

和建云,杨秀云,赵杏锁,等.紫罗兰种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J].江苏农业科学,2019,47(3):114-117.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.03.028

紫罗兰种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应

和建云,杨秀云,赵杏锁,孙海博,司家屹

(山西农业大学林学院,山西太谷 030801)

摘要:通过研究不同类别和浓度的盐胁迫对紫罗兰种子萌发和幼苗生长状况的影响,为紫罗兰在盐渍地区种植推广提供理论依据。采用浓度为 0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5% 的 NaCl、Na₂SO₄、MgCl₂、复合盐(NaCl:Na₂SO₄=2:1)溶液及蒸馏水(CK)对紫罗兰种子进行处理,测定不同盐胁迫下紫罗兰种子萌发及幼苗生长指标。结果表明,(1)浓度为 0.3% 的 Na₂SO₄ 及浓度为 0.3%、0.6% 的 NaCl、MgCl₂ 胁迫组、浓度为 1.5% 的 4 种盐处理组,种子发芽率、发芽势均显著小于 CK 组($P<0.05$)。(2)4 种盐浓度为 0.90、1.2% 和 1.5% 时,处理组种子发芽指数均显著小于 CK 组($P<0.05$)。(3)盐胁迫对胚根生长的影响大于对胚芽和叶片生长的影响。(4)浓度小于等于 1.20% 的 NaCl 胁迫组及浓度小于等于 0.9% 的复合盐胁迫组显著促进了叶片生长,且浓度为 0.3% NaCl 胁迫对胚芽生长起一定积极作用。紫罗兰种子与幼苗均有一定耐盐潜力,紫罗兰种子对 MgCl₂ 胁迫耐受性强,幼苗对 NaCl 胁迫耐受性强。

关键词:盐胁迫;紫罗兰;种子萌发;幼苗生长

中图分类号: S681.204 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)03-0114-04

土壤盐渍化是一个全球问题,据统计,全球约 20% 的耕地和近半数的灌溉土地都受到不同程度的盐害威胁^[1]。在我国有 2.001×10^7 hm² 盐荒地和 6.670×10^6 hm² 盐渍化耕地,约占可耕地面积的 25%^[2]。在土地资源日益匮乏的今天,全面了解植物的耐盐机理,挖掘出更多适于盐渍化土壤栽种的植物,对盐渍化土壤改良、开发和利用具有重要意义。

紫罗兰[*Matthiola incana* (L.) R. Br.]属于十字花科紫罗兰属,2 年生或多年生草本。园艺品种多、花色丰富、花朵繁茂、香气浓郁,在欧洲、日本等地应用较广^[3]。紫罗兰生长对土壤有一定要求,在盐碱地区有一定生长基础,是盐碱地区有待开发的园林植物。目前对紫罗兰的研究多限于栽培管理、观赏特性及提取物分析^[4-6],对于种子耐盐性的研究还未见报道。本试验研究不同浓度梯度(0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%)的 NaCl、Na₂SO₄、MgCl₂ 3 种单盐及复合盐溶液(NaCl:Na₂SO₄=2:1)溶液对紫罗兰种子萌发及幼苗生长的影响,以期在紫罗兰在盐碱地区作为园林植物的开发提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选择饱满、健康的紫罗兰种子为材料。

1.2 试验方法

试验于 2018 年 4 月在山西农业大学林学院实验室进行。试验采用不同浓度梯度(0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%)

的 NaCl、Na₂SO₄、MgCl₂ 3 种单盐溶液及复合盐(NaCl:Na₂SO₄=2:1)溶液共 20 种盐溶液对种子进行胁迫处理(表 1),另设蒸馏水作对照处理(CK 组),每个处理重复 3 次。选取健康饱满,形态均匀的紫罗兰种子 3 150 粒,经 0.1% 的 KMnO₄ 溶液消毒处理 10 min 后用蒸馏水冲洗干净,采用滤纸法将种子整齐置于铺有双层滤纸的直径为 12 cm 的培养皿中,每皿 50 粒种子,加入相应处理液 6 mL 后贴好标签,置于恒温光照培养箱(25 ± 1 °C)中培养,光照 12 h,黑暗 12 h,每隔 24 h 观察记录种子发芽情况,统计发芽数,更换滤纸,补充溶液。新生芽的胚芽长度大于或等于种子直径的 1/2 时视为发芽^[7],3 个重复中任一组种子开始萌发即记为该处理的种子开始萌发,种子连续 4 d 萌发数不再增加时记为该处理的种子萌发结束^[8]。试验期设定为 15 d。

