



模拟四季温度层积对南方红豆杉种子生理性状的影响

周曼, 徐燕, 胡志娥, 邓可伟, 鲁顺保, 张艳杰

引用本文:

周曼,徐燕,胡志娥,邓可伟,鲁顺保,张艳杰. 模拟四季温度层积对南方红豆杉种子生理性状的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(3): 373–379.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4620>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

PEG-6000模拟干旱胁迫对黄秋葵种子萌发和幼苗生理特性的影响

Effect of Drought Stress with PEG-6000 on Seed Germination and Physiological Properties in *Abelmoschus esculentus*
热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 611–616 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3907>

贵州石笔木种子萌发特性及幼苗生长规律的研究

Studies on Seed Germination Characteristics and Seedling Growth of *Tutcheria kweichowensis* Chang et Y. K. Li
热带亚热带植物学报. 2017, 25(6): 554–561 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3772>

五唇兰对PEG模拟的干旱胁迫响应研究

热带亚热带植物学报. 2020, 28(1): 53–61 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4062>

雄性不育无籽刺梨花药发育过程中生理特性的初步研究

Studies on Physiological and Biochemical Characters of Male Sterile *Rosa sterilis* during Anther Development Stage
热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 604–610 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3884>

荔枝花蜜分泌规律及可溶性糖组分和含量的分析

Analysis of Secretion Pattern and Soluble Sugar Composition and Contents in Litchi Nectar
热带亚热带植物学报. 2018, 26(5): 490–496 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3872>

向下翻页, 浏览PDF全文

模拟四季温度层积对南方红豆杉种子生理性状的影响

周曼, 徐燕, 胡志娥, 邓可伟, 鲁顺保, 张艳杰*

(江西师范大学生命科学学院, 南昌 330022)

摘要: 为了解濒危物种南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*)种子内含物含量受温度和湿度层积的影响, 设置 4 个季节、2 种湿度(16%和 24%)基质层积处理, 对种子的可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白和脂肪等内含物质的变化进行研究。结果表明, 不同层积处理下种子贮藏物质的含量有显著变化, 春季层积 9 个月后, 可溶性蛋白含量达到最高值; 可溶性糖含量呈现降低-升高-降低的变化趋势; 淀粉和脂肪含量均随层积逐渐减少。秋季层积 9 个月后, 淀粉含量降至最低。相比于 24%湿度, 16%湿度的春季、秋季、冬季层积 9 个月后, 脂肪含量均减少较多, 说明 16%湿度下种子代谢活动更强。春季和秋季的暖温更能促进种子代谢, 促进种子形态后熟。夏季温度过高, 导致种子生活力下降, 夏季层积处理 3 个月后, 种子已经发霉和腐烂。层积过程中, 种子内含物在相关酶的作用下, 降解为可溶性蛋白、可溶性糖等, 为种子萌发提供物质与能量。种子层积时间、温度和湿度及交互作用可作为种子内含物的调控因子。

关键词: 南方红豆杉; 种子; 湿度; 季节层积; 生理特性

doi: 10.11926/jtsb.4620

Effects of Simulated Seasonal Temperature Stratification on Physiological Changes of *Taxus chinensis* var. *mairei* Seeds

ZHOU Man, XU Yan, HU Zhi'e, DENG Kewei, LU Shunbao, ZHANG Yanjie*

(College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China)

Abstract: In order to understand the effects of temperature and humidity stratification on seed content of *Taxus chinensis* var. *mairei*, the seeds were treated under four seasons and two humidity (16% and 24%) stratifications for 12 months, and then the changes in soluble sugar, starch, soluble protein and fat of seeds were studied. The results showed that the contents of seed storage substances changed significantly under different stratification treatments. The soluble protein content reached the highest after stratification for 9 months in spring, and the soluble sugar content showed a trend of decreasing-increasing-decreasing. Starch and fat contents decreased gradually with stratification. The starch content decreased the lowest after stratification for 9 months in autumn. Compared with the 24% humidity, the fat content decreased in the spring, autumn and winter after stratification for 9 months under 16% humidity, indicating that the metabolic activity of seeds was stronger under 16% humidity. The warm temperature in spring and autumn could promote seed metabolism and post-ripening. High temperature in summer caused the decrease of seed viability. After summer stratification for 3 months, the seeds had become moldy and rotten. In the stratification process, seed contents were degraded into soluble proteins and soluble sugars under the action of related enzymes, which provide material and energy for

收稿日期: 2022-01-27 接受日期: 2022-03-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660072, 32260297); 江西省自然科学基金项目(20224ACB205003)资助

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 31660072, 32260297), and the Project for Natural Science in Jiangxi (Grant No. 20224ACB205003).

