

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.20240069

环境因子对入侵植物南美鬼针草种子萌发的影响

吴迪^{1,2}, 宋晓悦^{1,2}, 张萨如拉^{1,2}, 王苏日古嘎^{1,2}, 勿日汉^{1,2}, 贺俊英^{1,2*}

¹内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 内蒙古 呼和浩特 010022; ²内蒙古自治区高等学校生物多样性保护与可持续利用重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010022

摘要:【目的】探讨常见环境因子对内蒙古新发现入侵植物南美鬼针草种子萌发特性的影响, 为深入研究其入侵机理提供科学依据。【方法】以南美鬼针草种子为材料, 采用纸皿法, 设置不同温度、pH 值和盐胁迫处理, 测定并分析其发芽率、发芽势和发芽指数。【结果】南美鬼针草种子的发芽率随温度的升高呈先上升后下降趋势, 15~30 ℃ 范围内发芽率可达 62.17% 以上, 其中, 25 ℃ 种子发芽率最高。种子发芽率随 pH 值增大呈先上升后下降趋势, 在 pH 值介于 4~11 时种子发芽率在 51.94% 以上, 其中, pH 值介于 6~8 时种子的发芽率较高, 在 86.39% 以上, pH 值为 7 条件下的发芽率最高。种子发芽率随盐浓度的增加呈逐渐下降趋势, 盐浓度为 0~100 mmol · L⁻¹ 时种子的发芽率为 77.92%~90.56%, 盐浓度超过 100 mmol · L⁻¹ 时种子的发芽率显著降低 ($P<0.05$)。南美鬼针草种子发芽势与发芽指数的指标变化与发芽率变化趋势相似。【结论】南美鬼针草种子适宜的萌发条件为: 温度 15~30 ℃、pH 值 6~8、盐浓度 0~100 mmol · L⁻¹, 其中, 25 ℃ 为其最适萌发温度, pH 值 7 为其最适萌发酸碱环境。南美鬼针草种子在温度、pH 值和盐胁迫 3 种环境中均能萌发, 对环境因子具有一定宽适性, 应加强对南美鬼针草的防控。

关键词: 入侵植物; 南美鬼针草; 种子萌发; 环境因子



开放科学标识码
(OSID 码)

Effects of environmental factors on seed germination of the invasive plant *Bidens subalternans* Candolle

WU Di^{1,2}, SONG Xiaoyue^{1,2}, ZHANG Sarula^{1,2}, WANG Suriguga^{1,2}, WU Rihan^{1,2}, HE Junying^{1,2*}

¹College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot, Inner Mongolia 010022, China;

²Key Laboratory of Biodiversity Conservation and Sustainable Utilization for College and University of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot, Inner Mongolia 010022, China

Abstract: 【Aim】 This study aimed to explore the influence of common environmental factors on the seed germination characteristics of the newly discovered invasive plant *Bidens subalternans* Candolle in Inner Mongolia and to provide scientific basis for further research on its invasion mechanism. 【Method】 The germination percentage, energy and index were measured and analyzed using the paper dish method under different temperatures, pH values and salt stress conditions. 【Result】 The germination percentage of *B. subalternans* seeds increased initially and then decreased with rising temperature. The germination percentage in the range of 15–30 ℃ exceeded 62.17%, with the highest percentage attained at 25 ℃; however, it gradually decreased above 25 ℃. Similarly, the seed germination percentage increased initially and then decreased with increasing pH values. When the pH was between 4 and 11, the seed germination percentage was over 51.94% and exceeded 86.39% when the pH was between 6 and 8. The germination percentage was the highest at pH 7. The germination percentage of seeds decreased gradually with increasing salt concentration. The percentage could reach 77.92%–90.56% when the salt concentration was below 100 mmol · L⁻¹ but significantly decreased when the concentration exceeded 100 mmol · L⁻¹ ($P<0.05$). The changes in the germination energy and index of *B. subalternans* seeds were consistent with germination percentage. 【Conclusion】 The optimum germination conditions were a temperature of 15–30 ℃, pH of 6

