

多胚性蒲桃种子的脱水敏感性

严光荣, 唐安军*

重庆师范大学生命科学学院, 植物环境适应生物学重庆市重点实验室, 重庆

收稿日期: 2025年1月20日; 录用日期: 2025年2月24日; 发布日期: 2025年3月10日

摘要

种子是一种极为重要的种质资源, 若不查明其脱水耐性, 则难以科学保存。为了确定多胚性蒲桃种子是否属于脱水敏感性种子及其适宜的萌发温度, 以便更好地保存和利用其种子, 本研究以成熟的蒲桃种子为实验材料, 进行了干燥脱水与萌发实验。结果表明: 成熟的蒲桃种子初始含水量较高(50.15%), 在30℃和30/20℃下能顺利萌发, 其萌发率分别是90%和92%。不过, 35℃下的萌发率较低(37%)。当种子干燥脱水后, 种子含水量下降至33.79%时, 种子萌发率降低至50%; 当种子含水量进一步降低至25.73%时, 其萌发率仅有6%。这表明蒲桃种子是脱水敏感性种子。此外, 在7~9月的生境播种实验中, 土壤表面的种子均未萌发, 埋于土壤之中且浇水的蒲桃种子的出苗率也很低(31.5%)。综合而言, 蒲桃种子对干燥脱水非常敏感, 极可能是顽拗性种子; 在夏季成熟后, 散落的种子在高温与干燥胁迫下难以萌发, 这可能是其生境缺失幼苗的重要原因之一。

关键词

蒲桃, 脱水敏感性, 顽拗性种子, 高温胁迫, 种子萌发

Desiccation Sensitivity of Polyembryonic *Syzygium jambos* Seeds

Guangrong Yan, Anjun Tang*

Chongqing Key Lab of Biology of Plant Environmental Adaptation, College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing

Received: Jan. 20th, 2025; accepted: Feb. 24th, 2025; published: Mar. 10th, 2025

Abstract

Seed is one of the important germplasm resources, and it is difficult to scientifically store them if desiccation tolerance of valuable seeds is not determined. To ascertain whether polyembryonic

*通讯作者。

rose apple (*Syzygium jambos*) seeds were sensitive to drying and their suitable germination temperature for better preservation and utilization, this study conducted drying and germination experiments on mature rose apple seeds. The results showed that mature rose apple seeds had a high initial moisture content (50.15%) and germinated well at 30°C and 30/20°C, with germination percentages of 90% and 92%, respectively. However, the germination percentage was low (37%) at 35°C. When seed moisture content decreased to 33.79% after drying, the seed germination percentage declined to 50%. When the seed moisture content further decreased to 25.73%, the germination rate was only 6%. It was inferred that rose apple seeds were sensitive to desiccation. In addition, the seeds sown on soil surface did not germinate at all in the habitat from July to September, and the seedling emergence rate of rose apple seeds that were buried and watered was very low (31.5%) in the habitat. Taken together, rose apple seeds are highly sensitive to drying, and are likely to be recalcitrant. After maturing in summer, dispersed seeds are difficult to germinate under high temperature and dry stress, which may be one of the important reasons for seedling deficiency in the habitat.

Keywords

Syzygium jambos, Desiccation Sensitivity, Recalcitrant Seeds, High Temperature Stress, Seed Germination

Copyright © 2025 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

蒲桃属(*Syzygium* Gaertn.)是桃金娘科(Myrtaceae)的一个属,该属是世界上乔木植物最丰富的一个属,约有 1193 种;蒲桃属仅分布于旧世界的热带和亚热带地区,从非洲到印度,横跨东南亚,并延伸至太平洋的夏威夷,其物种多样性中心是印度尼西亚[1]。蒲桃(*Syzygium jambos* (L.) Alston)是一种热带、亚热带常绿果树,果实里通常有种子 1~2 颗,多胚;花期 3~4 月,果实 5~6 月成熟。在我国,蒲桃为栽培种或处于半野生状态,多见于台湾地区、福建、广东、广西、贵州、云南、四川等省区,喜生河边及河谷湿地,海拔介于 100 m~1500 m 之间。

