

墨脱花椒种子休眠特性与解除方法

关文灵, 张海立, 荣 辉, 孟 静

云南农业大学园林园艺学院, 云南昆明 650201

摘 要: 墨脱花椒是产于西藏墨脱县的特色香料植物, 具有较高的经济价值和开发潜力, 但缺乏种苗是制约其产业化发展的主要因素, 故解决墨脱花椒的人工繁育问题十分重要。播种育苗作为一种常见的种苗繁育方法, 具有繁殖系数高、操作方便、便于运输保存等优势, 更利于生产实践上的应用。墨脱花椒种子具有休眠特性, 自然条件下萌发困难。因此, 探究墨脱花椒种子的休眠特性、萌发限制因素和解除种子休眠的方法, 为墨脱花椒种苗生产提供科学依据十分必要。以墨脱花椒种子为试验材料, 采用种子吸水性测定、内源萌发抑制物质的生物学鉴定、低温层积、化学药剂浸泡等方法, 探究墨脱花椒种子休眠的原因、休眠类型以及解除休眠的方法。结果表明: (1) 墨脱花椒种子种皮厚, 外层为光滑的油脂层, 种子空壳率达 25.67%, 种皮对种子吸水具有明显机械阻碍作用。(2) 墨脱花椒完整种子和种皮的甲醇浸提液对白菜种子萌发均存在抑制作用, 完整种子的甲醇浸提液的抑制程度高于种皮浸提液, 说明种仁本身存在发芽抑制物质。(3) 在适当温度条件下, 浓硫酸+GA₃ 组合处理可有效打破墨脱花椒种子休眠。其中浓硫酸浸泡 10 min+1500 mg/L GA₃ 浸种 48 h+30 °C 恒温培养处理的发芽率最高 (83.33%)。(4) 在 30 °C 恒温条件下种子发芽效果好于 25 °C 恒温和 15 °C/25 °C 变温。因此, 由种皮造成的吸水障碍和种子含有内源抑制物是引起墨脱花椒种子休眠的主要原因, 其休眠类型属于复合休眠 (PY+PD)。浓硫酸处理 10 min+1500 mg/L GA₃ 浸种 48 h+30 °C 恒温培养可有效解除种子休眠, 提高墨脱花椒种子发芽率。

关键词: 墨脱花椒; 休眠解除; 种子萌发; 物理休眠; 生理休眠

中图分类号: S573 文献标识码: A

Dormancy Characteristics and Releasing Methods of *Zanthoxylum motuoense* Huang.

GUAN Wenling, ZHANG Haili, RONG Hui, MENG Jing

College of Landscape and Horticulture, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China

Abstract: *Zanthoxylum motuoense* is a characteristic spice plant produced in Metok, Tibet, with high economic value and development potential, but the lack of seedlings is the main factor restricting its industrialization development. Therefore, it is very important to solve the problem of artificial breeding of *Z. motuoense*. As a common method to expand seedlings, the seed planting method has the advantages of high propagation coefficient, convenient operation and convenient transportation and storage, which is more conducive to the application of production practice. The seeds of *Z. motuoense* has dormancy characteristics, and it is difficult to germinate under natural seeding condition. Therefore, it is imperative to explore the dormancy characteristics, germination limiting factors and methods to break seed dormancy of *Z. motuoense* seeds to provide scientific basis for the production of *Z. motuoense* seedlings. Using *Z. motuoense* seeds as materials, the reasons of dormancy, dormancy types and methods to break dormancy were studied by water absorption and germination inhibitors, low temperature stratification, chemical immersion. The seed coat was thick, the outer layer was smooth oil layer, and the seed empty shell rate was 25.67%. The seed coat had obvious mechanical hindrance to the water absorption of seeds. Both the methanol extract from the intact seeds and seed coat of *Z. motuoense* had inhibitory effect on the germination of *Brassica pekinensis* seeds, and the inhibition degree of the methanol extract from the intact

收稿日期 2022-05-10; 修回日期 2022-07-07

基金项目 云南省科技计划项目 (No. 2018DH010)。

作者简介 关文灵 (1970—), 男, 博士, 教授, 研究方向: 园林植物种质资源利用与创新。E-mail: 158066692@qq.com。

seeds was higher than that of the seed coat, indicating that the embryo and endosperm had germination inhibitors. Under appropriate temperature conditions, the combination of concentrated sulfuric acid + GA₃ could effectively break the dormancy of the seeds. Among them, the highest germination rate was 83.33% by soaking in concentrated sulfuric acid for 10 min + 1500 mg/L GA₃ soaking for 48 h + constant temperature culture at 30 °C. Under the constant temperature of 30 °C, the seed germination effect was better than that of 25 °C and 15 °C/25 °C. Conclusion: Water absorption barrier caused by seed coat and the endogenous inhibitors in the seeds are the main reasons for seed dormancy, and its dormancy type belongs to compound dormancy (PY+PD). Concentrated sulfuric acid treatment for 10 min + 1500 mg/L GA₃ soaking seeds for 48 h + 30 °C constant temperature culture can effectively break seed dormancy and improve seed germination rate.

