

张永福,董翠莲,韩丽,等.酸碱胁迫对凤仙花种子萌发及幼苗生长生理的影响[J].江苏农业科学,2018,46(12):102-105.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.12.024

酸碱胁迫对凤仙花种子萌发及幼苗生长生理的影响

张永福,董翠莲,韩丽,莫丽玲,牛燕芬,姚丽媛

(昆明学院农学院,云南昆明 650214)

摘要:以凤仙花种子为材料,分别用 pH 值为 1~13 的溶液进行培养,分析各处理凤仙花种子发芽、幼苗生长、幼苗营养物质累积及膜脂过氧化系统的状况,揭示酸碱胁迫对凤仙花种子萌发及幼苗生长生理的影响。结果表明,pH 值为 2~11 时对凤仙花种子的萌发影响不大,pH 值为 1 时凤仙花种子活力指数相对最低;pH 值为 12 时凤仙花种子萌发率稍低,但活力指数相对较高;pH 值为 1、13 时凤仙花种子的萌发率和活力指数极低;与 pH 值为 7 时相比,pH 值为 3~6 时抑制凤仙花幼苗生物量的积累、幼根和幼苗的生长,幼根数量减少,pH 值为 8~12 时有利于凤仙花幼苗生物量的积累,促进了幼根和幼苗的生长,幼根数量增加;pH 值为 6~8 时凤仙花幼苗的淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸含量较高,并随着酸碱度的进一步增加,其含量整体呈降低趋势;在一定范围内,随着酸碱度的增加,凤仙花幼苗过氧化氢含量、氧自由基产生速率逐渐增加,SOD 活性逐渐降低,而 POD 活性上升。综合来看,pH 值为 6~10 较适合凤仙花的生长。

关键词:凤仙花;酸碱胁迫;种子萌发;幼苗生长;膜脂过氧化系统;pH 值

中图分类号: S681.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)12-0102-04

植物正常生长发育需要一个良好的土壤环境,土壤中盐分过高、重金属超标、过酸或过碱、过干或过湿等逆境均不利于植物的生长发育。目前,土壤酸化和盐碱化现象日益严重,已经成为世界性的环境问题,一方面由于工业发展和人类干扰,汽车尾气和工业废弃物的大量排放而产生的酸性降雨使土壤酸化,对植物的株高和地径产生影响^[1],使城市园林植物的观赏性降低;另一方面,随着人类活动干扰及环境的恶化,盐碱面积不断增加,我国盐碱化土壤面积已达到 9 913 万 hm^2 ^[2]。如何减轻土壤酸化、盐碱化对园林花卉的危害,使城市中受到污染的土壤能够栽培上适合的园林花卉,是当前城市园林绿化部门面临和亟需解决的问题,确定植物的耐酸碱碱性,探明酸性、碱性土壤对植物生长生理的影响,培育和选用适应性强的园林花卉,是开发利用酸化土地和盐碱地最直接、最有效的途径。近年来,针对不同 pH 值对植物生长反应、生理生化变化等的影响已有一些报道^[3-5]。

凤仙花(*Impatiens balsamina* L.)为凤仙花科凤仙花属一年生草本植物,因民间常用其花、叶染指甲,别称指甲花。凤仙花在我国各地庭院广泛栽培,是常见的园林观赏花卉,其土壤适应性、抗逆性较强,栽培管理方便,其茎入药有祛风湿、活血、止痛之效,种子有软坚、消积之效^[6]。目前,凤仙花主要用种子繁殖,对逆境胁迫下凤仙花种子萌发过程中生理生化变化的研究主要集中在盐胁迫、温度胁迫、水分胁迫等方面^[7-15],而对酸碱胁迫的研究鲜见报道。本试验以凤仙花种子为研究材料,分别使用 pH 值为 1~13 的溶液进行培养,测

定种子发芽指标、幼苗形态指标、幼苗营养物质及膜脂过氧化系统指标,探讨酸碱胁迫对凤仙花幼苗生长生理的影响,确定凤仙花能够正常生长发育的酸碱度,为凤仙花在酸化或碱化土壤中的栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