种子萌发指标测定:待萌发结束后,从对照组、处理组的每个培养皿中随机取出 20 粒种子平铺于 A4 纸上,拍照记录,并将图片导入软件中,测定紫罗兰幼苗的叶面积、胚芽长与胚根长。

发芽率(GR)、发芽势(GP)、盐害指数(SII)、发芽指数(GI)等指标计算公式如下:

$$GR = n/N \times 100\%;$$

$GP = (\text{规定天数内种子发芽数}/N) \times 100\%$,发芽第 7 天测定种子发芽数;

$$SII = (C_n - n)/C_n \times 100\%;$$

$$GI = \sum G_i/D_i.$$

式中: C_n 为对照种子发芽数; n 为胁迫处理发芽种子数; N 为固定值 50; G_i 为不同天数发芽数; D_i 为相应发芽天数。

1.3 数据分析

采用 Auto-CAD 2014 软件对种子生长情况数据进行采集,采用 SPSS 17.0 软件对数据进行方差分析,采用 Excel 2010 软件对本试验数据进行录入及图表制作。

收稿日期:2018-09-28

基金项目:山西省农业科技攻关项目(编号:20140311013-4)。

作者简介:和建云(1992—),女,河北邢台人,硕士研究生,主要从事园林植物与观赏园艺研究。E-mail:15284289652@163.com。

通信作者:杨秀云,博士,教授,主要从事园林植物生理生态研究。E-mail:xyyang2002@yeah.net。

表 1 处理组试剂种类与浓度

试剂	浓度 (g/500 mL)				
	0.3%	0.6%	0.9%	1.2%	1.5%
NaCl	1.5	3	4.5	6	7.5
Na ₂ SO ₄	1.5	3	4.5	6	7.5
MgCl ₂	1.5	3	4.5	6	7.5
NaCl + Na ₂ SO ₄ (2 : 1)	1.0 + 0.5	2.0 + 1.0	3.0 + 1.5	4.0 + 2.0	5.0 + 2.5

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对种子萌发的影响

由表 2 可知,不同盐溶液及同种盐溶液不同浓度梯度对紫罗兰种子发芽率的影响不同。Na₂SO₄ 胁迫下,仅浓度为 0.6% 处理的种子发芽率与 CK 组无显著性差异 ($P>0.05$)。浓度为 1.2%、1.5% Na₂SO₄ 处理下,发芽率显著低于 CK 组 ($P<0.05$);当浓度为 0.3%、0.9% 时,发芽率显著大于 CK 组 ($P<0.05$)。NaCl 在浓度为 0.3%、0.6% 时,处理组的发芽率显著大于 CK 组 ($P<0.05$),浓度为 1.5% 时,处理组的发芽率显著低于对照组,浓度为 0.9%、1.2% 时,处理组的发芽率与 CK 组无显著差异 ($P>0.05$)。同样,MgCl₂ 在浓度为 0.3%、0.6% 时,处理组显著大于 CK 组 ($P<0.05$),浓度为 1.5% 时,处理组的发芽率显著低于对照组,浓度为 0.9%、1.2% 时,处理组的发芽率与 CK 组无显著差异 ($P>0.05$)。复合盐为 1.2% 及以上浓度时,处理组的发芽率显著低于 CK 组 ($P<0.05$),其余处理组与 CK 组无显著差异 ($P>0.05$)。

