

果实成熟度和贮藏条件对枇杷种子无菌萌发的影响

李坤坤, 徐昌杰*

(浙江大学农业与生物技术学院园艺系, 杭州 310058)

摘要: 为探讨影响枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl.)种子萌发的因素, 将种子播种于 1/2MS 培养基 80 d, 研究了成熟度和贮藏条件对枇杷种子萌发的影响。结果表明, ‘软条白沙’、‘宁海白’、‘塘科白沙’和‘大红袍’转色期和完熟期采收的种子的萌发率和苗高无显著差异; 而‘大房’完熟期采收种子的萌发率较高。‘洛阳青’枇杷果实或种子经 4℃贮藏 5 d 和 10 d, 萌发率和苗高与未贮藏种子的无显著差异, 而贮藏期达 20 d 或更长时, 贮藏种子的萌发率和苗高显著下降。在不同温度下贮藏的枇杷种子萌发率和苗高存在差异, ‘早钟 6 号’和‘太平白’枇杷在 15℃和 4℃的优于 25℃的, 但适宜贮藏时间分别不超过 15 d 和 30 d。因此, 在转色期采收果实以及适度贮藏果实或种子可以保持枇杷种子的萌发能力。

关键词: 枇杷; 种子; 萌发; 贮藏; 温度

doi: 10.11926/jtsb.3729

Effects of Fruit Maturity and Storage Conditions on Aseptic Germination of Loquat Seeds

LI Kun-kun, XU Chang-jie*

(Department of Horticulture, College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: In order to understand the influence factors on germination of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) seeds, the seeds were sown on 1/2MS medium for 80 days, the effects of fruit maturity and storage conditions on aseptic germination of seeds were studied. The results showed that germination rate and seedling height had no significant difference for seeds collected at color turning stage or full mature stage for ‘Ruantiaobaisha’, ‘Ninghaibai’, ‘Tangkebaisha’ and ‘Dahongpao’, while germination rate of ‘Oobusa’ seeds collected at full maturity stage were high. The seed germination rate and seedling height of ‘Luoyangqing’ stored under 4℃ for 5 d or 10 d had no significant changes, however, which significantly decreased when the seeds were stored for 20 d or more. The germination rates and seedling heights also varied greatly under different storage temperatures, those of ‘Zaozhong 6’ and ‘Taipingbai’ stored under 15℃ or 4℃ were higher than those under 25℃, and the suitable storage time was no more than 15 d and 30 d, respectively. Therefore, it would maintain the germination ability of loquat seeds by harvesting fruits at color turning stage and appropriate storage.

Key words: Loquat; Seed; Germination; Storage; Temperature

对于多年生植物, 直接从田间植株或幼苗上切取外植体进行离体再生和遗传转化研究时, 存在消毒困难和褐化严重等问题, 因而, 常从种子萌发的无菌苗上切取组织作为离体再生的外植体^[1], 这就

使得离体再生和遗传转化研究常受制于具萌发能力种子的有效供应。

种子萌发受多种因素影响, 包括成熟度和植物激素等内在因素以及温度、湿度等外界因素^[2-3]。

收稿日期: 2017-02-14

接受日期: 2017-05-16

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20120101110069)资助

This work was supported by the Special Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education of China (Grant No. 20120101110069).

作者简介: 李坤坤, 女, 在读硕士生。E-mail: 21416050@zju.edu.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: chjxu@zju.edu.cn

前人研究表明, 种子成熟程度影响种子萌发, 过早采收果实可导致种子发芽不良, 这在一年生作物上尤为明显^[4-6]。但接近完熟果实中的种子具有正常萌芽能力, 如一年生作物水稻(*Oryza sativa*)^[4]和玉米(*Zea mays*)^[5]及木本植物青皮(*Vatica mangachapoi*)^[7]、毛叶山桐子(*Idesia polycarpa*)^[8]和桃(*Amygdalus persica*)^[9]。