收稿日期 (Received): 2024-05-10 接受日期 (Accepted): 2024-09-28
基金项目: 内蒙古自然科学基金资助项目 (2022LHMS03003)
作者简介: 吴迪, 女, 硕士研究生。研究方向: 外来入侵植物。E-mail: 510279607@qq.com
* 通信作者 (Author for correspondence), 贺俊英, E-mail: hjy@imnu.edu.cn

-8, and salt concentration of 0–100 mmol · L⁻¹. Among these, 25 °C was the best temperature for germination, and pH 7 provided the optimal acid and alkali environment. In conclusion, *B. subalternans* seeds can germinate in three environmental conditions, temperature, pH, and salt concentration, it has a certain degree of adaptability to environmental factors, and it is necessary to strengthen the prevention and control of *B. subalternans*.

Key words: invasive plants; *Bidens subalternans*; seed germination; environmental factors

外来入侵植物是指现在或过去出现在某一自然环境分布范围以外,且对农业、林业、草原、湿地等本地生态系统造成危害与威胁的植物(李星和金荷仙,2013;田文坦等,2015)。外来入侵植物侵入新环境,会通过自身强大的适应性(类延宝等,2010)、繁殖能力(刘建等,2010)和传播能力,打破当地物种生态平衡(Yuan & Wen,2018),对当地乃至全球的经济、生态环境以及人类健康造成巨大威胁,甚至造成本地物种的灭绝(吴金泉和Michael,2010)。

南美鬼针草 *Bidens subalternans* Candolle 为菊科鬼针草属一年生草本植物,原产于南美洲,主要分布于法国、意大利、澳大利亚和韩国等地。自2013年在中国江苏被首次发现后,目前已在山东、北京和天津等地被相继发现(马金双,2020;张征云等,2023)。2022年,课题组在野外调查中首次发现其已入侵至内蒙古呼和浩特市玉泉区,该入侵植物后在赛罕区、回民区、新城区和土默特左旗零星出现,主要入侵路边、弃耕地和人为扰动地带等。虽然南美鬼针草的危害等级和入侵趋势目前暂不明确,但其在呼和浩特市已成功入侵定殖,对当地生态环境造成的危害不容小觑。因此,亟待对其进行深入研究,防止形成大面积扩散。

目前,国内外对南美鬼针草的研究较少,仅对其种群分布、形态特征(马金双,2020;张征云,2023)、分子生物学特性(Fernández *et al.*, 2020; Takano *et al.*, 2020)、化学成分(Ortega *et al.*, 1998)和遗传学特性(Grombone-guaratni *et al.*, 2005)等开展了相关研究。温度是种子萌发的重要环境因素,适宜的温度会影响种子萌发进程与种子活性(田晓岚,2024;赵文静等,2022)。盐胁迫是非生物胁迫的危害因素之一,可直接抑制植物的种子萌发、幼苗生长及生理特性(阿曼姑·艾麦尔艾力等,2024;戴魏真等,2024)。土壤中酸碱的富集,可破坏土壤离子平衡,降低土壤养分以及产生有毒物质,进而影响种子萌发(张丽芳和胡海林,2020)。种子萌发是植物生活史中一个重要的发育变化时期(Cheng

et al., 2022),该过程不仅受遗传因素和形态特征的影响,还受多种环境因素(光照、温度、埋种深度、pH值和盐浓度)的调控(王进等,2011;Farooq *et al.*, 2019)。此发育阶段的幼苗对恶劣环境的耐受能力较为脆弱,因此,种子萌发至幼苗的建成与发展成为外来植物成功入侵的关键(钟军弟等,2017)。鉴于此,本研究以南美鬼针草为研究对象,分析不同环境因子对南美鬼针草种子萌发的影响,为深入研究南美鬼针草入侵趋势及其防控策略提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