作者简介: 周曼(1996年生), 女, 硕士, 主要从事种子生物学研究。E-mail: 1561118296@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yanjiezhang0710@126.com

seed germination. Therefore, seed stratification time, temperature and humidity and their interactions could be used as regulators of seed contents.

Key words: *Taxus chinensis* var. *mairei*; Seeds; Humidity; Season stratification; Physiological property

南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*), 又名紫杉, 是红豆杉科(Taxaceae)红豆杉属植物, 因其含有重要抗癌功效的紫杉醇而倍受人们的关注^[1], 由于人们对紫杉醇需求量日益增加, 市场上有关紫杉醇项目逐渐成为开发热点, 使得南方红豆杉长期受到掠夺式砍伐, 导致现存自然资源很少^[2]。自然条件下, 南方红豆杉种子休眠性强且不易被打破, 无人干预条件下需经两冬一夏才能完成生理成熟过程, 天然更新能力差, 在长时间的休眠中大量种子丧失了活力, 造成种子萌发率低^[3]。将种子埋于湿沙置于较低温度进行层积处理, 能降低种子发芽抑制物和增加细胞分裂素, 进而有效地解除休眠。南方红豆杉种子因其休眠期长、自然萌发率低给野生资源的开发利用造成困难。因此, 开展南方红豆杉种子休眠机理的研究, 对其种质资源的开发及保护生物学具有重要意义。文献报道在红豆杉属植物种子的休眠机理做了一些工作, 如廖云娇等^[4]对东北红豆杉(*T. cuspidata*)的研究表明, 种子在变温层积处理下, 层积 6 个月后可促进种胚伸长, 且昼夜变温-冷温层积效果优于暖温-冷温和冷温-冷温层积。阎腾飞等^[5]在不同湿度下低温层积红豆杉(*T. wallichiana* var. *chinensis*)种子, 认为层积 2 个月对种子内含物的影响较大。陈发军等^[6]研究表明相对较低湿度更有利于南方红豆杉种子多糖成分的贮藏。尽管在南方红豆杉种子生理学方面做了一些研究, 但对休眠机理观点不一致, 缺乏在不同季节和湿度及其交互作用对红豆杉种子中贮藏物质的影响研究。本研究以南方红豆杉种子为试验对象, 旨在探究其在不同季节和不同湿度条件下层积过程中的生理特性变化规律, 以期进一步揭示南方红豆杉种子的休眠机理, 推动南方红豆杉的规模化培育。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试材料南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*)种子于 2016 年 12 月采自江西省九江市修水县。采集的种子经纯水浸泡, 搓洗除去假种皮, 自

然荫干后置于 4 °C 下保存。

1.2 方法

温度层积处理 在培养箱内将种子层积 12 个月(2017.5—2018.5), 光照强度为 54 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。温度设置参照修水县 1987—2016 年的温度数据分为春、夏、秋、冬 4 组, 昼温设置为每个季节的平均最高气温, 夜温设置为平均最低温度, 昼夜时间为 12 h:12 h。温度设置分别为春季 22.1 °C/12.7 °C、夏季 32.4 °C/23.5 °C、秋季 23.9 °C/14.3 °C 和冬季 11 °C/2.8 °C (由江西省气象局提供温度数据)。取约 600 粒种子于发芽盒(长×宽×高=19 cm×13 cm×12 cm)内, 种子和湿沙按 1:3 的体积比在发芽盒中均匀混合, 置于培养箱中进行层积处理, 每组处理 3 个重复。层积处理过程中全程保湿, 将发芽盒内水分含量控制在 16%和 24%, 基质含水量变化很小, 每月根据含水量进行 1 次定量补充。在种子层积过程中, 每间隔 3 个月采用随机抽样法, 每次取约 150 粒种子用于内含物测定。样品采集后置于-80 °C 低温保存。

指标测定 采用蒽酮比色法测定种子可溶性糖含量; 采用考马斯亮蓝 G-250 法测定种子可溶性蛋白含量; 采用蒽酮比色法测定淀粉含量; 采用索氏提取法测定种子脂肪含量^[7]。

1.3 数据的统计分析

采用 SPSS 17.0 软件进行数据分析, 采用 Sigma-plot 12.0 软件画图, 显著性差异水平为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果和分析