根据贮藏性能的不同, 种子分为正常性种子、顽拗性种子和中间性种子, 其中顽拗性种子常不耐长期贮藏^[2,10]。温度、湿度和贮藏时间等外界因素对顽拗性种子活力和寿命的影响较大^[2], 如银杏(*Ginkgo biloba*)种子的最适贮藏温度为4℃^[11]; 坡垒(*Hopea hainanensis*)的为15℃~20℃^[12]。

枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl.)是我国南方重要果树, 开展枇杷离体再生和遗传转化研究具有重要意义。前人对枇杷种子萌发曾有研究, ‘解放钟’枇杷种子不耐贮藏, 对脱水敏感, 在15℃和种子含水量保持51%的条件下贮藏才能维持较佳的种子活力^[13], 因此, 枇杷属于顽拗性种子^[13-14]。‘解放钟’和‘Advance’枇杷具有轻度休眠特性, 适度低温、GA₃处理或低温结合GA₃处理可提高种子萌发率^[15-16]。对枇杷种子萌发研究尚不系统, 所涉及的品种有限。转色期采收的枇杷果实的种子萌发能力、适宜贮藏温度和贮藏期在品种间是否存在差异、果实贮藏和种子贮藏在维持种子活力上是否不同等问题均有待研究。

本研究旨在探究枇杷果实采收成熟度和贮藏条件对种子萌发的影响, 以明确果实于转色期提前采收以及果实采收后通过果实或种子贮藏延长具萌发能力的种子供应期的可行性。

1 材料和方法

1.1 材料和处理

枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl.)的3个白肉品种(‘软条白沙’、‘宁海白’、‘塘科’)和2个红肉品种(‘大房’、‘大红袍’)的转色期和完熟期果实取自浙江省农业科学院枇杷种质资源圃。另1个白肉品种(‘太平白’)和另2个红肉品种(‘洛阳青’、‘早钟6号’)完熟期果实分别采自浙江省台州市、福建省福清市和浙江省丽水市产区。

‘洛阳青’枇杷完熟期果实或种子于4℃下分别贮藏0 d、5 d、10 d、20 d、30 d、40 d后取种子播种。‘早钟6号’和‘太平白’完熟期果实的种子分别于

4℃、15℃、25℃下贮藏0 d、15 d、30 d、45 d后播种。

以未贮藏的种子为对照, 每处理设置3个生物学重复, 以15粒种子为1个重复。

1.2 播种与培养

枇杷种子从果实中取出用流水冲洗2 h, 然后用75%乙醇消毒30 s, 无菌水冲洗, 再用2% NaClO溶液消毒10 min, 无菌水冲洗3~5次, 用无菌滤纸吸干表面水分后置于1/2MS培养基上, 于24℃黑暗条件下培养15 d, 再转入16 h/8 h光/暗周期下培养。播种后每隔10 d统计萌发率和苗高。未萌发的种子不参与苗高统计。

1.3 数据处理和分析

使用Excel和SPSS软件对种子萌发率和苗高进行方差分析和多重比较。

2 结果和分析

2.1 果实成熟度对种子萌发的影响

萌发试验结果表明, ‘软条白沙’和‘宁海白’完熟期果实的种子在播后10 d萌发, 而‘塘科白沙’和‘大房’完熟期果实的种子在播后20 d萌发, 均比转色期果实的种子提前10 d萌发, 但‘大红袍’则是转色期果实的种子先萌发, 也提前10 d(图1)。除‘大房’外, ‘软条白沙’、‘宁海白’、‘塘科’和‘大红袍’播种80 d的种子萌发率并不受果实成熟度的影响(图1)。在苗高方面, ‘软条白沙’完熟期果实的种子萌发后的苗高显著高于转色期果实的(高43.3%), 而其余4个品种完熟期和转色期果实的种子在播后80 d的苗高无显著差异(表1)。

2.2 贮藏方式对种子萌发的影响

将‘洛阳青’枇杷种子或果实在4℃下贮藏5 d或10 d对种子萌发无不利影响, 播后80 d的萌发率和苗高略高于或接近未贮藏的种子, 且果实贮藏的种子有提前萌发(提前10 d)的效应。但贮藏期大于20 d, 贮藏的种子在播后80 d的萌发率显著下降(仅约为10%), 特别是果实贮藏40 d后的种子播后80 d全部没有萌发; 贮藏40 d后的种子播后80 d虽有9.5%的萌发率, 但苗高显著低于未贮藏的种子(图2, 表2)。

