

文章编号: 1674-8085 (2022) 02-0061-06

# 盐胁迫和铝胁迫对加拿大一枝黄花种子萌发的影响

\*苏启陶, 钱豪, 胡伟涛, 游 媒, 罗 轶, 周林霞

(井冈山大学生命科学学院, 江西, 吉安 343009)

**摘 要:** 为探究加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 在不同浓度下对盐胁迫和铝胁迫的耐受性, 以加拿大一枝黄花为材料, 采用室内生物测定的方法, 利用 0、200、400、800、1600、3200 mg/L 不同浓度 NaCl 和 AlCl<sub>3</sub> 溶液处理加拿大一枝黄花种子, 并对其萌发特性进行比较研究。结果表明: (1) 加拿大一枝黄花种子的发芽率随着 NaCl 浓度的增加而降低, 与对照相比, 800 mg/L 浓度的 NaCl 溶液对其发芽率和发芽势产生显著抑制作用 ( $P < 0.05$ ), 当浓度为 1600~3200mg/L 时, 发芽率和发芽势极显著降低 ( $P < 0.01$ ), 当浓度为 800~3200 mg/L 时, 加拿大一枝黄花发芽指数极显著降低 ( $P < 0.01$ ); (2) 加拿大一枝黄花种子发芽率随着 AlCl<sub>3</sub> 浓度的增加而降低, 与对照相比, 200~3200mg/L 的 AlCl<sub>3</sub> 溶液对其发芽率、发芽势及发芽指数受到极显著抑制作用 ( $P < 0.01$ )。 (3) 加拿大一枝黄花种子对盐胁迫具有相对更强的耐受性。

**关键词:** 盐胁迫; 铝胁迫; 加拿大一枝黄花; 种子萌发; 耐受性

中图分类号: Q142

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2022.02.010

## EFFECTS OF SALT STRESS AND ALUMINUM STRESS ON THE SEED GERMINATION OF *SOLIDAGO CANADENSIS*

\*SU Qi-tao, QIAN Hao, HU Wei-tao, YOU Mei, LUO Yi, ZHOU Lin-xia

(School of Life Sciences, Jinggangshan University, Ji'an, Jiangxi 343009, China)

**Abstract:** To explore the adaptability of *Solidago canadensis* under salt stress and aluminum stress, the germination characteristics of *S. canadensis* seeds treated with different concentrations of NaCl and AlCl<sub>3</sub> at 0, 200, 400, 800, 1600 and 3200 mg/L were investigated. The results showed that: (1) The germination rates of *S. canadensis* seeds decreased with the increase of NaCl concentrations. Compared with the control, the seed germination rates and germination potential were significantly decreased at 800 mg/L ( $P < 0.05$ ), extremely significantly decreased at 1600~3200 mg/L ( $P < 0.01$ ); and the germination indexes were extremely significantly reduced at 800~3200 mg/L. (2) The germination rates of *S. canadensis* seeds decreased with the increase of AlCl<sub>3</sub> concentrations. Compared with the control, the germination rates, germination potential and germination indexes were extremely significantly inhibited at 200~3200 mg/L ( $P < 0.01$ ). (3) Compared with aluminum stress, the seeds of *S. canadensis* were more tolerance to salt stress.

**Key words:** salt stress; aluminum stress; *Solidago canadensis*; seed germination; tolerance

收稿日期: 2021-06-08; 修改日期: 2021-08-02

基金项目: 江西省教育厅科技计划项目 (GJJ201038); 井冈山大学科研基金项目 (JZ2001)

作者简介: \*苏启陶(1993-), 男, 福建大田人, 助理实验师, 硕士, 主要从事植物繁殖生态相关研究(E-mail:suqitao@jgsu.edu.cn).