Keywords: *Zanthoxylum motuoense*; dormancy breaking; seed germination; physical dormancy; physiological dormancy

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.04.009

墨脱花椒 (*Zanthoxylum motuoense*) 为芸香科 (Rutaceae) 花椒属 (*Zanthoxylum*) 落叶小乔木, 产于西藏墨脱县境内, 分布于海拔 1000~1900 m 的亚热带湿润气候地带^[1]。其果实和叶片具有浓郁的香气, 果实是西藏地区常用的香辛调料, 用于烹制牦牛肉等食物。由于其风味独特, 深受西藏人民的喜爱, 主要用作烹饪调料, 具有较高的经济价值和开发潜力, 目前已成为墨脱县重点发展的特色经济林木^[2]。由于墨脱花椒自然繁殖系数低, 人工繁育困难, 想要产业化发展, 仅靠对野生资源的挖掘移栽不能满足市场需要, 种苗缺乏问题亟待解决。因此, 解决墨脱花椒的人工繁育问题, 对墨脱花椒的种质资源保护及开发利用具有深远的意义。播种育苗具有繁殖系数高、操作方便的优点, 但墨脱花椒种子存在休眠现象, 自然条件下萌发困难, 发芽率极低。有关墨脱花椒种子萌发特性的研究未见报道, 只有对其分类学、形态学及扦插育苗技术^[2]的相关研究报道。为了探究墨脱花椒种子的休眠原因和萌发特性, 本研究以墨脱花椒种子为研究对象, 通过对种子吸水性和萌发抑制物质的研究, 探讨墨脱花椒种子休眠的原因; 采用单因素试验设计探究不同温度和光照对种子萌发的影响, 设置浓硫酸和 GA₃ 组合处理试验, 筛选破除种子休眠及促进萌发的最佳处理方案, 为墨脱花椒的播种育苗及综合利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究所用的墨脱花椒种子于 2017 年 10 月采收于西藏自治区林芝市墨脱县, 将新鲜果实带回实验室晾干后去除果皮和杂质, 收集纯净的种子干燥条件下保存备用。

1.2 方法

1.2.1 种子形态 随机取 10 粒种子, 在体式显微镜下观测种子形状、颜色以及横纵轴直径, 将种子沿中心线切成两半, 观察种子内部形态结构, 重复 3 次。

1.2.2 种子空壳率 采用水选法。随机取 100 粒种子, 放入盛有水的烧杯中, 用玻璃棒适当搅拌, 让全部种子充分浸没在水中, 5 min 后统计上浮种子占试验种子的百分比, 重复 3 次。将下沉种子自然晾干备用。

1.2.3 种子千粒重 采用百粒法测千粒重^[3]。从筛选后种子中随机取 100 粒为 1 组, 共取 8 组, 分别称重, 计算平均质量, 转换成千粒重。

1.2.4 种子含水量 采用 103 °C 低恒温干燥法^[4]。从筛选后的种子中随机取 30 粒为一组, 在 103 °C 烘干箱中将样品盒及盒盖质量烘干至不再变化, 再称取样品盒和盒盖的重量 M_1 , 称取样品盒和盒盖及样品的烘前总重量 M_2 , 放入 103 °C 烘干箱烘 12 h, 再取出称取样品盒和盒盖及样品的烘后总重量 M_3 。

1.2.5 种子生活力 采用 TTC 法^[5]。随机取 10 粒饱满种子, 沿种子胚中心线切成两半, 置于培养皿中, 加入 0.5%TTC 浸没种子, 将培养皿放入 30 °C 全黑暗恒温箱中 24 h, 胚被染成红色为有生活力的种子, 重复 3 次。

1.2.6 种子吸水性 分别随机取去皮种子、酸蚀种子(浓硫酸浸种 10 min 后洗净晾干备用的种子)和完整种子各 30 粒, 分别称其干重, 放在盛水的烧杯中浸泡, 每 4 h (白天) 和 10 h (晚上) 取出一次, 用滤纸吸干表面水分, 用电子天平迅速称其湿重, 直到种子质量不再增加为止停止试验, 观测种皮对其吸水性的影响, 每个处理重复 3 次。将酸蚀种子与完整种子在体式显微镜下进行外部