凤仙花种子,来源于云南省昆明市。

1.2 试验设计

试验于 2015 年 5 月进行,挑选粒大、饱满的凤仙花种子,用蒸馏水浸泡 2 h 后放入垫有 3 层定性滤纸的培养皿中,每个培养皿均匀放入 50 粒种子;分别倒入 10 mL pH 值为 1~13 的溶液,pH 值为 1~13 的溶液用浓度均为 0.1 mol/L 的 HCl 和 NaOH 配制,用 pH 计进行微调;于 26 ℃ 恒温培养箱中进行培养,每个 pH 值处理 200 粒种子,重复 3 次,每隔 1 d 更换 1 次培养皿中的滤纸和不同 pH 值的溶液。

1.3 测定内容和方法

从处理的第 2 天开始每天测定 1 次发芽率,第 6 天开始从每个培养皿中随机取 20 株小幼苗,测定其生物量、幼苗根长、幼苗株高、幼根数量和可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白、游离脯氨酸、丙二醛、过氧化氢含量及氧自由基产生速率、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性。生物量用精确度为 0.01 g 的天平称量,幼苗种子根长、株高用直尺测量;可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白、游离脯氨酸、丙二醛、过氧化氢含量分别采用苯酚-硫酸法、酸解法、考马斯亮蓝 G250 显色法、酸性茚三酮显色法、分光光度法、硫酸钛-浓氨水法测定;超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性、氧自由基产生速率分别采用氮蓝四唑光反应法、愈创木酚-双氧水显色法、对氨基苯磺酸- α -萘胺显色法测定^[16-17]。统计发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数,计算公式如下:

收稿日期:2016-12-24

基金项目:国家自然科学基金(编号:31660559);昆明学院科学研究项目(编号:XJZZ1604);云南省高校优势特色重点学科(生态学)建设项目。

作者简介:张永福(1981—),男,云南弥勒人,博士,副教授,从事园艺植物抗性生理研究。E-mail:123017360@qq.com。

发芽势 = 规定时间内发芽达到高峰期的种子发芽总数/供试种子数 × 100% ;

发芽率 = 规定时间内种子发芽总数/供试种子数 × 100% ;

发芽指数(G_i) = (G_i/D_i) ;

活力指数(V_i) = $G_i \times S$ 。

式中: G_i 为第 i 天的发芽数, 个; D_i 为发芽时间, d; S 为幼苗的株高, cm。用 3 d 内的发芽总数计算发芽势, 用 6 d 内的发芽总数计算发芽率。

1.4 数据统计分析

采用 SPSS 20.0 对数据进行统计分析, 采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 酸碱胁迫对凤仙花种子发芽的影响

种子活力是种子品质的一项重要指标, 由种子发芽率、出苗率、幼苗生长情况及抗逆性组成。由表 1 可知, 不同 pH 值处理对凤仙花种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数有一定的影响; pH 值为 3 ~ 11 处理的凤仙花种子发芽势相对较高, 均在 80% 以上, 且相互间差异不显著, pH 值为 2、12 处理

的凤仙花种子发芽势在 70% 以上, pH 值为 1、13 处理的凤仙花种子发芽势极低, 其中 pH 值为 1 时的发芽势为 0; pH 值为 2 ~ 11 处理的凤仙花种子发芽率相对较高, 均在 85% 以上, 且相互间差异不显著, pH 值为 1、13 的凤仙花种子发芽率低于 10%, 显著低于其他处理($P < 0.05$); 发芽指数的变化规律与发芽率相似, pH 值为 3 ~ 11 处理的凤仙花种子发芽指数均在 77 以上, 且相互间差异不显著, 而 pH 值为 1、13 的凤仙花种子发芽指数均低于 5, 其中 pH 值为 1 时的发芽指数相对最低, 仅为 1.67。

