

冯梅,张世卿,曹亚军,等.盐胁迫对红花种子萌发及幼苗的生理效应[J].江苏农业科学,2020,48(22):144-148.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.22.027

# 盐胁迫对红花种子萌发及幼苗的生理效应

冯梅<sup>1</sup>,张世卿<sup>2</sup>,曹亚军<sup>1</sup>,肖莉娟<sup>1</sup>,黄鹏<sup>1</sup>,王华强<sup>1</sup>,陈刚<sup>1</sup>

(1.新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所,新疆阿拉尔 843300; 2.新疆生产建设兵团第一师农业技术推广站,新疆阿拉尔 843300)

**摘要:**以红花种子为试材,运用不同浓度的 NaCl 溶液进行萌发试验,了解盐胁迫对种子萌发生理规律及幼苗的生理效应。结果表明,红花种子吸水系数与时间呈正相关,且前 8 h 内各时间点之间差异显著。随着盐浓度的增加,种子的萌发率、萌发势、相对萌发率和相对萌发势总体呈递减的趋势,相对盐害率呈增加的趋势,且各处理间差异显著。根长、芽长与盐浓度呈负相关,芽相对抑制率和根相对抑制率与盐浓度呈正相关,且差异极显著。除根芽比外,其他萌发指标与盐浓度呈显著/极显著相关性。叶绿素含量随盐浓度的增加呈倒“V”形变化。可溶性糖和可溶性蛋白含量与盐胁迫呈显著正相关。POD 活性与盐胁迫呈显著正相关;CAT 活性、SOD 活性随盐浓度的增加呈倒“V”形变化,MDA 含量变化趋势相反。由此可见,红花种子具有一定的耐盐能力,但随盐胁迫增强,红花种子的萌发受到抑制。

**关键词:**红花种子;盐胁迫;萌发规律;生理效应

**中图分类号:**S567.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)22-0144-05

土壤盐渍化日趋严峻,已成为世界性难题,严重影响植物正常的生长发育<sup>[1-3]</sup>。全球盐渍化土壤约为 9.5 亿  $\text{hm}^2$ <sup>[4-5]</sup>,而我国盐渍化土壤就有 3 600 万  $\text{hm}^2$ ,其中耕地性土壤占 1/4,主要分布在西北、华北、东北和滨海等地<sup>[6]</sup>。通过对耐盐性植物的研究,合理开发和利用盐渍化土壤,并在此基础上改良盐渍化土壤,最终达到改变生态环境的目的。

目前,国内主要在盐渍化土壤上种植的有农作物、树木和牧草,而药用植物相对较少<sup>[7-10]</sup>。红花为菊科红花属 1~2 年生草本耐盐碱植物,在我国栽培历史悠久,分布较广,其研究主要集中在成分及药理等方面<sup>[11-14]</sup>,具有活血通经、止痛散瘀的功效,其种子含油率极高,长期食用者可以有效降低身体胆固醇和血脂的含量;而在耐盐性方面的研究较

少<sup>[15-19]</sup>。本试验通过研究不同浓度的 NaCl 溶液对红花种子萌发生理规律及幼苗的生理效应,确定红花最适生长盐浓度,为红花盐渍地栽培提供理论依据,同时为合理利用盐渍化土壤提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究材料

红花种子由安国市龙飞种子经营部提供,于当年 4 月在新疆生产建设兵团第一师农业科学研究所试验楼进行试验,试验所用 NaCl 为分析纯。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 种子形态观测** 在解剖镜下观察种子结构,并称取种子的千粒质量。

**1.2.2 吸水试验** 在蒸馏水中浸种 24 h,前 12 h 每 2 h 称质量 1 次,之后每 12 h 称质量 1 次,重复 3 次。

$$\text{吸水系数} = (m_w - m_d) / m_d$$

式中: $m_w$  为 30 粒种子浸泡后质量; $m_d$  为 30 粒种子

收稿日期:2020-03-18

作者简介:冯梅(1987—),女,四川蓬溪人,硕士,主要从事果树栽培与生理的研究。E-mail:528186822@qq.com。

究[J].沈阳农业大学学报,2007,38(4):605-608.

