

研究报告

Research Report

紫花苜蓿种子萌发过程中对不同盐胁迫的响应

王建科^{1,2} 王钧^{1,2} 胡延萍¹ 李毅¹ 柴文秀³ 王莉^{1*}

1 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810008; 2 中国科学院大学, 北京, 100049; 3 青海省互助县台子乡农村社会经济服务中心, 海东, 810500

* 通讯作者, wangli@nwipb.cas.cn

摘要 本试验以6种盐溶液(NaCl, Na₂SO₄, KCl, K₂SO₄, CaCl₂, NaHCO₃)对紫花苜蓿种子进行胁迫处理, 研究不同盐胁迫下紫花苜蓿种子的发芽率、发芽指数、平均发芽时间、盐害率及根长抑制率的差异。结果显示, 紫花苜蓿种子的发芽率、发芽指数随盐溶液浓度增加而降低, 平均发芽时间、盐害率和根长抑制率随盐浓度的升高而增加。通过分析得出紫花苜蓿种子发芽过程中对不同盐胁迫的响应浓度分别为: NaCl 25 mmol/L, K₂SO₄ 50 mmol/L, CaCl₂ 100 mmol/L; 耐盐极限浓度分别为: NaCl 190.97 mmol/L, Na₂SO₄ 92.84 mmol/L, KCl 353.86 mmol/L, K₂SO₄ 160.68 mmol/L, CaCl₂ 260.55 mmol/L, NaHCO₃ 114.77 mmol/L。紫花苜蓿种子萌发过程中对不同盐胁迫的耐受性大小依次为: NaHCO₃>Na₂SO₄>K₂SO₄>NaCl>KCl>CaCl₂。

关键词 紫花苜蓿, 盐胁迫, 种子萌发, 发芽率, 发芽指数

Responses of *Medicago sativa* Seed to Different Salt Stresses During Germination

Wang Jianke^{1,2} Wang Jun^{1,2} Hu Yanping¹ Li Yi¹ Chai Wenxiu³ Wang Li^{1*}

1 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049; 3 Rural Social Economic Service Center of Huzhu County of Qinghai Province, Haidong, 810500

* Corresponding author, wangli@nwipb.cas.cn

DOI: 10.13271/j.mpb.016.000268

Abstract In the present study, the effects of salinity on seed germination of *Medicago sativa* were evaluated by treated with six different types salt solution: NaCl, Na₂SO₄, KCl, K₂SO₄, CaCl₂, NaHCO₃. Germination rate, germination index, mean germination time, salt injury rate and relative inhibitory ratio of root length under different salts and different salt concentration have been investigated. The result showed that with increasing salt concentrations the germination rate and germination index of *M. sativa* seeds significantly decreased compared with the control. Meanwhile, the mean germination time, salt injury rate and relative inhibitory ratio of root length significantly increased compared with the control. The initial response salt concentration of *M. sativa* was: NaCl 25 mmol/L, K₂SO₄ 50 mmol/L, CaCl₂ 100 mmol/L. The limiting salt solution concentration was: NaCl 190.97 mmol/L, Na₂SO₄ 92.84 mmol/L, KCl 353.86 mmol/L, K₂SO₄ 160.68 mmol/L, CaCl₂ 260.55 mmol/L, NaHCO₃ 114.77 mmol/L. The tolerance of *M. sativa* seeds was different for the different salt type. The order of tolerance was: NaHCO₃>Na₂SO₄>K₂SO₄>NaCl>KCl>CaCl₂.

Keywords *Medicago sativa*, Salt stress, Seed germination, Germination rate, Germination index

种子萌发期是植物整个生命周期中的重要阶段, 通常也是对盐碱胁迫最敏感的时期, 种子是否能够正常萌发直接决定种群能否成功建植。土壤中的盐分会通过渗透胁迫和离子毒害作用阻止或延缓种

基金项目 本研究由青海省科技计划项目(2014-NK-A4-2-1)和国家自然科学基金项目(31300269)共同资助

引用格式: Wang J.K., Wang J., Hu Y.P., Li Y., Chai W.X., and Wang L., 2018, Responses of *Medicago sativa* seed to different salt stresses during germination, Fenzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding), 16(1): 268-274 (王建科, 王均, 胡延萍, 李毅, 柴文秀, 王莉, 2018, 紫花苜蓿种子萌发过程中对不同盐胁迫的响应, 分子植物育种, 16(1): 268-274)