形态对比观察。

1.2.7 种子发芽抑制物质测定 分别取 10 g 完整种子和空壳种子磨碎, 置于 100 mL 容量瓶中, 加 80% 甲醇定容至 100 mL, 在 4 °C 恒温箱中浸提 24 h, 期间震荡 3 次, 然后充分过滤, 滤液即为抑制物的提取液, 分别稀释为原浓度的 75%、50%、25%、0%, 在室温下分别用稀释后的溶液浸泡白菜种子 2 h, 再用 0.1% 高锰酸钾消毒 10 min, 用无菌水冲洗干净, 置于直径 9 cm 的培养皿中的滤纸上, 在 25 °C 恒温、光照条件为 12 h 光照/12 h 黑暗的培养箱中进行发芽试验。每个处理 50 粒白菜种子, 重复 3 次, 以胚根露出种胚为发芽标准, 24 h 后统计发芽率。

1.2.8 种子休眠解除的方法 用 0.1% 高锰酸钾浸泡种子消毒 10 min, 后用无菌水冲干净, 进行不同试验处理。将处理后的种子放入直径 9 cm 装满湿润珍珠岩的培养皿中, 分别置于培养箱中进行发芽试验, 每个处理 30 粒种子, 重复 3 次。试验期间每天观察, 并保持珍珠岩湿润。参照《1996 国际种子检验规程》的鉴定标准统计萌发情况, 种子的萌发以胚根长度超过种子半径作为萌发标准, 连续 5 d 无萌发种子视为萌发结束。具体试验处理如下:

处理 1 (CK): 消毒后的种子未经其他处理, 放置于培养箱中进行发芽试验。温度为 25 °C 和 15 °C 各 12 h 循环。处理 2 (机械去皮处理): 用手术刀对种子进行去皮处理, 将种仁取出进行发芽试验。发芽条件同上。处理 3 (低温沙藏处理): 随机取 30 粒完整种子, 用湿沙包裹, 后置于 4 °C 冰箱中, 每个月检查其萌发情况, 1 年后统计种子发芽率。处理 4 (常规播种处理): 随机取 30 粒完整种子, 在深 8 cm、内口径 8 cm 的育苗盆中直接播种, 再放置于大棚, 用 75% 遮阳网覆盖, 每个月检查其萌发情况, 1 年后统计种子发芽率。处理 5 (浓硫酸+GA₃ 组合处理方案的优化筛选): 浓硫酸处理时间 (T) 设置 4 个水平, 分别为 T₁ (0 min)、T₂ (5 min)、T₃ (10 min)、T₄ (15 min), GA₃ 浓度 (G) 设置 5 个水平, 分别为 G₁ (0 mg/L)、G₂ (500 mg/L)、G₃ (1000 mg/L)、G₄ (1500 mg/L)、G₅ (2000 mg/L), GA₃ 处理时间为 48 h, 共计 20 个处理, 在 30 °C 全时段黑暗条件的培养箱中进行发芽试验。处理 6 (温度对种子萌发的影响): 室温条件下, 用浓硫酸处理种子 10 min, 在流水下反复搓洗干净, 再结合 1500 mg/L GA₃ 浸泡 48 h,

分别在 30 °C、25 °C 和 15 °C/25 °C 条件下, 全时段黑暗的培养箱中进行发芽试验。

1.3 数据处理

试验获得数据用平均值±标准误表示, 采用 Excel 2003 和 SPSS 25.0 软件进行数据统计与分析。

空壳率=上浮种子数/试验种子数×100%

千粒重 (g) = $(\sum W_i/8) \times 10 = [(W_1+W_2+\dots+W_8)/8] \times 10$, 其中 W 为 100 粒种子重量, i (组) = 1, 2, ..., 8。

含水量 = $(M_2 - M_3)/(M_2 - M_1) \times 100\%$

种子吸水率 = $[(X_t - X_0)/X_0] \times 100\%$

式中, X₀ 为 30 粒花椒种子的原始质量 (g), X_t 为吸胀 t 小时后种子的质量 (g) [6]。

发芽率 = 发芽终期发芽种子数/供试种子数 × 100%

发芽势 = 日发芽种子数达高峰时发芽种子的总数/供试种子数 × 100%

发芽指数 (GI) = $\sum G_t/D_t$

式中, G_t 是指在 t 天时发芽种子数, D_t 指相应发芽天数。

2 结果与分析

2.1 种子形态结构及千粒重

如图 1 所示, 墨脱花椒种子主要为卵圆形, 少数半卵圆形, 卵圆形种子种皮坚硬表面光滑, 种脐位于其腹面中部, 其横轴直径为 (3.18±0.036) mm, 纵轴直径为 (3.86±0.04) mm。半卵圆形种子横切面光滑, 横轴直径为 (1.63±0.06) mm, 纵轴直径为 (3.83±0.02) mm。

