

引用格式: 贺顺云, 赵昌高, 王吉辰, 等. 极小种群野生植物舟柄铁线莲种子萌发特性研究[J]. 浙江农林大学学报, 2026, 43(3): 544-551. HE Shunyun, ZHAO Changgao, WANG Jichen, et al. Seed germination characteristics of wild plant *Clematis dilatata* with extremely small populations[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2026, 43(3): 544-551.

极小种群野生植物舟柄铁线莲种子萌发特性研究

贺顺云¹, 赵昌高², 王吉辰¹, 曾馨梨¹, 刘志高¹

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300; 2. 景宁畲族自治县生态林业发展中心, 浙江 景宁 323500)

摘要: 【目的】探究舟柄铁线莲 *Clematis dilatata* 种子的休眠原因, 寻找有效破眠方法, 为该植物的保护和开发利用提供依据。【方法】以舟柄铁线莲种子为材料, 观测其形态特征、种皮透水性、内源抑制物(以白菜 *Brassica rapa* var. *glabra* 种子为受体), 并采用不同质量浓度的赤霉素(GA₃)处理(0、50、100、200 mg·L⁻¹)、不同时间的冷层积处理(0~98 d)以及不同温度(恒温、变温)与光周期(光暗交替、全黑暗)的组合处理, 筛选最佳破眠方法。【结果】舟柄铁线莲种子成熟时, 胚胎已分化但发育不全; 种皮透水性良好, 种胚无吸水障碍; 种皮和胚乳浸提液对白菜种子萌发均未产生显著影响。相较于恒温(25℃)或全黑暗条件, 变温(25℃ 16 h/15℃ 8 h)和光暗交替(光照 16 h/黑暗 8 h)的环境条件更有利于种子萌发。种子在冷层积处理后, 平均胚根萌动时间(21~45 d)远短于未处理的对照组(75 d), 但随着冷层积时间的增加, 发芽率先升高后降低, 发芽势先升高后趋于平稳, 而平均胚根萌动时间则不断缩短直至稳定。在冷层积 70 d 时, 发芽率最高, 为(64.33±5.51)%, 发芽势为(7.33±1.15)%, 平均胚根萌动时间为 25 d。种子经 50 mg·L⁻¹ GA₃ 处理后, 发芽率高达(68.33±3.51)%, 发芽势为(8.00±1.00)%, 平均胚根萌动时间为 23 d, 但随着 GA₃ 质量浓度升高, 发芽率和发芽势均呈下降趋势, 平均胚根萌动时间也随之延长。【结论】舟柄铁线莲种子属于非深度简单形态生理休眠类型, 在变温和光暗交替的环境下, 50 mg·L⁻¹ GA₃ 或冷层积 70 d 能够更有效地解除其休眠状态。图 2 表 4 参 31

关键词: 舟柄铁线莲; 休眠类型; 形态生理休眠; 赤霉素; 冷层积

中图分类号: S330.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2026)03-0544-08

Seed germination characteristics of wild plant *Clematis dilatata* with extremely small populations

HE Shunyun¹, ZHAO Changgao², WANG Jichen¹, ZENG Xinli¹, LIU Zhigao¹

(1. College of Landscape Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Center of Ecological Forestry Development of Jingning She Nationality Autonomous County, Jingning 323500, Zhejiang, China)

Abstract: 【Objective】 This study aims to explore the reasons for dormancy of *Clematis dilatata* seeds and find effective methods to break dormancy, providing a basis for the protection, development and utilization of this plant. 【Method】 Using seeds of *C. dilatata* as experimental material, the morphological traits, seed coat permeability, and endogenous inhibitors (using seeds of *Brassica rapa* var. *glabra* as the receptor) were observed. Furthermore, treatments with different gibberellin (GA₃) concentrations (0, 50, 100, and 200 mg·L⁻¹) were applied, varying durations of cold stratification (0-98 d), and treatments of different temperature (constant and alternating) and photoperiod (alternating light/dark and complete darkness) were combined to screen for the most effective dormancy-breaking method. 【Result】 At maturity, seeds of *C. dilatata* had differentiated but

收稿日期: 2025-08-20; 修回日期: 2025-12-15

基金项目: 浙江省农业新品种重大专项花卉育种专项(2021C02071-6-4); 浙江省农业(林木)新品种选育重大科技专项(2016C02056-13-4); 浙江省景宁县科技计划项目(2023A34)

作者简介: 贺顺云 (ORCID: 0009-0006-4357-6140), 从事铁线莲遗传育种研究。E-mail: 1737524653@qq.com。通信作者: 刘志高 (ORCID: 0000-0002-2720-9619), 副教授, 博士, 从事园林植物资源开发与应用研究。E-mail: vzhigao@sina.com

underdeveloped embryos. The seed coat showed good water permeability, posing no barrier to water uptake by the embryo. Aqueous extracts from the seed coat and endosperm had no significant effect on the germination of *B. rapa* var. *glabra* seeds. Compared to the constant temperature (25 °C) or complete darkness, alternating temperature (25 °C 16 h/15 °C 8 h) and a light/dark cycle (light 16 h/dark 8 h) were more conducive to seed germination. Cold stratification significantly reduced the mean time to radicle emergence (21–45 d) compared to the control (75 d). When stratification duration increased, germination rate firstly increased and then decreased, while germination potential firstly increased and then stabilized, and the mean time to radicle emergence decreased progressively until stabilizing. After 70 d of cold stratification, germination rate peaked at (64.33±5.51)%, with a germination potential of (7.33±1.15)% and a mean radicle emergence time of 25 d. Treatment with 50 mg·L⁻¹ GA₃ resulted in a high germination rate of (68.33±3.51)%, a germination potential of (8.00±1.00)%, and a mean radicle emergence time of 23 d. However, higher GA₃ concentration reduced both germination rate and potential, and prolonged the mean time to radicle emergence. [Conclusion] Seeds of *C. dilatata* belong to non-deep simple morphophysiological dormancy. Under alternating temperature and light/dark conditions, treatment with 50 mg·L⁻¹ GA₃ or cold stratification for 70 d can effectively seed dormancy. [Ch, 2 fig. 4 tab. 31 ref.]