随着经济发展和国际贸易活动频繁,加剧了生物入侵过程<sup>[1-2]</sup>,对入侵地的生物多样性与生态系统造成严重影响<sup>[3]</sup>。生物入侵作为全球三大环境难题之一,正在不断威胁我国农林渔牧业、生态环境、交通运输、人民健康等,并造成重大经济损失<sup>[4-5]</sup>。植物能否成功入侵很大程度上取决于入侵后能否成功繁殖<sup>[6]</sup>,入侵植物通常具有较强表型可塑性,以适应入侵地不同的生态环境<sup>[7-8]</sup>,同时拥有强大的繁殖体系能够产生更多子代,占据当地土壤种子库,但子代发展还需要拥有更强的竞争力、耐受性等,才能快速占据生境而成功生存发展<sup>[9]</sup>。不同植物种子可根据周围环境的差异改变萌发策略,以适应新的生态环境<sup>[10]</sup>。随着研究的深入,盐胁迫、干旱胁迫等不同逆境胁迫下种子的萌发机制逐步被揭示<sup>[11]</sup>,不同植物对胁迫的适应性机制存在差异<sup>[12-13]</sup>。前人研究发现,多种禾本科植物种子在盐胁迫下,萌发率等多项指标随着胁迫强度的增加呈现降低趋势<sup>[12]</sup>。腺独行菜(*Lepidium apetalum*)种子萌发率在盐胁迫中表现为低浓度促进,高浓度抑制,当浓度达到 150 mmol/L 时种子失去发芽能力<sup>[14]</sup>,而低浓度的 NaCl 溶液能促进棉花(*Gossypium spp*)种子萌发和幼苗生长<sup>[15]</sup>。紫花苜蓿(*Medicago sativa*)及红豆草(*Onobrychis viciifolia*)种子的萌发率在铝胁迫下表现为低浓度下存在一定的促进作用,而高浓度下则抑制种子萌发<sup>[16]</sup>,但铝胁迫对狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)的萌发率却没有影响,仅会降低发芽势<sup>[17]</sup>。可见,不同物种对盐胁迫、铝胁迫表现出不同的适应策略。

加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)为菊科一枝黄花属植物,原产于北美,1935年作为观赏植物引入上海,后逸生,在我国东部迅速扩散<sup>[18]</sup>。进入中国后,加拿大一枝黄花遗传特性发生变化,由原来的二倍体转化为四倍体和六倍体,入侵能力显著加强<sup>[19]</sup>,同时,其具有有性繁殖和营养繁殖特性,可产生大量种子,高达 20000 粒/株,自然环境中萌发率为 30%左右<sup>[20]</sup>,成功入侵后,通过地下部分进行营养繁殖稳定种群发展<sup>[21]</sup>。加拿大一枝黄花会根系提取物能够影响植物相关基因表达<sup>[22]</sup>,同时显著

影响入侵地土壤中土脲酶和蔗糖酶活性<sup>[23]</sup>,进而影响植物根系生长。现阶段,国内外学者对加拿大一枝黄花的研究主要集中在其繁殖生态学<sup>[24-25]</sup>、化感作用<sup>[26-29]</sup>,入侵机理<sup>[30-31]</sup>等方面,较少从种子繁殖角度分析其入侵能力,特别是在不同胁迫下,对种子的萌发特性研究。盐胁迫和铝胁迫是植物生长过程中经常遭遇的环境胁迫,本研究以加拿大一枝黄花为材料,探讨其在不同胁迫下的种子萌发特性,对深入研究其入侵机制具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

材料选取加拿大一枝黄花种子,于 2019 年 12 月采集于江西省吉安市峡江县(115°8'5.683"N, 27°35'16.818"E),于烘箱 35℃干燥 48 h 后低温(4℃)保存备用。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 盐胁迫处理

取形状、大小统一、籽粒饱满 50 粒将加拿大一枝黄花种子放入装有高锰酸钾溶液(质量分数为 0.5%)的培养皿中消毒 8 min,用蒸馏水洗去种子表面残留的高锰酸钾溶液。取清洁的培养皿,在底部铺一层滤纸,向培养皿中加入 5 mL 浓度为 0(对照)、200、400、800、1600、3200 mg/L 的 NaCl 溶液,放入培养箱中培养(25℃,通风,12 h 光照)。每日补充蒸馏水至原浓度。每个培养皿放置 50 粒种子,记为一个重复,每个处理 5 个重复。