2.1 湿度和层积温度对种子可溶性蛋白含量的影响

从图 1 可见, 2 种湿度下, 种子经过不同季节温度层积 12 个月后, 种子可溶性蛋白含量呈现先上升后下降的变化趋势。种子蛋白含量在温度层积处理 3 个月都呈现出上升的趋势, 与层积前相比显著增加。在夏季温度层积 3 个月后, 种子腐烂现象严重, 后续数据缺失。16%湿度下, 春季、秋季、冬季层积处理 3~6 个月的种子蛋白含量缓慢上升, 而秋季层积处理 6 个月后开始下降。春季和冬季层积处理 9 个月的种子蛋白含量变化趋势较一致, 都呈

持续上升的趋势,并在层积 9 个月达到最高值,由层积前的 18.1 mg/g 分别增加到 48.8 和 43.7 mg/g,9 个月后呈现下降趋势(图 1: A)。

在 24%湿度下,春季、秋季、冬季层积处理 9 个月的种子可溶性蛋白含量变化趋势较一致,均持续上升,并在 9 个月达到最高值,由层积前的 18.1 mg/g 分别增加到 42.1、38.9、36.1 mg/g,层积 9 个月后呈下降趋势。16%湿度下春季和冬季层积

前 9 个月的种子可溶性蛋白含量比 24%湿度下升高。2 种湿度下春季层积 9 个月的种子可溶性蛋白含量最高(图 1: B)。

2.2 湿度和温度层积对种子可溶性糖含量的影响

在 16%和 24%湿度下,种子在 3 个季节层积(春、秋、冬)前 9 个月的可溶性糖含量变化趋势基本一致,均呈先增加后减少的趋势,在前 3 个月可溶性糖含量降低,3~6 个月增加,6 个月后又下降(图 2)。

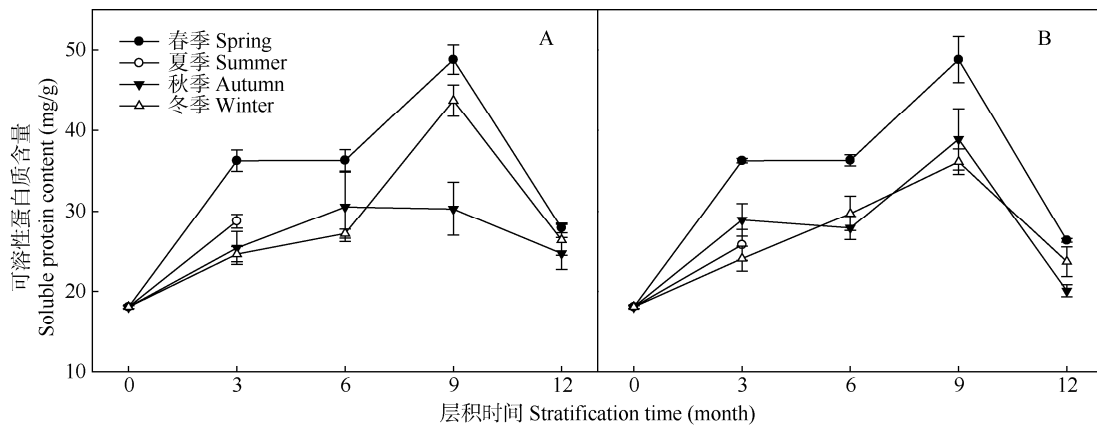


图 1 湿度和季节层积对种子可溶性蛋白含量的影响。A: 16%湿度; B: 24%湿度。

Fig. 1 Effects of humidity and season stratification on soluble protein content. A: 16% humidity; B: 24% humidity.

