

杜 艳,裴 蕾,高志英,等. 盐胁迫对 2 种基因型波斯菊种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(3):128-131.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.033

# 盐胁迫对 2 种基因型波斯菊种子萌发和幼苗生长的影响

杜 艳<sup>1,2</sup>,裴 蕾<sup>3</sup>,高志英<sup>1</sup>,邹大方<sup>2</sup>

(1. 山西运城农业职业技术学院,山西运城 044000; 2. 西南科技大学生命科学与工程学院,四川绵阳 621010;

3. 山西省农业科学院棉花研究所,山西运城 044000)

**摘要:**比较 2 种基因型波斯菊的耐盐性,采用不同浓度的 NaCl 溶液(0、15、35、100、180 mmol/L)模拟盐胁迫环境,对种子发芽率、发芽势、相对发芽率、发芽指数、幼苗鲜质量、芽长、根长、超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量等指标进行系统研究。结果表明,盐胁迫条件下,波斯菊的发芽率、发芽势、鲜质量、根长、芽长、SOD 活性和 MDA 含量均受到显著影响。粉色波斯菊在低浓度( $\leq 35$  mmol/L)盐胁迫下可提高种子的萌发能力,促进幼苗生长;高浓度( $\geq 100$  mmol/L)则表现出明显的抑制作用。白色波斯菊对盐胁迫较为敏感,低浓度( $\leq 15$  mmol/L)胁迫就对种子萌发和幼苗生长产生抑制作用。粉色波斯菊的耐盐性较白色波斯菊强,可应用于盐碱化地区的植被修复和园林绿化。

**关键词:**盐胁迫;基因型;波斯菊;种子萌发;幼苗生长

**中图分类号:** S682.1<sup>+</sup>10.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)03-0128-04

种子在植物生长的整个生活史中占有重要地位,是植物生活周期中最关键的阶段之一。相对于植物成年阶段,植物种子在萌发时期,其抵抗力弱,对盐碱、干旱等逆境胁迫极为敏感<sup>[1]</sup>;而逆境胁迫将导致植物种子萌发率低、成苗率低、幼苗质量差、生物量积累减少,最终影响植株的生理和形态建成<sup>[2-4]</sup>。随着全球环境不断恶化,土壤盐碱化已成为全球共同面临的环境问题。据不完全统计,世界盐渍土面积约 9.5 亿  $\text{hm}^2$ ,其中我国约占全球 10%<sup>[1]</sup>。在我国北方,不少地区

土壤含盐碱量较高,这危害了植物的生长和发育<sup>[5]</sup>。研究表明,植物的基因型不同,其耐盐性也有较大的差异<sup>[6]</sup>。

波斯菊(*Cosmos bipinnatus* Cav.)隶属于菊科(Compositae)秋英属(*Cosmos*),俗称秋英、大波斯菊、扫帚梅,原产于美洲的墨西哥及巴西等地区<sup>[7]</sup>。该植物植株高大,叶形、花色丰富,花期较长,且全草可入药,具有重要的观赏价值和一定的药用价值。目前,波斯菊已被广泛应用于道路、边坡、小区、公园等城市园林绿化<sup>[8]</sup>。研究表明,波斯菊幼苗对盐胁迫较为敏感,低浓度会具有抑制种子萌发、幼苗株高、根长,高浓度则可使作物出现停止生长的趋势<sup>[9]</sup>。有关不同基因型波斯菊对盐胁迫响应方面的研究尚未见报道。本试验以不同基因型波斯菊种子为试验材料,研究盐胁迫对供试材料萌发特性的影响,以期对盐碱地区的耐盐性植物品种选择、植被恢复、土壤改良以及城市园林绿化提供理论依据。

收稿日期:2016-08-31

基金项目:国家自然科学基金(编号:31400333);西南科技大学实验室开放基金(编号:15xnf02)。

作者简介:杜 艳(1980—),女,山西运城人,硕士,讲师,主要从事花卉植物栽培与应用研究。E-mail:xudu20061@163.com。

[14] Lawlor D W, Cornic G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants [J]. Plant Cell and Environment, 2002, 25(2): 275-294.

[15] Fenner M. Seeds: the ecology of regeneration in plant communities [M]. Wallingford: CABI Publishing, 2000.

[16] 黄 睿,李炎林,章金盟,等. 不同光照处理对吉祥草生理生化特性的影响[J]. 湖南农业科学, 2009(3): 36-38.

