

细花德昭藤种子生物学特性和繁殖技术初探

付艳茹^{1,2}

¹上海植物园, 上海

²上海城市植物资源开发应用工程技术研究中心, 上海

收稿日期: 2026年6月2日; 录用日期: 2026年6月30日; 发布日期: 2026年7月14日

摘要

目的: 探究细花德昭藤种子的生物学特性及适宜播种繁殖技术, 为种苗繁育和生产应用提供科学依据。方法: 测定细花德昭藤种子的长度、宽度、厚度、种子形态指数、千粒重等形态指标; 设置破皮处理(沿种脐对面缝线剪破种皮)与不破皮对照两个处理, 比较不同处理在浸水状态下的种子吸胀率变化及最终出苗率。结果: 成熟的细花德昭藤种子呈深棕黑色扁椭球形, 平均长度为7.27 mm, 宽度为5.48 mm, 厚度为2.39 mm, 种子形态指数(长/宽)为1.33, 千粒重为76.07 g, 属于中粒种子偏小的种子。吸胀试验结果表明, 破皮处理种子的吸胀速率显著高于对照, 浸泡3 d后吸胀率达 $136.93\% \pm 1.24\%$, 趋于饱和, 而对照吸胀率变化仅约0.95%。出苗率测定结果显示, 破皮处理种子出苗率可达 $86.67\% \pm 5.78\%$, 显著高于对照的 $6.67\% \pm 5.78\%$ 。结论: 细花德昭藤种子种皮具有一定的透水性障碍, 机械破皮处理能够有效破除吸水障碍, 显著提高种子的吸胀速率和出苗率。

关键词

细花德昭藤, 细花皇冠藤, 鄂羊蹄甲, 种皮处理, 种子繁殖, 吸胀率, 出苗率

Preliminary Study on the Biological Characteristics and Propagation Techniques of *Cheniella tenuiflora* Seeds

Yanru Fu^{1,2}

¹Shanghai Botanical Garden, Shanghai

²Shanghai Engineering Research Center of Sustainable Plant Innovation, Shanghai

Received: June 2, 2026; accepted: June 30, 2026; published: July 14, 2026

Abstract

Objective: This study aims to investigate the biological characteristics of *Cheniella tenuiflora* seeds

文章引用: 付艳茹. 细花德昭藤种子生物学特性和繁殖技术初探[J]. 植物学研究, 2026, 15(4): 223-230.

DOI: 10.12677/br.2026.154026

and to explore suitable sowing and propagation techniques, thereby providing a scientific basis for seedling cultivation and production applications. **Methods:** Morphological indicators of *Cheniella tenuiflora* seeds, including length, width, thickness, seed shape index, and 1000-seed weight, were measured. Two treatments were established: seed coat chipping (cutting the seed coat along the suture opposite the hilum using pruning shears) and an untreated control. The changes in imbibition rate over different soaking durations and the final emergence rate were compared between treatments. **Results:** The seeds of *Cheniella tenuiflora* were oblate-spheroidal in shape, with an average length of 7.27 mm, width of 5.48 mm, thickness of 2.39 mm, a seed shape index (length/width) of 1.33, and a 1000-seed weight of 76.07 g. The imbibition test results indicated that the imbibition rate of seeds subjected to coat chipping was significantly higher than that of the control. After 3 days of soaking, the imbibition rate of chipped seeds approached saturation ($136.93\% \pm 1.24\%$), whereas that of the control seeds was only 0.95%. The emergence rate determination revealed that the emergence rate of chipped seeds reached $86.67\% \pm 5.78\%$, which was significantly higher than the $6.67\% \pm 5.78\%$ observed in the control group. **Conclusion:** The seed coat of *Cheniella tenuiflora* plant seeds presents a certain barrier to water permeability. Mechanical coat chipping can effectively overcome this dormancy obstacle, significantly enhancing both the seed imbibition rate and emergence rate.