呼和浩特市位于内蒙古自治区中部,属中温带大陆性季风气候。5月气温波动较大,平均温度在10~22 °C;6月气候渐暖,平均温度在17~30 °C;7—8月气候炎热,平均温度在19~31 °C;9月气候渐凉,平均温度在8~21 °C;10月温度降幅较大,平均温度在1~14 °C;11月之后温度下降至0 °C以下,进入寒冬季节。

1.2 试验设计

南美鬼针草种子于2022年9月采自呼和浩特市玉泉区,室温下干燥除杂储存备用。试验采用纸皿法,将成熟饱满、大小一致的种子置于铺有双层滤纸的培养皿(直径9 cm)中,每皿30粒种子,首次添加各处理液及蒸馏水3 mL以保证溶液完全浸透滤纸,然后置于GZX-250光照培养箱中培养(光照和黑暗各12 h循环)。每个处理5个重复,除不同温度处理试验外,其余试验均在25 °C条件下进行。以胚根露白为出苗标准,间隔1 d开始统计出苗数,每天同一时间补充2 mL对应溶液或蒸馏水、观察出苗情况并计数,若连续5 d出苗数无增长,则停止统计。

1.2.1 不同温度处理试验 共设6个温度梯度,分别为10、15、20、25、30、35 °C, pH值设置为恒定中性,盐浓度设置为恒定浓度0 mmol · L⁻¹。

1.2.2 不同pH值处理试验 共设12个pH值梯

度,分别配置成 pH 值为 1、2、3、4、5、6、8、9、10、11、12、13 的培养液,以 pH 值为 7 的蒸馏水为对照;温度设置为恒定 25 ℃,盐浓度设置为恒定浓度 0 mmol · L⁻¹。pH 值采用 Mettler Toledo 酸度计测定。

1.2.3 不同盐胁迫处理试验 共设 5 个盐浓度梯度,分别配置成 10、50、100、150、200 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液,以蒸馏水(0 mmol · L⁻¹)为对照;温度设置为恒定 25 ℃,pH 值设置为恒定中性。

1.3 指标计算及数据处理分析

发芽率/% = 萌发种子数/供试种子总数×100。
发芽势/% = 发芽高峰期累积发芽种子数/供试种子总数×100。发芽指数 (Deng *et al.*, 2014) = $\sum (G_t/D_t)$ (G_t 为在时间 t 时的发芽数, D_t 为发芽日数)。
日相对萌发率/% = 相应每日发芽种子数/供试种子数总数×100。

使用 Excel 2021 软件对试验数据进行计算和处理,采用 SPSS 18.0 软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA) 及 Duncan 多重比较检验 (平均值±标准误),使用 Origin 2021 软件进行绘图。

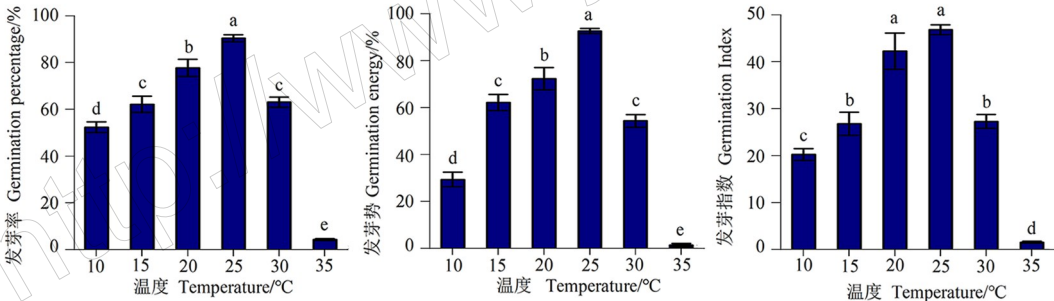


图 1 温度对南美鬼针草种子萌发的影响

Fig.1 Effects of temperature on seed germination of *B. subalternans*

不同小写字母表示不同温度处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant differences between different temperature treatments ($P<0.05$).