关于蒲桃种子的研究很少。1979 年,黄弼臣研究发现,蒲桃种子中最多有 4 个胚[2]。1991 年,吴新德等发现蒲桃胚囊的发育属蓇葖型,每个蒲桃子房内有多个胚珠,但成熟果实内多数只有 1 粒种子,少数为 2 粒;蒲桃胚乳发育属核型,在受精之前,多数珠心的表皮下有珠心胚原细胞出现,这些细胞分裂成为不定胚的原始体;那些顺利完成双受精的胚囊外的不定胚原始体则可往胚囊方向靠拢,并进一步侵入胚囊。同时,1991 年,吴新德等也观察到了裂生多胚现象,每粒发育成熟的种子内存有 2~10 个胚,合子胚、裂生胚和珠心胚混杂在一起[3]。1983 年,胡适宜曾指出蒲桃(*Eugenia jambos*) (注:该学名已修订为 *Syzygium jambos*)不定胚的产生不需受精,但如果不经受精,不定胚就不能充分发育[4]。在国外,有人研究了蒲桃(*S. jambos*)果实和种子的基本特点和萌发温度需求。譬如, Nacata 和 de Andrade 研究发现,成熟的蒲桃果实质量介于 7.90~19.01 g,较重的果实(单粒重 15.21~19.01 g)的比例为 4%;种子的质量介于 1.71~8.87 g,较重的种子(单粒重 6.48~8.87 g)的比例为 74% [5]。此外, Nacata 和 de Andrade 还研究了温度对蒲桃(*S. jambos*)种子萌发的影响,发现在恒温 20°C、25°C、30°C、35°C 和变温 30/20°C 下的种子萌发率分别为 83%、82%、90%、40%和 85%,其中 35°C 对种子萌发有明显的抑制作用,而其他的 4 个温度是比较适宜的,其中 30°C 下的萌发率最高[6]。在研究中, Nacata 和 de Andrade 还发现,蒲桃种子多胚性

的表现——每颗种子形成的幼苗数,与萌发温度有密切的关联性,其中变温(30/20℃)下的多胚率为54%,35℃的多胚率是最低的(20%) [6]。当然,还有一些研究聚焦于研究蒲桃属(*Syzygium*)植物的化学成分及其药理作用等方面[7]。实际上,蒲桃具有多种价值,是一种多用途植物,能用于生态修复,非常值得深入研究与开发利用。

但是,至今尚未见到关于蒲桃(*S. jambos*)种子脱水耐性的研究报道。事实上,种子是一种十分重要的种质资源,查明种子脱水耐性有助于制定科学的种子保存方案;而且,在贮藏种子前,必须确定种子的脱水耐性[8]。目前,根据种子的贮藏习性,种子可分为正常性种子、顽拗性种子和中间性种子[8] [9] [12]。一般地,正常性种子耐脱水,许多正常功能性种子在含水量降低至5%后仍有很高的活力,并能贮藏于低温下,其种子保存年限可用种子活力方程预判[13]。相反,顽拗性种子对脱水十分敏感,严重脱水会导致种子死亡,且对低温也非常敏感,很难长时间保存[14]。而且,顽拗性种子在湿藏条件下,如果温度适宜,则会萌发;如果温度不适宜,则会很快丧失活力,这可能与其高含水量状态下的高代谢活性有关[15]。中间性种子的脱水敏感性介于正常性种子和顽拗性种子之间,其低温耐性与物种及其产地有关[8]。因此,查明蒲桃种子的脱水耐性,对于保存蒲桃种子是非常重要而必要的。

在过去3年中,我们观察发现,栽培于重庆师范大学大学城校区的蒲桃种子成熟于6~7月,只有散落于三春湖边上湿润环境中的种子能萌发,而散落于其他地方的种子都未能转化为幼苗。基于此现象,我们提出了如下假设:“成熟的蒲桃种子散落之后之所以不萌发,是因为种子在不适宜的环境胁迫下死亡了。”为了验证上述假设,我们进行了一系列实验,包括种子萌发、慢速脱水以及室外播种。这些研究为理解蒲桃种子的脱水耐性以及制定种子保存方案提供了非常有价值的基础信息。

2. 材料与方法

2.1. 种子采集

2024年7月初,在重庆师范大学大学城校区,从栽培的数十株蒲桃树上采集了大量成熟的果实,然后在实验室将种子从果实中分离出来,并临时保存于种子箱(15℃,相对湿度约85%)。