#### 1.2.2 铝胁迫处理

种子经消毒后,以不同浓度的 AlCl<sub>3</sub> 溶液模拟铝胁迫,设置 0(对照)、200、400、800、1600、3200 mg/L 的 6 个浓度,其中 0 为对照。每个培养皿放置 50 粒种子,记为一个重复,每个处理 5 个重复。

#### 1.2.3 种子萌发测定

每日 18:00 记录种子萌发情况(胚根长度超过种子长度一半视为萌发),连续观察 12 d,计算对

应的种子萌发率、发芽指数、发芽势等指标。计算公式如下:

$$\text{萌发率(GR)} = n / N \times 100\%$$

$$\text{发芽指数(GI)} = \sum G_t / D_t$$

$$\text{发芽势(GP)} = \text{规定时间(4 d)内发芽数} / N \times 100\%$$

其中:  $n$  为最终发芽数;  $N$  为处理的种子数;  $G_t$  为处理第  $t$  天的发芽数;  $D_t$  为相应的发芽天数。

### 1.3 数据统计分析

采用 Excel 2019 和 SPSS 19.0 软件进行数据统计, 采用 Duncan 法进行各处理间的差异显著性分析。所有数据均用平均值±标准误进行表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫对加拿大一枝黄花种子萌发的影响

#### 2.1.1 盐胁迫对加拿大一枝黄花种子萌发进程的影响

由图 1 可知, 在不同浓度的盐胁迫下, 实验种子首次萌发时间均为处理后的第 2 d; 当 NaCl 浓度低于 800 mg/L 时, 单日萌发最大值出现在第 2 d, 浓度大于 800 mg/L 时为第 3 d; 各梯度萌发趋势较为一致, 处理后第 5 d 后无新增萌发种子。从图 1 中可以看出, NaCl 溶液在 200~3200 mg/L 浓度下对加拿大一枝黄花种子萌发进程影响较小, 没有影响种子开始萌发时间。

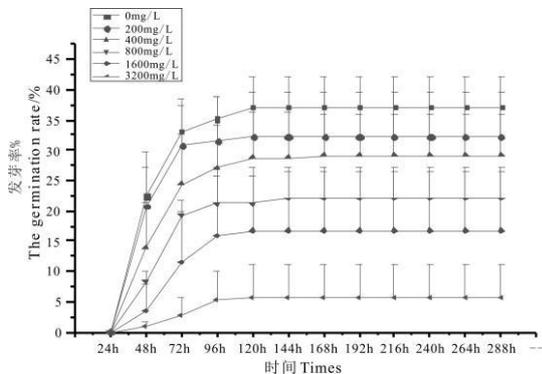


图 1 钠胁迫对加拿大一枝黄花种子萌发的影响

Fig. 1 Effects of sodium stress on seed germination of *S. canadensis*

#### 2.1.2 盐胁迫对加拿大一枝黄花种子萌发率、发芽

指数、发芽势的影响

由表 1 可知, 盐胁迫下加拿大一枝黄花种子发芽率, 发芽势和发芽指数均受到抑制, 抑制效果随 NaCl 浓度的增加而增强; NaCl 浓度为 200~400 mg/L 时, 加拿大一枝黄花种子萌发率、发芽指数、发芽势与对照组相比不存在显著性差异; 当 NaCl 浓度到 800 mg/L 时, 加拿大一枝黄花种子发芽率和发芽势显著降低; 当浓度达到 1600~3200 mg/L 时, 种子发芽率、发芽势极显著降低, NaCl 浓度在 800~3200 mg/L 时, 加拿大一枝黄花的发芽指数与对照组相比极显著降低。

