

不同成熟度牡丹种子在不同温度贮藏后的萌发及脂肪酸组成研究

管丽, 黄维, 陆俊杏, 向奥玲, 张小梅, 李丹, 张涛*

(重庆市特色作物资源工程技术研究中心, 重庆师范大学油用牡丹种质资源创新与利用重点实验室, 重庆 401331)

摘要 [目的]研究不同成熟度的风丹种子在不同温度贮藏后的萌发情况和脂肪酸组成成分,为进一步推进油用牡丹商业化提供理论依据和实践基础。[方法]将不同成熟度的风丹种子分别贮藏在4℃和25℃培养箱,60 d后测定其萌发率、含水率、出仁率和含油率,用气相色谱联用仪对脂肪酸组成成分进行分析。[结果]同发育阶段的风丹种子在不同温度贮藏后,其萌发率、含水率、出仁率、含油率、亚油酸和亚麻酸的相对含量均差异显著;4℃贮藏后的种子萌发率显著低于25℃,而含油率显著高于25℃贮藏后的种子。25℃贮藏后不同成熟度的种子萌发率上升不显著,含水率和含油率显著下降,出仁率显著上升,饱和脂肪酸显著下降;在4℃贮藏后种子萌发率显著上升,含水率下降不显著,出仁率显著上升,饱和脂肪酸无明显规律。4℃贮藏后的饱和脂肪酸平均含量低于25℃。萌发率、含油率、含水率、脂肪酸相对含量之间的相关性分析表明,含油率与亚麻酸呈极显著正相关,而与棕榈酸、硬脂酸和油酸呈显著负相关;萌发率与棕榈酸、硬脂酸、油酸呈显著正相关,而与含油率、亚麻酸、含水率呈显著负相关。[结论]风丹种子的萌发受种子成熟度、贮藏温度、脂肪酸含量、含水率的影响,风丹种子在低温短期贮藏不利于萌发,但低温贮藏有利于油脂积累,提高其含油率。

关键词 油用牡丹;贮藏温度;种子萌发;饱和脂肪酸;含油率

中图分类号 S685.11 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)08-0042-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.08.011



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Germination and Fatty Acid Composition of Peony Seeds with Different Maturity after Storage at Different Temperatures

GUAN Li, HUANG Wei, LU Jun-xing et al (Chongqing Engineering Research Center of Specialty Crop Resources, Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Oil Peony Germplasm, Chongqing Normal University, Chongqing 401331)

Abstract [Objective] To study the germination and fatty acid composition of Fengdan seeds with different maturity after storage at different temperatures, it provides a theoretical basis and practical basis for further promoting the commercialization of oil peony. [Method] The seeds of different maturity of Fengdan were stored in 4℃ and 25℃ incubators. The germination rate, water content, kernel yield and oil content were measured after 60 days. The fatty acid composition was analyzed by gas chromatography mass spectrometry. [Result] The germination rate, water content, kernel yield, oil content, linoleic acid and linolenic acid relative content of the Fengdan seeds in the same development stage were significantly different after storage at different temperatures; the seed germination rate after storage at 4℃ was significantly lower than 25℃, and the oil content was significantly higher than the seeds after storage at 25℃. The seed germination rate of different maturity after storage at 25℃ was not significant, the water content and oil content decreased significantly, the kernel yield increased significantly, and the unsaturated fatty acids decreased significantly. After storage at 4℃, the germination rate of seeds increased significantly, the water content decreased not significantly, the kernel yield increased significantly, and there was no obvious pattern of unsaturated fatty acids. 4℃ after storage of unsaturated fatty acids content on average was below 25℃ after storage. Correlation analysis between germination rate, oil content, water content and relative fatty acid content showed that the correlation analysis between germination rate, oil content, water content and fatty acid content showed that the oil content was significantly positively correlated with linolenic acid. There was a significant negative correlation with palmitic acid, stearic acid and oleic acid; the germination rate was significantly positively correlated with palmitic acid, stearic acid and oleic acid, but negatively correlated with oil content, linolenic acid and water content. [Conclusion] The germination of Fengdan seeds is affected by seed maturity, storage temperature, fatty acid content and water content. The short-term storage of Fengdan seeds is not conducive to germination, but low-temperature storage is conducive to oil accumulation and oil content increase.