[17] 黄卫东,吴兰坤,战吉成. 中国矮樱桃叶片生长和光合作用对弱光环境的适应性调节[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1981-1985.

[18] 程小毛,罗翠芹. 不同土壤水分处理对香樟幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(9): 171-172.

[19] 侯兴亮,李景富,许向阳. 弱光处理对番茄不同生育期形态和生理指标的影响[J]. 园艺学报, 2002, 29(2): 123-127.

[20] 张斌斌,蔡志翔,沈志军,等. 遮阴对红叶桃幼苗部分生理特性的影响[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(4): 161-164.

[21] 多立安,王晶晶,赵树兰. 垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4717-4724.

[22] 赵瑞雪,朱慧森,程钰宏,等. 植物脯氨酸及其合成酶系研究进展[J]. 草业科学, 2008, 25(2): 90-97.

[23] 唐钢梁,李向义,林丽莎,等. 骆驼刺在不同遮阴下的水分状况变化及其生理响应[J]. 植物生态学报, 2013, 37(4): 354-364.

[24] Wu J, Baldwin I T. Herbivory - induced signalling in plants: perception and action [J]. Plant Cell and Environment, 2009, 32(9): 1161-1174.

[25] 孙 群,梁宗锁,杨建伟,等. 干旱对苗木萌芽期水分状况、ABA 含量及萌芽特性的影响[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 634-638.

[26] 张玲慧. 地被植物耐阴性研究及园林配置探讨[D]. 杭州:浙江大学, 2004.

[27] 杨 渺,毛 凯,马金星. 遮阴生境下假俭草的形态变化与能量分配研究[J]. 中国草地, 2004, 26(2): 44-48, 62.

1 材料与方法

1.1 试验材料

以不同基因型的白色波斯菊 (*Cosmos bipinnatus* Cav.)、粉色波斯菊 (*Cosmos bipinnatus* Cav.) 为试材。种子购自于北京花儿朵朵花仙子农业有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 种子处理 筛选出颗粒饱满、大小合适的种子;随机选择 100 粒种子,重复 3 次,分别称质量,计算供试材料的千粒质量。用浓度为 1% 的高锰酸钾溶液对其消毒 15 min,用适量的无菌水冲洗 3~5 遍,确保无高锰酸钾溶液残留。用无菌滤纸将残留的水分吸干,留待备用。

1.2.2 试验设计 以 NaCl 模拟盐胁迫环境,共设置 5 个浓度水平:0(CK)、15、35、100、180 mmol/L。试验所用的盐溶液均以去离子水配制。每个培养皿铺 2 层滤纸,每皿放置 30 粒种子,分别加入 6 mL 不同浓度的处理液,每个处理重复 3 次。将培养皿放置于温度为 25 ℃、光照周期为 12 h—12 h 的光照培养箱中进行萌发试验;每间隔 24 h,以种子萌发突破种皮为发芽标准,统计种子的萌发情况,并适量补充水分。

1.3 项目测定

发芽试验结束后,每个处理随机选取 5 株幼苗,测其鲜质量、芽长、根长;若萌发数不足于 5,则测定该处理所有幼苗的各指标,除以幼苗的数量,再乘以 5;并分别采用 NBT 光化还原法<sup>[10]</sup>、TBA 显色法<sup>[11]</sup>测定幼苗的超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量等部分生理指标。计算种子的发芽率、发芽势、相对发芽率、发芽指数、活力指数等参数,计算公式分别为<sup>[2,12]</sup>:

发芽率 =  $n/N \times 100\%$  ( $n$  为最终发芽的种子数, $N$  为供试种子数);

发芽势 =  $n_i/N \times 100\%$  ( $n_i$  为前 4 d 发芽的种子数之和, $N$  为供试种子数);

相对发芽率 = 试验组种子发芽率/对照组种子发芽率  $\times 100\%$ ;

发芽指数 =  $\sum (G_i/D_i) \times 100\%$  ( $G_i$  为第  $t$  天发芽的种子数, $D_i$  为相应的发芽天数);

简化活力指数 = 相对发芽率  $\times$  鲜质量。

1.4 数据分析

利用 Microsoft Excel 2007 软件和 SPSS 软件对数据进行统计处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同基因型波斯菊的千粒质量

白色波斯菊 3 组 100 粒种子的质量分别为 0.625、0.631、0.640 g,平均为 0.632 g,千粒质量为 6.320 g。粉色波斯菊 3 组 100 粒种子的质量分别为 0.838、0.835、0.848 g,平均为 0.840 3 g,千粒质量为 8.403 g。粉色波斯菊的千粒质量大于白色波斯菊。