表 1 盐胁迫对加拿大一枝黄花种子发芽率、发芽势、发芽指数的影响

Table 1 Effects of sodium stress on the germination rate, germination potential and germination index of *S. canadensis*

浓度	发芽率	发芽势	发芽指数
0 mg/L	37.20% ± 4.83% <sup>aA</sup>	35.2% ± 3.71% <sup>aA</sup>	7.85 ± 0.80 <sup>aA</sup>
200 mg/L	32.40% ± 7.20% <sup>abA</sup>	31.60% ± 7.42% <sup>abA</sup>	7.04 ± 1.94 <sup>abAB</sup>
400 mg/L	29.20% ± 6.76% <sup>abAB</sup>	27.20% ± 6.76% <sup>abAB</sup>	5.77 ± 1.75 <sup>abABC</sup>
800 mg/L	22.00% ± 4.56% <sup>bcAB</sup>	21.20% ± 4.66% <sup>bcAB</sup>	4.22 ± 0.68 <sup>bcBC</sup>
1600 mg/L	16.80% ± 10.32% <sup>cBC</sup>	16.00% ± 11.10% <sup>cBC</sup>	2.86 ± 1.90 <sup>cdCD</sup>
3200 mg/L	5.60% ± 5.57% <sup>dC</sup>	5.20% ± 4.83% <sup>dC</sup>	0.87 ± 0.85 <sup>dD</sup>

注: 表中平均值后小写字母代表差异显著 ( $P < 0.05$ ), 大写字母代表差异极显著 ( $P < 0.01$ )

### 2.2 铝胁迫对加拿大一枝黄花种子萌发的影响

#### 2.2.1 铝胁迫对加拿大一枝黄花种子萌发进程的影响

由图 2 可以看出, 随着  $AlCl_3$  浓度的增加, 各组种子首次萌发时间明显延后, 对照组中单日种子萌发最大值出现在第 2 d, 3200 mg/L 浓度下为第 5 d, 其余处理均为第 4 d; 第 8 d 后无新种子萌发。从图 2 可以看出, 高浓度的  $AlCl_3$  溶液抑制加拿大一枝黄花种子萌发进程。200~400 mg/L 浓度下,  $AlCl_3$  溶液对加拿大一枝黄花种子萌发进程影响较小, 而 800~3200 mg/L 浓度下, 加拿大一枝黄花种子萌发进程均出现不同程度的后延, 与对照相比, 加拿大一枝黄花种子在浓度为 3200 mg/L 的  $AlCl_3$  溶液下种子开始萌发时间后延 3 d。

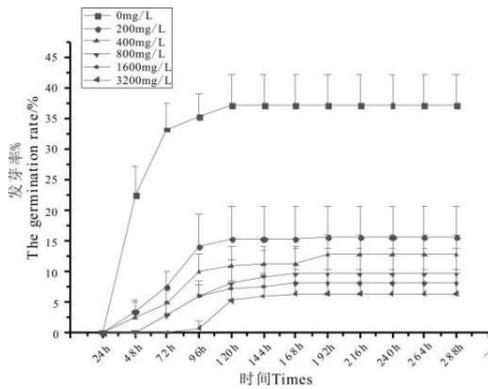


图2 铝胁迫对加拿大一枝黄花种子萌发的影响

Fig. 2 Effects of aluminum stress on seed germination of *S. canadensis*

### 2.2.2 铝胁迫对加拿大一枝黄花种子萌发率、发芽指数、发芽势的影响

由表2可知铝胁迫下,加拿大一枝黄花种子萌发呈现抑制作用,且浓度越高,其萌发率越低,当浓度为3200 mg/L时,种子发芽率仅为6.40%。与对照组相比,当 $\text{AlCl}_3$ 浓度达200~3200 mg/L时,加拿大一枝黄花种子发芽率、发芽势与发芽指数极显著降低。

表2 铝胁迫对加拿大一枝黄花种子发芽率、发芽势、发芽指数的影响

Table 2 Effects of aluminum stress on the germination rate, germination potential and germination index of *S. canadensis*