如图 2 所示,10 和 35 ℃ 条件下南美鬼针草种子的日相对萌发率在第 6 天达到最大值,分别为 98.67%和 12.00%;20 和 30 ℃ 条件下种子的日相对萌发率在第 5 d 达到最大值,分别为 99.33%和 98.00%;15 ℃ 条件下种子的日相对萌发率在第 4 天达到最大值,为 98.67%;而在 25 ℃ 条件下种子萌发最快,第 3 天种子的日相对萌发率就达到最大值,为 99.33%。以上结果表明,较低温和较高温会在一定程度上延长南美鬼针草种子的萌发高峰期。

2 结果与分析

2.1 不同温度对南美鬼针草种子萌发的影响

研究发现,南美鬼针草种子始见发芽时间最早于培养后第 1 天,最晚在第 5 天。南美鬼针草种子的发芽率、发芽势和发芽指数均随温度的升高呈先上升后下降的趋势;10 ℃ 的发芽率、发芽势和发芽指数较低,分别为 52.33%、29.33%和 20.23;15 和 20 ℃ 条件下的发芽指标显著升高 ($P<0.05$);25 ℃ 条件下,发芽率、发芽势和发芽指数最高分别为 90.44%、92.67%和 46.83,与其他温度梯度下的发芽指标差异显著 ($P<0.05$);30 ℃ 条件下种子发芽指标显著降低 ($P<0.05$),但与 15 ℃ 条件下的发芽指标差异不显著 ($P>0.05$);35 ℃ 条件下种子始见发芽时间晚于其余处理,且其发芽持续时间极短,发芽率、发芽势和发芽指数与其余处理相比均有显著差异 ($P<0.05$),仅为 4.33%、1.33%和 1.54 (图 1)。综上,15~30 ℃ 为南美鬼针草的最适萌发范围,25 ℃ 为最适萌发温度,当环境温度大于 30 ℃ 时,种子的发芽率极低甚至不萌发。

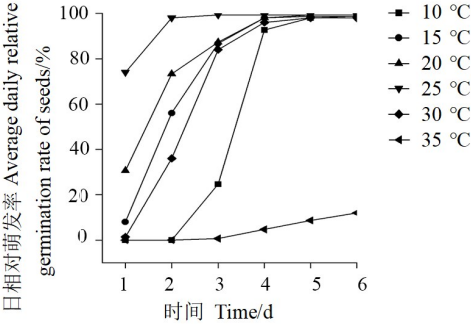


图 2 南美鬼针草日相对萌发率

Fig.2 Daily relative germination rate of *B. subalternans* seeds

2.2 不同 pH 值对南美鬼针草种子的影响

南美鬼针草种子的发芽率、发芽势和发芽指数均随 pH 值的增大呈先上升后下降的趋势。pH 值为 4~11 时,种子的发芽率可达 51.94% 以上,且发芽指标均存在显著差异 ($P<0.05$);pH 值为 6~8,种子的发芽率、发芽势及发芽指数分别为 86.39%~92.78%、86.39%~92.78% 和 37.88~48.75,其中,pH 值为 7 时,种子的发芽率最高,为 92.78%;当 pH 值小于 4 或高于 10 时,种子的发芽率均低于 46.46%,且随着 pH 值的降低或升高,种子的发芽指标均显著下降 ($P<0.05$)。相对于酸性环境而言,南美鬼针

草种子在碱性环境中发芽指标更高,耐碱性更强。pH 值为 2 时种子的发芽率、发芽势和发芽指数均为最低,分别为 37.83%、21.39% 和 16.00;在 pH 值为 1 和 13 时,南美鬼针草种子耐受性极差,种皮因过酸或过碱条件被破坏而暴露于环境中,致使种子萌发失败。综上,pH 值为 6~8 是南美鬼针草种子的最适萌发范围,其中,pH 值为 7 是其最适酸碱环境。呼和浩特市位于内蒙古中部地区,土壤呈中性,使得南美鬼针草种子萌发趋势较好,有利于其入侵扩散(图 3)。

