

# 元谋干热河谷车桑子种子休眠与萌芽的空间变异特征研究

王雪梅<sup>1,2</sup>, 闫帮国<sup>1,2,3</sup>, 刘刚才<sup>1</sup>, 方海东<sup>3\*</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院山地表生过程与生态调控重点实验室, 成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 云南省农业科学院热区生态农业研究所, 云南 元谋 651300)

**摘要:** 为明确车桑子 [*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.] 种子的休眠特性和地理变异特性, 测定了云南省元谋县凉山乡(属北亚热带区)和坝区苴林乡(属南亚热带区)车桑子种子形态, 观察了种子的休眠特性和萌发特性。结果表明, 两地的车桑子种子都具有物理休眠特性, 经热水处理的种子萌发率显著高于未处理的种子 ( $P=0.001$ )。两地种子在长、宽、长/宽以及种子百粒重上十分接近, 其萌发特征和幼苗生长特征没有表现出显著差异。因此, 坝区苴林乡和凉山乡种子并未发生地理变异, 两地均适合车桑子采种, 但在播种前应进行种子休眠破除, 以提高种子发芽率。

**关键词:** 车桑子; 种子; 休眠; 变异; 干热河谷

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.04.003

## Spatial Variation in Seed Dormancy and Germination of *Dodonaea viscosa* in Yuanmou Dry-hot Valley, China

WANG Xue-mei<sup>1,2</sup>, YAN Bang-guo<sup>1,2,3</sup>, LIU Gang-cai<sup>1</sup>, FANG Hai-dong<sup>3\*</sup>

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Chinese Academy of Sciences, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Tropical Eco-Agriculture, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Yuanmou 651300, Yunnan, China)

**Abstract:** In order to reveal dormancy character and geographical variation of *Dodonaea viscosa* seeds, the seeds were collected from Liangshan and Zuolin Xiang in Yuanmou Xian, Yunnan Province, and their germination character was studied. The results showed that seeds from two places had physical dormancy, and the germination rate of seeds treated by hot water was significantly ( $P=0.001$ ) higher than that of untreated seeds. The width, length of seed, ratio of length to width, and 100-seed weight between Liangshan and Zuolin were very close. Besides, the seed germination and seedling growth of *D. viscosa* had no significant differences between Liangshan and Zuolin. Therefore, seeds from Liangshan and Zuolin had no geographical variation, the two places are feasible to seed collection. But seed dormancy should be broken before sowing to improve germination rate.

**Key words:** *Dodonaea viscosa*; Seed; Dormancy; Variation; Dry-hot valley

车桑子 [*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.] 又名坡柳、明油子, 为无患子科 (Sapindaceae) 车桑子属植物, 在我国主要分布于西南部、南部至东南部<sup>[1]</sup>, 但其广泛

分布于除南极洲以外的所有大陆, 从 44° S 新西兰南岛到 33° N 美国加州和亚利桑那州<sup>[2]</sup>。车桑子具有重要的医药价值<sup>[3-7]</sup>和农药价值<sup>[8-9]</sup>, 且耐干旱,

收稿日期: 2015-10-09 接受日期: 2015-12-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471232)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 41471232).

作者简介: 王雪梅(1989~), 女, 在读博士, 主要从事土壤与植被间的相互作用, 植被恢复等研究。E-mail: wangxuemei13@mails.ucas.ac.cn

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: rqsfdh@163.com

萌生力强,根系发达,又有丛生习性,是一种良好的固沙保土树种,因此它是我国干热河谷地区最普遍的灌木,也是该区重要的植被恢复树种<sup>[10-11]</sup>。