Key words: *Clematis dilatata*; dormancy type; morphophysiological dormancy; gibberellin; cold stratification

种子萌发是植物生命周期的关键起点，直接关系到种群的自然更新与繁衍，而种子休眠则是植物在长期进化中形成的一种适应性策略，能够通过调控种子萌发的时间和空间，使植物避开不利环境，提高后代存活概率^[1-2]。然而，过度或难以解除的休眠往往会导致种子萌发率低下，成为制约其自然更新的瓶颈。不同植物种子的休眠原因存在差异，这与其生存环境及自身特性密切相关^[3]。根据植物种子不同的休眠特性，将种子休眠划分为形态休眠、物理休眠、生理休眠、形态生理休眠、复合休眠 5 种类型，其中形态生理休眠包括 2 种类别和 9 种类型^[4]。

铁线莲属 *Clematis* 是毛茛科 Ranunculaceae 中的一个属，其绝大多数的种为木质藤本植物，全世界约 355 种（含亚种、变种等种下级单位，下同）^[5]。中国有自然野生分布约 147 种，西南地区的种类较多，而浙江有 32 种^[6]。根据国内外研究，大多数铁线莲属植物的种子休眠属于形态休眠和形态生理休眠，也存在无休眠的种类。*C. microphylla* 的种子存在生理休眠的特性^[7]。女娄 *C. apiifolia*、大叶铁线莲 *C. heracleifolia*、齿叶铁线莲 *C. serratifolia*、*C. heracleifolia* var. *urticifolia* 的种子属于形态休眠类型^[8]。圆锥铁线莲 *C. terniflora*、*C. trichotoma*、*C. taeguensis* 的种子具有形态生理休眠特性^[9]。棉团铁线莲 *C. hexapetala* 的种子存在深度复杂的形态生理休眠类型，只需冷层积就可以萌发^[10]。灌木铁线莲 *C. fruticosa* 的种子，在室温下发芽率可达 75.33%，不存在休眠现象^[11]。

舟柄铁线莲 *C. dilatata* 是浙江的特有种之一，属于极小种群，其分布范围狭窄，主要分布于浙江丽水各县，生于山坡林中或山谷溪边^[6,12]。舟柄铁线莲为常绿型木质藤本，花白色，圆锥花序，花量大且可以二次开花，花期为 5—6 月，果期为 6—7 月，具有极佳的园林应用潜力，其种子在自然环境下长期不萌发，存在休眠现象，现已被列入《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》，属于近危级植物。目前，关于舟柄铁线莲种子繁育的相关研究尚未见报道。本研究通过对舟柄铁线莲种子的形态观察、种皮透水性、内含抑制物、各类解除休眠方法的研究，旨在解析种子的休眠原因，寻找有效破眠方法，为该植物的保护和开发利用提供依据。研究成果不仅可为其人工繁育、种群恢复提供关键技术支撑，还有助于推动该近危物种的迁地保护与可持续利用，对丰富植物多样性及生态修复实践具有重要的应用价值。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

舟柄铁线莲种子于 2024 年 8 月采自浙江省丽水市景宁畲族自治县（东坑村、九龙山、标溪乡），经有效氯质量浓度为 7.5 g·L⁻¹ 的次氯酸钠溶液浸泡 20 min 进行表面灭菌，再用无菌水冲洗 5 次，置于干

燥阴凉处自然晾干备用。内源抑制物质测定所用材料为白菜 *Brassica rapa* var. *glabra* 种子, 购自安徽九七种苗科技有限公司, 净度 $\geq 98.00\%$, 发芽率 $\geq 98.00\%$, 含水量 $\leq 8.00\%$ 。

1.2 种子形态指标与千粒重测定

随机选取 30 粒种子, 拍摄种子的平面和立体图像后导入 AutoCAD 2024, 测量长、宽和厚度; 随机选取 1000 粒种子, 用电子天平(精确至 0.001 g)测定种子千粒重。使用体视显微镜(SMZ745)对种子的种皮和横切面结构进行观测, 并测定胚长和宽。均重复测定 3 次。

1.3 种子含水量与透水性测定

随机选取 100 粒种子称鲜质量, 后放于 60 °C 烘箱中, 每隔 1 h 取出称量, 直至恒量, 得到种子干质量。按照相对含水量 $=[(种子鲜质量-种子干质量)/种子鲜质量] \times 100\%$ 进行计算, 重复测定 3 次。

随机选取 200 粒种子均分为 2 组, 其中一组进行刻皮处理(用手术刀在种皮非胚部位划 1~2 道浅痕, 不伤及种胚), 另一组作为对照, 种子不做刻皮处理^[13]。种子称量后, 分别放入蒸馏水中浸泡 48 h, 其中前 12 h 每 2 h 取出称量, 后 36 h 每 6 h 取出称量, 直至种子恒量, 每次称量前擦干种子表面水分, 按照吸水率 $=[(吸水后质量-吸水前质量)/吸水前质量] \times 100\%$ 进行计算, 重复测定 3 次。