[23]苏军德,勾晓华,曹宗英,等.祁连山圆柏光合作用日变化特征及其与生理生态因子的关系[J].西北植物学报,2011,31(5):1011-1017.

[24]陈睿.季节性干旱对反枝苋和大豆光合特性及其竞争机制的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2019:16-17.

[25]孙旭生,林琪,刘义国,等.不同施氮量对超高产小麦灌浆期光合日变化的影响[J].华北农学报,2008,23(1):158-162.

[26]胡利明.柑橘光合特性研究及光合途径的初步探讨[D].武汉:华中农业大学,2007.

[27]张峰,周广胜.玉米农田冠层光合参数的多光谱遥感反演[J].植物生态学报,2014,38(7):710-719.

[28]孟丽萍,叶燕萍,王泽平,等.不同甘蔗新品系光合性状的比较研究[J].广西农业科学,2009,40(10):1292-1295.

[29]解婷婷,苏培玺.干旱区不同土地类型下甜高粱叶片光合特性和水分利用效率[J].中国农业科学,2011,44(2):271-279.

初始质量。

1.2.3 种子预处理 将选取好的种子(大小均匀且饱满)放入高锰酸钾溶液中浸泡消毒 1~3 min,取出后用蒸馏水反复冲洗 3~5 次,吸干种子表面多余的水分,备用。

1.2.4 试验设计 本试验在 25 ℃ 全光照<sup>[20]</sup>、光照度为 60% 和湿度为 60% 的人工气候箱内进行。将培养皿内放入 2 层无菌滤纸作为萌芽床。盐浓度设 5 个处理,分别为 NaCl 浓度 50、150、250、350 mmol/L,蒸馏水为对照(CK)。每个处理 3 次重复,每个重复 30 粒种子,并一一加入 7 mL 溶液。之后用蒸馏水来代替被蒸发的水。每天对试验情况进行观测,若连续 5 d 种子无新萌发状况,则该试验结束。

1.2.5 测定指标 试验结束后,测定根、芽的长度,并计算种子的萌发率、萌发势、相对萌发率、相对萌发势、相对盐害率、芽相对抑制率和根相对抑制率,公式如下:

$$\text{萌发率} = n/N \times 100\%$$

式中: $n$  为第 5 天种子萌发数; $N$  为种子总数。

$$\text{萌发势} = \text{前 3 d 种子萌发数} / \text{种子总数} \times 100\%$$

$$\text{相对萌发率} = (\text{对照萌发率} - \text{处理萌发率}) / \text{对照萌发率} \times 100\%$$

$$\text{相对萌发势} = (\text{对照萌发势} - \text{处理萌发势}) / \text{对照萌发势} \times 100\%$$

$$\text{相对盐害率} = 100\% - \text{相对萌发率}$$

$$\text{根(芽)相对抑制率} = | \text{处理根长(芽长)} - \text{CK 根长(芽长)} | / \text{CK 根长(芽长)}$$

1.2.6 生理指标测定 主要测定叶绿素含量<sup>[21-22]</sup>、丙二醛(MDA)含量<sup>[23]</sup>、可溶性糖含量<sup>[24]</sup>、可溶性蛋白含量<sup>[23]</sup>、SOD 活性<sup>[21]</sup>、POD 活性<sup>[25]</sup>和 CAT 活性<sup>[26-27]</sup> 7 个指标。

### 1.3 数据处理

数据采用 DPS 7.55 数据分析软件对红花种子萌发指标及生理指标进行差异显著性比较;在 Excel 2007 下进行图和表格的制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 种子形态

红花种子表面光滑,为米白色或灰色倒卵形瘦果,其外壳坚硬,内有褐色种皮,胚为白色双子叶,种子千粒质量为 46.91 g。

### 2.2 吸水特性

由表 1 可知,30 粒红花种子干质量为 1.42 g,放

入蒸馏水中进行吸水试验。研究表明,种子吸水系数与时间呈正相关,且前 8 h 内各时间点之间差异性显著;说明前 8 h 红花种子吸水速率快,主要进行吸涨吸水;之后种子吸水缓慢,说明 8 h 后种子中的基质已经被水合,这时种子内部开始产生代谢活动<sup>[28]</sup>。因此,在种植红花时应先将种子浸泡 8 h 以上。