Keywords

Cheniella tenuiflora, *Bauhinia glauca* subsp. *tenuiflora*, *Bauhinia glauca* subsp. *hupehana*, Seed Coat Treatment, Seed Propagation, Imbibition Rate, Emergence Rate

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

细花德昭藤是豆科紫荆亚科德昭藤属(或首冠藤属)的多年生木质藤本植物。最初作为羊蹄甲属或火索藤属的亚种或变种被描述,其异名高达 15 个[1]。随着分子系统学的发展,Clark 和 Mackinder 将其所在的首冠藤类群独立出来,并命名为德昭藤属(*Cheniella*),以纪念华南国家植物园的陈德昭先生在豆科尤其是广义羊蹄甲属所做的贡献,并整合了原“薄叶羊蹄甲复合群”下的多个亚种,将鄂羊蹄甲(*Bauhinia glauca* subsp. *hupehana*)、粉叶羊蹄甲(*Bauhinia glauca*)、薄叶羊蹄甲(*Bauhinia glauca* subsp. *tenuiflora*)等统一归并为 *Cheniella tenuiflora* [2] [3]。因“*tenuiflora*”为“纤细花的”意思,故作细花德昭藤,又名细花首冠藤。

细花德昭藤是属内分布最为广泛的种类,在中国川滇、两湖、两广、闽、赣、陕地区均有散布[4]。其叶形独特,叶片先端常裂至 1/3~2/3 处,基部心形或平截,呈羊蹄或苹果状,新叶粉嫩,成熟叶青翠。其花色以白色或粉红色为主,偶有淡红脉纹,伞房花序式的总状花序顶生或与叶对生,雌雄蕊异熟,雄蕊先熟,可育雄蕊 3,存在自交不亲和现象,自然结实率不足 10%,花期 5~6 月[3]。其传粉昆虫主要有天蛾科和蜜蜂科昆虫,是优良的蜜粉源植物[4] [5]。荚果,扁平,呈带状,约 10~11 月成熟,不开裂;种子多数,种皮坚硬。其卷须为主要攀援器官,攀援能力强,生长迅速,可攀至数十米高,适应性强,是垂直绿化、棚架、花廊、空中花园构筑的优良种质资源,还可用于岩石边坡、水土流失、矿山的生态修复[6] [7]。

细花德昭藤作为兼具观赏价值与生态适应性的乡土优良木质藤本,其繁殖与推广应用是园林绿化及生态修复领域的潜在需求。种子是植物繁殖和种群延续的重要器官,其生物学特性直接影响物种的更新

能力和人工繁育效率。种子繁殖具有获得大量遗传多样性高、苗木根系健壮的显著优势，是其种群扩繁与种质保存的重要途径[8]。然而，生产实践中发现细花德昭藤种子存在休眠现象，在自然条件下发芽率极低，存在诸多技术瓶颈与生物学疑难问题，这在一定程度上制约了该物种的规模化繁育与应用。种子休眠是植物长期适应环境的进化结果，对于豆科等种皮坚硬的种子，适当的破皮处理可有效破除机械障碍，促进水分进入种子内部，激活萌发代谢过程。目前关于细花德昭藤种子生物学基础数据尚不系统，种子处理技术亦缺乏科学依据。本研究拟对细花德昭藤种子的形态特征进行系统测定，并以破皮处理为切入点，比较破皮与不破皮处理下种子的吸水动态变化及最终出苗率的差异，旨在明确细花德昭藤种子的基本生物学特性，探索适宜的播种前处理方法，以期为提高其种苗繁育和生产应用提供理论依据和技术支撑。

2. 材料与方法

2.1. 材料

供试材料采自上海植物园科研基地，采集成熟且自然干燥的果荚于实验室(温度: $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, 湿度: $40\% \pm 5\%$)保存。