1.4 种子浸提液对白菜种子萌发的影响测定

将种皮和胚乳分离后粉碎, 分别称取粉碎物 1.0 g 于锥形瓶中, 加入蒸馏水 10 mL, 于室温下无光密封浸提 36 h, 每隔 2 h 震荡摇匀一次; 收集浸提液, 4000 $r \cdot \min^{-1}$ 离心 10 min, 取上清液定容至 10 mL, 得到 0.10 $g \cdot mL^{-1}$ 的粗提液, 置于 4 °C 冰箱密闭保存备用^[14]。选取饱满且大小形态相近的白菜种子, 用 5 $g \cdot L^{-1}$ 高锰酸钾溶液浸泡 30 min 消毒, 用蒸馏水冲洗后浸泡, 选择能沉在水底的种子风干备用。用去离子水将种皮、胚乳粗提液分别配制成质量浓度为 0、50、100 $g \cdot L^{-1}$ 的浸提液。分别选取 50 粒白菜种子浸泡在上述浸提液中 24 h, 随后在直径为 9 cm 的培养皿中铺入 2 层滤纸, 将浸泡后的白菜种子均匀撒播在滤纸上, 沿培养皿的内壁滴入相应的浸提液润湿滤纸, 用保鲜膜密封, 置于恒温为 25 °C、光周期为光照 16 h/黑暗 8 h, 光强为 2 500 lx 的培养箱中, 24 h 后统计种子发芽率(以突破种皮为发芽标准), 48 h 后测定胚根长度, 72 h 后测定下胚轴长度。重复测定 3 次。

1.5 种子萌发试验

激素处理: 随机选取 400 粒种子, 均分成 4 份, 分别在无菌水(ck)、50、100、200 $mg \cdot L^{-1}$ 的赤霉素(GA_3)溶液中浸泡 48 h, 用于后续萌发试验。

冷层积处理: 随机选取 800 粒种子, 均分成 8 份, 埋入湿润混合基质(珍珠岩:泥炭土=1:1, 体积比)的密封袋中, 放入 4 °C 的冰箱保存; 分别在 0、14、28、42、56、70、84 和 98 d 取出 1 份种子, 均匀撒播在垫有 2 层湿润滤纸的培养皿中, 进行萌发试验。

黑暗处理: 随机选取 200 粒种子, 均分成 2 份。分别均匀撒播在垫有 2 层湿润滤纸的培养皿中, 一份用锡纸包裹培养皿(确保无光透入), 另一份不作避光处理, 分别进行萌发试验。

经上述 3 种方式处理的种子, 均置于变温(25 °C 16 h/15 °C 8 h)、光周期为光照 16 h/黑暗 8 h, 光强为 2 500 lx 的培养箱中进行种子萌发试验, 其中变温和光周期的时间同步。另随机选取 200 粒种子, 均分成 2 份, 分别均匀撒播在垫有 2 层湿润滤纸的培养皿中, 其中一份置于上述的变温条件下, 另一份则置于恒温 25 °C, 两者的光周期(光照 16 h/黑暗 8 h)与光强(2 500 lx)设置相同。

所有萌发试验均进行 3 次重复。试验开始后每日观测, 及时取出萌发种子和霉变种子, 种子萌发以胚根突破种皮为标志, 连续 7 d 无种子萌发则发芽结束, 统计发芽率和发芽势。发芽率 $=(发芽种子总数/供试种子总数) \times 100\%$, 发芽势 $=(发芽高峰日发芽种子数/供试种子总数) \times 100\%$ 。

1.6 统计与分析

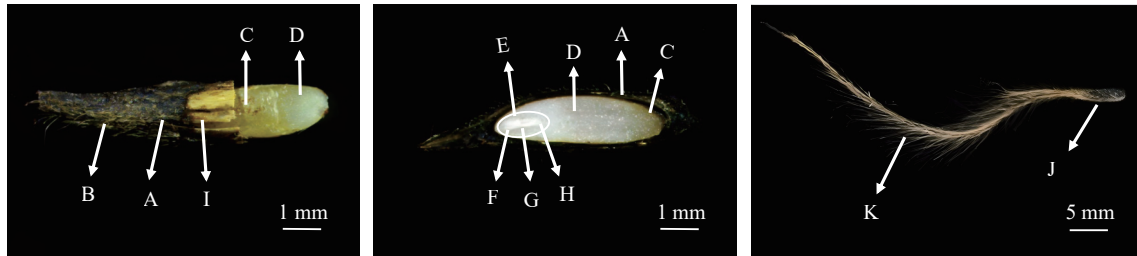
数据处理和作图采用 Excel 2021、AutoCAD 2024 和 Origin 2024, 数据分析采用 SPSS 26.0。数据以平均值 \pm 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 舟柄铁线莲种子形态结构

如图 1 所示: 舟柄铁线莲种子分为瘦果和宿存丝状花柱 2 个部分, 瘦果外形呈椭圆形或狭长椭圆形; 外种皮呈黑褐色, 粗糙且被淡黄色短柔毛, 结构木质化; 内种皮呈金黄色, 光滑且薄; 宿存花柱具

有稀疏展开的淡黄色柔毛；种胚具乳白色胚乳层，胚乳紧包着种胚；种子成熟时种胚已分化但发育不完全，具明显的子叶、胚轴和胚根结构。种子长为 (0.66 ± 0.06) cm，宽为 (0.19 ± 0.07) cm，厚为 (0.15 ± 0.04) cm，宿存花柱长为 (3.20 ± 0.45) cm，千粒重为 (7.48 ± 0.12) g，相对含水量为 $(6.69\pm 0.32)\%$ 。