活力指数是种子发芽速率与生长量的综合反映, 也是测定种子活力的重要指标。由表 1 可知, pH 值为 5 ~ 12 处理的凤仙花种子活力指数均在 187 以上, 显著高于其他处理($P < 0.05$); pH 值为 1、2、13 处理的凤仙花种子活力指数则显著低于其他处理($P < 0.05$), 其中以 pH 值为 1 的最低, 其活力指数仅为 0.95。由此可见, pH 值为 2 ~ 11 处理对凤仙花种子的萌发影响不大, 但 pH 值为 2 处理的凤仙花种子活力指数相对较低, 种子萌发后幼苗容易夭折, 难以成苗; pH 值为 12 处理的凤仙花种子萌发率相对稍低, 但其活力指数较高, 幼苗能够健壮成长; pH 值为 1、13 处理的凤仙花种子几乎不能萌发成苗。因此, pH 值为 3 ~ 12 的溶液适用于凤仙花种子的萌发。

表 1 酸碱胁迫对凤仙花种子发芽的影响

pH 值	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽指数	活力指数
1	0.00e	4.51 ± 0.73d	1.67 ± 0.17d	0.95 ± 0.06e
2	79.19 ± 3.30bc	92.17 ± 9.33a	77.33 ± 4.35a	47.95 ± 2.79c
3	90.20 ± 4.94a	93.46 ± 5.42a	83.75 ± 3.78a	146.56 ± 8.76b
4	85.23 ± 9.12ab	89.28 ± 3.49a	79.58 ± 3.99a	156.78 ± 10.02b
5	90.76 ± 2.45a	92.15 ± 2.02a	83.33 ± 2.46a	206.67 ± 12.34a
6	91.38 ± 5.19a	93.47 ± 4.55a	84.25 ± 5.73a	210.63 ± 17.63a
7	84.71 ± 6.08ab	86.82 ± 4.26a	77.58 ± 4.44a	187.75 ± 13.17a
8	88.73 ± 5.38a	91.28 ± 5.19a	81.92 ± 7.01a	212.16 ± 15.08a
9	88.06 ± 3.99a	92.37 ± 2.42a	82.08 ± 6.25a	206.03 ± 14.32a
10	85.29 ± 5.15ab	88.49 ± 4.21a	78.92 ± 3.12a	195.71 ± 10.99a
11	83.53 ± 5.01ab	86.61 ± 5.15ab	77.33 ± 4.29a	215.76 ± 20.04a
12	72.81 ± 3.92c	79.38 ± 4.26b	70.75 ± 3.97b	212.25 ± 18.24a
13	4.17 ± 1.35d	7.27 ± 1.02c	4.08 ± 0.33c	3.06 ± 0.27d

注: 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 酸碱胁迫对凤仙花幼苗生长的影响

由表 2 可知, 碱处理(pH 值 > 7)能够促进凤仙花生生物量的累积; 随着 pH 值的上升, 凤仙花幼苗的生物量逐渐增加, pH 值为 10 ~ 12 处理的凤仙花幼苗生物量显著大于其他处理($P < 0.05$); pH 值为 3、4 处理的凤仙花幼苗生物量显著小于其他酸碱胁迫处理, 而这 2 个处理相互间差异不显著; 碱性胁迫处理有利于凤仙花幼苗根系的生长, 而酸性胁迫则抑制其根系的生长, pH 值 5 ~ 12 处理的凤仙花幼苗根长显著大于其他 2 个处理, 而 pH 值为 3 处理的凤仙花幼苗根长显著小于其他处理($P < 0.05$); 碱胁迫处理的凤仙花幼苗株高高于酸胁迫处理, pH 值为 9 ~ 12 处理的凤仙花幼苗株高显著高于其他处理, 而 pH 值为 3、4 处理的凤仙花幼苗株高显著低于其他处理; 中性、碱性条件有利于凤仙花幼根数量的增加, 而酸性条件则不利于其幼根数量的增加, pH 值为 6 ~ 12 处理的凤仙花幼根数量明显多于其他处理, pH 值为 3 处理的凤仙花幼