2.2. 方法

2.2.1. 生物学形态指标测定

用电子数显游标卡尺(精度 0.01 mm)测定果荚的长、宽和种子的长、宽、厚，分别计算果荚和种子的形状指数。定义种子长度与宽度之比为种子形状指数，果荚长度与宽度之比为果荚形态指数[9]。用变异系数表示表型性状值离散程度，变异系数越大，性状值离散程度越大，表型性状值在物种间的整齐性越差[9]。随机选取 300 粒种子，分成 3 组，每组 100 粒，用电子天平(精度 0.01 g)称取每组种子的质量，并计算种子千粒重。

2.2.2. 浸水试验及相关指标测定

随机选择 60 粒种子，分成 2 份，每份 30 粒，每份 3 组，每组 10 粒。用天平称取每组种子的重量。选取 1 份，用修枝剪沿细花德昭藤种脐对面缝线剪破，另一份不作处理。取 6 个培养皿，将每组种子分别放进去，于室温用水浸泡。每天记录不同处理种子的重量及长宽随浸水时间的变化，计算相应的吸胀率。吸胀率($\%$) = $(W_t - W_0)/W_0 \times 100\%$ (式中: W_0 为种子初始重量(g), W_t 为 t 时刻种子重量(g))。每重复随机取 10 粒种子测定，取平均值。

待种子重量稳定不再变化时将种子播种于花盆中，基质配比为珍珠岩:泥炭土(1:1)，浇透水，保持基质湿润但不积水，置于薄膜大棚内，以子叶出土且长出真叶为标准，记录其出苗率。

2.3. 数据分析

数据采用 Spaa25 软件进行方差分析。

3. 结果与分析

3.1. 细花德昭藤果荚和种子的形态特征

如表 1 所示:

(1) 细花德昭藤的果实形态特征为(见图 1): 成熟的果荚颜色呈深棕黑色，扁平呈带状，整体沿纵轴有轻微至中等程度的扭曲，长约 $13\sim 26\text{ cm}$ ，平均长度为 203.68 mm ，宽约 $3\sim 5\text{ cm}$ ，平均宽度为 42.40 mm ，每果荚内有种子 $15\sim 26$ 粒，平均每果荚种子数为 21.71 粒，果荚形态指数为 4.88 。

- (2) 细花德昭藤种子形态特征(见图 2): 成熟种子颜色为深棕黑色, 扁椭圆形, 千粒重约为 76.07 g, 平均每克含种子 13 粒左右, 属于中粒种子中偏小的种子, 长约 6~8 mm, 平均长度为 7.27 mm, 宽约 4~6 mm, 平均宽度为 5.48 mm, 厚约 2~3 mm, 平均厚度为 2.39 mm, 种子形态指数为 1.33。
- (3) 果荚变异系数最大的是果荚形态指数, 种子变异系数最大的是种子的厚度。

Table 1. Morphological characteristics of pods and seeds of *Cheniella tenuiflora*
表 1. 细花德昭藤果荚和种子的形态特征

器官	指标	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数
果荚	长(mm)	133.43	258.04	203.68	36.38	0.18
	宽(mm)	33.38	49.90	42.40	5.17	0.12
	种子数(粒)	15.00	26.00	21.71	3.77	0.17
	长/宽(形态指数)	2.91	6.49	4.88	1.10	0.23
种子	长(mm)	6.55	7.78	7.27	0.41	0.06
	宽(mm)	4.91	6.16	5.48	0.34	0.06
	厚(mm)	2.10	3.03	2.39	0.24	0.10
	长/宽(形态指数)	1.22	1.50	1.33	0.08	0.06
	千粒重(g)	72.68	81.71	76.07	3.08	0.04



Figure 1. Pod morphology of *Cheniella tenuiflora*
图 1. 细花德昭藤果荚形态图



Figure 2. Seed morphology of *Cheniella tenuiflora*
图 2. 细花德昭藤种子形态图

3.2. 不同处理种子浸水试验结果及分析

(1) 破皮的种子在浸水 1 d、2 d 和 3 d 后的吸涨率分别为 $125.36\% \pm 1.28\%$ 、 $136.32\% \pm 1.33\%$ 和 $136.93\% \pm 1.24\%$, 浸泡后体积变化大, 长约 10.55 mm, 宽约 6.92 mm, 种子形态指数约 1.30~1.62, 均较浸泡前有显著增加(见表 2, 图 3)。第 3 d 的吸涨率变化仅 $0.61\% \pm 0.25\%$, 因此, 破皮的种子在浸泡 2 d 后即基本饱和, 于浸泡 3 d 后重量变化极微, 之后为防止继续浸泡种子会有腐烂腐败现象故而直接进行播种观察。