2.2. 种子大小、千粒重及初始含水量的测定

在采集种子后的第二天,随机取50粒种子,用数显游标卡尺测量种子的长度(mm)和宽度(mm),然后分别取其平均值。在测量千粒重时,随机取100粒种子,用电子天平称重(g),4次重复,然后计算平均值,以其平均值估算种子千粒重(g)。

根据“国际种子检验规程”所描述的方法[16],采用烘干法测量种子的初始含水量(% ,以鲜重表示)。

2.3. 新采集种子的萌发检测

在3个恒温(25℃、30℃、35℃)和1个变温(30/20℃)下,检测了新采集的成熟的蒲桃种子的萌发率(%)。在每一个温度下,检测了100粒种子萌发率(%),即将25粒种子放入装有湿润珍珠岩的玻璃培养皿(直径12 cm)中,4个重复;萌发箱设定为周期性光照(12 h/d),光照强度约2000 lx。对变温而言,高温时段对应着光照时段。以胚根突破种皮并伸长至少2 mm视为种子萌发。萌发实验持续时间为30 d。

2.4. 种子脱水与萌发检测

将采集的蒲桃种子平铺于实验台上,在控温控湿($26 \pm 1^\circ\text{C}$,相对湿度为80%)条件下进行慢速脱水,每隔2 d取120粒种子,其中20粒用于测量种子的含水量,余下的100粒用于萌发检测。种子含水量测定方法同初始种子含水量的测定方法,如1.2所述。种子萌发实验类似于初始种子萌发检测方法,但仅在

30℃下进行。在实验过程中，每天观察萌发情况，并及时添加蒸馏水以保持培养皿内的珍珠岩处于湿润状态。以胚根突破种皮并伸长至 2 mm 视为种子萌发的标准，萌发检测的持续时间是 30 d。

2.5. 生境播种试验

2024 年 7 月 12 日，在蒲桃母株生境邻近的草地上，翻耕 6 个小实验样块，大小均为 1 m × 1 m，翻耕深度约 15 cm；6 个微型实验样地距离蒲桃母树的直线距离约 10 m~20 m。将 6 个微型实验样地分为 3 组，编号为 A (A1, A2)、B (B1, B2)和 C (C1, C2)。在每一个小实验样地中播种 100 粒种子，其中 A 组的 2 个微型实验样地的种子裸露于土壤表面，B 组的 2 个实验样地的种子覆土约 3~4 cm 厚，C 组的 2 个实验样地的种子覆土 3~4 cm 厚，且每天下午 19:00 浇水，且浇透。从播种后的第二天起，连续观察幼苗出土动态，监测时间为 60 d。60 d 后，如有未萌发的种子，则检查种子是否腐烂；如果未萌发的种子的胚较硬(用手轻捏)，则用氮蓝四唑法(即 TTC 法，质量浓度为 1%)检测胚的活力。TTC 染色参照田美华等描述的方法进行[17]。如果胚被染成红色，则认为种子是有活力的；否则，就认为种子已死亡。

2.6. 数据统计分析

种子的含水量(%)、千粒重(g)、萌发率(%)等以平均值表示；利用单因子方差分析(one-way ANOVA)分别比较温度和种子含水量对种子萌发的效应差异。在方差分析时，先将萌发率(%)进行反正弦转换，但萌发结果仍以实际萌发率(%)表示。

3. 结果与分析

3.1. 蒲桃种子的基本特征值

成熟的蒲桃果实内的种子数量在 1~4 粒，多数果实的种子是 1 粒，其次是 2 粒，极少数果实含有 3 粒或 4 粒种子，成熟的种子是深棕色的，球形，或扁球形，也有不规则形的(图 1(A))。经测量，蒲桃种子的长与宽分别是 17.74 ± 1.62 mm 和 16.18 ± 1.89 mm，种子千粒重约 2950.51 ± 116.17 g，种子的初始含水量为 $50.15 \pm 0.75\%$ 。观察发现，一些成熟的种子在果实内已经发芽，即存在胎萌现象(图 1(B))。