不同环境条件对车桑子种子萌发的影响已有较多报道<sup>[12-15]</sup>。但有关其种子萌发过程中的物理休眠特性,研究结论不尽相同。张琼英等<sup>[16]</sup>的研究表明,0.3%高锰酸钾浸种和40℃温水浸种对萌发影响不显著,并认为中国的车桑子种子没有厚实的种皮,不具休眠性,播种后不会影响种子对水分的吸收和膨胀。Hussain等<sup>[17]</sup>也认为巴基斯坦的车桑子种子无休眠,经水、丙酮、过氧化氢等处理的种子在不同温度下与未处理的种子萌发率相差不大。但从夏威夷<sup>[18]</sup>、印度西北<sup>[19]</sup>、墨西哥<sup>[20]</sup>、伊朗<sup>[21]</sup>、南印度<sup>[22]</sup>等地收集的车桑子种子都有物理休眠作用,其种子具有1层不透水种皮。因此,车桑子种子是否具有物理休眠特性还值得进一步研究。

另外,由于车桑子分布广泛,形态多样,对不同的气候和生态环境具有广泛的容忍性。对不同地区采集的车桑子进行地理变化特征研究,主要集中于木材解剖结构<sup>[23]</sup>和叶片解剖结构<sup>[24]</sup>,还未见有不同环境下车桑子种子的变异研究,这些木材和叶片结构变化究竟是由种子的可遗传变异造成,还是后天适应环境的结果还不清楚。

因此,本研究分别从云南省元谋县凉山乡和坝区苴林乡采集车桑子种子,检验元谋干热河谷区车桑子种子是否具有物理休眠特性;不同环境下(坝区苴林乡和凉山乡)的车桑子种子在形态和萌发特性上是否发生变异,为车桑子在植被恢复中的推广和应用提供科学参考。

## 1 研究区概况

云南省元谋县(101°35'~102°05' E、25°25'~26°07' N)地处滇中高原北部,云贵高原北缘的金沙江一级支流——龙川江下游的河谷地带。属于低纬度高原季风气候,海拔差异大(近2000 m),气候垂直分布明显,从河谷到山顶依次出现河谷南亚热带、山地中亚热带、山地北亚热带及山地温暖-中温带四个垂直气候带。通过野外考察,选择元谋凉山乡和元谋坝区苴林乡两个地点进行种子采集。凉山乡的地理位置为101°56'29" E、25°44'13" N,海拔1835 m,年均气温为14.6℃~15.9℃,年均降水量为829 mm,无霜期305~314 d,属北亚热带气候类型;苴林乡的

地理位置为101°49'36" E、25°51'05" N,海拔1124 m,年均气温为21.9℃,年均降水量为621 mm,无霜期363 d,属南亚热带气候类型<sup>[25]</sup>。

## 2 材料和方法

### 2.1 材料

由于两地气候条件不同,坝区苴林乡车桑子 [*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.]种子主要在2、3月份成熟,而凉山种子在12月份成熟。因此,分别于2013年2月和2014年12月在元谋坝区苴林乡和凉山乡,选择自然植被受人类干扰相对较小,性状优良的母树采集成熟饱满种子。凉山乡采样点土壤为紫色土,坝区苴林乡采样点土壤为燥红土。采集的种子装于布袋,带回实验室自然风干保存。

### 2.2 种子休眠实验

挑选粒大、饱满、无病害的成熟种子,将同一地点的种子分成两组,一组用热水(80℃~90℃)浸泡60 s,一组不作处理作为对照。将种子播于装有同类型且等量土壤的盆钵中,每盆播撒种子16颗,每处理重复3次。将所有盆钵放入气候培养箱中,设定昼夜(16 h/8 h)温度为30℃/25℃,每天同一时间浇水,每盆浇水量一致。于2015年3月中旬开始实验,培养30 d后统计每盆的发芽率。

### 2.3 种子变异实验

**形态变异** 同一地点的种子,随机选择30粒饱满种子,用精度为0.05 mm的游标卡尺测量种子长、宽,计算长宽比。种子风干后测量百粒重,3次重复取平均值。

**萌芽变异** 由于对不同环境长期适应的结果,我们认为凉山乡的车桑子可能在低温下生长更好,而坝区苴林乡的车桑子可能在高温下生长更好。车桑子种子于雨季来临时(一般为6月份)萌发,此时坝区苴林乡平均气温约为25℃,土壤(0~5 cm)的平均温度为30℃,因此温度设定为30℃/25℃;基于两地的海拔差异(711 m),凉山乡的温度设为25℃/20℃。挑选粒大、饱满、无病害的且未经休眠处理的成熟种子,在同一土壤上播种培养,每盆播种12颗,每处理重复4次,即为2处种子地点、2种温度梯度,两因素交互实验。所有盆钵放入对应的气候箱中,湿度、光照控制一致,不定期浇水,每次浇