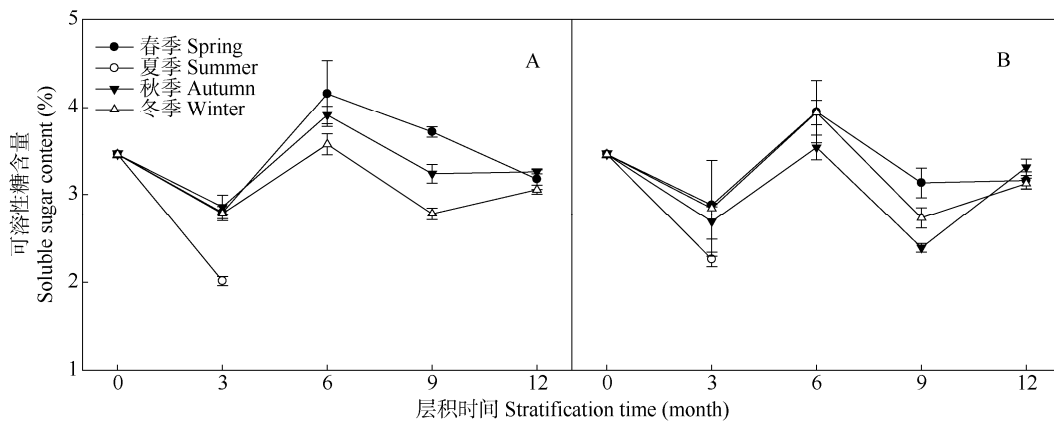


图 2 湿度和季节层积对可溶性糖含量的影响。A: 16%湿度; B: 24%湿度。

Fig. 2 Effects of humidity and season stratification on soluble sugar content. A: 16% humidity; B: 24% humidity.

2.3 湿度和温度层积对种子淀粉含量的影响

由图 3 可见,2 种湿度下种子经春、秋、冬季层积 12 个月,淀粉含量都降低。春、秋季层积 6 个月的种子淀粉含量变化趋势基本一致,均呈持续下降的趋势,冬季层积 3 个月含量下降,之后略有回升。春、秋、冬季层积 6~9 个月的淀粉含量显著下降($P<0.05$),16%湿度下层积 9 个月种子淀粉含量由层积前的 2.62%分别下降到 1.63%、1.37%、1.52%

(图 3: A); 24%湿度下分别下降到 1.39%、1.13%、1.35%。2 种湿度下秋季层积处理的种子淀粉含量降幅最为明显($P<0.05$, 图 3: B)。

2.4 湿度和温度层积对种子脂肪含量的影响

2 种湿度下种子经春、秋、冬季层积 12 个月,脂肪含量均有不同程度的降低。16%湿度下种子经春、秋、冬季层积 9 个月后,脂肪含量由层积前的 72.1%分别下降到 68.02%、68.48%、68.98%,且以 6~9 个

月的降幅最为显著(图 4: A); 24%湿度下春、秋季分别下降到 68.68%、68.67%, 冬季层积处理的差异不显著(图 4: B)。16%湿度下种子层积处理 6~9 个月种子脂肪含量降幅比 24%湿度大, 以秋季层积处理的最为显著($P<0.05$)。

2.5 相关性分析

不同层积处理与种子内含物的相关性分析表明(表 1), 层积湿度对种子内含物影响较小, 而层积时间对内含物影响更为明显($P<0.000$), 在不同湿度和温度交互作用下, 除对可溶性蛋白含量存在显著

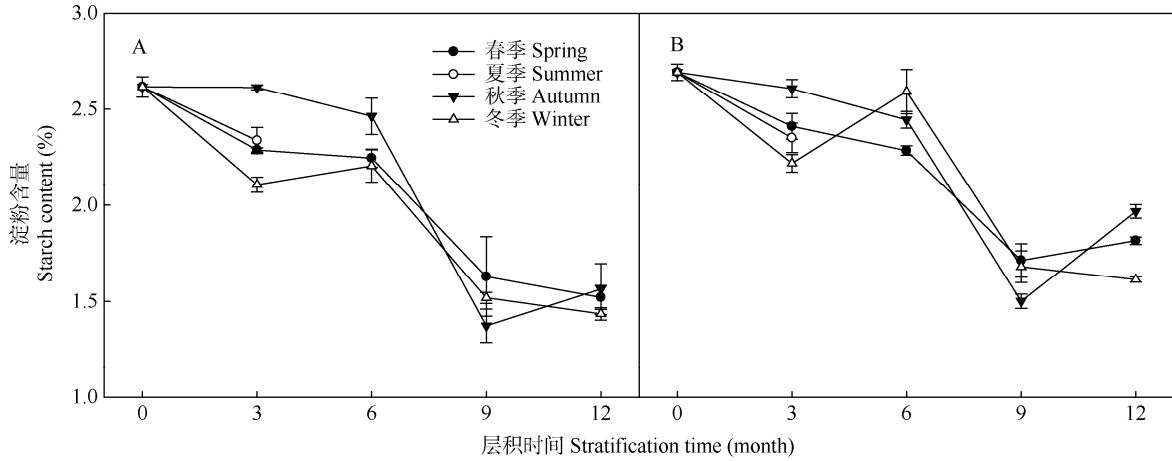


图 3 湿度和季节层积对淀粉含量的影响。A: 16%湿度; B: 24%湿度。

Fig. 3 Effects of humidity and season stratification on starch content. A: 16% humidity; B: 24% humidity.