Figure 1. Mature seeds of *Syzygium jambos* (A) and the viviparous phenomenon of *S. jambos* seeds
图 1. 成熟的蒲桃种子(A)和蒲桃种子的胎萌现象(B)

3.2. 温度对蒲桃种子萌发的影响

新采集的成熟的蒲桃种子在 30℃ 和 30/20℃ 下都能顺利萌发, 其萌发率分别是 90% 和 95%, 高于 20℃ (75%) 和 25℃ (81%) 的萌发率; 35℃ 下种子萌发率是最低的(37%) (图 2)。统计分析表明, 不同温度下的蒲桃种子萌发率之间存显著的差异($P < 0.05$)。显然, 35℃ 强烈抑制种子萌发, 即高温不利于种子萌发。

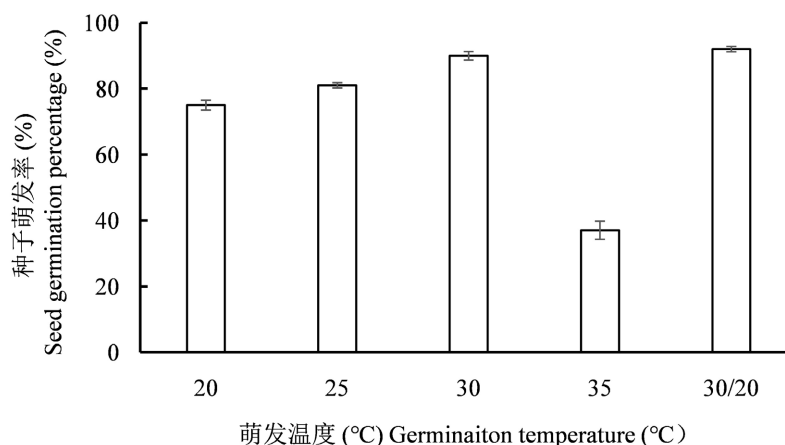


Figure 2. Germination percentages (%) of *Syzygium jambos* seeds under different temperatures
图 2. 蒲桃种子在不同温度下的萌发率(%)

3.3. 干燥脱水对种子活力的影响

随着干燥时间的延长, 蒲桃种子含水量不断下降, 同时其萌发率也明显地降低(图 3)。未脱水种子(即脱水时间为 0 d)的含水量和萌发率分别是 50.02% 和 100%。脱水 2 d 后, 含水量降低至 48.26%, 其萌发率为 93%。可见, 种子含水量轻微减少未严重影响种子活力。不过, 脱水 6 d 后, 种子含水量降低至 35.15%, 此时种子的萌发率降低至 75%。进一步干燥, 种子活力显著下降。当干燥 8 d 后, 蒲桃种子的含水量和萌发率分别是 33.79% 和 50%。而且, 脱水 12 d 后, 蒲桃种子的含水量和萌发率分别降低为 29.73% 和 6%。统计分析表明, 不同含水量种子之间的萌发率差异显著($P < 0.05$)。由此可见, 蒲桃种子在干燥脱水过程中表现出明显的脱水敏感性, 其脱水耐性很弱。

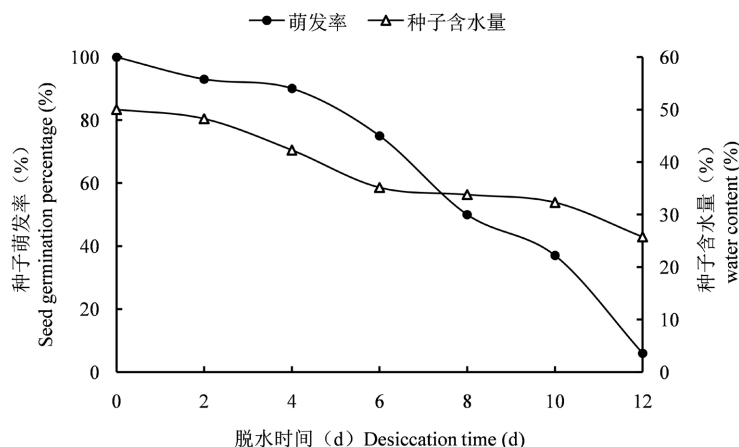


Figure 3. Changes of water content and germination percentage of *Syzygium jambos* seeds in the process of drying at 26°C and 80% RH