表 2 酸碱胁迫对凤仙花幼苗生长的影响

pH 值	生物量 (g)	幼苗根长 (cm)	株高 (cm)	根数 (条)
3	0.08 ± 0.01d	3.39 ± 0.11c	1.75 ± 0.12c	4.64 ± 0.22b
4	0.11 ± 0.02cd	4.06 ± 0.50b	1.97 ± 0.09c	4.89 ± 0.35ab
5	0.13 ± 0.01c	4.90 ± 0.34a	2.48 ± 0.18b	4.95 ± 0.23ab
6	0.14 ± 0.02c	4.97 ± 0.53a	2.50 ± 0.17b	4.98 ± 0.20a
7	0.18 ± 0.02b	5.25 ± 0.33a	2.52 ± 0.11b	5.01 ± 0.11a
8	0.18 ± 0.01b	5.21 ± 0.46a	2.59 ± 0.09b	5.01 ± 0.18a
9	0.19 ± 0.03b	5.35 ± 0.51a	2.61 ± 0.29a	5.12 ± 0.09a
10	0.21 ± 0.02a	5.08 ± 0.50a	2.68 ± 0.15a	5.09 ± 0.10a
11	0.23 ± 0.01a	5.37 ± 0.40a	2.79 ± 0.29a	5.13 ± 0.11a
12	0.25 ± 0.02a	5.02 ± 0.47a	3.02 ± 0.28a	5.13 ± 0.14a

注: 由于 pH 值为 1、2、13 处理的凤仙花种子活力指数极低, 并未获得正常幼苗, 因此只对 pH 值为 3 ~ 12 处理的凤仙花幼苗进行生长、营养物质含量等其他指标的测定分析。

根数量相对最少。由此可见,碱性条件有利于凤仙花生生物量的累积,可促进幼根生长、幼苗长高和幼根数量的增加。

2.3 酸碱胁迫对凤仙花幼苗营养物质含量的影响

由表 3 可知,pH 值为 6~8 处理的凤仙花幼苗淀粉含量显著高于其他处理,pH 值为 11、12 处理的凤仙花幼苗淀粉含量则显著低于其他处理($P<0.05$),而 pH 值为 3、4、9、10 处理的凤仙花幼苗淀粉含量相互间差异不显著;pH 值为 8、9 处理的凤仙花幼苗可溶性糖含量显著高于其他处理,pH 值为 12 处理的凤仙花幼苗可溶性糖含量显著低于其他处理($P<0.05$),而 pH 值为 3~7 和 pH 值为 10 处理的凤仙花幼苗可溶性糖含量相互间差异不显著;pH 值为 3~8 处理的凤仙花

幼苗可溶性蛋白含量相差不大,相互间差异不显著,pH 值为 12 处理的凤仙花幼苗可溶性蛋白含量显著低于其他处理;pH 值为 5~8 处理的凤仙花幼苗游离脯氨酸含量显著高于其他处理,而 pH 值为 11、12 处理的则显著低于其他处理;溶液 pH 值为 7 时,凤仙花幼苗的淀粉、游离脯氨酸含量相对最高,分别为 6.85 mg/g、58.15 $\mu\text{g/g}$,溶液 pH 值为 9 时凤仙花幼苗的可溶性糖含量、pH 值为 6 时凤仙花幼苗的可溶性蛋白含量相对最高,分别为 8.54、3.57 mg/g,随着酸、碱度的增加,有机营养物质含量下降,pH 值为 12 时,凤仙花幼苗 4 种营养物质含量整体上显著低于其他处理($P<0.05$)。

表 3 酸碱胁迫对凤仙花幼苗营养物质含量的影响

pH 值	淀粉含量 (mg/g)	可溶性糖含量 (mg/g)	可溶性蛋白含量 (mg/g)	游离脯氨酸含量 ($\mu\text{g/g}$)
3	4.75 \pm 0.40c	6.50 \pm 0.53bc	3.04 \pm 0.28ab	34.44 \pm 1.86c
4	4.82 \pm 0.36c	6.92 \pm 0.21b	3.11 \pm 0.34ab	45.72 \pm 2.08b
5	5.75 \pm 0.35b	6.73 \pm 0.40bc	3.33 \pm 0.39ab	53.15 \pm 3.75a
6	6.81 \pm 0.63a	7.15 \pm 0.19b	3.57 \pm 0.21a	56.62 \pm 2.91a
7	6.85 \pm 0.91a	7.31 \pm 0.47b	3.44 \pm 0.37ab	58.15 \pm 3.04a
8	6.14 \pm 0.49a	8.33 \pm 0.34a	3.14 \pm 0.48ab	53.03 \pm 1.74a
9	4.68 \pm 0.34c	8.54 \pm 0.11a	2.97 \pm 0.15b	25.69 \pm 3.20d
10	4.67 \pm 2.05c	7.03 \pm 0.46b	2.76 \pm 0.31bc	17.32 \pm 1.15e
11	2.54 \pm 0.16d	6.14 \pm 0.45c	2.54 \pm 0.16c	12.64 \pm 0.16f
12	2.33 \pm 0.20d	4.23 \pm 0.04d	2.23 \pm 0.02d	12.33 \pm 0.20f