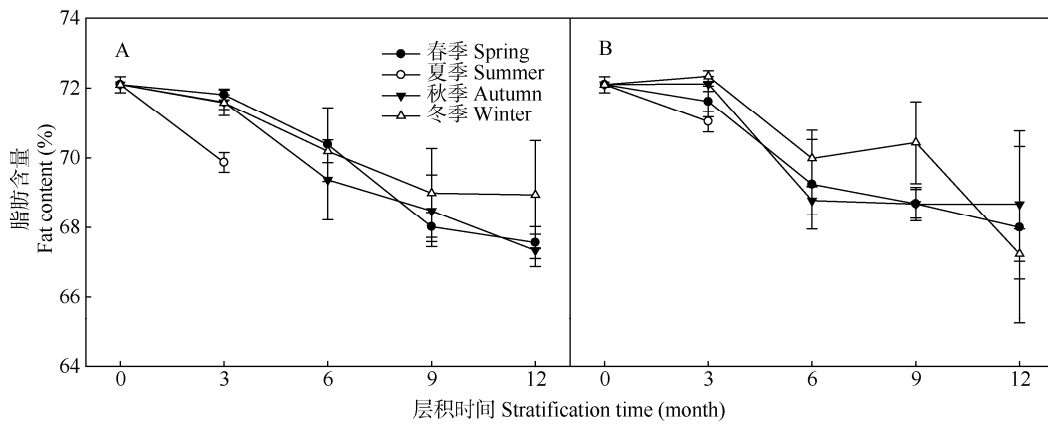


图 4 湿度和季节层积对脂肪含量的影响。A: 16%湿度; B: 24%湿度。

Fig. 4 Effects of humidity and season stratification on fat content. A: 16% humidity; B: 24% humidity.

表 1 层积处理与南方红豆杉种子内含物的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of fat content with stratification the content of *Taxus chinensis* var. *mariei* seeds

因子 Factor	可溶性蛋白 Soluble protein		可溶性糖 Soluble sugar		淀粉 Starch		脂肪 Fat	
	F	P	F	P	F	P	F	P
温度 Temperature (A)	25.257	0.000**	5.192	0.100	2.831	0.072	1.714	0.195
湿度 Humidity (B)	0.989	0.327	3.853	0.057	5.687	0.220	0.359	0.213
时间 Time (C)	45.906	0.000***	43.093	0.000***	271.934	0.000***	25.195	0.000***
A×C	2.394	0.069	1.435	0.242	11.005	0.000***	0.579	0.667
B×C	0.335	0.717	2.455	0.100	2.395	0.106	1.417	0.256
A×B	4.679	0.016*	3.124	0.056	1.847	0.172	0.556	0.578
A×B×C	3.198	0.024*	0.420	0.793	1.310	0.285	0.108	0.979

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ***: $P<0.001$; $n=12$

性影响外, 对其他内含物均无显著性影响。在层积过程中, 种子可溶性蛋白质含量累积较多, 而其它内含物用于种子代谢及其形态后熟。因此, 层积处理是种子内含物的重要调控过程。

3 结论和讨论

大多数参与植物体内代谢的酶都是蛋白质, 其含量在很大程度上反映其代谢状况^[8]。种子的可溶性蛋白质含量增加反映胚生命活动不断增强^[9]。Lewak^[10]认为苹果(*Malus domestica*)种子休眠期间蛋白水解活性显著提高是由于某些特定的蛋白酶引起的。本研究结果表明, 2种湿度下, 南方红豆杉种子在4个季节层积处理3个月, 其可溶性蛋白含量均显著增加, 可能是此时种子代谢活动不强, 呼吸作用较弱, 可溶性蛋白消耗速度较慢^[11]。南方红豆杉种子在夏季层积3个月, 由于受高温影响, 导致种子发生霉烂, 发芽指数大幅降低, 种子活力下降^[12]。16%湿度下春季、秋季、冬季层积处理3~6个月, 种子的可溶性蛋白积累速度有所减缓。24%湿度下春季、秋季层积处理3~6个月的种子可溶性蛋白含量减少, 其原因可能是种胚生长发育消耗可溶性蛋白或部分蛋白分解转化为糖类所致^[8]。16%湿度下春季和冬季层积6~9个月, 以及24%湿度下春季、秋季、冬季层积处理的种子可溶性蛋白持续累积, 在9个月达极大值, 说明种子休眠解除种胚基本完成生长, 此时, 蛋白质开始积累, 种子代谢活动增强^[13]。16%湿度下春季和冬季层积9个月的种子可溶性蛋白积累比24%湿度下的更多。2种湿度下, 春季和冬季层积9个月时的种子可溶性蛋白含量最高, 说明种子在春季和冬季层积过程中, 16%湿度更能促进种子代谢。2种湿度下春季层积9个月的种子可溶性蛋白积累量最多, 说明春季更能促进种子可溶性蛋白积累。