子萌发,甚至导致种子死亡(张学勇等, 2012; 于志贤等, 2013)。不同植物种子在发芽过程中对盐胁迫的响应不同,探究植物种子发芽过程中对盐胁迫的反应范围,即研究其不同盐分胁迫的初始反应浓度和耐受极限浓度,对盐碱土地改良中选择合适的植物种植可以提供理论指导和参考。紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)属豆科苜蓿属多年生草本,在中国主要分布西北、华北、东北及江淮流域等地,呈栽培或半野生状态(许文鼎等, 2009),具有营养价值高、适应性强等特点,作为饲料与牧草被广泛种植;又因为其发达的根系和固氮能力,能够很好地改良土壤和保持水土,能够增加土壤肥力,防止土壤盐碱化和荒漠化,对建设和保护当地生态环境具有重要的意义。青海省分布有大面积的盐碱化土地,严重影响农业和畜牧业的发展(王文采等, 1990)。本研究以青海主要栽植牧草紫花苜蓿种子为研究材料,选用三种氯化物盐(NaCl, KCl, CaCl₂)和两种硫酸盐(Na₂SO₄, K₂SO₄)及一种碱性盐(NaHCO₃)进行不同浓度梯度的盐胁迫试验,探讨紫花苜蓿种子萌发过程中对不同盐胁迫的耐受性及发芽规律,确定种子对不同盐分胁迫的耐受阈值,为紫花苜蓿在盐碱地上的种植提供理论依据。

1 结果与分析

1.1 不同盐胁迫对紫花苜蓿种子萌发特性的影响

1.1.1 不同盐胁迫对紫花苜蓿种子发芽率的影响

盐胁迫处理中不同类型及同种类型不同浓度盐胁迫对种子发芽率的影响皆不相同(表 1)。在不同盐胁迫处理中,当 Na₂SO₄ 溶液浓度为 25 mmol/L 时种子发芽率显著下降($p < 0.05$);而 CaCl₂ 溶液浓度为

150 mmol/L 时种子发芽率才开始显著下降($p < 0.05$);同种盐胁迫下不同浓度盐溶液对种子发芽率的影响也不相同,如 NaHCO₃ 溶液处理组,不同浓度下种子发芽率之间均差异显著($p < 0.05$)。总体来说,随着盐溶液浓度的升高,紫花苜蓿种子发芽率随之降低,同一浓度不同类型的盐胁迫对种子发芽率的影响作用不同。

1.1.2 不同盐胁迫对紫花苜蓿种子发芽指数的影响

不同浓度盐溶液处理的紫花苜蓿种子发芽指数随盐浓度的升高呈显著下降趋势($p < 0.05$)(表 2)。方差分析结果显示,不同盐分对紫花苜蓿种子发芽指数的影响存在显著差异,六种盐胁迫对紫花苜蓿种子发芽指数的影响作用大小依次为:NaHCO₃ > Na₂SO₄ > K₂SO₄ > NaCl > KCl > CaCl₂ ($p < 0.01$)。以盐溶液浓度为自变量(x)、以种子发芽指数为因变量(y)建立线性回归方程,种子发芽指数达到对照发芽指数的 50%和 10%时对应的盐浓度分别为种子萌发的耐盐半致死浓度和耐盐极限浓度。经计算,紫花苜蓿种子萌发对不同盐胁迫的耐盐半致死浓度和耐盐极限浓度(表 3)。

1.1.3 不同盐胁迫对紫花苜蓿种子萌发平均发芽时间的影响

平均发芽时间用来表示种子的发芽速率,平均发芽时间越小,表示种子发芽速度越快。不同盐处理中随着盐溶液浓度的升高,紫花苜蓿种子平均发芽时间也逐渐升高,种子萌发被逐渐抑制(图 1)。方差分析显示,在 NaCl 溶液浓度为 25 mmol/L 时,种子平均发芽日数变化无显著差异($p > 0.05$),说明这一浓度 NaCl 溶液对种子萌发抑制作用很弱;在溶液浓

表 1 不同盐胁迫对紫花苜蓿种子发芽率的影响

Table 1 Effects of different salt stresses on seed germination rate of *Medicago sativa*