2.3 贮藏温度对种子萌发的影响

以‘早钟 6 号’和‘太平白’枇杷为试材,研究了不同贮藏时间和温度对种子萌发率和苗高的影响(表 3)。“早钟 6 号”种子在 4℃或 15℃贮藏 15 d 对种子

萌发没有明显影响;而 25℃贮藏则不利于种子萌发,播后 80 d 的种子萌发率比对照降低了近 1/3。‘早钟 6 号’种子贮藏 30 d 的萌发率显著下降,随贮藏温度升高萌发率下降幅度更大,如 25℃贮藏 30 d

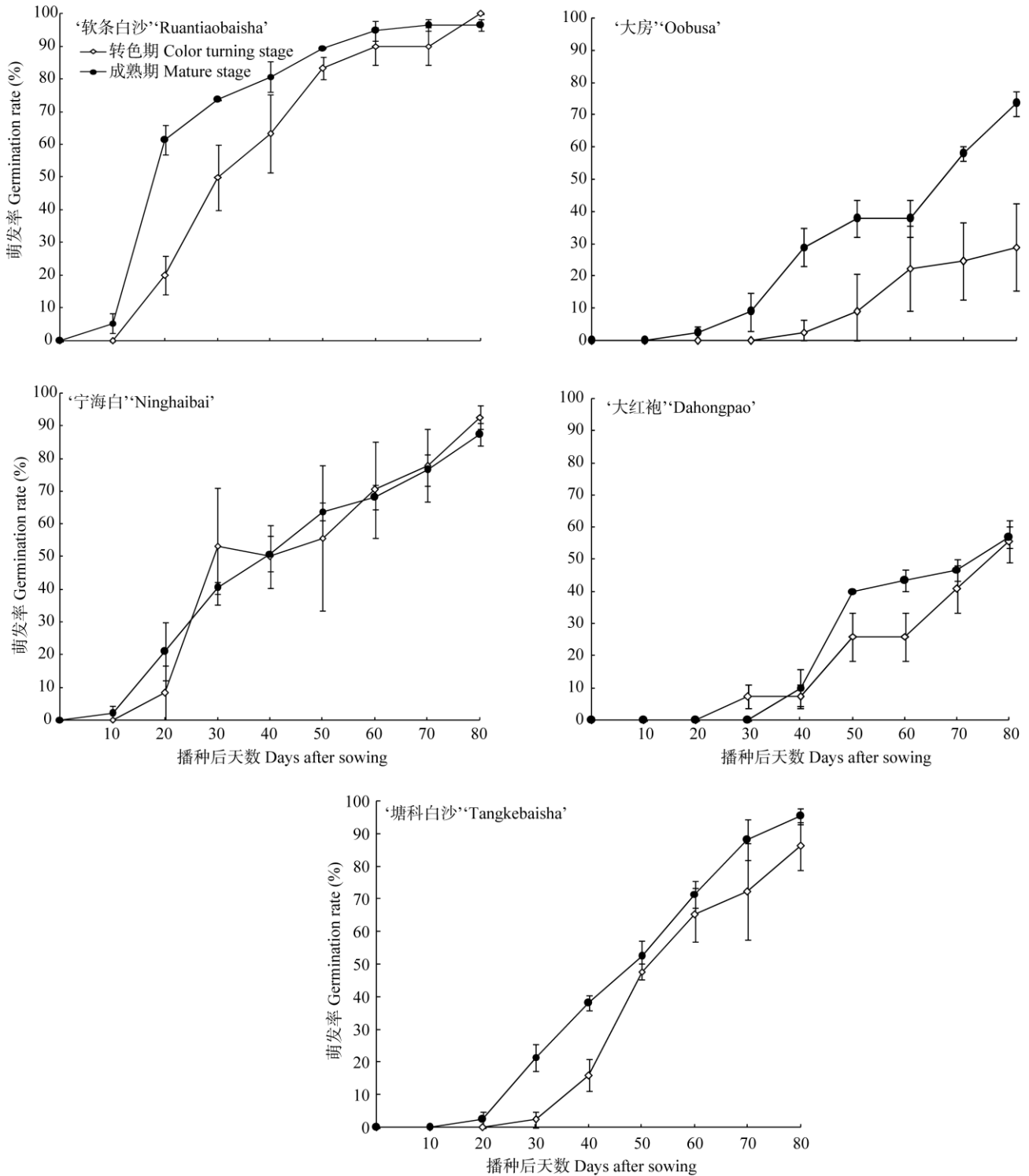


图 1 果实成熟度对枇杷种子萌发率的影响

Fig. 1 Effect of fruit maturity on germination rate of loquat seeds

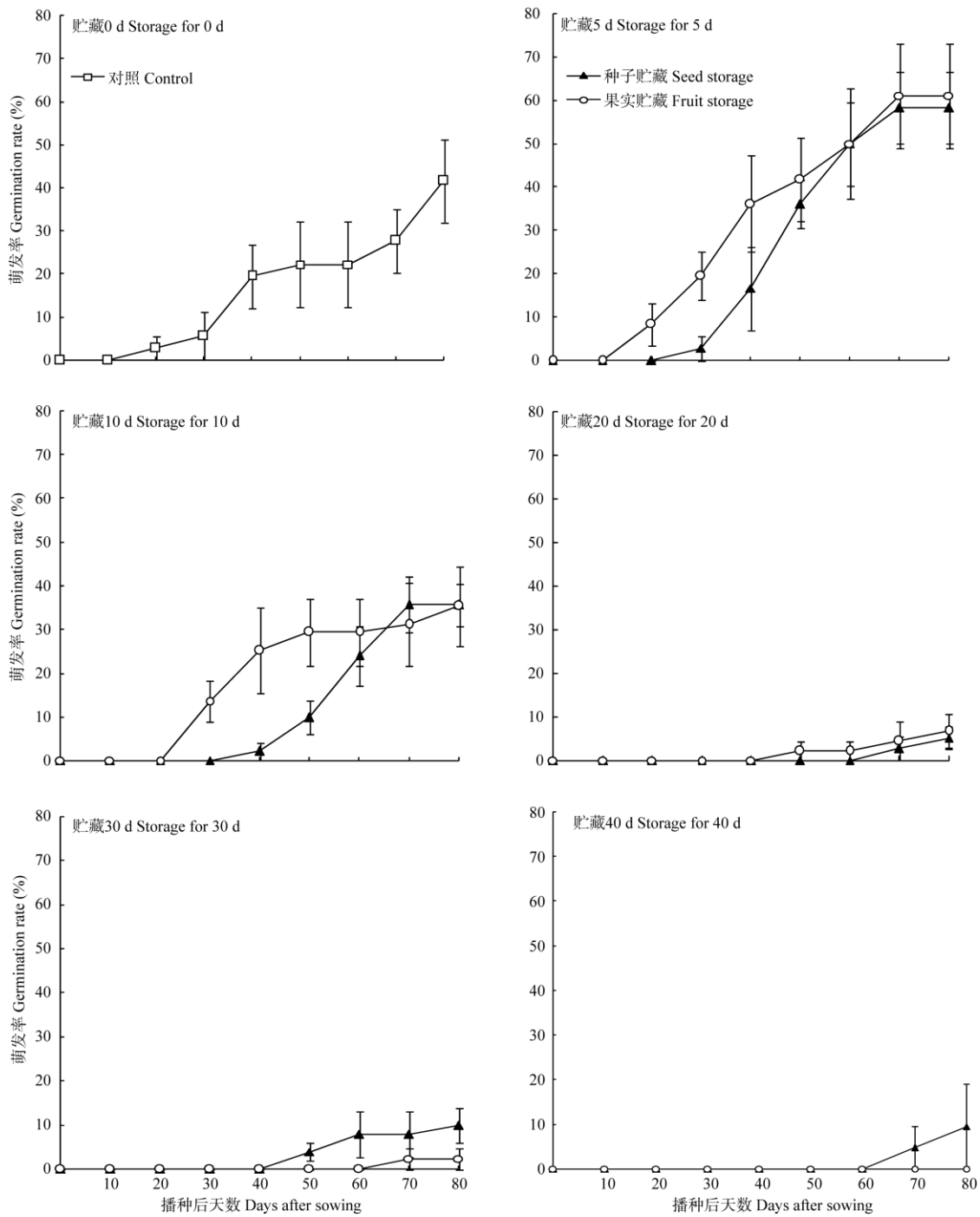


图 2 4°C 下贮藏天数对‘洛阳青’枇杷种子萌发率的影响

Fig. 2 Effects of storage days under 4°C on germination rate of ‘Luoyangqing’ seeds

表 1 果实成熟度对播种 80 d 枇杷苗高(cm)的影响

Table 1 Effect of fruit maturity on seedling height (cm) of loquat after sowing 80 days

	‘软条白沙’ ‘Ruantiaobaisha’	‘宁海白’ ‘Ninghaibai’	‘塘科白沙’ ‘Tangkebaisha’	‘大房’ ‘Oobusa’	‘大红袍’ ‘Dahongpao’
转色期 Color turning stage	6.0 ± 0.6 ^b	3.5 ± 0.8 ^a	5.9 ± 0.4 ^a	4.3 ± 0.7 ^a	2.6 ± 0.3 ^a