种子中可溶性糖是呼吸代谢底物, 来源主要是种胚和胚乳现存的可溶性糖, 以及淀粉水解和脂肪的降解^[14]。淀粉作为植物体内重要的代谢物质, 可以通过淀粉酶水解为葡萄糖, 为种子萌发提供能量^[15]。本研究表明, 2种湿度下, 南方红豆杉种子在不同季节层积3个月的可溶性糖含量快速降低, 淀粉和脂肪含量变化不大, 可能是种胚生长发育消耗的可溶性糖大于淀粉和脂肪转化的量, 导致可溶性糖含量降低^[16]。春季、秋季、冬季层积3~6个月

的种子可溶性糖含量持续上升, 并在层积6个月时达到最高; 春季和秋季层积处理的种子淀粉含量持续减少, 说明此时种子代谢活动加强, 虽然种子呼吸消耗量有所增加, 但淀粉及其它内含物转化生成可溶性糖的速率更快^[17-18]。层积6~9个月种子可溶性糖含量减少, 可溶性蛋白质含量上升, 代谢活动增强, 说明这个阶段种胚大致完成生长, 需要消耗大量的能量。2种湿度下, 春季、秋季、冬季层积6~9个月的种子淀粉含量急剧下降, 说明种子代谢活动加强, 淀粉酶活性增加, 导致淀粉水解速度加快^[19]。2种湿度下秋季层积的种子淀粉含量减少最多, 说明秋季层积处理更能促进种子中淀粉的分解。

有研究表明, 未层积处理的南方红豆杉种子的脂肪含量较高, 脂肪主要通过酶解和糖异生作用转化为糖用于种子的萌发, 说明脂肪是红豆杉种子中主要的储藏物质^[20-21]。黄儒珠等^[22]认为红豆杉种子中脂肪会降解为可溶性小分子物质或糖类, 用于胚的呼吸, 为胚的生长发育提供养料。2种湿度下, 春季、秋季、冬季层积9个月的种子脂肪含量均减少, 说明在层积过程中脂肪转化为其他物质。南方红豆杉种子层积处理3个月, 脂肪含量均减少^[23]。南方红豆杉种子层积处理3~6个月脂肪和淀粉含量下降, 可溶性糖含量上升明显, 说明脂肪可转变为可供种胚直接利用的可溶性糖, 为种胚生长提供物质基础^[24-25]。2种湿度下的春季和秋季层积6~9个月的种子脂肪含量下降, 可溶性蛋白含量持续升高并在9个月时达到最高, 说明种子休眠解除种胚完成生长, 脂肪和蛋白质继续降解转化, 分解成糖类和可溶性蛋白用于种子的萌发^[23]。2种湿度下, 春季和秋季层积处理的南方红豆杉种子脂肪含量持续下降。16%湿度下春季、秋季、冬季层积6~9个月的种子脂肪含量均快速下降, 而24%湿度下冬季层积处理的种子脂肪含量略有增加, 说明16%湿度更能促进红豆杉种子脂肪的转化, 种子代谢活动更强。

南方红豆杉种子在16%和24%湿度下进行不同季节层积, 夏季温度过高导致种子发生霉烂从而丧失生命力; 春季、秋季、冬季层积处理的种子脂肪含量在16%湿度下比24%湿度下降的更多, 表明16%湿度下种子代谢活动更强。春季层积处理的种子可溶性蛋白积累最多, 秋季温度层积的淀粉含量、脂肪含量下降最多, 说明春季、秋季的温度更能促进种子代谢及其形态后熟。