水量一致。30 d 后间苗至每盆 1 株; 60 d 后测量车桑子苗高, 并收获植株测定根、茎、叶生物量。

小心把植株从盆中连根掘出, 洗净, 将根、茎、叶分开, 置于鼓风干燥箱中 80℃ 烘至恒重, 再称量各部位干质量。

## 2.4 数据处理与分析

采用 Excel 整理数据, 用 SPSS 16.0 进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 对不同地点种子的长、宽、长/宽和百粒重进行差异显著性检验; 通过两因素方差分析(Two-Way ANOVA), 对不同地点、不同水处理的发芽率, 以及不同地点、不同温度下株高、生物量进行差异显著性检验。所有数据均以平均值±标准差(Mean±SD)表示。

## 3 结果和分析

### 3.1 种子休眠特征

热水处理均显著提高了两地种子的发芽率( $P=0.001$ ), 凉山和坝区苴林种子的发芽率分别为 45.83% 和 35.42%, 而对照的发芽率分别为 16.67% 和 12.5%。说明研究区的车桑子种子有物理休眠作用, 但热水处理对休眠破除效果不是太好, 萌发率仍然不是很高, 发芽率不超过 50%。方差分析表明, 虽然两地种子发芽率没有显著差异( $P=0.108$ ), 但不论是否经过热水处理, 凉山乡种子的发芽率略高于

坝区苴林乡种子。

### 3.2 种子变异特征

**形态变异** 坝区苴林乡和凉山乡种子的各项形态指标非常接近, 凉山乡种子百粒重为( $1.293\pm 0.075$ ) g, 长度为( $3.338\pm 0.257$ ) mm, 宽度为( $3.25\pm 0.245$ ) mm, 长/宽比为  $1.034\pm 0.125$ ; 而坝区苴林乡种子百粒重为( $1.327\pm 0.032$ ) g, 长度为( $3.322\pm 0.181$ ) mm, 宽度为( $3.25\pm 0.205$ ) mm, 长/宽比为  $1.027\pm 0.095$ 。方差分析表明, 两地种子的百粒重( $P=0.519$ )、长( $P=0.773$ )、宽( $P=1.000$ )和长宽比( $P=0.789$ )都没有显著性差异, 说明两地种子的形态特征没有发生地理变异。

**萌芽变异** 种子在温度较高的气候箱(25℃/30℃)第 8 天开始萌发, 而温度较低的气候箱(20℃/25℃)第 13 天才开始萌发。60 d 后坝区苴林乡和凉山的苗高分别为( $2.66\pm 0.56$ ) cm 和( $2.75\pm 0.80$ ) cm; 叶生物量分别为( $24.4\pm 13.1$ ) mg 和( $33.1\pm 1.0$ ) mg; 茎生物量分别为( $4.6\pm 1.7$ ) mg 和( $6.4\pm 2.7$ ) mg; 根生物量分别为( $2.9\pm 2.1$ ) mg 和( $3.7\pm 1.5$ ) mg, 可见凉山的幼苗生长情况较坝区的好一些。两因素方差分析表明(表 1), 温度对车桑子苗高有显著影响( $P=0.047$ ), 温度较高促进苗高的增加, 暗示了升温加速了生长过程, 但地点、种子地点与气候的交互作用对苗高均无显著性差异。温度和地点均对根、茎、叶生物量无显著性差异( $P>0.05$ )。

表 1 培养 60 d 后车桑子苗高和生物量的显著性检验(P)

Table 1 Significance test (P) for height and biomass of *Dodonaea viscosa* after 60 days