表 1 红花种子不同萌发时间下种子质量和吸水系数

时间 (h)	$m_D$ (g)	$m_W$ (g)	吸水系数
0.5	1.42	1.62 ± 0.006 2g	0.14g
2	1.42	1.73 ± 0.006 5f	0.22f
4	1.42	1.77 ± 0.001 7e	0.25e
6	1.42	1.86 ± 0.004 1d	0.31d
8	1.42	1.90 ± 0.004 2c	0.34c
10	1.42	1.92 ± 0.002 4bc	0.35bc
12	1.42	1.93 ± 0.004 3ab	0.36ab
24	1.42	1.94 ± 0.002 8a	0.37a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 2、表 3、表 5 同。

### 2.3 不同浓度 NaCl 溶液对红花种子萌发的影响

由表 2 可见,种子的萌发率、萌发势、相对萌发率和相对萌发势与盐浓度呈负相关,相对盐害率与盐浓度呈正相关,且处理间差异显著,说明红花种子萌发受盐胁迫影响,随盐胁迫增强,种子受盐害率增加,红花种子发芽受抑制愈明显。在 NaCl 溶液浓度为 150 mmol/L 时的种子萌发特性均优于 NaCl 溶液浓度为 50 mmol/L 时,说明红花种子具有一定的耐盐能力。

表 2 不同浓度 NaCl 溶液处理下红花种子萌发质量

NaCl 浓度 (mmol/L)	萌发率 (%)	萌发势 (%)	相对 萌发率 (%)	相对 萌发势 (%)	相对 盐害率 (%)
0	92.8 ± 2.89a	90.4 ± 2.89a	100.00a	100.00a	0.00e
50	88.4 ± 5.77c	85.6 ± 10.00c	95.26c	94.69c	4.74c
150	90.4 ± 13.23b	87.2 ± 2.86b	97.41b	96.46b	2.59d
250	84.0 ± 7.64d	75.2 ± 7.64d	90.52d	83.19d	9.48b
350	59.2 ± 5.00e	20.8 ± 2.54e	63.79e	23.01e	36.21a

### 2.4 不同配比 NaCl 溶液对红花幼苗的影响

由表 3 可见,根长、芽长与盐浓度呈负相关,芽长相对抑制率和根长相对抑制率与盐浓度呈正相关,且差异显著,说明红花幼苗发育受盐胁迫的影响较大,随着盐浓度的增加,根长、芽长均受到了抑制。NaCl 浓度为 0、150、250 mmol/L 与 NaCl 浓度为 50、350 mmol/L 的根芽比差异显著,当 NaCl 浓度

为 0、150、250 mmol/L 时,红花幼苗根生长量大于芽生长量,说明这 3 种溶液中的根和芽生长均受到了抑制,但芽生长受到的抑制率大于根;当 NaCl 浓度为 50、350 mmol/L 时,红花种子芽生长量大于根生长量,说明在这 2 种溶液中,虽然根和芽的生长均受到抑制,但根生长受到的抑制率大于芽。

表 3 不同浓度 NaCl 对红花幼苗的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	根长 (mm)	芽长 (mm)	根芽比	芽相对抑制率 (%)	根相对抑制率 (%)
0	66.90 ± 1.69a	43.40 ± 0.59a	1.54a	0d	0e
50	23.04 ± 3.47b	32.90 ± 60.71b	0.70b	49c	66d
150	21.12 ± 0.68c	12.92 ± 0.43c	1.63a	69b	68c
250	8.05 ± 0.32d	5.12 ± 0.59d	1.57a	88a	88b
350	1.55 ± 0.58e	2.15 ± 0.29e	0.72b	97a	98a

2.5 红花种子萌发及幼苗指标和盐浓度的关系

盐胁迫下萌发及幼苗指标对其响应存在较大差异<sup>[29]</sup>,除根芽比外,红花各指标均与盐浓度存在显著或极显著的正/负相关,且敏感度从大到小依次为芽长 > 萌发率 > 相对萌发率 = 相对盐害率 > 根长 > 萌发势 = 相对萌发势 > 根芽比(表 4)。