发芽势和发芽指数是反映种子萌发速度的主要指标,与种子发芽率相比,它们更能够表现出种子的活力^[9-10]。本试

验结果(表 2)显示,各盐胁迫下,随着胁迫浓度增加,处理组种子的发芽势较 CK 组总体上呈先上升后下降的趋势,且胁迫浓度为 1.5% 时,各处理组种子发芽势均降到最低。Na₂SO₄ 盐胁迫下,仅浓度为 0.6% 处理组种子发芽势与 CK 组无显著性差异 ($P>0.05$),胁迫浓度为 1.2%、1.5% 时,处理组发芽势显著低于 CK 组 ($P<0.05$),胁迫浓度为 0.3%、0.9% 时,处理组发芽势显著高于 CK 组 ($P<0.05$)。浓度为 0.3%、0.6% 的 NaCl 盐溶液处理组发芽势显著大于 CK 组 ($P<0.05$),浓度为 1.2%、1.5% 的处理组显著小于 CK 组 ($P<0.05$)。浓度为 0.3%、0.6% 的 MgCl₂ 胁迫下的发芽势显著大于 CK 组 ($P<0.05$),浓度为 1.50% 的处理组显著低于 CK 组 ($P<0.05$)。浓度为 0.9%、1.2% 和 1.5% 的复合盐处理组种子发芽势显著低于 CK 组 ($P<0.05$)。

不同种类盐溶液及同种盐溶液不同胁迫浓度对种子发芽指数影响不同。4 种盐溶液在 0.9%、1.2% 和 1.5% 的浓度处理下,种子发芽指数均显著小于 CK 组 ($P<0.05$)。当浓度为 0.6% 时,Na₂SO₄、复合盐溶液处理种子发芽指数显著小于 CK 组 ($P<0.05$)。

表 2 盐胁迫对紫罗兰种子萌发的影响

指标	浓度 (%)	Na ₂ SO ₄	NaCl	MgCl ₂	NaCl + Na ₂ SO ₄ (2 : 1)
发芽率 (%)	CK	71.33 ± 1.15c	71.33 ± 1.15cd	71.33 ± 1.15b	71.33 ± 1.15a
	0.3	82.00 ± 2.00a	74.67 ± 1.15b	78.00 ± 2.00a	74.00 ± 0.00a
	0.6	74.00 ± 2.00bc	84.00 ± 2.00a	78.00 ± 2.00a	74.67 ± 3.06a
	0.9	78.00 ± 2.00ab	74.00 ± 0.00bc	72.00 ± 2.00b	73.33 ± 1.15a
	1.2	46.00 ± 4.00d	69.33 ± 3.06d	73.33 ± 2.31b	60.00 ± 4.00b
	1.5	28.00 ± 2.00e	31.33 ± 1.15e	64.00 ± 3.46c	30.00 ± 2.00c
发芽势 (%)	CK	70.67 ± 1.15c	70.67 ± 1.15c	70.67 ± 1.15b	70.67 ± 1.15a
	0.3	80.67 ± 2.31a	74.67 ± 1.15b	78.00 ± 2.00a	72.00 ± 2.00a
	0.6	74.00 ± 2.00bc	84.00 ± 2.00a	74.67 ± 3.06a	69.33 ± 2.31a
	0.9	78.00 ± 2.00ab	72.67 ± 1.15bc	69.33 ± 3.06b	64.67 ± 1.15b
	1.2	42.67 ± 3.06d	57.33 ± 3.06d	70.00 ± 2.00b	43.33 ± 2.31c
	1.5	24.67 ± 3.06e	16.00 ± 2.00e	60.00 ± 0.00c	17.33 ± 3.06d
发芽指数	CK	63.18 ± 2.16a	63.18 ± 2.16a	63.18 ± 2.16a	63.18 ± 2.16a
	0.3	66.52 ± 1.20a	68.63 ± 1.67a	69.78 ± 5.59a	66.33 ± 2.67a
	0.6	58.51 ± 2.25b	63.62 ± 5.65a	64.16 ± 6.15a	58.39 ± 2.73b
	0.9	53.36 ± 1.99c	47.20 ± 3.01b	52.68 ± 0.98b	47.95 ± 1.31c
	1.2	28.14 ± 2.48d	30.67 ± 2.59c	52.49 ± 3.21b	31.51 ± 2.78d
	1.5	13.72 ± 1.84e	10.56 ± 2.06d	42.34 ± 2.24c	13.22 ± 1.22e