	温度 Temperature	种子来源 Seed origin	温度×种子来源 Temperature × seed origin
株高 Height	0.047	0.783	0.508
根生物量 Root biomass	0.800	0.437	0.859
茎生物量 Stem biomass	0.247	0.154	0.760
叶生物量 Leaf biomass	0.886	0.183	0.491

## 4 讨论和结论

### 4.1 种子休眠特性

物理性的种壳休眠(或结构上的休眠)通常指由于种子的包覆组织太紧密, 密封性好, 含有蜡质、胶质、粘质或革质化, 使水分和氧气不易进入, 二氧化碳和其他一些化学抑制性物质不能迅速排出而导致休眠, 这在无患子科植物中较为普遍<sup>[26]</sup>。种子的休眠是植物在发育过程中不断形成和逐渐变化

的, 是植物本身适应环境和延续生存的一种特性<sup>[27]</sup>。

本研究表明, 无论是从凉山乡还是坝区苴林乡采集的车桑子种子, 用热水处理后均可显著提高萌发率, 说明元谋的车桑子种子具有物理休眠特性。这与某些研究<sup>[16-17]</sup>结果不同, 一方面可能是由于浸种方式不同, 40℃温水、0.3%高锰酸钾、水、丙酮、过氧化氢等浸种方式可能对车桑子种子的休眠破除没有起到作用; 另一方面可能与种子收集时间有关, 若在种子干燥至种皮不透水的临界含水率之前

就已经收集了种子,则种子仍然可透水,播种前无需处理,而成熟种子已休眠,不透水<sup>[18]</sup>。Benitez-Rodriguez 等<sup>[20]</sup>也提到,刚收集的墨西哥车桑子种子没有物理休眠,经赤霉素和不经赤霉素处理的种子萌发率差别不大,但保存 2.5 月的种子休眠程度加深,萌发率显著降低,至少需要浸泡在硫酸中 6 min。因此,我们认为,所有地区的车桑子种子都应该有物理休眠,没有表现出物理休眠可能是完全成熟之前收集的,还未干燥到不透水的临界含水率,此时种皮仍可透水。有研究表明,车桑子属植物的物理休眠是因为一种特殊的水隙(Water gap)的存在,只有水隙被打开,即可破除休眠,种子才能通过水隙吸水<sup>[28]</sup>。室内条件下,机械损伤、干热处理、硫酸处理、高温水处理等都可以破除种子休眠,并且,以机械损伤和硫酸处理的效果较好,种子萌发率均高于热水处理<sup>[18-19]</sup>。而在自然条件下,土壤中的车桑子种子休眠可能被 3 个因素破除,包括干热,即土壤温度升高至 55℃~65℃;湿热,即降雨滋润种子,随后温度升高至 50℃;温差,即 5-7 月的日温波动 15℃~20℃<sup>[22]</sup>。

#### 4.2 种子变异

广泛分布的物种具有表型可塑性,其种子形态随地理位置和气候因子的变化呈现出不同程度的变异,从而对环境变化作出一定的适应与响应,因此不同地区的种子形态存在不同程度的变异<sup>[29]</sup>。种子形态变异主要集中于长、宽、长宽比、种子千(百)粒重等性状上<sup>[30]</sup>。不同的环境条件,包括温度、降水、热量等会影响种子的性状,从而使得同一物种的种子性状有着纬度、经度或海拔趋势<sup>[31]</sup>。

本研究结果表明,从凉山乡和坝区直林乡采集的车桑子种子形态性状(包括长、宽、长/宽、百粒重)都没有显著性的差异。虽然海拔因素影响种子的形态变异<sup>[32]</sup>,但更多的研究表明,种子质量、体积、长度、宽度等总体表现为双向渐变趋势,主要受到经度、纬度或两者的共同控制<sup>[33-35]</sup>。由于我们研究的采样点经纬度差异非常小,因此其种子形态没有产生变异。另外, Liu 等<sup>[23]</sup>的研究表明车桑子的木材解剖结构(如导管分子长度、纤维频率、切向分子直径等)不受生态梯度的控制,在一个广大的范围内都没有纬度和高度趋势。至少在元谋干热河谷区内,也没有发现种子形态变异,这说明车桑子种子性状指标比较稳定,由海拔造成的气候差异对种子性状的