图 3. 在 26℃、80% RH 干燥过程中, 蒲桃种子的含水量和萌发率的变化

3.4. 室外播种条件下的种子出苗率

经过观察和计数, 播种于蒲桃母株邻近区的 3 组微型实验样地之间的蒲桃种子的成苗率差异显著($P < 0.05$)。在实验过程中, A 组(种子裸露组)的种子未能萌发, 因此没有观察到幼苗。TTC 检测结果表明, 所有种子都已死亡。B 组(覆土组, 覆土 3~4 cm 厚)的两个微型实验样地的幼苗分别有 11 株(B1, 出苗率 11%)和 14 株(B2, 出苗率 14%), 其平均值为 12.5%。C 组(覆土且浇水组, 覆土 3~4 cm 厚, 且每天傍晚浇透水)两个实验样地的出苗率分别是 34% (C1)和 29% (C2), 其平均值为 31.5% (图 4)。TTC 染色结果表明, 3 个实验组未萌发的种子均已死亡。由此可知, 裸露于土壤表面的蒲桃种子在高温下可能由于干燥脱水而失活, 在高温下, 即使处于潮湿的土壤之中的种子也难以萌发, 以至于出土的幼苗很少。

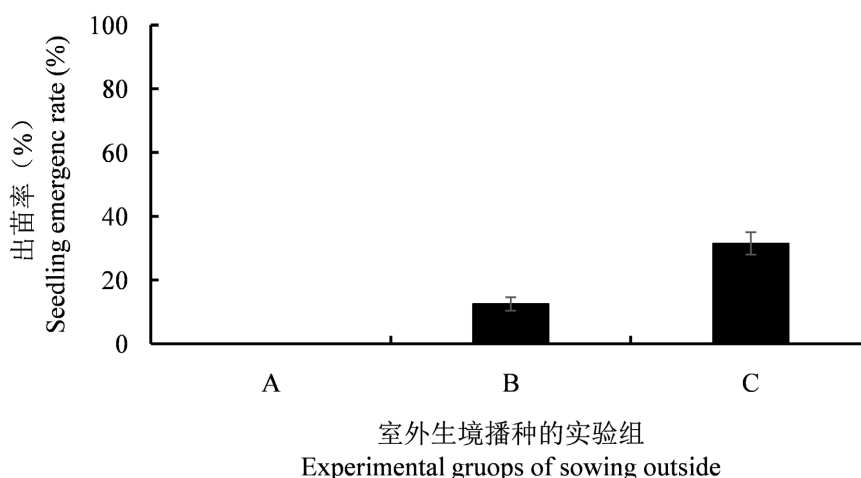


Figure 4. Seedling emergence rate (%) of three groups of seeds sown outside; A, the group of seeds uncovered; B, the group of seeds covered by soil of 3~4 cm; C, the group of seeds covered by soil of 3~4 cm and fully watered

图 4. 室外播种 3 组种子的出苗率(%). A, 种子裸露组; B, 覆土 3~4 cm 组; C, 覆土 3~4 cm 且浇水组

4. 讨论

在本研究中, 成熟的蒲桃种子较大, 其长与宽的平均值分别是 17.74 ± 1.62 mm 和 16.18 ± 1.89 mm, 种子千粒重约 2950.51 ± 116.17 g, 属于大粒种子(图 1); 而且, 种子的初始含水量较高($50.15 \pm 0.75\%$), 少数种子在果实内已经萌发, 即出现了胎萌现象(图 1(B))。一般地, 顽拗性种子成熟时含水量较高(30%以上), 其代谢活性很强, 干燥脱水容易导致种子失活[13]; 即使不被干燥脱水, 而是保存于湿润条件下, 非休眠的顽拗性种子要么萌发, 要么由于胁迫而死亡, 如海榄雌(*Avicennia marina*)的种子[18]。研究表明, 与正常性种子不同的是, 顽拗性种子成熟时未经历成熟脱水, 或者只有轻微的成熟脱水, 因此处于较高的含水量状态[12][13][16][18]。从种子大小、胎萌现象、种子初始含量等方面看, 蒲桃种子与其他顽拗性种子非常相似。