表 4 红花萌发指标与盐浓度的相关性分析

指标	相关系数								
	NaCl 浓度	萌发率	萌发势	相对萌发率	相对萌发势	相对盐害率	根长	芽长	根芽比
NaCl 浓度	1.000 0								
萌发率	-0.851 8 *	1.000 0							
萌发势	-0.842 1 *	1.000 0 **	1.000 0						
相对萌发率	-0.851 7 *	1.000 0 **	1.000 0 **	1.000 0					
相对萌发势	-0.842 1 *	1.000 0 **	1.000 0 **	1.000 0 **	1.000 0				
相对盐害率	0.851 7 *	-1.000 0 **	-1.000 0 **	-1.000 0 **	-1.000 0 **	1.000 0			
根长	-0.850 0 *	0.650 0	0.620 0	0.650 0	0.620 0	-0.650 0	1.000 0		
芽长	-0.950 8 **	0.670 0	0.650 0	0.670 0	0.650 0	-0.670 0	0.900 0 *	1.000 0	
根芽比	-0.230 0	0.600 0	0.570 0	0.600 0	0.570 0	-0.600 0	0.380 0	0.050 0	1.000 0

注: \*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平显著相关。

2.5 不同浓度 NaCl 溶液对红花叶绿素含量的影响

植物光合作用机制是复杂的,受叶绿素含量的影响较大<sup>[30]</sup>。由表 5 可见,叶绿素含量随盐浓度的增加呈倒“V”形变化,除 NaCl 浓度为 0、150 mmol/L 之间叶绿素含量差异不显著外,其余各处理间叶绿素含量差异显著。说明低盐胁迫可以促进红花叶绿素含量的增加,但随着 NaCl 浓度增加,叶绿素酶活性增强,叶绿素的降解加快,红花叶绿素含量逐渐减少<sup>[31]</sup>。

表 5 不同浓度 NaCl 溶液处理下红花叶片生理指标的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	叶绿素含量 (mg/g)	可溶性糖含量 (mg/g)	可溶性蛋白含量 (mg/g)	SOD 活性 (U/g)	POD 活性 (U/g)	CAT 活性 [U/(g · min)]	MDA 含量 (mg/g)
0	1.11 ± 0.093 4b	0.519 ± 0.001 4e	3.3 ± 0.031 4e	506.97 ± 51.65b	28.48 ± 0.620 9e	73.96 ± 2.244 6b	4.50 ± 0.35b
50	1.31 ± 0.051 3a	0.727 ± 0.002 5d	3.5 ± 0.019 4d	519.60 ± 32.14a	48.17 ± 1.073 4d	85.69 ± 1.108 7a	2.71 ± 0.25e
150	1.12 ± 0.068 0b	1.090 ± 0.009 5c	4.2 ± 0.043 1c	467.62 ± 42.67c	87.55 ± 1.078 2c	77.15 ± 4.152 7c	3.78 ± 0.40d
250	1.03 ± 0.048 0c	1.557 ± 0.008 9b	4.6 ± 0.030 3b	428.27 ± 38.93d	126.94 ± 3.833 7b	68.61 ± 3.806 5d	4.31 ± 0.22c
350	1.00 ± 0.049 0d	1.972 ± 0.009 6a	5.0 ± 0.045 0a	388.92 ± 52.19e	166.32 ± 3.748 9a	60.07 ± 3.227 4e	4.85 ± 0.28a

2.6 不同浓度 NaCl 溶液对红花渗透调节的影响

由表 5 可见,可溶性糖和可溶性蛋白含量与盐胁迫呈极显著正相关,说明随着 NaCl 浓度的增加,红花通过增加可溶性糖和可溶性蛋白含量来调节细胞汁液浓度、细胞水势,以提高其从外界获取水分的能力,从而降低对自身的伤害<sup>[32-33]</sup>。

## 2.7 不同浓度 NaCl 溶液对红花抗氧化系统和 MDA 含量的影响

盐胁迫下,植物氧代谢失衡,大量活性氧产生,导致细胞膜脂过氧化,植物膜受害<sup>[34]</sup>,而以 SOD、POD 和 CAT 为主的保护酶,可以有效地清除植物膜系统伤害。由表 5 可见,POD 活性与盐浓度呈极显著正相关,CAT 和 SOD 活性随盐浓度增加呈倒“V”形变化;在 NaCl 浓度为 50 mmol/L 时,CAT 活性、SOD 活性最大,且各处理间差异极显著。说明在低浓度的 NaCl 溶液中,红花通过增强 CAT、SOD 活性,来减少盐胁迫造成的伤害,从而提高耐盐性。