浓度	发芽率	发芽势	发芽指数
0 mg/L	37.2% ± 4.80% <sup>aA</sup>	35.20% ± 3.70% <sup>aA</sup>	7.85 ± 0.80 <sup>aA</sup>
200 mg/L	15.6% ± 5.12% <sup>bB</sup>	14.00% ± 5.37% <sup>bB</sup>	2.51 ± 0.69 <sup>bB</sup>
400 mg/L	12.8% ± 3.25% <sup>bcBC</sup>	10.00% ± 2.82% <sup>bcBC</sup>	1.86 ± 0.58 <sup>bcBC</sup>
800 mg/L	9.6% ± 4.08% <sup>cdBC</sup>	6.00% ± 2.53% <sup>cdCD</sup>	1.2 ± 0.49 <sup>cdCD</sup>
1600 mg/L	8% ± 1.79% <sup>cdBC</sup>	6.00% ± 1.79% <sup>cdCD</sup>	1.05 ± 0.16 <sup>cdCD</sup>
3200 mg/L	6.4% ± 3.87% <sup>dC</sup>	0.80% ± 0.98% <sup>dD</sup>	0.64 ± 0.39 <sup>dD</sup>

## 3 讨论

种子萌发在植物生活史中占有重要地位,萌发特性受自身因素和环境因素的影响<sup>[32-34]</sup>,而非生物胁迫是限制种子萌发的主要环境因素<sup>[35-36]</sup>。前人研究发现,不同程度的盐胁迫对两种禾本科植物高粱(*Sorghum bicolor*)、青稞(*Hordeum vulgare*)的发芽率和发芽势产生抑制作用<sup>[37-38]</sup>;紫茉莉科的紫茉莉

(*Mirabilis jalapa*)种子萌发随NaCl溶液浓度升高而延缓,50~200mmol/L浓度的NaCl溶液显著抑制了紫茉莉的种子发芽势、最终萌发率和发芽指数<sup>[39]</sup>;而豆科的甘草(*Glycyrrhiza uralensis*),其种子在盐胁迫浓度在200 mmol/L以上时萌发受到明显抑制,但200 mmol/L以下浓度抑制作用不明显<sup>[40]</sup>。菊科入侵植物白花鬼针草(*Bidens alba*)在盐浓度在20 mmol/L以下时发芽指标未发生显著变化,但浓度20 mmol/L以上时,发芽指标随浓度升高而显著降低<sup>[41]</sup>,由此可知不同种植物种子对盐胁迫的耐受性不同。我们研究发现在盐胁迫下,加拿大一枝黄花种子的发芽势、发芽率和发芽指数均显著低于对照组,且随着浓度增加而降低,与前人的研究结果一致。说明盐胁迫对加拿大一枝黄花种子的萌发有明显的抑制作用,且随着NaCl浓度的增加,抑制作用增强。我们研究还发现,当NaCl浓度小于等于800 mg/L时,单日萌发最大值均出现在第二天,大于800 mg/L时单日萌发最大值均出现在第三天,但首次萌发时间并未受到NaCl浓度的影响,均出现在第二天,说明加拿大一枝黄花对盐胁迫具有较高的耐受性。

铝通常以难溶性硅酸盐和氧化物的形式大量存在土壤之中,影响植物根系的生长发育<sup>[39]</sup>,而不同植物对铝胁迫的适应同样存在差异。前人研究发现,菊科的菊苣(*Cichorium intybus*)种子发芽势和发芽率均随铝离子浓度增加而有所降低<sup>[42]</sup>。铝胁迫对草决明(*Cassia obtusifolia*)、望江南(*Cassia occidentalis*)、伞房决明(*Cassia corymbosa*)三种决明属植物的种子萌发均有显著影响,其抑制作用与铝浓度呈正相关<sup>[43]</sup>。我们研究也发现,加拿大一枝黄花种子首次萌发时间随 $\text{AlCl}_3$ 浓度的增加延后,且萌发率、发芽势、发芽指数随着浓度的增加而极显著降低,与前人研究结果相似。而也有相关研究表明,低浓度的 $\text{AlCl}_3$ 溶液(100  $\mu\text{g/mL}$ )能促进苦荞(*Fagopyrum. tataricum*)种子萌发,但是在浓度较高时(1600~6400  $\mu\text{g/mL}$ ),种子萌发受到了一定程度的抑制<sup>[44]</sup>。由此可见,虽然不同植物在低浓度铝胁迫下其种子萌发情况具有差异性,但在