Key words *Paeonia suffruticosa* Andr.; Storage temperature; Seed germination; Unsaturated fatty acids; Oil content

风丹(*Paeonia ostii*)是芍药科芍药属牡丹组牡丹野生种杨山牡丹的栽培种,其含油率可达24%以上,和紫斑是油用牡丹的主要品种^[1-2]。风丹主要以种子繁殖,由于风丹种子具有双重休眠的特性,容易出现出苗不齐、萌发质量不好等问题,严重阻碍了风丹生产商品化的发展。并且风丹种子存在种胚发育不完全、生理后熟等情况,贮藏条件和种子成熟度对种子后熟具有严重的影响^[3-4]。贮藏的目的在于长期保存种子同时维持其最大限度的活力,贮藏时间主要由含水量和温度决定^[5-6]。风丹种子油富含具有抗癌、脱胆固醇和抗血栓等功能的不饱和脂肪酸,贮藏温度对种子内脂肪酸含量

有影响^[7-9]。因此,研究不同成熟度的风丹种子在不同温度贮藏后的萌发与脂肪酸组成成分具有重要意义。种子收获后,需要贮藏一段时间才能播种。种子的质量与活力受自身遗传和贮藏条件的限制。张远兵等^[10]将风丹陈种子分别放在冰箱内湿藏、干藏和自然湿藏、干藏,发现冰箱内湿藏后的风丹种子萌发率最高。风丹种子在不同贮藏条件下其种子质量和出油率变化较大,在4℃贮藏成熟的风丹种子保鲜效果较好,适宜的低温利于油脂积累,但时间长各项指标也会严重下降^[11]。研究表明,花生^[12]、水稻^[13]、玉米^[14]、一串红^[15]等植物种子,成熟度与萌发率成正比。Seyyedi等^[16]研究发现,冬油菜种子中脂肪含量对种子活力有影响。风丹是富含不饱和脂肪酸的木本油料作物之一,具有较好的开发前景。国内侧重研究不同地区、品种的牡丹籽油中亚麻酸的相对含量和用GA₃和低温处理干燥风丹种子的萌发情况,但不同温度贮藏后不同成熟度的未干燥风丹种子的研究鲜见报道。笔者对油用牡丹风丹不同成熟度的种子在不同温度贮

基金项目 国家自然科学基金项目(31171588);重庆市社会民生科技创新专项(cstc2016shmszx80051)。

作者简介 管丽(1992—),女,重庆人,硕士研究生,研究方向:紫苏ALA代谢积累关键基因的功能。*通信作者,教授,硕士生导师,从事植物遗传及细胞生物学研究。

收稿日期 2018-11-18;修回日期 2018-11-29

藏后,测定其萌发率、含水率、出仁率、含油率、脂肪酸的组成成分变化及它们之间的相关性,旨在为保存油用牡丹种子奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料 凤丹角果采自重庆师范大学试验基地,分别采摘授粉后 90、100、110、120 d 共 4 个时期的凤丹角果,每个时期的凤丹角果分别置于 4 °C 和 25 °C 的保温箱中贮藏 60 d。

1.2 种子萌发特性试验 将经过 60 d 贮藏的凤丹角果果皮和凤丹籽分离,取经过不同温度贮藏后不同成熟度的凤丹种子分别播种在花盆中,各重复 3 组,定期浇水,观察萌发情况,并在第 2 年 4 月统计其发芽率。

1.3 种子含水率、出仁率和含油率测定 参照林萍等^[17]的方法测定含水率和出仁率。用索式提取法提取凤丹籽油,测定其含油率。

1.4 脂肪酸成分分析 脂肪酸甲酯化参照付松等^[18]的方法,有所改动。称取 0.05 g 油脂于试管中,加入 5 mL 异辛烷溶解,再加入 2 mL 0.4 mol/L 氢氧化钾-甲醇溶液。甲酯化完成后用岛津 Trace1310-ISQ 单四级杆气质联用仪分析。