成熟期 Mature stage	8.6 ± 0.5 ^a	5.2 ± 0.6 ^a	5.5 ± 0.7 ^a	1.9 ± 0.7 ^a	3.5 ± 1.1 ^a

数据后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。

Data followed different letters indicate significant difference at 0.05 level. The same is following Tables.

表 2 4℃下贮藏天数对‘洛阳青’枇杷种子播种 80 d 后苗高(cm)的影响

Table 2 Effects of storage days under 4°C on seedling height (cm) of ‘Luoyangqing’ seeds after sowing 80 days

	贮藏时间 Storage days					
	0	5	10	20	30	40
果实贮藏 Fruit storage	2.8 ± 0.7 ^{cde}	3.8 ± 0.4 ^{bc}	5.0 ± 0.5 ^{ab}	4.5 ± 0.4 ^{abc}	3.0 ± 1.1 ^{cd}	0.0 ± 0.0 ^e
种子贮藏 Seed storage	2.8 ± 0.7 ^{cde}	4.1 ± 0.9 ^{abc}	5.7 ± 0.3 ^a	3.2 ± 1.1 ^{bc}	2.9 ± 0.3 ^{cde}	1.1 ± 0.2 ^e

表 3 贮藏温度对播种 80 d 种子萌发率和苗高的影响

Table 3 Effect of storage temperature on germination rate and seedling height of loquat after sowing 80 days