从实验结果看, 在 30/20℃ 下, 蒲桃种子在 30 d 内的萌发率高达 92%; 在 30℃ 下, 其萌发率为 90%。不过较高的温度(35℃)不利于种子萌发(图 2)。这与 Nacata 和 de Andrade 的研究结果比较一致[6]。由此可知, 蒲桃种子是非休眠的, 只要萌发条件(包括温度和水分)适宜, 就能顺利萌发。

判断种子贮藏习性最简单且重要的依据就是种子的脱水耐性[13]。在脱水过程中, 蒲桃种子失水较快(图 3)。当种子含水量从初始的 50.02%降低至 29.73%时, 其萌发率则从 100%降低至 6% (图 3), 这表明蒲桃种子对干燥脱水十分敏感。根据顽拗性种子的定义及其特点, 可以认为蒲桃种子属于顽拗性种子, 是脱水敏感性种子。

研究表明, 散落的顽拗性种子优点之一就是在潮湿的条件下容易萌发, 快速转化为幼苗, 但其缺点就是不耐脱水, 常因干燥而死亡[19]。在本研究中, 室外播种实验进一步表明, 裸露于土壤表面的蒲桃种子易于死亡。相反, 埋入土壤且浇水的实验组的少数蒲桃种子能形成幼苗(31.5%)。同时, 覆土而不浇水的实验组的出苗率更低(图 4)。在实验期间, 根据重庆天气预报可知, 生境的最高气温(白天)是 42℃, 最低气温(夜间)是 33℃。也就是说, 该实验期间播种的种子处于高温状态, 而高温能抑制蒲桃种子的萌发(图 2)。室外生境播种实验结果进一步表明, 在自然条件下, 即使处于表层土壤内的蒲桃种子也可能因为高温影响而难以顺利萌发。

在重庆师范大学大学城校区, 蒲桃是栽培的, 其来源地不详。在重庆, 蒲桃果实在 6~7 月成熟, 成熟的果实呈黄色, 其里面的种子呈褐色, 发育完全, 种胚较大。当果实掉落到地面后, 在较短的一段时间内, 果肉对种子有一定的保护作用。随着果肉的逐渐干枯或腐烂, 其里面的种子就会暴露于空气中; 随着时间的推移, 种子或被枯枝落叶覆盖, 或被动物啃食, 抑或被微生物侵染而死亡。缺乏果肉庇护的种子在高温少雨的环境中就会因干燥而失水。严重的水分丧失必然会导致种子死亡。如前所述, 蒲桃种子是脱水敏感性种子, 且高温($\geq 35^{\circ}\text{C}$)是不利于种子萌发的。因此, 室外播种实验结果和不同温度下的种子萌发结果有力地说明了脱水敏感的蒲桃种子在高温少雨的条件下是难以萌发的。这也很好地解释了我们所观察到的“蒲桃生境下很少有幼苗的”现象。

当然, 种子萌发与幼苗建成是非常复杂的过程, 其影响因素也是多样的。除了研究温度和种子含水量对蒲桃种子萌发的影响外, 还须深入分析母株的庇护作用对种子失水速率的影响、蒲桃种子贮藏时的低温敏感性、温度-水分的交互作用、种子大小对干燥脱水的影响、微生物对种子寿命及种子萌发的影响, 以及幼苗生长发育的影响因素。唯有系统而全面地研究, 才能真正揭示蒲桃种子的贮藏习性以及蒲桃种群生境缺失幼苗的原因及其调控机制。

5. 小结

果实成熟后, 蒲桃种子的含水量较高, 其适宜的萌发温度是 30/20℃和 30℃。在干燥脱水条件下, 蒲桃种子容易丧失活力, 表现出强烈的脱水敏感性。由此推知, 蒲桃种子极可能是顽拗性种子。在 6~9 月, 重庆地区高温少雨天气对脱水敏感性的蒲桃种子是非常不利的, 其表现之一就是抑制种子萌发和使种子丧失水分而死亡, 以至于蒲桃种群生境缺失幼苗。

基金项目

重庆市林业局“重庆地区濒危植物花榈木的资源调查与种苗培育技术研究”、重庆市风景园林科学研究院川渝共建乡土植物种质创新与利用重庆市重点实验室开放课题资助(XTZW2022-KF01)。