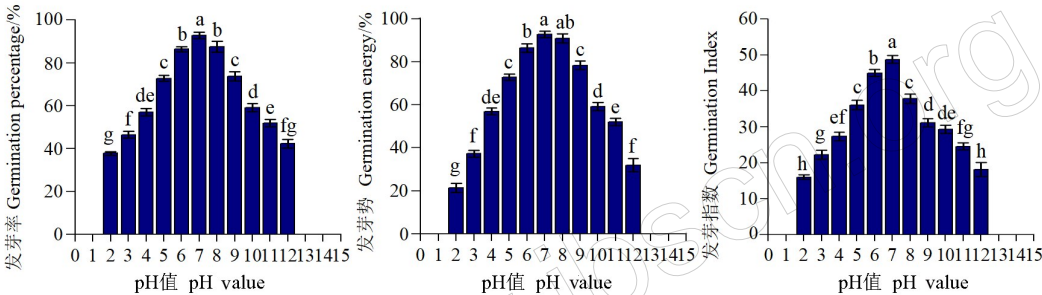


图 3 pH 值对南美鬼针草种子萌发的影响
Fig.3 Effects of pH on seed germination of *B. subalternans*
不同小写字母表示不同 pH 值处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant differences between different pH value treatments ($P<0.05$).

2.3 不同盐胁迫对南美鬼针草种子的影响

如图 4 所示,南美鬼针草种子的发芽率、发芽势和发芽指数均随盐浓度的增加呈逐渐下降的趋势。与对照组 ($0\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) 相比,盐浓度为 10、50、100、150 和 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,南美鬼针草种子发芽率分别下降 1.39%、7.85%、12.64%、54.73% 和 90.14%;发芽势分别下降 1.67%、18.75%、21.25%、82.08% 和 85.83%;发芽指数分别下降 0.58、3.29、5.04、32.05 和 46.92。盐浓度为 10 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,种子发芽指标与对照组差异不显著 ($P>0.05$),发芽

率、发芽势和发芽指数分别为 89.17%、84.58% 和 46.46;盐浓度超过 100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时种子的发芽指标均显著低于对照组 ($P<0.05$),150 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐浓度条件下种子的发芽率、发芽势和发芽指数分别为 35.83%、4.17% 和 14.99。当盐浓度为 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,种子的发芽指标均接近于 0。综上,南美鬼针草种子的最适盐浓度范围为 0~100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,无盐胁迫的环境对种子萌发最好,呼和浩特地区为非典型盐碱地,轻微的盐环境在一定程度上可促进其生长,也为其成功入侵盐碱地提供了有利条件。

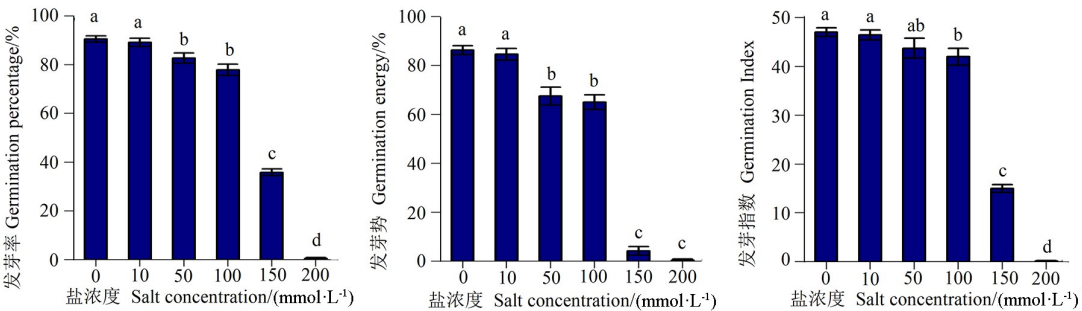


图 4 盐浓度对南美鬼针草种子萌发的影响
Fig.4 Effects of salt concentration on seed germination of *B. subalternans*
不同小写字母表示不同盐浓度处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant differences between different salt concentration treatments ($P<0.05$).