注:表中数据为 3 次重复的平均值 ± 标准误;同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

2.2 盐胁迫对盐害指数的影响

盐溶液种类及同种盐溶液不同浓度梯度对紫罗兰种子萌发盐害指数的影响不同(表 3)。浓度为 0.6% 的 Na₂SO₄ 处理组盐害指数与 CK 组差异不显著 ($P>0.05$),浓度为 0.3%、0.9% 的处理组显著小于 CK 组 ($P<0.05$),浓度为 1.2%、1.5% 的处理组显著大于 CK 组 ($P<0.05$)。浓度为

0.9% 及以下浓度的 NaCl 处理组,盐害指数均低于 CK 组,浓度为 1.5% 的处理组显著高于 CK 组 ($P<0.05$)。MgCl₂ 胁迫下,浓度为 1.5% 的处理组盐害指数最大,且显著高于 CK 组 ($P<0.05$),浓度为 0.3% 和 0.6% 的处理组最小,显著低于 CK 组 ($P<0.05$)。浓度为 1.2%、1.5% 的复合盐处理组,盐害指数显著高于 CK 组 ($P<0.05$)。

表 3 盐胁迫对紫罗兰种子盐害指数的影响

浓度 (%)	盐害指数			
	Na ₂ SO ₄	NaCl	MgCl ₂	NaCl + Na ₂ SO ₄ (2 : 1)
CK	0c	0bc	0b	0c
0.3	-14.94 ± 2.80e	-4.66 ± 1.62d	-9.34 ± 2.80c	-3.73 ± 0.00c
0.6	-3.73 ± 2.80cd	-17.75 ± 2.80e	-9.34 ± 2.80c	-4.66 ± 4.28c
0.9	-8.40 ± 4.28d	-3.73 ± 0.00cd	-0.93 ± 2.80b	-2.79 ± 1.62c
1.2	35.52 ± 5.61b	2.81 ± 4.28b	-2.79 ± 3.24b	15.90 ± 5.61b
1.5	60.75 ± 2.80a	56.08 ± 1.62a	10.29 ± 4.86a	57.95 ± 2.80a

2.3 盐胁迫对幼苗生长的影响

各盐胁迫下, 胚根长度均显著低于 CK 组 ($P < 0.05$), 且随盐浓度的升高胚根长呈降低的趋势 (表 4)。在浓度为 0.3% 的 4 种盐胁迫中, MgCl₂ 处理的胚根长最短, 是 CK 组的 18.10%。浓度为 1.5% 的复合盐处理组, 胚根长度最短, 显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。

Na₂SO₄、NaCl 和复合盐胁迫下, 胚芽长度随盐浓度的升高均呈整体降低趋势。各浓度 Na₂SO₄ 溶液处理组胚芽长均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。浓度为 0.3% 的 NaCl 处理组胚芽长显著高于 CK 组 ($P < 0.05$), 浓度为 1.2%、1.5% 的处理组显著低于 CK 组 ($P < 0.05$), 分别是 CK 组的 56.49%、

28.50%。浓度为 0.6%、0.9%、1.2% 和 1.5% 的 MgCl₂ 处理组, 胚芽长均显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。浓度为 0.9%、1.2% 和 1.5% 的复合盐处理组胚芽长显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。

不同种类盐溶液及同种盐溶液不同浓度梯度对紫罗兰幼苗叶片生长的影响不同。各浓度 Na₂SO₄ 胁迫对紫罗兰叶面积影响均不显著 ($P > 0.05$)。NaCl 胁迫下, 仅浓度为 1.5% 的处理组与 CK 组无显著性差异, 其余处理组均显著高于 CK 组 ($P < 0.05$)。浓度为 1.2%、1.5% 的 MgCl₂ 处理组, 叶片面积分别是 CK 组的 75.29%、77.93%, 显著低于 CK 组 ($P < 0.05$)。0.3%、0.6% 和 0.9% 复合盐处理的幼苗叶片面积显著高于 CK 组 ($P < 0.05$)。