2.4 酸碱胁迫对凤仙花幼苗膜脂过氧化系统的影响

由表 4 可知,酸碱胁迫对凤仙花膜脂过氧化系统产生一定的影响;随着酸碱度的增加,凤仙花幼苗丙二醛、过氧化氢含量总体上呈增加趋势,SOD 活性呈下降趋势,pH 值为 7 处理的凤仙花幼苗丙二醛、过氧化氢含量显著低于其他处理,pH 值为 3、12 处理的凤仙花幼苗丙二醛含量及 pH 值为 12 处理的凤仙花幼苗过氧化氢含量显著高于其他处理,pH 值为 6、7 处理的凤仙花幼苗 SOD 活性显著高于其他处理($P<0.05$);pH 值为 7~12 处理的凤仙花植株氧自由基产生速率随着碱度增加呈逐渐上升趋势,而随着酸度的增加(pH 值由

7 降至 3),凤仙花植株氧自由基产生速率呈先上升后下降趋势,pH 值为 5、12 处理的凤仙花植株氧自由基产生速率显著大于其他处理,而 pH 值为 7 处理的氧自由基产生速率为 12.33 $\mu\text{mol}/(\text{min} \cdot \text{g})$,显著低于其他处理;随着 pH 值的增加,凤仙花幼苗 POD 活性呈上升趋势,pH 值为 12 时的凤仙花幼苗 POD 活性相对最高,为 18.13 U/(mg \cdot min),显著高于其他处理,而 pH 值为 3 时的 POD 活性相对最低,为 3.09 U/(mg \cdot min),显著低于其他处理。可见,酸碱度增加对凤仙花幼苗的膜脂过氧化系统会产生伤害,且随着酸碱度的增加,其对凤仙花幼苗的伤害程度加大。

表 4 酸碱胁迫对凤仙花幼苗膜脂过氧化系统的影响

pH 值	丙二醛含量 ($\mu\text{mol/g}$)	过氧化氢含量 ($\mu\text{mol/g}$)	氧自由基产生速率 [$\mu\text{mol}/(\text{min} \cdot \text{g})$]	SOD 活性 (U/g)	POD 活性 [U/(mg \cdot min)]
3	4.18 \pm 0.59a	287.04 \pm 18.56b	22.79 \pm 2.53bc	35.69 \pm 3.71d	3.09 \pm 0.15h
4	3.41 \pm 0.31b	237.60 \pm 15.53c	26.46 \pm 2.07b	48.13 \pm 3.39c	4.05 \pm 0.09g
5	2.49 \pm 0.19c	215.41 \pm 14.97c	30.14 \pm 1.67a	64.59 \pm 5.29b	4.36 \pm 0.27f
6	1.61 \pm 0.10d	156.86 \pm 7.37e	20.04 \pm 0.16d	75.44 \pm 4.08a	5.02 \pm 0.24e
7	0.84 \pm 0.02f	113.97 \pm 4.32f	12.33 \pm 0.20e	76.50 \pm 7.94a	5.29 \pm 0.58e
8	1.20 \pm 0.14e	192.08 \pm 5.21d	19.44 \pm 1.37d	65.76 \pm 2.05b	5.35 \pm 0.11e
9	1.36 \pm 0.18de	238.04 \pm 6.16c	21.96 \pm 1.35cd	60.97 \pm 4.84b	7.07 \pm 0.33d
10	2.15 \pm 0.07c	252.33 \pm 7.20c	24.89 \pm 2.97bc	34.91 \pm 3.64d	9.24 \pm 0.46c
11	3.16 \pm 0.08b	297.65 \pm 12.27b	26.42 \pm 2.47b	12.51 \pm 1.16e	13.26 \pm 0.52b
12	4.20 \pm 0.10a	387.32 \pm 21.49a	31.12 \pm 2.84a	8.32 \pm 0.20f	18.13 \pm 0.14a