参考文献

- [1] Low, Y.W., Rajaraman, S., Tomlin, C.M., Ahmad, J.A., Ardi, W.H., Armstrong, K., et al. (2022) Genomic Insights into Rapid Speciation within the World's Largest Tree Genus *Syzygium*. *Nature Communications*, **13**, Article No. 5031. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32637-x>
- [2] 梁鸢, 主编. 黄弼臣. 蒲桃. 经济果树(下) [M]. 台北: 丰年社, 1979: 163-165.
- [3] 吴新德, 林顺权, 郑伸坤. 蒲桃胚胎发育及多胚来源的初步研究[J]. 福建农学院学报, 1991, 20(4): 434-439.
- [4] 胡适宜. 被子植物胚胎学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1983: 201-258.
- [5] Nacata, G. and Andrade, R.A.D. (2018) Plant Biometrics of Malay, Rose and Water Apple. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **40**, e-131. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018131>
- [6] Nacata, G. and Andrade, R.A.d. (2020) Germination of *Syzygium Malaccense* and *Syzygium Jambos* Seeds under Different Thermal Conditions and Seedling Morphology. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **42**, e645. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020645>

- [7] 林大都, 刘嘉炜, 李武国, 等. 蒲桃茎化学成分及其体外细胞毒活性研究[J]. 中草药, 2014, 45(14): 1993-1997.
- [8] 唐安军, 龙春林, 刀志灵. 种子顽拗性的形成机理及其保存技术[J]. 西北植物学报, 2004, 24(11): 2170-2176.
- [9] Roberts, E.H. (1973) Predicting the Storage Life of Seeds. *Seed Science and Technology*, **1**, 499-514.
- [10] Farrant, J.M., Pammenter, N.W. and Berjak, P. (1993) Seed Development in Relation to Desiccation Tolerance: A Comparison between Desiccation-Sensitive (Recalcitrant) Seeds of *Avicennia Marina* and Desiccation-Tolerant Types. *Seed Science Research*, **3**, 1-13. <https://doi.org/10.1017/s0960258500001513>
- [11] Fu, J.R., Jin, J.P., Peng, Y.F. and Xia, Q.H. (1994) Desiccation Tolerance in Two Species with Recalcitrant Seeds: *Clausena lansium* (Lour.) and *Litchi chinensis* (Sonn.). *Seed Science Research*, **4**, 257-261. <https://doi.org/10.1017/s0960258500002245>
- [12] 刘明航, 陈萍, 李盼畔, 等. 基于邱园种子库的顽拗性种子名录[J]. 绿色科技, 2019(10): 29-32.
- [13] Hong, T.D. and Ellis, R.H. (1996) A Protocol to Determine Seed Storage Behavior. In: Engels, J.M.M. and Toll, J., Eds., 1996, *IPGRI Technical Bulletin. No.1*, International Plant Genetic Resources Institute, 35-38.
- [14] Berjak, P. and Pammenter, N.W. (1994) Recalcitrance Is Not an All-Or-Nothing Situation. *Seed Science Research*, **4**, 263-264. <https://doi.org/10.1017/s0960258500002257>
- [15] Pammenter, N.W., Berjak, P., Farrant, J.M., Smith, M.T. and Ross, G. (1994) Why Do Stored Hydrated Recalcitrant Seeds Die? *Seed Science Research*, **4**, 187-191. <https://doi.org/10.1017/s0960258500002178>
- [16] ISTA (International Seed Testing Association) (2003) International Rules for Seed Testing (Edition, 2003), 2003, Switzerland, Brassersdorf.
- [17] 田美华, 赵正武, 唐安军. 苏铁种子的脱水敏感性及温湿条件对种子后熟的影响[J]. 植物生理学报, 2016, 52(2): 225-223.
- [18] Greggains, V., Finch-Savage, W.E., Atherton, N.M., et al. (2007) Viability Loss and Free Radical Processes during Desiccation of Recalcitrant *Avicennia Marina* Seeds. *Seed Science Research*, **11**, 235-242.
- [19] Tweddle, J.C., Dickie, J.B., Baskin, C.C. and Baskin, J.M. (2003) Ecological Aspects of Seed Desiccation Sensitivity. *Journal of Ecology*, **91**, 294-304. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.2003.00760.x>