盐分浓度(mmol/L) Saline concentration (mmol/L)	盐分 Salt					
	NaCl	Na ₂ SO ₄	KCl	K ₂ SO ₄	CaCl ₂	NaHCO ₃
0	0.93±0.03 a	0.93±0.03 a	0.93±0.03 a	0.94±0.03 a	0.94±0.03 a	0.94±0.03 a
25	0.91±0.02 a	0.89±0.03 b	0.92±0.02 a	0.92±0.03 a	0.95±0.03 a	0.90±0.02 b
50	0.90±0.01 a	0.89±0.02 b	0.92±0.02 a	0.92±0.01 a	0.94±0.04 a	0.84±0.03 c
100	0.78±0.06 b	0.25±0.01 c	0.91±0.00 a	0.72±0.08 b	0.91±0.02 a	0.06±0.02 d
150	0.46±0.07 c	0.01±0.01 d	0.91±0.01 a	0.43±0.02 c	0.81±0.04 b	0.00
200	0.16±0.03 d	0.00	0.75±0.05 b	0.07±0.07 d	0.58±0.04 c	0.00
250	0.05±0.03 e	0.00	0.73±0.02 b	0.00	0.18±0.03 d	0.00
300	0.00	0.00	0.16±0.05 c	0.00	0.02±0.01 e	0.00

注: 同列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著

Note: Different letters in the same column indicated significant difference at the 0.05 level

表 2 不同盐胁迫对紫花苜蓿种子发芽指数的影响

Table 2 Effects of different salt stresses on seed germination index of *Medicago sativa*

盐分浓度(mmol/L) Saline concentration (mmol/L)	盐分 Salt					
	NaCl	Na ₂ SO ₄	KCl	K ₂ SO ₄	CaCl ₂	NaHCO ₃
0	81.73±1.58 a	81.73±1.94 a	81.73±1.94 a	88.60±4.67 a	88.60±4.67 a	88.60±4.67 a
25	67.06±2.69 b	47.42±3.62 b	65.05±0.35 b	69.39±0.19 b	84.15±4.87 b	78.72±2.99 b
50	60.06±0.42 c	34.47±1.45 c	58.41±4.18 c	62.26±2.73 c	81.44±3.35 c	58.49±2.64 c
100	40.38±3.47 d	7.12±0.73 d	49.57±2.63 d	34.83±3.13 d	66.33±3.31 d	3.28±0.25 d
150	17.16±3.73 e	0.00	41.28±5.86 e	15.92±1.36 e	48.28±2.34 e	0.00
200	5.20±0.95 f	0.00	37.47±1.92 f	2.18±0.54 f	22.74±2.58 f	0.00
250	1.23±0.57 g	0.00	25.56±2.53 g	0.00	6.04±0.91 g	0.00
300	0.00	0.00	3.70±1.33 k	0.00	0.76±0.50 k	0.00

注: 同列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著

Note: Different letters in the same column indicated significant difference at the 0.05 level

表 3 紫花苜蓿种子对不同盐溶液的耐受极限浓度

Table 3 The limiting concentration of seed of *Medicago sativa* for different salt solutions

溶液 Solution	回归方程 Regression equation	R ²	半致死浓度(mmol/L) Medial lethal concentration (mmol/L)	极限浓度(mmol/L) Limiting concentration (mmol/L)
NaCl	y=0.000 9x ² -0.56x+82.867 2	0.993 26	86.6	190.97
Na ₂ SO ₄	y=0.003 2x ² -1.022 6x+77.252 3	0.985 61	40.37	92.84
KCl	y=0.000 25x ² -0.282 7x+76.202	0.943 55	148.36	347.31
K ₂ SO ₄	y=0.001 2x ² -0.663 5x+88.488 9	0.995 46	69.24	160.68
CaCl ₂	y=-0.000 07x ² -0.303 4x+92.662 5	0.980 55	153.93	260.55
NaHCO ₃	y=0.002 5x ² -1.046 3x+96.013 6	0.943 61	57.26	114.77

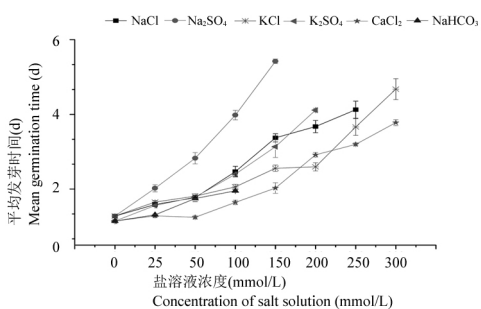


图 1 不同盐处理对紫花苜蓿种子平均发芽时间的影响

Figure 1 Effects of different salt treatments on mean germination time of *Medicago sativa*

度为 50 mmol/L 时, 种子萌发平均发芽日数显著增加($p < 0.05$) 种子萌发受到抑制。不同盐溶液对种子萌发平均发芽时间的影响差异显著($p < 0.05$), 六种盐溶液对种子平均发芽时间影响依次为: Na₂SO₄ > K₂SO₄ > NaCl > KCl > NaHCO₃ > CaCl₂。