3 讨论与结论

种子跨越寒冬并在适宜环境中打破休眠开始发芽,温度是该过程中非常重要的环境信号(高卢卢和施慧,2024)。萌发进程随温度的升高而加快(Mao *et al.*,2019),较高的萌发温度显著提高了种子发芽率,缩短了发芽时间。本研究发现,南美鬼针草种子在 10~35 ℃ 均可萌发,25 ℃ 为其最适萌发温度,表明其在呼和浩特地区 5—9 月均具备萌发能力,提升了其入侵扩散的风险,与韦春强等(2012,2013)对飞机草 *Eupatorium odoratum* L. 和白花鬼针草 *Bidens alba* L. 的研究结果一致。在此条件下,降雨量增多,湿润的土壤环境使得种子能够迅速感知信号进而快速萌发,故 15~30 ℃ 为南美鬼针草的适宜萌发温度。南美鬼针草种子在 10 和 35 ℃ 条件下的始见发芽时间明显延长,发芽率较低。呼和浩特市 5 月的平均温度在 15 ℃ 左右,此时南美鬼针草种子陆续萌发;6—7 月的平均温度为 17~30 ℃,伴随降雨量的增多,种子萌发迅速且可到达发芽高峰期,有利于种子的大量繁殖。由于呼和浩特地区昼夜温差大,低温环境抑制种子内部酶活性,高温环境导致种子萌发所需酶失活,故过高或过低温度均不利于种子萌发(丁琼等,2006)。南美鬼针草种子在 10~30 ℃ 内发芽率均可保持在 52.33% 以上,说明种子萌发对温度的宽适性较高,有利于其定殖扩散。

研究表明,盐化与碱化严重制约植物的正常生长(闫玉邦等,2024)。盐胁迫可导致植物体内水分大量流失(陆安桥,2021),碱胁迫可打破 pH 稳态,造成土壤中养分失衡(付海奇等,2023)。南美鬼针草种子在 0~100 mmol · L⁻¹ 盐浓度下萌发较好,在 200 mmol · L⁻¹ 的盐浓度下仍有少量萌发,说明其可一定程度抵御轻盐胁迫。韩琪等(2012)研究发现,春飞蓬 *Erigeron philadelphicus* L. 在土壤 NaCl 浓度大于 100 mmol · L⁻¹ 时无萌发,说明其相较于南美鬼针草对盐胁迫更敏感;Farooq *et al.*(2019)研究指出,豚草 *Ambrosia artemisiifolia* L. 具有极高的耐盐性,在超过 200 mmol · L⁻¹ 的高盐浓度下,其发芽率可达 50% 以上,可能由于其种皮相较于南美鬼针草更坚硬,高浓度盐分不能完全侵蚀种皮破坏种子发育;Chauhan *et al.*(2019)研究表明,三叶鬼针草 *Bidens pilosa* L. 种子在 200 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液

中仅有 3% 的发芽率,在 250 mmol · L⁻¹ 的 NaCl 溶液中不萌发,与本研究结果一致。

研究表明,南美鬼针草种子的最适 pH 值范围为 6~8,中性环境最适其生长,碱性环境的生长情况优于酸性环境。南美鬼针草种子在过酸环境(pH 值 1~4)和过碱环境(pH 值 10~13)中种子的萌发率较低甚至不萌发,发芽指标明显降低,大多数种子表皮出现霉腐溃烂现象,这说明强酸或强碱严重抑制种子活力,导致能量供给受阻、物质代谢停止运转使得种子无法正常发育。内蒙古地区冬季常降雪,除雪车在道路上撒盐作业,使得路边的土壤含盐量相对较高,对于南美鬼针草而言,道路两边的生境无疑是其良好的生长环境。由于内蒙古大部分地区气候干旱,淋溶作用不能将盐基成分从土壤中大量淋洗干净,导致部分土壤盐基成分聚集甚至富集可溶盐,使得土壤呈中性、碱性和强碱性。内蒙古的土壤 pH 值由东向西逐渐减弱,推测其有进一步向中东部地区扩散的趋势。