GC 条件: 色谱柱 TG-WAXMS (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm);载气:高纯氮气,流速 1.0 mL/min;程序升温:起始温度 150 °C,保持 1 min,以 10 °C/min 起始升温至 230 °C,保持 10 min;进样口温度 250 °C;进样方式为脉冲分流进样,分流比 35:1,脉冲压力 120 kPa;进样量 1 μL。

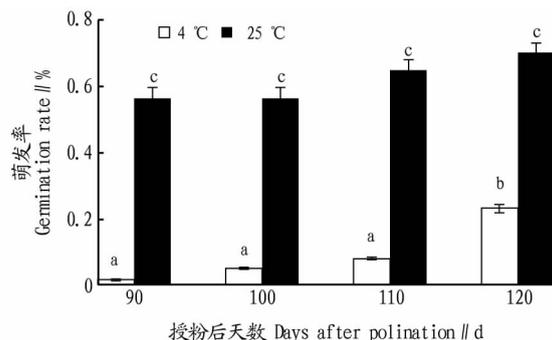
MS 条件: 接口温度 230 °C;离子源温度 230 °C;扫描范围:40~400 amu。

1.5 数据分析 试验数据采用 SPSS 21.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同发育阶段凤丹牡丹种子经不同温度贮藏后萌发率 从图 1 可以看出,不同温度贮藏后的种子萌发率均随种子成熟度而上升。4 °C 下种子萌发率随成熟度呈显著性变化。25 °C 贮藏下的种子萌发率均高于 50%,4 °C 贮藏下的种子萌发率最高仅达 23.33%。25 °C 贮藏下授粉后 120 d 的种子萌发率是授粉后 90 d 的 1.23 倍,4 °C 贮藏下授粉后 120 d

的种子萌发率是授粉后 90 d 的 14 倍。这表明种子的成熟度与萌发率成正比,25 °C 比 4 °C 更利于保存未干燥的种子。



注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases indicate significant differences at 0.05 level

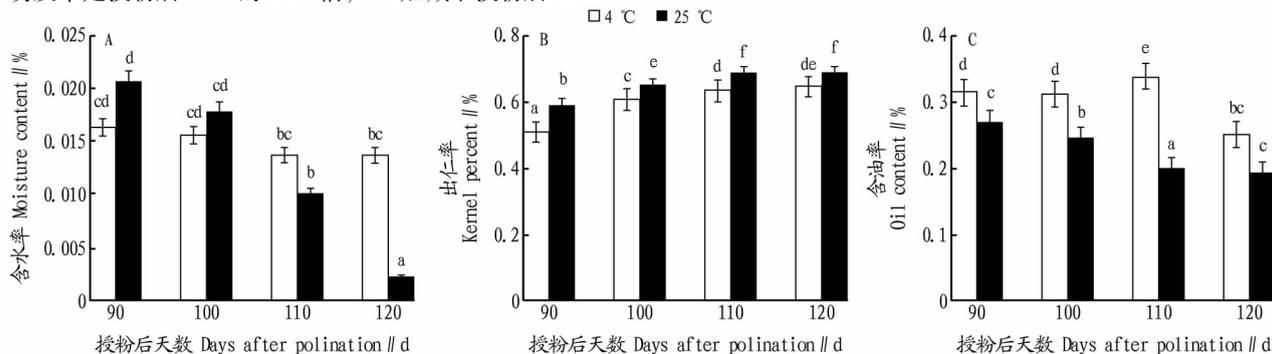
图 1 不同发育阶段凤丹牡丹种子经不同温度贮藏后的萌发率

Fig.1 Germination rate of Fengdan peony seeds at different developmental stages after storage under different temperature conditions