1.1.4 不同盐胁迫对紫花苜蓿种子萌发相对盐害率的影响

不同盐胁迫对种子萌发的毒害作用不同, 各盐

胁迫对种子萌发的毒害作用随着盐浓度的升高而增加(图 2)。盐溶液浓度为 50 mmol/L 时, 除 NaHCO₃ 和 Na₂SO₄ 外其他盐溶液对种子萌发的毒害作用并不明显; 当溶液浓度为 100 mmol/L 时, NaCl、NaHCO₃ 等溶液对紫花苜蓿种子的相对盐害率升高, 毒害作用显著增强。方差分析表明, 用不同浓度的盐溶液处理种子, 种子相对盐害率差异显著($p < 0.05$)。不同盐胁迫对种子相对盐害率的大小顺序为 NaH-

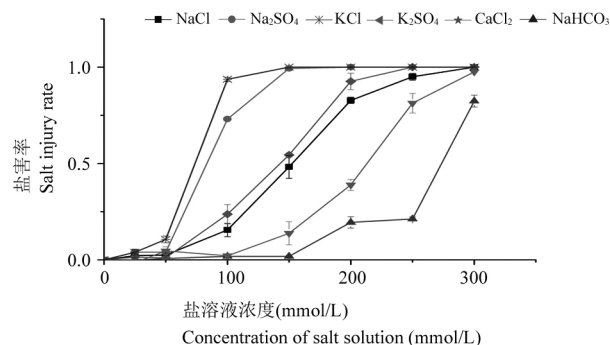


图 2 不同盐处理对紫花苜蓿种子的盐害作用

Figure 2 The injury of different salt treatments to *Medicago sativa*

$\text{CO}_3 > \text{Na}_2\text{SO}_4 > \text{K}_2\text{SO}_4 > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2 > \text{KCl}$ 。

1.2 不同盐胁迫对紫花苜蓿幼根生长的影响

根的生长状况是研究盐胁迫对植物生长影响的重要指标。六种盐分胁迫对幼根生长皆有抑制作用(图3)。不同种类的盐胁迫对幼根生长的影响不同,碳酸氢钠溶液在 25 mmol/L 时对根长的抑制率达到 63%,当浓度为 100 mmol/L 时达到 100%抑制,对幼根生长的抑制作用明显强于其他盐分(图3)。试验显示,硫酸盐对幼根的抑制作用高于氯盐。而在氯化盐中,当溶液浓度为 50 mmol/L 时氯化钠(22%)的抑制作用强于氯化钾(8%)和氯化钙(15%)。不同盐分胁迫下使幼根停止生长的溶液浓度分别为:硫酸钠 150 mmol/L,氯化钾和硫酸钾为 200 mmol/L,氯化钙和氯化钠为 250 mmol/L。由此可见,紫花苜蓿幼根对

氯化钠和氯化钙的耐性更强。

1.3 不同盐胁迫对紫花苜蓿种子萌发的综合影响

将同种盐胁迫同一浓度下的三个发芽指标:平均发芽时间、相对盐害率及根长相对抑制率进行主成分分析,把三个变量综合成一个主成分,命名为综合胁迫指数。对不同盐处理的综合胁迫指数进行方差分析,与对照组有显著差异的($p < 0.05$)的处理浓度为该类型盐胁迫下紫花苜蓿种子发芽的近似初始反应浓度。紫花苜蓿种子萌发对不同盐胁迫的近似初始反应的浓度分别为:NaCl 25 mmol/L,Na₂SO₄ 25 mmol/L,KCl 50 mmol/L,K₂SO₄ 50 mmol/L,CaCl₂ 100 mmol/L,NaHCO₃ 25 mmol/L(图4)。

1.4 不同离子对紫花苜蓿种子萌发的影响

对紫花苜蓿种子萌发过程中不同盐溶液的综合胁迫指数进行方差分析,结果表明同 Na⁺ 浓度下,Na₂SO₄ 对紫花苜蓿种子萌发的抑制作用显著强于 NaCl ($p < 0.01$);K₂SO₄ 和 KCl 处理组之间的比较,也得出相同的结果,所以可以认为 SO₄²⁻ 对紫花苜蓿种子萌发的影响显著强于 Cl⁻。NaHCO₃ 较同浓度的 NaCl 和 1/2 浓度的 Na₂SO₄ 溶液对种子萌发的抑制作用更为显著($p < 0.01$),即同 Na⁺ 浓度下 HCO₃⁻ 对紫花苜蓿种子萌发的抑制作用显著强于 Cl⁻ 和 SO₄²⁻。所以在相同 Na⁺ 浓度下,Cl⁻、SO₄²⁻、HCO₃⁻ 三种阴离子对紫花苜蓿种子萌发的抑制作用从大到小依次为: HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > Cl⁻。