Table 2. Changes in imbibition rate of *Cheniella tenuiflora* seeds under different treatments over soaking time
表 2. 不同处理的细花德昭藤种子随浸水时间的吸胀率变化

处理时间(d)	吸胀率(%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
剪破	125.36 ± 1.28	136.32 ± 1.33	136.93 ± 1.24	—	—	—	—	—	—	—
CK	0.48	0.59	0.95	1.14	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.21

(2) 对照种子在浸泡 3 d 后的吸胀率仅为 0.95%，之后的吸胀率变化极微，浸泡 10 d 后吸胀率无变化，浸泡过程中种子形态指标几无变化，因此在浸泡 10 d 重量无变化后也转为播种观察(见表 2，图 3)。

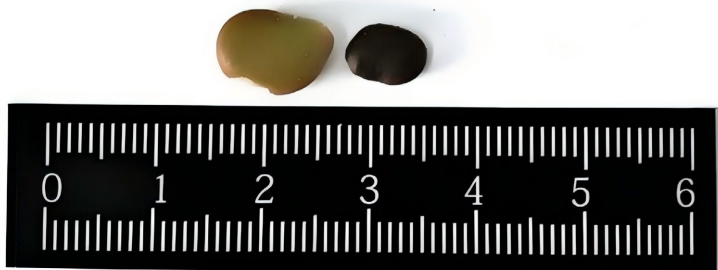


Figure 3. Morphological comparison of *Cheniella tenuiflora* seeds under different treatments after 3 days of soaking (Left: chipped treatment; Right: control (intact seeds))
图 3. 不同处理细花德昭藤种子吸水后形态对比图(左：剪破；右：对照(完整种子))

(3) 于播种后 6 个月统计出苗率，剪破的种子出苗率为 86.67% ± 5.78%，未作处理的种子出苗率仅为 6.67% ± 5.78%，差异极显著($\chi^2 = 38.57$, $df = 1$, $p \approx 5.4 \times 10^{-10}$, $p < 0.001$) (见表 3)。

Table 3. Emergence rate of *Cheniella tenuiflora* seeds under different treatments
表 3. 不同处理的细花德昭藤种子出苗率

处理	出苗率			平均值	标准差
	组 1	组 2	组 3		
剪破	90%	80%	90%	86.67%	5.78%
CK	10%	10%	0%	6.67%	5.78%

4. 结论与讨论

本试验结果表明，用修枝剪沿种子种脐对面剪破而不伤及胚的处理方法能大幅提高细花德昭藤种子吸水效率，提高种子出苗率。未作处理的种子吸水力极其微弱，浸泡 10 d 吸水率不足 2%，而在种子生物学中，吸胀率低于 50%往往意味着吸水受限或不完全，种皮可能含有蜡质、木质素或有特殊结构[10]。本试验则证明了细花德昭藤种子常规萌发受阻主要是物理种皮障碍，而非化学抑制，是一种种皮坚硬、透水透气性差的“硬实性种子”。这是豆科植物种子常见的物理休眠类型，种皮的高度木质化结构会严重阻碍水分和气体的交换，导致种子即使在适宜条件下也无法吸涨萌发[10]。透镜状突起主要存在于豆科种子表面，是种子表面最易突破的地方，水可从透镜状突起进入种子从而促使种子萌发[11]。有研究者发现广义羊蹄甲属的种皮没有透镜状突起，有的是拟透状突起结构，虽然很像典型的透镜状突起，但其出现的位置与种孔、种脐的排列顺序有别于有透镜状突起的其他豆科植物，其功能是否与种子吸水有关也