综上所述,南美鬼针草对环境的适应性强,其种子在不同环境胁迫下发芽指标不同,但均具备一定的发芽能力,且在较高温、低温、盐分高、酸碱性强的胁迫条件下仍具有对环境较宽的适应能力,应加强对其防控,可在苗期进行人工拔除。

参考文献

- 阿曼姑·艾麦尔艾力,乃比·阿不来提,李陈建,伊斯拉依·达吾提,万江春,艾比布拉·伊马木,2024. 盐胁迫对 6 个品种饲用甜高粱种子萌发和幼苗生长的影响. 种子, 43(5): 137-146.
- 陈文,2016. 粤东 6 种菊科植物种子萌发的生物学零度和积温. 西北师范大学学报(自然科学版), 52(4): 93-98.
- 戴魏真,杨永瑞,郭家乐,孙倩倩,项晶,毕亚玲,2024. NaCl 胁迫对马唐种子萌发及幼苗生理特性的影响. 安徽农业大学学报, 51(2): 217-222.
- 丁琼,王华,贾桂霞,郝玉光,2006. 沙冬青种子萌发及幼苗生长特性. 植物生态学报, 30(4): 633-639.
- 付海奇,刘晓,宋姝,吕婉嘉,杨永青,2023. 次生代谢物调控植物抵抗盐碱胁迫的机制. 植物生理学报, 59(4): 727-740.
- 高卢卢,施慧,2024. 环境因子调控植物种子萌发研究进展. 首都师范大学学报(自然科学版), 45(4): 48-57.
- 韩琪,郝建华,胡花,李家瑞,刘倩,戚静敏,邓铭,周蓓蓓,2012. 几种生态因子对菊科外来入侵植物春飞蓬种子萌发的影响. 常熟理工学院学报, 26(2): 71-75.