盐胁迫下,细胞膜中积累了许多有害的过氧化物产物如 MDA,会进一步造成细胞结构和功能受到损伤,甚至导致细胞凋亡<sup>[35]</sup>。由表 5 可见,MDA 含量随盐胁迫增强呈先减少后增加的趋势,且各处理间差异极显著,说明在低浓度的盐胁迫下,保护酶防御系统能在一定程度上降低膜脂质过氧化程度,减少丙二醛的产生;而在高浓度的盐胁迫下,保护酶防御系统会遭到破坏,使得细胞膜质过氧化程度越深,丙二醛增加。

## 3 讨论与结论

### 3.1 红花种子吸水规律

本试验结果表明,红花种子在前 8 h 内吸水速率快,之后逐渐减缓,说明种子吸水能力较弱,这可能与其坚硬的外壳及较高油分<sup>[36]</sup>有关,需要较长时间的吸水才能使种子内部基质达到水合。因此在开始萌发试验前,应先将种子浸泡 8 h 或以上,有利于种子的萌发。

### 3.2 盐逆境对种子萌发规律的影响

NaCl 浓度与红花种子萌发率、萌发势、相对萌发率和相对萌发势呈负相关,与相对盐害率呈正相关,说明红花种子萌发受 NaCl 浓度的影响,这与陈友强等的研究结果<sup>[37]</sup>一致。但本研究发现,在 NaCl 溶液浓度为 150 mmol/L 时的种子萌发率、萌发势、相对萌发率和相对萌发势,均大于 50 mmol/L 时的 NaCl 溶液浓度,说明红花种子具有一定的耐盐能力。

### 3.3 盐逆境对幼苗生长的影响

盐胁迫不仅影响种子萌发,同时也影响幼苗的生长。在本试验中,根长、芽长与盐浓度呈负相关,芽相对抑制率和根相对抑制率与盐浓度呈正相关,且差异极显著,说明盐浓度的增加,红花根、芽生长均受到了抑制,与张利霞等的研究结果<sup>[38]</sup>一致。

NaCl 浓度为 0、150、250 mmol/L 与 NaCl 浓度为 50、350 mmol/L 的根芽比差异显著,当 NaCl 浓度为 0、150、250 mmol/L 时,红花种子根生长量大于芽生长量;当 NaCl 浓度为 50、350 mmol/L 时,红花种子芽生长量大于根生长量,这可能与不同盐浓度影响红花对同化物的分配<sup>[29]</sup>。

### 3.4 盐逆境对叶绿素含量的影响

叶绿素含量是众多植物衡量其自身抗逆性的指标之一<sup>[39]</sup>。本研究发现,低盐(NaCl ≤ 50 mmol/L)胁迫下,叶绿素含量呈增加趋势,说明红花具有一定的耐盐性;而高盐(NaCl > 50 mmol/L)胁迫下,叶绿素含量显著下降,可能由于叶绿素降解酶活性增强而代谢叶绿素,从而使叶绿体结构受到损害<sup>[40-41]</sup>。

### 3.5 盐逆境对红花渗透调节的影响

盐逆境下,植物通过渗透调节物质来维持细胞内外的水分平衡,同时保护许多重要的酶活性<sup>[42]</sup>。本试验中可溶性糖和可溶性蛋白含量与盐胁迫呈极显著正相关,这与谢福春等的研究结果<sup>[43]</sup>相似,红花体内通过积累可溶性糖和可溶性蛋白来提高细胞液浓度,提高细胞吸水或保水能力,从而降低对自身的伤害<sup>[44]</sup>。