A. 外种皮表皮层; B. 淡黄色柔毛; C. 内种皮; D. 胚乳; E. 种胚; F. 胚根; G. 胚轴; H. 子叶; I. 外种皮厚壁组织; J. 瘦果; K. 宿存丝状花柱。

图 1 舟柄铁线莲种子形态结构图
Figure 1 Morphological structure of *C. dilatata* seeds

2.2 舟柄铁线莲种子透水性

为探究舟柄铁线莲种皮是否存在吸水阻碍，对刻伤种皮和不刻伤种皮的种子进行吸水试验。2 种处理的吸水率变化情况如图 2 所示。刻伤种子和不刻伤种子在 0~8 h 均为快速吸水阶段，在 8~30 h 均为缓慢吸水阶段，在 30~48 h 均为吸水饱和阶段。刻伤种皮的种子吸水率为 $(117.49\pm 29.73)\%$ ，不刻伤种皮的种子吸水率为 $(114.82\pm 30.97)\%$ ，两者无明显差异。以上结果说明舟柄铁线莲种皮不存在吸水阻碍，排除物理休眠现象。

2.3 舟柄铁线莲种子内源抑制物检测

如表 1 所示：各部位不同浸提液对白菜种子的发芽无显著抑制作用。相对于 ck，种皮和胚乳的浸提液对白菜种子的胚根生长有显著促进作用 ($P < 0.05$)，但对下胚轴生长无显著影响。说明舟柄铁线莲种皮和种胚中的内含物对种子萌发均无显著抑制作用。

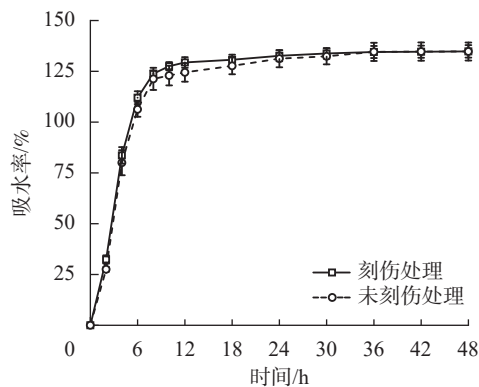


图 2 舟柄铁线莲种子吸水率变化

Figure 2 Changes of water absorption rate of *C. dilatata* seeds

表 1 舟柄铁线莲种子各部位不同浸提液对白菜种子萌发的影响

Table 1 Effects of different extracts from different parts of *C. dilatata* seeds on the germination of *B. rapa* var. *glabra* seeds

浸提液	萌发率/%	胚根长/cm	下胚轴长/cm
无菌水(ck)	0.88±0.08 a	0.88±0.07 b	0.77±0.05 ab
50 g·L ⁻¹ 种皮	0.85±0.03 a	1.22±0.15 a	0.72±0.12 ab
100 g·L ⁻¹ 种皮	0.82±0.04 a	1.25±0.15 a	0.59±0.29 b
50 g·L ⁻¹ 胚乳	0.80±0.04 a	1.13±0.29 a	0.85±0.13 a
100 g·L ⁻¹ 胚乳	0.88±0.02 a	0.94±0.27 ab	0.68±0.13 ab

说明：同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 不同温度和光照处理对舟柄铁线莲种子萌发的影响

由表 2 可知：与变温和光暗交替处理相比，恒温 and 光暗交替处理并未显著改变种子的发芽率和发芽势，但使平均胚根萌动时间延长了 9 d；而变温和全黑暗处理则显著降低了发芽率 ($P < 0.05$)，并使平均胚根萌动时间缩短了 10 d，但发芽势无显著变化。由此可知，在变温和光暗交替的环境条件下，舟柄铁线莲种子的萌发效果最好。

2.5 GA₃ 处理对舟柄铁线莲种子萌发的影响

如表 3 所示：种子经 GA₃ 处理后的发芽率显著高于无 GA₃ 处理的 ($P < 0.05$)。种子经 50 mg·L⁻¹ GA₃ 处理后，发芽率高达 $(68.33\pm 3.51)\%$ ，发芽势为 $(8.00\pm 1.00)\%$ ，平均胚根萌动时间为 23 d，但随着 GA₃ 质量浓度升高，发芽率和发芽势均呈下降趋势，平均胚根萌动时间也随之延长。该结果说明 GA₃ 对

表 2 不同光照与温度处理对舟柄铁线莲种子萌发的影响

Table 2 Effects of different light and temperature treatments on seed germination of *C. dilatata*

处理	发芽率/%	发芽势/%	平均胚根萌动时间/d
变温+光暗交替	21.67±2.52 a	2.33±0.58 a	75
恒温+光暗交替	17.33±5.51 ab	2.00±1.00 a	84
变温+全黑暗	8.67±3.06 b	1.33±0.58 a	65

说明：变温为 25 °C 16 h/15 °C 8 h，恒温为 25 °C，光暗交替为光照 16 h/黑暗 8 h，全黑暗为黑暗 24 h。同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

表 3 不同质量浓度的 GA₃ 对舟柄铁线莲种子萌发的影响

Table 3 Effects of different concentrations of GA₃ treatment on seed germination of *C. dilatata*

GA ₃ 质量浓度/(mg·L ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	平均胚根萌动时间/d
0	21.67±2.52 c	2.33±0.58 b	75
50	68.33±3.51 a	8.00±1.00 a	23
100	39.00±5.57 b	4.00±1.00 b	32
200	38.67±2.52 b	3.00±1.00 b	34