有待进一步研究[11]。

硬实性种子不透水的问题在机械上限制了胚的生长并延缓了发芽过程,即便在适宜条件下也是如此,可能引起植物生长不均和植株长势不良从而降低作物产量[12]。有研究者通过测定美国皂荚的横截面和纵截面种皮的硬度发现其硬度堪比橡木,且胚乳的硬度和种皮的硬度相当,并尝试通过数学建模以期找到种皮的薄弱点和支撑点,为找到破解硬实性种子加速发芽的最佳途径[13]。针对这类硬实性种子,陈勇等采用不同温度的热水浸泡处理粉叶羊蹄甲,发现用 100℃ 高温水浸泡 3 d 其发芽率可达 41.33% [14]。Belyaev Y A 等发现黄苜蓿和草地苜蓿种子的发芽率在经过冷冻处理后有所提高,甘草和黄芪种子进行液压处理后,发芽率也有增加,且甘草种子在 100 MPa 处理后得到了良好的膨胀和萌发动态[15] [16]。此外,研究发现对于硬实性具有机械休眠的种子而言,萌发结果还受到土壤微生物的影响,土壤微生物在破解硬实性种子机械性休眠方面有很大的潜力[17]。

实际生产中高温水浸泡处理难以控制,操作不慎,种子会被烫伤,严重时颗粒无收,尤其是在种子资源有限的情况下不建议尝试。有时也会利用浓硫酸、双氧水等腐蚀性化学药剂进行浸泡和摩擦种皮,但对操作者的专业技术要求比较高,稍有不慎,种子也会受到二次伤害,且药剂存在一定的毒性,安全隐患大,而摩擦种皮费时费力,尤其当种子偏小数量偏少的时候,操作难度大,在磨皮的过程中还容易对种脐形成损伤,从而伤及种胚,降低萌发率。而本试验也因种子材料有限,只尝试了用修枝剪沿种脐对面缝线破皮试验,操作简单,出苗率高,但因种子小,修剪的时候须格外小心。未来,在种子材料充足的情况下有必要设计正交试验,系统比较机械破皮、温水浸种、浓硫酸处理、不同浓度 GA_3 (或与其他激素组合)处理、不同时长低温层积以及其他综合处理的效果,筛选出高效、安全的破眠方案。

此外,作者在探究常春油麻藤种子萌发时发现:只要样本量够大,即使不作任何处理也会有极少数种子能发芽,而发芽的种子几乎都是有虫口的,但有些种子即使有虫口也不发芽,原因在于其被一种豆象咬破了,而这种豆象在刚收获种子时是看不到的,直到将其储藏至翌年春天才会从种子的不同地方钻出来,如果刚好把胚咬食掉,则不发芽,反之则发芽。此类种子昆虫通过创造“虫口”,偶然地充当了“破皮者”的角色,从而打破了种子休眠。细花德昭藤是否也存在这样的种子昆虫在特定时间充当其“破皮者”,以及何时产卵于发育的种子中,以期达到风险与收益的权衡,还需要进一步的野外生态学观察探究。

一般来说种子早在发育完全之前便已获得萌发的能力,且萌发力随种子的成熟而逐渐下降,新鲜的发育中的种子未经脱水过程也不能萌发,则说明其种子有生理休眠[8]。豆科类硬实性种子萌发失败的原因也通常被认为是物理休眠,而不是生理休眠,但有研究者发现苜蓿萌发失败是由物理休眠和生理休眠共同引起的[18]。因此,除物理休眠外,细花德昭藤种子在完全吸胀(处于水合状态)的情况下不能立即萌发可能也兼具生理休眠。其自然结实率低(<10%),可能也意味着其胚胎发育不完全(形态休眠)或胚中存在萌发抑制物质(生理休眠),需要经历后熟过程等,还需进一步深入探究和验证。