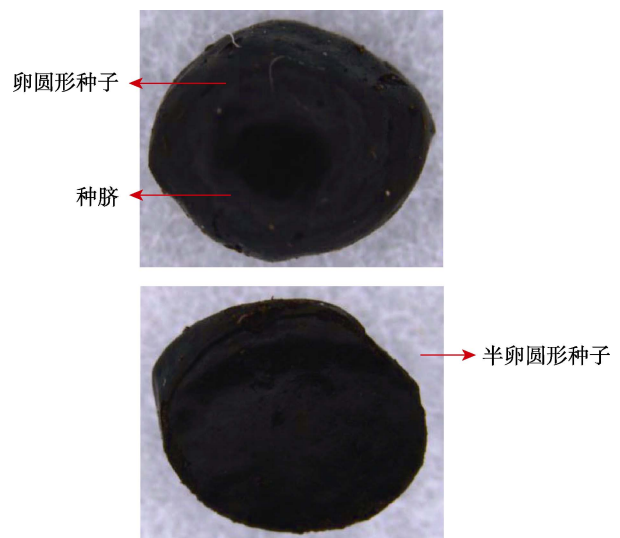


图 1 种子外观形态
Fig. 1 Seed appearance

如图 2 所示，种子内部结构由三部分组成：种皮、胚、胚乳，胚为白色抹刀型。

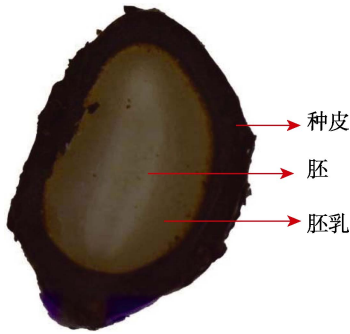


图 2 种子解剖结构

Fig. 2 Anatomical structure of the seed

种子空壳率为 25.67%±2.40%，对上浮种子进行破壳处理，发现均为无胚的空壳，而下沉种子为饱满种子。饱满种子千粒重为(13.73±0.08)g，含水量为 12.31%±0.62%，生活力为 97.78%±1.11%，种子具备萌发的可能性。

2.2 种子吸水性

由图 3 可知，在同一时间段内，去皮种子与完整种子相比，吸水率差异较大。去皮种子在 0~4 h 阶段，为快速吸水阶段，吸水率为 60.40%，在 4~26 h 阶段为缓慢吸水阶段，在 26 h 后吸水逐渐趋于平稳，最终吸水率为 76.41%。而酸蚀种子与完整种子吸水曲线差异不大，各阶段吸水率接近持平，在 0~4 h 阶段为快速吸水阶段，吸水率分别为 9.95%和 10.61%，4~30 h 吸水逐渐缓慢，后期逐渐接近吸水饱和，最终吸水率分别为 23.40%和 21.19%。结果表明，墨脱花椒完整种子种皮透水性差，吸水速率慢，对种子萌发存在一定程度物理障碍，酸蚀处理后对种子吸水速率影响不大。