### 3.6 盐逆境对红花抗氧化系统的影响

植物为了保证其正常的代谢机能,本身对氧化伤害具有一定的适应能力和抵御能力<sup>[45]</sup>。本研究表明,低浓度的盐胁迫可增强 POD、CAT 和 SOD 活性,来减弱体内有害物质 CAT 的活性,这与刘建新的研究结果<sup>[46]</sup>一致。随着盐浓度增加,CAT 和 SOD 活性逐渐减弱,植物体内抗氧化系统被破坏,有害物质 CAT 活性增强,这又与高武军等的研究结论<sup>[17,47]</sup>一致。

## 参考文献:

- [1] Xiong L, Schumaker K S, Zhu J K. Cell signaling during cold, drought, and salt stress [J]. *The Plant Cell*, 2002, 14 (Suppl): 165 - 183.
- [2] Shereen A, Mumtaz S, Raza S, et al. Salinity effects on seedling growth and yield components of different inbred rice lines [J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2005, 37: 131 - 139.
- [3] Darwish E, Testerink C, Khalil M, et al. Phospholipid signaling responses in salt-stressed rice leaves [J]. *Plant & Cell Physiology*, 2009, 50(5): 986 - 997.
- [4] Giuseppe C, Youssef R, Leonardi C, et al. Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions [J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 127(2): 147 - 155.
- [5] 张剑锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基