表 4 盐胁迫对紫罗兰幼苗生长的影响

指标	浓度 (%)	Na ₂ SO ₄	NaCl	MgCl ₂	NaCl + Na ₂ SO ₄ (2 : 1)
胚根长 (mm)	CK	31.00 ± 5.36a	31.00 ± 5.36a	31.00 ± 5.36a	31.00 ± 5.36a
	0.3	16.01 ± 4.33b	22.69 ± 4.46b	5.61 ± 0.86b	21.35 ± 1.49b
	0.6	7.33 ± 1.08c	13.83 ± 4.09c	2.68 ± 0.33bc	10.30 ± 2.76c
	0.9	2.28 ± 0.28cd	5.05 ± 1.29d	1.97 ± 0.34bc	2.11 ± 0.37d
	1.2	1.63 ± 0.13d	1.78 ± 0.37d	1.31 ± 0.26c	1.21 ± 0.02d
	1.5	1.24 ± 0.10d	1.34 ± 0.18d	1.22 ± 0.02c	1.01 ± 0.13d
胚芽长 (mm)	CK	7.93 ± 0.79a	7.93 ± 0.79bc	7.93 ± 0.79a	7.93 ± 0.79ab
	0.3	6.97 ± 0.11b	11.37 ± 2.90a	8.11 ± 0.22a	8.89 ± 2.04ab
	0.6	6.80 ± 0.44b	9.46 ± 2.15ab	2.72 ± 0.13b	10.08 ± 3.70a
	0.9	4.48 ± 0.61c	6.35 ± 1.95cd	2.71 ± 1.20b	5.57 ± 0.40c
	1.2	2.79 ± 0.62d	4.48 ± 0.20de	1.91 ± 0.10b	2.84 ± 0.73c
	1.5	1.89 ± 0.09d	2.26 ± 0.22e	1.93 ± 0.21b	2.89 ± 0.38c
叶面积 (mm ²)	CK	8.70 ± 0.40a	8.70 ± 0.40b	8.70 ± 0.40a	8.70 ± 0.40b
	0.3	7.82 ± 0.80a	13.65 ± 1.95a	7.77 ± 0.83ab	12.07 ± 2.63a
	0.6	8.49 ± 1.11a	16.05 ± 2.21a	7.21 ± 0.94ab	14.13 ± 1.92a
	0.9	8.46 ± 0.91a	14.34 ± 2.07a	7.62 ± 1.68ab	12.29 ± 1.11a
	1.2	7.02 ± 0.50a	13.03 ± 0.59a	6.55 ± 0.56b	9.06 ± 1.03b
	1.5	6.77 ± 1.69a	8.93 ± 3.74b	6.78 ± 0.92b	7.41 ± 1.25b

3 讨论

3.1 盐胁迫对种子萌发影响的讨论

从种子萌发到幼苗定植是植物生活周期中极其脆弱而又非常关键的阶段, 是植物适应环境变化、保持自身繁衍的重要时期^[11], 也是植物生活史中最敏感的时期, 极易受外界环境因子的影响^[12], 该阶段对种子耐盐性的研究是植物耐盐性早期鉴定、选择的基础。众多研究表明, 盐胁迫对植物种子萌发的抑制程度常与盐浓度、盐类型、胁迫时间、pH 值及种子自身耐受能力等因素相关^[13-16]。盐胁迫对种子萌发的伤害作用主要归结为渗透效应和离子效应^[17]。本试验中, 浓度为 0.3% 的 NaCl、Na₂SO₄ 及 MgCl₂ 处理组发芽率显著大于 CK 组 ($P < 0.05$), 盐害指数显著低于 CK 组 ($P < 0.05$), 低浓度 (0.3%、0.6%) NaCl、MgCl₂ 处理的发芽势显著大于 CK 组

($P < 0.05$), 这与大部分研究结果^[18-21]一致, 表现为低浓度盐溶液对种子萌发有促进作用, 可能是由于低浓度的盐处理激活了植物体内某些酶活性并刺激了其营养生长^[20], 细胞中离子转运蛋白和各种离子通道蛋白可以参与细胞离子稳态重建, 提高植物的生存能力^[21]。浓度为 0.3%、0.6%、0.9% 的复合盐溶液处理组的发芽率与 CK 组无显著性差异 ($P > 0.05$), 反映了紫罗兰种子萌发对盐胁迫反应的敏感性。浓度为 1.2% 的 MgCl₂ 溶液对种子无盐害作用, 这可能是由于紫罗兰种子对 Mg²⁺ 对耐受性强, 与高战武等的研究结果^[22]一致。相对于 CK 组, 浓度为 1.5% 的 NaCl、Na₂SO₄、MgCl₂ 溶液处理组发芽率、发芽势显著降低 ($P < 0.05$), 抑制了种子萌发。浓度为 0.9%、1.2%、1.5% 的 4 种盐溶液处理下, 种子发芽指数均显著小于 CK 组 ($P < 0.05$), 其中在浓度为 1.5% 的 4 种盐溶液胁迫下, 紫罗兰种子的盐害指数均显著大于 CK