高浓度铝胁迫下,大多数植物种子萌发均受到抑制。

对比盐胁迫和铝胁迫下加拿大一枝黄花种子萌发结果发现:相比对照组,铝胁迫下种子首次萌发时间出现了延迟,而盐胁迫则没有。这可能是由于加拿大一枝黄花种子的细胞膜对钠离子和铝离子的通透性不同,使得铝胁迫下加拿大一枝黄花种子周围环境渗透压相比于盐胁迫更高,种子吸水相对更慢,导致铝胁迫下种子首次萌发时间出现了延迟<sup>[45]</sup>。相同溶度下,两种胁迫均能通过影响种子活力来抑制种子萌发<sup>[46]</sup>,铝胁迫对其种子萌发影响较大,这可能是由于铝离子对加拿大一枝黄花的毒害作用相对更强<sup>[47]</sup>。本研究有助于加深对加拿大一枝黄花入侵后生存对策的认识,为进一步揭示外来植物入侵的机制提供理论依据。

## 参考文献:

- [1] Ding J Q, Mack R N, Lu P, et al. China's booming economy is sparking and accelerating biological invasions[J]. *BioScience*, 2008, 58(4): 317-324.
- [2] Kristin I. Powell, Jonathan M. Chase, Tiffany M. Knight. Invasive plants have scale dependent effects on diversity by altering species area relationships[J]. *Science*, 2013, 339(6117): 316-318.
- [3] Xie P Y, Liu T, Chen H Y, et al. Community structure and soil mineral concentration in relation to plant invasion in a subtropical urban and rural ecotone. *Forests*, 2021, 12(2): 185-203.
- [4] 鞠瑞亭,李慧,石正人,等. 近十年中国生物入侵研究进展[J]. *生物多样性*, 2012, 20(5): 581-611.
- [5] 邱建生,张念念,田茂娟,等. 外来入侵物种对南北盘江及红水河流域民生和生态的影响研究[J]. *贵州林业科技*, 2019, 47(4): 18-22.
- [6] 陆霞梅,周长芳,安树青,等. 植物的表型可塑性、异速生长及其入侵能力[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(9): 1438-1444.
- [7] 马淼. 加拿大一枝黄花的入侵生物学研究[D]. 上海: 复旦大学, 2003.
- [8] 朱润军,杨巧,李仕杰,等. 植物表型可塑性对环境因子的响应研究进展[J]. *西南林业大学学报: 自然科学版*, 2021, 41(1): 183-187.
- [9] 王德艳,张大才,胡世俊,等. 云南菊科入侵植物入侵机制及其利用研究进展[J]. *生物安全学报*, 2017, 26(4): 259-265.
- [10] 程继铭,于思敏,马佳,等. 温度与PEG-6000模拟干旱对沙棘种子萌发的影响[J]. *种子*, 2020, 39(10): 97-101.
- [11] 徐佳慧,赵晓亭,毛凯涛,等. 非生物逆境胁迫下的种子萌发调控机制研究进展[J]. *陕西师范大学学报: 自然科学版*, 2021, 49(3): 1-13.