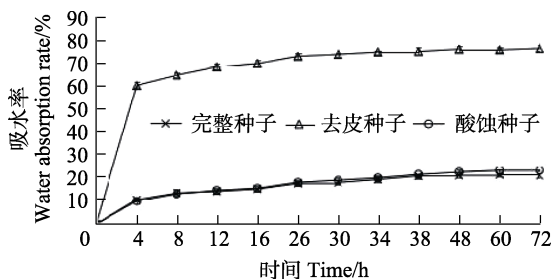


图 3 墨脱花椒种子吸水曲线

Fig. 3 Water absorption curve of *Z. motuoense* seeds

如图 4 所示，经酸蚀处理后的种子与对照种子外部形态差异较大，酸蚀后的种子表面凹凸不

平色泽暗淡，部分表面由于灼烧而产生裂痕，与对照种子表面光滑油亮形成鲜明对比。可见，浓硫酸浸种能去除种皮表面油脂物质，还能使种皮开裂，从而增强透水透气性。

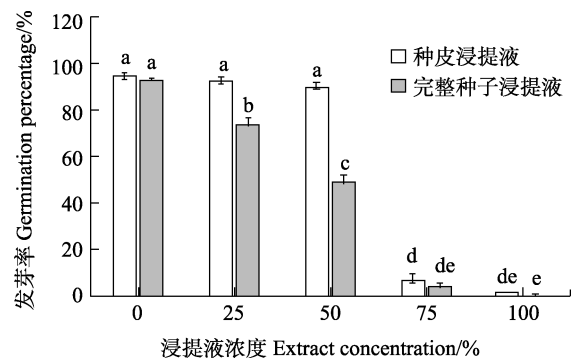


图 4 对照种子与酸蚀种子外观对比

Fig. 4 Comparison of appearance between control seeds and acid-etched seeds

2.3 种子发芽抑制物质的生物测定

由图 5 可知，不同浓度的种皮和完整种子浸提液对白菜种子发芽率均有抑制作用，且随着浸提液浓度的增加，白菜种子发芽率呈现逐渐降低的趋势，且完整种子浸提液的抑制程度高于种皮浸提液。经方差分析和多重比较结果显示，当种皮浸提液浓度为 25%和 50%时，发芽率与对照相比均无显著差异 ($P>0.05$)，当其浓度为 75%和 100%时，与对照相比均存在显著差异 ($P<0.05$)，发芽率分别降低了 87.34%、92.67%，表明当种皮浸提液达一定浓度 ($\geq 75%$) 时，才具有抑制作用；而完整种子浸提液浓度在 25%、50%、75%、100%时，与对照相比均存在显著差异，发芽率分别降低了 19.33%、44%、88.66%、92.66%；完整种子浸提液与种皮浸提液相比，在浸提液浓度为 25%、50%、75%和 100%时，白菜种子发芽率均低于种皮浸提液，且在 25%和 50%时均存在显



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

图 5 墨脱花椒种子浸提液对白菜种子萌发的影响

Fig. 5 Effect of *Z. motuoense* seed extract on Chinese cabbage seed germination

著差异, 而完整种子由种皮和种仁构成, 说明种胚内部也存在抑制物质。由此可知, 种皮和完整种子的甲醇浸提液对白菜种子均存在抑制作用, 抑制物质主要分布在种仁和种皮, 抑制强度为完整种子>种皮, 且随浸提液浓度增加, 抑制作用增强。

2.4 促进种子萌发方法

2.4.1 物理处理 通过试验得出, 对照、机械去皮、低温沙藏、常规播种 4 种处理后的种子均未萌发。可见, 墨脱花椒种子不易萌发, 存在休眠性。

2.4.2 化学处理 由表 1 可知, 当浓硫酸处理时间 (T) 为 0 时, 无论 GA₃ 浓度 (G) 有多大, 种子都不会萌发, 与对照 (T₁G₁) 结果一致, 说明单独的 GA₃ 处理对种子萌发没有促进作用。当 GA₃ 浓度为 0 mg/L (G₁) 时, 浓硫酸处理时间为 5 min (T₂) 和 10 min (T₃) 时, 种子发芽率分别为 4.44% 和 3.33%, 与对照相比不存在显著差异, 说明单独的浓硫酸处理对种子萌发没有实质性促进作用。在经浓硫酸处理 5~15 min 后, 随着 GA₃ 处理浓度的增大, 种子发芽率呈现先增后降的趋势, 在 GA₃ 浓度为 1500 mg/L (G₄) 时, 种子发芽率达到最高。其中浓硫酸浸泡 10 min+1500 mg/L GA₃ 浸泡 48 h (T₃G₄) 的组合处理发芽率最高, 达 83.33%; 其次是浓硫酸浸泡 15 min+1500 mg/L GA₃ 浸泡 48 h 的组合处理 (T₄G₄), 发芽率为 77.78%, 上述 2 个处理的效果无显著差异, 但与其他处理间均达到差异显著水平。由此可知, 浓硫酸和 GA₃ 共同作用可解除墨脱花椒种子休眠, 促其萌发, 2 种药剂单独处理时均不能有效解除

表 1 浓硫酸与 GA₃ 组合处理对墨脱花椒种子萌发的影响
Tab. 1 Effect of combined treatment of concentrated sulfuric acid and GA₃ on seed germination of *Z. motuoense*

处理 Treatment	发芽率 Germination rate/%	处理 Treatment	发芽率 Germination rate/%
T ₁ G ₁ (CK)	0 ^h	T ₃ G ₁	0 ^h
T ₁ G ₂	0 ^h	T ₃ G ₂	8.89±1.11 ^e
T ₁ G ₃	0 ^h	T ₃ G ₃	74.44±5.88 ^b
T ₁ G ₄	0 ^h	T ₃ G ₄	83.33±1.93 ^a
T ₁ G ₅	0 ^h	T ₃ G ₅	50.00±3.33 ^d
T ₂ G ₁	4.44±1.11 ^{eh}	T ₄ G ₁	3.33±0.00 ^{gh}
T ₂ G ₂	44.21±3.12 ^d	T ₄ G ₂	26.67±3.85 ^{ef}
T ₂ G ₃	61.11±2.94 ^c	T ₄ G ₃	72.22±2.94 ^b
T ₂ G ₄	72.82±1.95 ^b	T ₄ G ₄	77.78±2.22 ^{ab}
T ₂ G ₅	21.11±2.94 ^f	T ₄ G ₅	32.22±2.94 ^c

注: 不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference (P<0.05).