将细花德昭藤种子的形态特征与广义羊蹄甲属近缘种比较发现,其千粒重较小,但约为粉叶羊蹄甲(千粒重最小,仅约 35 g)的 2 倍,种子形态较粉叶羊蹄甲略大且偏圆,属于中粒偏小粒种子[9] [14]。其果荚形态特征果长、果宽、种子数最接近薄叶羊蹄甲(湖北),也为将薄叶羊蹄甲归并至细花德昭藤提供了支持[4]。本试验中也发现其种子厚度的变异系数最大,与 *Bauhinia tarapotensis*、*Bauhinia galpinii*、*Bauhinia grandidieri*、*Bauhinia thonningii* 等 4 种近缘种的结果相似[9]。种子厚度,即胚乳或子叶的充实程度,这直接取决于母株在种子发育中后期输送的光合产物的多少,往往是对母体资源状况最敏感的指标。当资源充足时,种子可以很饱满(厚度大);资源匮乏时,种子变瘪(厚度小),但长度和宽度变化不大。高变异系数的厚度表明,种子最终的质量(饱满度)受母体资源环境影响极大。根据 1966 年 Cohen 提出的经典模型,当后代生存条件存在时空异质性时,母体植株通过产生大小不一的后代,可有效降低种群年度间繁

衍失败的几率[19]。因此,种子大小的显著变异是植物在面对不可预测环境时采取的“风险分摊”策略的一种潜在表现形式。此外,其果实形态指数也显示高变异系数,这种在“果实形态”和“种子质量”上的双重高变异,可能是其对不稳定生存环境的一种进化适应。猜测细花德昭藤在野外变幻莫测的环境下很可能采取了一种高度灵活和机会主义的繁殖策略。旨在通过增加后代的多样性来分摊风险,确保在多变条件下至少有一部分个体能成功延续。

关于此类硬实性种子对细花德昭藤在自然环境中生存有何好处?例如,如何帮助它在特定环境中形成持久种子库,避免在不适宜的季节萌发而夭折?是否可能依赖于通过动物消化道、林火、土壤摩擦、土壤微生物降解或长时间风化来破皮,从而实现在数年甚至数十年间分批萌发,也有待进一步的探究。

总之,对细花德昭藤种子繁殖技术的深入探究,不仅关乎其作为优良乡土植物的开发应用,也是理解其种群更新机制、进行有效迁地保护的科学基础。未来,可从以下几个方面进行深入研究:

(1) 利用扫描电镜(SEM)对破皮前后种皮超微结构进行观察,结合透水性测定,明确种皮物理屏障的具体解剖学位置(如是否由栅栏细胞层或蜡质层主导等)。

(2) 在自然种群中对母体环境(如光照、水分、母株年龄)与种子形态变异幅度进行相关性分析,以区分遗传分化与环境可塑性对种子变异的相对贡献。

(3) 在自然种群中对母体环境、传粉者及每年幼苗出苗率进行持续监测,探究其自然环境下如何适应环境进行萌发。

(4) 系统比较机械破皮、温水浸种、浓硫酸处理、不同浓度 GA₃ (或与其他激素组合)处理、不同时长低温层积以及其他综合处理的效果,筛选出高效、安全的破眠方案。

致 谢

感谢上海植物园的张婷、郭健康、楚秀丽、魏宇昆在试验设计、论文撰写和投稿给予指导和帮助。本研究得到上海市绿化和市容管理局项目(G250304)、2023 年东方英才计划(城市治理领域)青年项目的资助。