Na₂SO₄ 和 K₂SO₄ 处理组进行比较,结果显示,

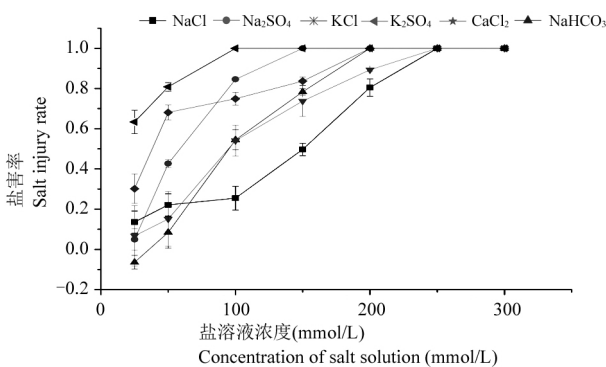


图3 不同盐处理对紫花苜蓿幼根的影响

Figure 3 Effects of different salt treatments on radical length of *Medicago sativa*

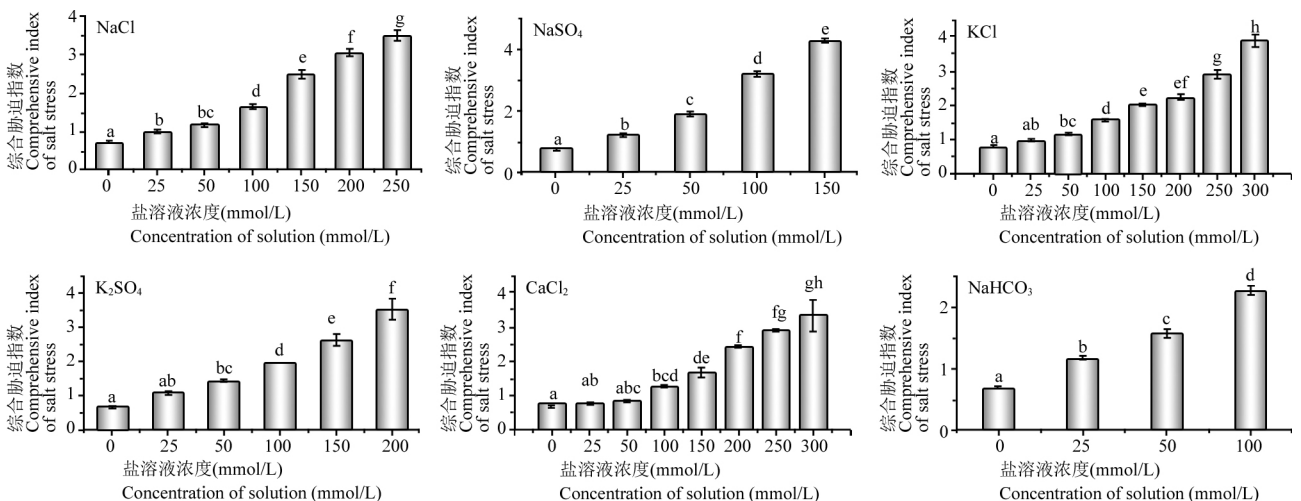


图4 不同盐溶液对紫花苜蓿的综合影响作用

注: 不同字母表示在 0.05 水平上差异显著

Figure 4 Comprehensive effects of different salt solutions on *Medicago sativa*

Note: The different letters indicated that the difference was significant at 0.05 level

Na₂SO₄ 对紫花苜蓿种子萌发的抑制作用显著强于 K₂SO₄ ,NaCl 和 KCl 处理组比较结果与前者一致 ,所以 Na⁺对紫花苜蓿种子萌发的影响显著强于 K⁺($p < 0.01$)。以 CaCl₂ 和同浓度的 NaCl 和 KCl 处理组进行比较 ,使三种溶液处理中阳离子浓度保持一致 ,结果显示 ,同浓度下 ,NaCl 对紫花苜蓿种子萌发的抑制作用最大 ,再次为 KCl ,CaCl₂ 的抑制作用最小($p < 0.01$)。所以可以认为相同 Cl⁻ 浓度下 ,Na⁺、K⁺、Ca²⁺ 三种阳离子对紫花苜蓿种子萌发的抑制作用由大到小依次为 :Na⁺>K⁺>Ca²⁺。