参考文献

- [1] SU J, SHI H X, WANG L J, et al. Chemical constituents of bark of *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. *J Chin Med Mat*, 2014, 37(2): 243–251. [苏建, 史红星, 王丽军, 等. 南方红豆杉树皮的化学成分研究 [J]. *中药材*, 2014, 37(2): 243–251. doi: 10.13863/j.issn1001-4454.2014.02.022.]
- [2] LI Z P, SHI Q W. Studies on the chemical constituents of the bark of *Taxus mairei* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 2000, 31(7): 490–492. [李作平, 史清文. 美丽红豆杉化学成分的研究 [J]. *中草药*, 2000, 31(7): 490–492. doi: 10.3321/j.issn:0253-2670.2000.07.003.]
- [3] BIAN F Y. Studies on seed maturation, germination and dormancy mechanism of *Taxus yunnanensis* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2015. [卞方圆. 云南红豆杉种子成熟、萌发与休眠机理的研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.]
- [4] LIAO Y J, LI X, DONG X H. Effect of different temperature stratifications on physiological and biochemical characteristic and seed embryos development of *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc. [J]. *J Chin Agric Univ*, 2010, 15(1): 39–44. [廖云娇, 李雪, 董学会. 不同变温层积过程中东北红豆杉种子生理生化特性和胚形态的变化 [J]. *中国农业大学学报*, 2010, 15(1): 39–44.]
- [5] YAN T F, LI W Y, SUN Y Q. Study of physiological and biochemical characteristics changes of *Taxus wallichiana* var. *chinensis* seeds under different humidity condition [J]. *For Sci Technol*, 2020(1): 35–38. [阎腾飞, 李文扬, 孙耀清. 不同湿度条件下红豆杉种子生理生化特性变化规律研究 [J]. *林业科技通讯*, 2020(1): 35–38. doi: 10.13456/j.cnki.lykt.2018.09.25.0001.]
- [6] CHEN F J, ZHANG C C, YU Y, et al. Dynamic change of polysaccharide content in south Chinese yew under storage conditions of different humidity [J]. *Mod Chin Med*, 2016, 18(6): 772–775. [陈发军, 张春椿, 余杨, 等. 不同湿度贮藏条件下南方红豆杉多糖含量动态变化的研究 [J]. *中国现代中药*, 2016, 18(6): 772–775. doi: 10.13313/j.issn.1673-4890.2016.6.018.]
- [7] YE S H. Experimental Course of Plant Physiology and Biochemistry [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2004: 48–79. [叶尚红. 植物生理生化实验教程 [M]. 昆明: 云南科技出版, 2004: 48–79.]
- [8] ZHANG Y J. Studies on seed dormancy mechanism of *Taxus chinensis* var. *mairei* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2007: 1–13. [张艳杰. 南方红豆杉种子休眠机理的研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2007: 1–13.]
- [9] ZHANG Q, LI L Y, SUN N X. Study on the change of physiology and biochemistry during process of *Artemisia annua* seed germination [J]. *Seed*, 2011, 30(3): 10–13. [张青, 李隆云, 孙年喜. 青蒿种子萌发过程中生理生化变化的研究 [J]. *种子*, 2011, 30(3): 10–13. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2011.03.003.]
- [10] LEWAK S. Metabolic control of embryonic dormancy in apple seed: Seven decades of research [J]. *Acta Physiol Plant*, 2011, 33(1): 1–24. doi: 10.3969/j.issn.1673-4505.2017.02.037.
- [11] ZHANG G W. Changes of storage substances and endogenous hormones during seed stratification of *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc. [J]. *For Invest Des*, 2017(2): 88–89. [张公伟. 东北红豆杉种子低温层积过程中贮藏物质及内源激素的变化 [J]. *林业勘察设计*, 2017(2): 88–89.]
- [12] XU H T, WANG B G, LIU H C, et al. Effects of high temperature on seed germination, physiological characteristics and seed quality of summer maize [J]. *Hunan Agric Sci*, 2019(1): 15–18. [许海涛, 王斌功, 刘海潮, 等. 高温对夏玉米种子萌发、生理特性及籽粒品质的影响 [J]. *湖南农业科学*, 2019(1): 15–18. doi: 10.16498/j.cnki.hnykx.2019.001.005.]
- [13] YANG X L, GUO S H, ZHANG J W, et al. Effects of stratification and hormone treatments on physiological and biochemical indexes of hawthorn seed [J]. *Nonwood For Res*, 2009, 27(1): 76–79. [杨晓玲, 郭守华, 张建文, 等. 层积和激素处理对山楂种子生理生化的影响 [J]. *经济林研究*, 2009, 27(1): 76–79. doi: 10.3969/j.issn.1003-8981.2009.01.017.]
- [14] SHARMA S, GAMBHIR S, MUNSHI S K. Changes in lipid and carbohydrate composition of germinating soybean seeds under different storage conditions [J]. *Asian J Plant Sci*, 2007, 6(3): 502–507. doi: 10.3923/ajps.2007.502.507.
- [15] DAI P. Studies on seed germination physiological characteristics and methods to break dormancy of *Cornus wilsoniana* Wangerin [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2011. [戴萍. 光皮树种子萌发的生理特性及破眠技术研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2011.]
- [16] LI G, TANG L, WANG Y F, et al. Effect of different stratification treatment on physiological characteristics of *Paris polyphylla* Smith var. *yunnanensis* seed [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2015, 31(7): 149–153. [李戈, 唐玲, 王艳芳, 等. 不同层积条件下滇重楼种子的生理变化 [J]. *中国农学通报*, 2015, 31(7): 149–153.]
- [17] LIU W Y, YANG H W, WEI X H, et al. Effects of exogenous nitric oxide on seed germination, physiological characteristics and active oxygen metabolism of *Medicago truncatula* under NaCl stress [J]. *Acta Pratac Sin*, 2015, 24(2): 85–95. [刘文瑜, 杨宏伟, 魏小红, 等. 外源 NO 调控盐胁迫下紫萼苜蓿种子萌发生理特性及抗氧化酶的研究 [J]. *草业学报*, 2015, 24(2): 85–95. doi: 10.11686/cyxb20150211.]
- [18] WEI X L, ZHOU X D. Effect of different storage condition on seed physiology and chemistry character and germination of *Jatropha curcas* [J]. *Seed*, 2011, 30(2): 33–37. [韦小丽, 周晓东. 不同贮藏条