2.2 盐胁迫对不同基因型波斯菊发芽势、发芽率的影响

从表 1 可以看出,不同基因型波斯菊对于盐胁迫的响应程度有差异。粉色波斯菊盐胁迫表现低剂量刺激效应,即低浓度可刺激粉色波斯菊种子萌发,提高发芽势。当 NaCl 浓度为 15 mmol/L 时,发芽率为 76.67%,高于对照组 30 百分点,与对照相比差异极显著;发芽势也高达 70.00%,与对照差异极显著。当 NaCl 浓度大于 35 mmol/L 时,种子的萌发率、发芽势均显著降低,表明随着盐浓度的升高,种子的萌发受到抑制,表现出盐害现象。白色波斯菊对盐胁迫极其敏感,低剂量的盐浓度就对其种子萌发具有明显的抑制作用。不同盐胁迫水平下,其萌发率极显著降低,但发芽势则在盐浓度大于 35 mmol/L 时显著降低。总体上随着 NaCl 浓度的提升,白色波斯菊种子的发芽率、发芽势呈下降趋势。低浓度盐胁迫有利于促进粉色波斯菊萌发,抑制白色波斯菊萌发,表明低浓度盐胁迫可以提高粉色波斯菊种子发芽的整齐性,促进幼苗生长。

表 1 不同浓度盐胁迫对不同基因型波斯菊种子发芽的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	发芽率 (%)		发芽势 (%)	
	粉色波斯菊	白色波斯菊	粉色波斯菊	白色波斯菊
0	46.67 $\pm$ 3.33bBC	58.89 $\pm$ 3.83aA	40.00 $\pm$ 3.33bBC	44.44 $\pm$ 3.83aA
15	76.67 $\pm$ 3.33aA	46.67 $\pm$ 6.33bB	70.00 $\pm$ 3.33aA	41.11 $\pm$ 1.92aA
35	48.89 $\pm$ 3.84bB	43.33 $\pm$ 3.33bcB	45.56 $\pm$ 3.84bB	40.00 $\pm$ 3.33aAB
100	37.78 $\pm$ 5.03cCD	37.78 $\pm$ 5.09cB	31.11 $\pm$ 5.09cCD	31.11 $\pm$ 5.09bB
180	28.89 $\pm$ 1.92dD	10.00 $\pm$ 3.33dC	23.33 $\pm$ 3.33dD	7.78 $\pm$ 1.92cC

注:同列数据后不同小写、大写字母分别表示差异显著 ( $P < 0.05$ )、极显著 ( $P < 0.01$ ),表 3~表 5 同。

2.3 盐胁迫对不同基因型波斯菊相对发芽率、发芽指数的影响

种子发芽率高低提示出种子生命活力的大小,而相对发芽率则可直观反映出不同胁迫处理下种子的萌发状况。从表 2 可以看出,在 4 个不同盐浓度胁迫下,粉色波斯菊相对萌发率分别是对照组的 164.28%、104.76%、80.95%、61.90%;而白色波斯菊相对发芽率分别为对照的 79.25%、73.58%、64.15%、16.98%。粉色波斯菊在盐浓度为 15、35 mmol/L 之外,供试波斯菊的萌发均受到盐胁迫抑制,萌发率低于对照。

发芽指数是判断种子萌发能力的重要指标,其高低可以综合反映出种子的萌发情况与生长状况<sup>[13]</sup>。从表 2 可以看

出,随着盐胁迫浓度的提高,供试材料的发芽指数出现了明显的变化。当盐浓度为 0~35 mmol/L 时,粉色波斯菊的发芽指数较对照组高;而浓度高于 100 mmol/L 时,供试材料的发芽指数较对照下降幅度接近 35%,表明波斯菊种子萌发的种子耐盐半致死浓度(临界值)接近于 100 mmol/L。不同基因型波斯菊发芽指数差异明显,表明受到盐胁迫的程度不同,而重度胁迫则对它们产生明显影响。