种子休眠。

2.4.3 温度 由表 2 可知, 30 °C 条件下种子的发芽率、发芽势和发芽指数均为最高。其中, 30 °C 发芽势与发芽指数均显著高于 25 °C 和 25 °C /15 °C, 发芽率只显著高于 25 °C/15 °C, 与 25 °C 差异不显著。综合来看, 温度也是影响墨脱花椒种子萌发的一个重要因素, 30 °C 条件更适合其萌发。

表 2 不同温度对墨脱花椒种子萌发的影响

Tab. 2 Effect of different temperatures on seed germination of *Z. motuoense*

处理 Treatment	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination/%	发芽指数 Germination index
30 °C	75.55±4.01 ^a	40.00±1.92 ^a	3.6968±0.2113 ^a
25 °C	70.00±1.92 ^{ab}	23.33±1.93 ^b	2.7915±0.0534 ^b
25 °C/15 °C	56.67±5.09 ^b	17.78±1.11 ^b	2.3249±0.1951 ^b

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 (P<0.05)。

Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference (P<0.05).

3 讨论

本研究发现, 墨脱花椒种子具有较高的空壳率, 达 25.67%。在实践生产中, 种子的结实率主要受到播种、施肥、灌溉、病虫害防治、辅助授粉等多种因素的影响^[7]。而在自然条件下, 种子产量和质量主要受环境影响, 其中气候条件是影响种子生产的关键因素, 包括光照、温度、降雨量等^[8-9]。资料显示, 墨脱花椒在全世界仅分布于中国西藏的墨脱县^[1]。西藏墨脱地区具有青藏高原独特的地理环境和特殊的气候条件, 雨量十分充沛, 年降雨量达 2000~3000 mm, 属于喜马拉雅山东侧亚热带潮湿气候区^[10-11]。推测原产地湿热的气候影响了传粉受精, 这可能是造成墨脱花椒种子空壳的主要原因。刘元生等^[12]研究顶坛花椒成苗技术时, 选用的种子采收自环境恶劣的喀斯特温热河谷区, 花椒种子的空壳率高达 70%~90%; 崔星星^[13]在研究竹叶花椒种子休眠特性时, 发现采自四川不同地区的花椒种子空壳率均高达 50% 以上。可见, 不同的环境条件对花椒种子结实都会造成一定影响, 而环境条件如何影响花椒种子空壳则还需进一步探究。

种子萌发过程不仅受到自身遗传因素和形态特征的影响, 还受到光照、温度、水分、化学物质等外界环境条件的调控^[14]。已有研究证明, 种子萌发的最适温度通常和原生境气候条件具有很大的关系^[15], 也有可能与植物本身有关^[16-17]。本

研究发现, 墨脱花椒在 30 ℃ 条件催芽时发芽率、发芽势及发芽指数都最高, 说明 30 ℃ 为发芽最适宜温度。墨脱地区昼夜温差大, 最热月平均气温 30.1 ℃, 较为接近发芽最适温度。甘肃^[18]、山东^[19]两地的大红袍花椒催芽时也是选择 30 ℃ 恒温黑暗条件, 在此条件下发芽率较高。这一原因是否是花椒属植物本身的遗传特性还需深入探讨。

种子吸水性试验结果显示, 去皮种子的吸水率在 72 h 内高达 76.41%, 而完整种子的饱和吸水率仅为 21.19%, 说明种皮严重阻碍了墨脱花椒种子的吸水性。经浓硫酸处理后的种子饱和吸水率为 23.40%, 与完整种子的接近, 这可能与酸蚀种子流水清洗时种子已充分吸水及流水洗净后未完全晾干有关。对比完整种子, 酸蚀种子表面已经出现裂痕, 种皮已难以阻碍吸水透气。蒺藜苜蓿 (*Medicago truncatula*)^[20]、巨紫荆 (*Cercis gigantea* Cheng et Keng f.)^[21]、东北红豆杉 (*Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc.)^[22]等种子也都存在类似的吸水障碍。由此可见, 种皮的透水性障碍是墨脱花椒种子休眠的原因之一。