3 结论与讨论

植物种子萌发是其生长发育的起点,溶液中的酸碱度将直接影响其萌发状况。有研究发现,pH 值为 3.5~5.0 的弱酸环境能促进小黑麦的种子萌发,但酸度增加到 pH 值为 2.0

时则其萌发受到明显抑制^[18];pH 值为 5.0~6.5 对光皮桦种子前期的萌芽速率有一定的促进作用,但当 pH 值降至 4.5 时,明显抑制其萌发,且随着酸性的增强,其发芽率、发芽势等明显降低,当 pH 值降至 3.5 时,已不能正常发芽^[19];pH 值为 7.5~8.5 的弱碱性环境在一定程度上可抑制光皮桦种子的

萌发,但影响不明显,而随着 pH 值上升,其发芽指标呈下降趋势^[19]。本研究发现,除 pH 值为 1、13 的处理可严重抑制凤仙花种子萌发外,其他处理的凤仙花种子发芽势、发芽率均较高,pH 值为 2 处理的种子活力指数较低,萌发后容易夭折,难以成苗,pH 值为 12 处理的种子萌发率稍低,但活力指数较高,幼苗能够健壮生长;pH 值为 3~12 的溶液均适用于凤仙花的种子萌发,其中以 pH 值为 5~11 的效果相对最佳,获得的幼苗质量较好。

种子中贮藏的可溶性糖、蛋白质、淀粉等营养物质为种子萌发和幼苗生长提供了必需的能量和养料。种子萌芽时,胚根生出种皮后失去了种皮和蜡质层的保护,对酸碱胁迫最为敏感,最容易受到伤害,进而影响地上部的生长。有研究表明,弱酸或弱碱对光皮桦种子发芽率无显著影响,但萌发种子生长受到抑制,从而影响幼苗的质量;随着酸碱度的增加,光皮桦幼苗的根和芽生长受到的抑制作用增强^[19]。本研究发现,与 pH 值为 7 的条件相比,pH 值为 3~6 的酸性条件可不同程度地抑制凤仙花幼苗生物量的积累、幼根和幼苗的生长,使幼根数量减少,pH 值为 8~12 的碱性条件有利于其生物量的积累,促进了幼根和幼苗的生长,使幼根数量增加,且这种抑制或促进效应随着酸碱度的增加而增强;pH 值为 6~8 处理的凤仙花幼苗淀粉、可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸含量相对较高,随着酸、碱度的增加,其营养物质含量逐渐下降;pH 值为 11、12 处理的凤仙花营养物质含量有大幅度降低,不利于其生长发育。

在正常情况下,植物体内的膜脂过氧化系统处于平衡状态,自由基的产生与消除处于动态平衡,当植物受到逆境胁迫时,这种平衡受到破坏,抗氧化酶会表现出相应的应激反应^[20-23]以缓解胁迫对生物膜系统的伤害。丙二醛是膜脂过氧化的产物,其含量直接反映细胞膜的受害程度。凤仙花幼苗在 pH 值为 6~9 的环境中,体内丙二醛含量显著低于其他处理,而随着酸碱度的增加,凤仙花幼苗丙二醛含量逐渐上升,说明 pH 值为 6~9 的溶液对凤仙花幼苗伤害较小。杨洪双等研究表明,在酸碱胁迫下,姬松茸的 SOD 活性有不同程度的升高,而 POD 活性呈先升高后降低再升高的趋势^[24]。本研究表明,在一定范围内,随着酸碱度的增高,凤仙花幼苗的过氧化氢含量和氧自由基产生速率逐渐增加,SOD 活性逐渐降低;随着 pH 值的升高,凤仙花幼苗 POD 活性呈上升趋势。这表明酸碱度的增加对凤仙花幼苗的膜脂过氧化系统产生伤害,且伤害的程度随着酸碱度的增加而加大。