影响尚在车桑子的适应调节范围之内,两地车桑子均可通过自己的调节达到一种较好的状态。这暗示车桑子的自我调节能力很强,同时这也可能是车桑子能够在世界广大范围内分布的原因之一。

种子大小和质量影响种子萌发速度和发芽率,进而影响苗木早期生长<sup>[36]</sup>。本研究表明,两地车桑子幼苗生长特征(包括萌发率)没有显著性差异,也进一步说明了两地车桑子种子没有发生变异。但不论是否经过热水处理,凉山乡种子的发芽率略高于坝区直林乡种子,且幼苗生长情况也要好些。这可能与种子的采集、保存时间有关,坝区直林乡种子是前一年采的,保存时间更长,这说明车桑子种子不耐久藏,在储藏过程中可能会造成部分种子劣变。但是,虽然我们的保存时间可能对种子萌发及早期生长产生了一些影响,但均未造成显著性差异。另外,温度是车桑子生长的一个重要因素,高温促进车桑子幼苗的快速生长,尤其是车桑子种子的萌发。张琼英等<sup>[6]</sup>的研究也表明 20℃以上适合车桑子萌发。因此,在后期培养过程中株高的显著性差异可能主要是由于温度对萌发时间的影响造成的。但两种温度梯度并未显著改变车桑子的根、茎、叶生物量,这可能与我们的培养时间有关。从播种到收获总共 60 d,车桑子幼苗太小,还不足以体现出温度对其生物量的影响。同时,与我们的假设相反,温度和种子来源并没有交互作用,这也进一步说明了两地的车桑子种子对环境的响应一致,没有发生变异。

元谋坝区直林乡和凉山乡的车桑子种子都具有物理休眠作用,在播种前应该进行种子休眠破除,以提高种子发芽率,后期还应开展不同的休眠破除方法研究,从而找出适合车桑子种子萌发的最佳休眠破除方法。另外,虽然两地生长环境(包括气候、土壤等条件)不同,但种子形态特征、萌发特征以及幼苗生长特征均无显著性差异,不存在种子地理变异。这可能与我们的采样点选择有关,凉山乡和坝区直林乡均位于元谋县,经纬度差异极小,后期应考虑在更宽广的经纬度范围内采样,以检验车桑子种子的变异情况。这些信息的获得丰富了我国干热河谷区的车桑子种子研究,并为车桑子在植被恢复过程中的推广与应用提供指导,特别是在车桑子播种与选种方面具有重要的参考价值。