2.4 盐胁迫对不同基因型波斯菊幼苗鲜质量、活力指数的影响

从表 3 可以看出,轻度盐胁迫下,粉色波斯菊幼苗鲜质量高于对照,但处理间差异不显著;当盐浓度为 180 mmol/L 时,

表 2 不同浓度盐胁迫对不同基因型波斯菊种子相对发芽率、发芽指数的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	相对发芽率(%)		发芽指数	
	粉色波斯菊	白色波斯菊	粉色波斯菊	白色波斯菊
0	100.00	100.00	5.87	7.16
15	164.28	79.25	9.73	6.76
35	104.76	73.58	6.67	6.20
100	80.95	64.15	3.84	3.99
180	61.90	16.98	3.14	0.91

幼苗的鲜质量显著降低,整体上粉色波斯菊的鲜质量呈现先

上升后下降的趋势。白色波斯菊对盐胁迫较为敏感,盐浓度为 100 mmol/L 时,幼苗的鲜质量就显著降低。尽管白色波斯菊的鲜质量变化也表现先上升后下降,但白色波斯菊试验组均低于对照组。表明在不同盐浓度胁迫下,粉色波斯菊幼苗鲜质量明显大于白色波斯菊,这可能与二者的遗传背景有关。

简化活力指数的趋势也有类似的结果,即随着盐浓度的升高而逐渐下降。当盐浓度≤35 mmol/L 时,粉色波斯菊的简化活力指数大于对照,白色波斯菊则反之;当盐浓度≥180 mmol/L 时,二者的活力指数下降幅度大,粉色波斯菊为 3.14,白色波斯菊则为 0.91。

表 3 不同浓度盐胁迫对不同基因型波斯菊幼苗鲜质量和简化活力指数的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	幼苗鲜质量(g)		简化活力指数	
	粉色波斯菊	白色波斯菊	粉色波斯菊	白色波斯菊
0	0.205 7±0.039 0aA	0.132 3±0.002 5aA	5.87	7.16
15	0.224 3±0.010 2aA	0.117 0±0.002 6abA	9.73	6.76
35	0.242 0±0.055 5aA	0.131 0±0.027 6aA	6.67	6.20
100	0.172 3±0.040 3aAB	0.098 7±0.014 2bA	3.84	3.99
180	0.079 3±0.014 0bB	0.059 7±0.002 1cB	3.14	0.91

2.5 盐胁迫对不同基因型波斯菊幼苗芽长、根长的影响

盐胁迫对植物种子萌发芽长、根长的影响可以反映植物的早期抗逆性。盐胁迫对不同基因型波斯菊幼苗的芽长、根长都具有明显抑制作用。随着盐浓度的提高,芽长、根长与之呈负相关;而根芽比值大体上呈现上升的趋势(表 4)。在不同盐胁迫水平下,与对照相比,试验组的芽长、根长均极显著

变短,不存在低剂量刺激效应的现象。植物为了获得足够的养分和水分,尤其是在受到环境胁迫时,根系往往需要向四周延伸。在 2 个供试材料中,粉色波斯菊根芽比值较白色波斯菊大,表明其根系较为发达,适应性较强。进一步比较 2 个材料,在相同盐胁迫水平处理下,粉色波斯菊的芽长、根长较白色波斯菊长。

表 4 不同浓度盐胁迫对不同基因型波斯菊幼苗芽长和根长的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	芽长(mm)		根长(mm)		根/芽	
	粉色波斯菊	白色波斯菊	粉色波斯菊	白色波斯菊	粉色波斯菊	白色波斯菊
0	65.73±1.79aA	61.27±1.82aA	31.83±0.50aA	22.60±1.70aA	0.48	0.37
15	63.03±1.28bB	58.77±0.54bB	26.43±0.86bB	19.93±0.67bB	0.42	0.34
35	55.87±1.47cC	51.00±0.65cC	20.90±2.87cC	18.60±0.65cB	0.37	0.36
100	37.13±1.47dD	30.50±1.07dD	16.20±0.88dD	12.07±0.94dC	0.44	0.40
180	17.20±1.21eE	11.07±1.20eE	11.17±1.20eE	8.27±0.50eD	0.65	0.55

2.6 盐胁迫对不同基因型波斯菊幼苗生理活性的影响

超氧化物歧化酶(SOD)和丙二醛(MDA)是植物对逆境胁迫应答的直接反映,SOD 活性越高,表明植物的抗性越强;而 MDA 的含量高低,则反映了植物细胞膜受损程度的大小<sup>[14]</sup>。从表 5 可以看出,在盐胁迫下波斯菊的 SOD 活性降低。当盐浓度≥35 mmol/L 时粉色波斯菊 SOD 活性极显著降低;而白色波斯菊的 SOD 活性在盐浓度≥15 mmol/L 时就极显著降低。MDA 的含量也随着盐浓度的升高而逐渐变大,与对照组相比,试验组的 MDA 含量均极显著升高,表明在盐胁迫下植株就胁迫产生了应答,高盐环境直接使得植物细胞膜