品种 Cultivar	时间 Day	温度 Temperature (°C)	萌发率 Germination rate (%)	苗高 Height (cm)
‘早钟 6 号’ ‘Zaozhong 6’	对照 Control		82.4 ± 13.6 ^a	5.3 ± 0.3 ^b
	15	4	76.7 ± 6.7 ^a	6.2 ± 1.2 ^{ab}
		15	82.1 ± 9.0 ^a	5.6 ± 0.4 ^{ab}
		25	51.0 ± 5.0 ^b	4.1 ± 0.8 ^{bc}
		4	50.9 ± 12.5 ^{bc}	5.4 ± 0.7 ^{ab}
	30	4	29.0 ± 2.4 ^{cd}	7.7 ± 0.7 ^a
		15	13.9 ± 7.4 ^{de}	2.7 ± 1.8 ^c
		25	0.0 ± 0.0 ^e	0.0 ± 0.0 ^d
	45	4	0.0 ± 0.0 ^e	0.0 ± 0.0 ^d
		15	0.0 ± 0.0 ^e	0.0 ± 0.0 ^d
		25	0.0 ± 0.0 ^e	0.0 ± 0.0 ^d
		对照 Control		94.4 ± 5.6 ^a
15		4	83.3 ± 8.8 ^{ab}	5.9 ± 1.0 ^{ab}
	15	100.0 ± 0.0 ^a	7.0 ± 0.1 ^a	
	25	80.0 ± 15.3 ^{abc}	5.3 ± 0.5 ^{abc}	
	4	50.0 ± 15.3 ^{cd}	5.4 ± 0.7 ^{abc}	
30	4	90.2 ± 9.1 ^a	5.4 ± 0.2 ^{abc}	
	15	46.7 ± 3.3 ^d	3.7 ± 0.7 ^{cd}	
	25	46.7 ± 12.0 ^d	4.3 ± 0.3 ^{bcd}	
45	4	56.7 ± 12.0 ^{bcd}	3.2 ± 0.7 ^d	
	15	41.9 ± 10.3 ^d	6.1 ± 1.2 ^{ab}	
	25			