- [12] 季波,徐金鹏,时龙,等. 10种禾本科牧草种子萌发期耐盐性[J]. *新疆农业科学*, 2021, 58(2): 342-351.
- [13] 冷华南,郑康乐,李国栋,等. 毛竹种子萌发和幼苗生长对铝胁迫的反应[J]. *浙江林学院学报*, 2010, 27(6): 46-52.
- [14] 李天永,严子柱,姜生秀. 两种独行菜种子萌发对不同浓度NaCl胁迫的响应[J]. *草地学报*, 2021, 29(1): 88-94.
- [15] 谢德意,王惠萍,王付欣,等. 盐胁迫对棉花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *种子*, 2000, 27(9): 10-11+13.
- [16] 严晓霞,杨国柱,尹卫,等. 铅和铝胁迫对两种豆科牧草种子萌发及生理生化特性的影响[J]. *青海大学学报*, 2018, 36(3): 9-14.
- [17] 胡锦涛,李靖,尚丹,等. 酸铝胁迫对狼尾草种子萌发和幼苗恢复生长的影响[J]. *种子*, 2015, 34(12): 21-25.
- [18] 董梅,陆建忠,张文驹,等. 加拿大一枝黄花——一种正在迅速扩张的外来入侵植物[J]. *植物分类学报*, 2006, 44(1): 72-85.
- [19] 唐路恒,马利民. 加拿大一枝黄花入侵机理及控制策略[J]. *安徽农业科学*, 2015, 43(21): 138-139.
- [20] 郝建华,钱海军,姜雯,等. 加拿大一枝黄花有性生殖特征研究[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(6): 2278-2282.
- [21] 郭水良,方芳. 入侵植物加拿大一枝黄花对环境的生理适应性研究[J]. *植物生态学报*, 2003, 27(1): 47-52.
- [22] 吴娜. 入侵植物加拿大一枝黄花根系活性物质的化感效应及其机理研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2016.
- [23] 官玉婷. 不同生境中加拿大一枝黄花入侵程度对植物群落与土壤特性的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2019.
- [24] 黄华,郭水良. 外来入侵植物加拿大一枝黄花繁殖生物学研究[J]. *生态学报*, 2005, 25(11): 3-11.
- [25] 苏启陶. 加拿大一枝黄花和大狼把草传粉网络的地理变异[D]. 南昌: 江西农业大学, 2019.
- [26] 黄洪武,李俊,董立尧,等. 加拿大一枝黄花对植物化感作用的研究[J]. *南京农业大学学报*, 2009, 31(1): 48-54.
- [27] 张冬雨,金燕,吕波,等. 加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis* L.)水浸提液对小麦的化感作用及机制[J]. *南京农业大学学报*, 2014, 37(5): 87-92.
- [28] 徐文,吴耀,岑铭松,等. 加拿大一枝黄花入侵对农田土壤特性的影响初探[J]. *中国植保导刊*, 2014, 34(5): 63-65.
- [29] 王家春,陈应华,吴常文. 加拿大一枝黄花水浸提液对东