说明：同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

克服舟柄铁线莲种子休眠至关重要，经 50 mg·L⁻¹ GA₃ 处理后的种子萌发效果最好，高质量浓度的 GA₃ 反而抑制萌发。

2.6 冷层积处理对舟柄铁线莲种子萌发的影响

由表 4 可知：与未处理种子相比，种子经冷层积处理后能够有效缩短平均胚根萌动时间 (21~45 d)。随着冷层积的时间增加，发芽率先升高后降低，发芽势先升高后趋于平稳，而平均胚根萌动时间则不断缩短直至稳定。其中，冷层积 70 d 时，发芽率达到最高，为 (64.33±5.51) %，随后发芽率逐渐降低；与未处理种子相比，冷层积 56~98 d 时，发芽势出现显著差异 ($P < 0.05$) 且较为稳定；冷层积 84 d 时，平均胚根萌动时间最短 (21 d)。该结果表明冷层积对舟柄铁线莲种子萌发有明显的促进作用，能够大幅度缩短胚根萌动时间，但长时间的冷层积会导致种子耗尽养分或失活，不利于种子萌发。

表 4 不同时长冷层积处理对舟柄铁线莲种子萌发的影响

Table 4 Effect of different duration of cold stratification treatment on seed germination of *C. dilatata*

冷层积时间/d	发芽率/%	发芽势/%	平均胚根萌动时间/d
0	21.67±2.52 e	2.33±0.58 c	75
14	27.00±3.61 de	2.67±0.58 bc	45
28	31.67±2.52 cde	4.00±1.00 abc	37
42	35.00±3.61 cd	4.67±1.53 abc	32
56	42.67±4.73 bc	6.00±2.00 ab	27
70	64.33±5.51 a	7.33±1.15 a	25
84	53.67±4.16 b	6.33±1.53 a	21
98	28.33±5.13 de	6.67±1.15 a	23

说明：同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 舟柄铁线莲种子休眠类型鉴定

目前，BASKIN 等^[15]的二叉式检索表是最全面的种子休眠分类系统，划分不同休眠类型的判定依据包括种皮透水性、胚胎是否分化、胚是否发育完全、胚根和胚芽是否同时萌发等因素。物理休眠是由于种皮不透水而阻碍种胚萌发的一种休眠类型^[16]。本研究中，刻伤与不刻伤种子均能正常吸水，说明舟柄铁线莲种子不存在物理休眠或物理生理组合休眠，这与周睿等^[13]对全缘铁线莲 *C. integrifolia* 的研究结果一致。本研究中，以无菌蒸馏水为溶剂，舟柄铁线莲种胚与胚乳的浸提液均无法抑制白菜种子萌发，这可能是舟柄铁线莲种子的内源抑制物是脂溶性的，无菌蒸馏水无法有效提取^[17]。

生理休眠类型的种子胚胎已分化且发育完全，而形态休眠和形态生理休眠类型的种子胚胎未分化或已分化但发育不全，在种胚已分化但发育不完全时，种子可以在适宜环境中 1 个月内生根发芽，则归为形态休眠类型；若种子超过 1 个月没有出现根突破种皮的现象，则被认为是形态生理休眠类型^[15]。本研究中，舟柄铁线莲种子在成熟时胚胎已分化但发育不全，但在适宜的培养条件下，种子在 75 d 后才出现根突破种皮的现象，表明舟柄铁线莲种子属于形态生理休眠类型，这与 YANG 等^[9]的研究结果一致，他们发现 *C. taeguensis* 和 *C. terniflora* 的种子在温度为 25 °C/15 °C 的培养箱中培养 100 d 以上才会萌发，均属于形态生理休眠类型。

形态生理休眠类型具有形态休眠和生理休眠 2 种特点，即种子胚芽发育不完全，需要经历生理休眠才能萌发^[18]。根据种胚破除休眠以及生长发育所需的温度和对 GA₃ 的响应，形态生理休眠类型可分为

2 个类别，一类是简单型，种胚在暖层积 (温度 $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$) 中才能正常生长发育；另一类是复杂型，种胚的生长发育需要在冷层积 (温度为 $0\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) 中进行^[19]。本研究中，种子在冷层积过程中未出现种胚萌发的现象，但冷层积一定时间后，再转移到温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的培养箱中进行层积时，种胚能够正常生长发育，发芽率提高了，胚根萌动时间也大幅度缩短，该现象说明舟柄铁线莲种子经冷层积解除休眠后，种胚需要暖层积才能正常生长发育，属于简单形态生理休眠类型，这与 JANG 等^[8]对圆锥铁线莲和 *C. trichotoma* 的休眠特性研究结果一致。本研究还发现舟柄铁线莲种子经 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ GA}_3$ 和冷层积 70 d 分别处理后，2 种处理方式对发芽率和发芽势的提升作用无明显差异，说明 GA_3 可以代替冷层积打破舟柄铁线莲种子的休眠。因此，舟柄铁线莲种子的休眠类型可以进一步细分为非深度简单形态生理休眠类型。