后的种子在播后 80 d 的萌发率仅为 13.9%，只为对照的 1/6；种子经 25℃贮藏 30 d 后再播种，在播后 80 d 的苗高也显著下降；‘早钟 6 号’种子贮藏 45 d 完全丧失萌发能力(表 3)。贮藏对种子萌发的不利效应也在‘太平白’枇杷上观察到，但相比‘早钟 6 号’，这一效应相对较弱，在 3 个温度下贮藏 45 d 仍能维持约 50%的萌发率(表 3)。不同温度对‘太平白’萌发的影响存在差异，在 15℃下贮藏 30 d 的种子在播后 80 d 的萌发率和苗高与对照相近，但在 4℃和 25℃贮藏的种子萌发率显著下降(约下降 50%)。因此，为保持一定的种子活力，‘早钟 6 号’种子贮藏时间不宜超过 15 d，‘太平白’种子贮藏时间不宜超过 30 d。

3 讨论和结论

种子发育需要果实提供营养，因此，过早将种子从果实中取出会导致种子发育不良而影响萌发，但这并不意味着果实必须要达到完全成熟。近成熟的青皮果实与成熟果实的种子在萌发特征和幼苗

生长方面不存在显著差异^[7]；中熟桃品种的果实达八、九成熟时种子发芽率可达 100%^[9]。毛叶山桐子 (*Idesia polycarpa*) 未完全成熟的深红色果实比完全成熟的黑褐色果实中的种子具有更高的发芽率^[8]。本研究结果表明，多数试验枇杷品种，可提早至转色期采收果实而获取同等萌发能力的种子，但‘大房’枇杷完全成熟果实中的种子具有较高的萌发率，‘大房’原产于日本，品种间的这种差异是否与品种的起源地有关值得探究。

枇杷属于顽拗性种子^[13-14]。顽拗性种子的特点是不耐脱水，其中热带植物的种子还大多对低温敏感，而温带植物的种子则相对较不敏感^[2,14]。本研究采取了种子或果实保湿贮藏的措施避免了种子脱水，但较长时间的贮藏仍然影响种子的萌发能力，这与顽拗性种子易丧失活力，寿命通常只有数月的结论相符^[13-14]。贮藏温度影响枇杷种子活力的保持，然而，供试的 2 个枇杷品种种子对低温(4℃或 15℃)并不敏感，相反‘早钟 6 号’并不适于常温(25℃)贮藏(表 3)。陈俊松等^[13]以‘解放钟’枇杷为试材，认

为 15℃ 是最佳贮藏温度, 而 5℃ 和 25℃ 均不理想。因此, 15℃ 可作为枇杷种子贮藏的首选试验温度, 但品种间存在较大差异。关于白肉类和红肉类枇杷是否普遍存在最佳贮藏温度差异现象, 仍需进一步的探究。