#### 参考文献

- [1] Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae Agendae Academiae

- Sinicae Edite. Flora Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 47(1) [M]. Beijing: Science Press, 1985: 59–62.
- 中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第47卷第1分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 59–62.
- [2] HARRINGTON M G, GADEK P A. A species well travelled: The *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) complex based on phylogenetic analyses of nuclear ribosomal ITS and ETSf sequences [J]. *J Biogeogr*, 2009, 36(12): 2313–2323. doi: 10.1111/j.1365-2699.2009.02176.x.
- [3] ARUN M, ASHA V V. Gastroprotective effect of *Dodonaea viscosa* on various experimental ulcer models [J]. *J Ethnopharmacol*, 2008, 118(3): 460–465. doi: 10.1016/j.jep.2008.05.026.
- [4] GETIE M, GEBRE-MARIAM T, RIETZ R, et al. Evaluation of the anti-microbial and anti-inflammatory activities of the medicinal plants *Dodonaea viscosa*, *Rumex nervosus* and *Rumex abyssinicus* [J]. *Fitoterapia*, 2003, 74(1/2): 139–143. doi: 10.1016/S0367-326X(02)00315-5.
- [5] KHALIL N M, SPEROTTO J S, MANFRON M P. Antiinflammatory activity and acute toxicity of *Dodonaea viscosa* [J]. *Fitoterapia*, 2006, 77(6): 478–480. doi: 10.1016/j.fitote.2006.06.002.
- [6] SALINAS-SÁNCHEZ D O, HERRERA-RUIZ M, PÉREZ S, et al. Anti-inflammatory activity of hauriwaic acid isolated from *Dodonaea viscosa* leaves [J]. *Molecules*, 2012, 17(4): 4292–4299. doi: 10.3390/molecules17044292.
- [7] ROJAS A, CRUZ S, PONCE-MONTER H, et al. Smooth muscle relaxing compounds from *Dodonaea viscosa* [J]. *Planta Med*, 1996, 62(2): 154–159. doi: 10.1055/s-2006-957840.
- [8] QIN X P, ZHAO H Y, YANG M L. Effect of extracts from *Dodonaea viscosa* seed on feeding and growth and development of *Pieris rapae* L. [J]. *Agrochemicals*, 2007, 46(7): 494–495. doi: 10.3969/j.issn.1006-0413.2007.07.023.
- 秦小萍, 赵红艳, 杨美林. 坡柳种子提取物对菜青虫取食和生长发育的影响 [J]. *农药*, 2007, 46(7): 494–495. doi: 10.3969/j.issn.1006-0413.2007.07.023.
- [9] QIN X P, ZHAO H Y, YANG M L. Herbicidal activity of extract from *Dodonaea viscosa* seeds [J]. *Weed Sci*, 2008(1): 29–30. doi: 10.3969/j.issn.1003-935X.2008.01.009.
- 秦小萍, 赵红艳, 杨美林. 坡柳种子提取物的除草作用初报 [J]. *杂草科学*, 2008(1): 29–30. doi: 10.3969/j.issn.1003-935X.2008.01.009.
- [10] YANG Z Y, SU J R, LUO D, et al. Progress and perspectives on vegetation restoration in the Dry-hot Valley [J]. *For Res*, 2007, 20(4): 563–568. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2007.04.024.
- 杨振寅, 苏建荣, 罗栋, 等. 干热河谷植被恢复研究进展与展望 [J]. *林业科学研究*, 2007, 20(4): 563–568. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2007.04.024.