2.2 不同发育阶段凤丹牡丹种子经不同温度贮藏后的含水率、出仁率、含油率 由图 2A 可知,不同温度贮藏后的种子含水率均随种子成熟度下降。在 25 °C 贮藏后的种子含水率呈显著直线下降,授粉后 90 d 含水率最高为 2.05%,授粉后 120 d 最低为 0.23%,平均为 1.26%。在 4 °C 贮藏后的种子含水率平缓下降,平均含水率为 1.49%,授粉后 90 d 和授粉后 120 d 含水率分别为 1.63%、1.37%。不同温度贮藏后同发育阶段的凤丹牡丹种子的含水率差异显著。

由图 2B 可知,不同温度贮藏后种子出仁率随种子成熟度显著上升,25 °C 贮藏下的平均出仁率为 65.20%,4 °C 为 59.84%。25 °C 显著高于 4 °C 贮藏后同发育阶段的出仁率。

由图 2C 可知,在 25 °C 贮藏后的种子含油率随成熟度显著下降;4 °C 贮藏后的种子含油率随成熟度无明显规律。4 °C 贮藏后的种子平均含油率均为 30.48%,均显著高于 25 °C 贮藏的同发育阶段的含油率,25 °C 的平均含油率为 22.59%。这表明低温有利于油脂的积累。



注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases indicate significant differences at 0.05 level

图 2 不同温度贮藏后不同成熟度的凤丹牡丹种子含水率、出仁率、含油率

Fig.2 Water content, yield and oil content of peony seeds of different maturity after storage at different temperatures

2.3 不同发育阶段凤丹牡丹种子经不同温度贮藏后的脂肪酸成分 从图 3A 可以看出,4 °C 贮藏后的油酸相对含量随

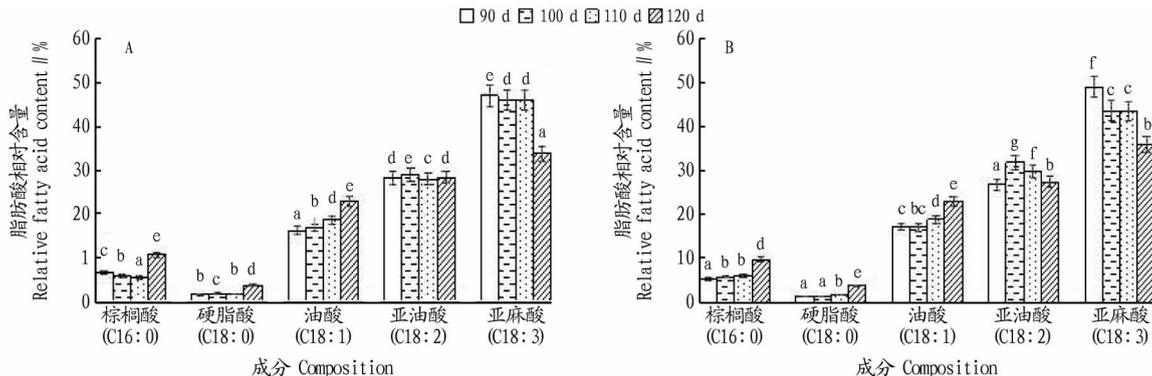
种子成熟度显著上升。硬脂酸、亚油酸相对含量无明显规律,亚麻酸相对含量显著下降,亚麻酸含量从 47.05% 下降至

33.93%。亚油酸与亚麻酸之和从 75.41% 下降至 62.36%。从图 3B 可以看出, 25 °C 贮藏后的油酸、棕榈酸、硬脂酸相对含量均平缓上升, 亚麻酸相对含量显著下降, 亚麻酸含量从 49.08% 下降至 35.83%, 不饱和脂肪酸含量从 93.22% 下降至 86.36%, 种子中亚麻酸是不饱和脂肪酸的主要成分。

从图 3 可以看出, 授粉天数 100 和 110 d 在 4 °C 贮藏后的亚麻酸含量显著高于 25 °C, 亚油酸是授粉后 90 和 120 d, 硬脂酸是授粉后 90 和 100 d, 棕榈酸是授粉后 90 和 120 d; 25 °C 显著高于 4 °C 的脂肪酸有授粉后 90 和 120 d 的亚