顽拗性种子大多没有休眠特性, 但也有一些种类有^[14]。本研究供试的 8 个品种中有 5 个品种(‘软条白沙’、‘宁海白’、‘塘科白沙’、‘太平白’和‘早钟 6 号’)的种子随采随播可以获得 80% 以上的萌发率, 而另 3 个品种(‘大房’、‘大红袍’和‘洛阳青’)则只有 40%~80%。‘洛阳青’在 4℃ 贮藏 5 d 或 10 d 有助于种子萌发, 但 4℃ 贮藏 15 d 对‘早钟 6 号’和‘太平白’的萌发率影响不大。‘Advance’枇杷(埃及品种)经 5℃ 低温处理 3 周或于 250 mg L⁻¹ GA₃ 浸泡 20 h 后再于 5℃ 处理 1 周可提高种子萌发率至 80% 左右, 但未经处理的对照种子也仍有 40% 的萌发率^[16]。‘解放钟’枇杷相类似, 0.1~0.5 mmol L⁻¹ GA₃ 处理种子 24 h 可使种子接近全部萌发, 但未经处理的种子也有 85% 左右的萌发率^[15]。可见, 虽品种不同, 枇杷种子没有或只有轻度的休眠特性。值得一提的是, 4 个白肉品种种子随采随播 80 d 后的萌发率全部高于 4 个红肉品种(白肉和红肉品种平均萌发率分别为 93.4% 和 63.5%), 其内在原因尚不清楚。前期研究中, 我们观察到白肉品种果实类胡萝卜素含量较低^[17], 而类胡萝卜素是 ABA 合成的前体, 这使得白肉品种种子 ABA 含量低于红肉品种成为可能, 从而利于种子萌发。白肉品种种子中的 ABA 含量是否确实低于红肉品种还值得进一步研究。

枇杷离体再生与遗传转化研究需要无菌苗用于制备外植体。研究表明可以通过适度提前采收和适宜贮藏延长有萌发能力的种子的供应期。此外, 还可以利用枇杷不同品种、不同产地和设施栽培条件下的不同成熟期以及我国南方一些地区枇杷一年多熟的特性进一步延长这一供应期。同时, 宜加强对枇杷种子丧失活力的机制研究, 以期在此基础上探索出延长种子活力的贮藏措施。

参考文献

- [1] WU Y J, XIE M, JIANG G H, et al. Adventitious shoot regeneration from mature cotyledons and leaves of loquat (*Eriobotrya japonica*) [J]. *Sci Silv Sin*, 2007, 43(1): 107–110, 插 5. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2007.01.018.
吴延军, 谢鸣, 蒋桂华, 等. 枇杷成熟子叶及叶片不定芽再生研究 [J]. *林业科学*, 2007, 43(1): 107–110, 插 5. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2007.01.018.
- [2] UMARANI R, AADHAVAN E K, FAISAL M M. Understanding poor storage potential of recalcitrant seeds [J]. *Curr Sci*, 2015, 108(11): 2023–2034.
- [3] LINKIES A, LEUBNER-METZGER G. Beyond gibberellins and abscisic acid: How ethylene and jasmonates control seed germination [J]. *Plant Cell Rep*, 2012, 31(2): 253–270. doi: 10.1007/s00299-011-1180-1.
- [4] ZHANG G L, YANG D Z, ZHANG S T, et al. Effects of different maturity on germination and physiological characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) seeds [J]. *Plant Physiol J*, 2012, 48(3): 272–276.
张桂莲, 杨定照, 张顺堂, 等. 不同成熟度对水稻种子萌发及其生理特性的影响 [J]. *植物生理学报*, 2012, 48(3): 272–276.
- [5] SHI H C, KE Y P, FU T H, et al. Study on variability of seed vigor of maize in different maturity [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2006, 24(3): 269–271. doi: 10.3969/j.issn.1000-2650.2006.03.007.
石海春, 柯永培, 傅体华, 等. 不同成熟度玉米种子活力的差异性研究 [J]. *四川农业大学学报*, 2006, 24(3): 269–271. doi: 10.3969/j.issn.1000-2650.2006.03.007.
- [6] LI J H, YONG S Y, WU Y M, et al. Effects of seed maturity on seed vigour and seedling growth of melon [J]. *J Gansu Agric Univ*, 2006, 41(1): 39–42. doi: 10.3969/j.issn.1003-4315.2006.01.010.
李计红, 雍山玉, 吴玉梅, 等. 甜瓜种子成熟度对种子活力和幼苗生长的影响 [J]. *甘肃农业大学学报*, 2006, 41(1): 39–42. doi: 10.3969/j.issn.1003-4315.2006.01.010.
- [7] SHANG S B, GUO J J, WANG Y H, et al. Effects of fruit maturity on seed germination and seedling growth performance of *Vatica mangachapoi* [J]. *Seed*, 2014, 33(7): 27–29. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2014.07.007.
尚帅斌, 郭俊杰, 汪奕衡, 等. 果实成熟度对青皮种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. *种子*, 2014, 33(7): 27–29. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2014.07.007.
- [8] JIA R R, TANG X S, DONG N, et al. Influence of different mature degrees on seed germination and quality of fruit oil of *Idesia polycarpa* Maxim. var. *vestita* Diels [J]. *Seed*, 2014, 33(9): 38–41, 50. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2014.09.009.
贾然然, 唐晓娜, 董娜, 等. 毛叶山桐子果实成熟度对种子发芽与果实油品质的影响 [J]. *种子*, 2014, 33(9): 38–41, 50. doi: 10.3969/j.issn.1001-4705.2014.09.009.
- [9] XU J L, MA R J, YU M L, et al. Effects of different fruit development periods on seed germination and growth of mid-ripening peach [J]. *J South Agric*, 2012, 43(11): 1723–1727. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2012.11.1723.