3.2 外源激素对舟柄铁线莲种子萌发的影响

植物激素能够调节种子体内的内源激素含量变化实现萌发的所需^[20]。研究表明：在种子休眠和萌发时，植物内部的脱落酸 (ABA) 和 GA_3 会相互影响。ABA 浓度高会导致种子休眠并抑制萌发，而 GA_3 会降低 ABA 浓度并促进萌发^[21]。研究发现：适量浓度的 GA_3 对毛蕊铁线莲 *C. lasiandra* 和女娄的种子萌发有显著的促进作用，低浓度的 6-苄氨基嘌呤 (6-BA) 有利于提高山木通 *C. finetiana* 的种子发芽率^[22]。本研究使用 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ GA}_3$ 浸泡舟柄铁线莲种子 24 h 后，平均胚根萌动时间提前了 52 d，发芽率也提高了 2 倍，但随 GA_3 质量浓度升高，发芽率和发芽势均呈下降趋势，平均胚根萌动时间也随之延长。但也有研究认为 GA_3 对钝萼铁线莲 *C. peterae* 和粉绿铁线莲 *C. glauca* 种子的发芽率没有显著提升作用，但可以缩短种子萌发的时间^[23-24]。由此可知： $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ GA}_3$ 对舟柄铁线莲种子萌发有显著促进作用，但随着质量浓度的提升，反而会产生一些抑制作用。

3.3 光照条件对舟柄铁线莲种子萌发的影响

光照对种子萌发是否为必要条件，取决于种子的自身遗传特性和共生环境^[25]。在光照条件下，钝萼铁线莲种子的发芽率比在黑暗条件下高 24%^[24]。灌木铁线莲和灰叶铁线莲 *C. tomentella* 种子在全光照和全黑暗条件下的萌发率相同，但在全黑暗条件下种子发芽能力更强^[26]，这与本研究结果部分相似，舟柄铁线莲种子在全黑暗环境下的平均胚根萌动时间比在光暗交替环境下短 10 d，但与光暗交替环境相比，舟柄铁线莲种子在全黑暗环境下的发芽率显著降低，说明舟柄铁线莲种子适合在光暗交替环境下萌发。

3.4 温度条件对舟柄铁线莲种子萌发的影响

温度也是影响种子萌发进度的直接因素，不同种子萌发速率对温度的敏感程度存在差异^[27]。如大叶铁线莲和东方铁线莲 *C. orientalis* 种子的萌发温度适应范围较广，在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的变温范围内种子萌发率均高于 70%^[28]，灌木铁线莲种子在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的变温环境中发芽率最高^[29]。本研究中，在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}/15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的变温环境下，舟柄铁线莲种子的平均胚根萌动时间比在恒温 ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) 环境下短 9 d，但其发芽率和发芽势与恒温条件相比差异不显著，说明舟柄铁线莲种子在变温环境下更能促进种胚发育。

冷层积会使种子体内发生一系列生理反应，加快大分子储藏物质分解为小分子物质，满足种子萌发时所需物质，进而解除休眠^[30]。本研究中，舟柄铁线莲种子在冷层积 70 d 后，发芽率达到最高，为 $(64.33\pm 5.51)\%$ ，随着冷层积时间的增加，发芽率显著降低，表明冷层积对舟柄铁线莲种子萌发有显著促进作用，但长时间的冷层积反而会抑制种子萌发。这与林春新等^[31]对东北铁线莲 *C. mandshusica* 的研究结果不一致，他们发现东北铁线莲种子因自身特性和生存环境，需在冷层积 140~160 d 后，发芽率才能达 70%。

4 结论

舟柄铁线莲种子休眠类型属于非深度简单形态生理休眠类型，适合在变温 ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 16 h/ $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 8 h) 和光暗交替 (光照 16 h/黑暗 8 h) 的培养条件中萌发。冷层积 70 d 和 $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ GA}_3$ 处理均可有效打破舟柄铁线莲种子的休眠并缩短胚根突破种皮的周期。

5 参考文献

- [1] 宋松泉, 唐翠芳, 程红焱, 等. 种子萌发调控的研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2024, 54(7): 1226–1253. SONG Songquan, TANG Cuifang, CHENG Hongyan, et al. Research progress in regulation of seed germination[J]. *Scientia Sinica (Vita)*, 2024, 54(7): 1226–1253. DOI: 10.1360/SSV-2023-0324.