受到损害,影响植物生长。

3 讨论

植物种子在萌发时,逆境胁迫将影响植物种子的萌发率、发芽势、发芽指数、成苗率、幼苗质量、生物量积累等指标,影响植株的生理和形态建成<sup>[2-4]</sup>。杨风军等研究发现,植物的基因型不同,其耐盐性也有较大的差异<sup>[6]</sup>。因此,植物种子能够在盐碱环境中萌发,并长出幼苗是植物在盐碱条件下生长发育的前提,也是筛选耐盐植物的常用方法之一<sup>[15-16]</sup>。

盐胁迫对种子萌发的影响可归结为渗透效应与毒性效

表 5 不同浓度盐胁迫对不同基因型波斯菊幼苗 SOD 活性和 MDA 含量的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	SOD 活性(U/g FW)		MDA 含量(μmol/g FW)	
	粉色波斯菊	白色波斯菊	粉色波斯菊	白色波斯菊
0	3.220±0.29aA	3.197±0.07aA	0.733±0.04eE	0.693±0.03eE
15	3.197±0.02aA	2.893±0.1bB	1.200±0.05dD	1.323±0.05dD
35	2.257±0.09bB	1.903±0.04cC	1.787±0.06cC	2.180±0.04cC
100	1.223±0.06cC	1.200±0.06dD	2.080±0.08bB	2.657±0.03bB
180	0.840±0.08dD	0.567±0.06eE	2.613±0.14aA	3.127±0.05aA

应。参透效应指盐分降低了溶液渗透势使种子吸水下降,从而影响种子发芽;毒性效应指盐离子对细胞质膜产生毒害,干扰代谢从而影响种子萌发<sup>[6]</sup>。本试验结果,低剂量盐浓度可以刺激粉色波斯菊的种子萌发,提高发芽势,促进幼苗植株的形态建成,盐浓度高于 100 mmol/L 时,种子萌发则受到明显抑制,与相关研究结果<sup>[15,17]</sup>相一致。低盐浓度环境可以调整细胞膜的渗透,刺激细胞中的呼吸酶,促进种子萌发;但高盐浓度则造成细胞内外渗透压差值较大,影响自由水在细胞膜内外之间的交换,且离子浓度过高,容易形成盐害,导致种子萌发受到影响<sup>[18]</sup>。白色波斯菊对盐胁迫极为敏感。试验结果表明,与对照比较,盐胁迫导致白色波斯菊种子萌发率下降,发芽势低,成苗率低,幼苗质量差,生物量积累减少。这可能是盐胁迫导致白色波斯菊细胞膜结构受到破坏,引起  $\alpha$ -淀粉酶活性降低,影响种子的萌发与生长<sup>[2]</sup>。

对不同基因型的波斯菊进行比较,在相同盐浓度胁迫下,粉色波斯菊的种子萌发率、发芽势、发芽指数、幼苗鲜质量、耐盐半数抑制浓度(临界值)等指标均大于白色波斯菊,而且 SOD 活性较高,MDA 含量较低,盐害影响的程度小,表明粉色波斯菊的耐盐性极强,可广泛用于盐碱化程度较高区域的绿花和修复。这可能与二者的千粒质量有一定的关系。千粒质量是种子活力的重要指标之一,千粒质量越大,其内部贮藏的营养物质越多,发芽所需的时间较短,发芽率高<sup>[19]</sup>。但也有研究表明,同一个属的植物,其千粒质量越小,萌发率越高<sup>[20]</sup>。这是因为小粒种子的幼苗植株抵抗力弱,容易遇到外界逆境的影响,高萌发率的繁殖机制有利于物种的延续。2 种基因型波斯菊对盐胁迫的响应程度不同,可能与其遗传背景不同有关,相关机制还有待进一步研究阐明。