- 本措施[J]. 水土保持研究,2005,12(6):28-30,107.
- [6]贾敬敦,张 富. 依靠科技创新推动我国盐碱地资源可持续利用[J]. 中国农业科技导报,2014,16(5):1-7.
- [7]刘玉兰,段开怀,李 皖,等. 盐胁迫对野生稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国稻米,2017,23(6):60-63.
- [8]王征宏,孔祥生,吕淑芳,等. 盐胁迫下大豆叶片有机物质及荧光参数的变化[J]. 河南科技大学学报(农学版),2003,23(4):30-31,34.
- [9]莫海波,殷云龙,芦治国,等. NaCl 胁迫对四种豆科树种幼苗生长和  $K^+$ 、 $Na^+$  含量的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(5):1155-1161.
- [10]谢振宇,杨光穗. 牧草耐盐性研究进展[J]. 草业科学,2003,20(8):11-17.
- [11]扈晓佳,殷 莎,袁婷婷,等. 红花的化学成分及其药理活性研究进展[J]. 药学实践杂志,2013,31(3):161-168,197.
- [12]范云鹏,李十中. 药用植物红花及其生物活性成分红花黄素的提纯[J]. 中国医学生物技术应用,2002(3):73-76.
- [13]陈文梅,金 鸣,吴 伟. 红花黄色素抑制血小板激活因子介导的血小板活化作用的研究[J]. 中国药学杂志,2000,35(11):741.
- [14]朴永哲,金 鸣,臧宝霞,等. 红花黄色素改善大鼠缺氧心肌能量代谢的研究[J]. 中草药,2003,34(5):436-439.
- [15]孙 晨,姜盈盈,陈森森,等. 盐胁迫对红花种子萌发的影响[J]. 吉林农业,2018(17):54.
- [16]于美玲. 20个红花品种的耐盐生理及农艺性状的综合评价[D]. 新乡:河南师范大学,2010:1-63.
- [17]高武军,于美玲,邓传良,等. NaCl 胁迫对6种红花幼苗渗透调节物质及抗氧化系统的影响[J]. 武汉植物学研究,2010,28(5):612-617.
- [18]张 元,冯 琼,杨小方,等. 黄腐酸对盐胁迫下红花种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 河南农业科学,2015,44(11):24-27.
- [19]韩 宇. 药用红花对盐胁迫的生理响应及外源 ALA 的缓解效应[D]. 南京:南京农业大学,2014:1-87.
- [20]李 威,谭 勇,陈 文,等. 温度对不同品种红花种子萌发的影响[J]. 安徽农业科学,2013,41(10):4299-4301.
- [21]李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:134.
- [22]苏正淑,张宪政. 几种测定叶绿素含量的方法比较[J]. 植物生理学通讯,1989(5):77-78.
- [23]林植芳,李双顺,林贵珠. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及膜脂过氧化作用的关系[J]. 植物学报,1984,26(6):605-615.
- [24]郝再彬,苍 晶,徐 仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:65.
- [25]任小林,李嘉瑞. 杏果实成熟衰老过程中活性氧和几种生理指标的变化[J]. 植物生理学通讯,1991,27(1):34-36.
- [26]Rao M V, Paliyath G, Ormrod D P. Ultraviolet - B - and ozone - induced biochemical changes in antioxidant enzymes of *Arabidopsis thaliana*[J]. Plant Physiology,1996,110(1):125-136.
- [27]沈文飏,叶茂炳,徐朗莱,等. 小麦旗叶自然衰老过程中清除活性氧能力的变化[J]. 植物学报,1997,39(7):634-640.
- [28]渠晓霞,黄振英. 盐生植物种子萌发对环境的适应对策[J]. 生态学报,2005,25(9):2389-2398.
- [29]李志萍,张文辉,崔豫川. NaCl 和  $Na_2CO_3$  胁迫对栓皮栎种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 生态学报,2015,35(3):742-751.
- [30]马剑敏,李 今,张改娜,等.  $Hg^{2+}$  与 POD 复合处理对小麦萌发及幼苗生长的影响[J]. 植物学通报,2004,21(5):531-538.
- [31]刘会超,贾文庆. 盐胁迫对白三叶幼苗叶片叶绿素含量和细胞膜透性的影响[J]. 广东农业科学,2008(12):58-60.
- [32]周 漓,卓丽环,张 获. NaCl 胁迫对偃伏栎木幼苗生理的影响[J]. 东北林业大学学报,2007,35(6):13-15.
- [33]Misra N, Gupta A K. Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram[J]. Plant Science,2005,169(2):331-339.
- [34]杨 涛,严重玲,李裕红,等. 盐胁迫下木麻黄幼苗  $Na^+$ 、 $Cl^-$  的累积及其抗盐能力评价[J]. 福建农业学报,2003,18(3):155-159.
- [35]孟庆英,张必弦,张海玲,等. NaCl 胁迫下番茄若干生理指标的变化[J]. 北方园艺,2008(11):30-33.
- [36]刘仁建,吴 卫,郑有良,等. 48份红花材料种子含油率及其籽油脂肪酸分析[J]. 西南农业学报,2006,19(5):920-927.
- [37]陈友强,陈跃华,高燕,等. 红花的耐盐性试验[J]. 新疆农业科学,2002,39(2):95-96.
- [38]张利霞,常青山,侯小改,等. 不同钠盐胁迫对夏枯草种子萌发特性的影响[J]. 草业学报,2015,24(3):177-186.
- [39]Ben - Asher J, Tsuyuki I, Bravdo B A, et al. Irrigation of grapevines with saline water: I. Leaf area index, stomatal conductance, transpiration and photosynthesis[J]. Agricultural Water Management,2006,83(1/2):13-21.
- [40]杨淑萍,危常州,梁永超. 盐胁迫对不同基因型海岛棉光合作用及荧光特性的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(8):1585-1593.
- [41]李旭新,刘炳响,郭智涛,等. NaCl 胁迫下黄连木叶片光合特性及快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的变化[J]. 应用生态学报,2013,24(9):2479-2484.
- [42]杨立飞,朱月林,胡春梅,等. NaCl 胁迫对嫁接黄瓜膜脂过氧化、渗透调节物质含量及光合特性的影响[J]. 西北植物学报,2006,26(6):1195-1200.
- [43]谢福春,张文婷,刘富强,等. 土壤盐胁迫对海州常山生理生化特性的影响[J]. 江西农业大学学报,2008,30(5):839-844.
- [44]李晓燕,宋占午,董志贤. 植物的盐胁迫生理[J]. 西北师范大学学报(自然科学版),2004,40(3):106-111.
- [45]Obata H, Umebayashi M. Effects of cadmium on mineral nutrient concentrations in plants differing in tolerance for cadmium[J]. Journal of Plant Nutrition,1997,20(1):97-105.
- [46]刘建新,王金成,王瑞娟,等. 燕麦幼苗活性氧代谢和渗透调节物质积累对 NaCl 胁迫的响应[J]. 生态学杂志,2012,31(9):2255-2260.
- [47]于美玲,邓传良,高武军,等. NaCl 胁迫对河南道地红花幼苗生理特性影响[J]. 河南师范大学学报(自然科学版),2010,38(2):131-135.