组,这与大部分研究结果^[23-27]一致。可能因为较高浓度的盐溶液已对种子造成渗透胁迫,引起细胞质壁分离,抑制了种子的吸胀作用^[24],或是高浓度盐离子的毒害作用,抑制了酶系统活性,进而影响胞内的新陈代谢,最终导致各项萌发指标下降^[24-25]。

3.2 胚芽长、胚根长及叶面积对盐胁迫的响应

本试验中盐胁迫对胚根生长产生的影响大于对胚芽和叶片生长的影响。不同浓度、不同种类盐胁迫均对胚根生长产生显著抑制作用,这可能是因为胚根直接接触盐溶液,且胚根比胚芽和叶片对盐胁迫更敏感^[28]。吴成龙等认为,由根部吸收的大量离子在运输过程中被区域化在茎部,从而向代谢活性较高的叶片运输量相对较少,使其耐盐能力较强^[29]。浓度为 0.9% 的 Na_2SO_4 、 MgCl_2 及复合盐溶液显著抑制胚芽生长,表现为高浓度盐胁迫抑制胚芽生长,而该浓度 NaCl 胁迫对胚芽生长无显著影响。盐溶液浓度为 0.6% 时, Na_2SO_4 、 MgCl_2 胁迫组胚芽长显著低于 CK 组,而其他 2 种盐胁迫无显著影响,究其原因,可能是由于相同浓度 NaCl 溶液比 Na_2SO_4 和复合盐溶液中的 Na^+ 含量低,离子效应不显著,也表明不同离子盐可能有不同的离子毒害作用, SO_4^{2-} 比 Cl^- 对胚芽生长的抑制作用强^[22],或是 Na^+ 对胚芽的毒害作用比 Mg^{2+} 小,其原因有待进一步探究。在浓度为 0.3%、0.6% 和 0.9% 盐溶液处理下, NaCl、复合盐溶液促进了叶片生长,与孙海博等研究结果^[30]一致,在一定浓度下 NaCl 和复合盐溶液对叶片生长有促进作用。高浓度下仅 MgCl_2 盐溶液抑制叶片生长。这可能是由于 Mg^{2+} 对叶片的毒害作用明显。

4 结论

4 种盐溶液在胁迫浓度为 0.3% 时对紫罗兰种子萌发均有促进作用。浓度为 1.5% 的 MgCl_2 溶液处理组,紫罗兰种子发芽率、发芽势均大于等于 60.00%,说明其对 MgCl_2 胁迫耐受性强。因幼苗器官不同,对盐种类及盐浓度的响应不同。浓度在 0.3%~1.2% 的 NaCl 胁迫组及 0.3%~0.9% 的复合盐胁迫组显著促进了叶片生长,且浓度为 0.3% 的 NaCl 显著促进了胚芽的生长,说明紫罗兰幼苗对 NaCl 复合盐耐受性强。所有处理下,胚根生长均受到了抑制,但试验中幼苗可以进行正常的生长发育,表现出一定的耐盐能力。综上所述,紫罗兰种子及幼苗在盐胁迫中,均对一定浓度范围内的盐胁迫表现出积极的响应,这对紫罗兰在干旱半干旱盐碱地区的育种及园林应用有现实的指导意义。

参考文献:

- [1] Türkan I, Demiral T. Recent developments in understanding salinity tolerance [J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 67 (1): 2-9.
- [2] 樊怀福,郭世荣,焦彦生,等. 外源一氧化氮对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗生长、活性氧代谢和光合特性的影响[J]. 生态学报, 2007 (2): 546-553.
- [3] 潘耕耘,雷俊玲,林萍. 紫罗兰预处理及其保鲜机制研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(23): 12716-12719.
- [4] 黄隰,李政力,于建,等. 紫罗兰等四种秋播草本花卉的栽培管理与应用[J]. 现代园艺, 2015(13): 36-37.