- 类延宝, 肖海峰, 冯玉龙, 2010. 外来植物入侵对生物多样性的影响及本地生物的进化响应. *生物多样性*, 18(6): 622–630.
- 李星, 金荷仙, 2013. 植物入侵研究. *农学学报*, 3(3): 39–43.
- 刘建, 李钧敏, 余华, 何维明, 于飞海, 桑卫国, 刘国方, 董鸣, 2010. 植物功能性状与外来植物入侵. *生物多样性*, 18(6): 569–576.
- 陆安桥, 2021. 湖南稷子耐盐碱特性及生物改良效果研究. 硕士学位论文. 银川: 宁夏大学.
- 马金双, 2020. 中国外来入侵植物志. 第四卷. 上海: 上海交通大学出版社.
- 田文坦, 刘杨, 王树彦, 韩冰, 2015. 内蒙古外来入侵物种及其对草原的影响. *草业科学*, 32(11): 1781–1788.
- 田晓岚, 白小明, 闫玉邦, 张才忠, 朱雅楠, 郑锋, 陈辉, 2024. 一年生早熟禾种子萌发适宜温度研究. *草原与草坪*, 44(1): 183–192.
- 王进, 张勇, 颜霞, 鄂利锋, 王桔红, 2011. 光照、温度、土壤水分和播种深度对披针叶黄华种子萌发及幼苗生长的影响. *草业科学*, 28(9): 1640–1644.
- 韦春强, 刘明超, 唐赛春, 潘玉梅, 蒲高忠, 2012. 光照和温度对飞机草种子萌发的影响. *广西植物*, 32(4): 527–530.
- 韦春强, 潘玉梅, 唐赛春, 林春华, 刘明超, 2013. 不同光照和温度下白花鬼针草和金盏银盘种子萌发研究. *杂草科学*, 31(4): 1–4.
- 吴金泉, MICHAEL T S, 2010. 发达国家应战外来入侵生物的成功方法. *江西农业大学学报*, 32(5): 1040–1055.
- 闫玉邦, 白小明, 朱雅楠, 张才忠, 冉福, 李娟霞, 康瑞卿, 李萍, 何琳琳, 2024. 3种野生苔草种子萌发特性对不同盐分胁迫的响应. *草地学报*, 23(9): 2919–2933.
- 曾东强, 韦家书, 张国良, 周国辉, 2008. 外来入侵植物银胶菊的生物学特性. *广西农业生物科学*, 27(3): 261–265.
- 张丽芳, 胡海林, 2020. 土壤酸碱性和植物生长影响的研究进展. *贵州农业科学*, 48(8): 40–43.
- 张征云, 李莉, 张彦敏, 江文渊, 2023. 天津5种外来植物新记录. *天津师范大学学报(自然科学版)*, 43(5): 23–29.
- 赵文静, 张浩阳, 徐燕妮, 罗蛟, 刘美君, 2022. 不同温度下 AOX 和 COX 途径对苜蓿种子萌发和幼根生长的影响. *草地学报*, 30(1): 84–92.
- 钟军弟, 周贤熙, 李晓琳, 袁长春, 刘金祥, 刘晚苟, 2017. 不同埋藏深度对白花鬼针草、假臭草和胜红蓟种子出苗及生长的影响. *热带农业科学*, 37(1): 1–6.
- CHAUHAN B S, ALI HH, FLORENTINE S, 2019. Seed germination ecology of *Bidens pilosa* and its implications for weed management. *Scientific Reports*, 9(1): 16004.
- CHENG J, HUANG H, LIU W, ZHOU Y, HAN W, WANG X, ZHANG Y, 2022. Unraveling the effects of cold stratification and temperature on the seed germination of invasive *Spartina alterniflora* across latitude. *Frontiers in Plant Science*, 13: 911804.
- DENG Y, YUAN F, FENG Z, DING T, SONG J, WANG B, 2014. Comparative study on seed germination characteristics of two species of Australia saltbush under salt stress. *Acta Ecologica Sinica*, 34(6): 337–341.
- FAROOQ S, ONEN H, OZASLAN C, BASKIN CC, GUNAL H, 2019. Seed germination niche for common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) populations naturalized in Turkey. *South African Journal of Botany*, 123: 361–371.
- FERNÁNDEZ F D, GALDEANO E, CONCI L R, 2020. Phytoplasmas diversity and identification of new aster yellows subgroup (16SrI) associated with weed species in Argentina. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(1): 35–43.
- GROMBONE-GUARATNI M T, SEMIR J, SOLFERINI V N, 2005. Low allozymic variation in the *Bidens pilosa* L. complex (Asteraceae). *Biochemical Genetics*, 43: 335–345.
- MAO P, GUO L, GAO Y, QI L, CAO B, 2019. Effects of seed size and sand burial on germination and early growth of seedlings for coastal *Pinus thunbergii* Parl. in the Northern Shandong Peninsula, China. *Forests*, 10(3): 281.
- ORTEGA C A, ROTELLI A E, GIANELLO J C, 1998. Chemical components and anti-inflammatory activity from *Bidens subalternans*. *Planta Medica*, 64(8): 778.
- TAKANO H K, FERNANDES V N, ADEGAS F S, OLIVEIRA JR R S, WESTRA P, GAINES T A, DAYAN F E, 2020. A novel TIPT double mutation in EPSPS conferring glyphosate resistance in tetraploid *Bidens subalternans*. *Pest Management Science*, 76(1): 95–102.
- YUAN X, WEN B, 2018. Seed germination response to high temperature and water stress in three invasive Asteraceae weeds from Xishuangbanna, SW China. *PLoS ONE*, 13(1): e0191710.

(责任编辑: 郑珊珊)