- 海原甲藻的化感作用研究[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版, 2016, 35(1): 36-40.
- [30] 唐路恒,马利民. 加拿大一枝黄花入侵机理及控制策略[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(21):138-139.
- [31] 孙晓方. 浅析入侵植物加拿大一枝黄花的入侵机理[J]. 园艺与种苗, 2020, 40(1): 20-22.
- [32] Kos M, Poschlod P. Why wait? Trait and habitat correlates of variation in germination among Kalahari annuals[J]. Oecologia, 2010, 162(3): 549-559.
- [33] 闫小红,曾建军,陈章勤,等. 不同配方营养液对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 井冈山大学学报:自然科学版, 2019, 40(04): 29-33.
- [34] 曾建军,周兵,邱洪龙. 光、凋落物和根茎浸提液对剑叶金鸡菊种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 井冈山大学学报:自然科学版, 2018, 39(05): 44-49.
- [35] 秦勇,廖静云. NaCl胁迫对两色金鸡菊种子萌发的影响[J]. 中国园艺学会2012年学术年会论文摘要集,2012, 39: 2752.
- [36] 潘平新,倪强,马瑞,等.不同盐分处理对黑果枸杞种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(2): 342-348.
- [37] 李强,倪先林,刘天朋,等.不同浓度NaCl胁迫对糯高粱种子萌发的影响[J].江苏农业科学, 2020, 48(22): 67-72.
- [38] 杨红,白有志,普赤. 盐胁迫对喜马拉雅19青稞种子萌发的影响[J]. 高原农业, 2020, 4(3): 263-268.
- [39] 闫小红,严福龙,周兵,等. NaCl胁迫对紫茉莉种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子,2020, 39(8): 81-85.
- [40] 杨发苍,晏瑛. 盐胁迫对甘草种子萌发及幼苗生理指标的影响[J].农业开发与装备, 2019, 212(8):101+115.
- [41] 杜浩,李宗锴,只佳增,等.白花鬼针草种子萌发对不同湿度、pH、盐度和渗透势的响应[J].热带农业科学, 2020, 40(5): 27-33.
- [42] 杨学东,刘媛,李莉,等.铝胁迫对菊苣种子萌发特性的影响[J].种子, 2017, 36(8): 25-27.
- [43] 姚春娟,熊光康,杨肖华,等.铝胁迫对决明属种子萌发与幼苗生长的影响[J].安徽农业大学学报,2017,44(5): 801-805.
- [44] 闫小红,尤云菲,周兵,等.铝胁迫对苦荞种子萌发及幼苗生长特性的影响[J].江苏农业科学, 2019, 47(8): 68-71.
- [45] 高暝,李毅,种培芳,等.渗透胁迫下不同地理种源白刺的生理响应[J]. 草业学报, 2011, 20(3): 99-107.
- [46] 鱼小军,师尚礼,龙瑞军,等.生态条件对种子萌发影响研究进展[J].草业科学, 2006, 23(10): 44-49.
- [47] 高昆,韦加幸. NaCl胁迫对锦灯笼种子萌发和幼苗生理特征的影响[J].种子, 2021, 40(1): 119-123

(上接第47页)

- [15] Flexas J, Badger M, Chow W S, et al. Analysis of relative increase in photosynthetic O<sub>2</sub> uptake when photosynthesis in grapevine leaves is inhibited following low night temperatures and/or water stress[J]. Plant Physiology, 1999, 121(2): 675-684.
- [16] Allen D J, Ratner K, Giller Y E, et al. An overnight chill induces a delayed inhibition of photosynthesis at midday in mango (*Mangifera indica* L.) [J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(352): 1893-1902.
- [17] Feng Y L, Cao K F. Photosynthesis and photoinhibition after night chilling in seedlings of two tropical tree species grown under three irradiances[J]. Photosynthetica, 2005, 43(4): 567-574.
- [18] 胡文海,闫小红,袁丽芳,等.光强在低温弱光胁迫后番茄叶片光合作用恢复中的作用[J].植物研究, 2011, 31(2): 164-168.
- [19] Strasser R J, Srivastava A. Polyphasic chlorophyll a fluorescence transient in plants and cyanobacteria[J]. Photochemistry and Photobiology, 1995, 61(1): 32-42.
- [20] Zushi K, Kajiwarra S, Matsuzoe N. Chlorophyll a fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 148(1): 39-46.
- [21] 张子山,张立涛,高辉远,等.不同光强与低温交叉胁迫下黄瓜 PSI 和 PSII 的光抑制研究[J].中国农业科学, 2009, 42(12): 4288-4293.
- [22] 胡文海,闫小红,李晓红,等.24-表油菜素内酯对干旱胁迫下辣椒叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的影响[J].植物研究, 2021, 41(1): 53-59.
- [23] Henmi T, Miyao M, Yamamoto Y. Release and reactive-oxygen-mediated damage of the oxygen-evolving complex subunits of PSII during photoinhibition[J]. Plant and Cell Physiology, 2004, 45(2): 243-250.
- [24] 赵和丽,杨再强,王明田,等.高温高湿胁迫及恢复对番茄快速荧光诱导动力学的影响[J].生态学杂志, 2019, 38(8): 2405-2413.