抑制物质存在于种子的各个部位, 包括果皮、种皮、胚、胚乳部位, 其中脱落酸是这些部位最常见的抑制物质^[23]。本研究通过甲醇对抑制物质进行提取。结果表明, 墨脱花椒种子种皮和种仁中都存在抑制物质, 且随着浸提液浓度的增大抑制作用逐渐增强。这与青花椒种子抑制物测定结果一致^[13], 但青花椒种子不同部位的抑制强度表现为种仁>种皮, 对于墨脱花椒种子种皮和种仁的抑制强度及抑制物类型都需要进一步探究。

根据休眠因素所在种子部位的角度可将种子休眠分为内源休眠、外源休眠和综合休眠^[24-25]。墨脱花椒种子的种皮存在吸水障碍, 属于外源因素; 种子存在萌发抑制物质, 属于内源因素。由此认为墨脱花椒种子属于综合休眠类型。在破除休眠的方法中, 酸蚀处理有利于增加种皮透水性而解除其外源限制因素, GA₃ 处理可能有助于消减发芽抑制物质而解除其生理休眠 (内源休眠)。

综上, 本研究认为由种皮造成的吸水障碍和种子含有内源抑制物是引起墨脱花椒种子休眠的主要原因, 其休眠类型属于复合休眠 (PY+PD)。浓硫酸处理 10 min+1500 mg/L GA₃ 浸种 48 h+30 ℃ 恒温培养可有效解除墨脱花椒种子休眠, 提高其发芽率。研究结果为墨脱花椒人工繁育提供了科学依据。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 48.
Flora of China Editorial Committee of Chinese Academy of Sciences. The flora of China[M]. Beijing: Science Press, 1997: 48. (in Chinese)
- [2] 荣辉, 李叶芳, 关文灵, 杜文军, 周恒苍. 不同因素对墨脱花椒扦插生根的影响[J]. 经济林研究, 2020, 38(2): 192-200.
RONG H, LI Y F, GUAN W L, DU W J, ZHOU H C. Effects of different factors on rooting of cuttings in *Zanthoxylum motuoense*[J]. Non-wood Forest Research, 2020, 38(2): 192-200. (in Chinese)
- [3] 屈长荣. 种子检验技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 2011: 203-207.
QU C R. Seed testing technique[M]. Tianjin: Tianjin University Press, 2011: 203-207. (in Chinese)
- [4] 李淑娴, 吴雷, 李运红, 尹佟明. 低恒温烘干法测定种子含水量条件的研究[J]. 种子, 2011, 30(5): 72-74.
LI S X, WU L, LI Y H, YIN T M. Study on water content in seed by low constant temperature oven method[J]. Seed, 2011, 30(5): 72-74. (in Chinese)
- [5] 颜启传. 种子检验的原理和技术[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 375.
YAN Q Z. Principles and techniques of seed testing[M]. Beijing: Science Press, 1992: 375. (in Chinese)
- [6] 艾克拜尔·毛拉, 方紫妍, 李林瑜, 周龙, 陆彪. 西天山野生忍冬和蔷薇种子萌发特性研究[J]. 河南农业科学, 2019, 48(7): 110-115.
MAOLA A, FANG Z Y, LI L Y, ZHOU L, LU B. Study on seed germination characteristics of wild *Lonicera* and *Rosa* in Western Tianshan Mountain[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2019, 48(7): 110-115. (in Chinese)
- [7] 高朋. 施肥对禾本科牧草种子产量及其产量构成因子和种子活力的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
GAO P. Effect of fertilization on seed yield of forage grasses and their production constitutes and the seed vigor[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [8] BU H Y, CHEN X L, XU X L, LIU K, JIA K, DU G Z. Seed mass and germination in an alpine meadow on the eastern Tsinghai-Tibet Plateau[J]. Plant Ecology, 2007, 191(1): 127-149.
- [9] SAHIN E, TABRIZI H Z, TOSUN M. Genotype × environment interaction and stability analysis of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) ecotypes for seed yield in Turkey[J]. Research Journal of Biological Science, 2011, 6: 413-416.
- [10] 邓春林. 墨脱县生态环境可持续发展战略研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
DENG C L. Study on sustainable development strategy of ecological environment in Metok[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012. (in Chinese)