- [2] 杨楠, 曹亚从, 魏兵强, 等. 单双子叶植物种子萌发和休眠的研究进展[J]. *植物遗传资源学报*, 2022, **23**(5): 1249–1257. YANG Nan, CAO Yacong, WEI Bingqiang, *et al.* Research progress on seed germination and dormancy of monocot and dicot plants[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, **23**(5): 1249–1257. DOI: 10.13430/j.cnki.jpgr.20220314001.
- [3] 季晓莲, 马港振, 戴钊, 等. 红豆杉种子休眠原因及其解除技术研究[J]. *西北林学院学报*, 2024, **39**(4): 112–119. JI Xiaolian, MA Gangzhen, DAI Zhao, *et al.* Studies on dormancy mechanism and dormancy release of *Taxus wallichiana* var. *chinensis*[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2024, **39**(4): 112–119. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2024.04.14.
- [4] 刘慧娜, 张克亮, 赵大球, 等. 种子休眠与萌发综述[J]. *分子植物育种*, 2020, **18**(2): 621–627. LIU Huina, ZHANG Keliang, ZHAO Daqiu, *et al.* Advances in studies of seed dormancy and germination[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2020, **18**(2): 621–627. DOI: 10.13271/j.mpb.018.000621.
- [5] WANG Wencai, LI Liangqian. A new system of classification of the genus *Clematis* (Ranunculaceae)[J]. *Journal of Systematics and Evolution*, 2005, **43**(5): 431–488. DOI: 10.1360/aps040091.
- [6] 李根有, 张芬耀, 马丹丹, 等. 浙江植物志(新编): 第二卷[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2021: 363–397. LI Genyou, ZHANG Fenyao, MA Dandan, *et al.* *Zhejiang Flora (New Edition): Volume 2*[M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2021: 363–397.
- [7] LUSH W M, KAYE P E, GROVES R H. Germination of *Clematis microphylla* seeds following weathering and other treatments[J]. *Australian Journal of Botany*, 1984, **32**(2): 121–129. DOI: 10.1071/bt9840121.
- [8] JANG B K, PARK K, LEE S Y, *et al.* Comparison of the seed dormancy and germination characteristics of six *Clematis* species from South Korea[J]. *Scientia Horticulturae*, 2023, **307**: 111488. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111488.
- [9] YANG S H, KWON Y H, CHO S H, *et al.* Dormancy in seeds of Korean native *Clematis* species: morphological and morphophysiological[J]. *Flower Research Journal*, 2022, **30**(4): 220–226. DOI: 10.11623/frj.2022.30.4.07.
- [10] ZHANG Keliang, JI Yusong, SONG Xiaomei, *et al.* Deep complex morphophysiological dormancy in seeds of *Clematis hexapetala* Pall. (Ranunculaceae)[J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, **286**: 110247. DOI: 10.1016/j.scienta.2021.110247.
- [11] 于浩然, 李青丰, 贾玉山, 等. 四种灌木植物种子休眠和萌发特性的研究[J]. *北方园艺*, 2018, **42**(22): 88–93. YU Haoran, LI Qingfeng, JIA Yushan, *et al.* Study on dormancy and germination characteristics of four kinds of shrub plant seeds[J]. *Northern Horticulture*, 2018, **42**(22): 88–93. DOI: 10.11937/bfyy.20174200.
- [12] 邵伟丽, 刘志高, 申亚梅, 等. 13种浙江省野生铁线莲引种驯化与观赏性评价[J]. *中国园林*, 2022, **38**(11): 116–121. SHAO Weili, LIU Zhigao, SHEN Yamei, *et al.* Introduction, domestication and ornamental evaluation of 13 wild *Clematis* species from Zhejiang Province[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2022, **38**(11): 116–121. DOI: 10.19775/j.cla.2022.11.0116.
- [13] 周睿, 陆婷, 刘爱民. 全缘铁线莲种子休眠特性及破眠方法研究[J]. *中国野生植物资源*, 2024, **43**(6): 44–50. ZHOU Rui, LU Ting, LIU Aimin. Study on seed dormancy characteristics and sleep breaking methods of *Clematis integrifolia*[J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2024, **43**(6): 44–50. DOI: 10.3969/j.issn.1006-9690.2024.06.007.
- [14] 张梅娟, 王韬, 钱朋智, 等. 芍药种子不同部位浸提液对豌豆种子萌发的影响[J]. *分子植物育种*, 2025, **23**(8): 2703–2708. ZHANG Meijuan, WANG Tao, QIAN Pengzhi, *et al.* Effects of crude extracts of different parts from *Paeonia lactiflora* seeds on seed germination of *Pisum sativum* seeds[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2025, **23**(8): 2703–2708. DOI: 10.13271/j.mpb.023.002703.
- [15] BASKIN C, BASKIN J M. *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*[M]. San Diego: Academic Press, 2014: 150–162.
- [16] 史银聪, 彭冶, 张往祥, 等. ‘白兰地’海棠种子的休眠特性[J]. *北方园艺*, 2025(13): 45–53. SHI Yincong, PENG Ye, ZHANG Wangxiang, *et al.* Dormancy characteristics of *Malus* ‘Brandywine’ seeds[J]. *Northern Horticulture*, 2025(13): 45–53. DOI: 10.11937/bfyy.20250155.
- [17] 双叶, 红艳, 辛颖, 等. 基于 GC-MS 法对北沙参种子内源抑制物鉴定[J]. *种子*, 2024, **43**(11): 91–99. SHUANG Ye, HONG Yan, XIN Ying, *et al.* The preliminary identification for endogenous inhibitors of the seeds of *Glehnia littoralis* based on GC-MS method[J]. *Seed*, 2024, **43**(11): 91–99. DOI: 10.16590/j.cnki.1001-4705.2024.11.091.
- [18] 杨靖, 王国华, 缙倩倩. 河西走廊荒漠绿洲过渡带 5 种典型一年生草本植物种子休眠破除和萌发方法[J]. *草业科学*, 2025, **42**(4): 843–858. YANG Jing, WANG Guohua, GOU Qianqian. Research on seed dormancy breaking and germination methods of five typical annual herbaceous plants in the desert-oasis ecotone of the Hexi Corridor, China[J]. *Pratacultural*