基金项目

上海市绿化和市容管理局项目《基于亲生物生境的都市花甸植物选择及构建技术研究》(G250304); 2023 年东方英才计划(城市治理领域)青年项目。

参考文献

- [1] POWO (2026) Plants of the World Online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. <https://powo.science.kew.org/>
- [2] Clark, R.P., Mackinder, B.A. and Banks, H. (2017) *Cheniella* Gen. Nov. (Leguminosae: Cercidoideae) from Southern China, Indochina and Malesia. *European Journal of Taxonomy*, **360**, 1-37. <https://doi.org/10.5852/ejt.2017.360>
- [3] 蒋凯文, 潘勃, 田斌. 近年来中国国产豆科的属级分类学变动[J]. 生物多样性, 2019, 27(6): 689-697.
- [4] 曾求标. 豆科德昭藤属的物种分化研究[D]: [硕士学位论文]. 南宁: 广西大学, 2021.
- [5] 徐祖荫, 石磊, 万炜. 几种颇具经济价值的蜜粉源植物[J]. 蜜蜂杂志, 2017, 37(8): 30-31.
- [6] 杨之彦, 冯志坚, 曹忠元. 羊蹄甲属观赏植物的辨别及其园林应用[J]. 广东园林, 2011, 33(1): 47-51.
- [7] 周敏. 紫藤、湖北羊蹄甲对铅尾矿的耐性生理及修复潜力研究[D]: [硕士学位论文]. 南昌: 江西财经大学, 2017.
- [8] 刘子凡, 主编. 种子学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2019.
- [9] 钱磊, 吴忠锋, 唐昌亮, 等. 16 种羊蹄甲属植物种子表型变异初探[J]. 热带农业科学, 2017, 37(9): 45-51.
- [10] Bewley, J.D., Bradford, K.J., Hilhorst, H.W.M., 等. 种子: 发育、萌发和休眠的生理[M]. 莫蓓莘, 译. 第 3 版. 北京: 科学出版社, 2017.

-
- [11] 邹璞, 廖景平, 张莫湘. 羊蹄甲属植物种子表面微形态观察[J]. 广西植物, 2008(1): 24-32.
- [12] Lamichaney, A., Hazra, K.K., Tewari, K., Parihar, A.K., Gupta, D.S., Katiyar, P.K., *et al.* (2025) Hardseededness in Blackgram (*Vigna mungo* L.) Is Related to Maternal Environment during Seed Development. *Plant Biology*, **27**, 1429-1440. <https://doi.org/10.1111/plb.70075>
- [13] Dudina, A.A., Zakharov, I.N., Nefed'eva, E.E., Okolelova, A.A., Dmitrevskaya, I.I., Belopukhov, S.L., *et al.* (2024) Physical and Mechanical Properties of Hard Seed Coat on the Example of *Gleditsia triacanthos* L. *Brazilian Journal of Biology*, **84**, e284897. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.284897>
- [14] 陈勇, 郑丹菁, 罗树凯, 等. 高温浸种对粉叶羊蹄甲种子萌发的影响[J]. 热带农业工程, 2019, 43(2): 143-145.
- [15] Belyaev, A.Y., Kruglikov, N.A., Kochev, I.V. and Krylova, D.A. (2024) Using Extreme Physical Impacts to Study Properties of Hard Seeds of Legume Plants. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, **88**, 1423-1430. <https://doi.org/10.1134/s1062873824707645>
- [16] Yu Belyaev, A. and Kruglikov, N.A. (2023) Influence of High Hydrostatic Pressure Treatment on Licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.) Hard Seeds Germination. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **1212**, Article ID: 012057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1212/1/012057>
- [17] Wu, Y., Sun, X., Pritchard, H.W., Shen, Y., Wu, X. and Peng, C. (2023) The Metagenomics of Soil Bacteria and Fungi and the Release of Mechanical Dormancy in Hard Seeds. *Frontiers in Plant Science*, **14**, Article 1187614. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1187614>
- [18] Wang, X.M., Zhang, H., Song, R., Sun, M., Liu, P., Tian, P., *et al.* (2023) Multiple Omics Datasets Reveal Significant Physical and Physiological Dormancy in Alfalfa Hard Seeds Identified by Multispectral Imaging Analysis. *The Crop Journal*, **11**, 1458-1468. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2023.03.003>
- [19] Dan, C. (1966) Optimizing Reproduction in a Randomly Varying Environment. *Journal of Theoretical Biology*, **12**, 119-129. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90188-3](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90188-3)