- 许建兰, 马瑞娟, 俞明亮, 等. 中熟桃不同果实生育期对种子发芽生长的影响 [J]. 南方农业学报, 2012, 43(11): 1723–1727. doi: 10.3969/j.issn.2095-1191.2012.11.1723.
- [10] TWEDDLE J C, DICKIE J B, BASKIN C C, et al. Ecological aspects of seed desiccation sensitivity [J]. *J Ecol*, 2003, 91(2): 294–304. doi: 10.1046/j.1365-2745.2003.00760.x.
- [11] TOMMASI F, PACIOLLA C, DE PINTO M C, et al. Effects of storage temperature on viability, germination and antioxidant metabolism in *Ginkgo biloba* L. seeds [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2006, 44(5/6): 359–368. doi: 10.1016/j.plaphy.2006.06.014.
- [12] LAN Q Y, LUO Y L, MA S M, et al. Development and storage of recalcitrant seeds of *Hopea hainanensis* [J]. *Seed Sci Technol*, 2012, 40(2): 200–208.
- [13] CHEN J S, CHEN R Z, FU J R. Study on the desiccation deterioration and moist storage of loquat seeds [J]. *Suppl J Sun-Yatsen Univ*, 1998 (4): 11–14.
陈俊松, 陈润政, 傅家瑞. 枇杷种子保湿贮藏的研究 [J]. 中山大学学报论丛, 1998(4): 11–14.
- [14] LI L, MENG Z G, LONG G Q, et al. Advances on recalcitrant seeds of plants [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2016, 24(1): 106–118. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.01.015.
李磊, 孟珍贵, 龙光强, 等. 植物顽拗性种子研究进展 [J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(1): 106–118. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.01.015.
- [15] CHEN J S, CHEN R Z, FU J R. Germination character of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) seed [J]. *Seed*, 1998(6): 3–6.
陈俊松, 陈润政, 傅家瑞. 枇杷种子的萌发特性 [J]. 种子, 1998(6): 3–6.
- [16] EL-DENGAWY E R F A. Promotion of seed germination and subsequent seedling growth of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) by moist-chilling and GA₃ applications [J]. *Sci Hort*, 2005, 105(3): 331–342. doi: 10.1016/j.scienta.2005.01.027.
- [17] FU X M, FENG C, WANG C Y, et al. Involvement of multiple phytoene synthase genes in tissue- and cultivar-specific accumulation of carotenoids in loquat [J]. *J Exp Bot*, 2014, 65(16): 4679–4689. doi: 10.1093/jxb/eru257.