- [11] 李元会, 赵贯飞, 朱荣杰, 刘瑛, 程芳. 墨脱地区引种澳洲坚果适应性分析[J]. 中国果菜, 2018, 38(11): 84-86.
LI Y H, ZHAO G F, ZHU R J, LIU Y, CHENG F. Aaptability analysis introduction of Macadamia in Medog District[J]. China Fruit & Vegetable, 2018, 38(11): 84-86. (in Chinese)
- [12] 刘元生, 杨光梅. 花椒种子萌发及成苗技术的研究[J]. 种子, 2003(5): 36-38.
LIU Y S, YANG G M. Study on technique of seed germination and seedlings of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim[J]. Seed, 2003(5): 36-38. (in Chinese)
- [13] 崔星星. 青花椒(竹叶花椒 *Zanthoxylum armatum*) 种子萌发障碍及促进萌发方法探究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2012.
CUI X X. Study on the germination barriers and the method of improving germination of Qinghuajiaoseed (*Zanthoxylum armatum*)[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [14] 张红香, 周道玮. 种子生态学研究现状[J]. 草业科学, 2016, 33(11): 2221-2236.
ZHANG H X, ZHOU D W. Current status in seed ecology[J]. Pratacultural Science, 2016, 33(11): 2221-2236. (in Chinese)
- [15] 李阳, 毛少利, 李想, 王宇超, 李倩. 温度和种子大小对黄花委陵菜种子萌发特征的影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(5): 1248-1251.
LI Y, MAO S L, LI X, WANG Y C, LI Q. Effects of temperature and seed size on seed germination in *Potentilla aurea*[J]. Genomics and Applied Biology, 2016, 35(5): 1248-1251. (in Chinese)
- [16] KUMAR B, VERMA S K, SINGH H P. Effect of temperature on seed germination parameters in Kalmegh (*Andrographis paniculata* Wall. ex Nees)[J]. Industrial Crops & Products, 2011, 34(1): 1241-1244.
- [17] 田宏, 王志勇, 张鹤山, 熊军波, 刘洋. 温度对胡枝子属植物种子萌发特性的影响[J]. 中国草地学报, 2017, 39(3): 109-114.
TIAN H, WANG Z Y, ZHANG H S, XIONG J B, LIU Y. Effect of temperature on seed germination of species of *Lespedeza* Mich[J]. Chinese Journal of Grassland, 2017, 39(3): 109-114. (in Chinese)
- [18] 潘虎林. 不同浓度不同温度沼液对花椒种子发芽特性的影响研究[J]. 农业科技通讯, 2014(7): 190-191.
PAN H L. Effect of biogas slurry with different concentration and temperature on seed germination characteristics of *Zanthoxylum bungeanum*[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2014(7): 190-191. (in Chinese)
- [19] 宋越冬, 李宝光, 马明建, 何敬峰. 花椒种子发芽特性和花椒芽苗菜工厂化生产技术[J]. 中国蔬菜, 2003(2): 109-114.
SONG Y D, LI B G, MA M J, HE J F. Seed germination characteristics and industrial production technology of *Zanthoxylum bungeanum*[J]. China Vegetables, 2003(2): 109-114. (in Chinese)
- [20] 刘文瑜, 魏小红, 许可成, 赵萌, 段正中. 蒺藜苜蓿种子休眠机制及其破除方法研究[J]. 草地学报, 2015, 23(2): 358-365.
LIU W Y, WEI X H, XU K C, ZHAO M, DUAN Z Z. Study on dormancy property and breaking approaches of *Medicago truncatula* seed[J]. Acta Agrestia Sinica, 2015, 23(2): 358-365. (in Chinese)
- [21] 陈镇, 张建, 王碧, 徐思远, 赵振军, 姚振. 巨紫荆种子休眠原因及破眠技术研究[J]. 种子, 2018, 37(12): 29-34.
CHEN Z, ZHANG J, WANG B, XU S Y, ZHAO Z J, YAO Z. Research on seed dormancy and the technique of breaking dormancy of *Cercis gigantea*[J]. Seed, 2018, 37(12): 29-34. (in Chinese)
- [22] 程广有, 唐晓杰, 高红兵, 沈熙环. 东北红豆杉种子休眠机理与解除技术探讨[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(1): 5-9, 100.
CHENG G Y, TANG X J, GAO H B, SHEN X H. Dormancy mechanism and relieving techniques of seeds of *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2004, 26(1): 5-9, 100. (in Chinese)
- [23] 叶常丰. 种子学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
YE C F. Seed science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994. (in Chinese)
- [24] GENEVE R L. Seed dormancy in commercial vegetable and flower species[J]. Seed Technology, 1998, 20: 236-250.
- [25] HILHORST H W M. A critical update on seed dormancy. I. Primary dormancy[J]. Seed Science Research, 1995(2): 61-73, 10.