- [11] ZHOU L. Initial study on vegetation rehabilitation in Yuanmou Dry-hot Valley [J]. *Acta Bot Boreal-Occid Sin*, 1998, 18(3): 450–456.
- 周麟. 云南元谋干热河谷植被恢复初探 [J]. *西北植物学报*, 1998, 18(3): 450–456.
- [12] HODGKINSON K C, OXLEY R E. Influence of fire and edaphic factors on germination of the arid zone shrubs *Acacia aneura*, *Cassia nemophila* and *Dodonaea viscosa* [J]. *Austr J Bot*, 1990, 38(3): 269–279. doi: 10.1071/BT9900269.
- [13] JAGANATHAN G K, LIU B L. Role of seed sowing time and microclimate on germination and seedling establishment of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) in a seasonal dry tropical environment: An insight into restoration efforts [J]. *Botany*, 2014, 93(1): 23–29. doi: 10.1139/cjb-2014-0159.
- [14] CUI K, LI K, LIAO S X. Physiological and biochemical response of *Dodonaea viscosa* seeds to desiccation [J]. *For Res*, 2011, 24(5): 619–626.
- 崔凯, 李昆, 廖声熙. 坡柳种子对脱水干燥的生理生化响应 [J]. *林业科学研究*, 2011, 24(5): 619–626.
- [15] ZHANG C H, TANG G Y, SUN Y Y, et al. Physiological characteristics of *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. seeds stress-resistance and influences on nature regeneration [J]. *SW China J Agri Sci*, 2010, 23(5): 1471–1476. doi: 10.3969/j.issn.1001-4829.2010.05.019.
- 张春华, 唐国勇, 孙永玉, 等. 车桑子种子抗逆生理学特性及其对天然更新的影响 [J]. *西南农业学报*, 2010, 23(5): 1471–1476. doi: 10.3969/j.issn.1001-4829.2010.05.019.
- [16] ZHANG Q Y, SUN H L, LI S C, et al. Different environmental conditions on germination characteristics of *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. [J]. *Seed*, 2013, 32(1): 12–14. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2013.01.004.
- 张琼瑛, 孙海龙, 李绍才, 等. 不同环境条件对车桑子萌发的影响 [J]. *种子*, 2013, 32(1): 12–14. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2013.01.004.
- [17] HUSSAIN F, SHAUKAT S, ILAHI I, et al. Note on the germination behavior of *Dodonaea viscosa* Linn. Jacq. [J]. *Sci Khyb*, 1991, 4(1): 45–50.
- [18] BASKIN J M, DAVIS B H, BASKIN C C, et al. Physical dormancy in seeds of *Dodonaea viscosa* (Sapindales, Sapindaceae) from Hawaii [J]. *Seed Sci Res*, 2004, 14(1): 81–90. doi: 10.1079/SSR2003157.
- [19] PHARTYAL S S, BASKIN J M, BASKIN C C, et al. Physical dormancy in seeds of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) from India [J]. *Seed Sci Res*, 2005, 15(1): 59–61. doi: 10.1079/SSR2004194.
- [20] BENÍTEZ-RODRÍGUEZ L, GAMBOA-DEBUEN A, SÁNCHEZ-CORONADO M E, et al. Effects of seed burial on germination, protein mobilisation and seedling survival in *Dodonaea viscosa* [J]. *Plant Biol*,