- [5] 李兴泰. 紫罗兰的形态特征及高产栽培技术[J]. 新农村, 2014 (1): 22-23.
- [6] 叶卫国. 花卉与中西文化浅涉[J]. 逻辑学研究, 2004, 24(3): 275-281.
- [7] 任瑞芬,杨秀云,尹大芳,等. 4 种薄荷种子萌发对干旱与低温的响应[J]. 草业科学, 2015, 32(11): 1815-1822.
- [8] 秦立金. 铬胁迫对油菜种子萌发和生长的影响[J]. 北方园艺, 2011, 11(17): 41-43.
- [9] 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, 25(4): 123-129.
- [10] 杨彬,张一中,柳青山. NaCl 胁迫对高粱种子萌发特性的影响[J]. 山西农业科学, 2012, 40(7): 709-711.
- [11] 杨少辉,季静,王昱. 盐胁迫对植物的影响及植物的抗盐机理[J]. 世界科技研究与发展, 2006, 19(4): 70-76.
- [12] 徐小玉,张凤银,曾庆微. NaCl 和 Na_2SO_4 盐胁迫对波斯菊种子萌发的影响[J]. 东北农业大学学报, 2014, 42(4): 55-59.
- [13] Miller T E. Effects of emergence time on survival and growth in an early old-field plant community [J]. Oecologia, 1987, 72(2): 272-278.
- [14] Omami E N. Changes in germinability, dormancy and viability of *Amaranthus retroflexus* as affected by depth and duration of burial [J]. Weed Research, 1999, 39(5): 345-354.
- [15] 王进,罗光宏,颜霞,等. 单盐胁迫对蒙古扁桃种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中草药, 2017, 48(12): 2509-2515.
- [16] 王妮妮. 混合盐碱胁迫对皂荚种子萌发的影响[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(4): 14-18, 27.
- [17] 陆玉建,高春明,郑高峰,等. 盐胁迫对拟南芥种子萌发的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(22): 5099-5104.
- [18] 王志才,王艳,张富春. 水盐胁迫对花花柴种子萌发的影响[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 750-755.
- [19] 孙君艳,程琴,李淑梅. 盐胁迫对小麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 分子植物育种, 2017, 15(6): 2348-2352.
- [20] 于军,焦培培. 聚乙二醇(PEG6000)模拟干旱胁迫抑制矮沙冬青种子的萌发[J]. 基因组学与应用生物学, 2010, 29(2): 355-360.
- [21] 贺宇,丁国栋,汪晓峰,等. 水分和沙埋对 4 种沙生植物种子萌发和出苗的影响[J]. 中国沙漠, 2013, 33(6): 1711-1716.
- [22] 高战武,郇文凯,王晓琳,等. 六种单盐胁迫对紫花苜蓿种子萌发的影响[J]. 白城师范学院学报, 2016, 30(5): 27-33, 38.
- [23] 姜云天,张丽娜,顾地周,等. 盐胁迫对茶花凤仙种子萌发的影响[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(3): 37-41.
- [24] 庄华蓉. 单盐和混合盐胁迫对沙冬青种子萌发的影响[J]. 节水灌溉, 2015(2): 15-20.
- [25] 王永娟,周妍,徐明,等. 盐胁迫对大豆种子萌发及矿质元素变化的影响[J]. 生态学杂志, 2015, 34(6): 1565-1571.
- [26] 曹满航,李进,张婷,等. 温度和水分及盐分胁迫对银沙槐种子萌发的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(4): 746-753.
- [27] 卢艳敏. 不同盐胁迫对高羊茅种子萌发的影响[J]. 草业科学, 2012, 29(7): 1088-1093.
- [28] 梅懿,祖艳侠,顾闻峰,等. 盐胁迫对不同萝卜品种种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 125-128.
- [29] 吴成龙,周春霖,尹金来,等. NaCl 胁迫对菊芋幼苗生长及其离子吸收运输的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(11): 2289-2296.
- [30] 孙海博,赵杏锁,司家屹,等. 模拟盐胁迫对勿忘草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 山西农业科学, 2018, 46(9): 1450-1454.