [8] 张学勇,陈忠林,刘强,等.盐胁迫对结缕草和高羊茅种子萌发的影响[J].种子,2012,31(9):4-7.
- [9] 余联平,李发弟,程文定,等.钼、播种量和行距对岷山红车轴草产量及异黄酮含量的影响[J].中国草地学报,2009,31(1):52-57.
- [10] 郭艳超,孙昌禹,王文成,等. NaCl 胁迫对芙蓉葵种子萌发和种苗生长的影响[J].西北农业学报,2012,21(3):158-163.

Effect of Saline-alkali Stress on Seedling Germination of *Trifolium pretense* L.

YANG Xuejun¹, MAO Jinfeng¹, ZHANG Xue¹, PEI Yi¹, LIU Fang², NIE Jiangli¹

(1. College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384; 2. Tianjin Cuiping Lake Science Park, Tianjin 301908)

Abstract: In order to define the salt-tolerance of the *T. pretense* L. in this experiment, the seed of the *T. pretense* L. was used as experimental material, with different concentration of NaCl solution, NaHCO_3 solution, NaCl and NaHCO_3 (1:1) mixed solution in a petri dish to simulate three kinds of saline environment, and observe the germination condition of the *T. pretense* L.. The results showed that with increasing concentration of NaCl and NaHCO_3 , germination rate, germination potential, the relative germination rate, germination index, vigor index, radicle length, and seedling fresh of *T. pretense* L. seeds were reduced. Seedling fresh weight and radicle length showed a significant negative correlation, the relative salt damage rate was positively related to the concentration of the solution. NaCl stress concentration of salt tolerance in seedling germination of *T. pretense* L. was 8.091%, half inhibitory concentration was 10.146%, limit concentration was 12.200%. NaHCO_3 stress concentration of salt tolerance in seed germination of *T. pretense* L. was 5.483%, half inhibitory concentration was 7.434%, limit concentration was 9.386%. NaCl and NaHCO_3 (1:1) mixed solution concentration of the salt tolerance of *T. pretense* L. germination was 6.081%, half inhibitory concentration was 7.253%, limiting concentration was 8.425%. Distilled water test showed that the three kinds of saline stress *T. pretense* L. seeds had different degrees of sprout. From the foregoing, *T. pretense* L. seed had a certain resistance to salt and alkali.

Keywords: saline-alkali; *Trifolium pretense* L.; germination; stress