2 讨论

盐胁迫对植物种子萌发的影响程度与盐分种类、浓度及植物本身的耐盐能力有关(管博等, 2011)。本试验研究结果表明 ,不同盐胁迫对紫花苜蓿种子萌发皆有抑制作用 ,这与高战武等(2016)对紫花苜蓿的研究结果一致。并且 NaHCO₃ 胁迫对紫花苜蓿种子萌发的抑制作用强于其他中性盐分 ,王康英(2013)、张利霞等(2015)的研究也得出了相同的结果。同种盐胁迫下 ,随着盐浓度的升高 ,对种子萌发的抑制作用也增强 ,这一结果与张海南等(2013)的研究结果一致。研究中发现 ,在阴离子浓度等量情况下 ,不同阳离子对植物萌发抑制作用的大小依次为 :Na⁺>K⁺>Ca²⁺ ,这一结果与吕杰等对黄瓜幼苗的研究结果一致(吕杰等, 2007) ,在阳离子等量时 ,不同阴离子紫花苜蓿种子萌发的抑制作用大小依次为 :HCO₃⁻>SO₄²⁻>Cl⁻ ,这一结果与 Sosa 等(2005)对 *Prosopis strombulifera*、Zhang 等(2014)对驼绒藜和叉毛蓬、张颖超等(2013)对白花草木犀及王康英(2013)对中华羊茅的研究结果一致。

紫花苜蓿种子萌发对不同盐胁迫的耐受阈值不同 ,盐溶液浓度在 25 mmol/L 时 ,NaCl、Na₂SO₄ 和 NaHCO₃ 三种盐溶液对紫花苜蓿种子产生显著胁迫作用 ,KCl 和 K₂SO₄ 溶液在浓度达到 50 mmol/L 时开始对紫花苜蓿种子产生显著胁迫 ,CaCl₂ 溶液在浓度达到 150 mmol/L 时开始对紫花苜蓿种子产生胁迫作用 ,根据紫花苜蓿种子对不同盐碱胁迫的初始反应浓度及极限耐受浓度不同 ,可以选择在适宜的盐碱化土壤中种植 ,用于盐碱化土壤的改良。本研究结果可以为青海省盐碱化土壤改良中优质牧草的选种提供数据参考。

3 材料与方法

3.1 试验材料

供试紫花苜蓿“中苜 3 号”种子由青海大学畜牧

科学院提供 ,试验用药品 NaCl、Na₂SO₄、KCl、K₂SO₄、CaCl₂、NaHCO₃ 均为分析纯。

3.2 试验方法

选取饱满健康的紫花苜蓿种子作为试验材料 ,供试种子先用 0.3% KMnO₄ 溶液浸泡消毒 30 min ,再用无菌蒸馏水冲洗 4~5 次 ,用滤纸吸干备用(李荣峰等, 2013; 彭建等, 2015)。在干净培养皿(直径 9 cm)中放入双层滤纸 ,高压蒸汽灭菌后 ,皿内分别添加不同浓度的盐溶液(NaCl, Na₂SO₄, KCl, K₂SO₄, CaCl₂, NaHCO₃)至滤纸饱和 ,每种盐溶液设置 8 个处理(CK, 25 mmol/L, 50 mmol/L, 100 mmol/L, 150 mmol/L, 200 mmol/L, 250 mmol/L, 300 mmol/L) ,每处理设 3 次重复。每培养皿放入 100 粒种子 ,加盖后置于室温、自然光条件下培养。每天用 3 mL 溶液冲洗滤纸 ,然后吸出处理液 ,再加入少量处理液保持滤纸湿润 ,以保证培养皿内盐溶液浓度相对恒定。

以胚根突破种皮 2 mm 为发芽标准。逐天统计累计发芽种子数 ,按照国家标准 GB-T 2930.4-2001《牧草种子检验规程》国家标准 ,苜蓿种子发芽计数 10 天。末次计数后 ,每培养皿随机选取 20 株幼苗 ,测量其根长 ,计算平均值。随后根据以下公式计算发芽率 ,发芽指数(杨丹娜等, 2015) ,盐害率(张利霞等, 2015; 伊丽米努尔等, 2015)、根长抑制率及平均发芽时间 :

$$\text{发芽率(GP)} = \text{发芽种子数} / \text{供试种子数} \times 100\%$$

$$\text{盐害率} = (\text{GP 对照} - \text{GP 处理}) / \text{GP 对照} \times 100\%$$

$$\text{发芽指数(GI)} = \sum (Gt/Dt)$$

$$\text{根长相对抑制率} = (\text{对照组平均根长} - \text{处理组平均根长}) / \text{对照组平均根长} \times 100\%$$