- 2014, 16(4): 732-739. doi: 10.1111/plb.12110.
- [21] NASR S M H, SAVADKOOHI S K, AHMADI E. Effect of different seed treatments on dormancy breaking and germination in three species in arid and semi-arid lands [J]. For Sci Pract, 2013, 15(2): 130-136. doi: 10.1007/s11632-013-0209-7.
- [22] JAGANATHAN G K, LIU B L. Seasonal influence on dormancy alleviation in *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) seeds [J]. Seed Sci Res, 2014, 24(3): 229-237. doi: 10.1017/S0960258514000191.
- [23] LIU J Q, NOSHIRO S. Lack of latitudinal trends in wood anatomy of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae), a species with a worldwide distribution [J]. Amer J Bot, 2003, 90(4): 532-539. doi: 10.3732/ajb.90.4.532.
- [24] GE L, HUANG D, MA H C, et al. Comparison of leaves anatomical structures and related drought resistance among different populations of *Dodonaea viscosa* in Yunnan Dry-hot Valley [J]. J Arid Land Resour Environ, 2015, 29(5): 138-143. doi: 10.13448/j.cnki.jalre.2015.166.  
葛雯, 黄冬, 马焕成, 等. 云南干热河谷不同居群坡柳叶片的旱生结构比较 [J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 138-143. doi: 10.13448/j.cnki.jalre.2015.166.
- [25] LI K. Yuanmou County [M]. Kunming: Yunnan People's Press, 1993: 37-46.  
李坤. 元谋县志 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1993: 37-46.
- [26] YANG Q H, YE W H, SONG S Q, et al. Summarization on causes of seed dormancy and dormancy polymorphism [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2003, 23(5): 837-843. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2003.05.026.  
杨期和, 叶万辉, 宋松泉, 等. 植物种子休眠的原因及休眠的多形性 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(5): 837-843. doi: 10.3321/j.issn:1000-4025.2003.05.026.
- [27] TANG A J, LONG C L, DAO Z L. Review on development of seed dormancy mechanisms [J]. Acta Bot Yunnan, 2004, 26(3): 241-251. doi: 10.3969/j.issn.2095-0845.2004.03.001.  
唐安军, 龙春林, 刀志灵. 种子休眠机理研究概述 [J]. 云南植物研究, 2004, 26(3): 241-251, doi: 10.3969/j.issn.2095-0845.2004.03.001.
- [28] TURNER S R, COOK A, BASKIN J M, et al. Identification and characterization of the water gap in the physically dormant seeds of *Dodonaea petiolaris*: A first report for Sapindaceae [J]. Ann Bot, 2009, 104(5): 833-844. doi: 10.1093/aob/mcp171.
- [29] ZHOU X, HE Z B, KANG H Z, et al. Variations of seed morphology related to climate for *Quercus variabilis* across temperate-subtropical China [J]. Chin J Plant Ecol, 2013, 37(6): 481-491. doi: 10.3724/SP.J.1258.2013.00050.  
周旋, 何正飏, 康宏樟, 等. 温带-亚热带栓皮栎种子形态的变异及其与环境因子的关系 [J]. 植物生态学报, 2013, 37(6): 481-491. doi: 10.3724/SP.J.1258.2013.00050.
- [30] SUN R X, ZHENG Y Q, ZHANG C H, et al. Study on the seed phenotypic variation of *Sophora japonica* L. in different populations [J]. J Agri Univ Hebei, 2011, 34(3): 65-70. doi: 10.3969/j.issn.1000-1573.2011.03.014.  
孙荣喜, 郑勇奇, 张川红, 等. 不同群体国槐种子表型变异研究 [J]. 河北农业大学学报, 2011, 34(3): 65-70. doi: 10.3969/j.issn.1000-1573.2011.03.014.
- [31] YANG Z L, YANG X, TAN Z F, et al. Variation of seed characters of *Magnolia officinalis* from different provenances and families [J]. J CS Univ For Techn, 2009, 29(5): 49-55. doi: 10.3969/j.issn.1673-923X.2009.05.007.  
杨志玲, 杨旭, 谭梓峰, 等. 厚朴不同种源及家系种子性状的变异 [J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(5): 49-55. doi: 10.3969/j.issn.1673-923X.2009.05.007.
- [32] SUN Y L, LI Q M, YANG J Y, et al. Morphological variation in cones and seeds in *Abies chensiensis* [J]. Acta Ecol Sin, 2005, 25(1): 176-181. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2005.01.027.  
孙玉玲, 李庆梅, 杨敬元, 等. 秦岭冷杉球果与种子的形态变异 [J]. 生态学报, 2005, 25(1): 176-181. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2005.01.027.
- [33] FU X X, LIU H N, ZHOU X D, et al. Morphological variation of *Cornus officinalis* seeds in relation to environmental factors [J]. Chin J Ecol, 2013, 32(1): 27-32.  
狄香香, 刘红娜, 周晓东, 等. 山茱萸种子形态变异及与环境因子的相关性 [J]. 生态学杂志, 2013, 32(1): 27-32.
- [34] LIU Z L, YU M K, MA Y, et al. A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different *Quercus acutissima* provenances [J]. Acta Ecol Sin, 2011, 31(22): 6796-6804.  
刘志龙, 虞木奎, 马跃, 等. 不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析 [J]. 生态学报, 2011, 31(22): 6796-6804.
- [35] WEI S L, WANG W Q, QIN S Y, et al. Study on geographical variation of morphologic and germination characteristic of different *Glycyrrhiza uralensis* provenance seeds [J]. China J Chin Mat Med, 2008, 33(8): 869-873. doi: 10.3321/j.issn:1001-5302.2008.08.001.  
魏胜利, 王文全, 秦淑英, 等. 甘草种源种子形态与萌发特性的地理变异研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(8): 869-873. doi: 10.3321/j.issn:1001-5302.2008.08.001.
- [36] KE W S, ZHONG Z C, XI H A, et al. The variation of seed sizes of *Gordonia acuminata* geographic populations and its effect on seed germination and seedling [J]. Acta Ecol Sin, 2000, 20(4): 697-701. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2000.04.030.  
柯文山, 钟章成, 席红安, 等. 四川大头茶地理种群种子大小变异及对萌发、幼苗特征的影响 [J]. 生态学报, 2000, 20(4): 697-701. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2000.04.030.