综上所述,凤仙花种子虽然在 pH 值为 5~11 的处理液中能很好地萌发,获得的幼苗质量也较好,但综合幼苗生长状况、幼苗营养物质含量及膜脂过氧化系统来看,pH 值为 6~10 的环境最适合凤仙花的生长,这也说明凤仙花是一种耐碱性较强的花卉,在园林绿化中可在土壤碱化较为严重的地区栽培。

参考文献:

[1] 蒋藹蔚. 六种不同起源时期被子植物幼苗对酸雨胁迫响应的光合生理生态特征[D]. 重庆:西南大学,2009.

- [2] 李建设,沈国伟,任长忠,等. 燕麦种子萌发和幼苗生长对不同盐胁迫的反应[J]. 麦类作物学报,2009,29(6):1043-1047.
- [3] 黄立华,梁正伟,马红媛. 移栽羊草在不同 pH 土壤上的生长反应及主要生理变化[J]. 中国草地学报,2008,30(3):42-47.
- [4] 周建,杨立峰,张琳,等. 碱胁迫对合欢种子萌发及幼苗生理指标的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2008,34(4):401-408.
- [5] 丁国昌,林思祖,曹光球,等. 几个树种生化物质作用下 pH 胁迫对杉木幼苗生长及生理的影响[J]. 江西农业大学学报,2003,25(6):824-827.
- [6] 陈艺林. 中国植物志(第 47 卷第 2 分册)[M]. 北京:科学出版社,2001:29.
- [7] 林琼,黄华,李辉凤,等. 凤仙花种子萌发过程中的生理生化变化[J]. 贵州农业科学,2009,37(6):48-50.
- [8] 林琼,肖娟. 3 种凤仙花属植物种子萌发特性比较研究[J]. 湖南农业科学,2007(4):36-37.
- [9] 林琼,肖炜. 凤仙花种子贮藏特性及其生理机制研究[J]. 江西农业大学学报,2009,31(1):72-76.
- [10] 牛通. 盐胁迫对凤仙花种子萌发的影响[J]. 北方园艺,2012(15):86-88.
- [11] 姜云天,沈红梅,闫中雪,等. 凤仙花种子萌发期对碱性盐胁迫耐受性评价[J]. 现代园艺,2014(12):3-4.
- [12] 何会流. 硝普钠对盐胁迫下凤仙花种子萌发及幼苗生理指标的影响[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2013,38(6):81-84.
- [13] 申晓慧,郭伟,冯鹏,等. 铜-锌复合胁迫对凤仙花萌发及幼苗生长的影响[J]. 农业灾害研究,2014,4(5):16-17.
- [14] 杨亚杰,朱二刚,白俊丽. 凤仙花种子发芽特性的研究[J]. 河南农业,2007(9):18-19.
- [15] 罗英,杨仁强,肖莲,等. 水杨酸预处理对水分胁迫下凤仙花幼苗抗氧化能力的影响[J]. 江苏农业科学,2010(6):243-245.
- [16] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [17] 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.
- [18] 李焰焰,聂传朋,董召荣. 模拟酸雨对小黑麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 生态学杂志,2005,24(4):395-397.
- [19] 何海洋,胡春芹,丁强强,等. 不同 pH 对光皮桦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西南林业大学学报,2013,33(5):29-33.
- [20] 殷奎德,马连菊,刘世强. 逆境条件下植物活性氧(AOS)的研究进展[J]. 沈阳农业大学学报,2003,34(2):147-149.
- [21] 王红,杨镇,裴文琪,等. 功能性微生物制剂对镉胁迫下水稻生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(5):974-979.
- [22] 闫圆圆,曾爱松,宋立晓,等. 结球甘蓝幼苗耐热性鉴定方法及耐热生理[J]. 江苏农业学报,2016,32(4):885-890.
- [23] 顾大路,杨文飞,延刚,等. 冻害胁迫下防冻剂处理对小麦生理特征和产量的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(3):490-496.
- [24] 杨洪双,郭彦,王钦美. pH 对姬松茸保护酶活性的影响[J]. 安徽农业通报,2006,12(13):54.