$$\text{平均发芽时间} = \sum (Gt \times Dt) / G$$

所有公式中 :Gt 为第 t 天发芽种子数 ,Dt 为对应的发芽天数 ,G 为发芽率。

3.3 数据分析

实验数据用 Excel 录入并处理 ,用 Origin 9 进行统计分析并作图。

作者贡献

王建科是本研究的试验设计和试验研究的执行人 ,并负责数据分析和论文撰写 ;李毅、胡延萍、石琳、柴文秀及王钧参与实验材料的收集及前处理等工作 ;王莉是本研究的通讯作者 ,主要负责试验方案的构思、论文修改及最后审阅。全体作者都阅读并同意最终的文本。

致谢

本研究由青海省科技计划项目(2014-NK-A4-2-1)和国家自然科学基金项目(31300269)共同资助。

参考文献

- Gao Z.W., Li W.K., Wang X.L., Zhao M.Q., Chen C.H., An J.Y., Liu Y.S., Liu D.D., Sun Z.R., and Mu C.S., 2016, Effect of six single salt stresses on germination of *Medicago sativa*, Baicheng Shifan Xueyuan Xuebao (Journal of Baicheng Normal University), 30(5): 27-33, 38 (高战武, 郦文凯, 王晓琳, 赵美琪, 陈纯海, 安佳雨, 刘玉石, 刘丹丹, 孙子尧, 穆春生, 2016, 六种单盐胁迫对紫花苜蓿种子萌发的影响, 白城师范学院学报, 30(5): 27-33, 38)
- Guan B., Li Y.Z., Yu J.B., and Lu Z.H., 2011, Germination strategies of *Suaeda salsa* at different temperature and under different salt stress, Shentaxue Zazhi (Chinese Journal of Ecology), 30(7): 1411-1416 (管博, 栗云召, 于家宝, 陆兆华, 2011, 不同温度及盐碱环境下盐地碱蓬的萌发策略, 生态学杂志, 30(7): 1411-1416)
- Li R.F., Lan Y.L., Zeng X.B., and Wei J.F., 2013, effect of different disinfection methods and soaking with aluminum on seeds germination of *Jatropha curcas* L., Zhongzi (Seed), 32(2): 5-8 (李荣峰, 蓝业琳, 曾小颀, 韦剑锋, 2013, 不同消毒方法及铝浸种对麻疯树种子萌发的影响, 种子, 32(2): 5-8)
- Lv J., Wang X.F., Wei M., Yang F.J., Gao Q.H., Du D.L., and Yang X.Y., 2007, Effect of different salt treatments on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings, Zhiwu Yingyang Yu Feiliao Xuebao (Plant Nutrition and Fertilizer Science), 13(6): 1123-1128 (吕杰, 王秀峰, 魏珉, 杨凤娟, 高青海, 杜栋梁, 杨晓玉, 2007, 不同盐处理对黄瓜幼苗生长及生理特性的影响, 植物营养与肥料学报, 13(6): 1123-1128)
- Peng J., Luo F.C., Xu W.H., Duan X.H., He C., and Guo F.G., 2015, Effects of different disinfection reagents on *Setraua sphacelata* cv. 'Narok' seed germination, Zhongzi (Seed), 34(2): 17-23 (彭健, 罗富成, 许文花, 段新慧, 何超, 郭凤根, 2015, 不同消毒剂对非洲狗尾草种子萌发的影响, 种子, 34(2): 17-23)
- Sosa L., Llanes A., Reinoso H., Reginato M., and Luna V., 2005, Osmotic and specific ion effects on the germination of *Prosopis strombulifera*, Ann. Bot., 96(2): 261-267
- Wang K.Y., 2013, Effects of three sodium salt stress on seed germination of *Festuca sinensis*, Guizhou Nongye Kexue (Guizhou Agricultural Sciences), 41(3): 108-111 (王康英, 2013, 3种钠盐胁迫对中华羊茅种子萌发的影响, 贵州农业科学, 41(3): 108-111)
- Wang W.C., Liu L., Wang S.X., Wei Z., Huang Y.Z., Li P.Q., and Cui H.B., 1990, Flora of China (Tomus 42), Science Press, Beijing, China, pp.323-324 (王文采, 刘亮, 王蜀秀, 韦直, 黄以之, 李佩琼, 崔鸿宾, 1990, 中国植物志(第42卷), 科技出版社, 中国, 北京, pp.323-324)
- Xu W.D., Wu L.Z., Chen H., Li H.P., and Fan G.A., 2009, The way to salinization improvement of southern margin of the Qaidam Basin Nuomuhong farm, Hebei Dizhi (Hebei Geology), (3): 28-30 (许文鼎, 武立战, 陈洪, 李洪普, 范国安, 2009, 柴达木盆地南缘诺木洪农场盐碱化改良的途径, 河北地质, (3): 28-30)
- Yang D.N., Luo Y.F., Xie J.Q., Zhang Q., and Yang L., 2015, Effects of acidity and/or aluminum stresses on seed germination and seeding growth of alfalfa, Caoye Xuebao (Acta Prataculturae Sinica), 24(8): 104-109 (杨丹娜, 骆夜烽, 谢家琪, 张钦, 杨烈, 2015, 酸, 铝胁迫对苜蓿种子发芽和幼苗生长的影响, 草业学报, 24(8): 104-109)
- Yiliminuer, Maimaiti A., Taxi Z., and Cyffka B., 2015, Seed germination characteristics of *Populus euphratica* from different provenances under NaCl stress, Xibei Linxueyuan Xuebao (Journal of Northwest Forestry University), 30(6): 88-94 (伊丽米努尔, 艾力江, 麦麦提, 卓热木·塔西, 2015, NaCl胁迫下不同种源胡杨种子萌发特性, 西北林学院报, 30(6): 88-94)
- Yu Z.X., Geng K., Hou J.H., and Zhang Y.H., 2013, Effect of salt stress on seed germination of different sunflower., Zhongzi (Seed), 32(10): 29-33 (于志贤, 耿稞, 侯建华, 张永虎, 2013, 盐胁迫对不同基因型向日葵种子萌发的影响, 种子, 32(10): 29-33)
- Zhang H.N., Zhou Q.P., Yan H.B., Liang, G.L., and Liu W.H., 2013, Effects of salt stress on germination of five *Puccinellia distans* materials, Caoye Kexue (Pratacultural Science), 30(11): 1767-1770 (张海南, 周青平, 颜红波, 梁国玲, 刘文辉, 2013, 盐胁迫对5种碱茅材料种子萌发的影响, 草业科学, 30(11): 1767-1770)
- Zhang H.X., Zhang G.M., Lü X.T., Zhou D.W., and Han X.G., 2014, Salt tolerance during seed germination and early seedling stages of 12 halophytes, Plant and Soil, 388(1-2): 229-241
- Zhang L.X., Chang Q.S., Hou X.G., Zhao W., Hong Y.P., and Dai P.F., 2015, Effects of sodium salt stress on seed germination of *Prubnella vulgaris*, Caoye Xuebao (Acta Prataculturae Sinica), 24(3): 177-186 (张利霞, 常青山, 侯小改, 赵威, 洪亚平, 戴攀峰, 李小鹏, 张耀, 2015, 不同钠盐胁迫对夏枯草种子萌发特性的影响, 草业学报, 24(3): 177-186)
- Zhang X.Y., Chen Z.L., Liu Q., and Mu Z.X., 2012, Effect of salt stress on the germination of *Zoysia japonica* and *Festuca*