#### 参考文献:

- [1] 蔡喜悦,陈晓德,李朝政,等. 干旱胁迫下外源钙对石灰岩地区复羽叶栎树种子萌发的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(5): 1341-1346.
- [2] 裴毅,李莲,聂江力. NaCl 和 NaHCO<sub>3</sub> 胁迫对黑豆种子萌发的影响[J]. 北方园艺,2015(9):1-5.
- [3] 张秀玲,李瑞利,石福臣. 盐胁迫对罗布麻种子萌发的影响[J].
- (上接第 124 页)
- [15] 曹展波,曾宪荣. 紫花含笑嫁接繁殖技术研究[J]. 江西林业科技,2013(2):24-25,35.
- [16] 常月梅,张彩红. 文冠果嫁接繁殖技术[J]. 经济林研究,2013,31(2):154-156.
- [17] 耿文清,葛世魁,温龙友,等. 银杏扦插与嫁接繁殖技术[J]. 现代农业科技,2008(21):41,45.
- [18] 卢海嘴,吴卓玲,梁伟江,等. 半枫荷根的化学成分研究[J]. 中药材,2015,38(12):2543-2546.
- [19] 王满莲,白坤栋,孔德鑫,等. 种苗级别对半枫荷生长发育的影响[J]. 种子,2016,35(2):69-72.
- [20] 黄道恩. 半枫荷扦插繁殖技术试验[J]. 防护林科技,2014(4):33-35,68.
- [21] 付彦秋,王红,罗娜. 中华金叶榆嫁接繁殖技术的研究[J].

- 南开大学学报,2007,40(4):13-18.
- [4] 徐玲玲,李巧玉,张红莲,等. 3 种草本植物种子萌发及幼苗初期对镉胁迫的生理响应[J]. 种子,2016,35(3):37-41.
- [5] 聂江力,裴毅,冯丹丹. NaCl 和 NaHCO<sub>3</sub> 胁迫对车前种子萌发的影响[J]. 北方园艺,2015(5):25-28.
- [6] 杨凤军,李天来,臧忠婧,等. 不同基因型番茄种子萌发期的耐盐性[J]. 应用生态学报,2009,20(7):1691-1697.
- [7] 徐小玉,张凤银,曾庆微. NaCl 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 盐胁迫对波斯菊种子萌发的影响[J]. 东北农业大学学报,2014,45(4):55-59.
- [8] 姜云天,闫中雪,袁浩,等. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 胁迫对波斯菊种子萌发的影响[J]. 现代园艺,2014(11):12-13.
- [9] 周梦娜,王露,郭敬,等. 不同盐胁迫对波斯菊种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 城市环境与城市生态,2015,28(1):1-4.
- [10] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases; I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiology, 1977, 59(2):309-314.
- [11] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:159-160.
- [12] 赵丽丽,王普昶,陈超,等. 干旱胁迫下外源钙对二色胡枝子种子萌发的影响[J]. 草地学报,2015,23(1):120-124.
- [13] 王莹,许冬梅. PEG 胁迫下五种禾本科牧草种子萌发期抗旱性研究[J]. 北方园艺,2015(12):54-58.
- [14] 姚海梅,李永生,张同祯,等. 早-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(6):1328-1335.
- [15] 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.
- [16] 刘杰,张美丽,张义,等. 人工模拟盐、碱环境对向日葵种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 作物学报,2008,34(10):1818-1825.
- [17] 潘多锋,申忠宝,王建丽,等. 碱性盐胁迫对白三叶种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 北方园艺,2015(14):67-70.
- [18] 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.
- [19] 高海娟,云锦凤,刘德福. 荒漠草原地区 3 种冰草种子萌发的研究[J]. 草业科学,2007,24(5):64-68.
- [20] 孙会忠,贺学礼. 3 种绢蒿属植物种子萌发特性的比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(2):118-122.
- 园林科技,2009(3):4-5.
- [22] 于洋,罗娜,付彦秋. 彩叶树种红叶李嫁接繁殖技术的研究[J]. 园林科技,2009(4):12-13.
- [23] 朱玲,常平,梁英梅,等. 南京梅花的嫁接繁殖技术及嫁接苗的管理[J]. 北京林业大学学报,2013(增刊1):157-159.
- [24] 王朋成,马绍塏,田红梅,等. 不同环境因素对嫁接西瓜根系生长及成活率的影响[J]. 安徽农业科学,2013(24):9887-9888,9898.
- [25] 董乔,宋阳,孙潜,等. 不同光强和 CO<sub>2</sub> 浓度对温室嫁接黄瓜光合作用及叶绿素荧光参数的影响[J]. 北方园艺,2015(22):1-6.
- [26] 米海灵. 金叶榆嫁接容器苗夏季移栽技术[J]. 青海农林科技, 2014(2):60-61,88.