- Science*, 2025, **42**(4): 843–858. DOI: [10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0472](https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2024-0472).
- [19] 姚林君, 张克亮, 熊作明, 等. 种子形态生理休眠研究进展[J]. *生态学杂志*, 2019, **38**(1): 247–255. YAO Linjun, ZHANG Kelian, XIONG Zuoming, *et al.* Research advances in seed morphophysiological dormancy[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, **38**(1): 247–255. DOI: [10.13292/j.1000-4890.201901.021](https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.201901.021).
- [20] 于文庚, 刘磊, 吴德鹏, 等. 脱落酸与赤霉素调控种子休眠萌发的研究进展[J]. *植物遗传资源学报*, 2025, **26**(4): 611–621. YU Wengeng, LIU Lei, WU Depeng, *et al.* Research progress of seed dormancy and germination regulation by abscisic acid and gibberellin[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2025, **26**(4): 611–621. DOI: [10.13430/j.cnki.jpgr.20240816002](https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20240816002).
- [21] 王文辉, 和武宇恒, 徐子骞, 等. 不同部位低温处理对雷竹笋芽休眠解除的影响[J]. *浙江农林大学学报*, 2025, **42**(1): 112–123. WANG Wenhui, HE Wuyuheng, XU Ziqian, *et al.* Effect of low temperature treatment of different parts on dormancy release of *Phyllostachys violascens* shoots[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2025, **42**(1): 112–123. DOI: [10.11833/j.issn.2095-0756.20240343](https://doi.org/10.11833/j.issn.2095-0756.20240343).
- [22] 刘志高, 季梦成, 杨彦鹏, 等. 3种铁线莲属植物种子萌发特性研究[J]. *种子*, 2015, **34**(6): 30–33. LIU Zhigao, JI Mengcheng, YANG Yanpeng, *et al.* Study on germination characteristics of three species from *Clematis*[J]. *Seed*, 2015, **34**(6): 30–33. DOI: [10.16590/j.cnki.1001-4705.2015.06.030](https://doi.org/10.16590/j.cnki.1001-4705.2015.06.030).
- [23] 王磊, 周余华, 关雪莲, 等. GA₃ 和 6-BA 对粉绿铁线莲种子发芽特性的影响[J]. *种子*, 2010, **29**(3): 44–45, 50. WANG Lei, ZHOU Yuhua, GUAN Xuelian, *et al.* Effects of plant growth regulators GA₃ and 6-BA on seed germination characteristic of *Clematis glauca*[J]. *Seed*, 2010, **29**(3): 44–45, 50. DOI: [10.16590/j.cnki.1001-4705.2010.03.072](https://doi.org/10.16590/j.cnki.1001-4705.2010.03.072).
- [24] 李世峰, 蔡艳飞, 李树发, 等. 不同因子对钝萼铁线莲种子萌发的影响[J]. *北方园艺*, 2011, **35**(3): 86–88. LI Shifeng, CAI Yanfei, LI Shufa, *et al.* Effects of different factor on the seed germination of *Clematis peterae*[J]. *Northern Horticulture*, 2011, **35**(3): 86–88. DOI: [10.11937/bfyj.201103034](https://doi.org/10.11937/bfyj.201103034).
- [25] PEPE M, GRATANI L, FABRINI G, *et al.* Seed germination traits of *Ailanthus altissima*, *Phytolacca americana* and *Robinia pseudoacacia* in response to different thermal and light requirements[J]. *Plant Species Biology*, 2020, **35**(4): 300–314. DOI: [10.1111/1442-1984.12286](https://doi.org/10.1111/1442-1984.12286).
- [26] 甄宏宇, 刘燕. 2种灌木铁线莲种子生物学特性的研究[J]. *种子*, 2010, **29**(12): 42–44. ZHEN Hongyu, LIU Yan. Study on seeds biological characteristics of 2 ornamental plant of sect. *Friticella*[J]. *Seed*, 2010, **29**(12): 42–44. DOI: [10.16590/j.cnki.1001-4705.2010.12.080](https://doi.org/10.16590/j.cnki.1001-4705.2010.12.080).
- [27] PUGLIA G D, BALESTRASSE K, BUSTOS J S, *et al.* New insights into the role of alternating temperatures and cyanide in the ROS-mediated cardoon seed dormancy termination[J]. *Horticulturae*, 2022, **8**(10): 960. DOI: [10.3390/horticulturae8100960](https://doi.org/10.3390/horticulturae8100960).
- [28] 温韦华, 刘淳洋, 施文彬, 等. 5种铁线莲种子萌发特性的研究[J]. *种子*, 2017, **36**(10): 37–41. WEN Weihua, LIU Boyang, SHI Wenbin, *et al.* Study on seed germination characteristics of five *Clematis* species[J]. *Seed*, 2017, **36**(10): 37–41. DOI: [10.16590/j.cnki.1001-4705.2017.10.037](https://doi.org/10.16590/j.cnki.1001-4705.2017.10.037).
- [29] 于浩然, 李青丰, 贺一鸣, 等. 不同温度及光照对灌木铁线莲种子萌发生理生化特性的影响[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018(9): 139–142, 146. YU Haoran, LI Qingfeng, HE Yiming, *et al.* Effects of different temperature and light on physiological and biochemical characteristics of *Clematis fruticosa* Turcz seed germination[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018(9): 139–142, 146. DOI: [10.13881/j.cnki.hljxmsy.2017.11.0272](https://doi.org/10.13881/j.cnki.hljxmsy.2017.11.0272).
- [30] 王召明, 张晓明, 于兴旺, 等. 草乌头种子层积过程中内源激素变化和相关基因表达分析[J]. *草地学报*, 2025, **33**(5): 1648–1654. WANG Zhaoming, ZHANG Xiaoming, YU Xingwang, *et al.* Changes of endogenous hormones and expression of related genes during seed stratification of *Aconitum kusnezoffii* Reichb.[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2025, **33**(5): 1648–1654. DOI: [10.11733/j.issn.1007-0435.2025.05.030](https://doi.org/10.11733/j.issn.1007-0435.2025.05.030).
- [31] 林春新, 杨利民, 宋波, 等. 东北铁线莲种子萌发特性的研究[J]. *北方园艺*, 2012, **36**(13): 67–69. LIN Chunxin, YANG Limin, SONG Bo, *et al.* Study on the germination characteristics of *Clematis manshurica* Rupr. seeds[J]. *Northern Horticulture*, 2012, **36**(13): 67–69.