arundinacea seeds, *Zhongzi (Seed)*, 31(9): 4-7 (张学勇, 陈忠林, 刘强, 穆中学, 2012, 盐胁迫对结缕草和高羊茅种子萌发的影响, *种子*, 31(9): 4-7)

Zhang Y.C., Jia Y.S., and Ren Y.X., 2013, Effects of different

sodium salt stress on seed germination of sweetclover, *Caoye Kexue (Pratacultural Science)*, 30(12): 2005-2010 (张颖超, 贾玉山, 任永霞, 2013, 钠盐胁迫对白花草木樨种子发芽的影响, *草业科学*, 30(12): 2005-2010)



Bioscience Methods (BM)



Bioscience Methods (ISSN 1925-1920) is an open access, peer reviewed journal published online by BioPublisher. The journal publishes all the latest and outstanding research articles, letters and reviews in all areas of bioscience, the range of topics including (but are not limited to) technology review, technique know-how, lab tool, statistical software and known technology modification. Case studies on technologies for gene discovery and function validation as well as genetic transformation. The standard article processing charges (APC) collected by BioPublisher is 1 200 CAD per article. Authors from low-income countries and areas or having financial difficulties can apply the discount for APC upon submission, and if the authors are qualified to be waived they don't necessarily pay the APCs. We do not want fees to prevent the publication of worthy work.

Email: edit@bm.biopublisher.ca

Web: <http://bm.biopublisher.ca>