- 件对麻疯树种子生理生化和萌发的影响 [J]. 种子, 2011, 30(2): 33–37. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2011.02.009.]
- [19] SI Q Q. Study on dormancy characteristics and germination physiology of *Cephalotaxus sinensis* seeds [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017. [司倩倩. 粗榧种子休眠特性及萌发生理研究 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.]
- [20] YUAN W W, TAN X L, ZHOU J, et al. Dynamic change of lipases activity during post-germinative growth and seed development in *Brassica napus* [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2010, 26(3): 482–486. [袁伟伟, 谭小力, 周佳, 等. 油菜种子萌发期和形成期脂肪酶活性的动态变化 [J]. 江苏农业学报, 2010, 26(3): 482–486. doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2010.03.006.]
- [21] MIYOSHI K, SATO T. The effects of kinetin and gibberellin on the germination of dehusked seeds of Indica and Japonica rice (*Oryza sativa* L.) under anaerobic and aerobic conditions [J]. Ann Bot, 1997, 80(4): 479–483. doi: 10.1006/anbo.1997.0470
- [22] HUANG R Z, GUO X Q, FANG X T, et al. Effect of cold-warm-cold stratification treatment on physiological and biochemical characteristics of *Taxus chinensis* var. *mairei* seeds [J]. J Fujian Nor Univ (Nat Sci), 2006, 22(2): 95–98. [黄儒珠, 郭祥泉, 方兴添, 等. 变温层积处理对南方红豆杉种子生理生化特性的影响 [J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2006, 22(2): 95–98. doi: 10.3969/j.issn.1000-5277.2006.02.022.]
- [23] LI Q Q, YU H L, ZHOU F X, et al. Physiological and biochemical characteristics of *Taxus chinensis* var. *mairei* seeds in dormancy releasing process [J]. Guizhou Agric Sci, 2012, 40(6): 26–30. [李秋琦, 于海莲, 周凤娴, 等. 南方红豆杉种子休眠解除过程中的生理生化特性 [J]. 贵州农业科学, 2012, 40(6): 26–30. doi: 10.3969/j.issn.1001-3601.2012.06.008.]
- [24] BAO J P, ZHANG S L. Changes in germination, storage materials and antioxidant enzyme activities in pear (*Pyrus betulaefolia* Bge. and *Pyrus calleryana* Dcne.) stock seeds during cold stratification [J]. Seed Sci Technol, 2011, 39(3): 655–659. doi: 10.15258/sst.2011.39.3.12.
- [25] TIAN B Q, XIE B J, SHI J, et al. Physicochemical changes of oat seeds during germination [J]. Food Chem, 2010, 119(3): 1195–1200. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.08.035.