酸, 有 100 和 110 d 的亚油酸, 有 120 d 的硬脂酸, 有 110 d 的棕榈酸。油酸在不同温度贮藏后无显著差异。

从表 1 可以看出, 在 25 °C 贮藏的不饱和脂肪酸含量随种子成熟度显著下降, 从 93.22% 下降至 86.36%, 平均为 91.15%。在 4 °C 不饱和脂肪酸含量先从 91.72% 上升至 92.75%, 再下降至 85.5%, 平均含量为 90.51%。在 4 °C 贮藏授粉后 100 和 110 d 的亚麻酸与亚油酸含量之比显著高于 25 °C, 授粉后 90 和 120 d 显著低于 25 °C。



注: A. 贮藏温度 4 °C, B. 贮藏温度 25 °C; 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

Note: A. Storage temperature of 4 °C; B. Storage temperature; different lowercases indicate significant differences at 0.05 level

图 3 不同温度贮藏后不同发育阶段凤丹牡丹种子的脂肪酸组成成分

Fig.3 Fatty acid composition of peony seeds at different development stages after storage at different temperatures

表 1 不同温度贮藏后不同发育阶段的凤丹籽油中亚麻酸与亚油酸之比和不饱和脂肪酸

Table 1 Ratio of linolenic acid to linolenic acid and unsaturated fatty acid in phoenix seed oil at different development stages after storage at different temperatures

授粉后天数 Days after pollination//d	亚麻酸与亚油 酸之比 C18:3/C18:2		不饱和脂肪酸 Nnsaturated fatty acid	
	4 °C	25 °C	4 °C	25 °C
	90	1.66 f	1.83 g	91.72 c
100	1.58 e	1.37 c	92.07 d	92.76 f
110	1.64 f	1.45 d	92.75 f	92.27 e
120	1.19 a	1.30 b	85.50 a	86.36 b

2.4 凤丹种子发育过程中脂肪酸相对含量和萌发率、含水率、出仁率、含油率的相关分析 为了深入了解凤丹种子的萌发与各脂肪酸与含油率、含水率、出仁率之间的相互联系, 对其进行相关分析, 结果见表 2。由表 2 可知, 含油率与亚麻酸呈极显著正相关, 说明发育过程中凤丹种子亚麻酸与含油量有密切联系; 含油率与棕榈酸、硬脂酸和油酸均显著或极显著负相关, 与含油量的趋势相反。萌发率与棕榈酸、硬脂酸、油酸呈显著或极显著正相关, 说明发育过程中凤丹种子的棕榈酸、硬脂酸、油酸与萌发有某种联系; 萌发率与含油率、亚麻酸、含水率呈显著或极显著负相关, 与萌发率的趋势相反。出仁率与油酸均显著正相关, 说明发育过程中凤丹种子油酸与出仁率有联系。亚麻酸与棕榈酸、硬脂酸、油酸呈极显著负相关; 硬脂酸、棕榈酸、油酸之间均呈极显著正相

关, 表明这 3 种脂肪酸的积累相似。亚油酸与各脂肪酸、含水率、含油率、出仁率等均无显著相关性。在不同温度贮藏后有明显差异; 25 °C 贮藏后的含水率与棕榈酸、硬脂酸、油酸呈极显著负相关, 与亚麻酸、含油率呈极显著正相关; 25 °C 贮藏后的出仁率与亚麻酸、含油率、含水率呈极显著负相关。4 °C 贮藏后无显著相关性。

3 结论与讨论

3.1 讨论 种子萌发率是衡量种子活力的重要表征。贮藏温度、种子成熟度、含水率均为影响凤丹种子萌发的重要指标。该试验 4 °C 贮藏后凤丹种子的平均萌发率比 25 °C 贮藏后凤丹种子平均萌发率低 52.9%, 与其他研究结果一致^[19], 凤丹不适合短期低温贮藏^[19]。其可能原因是低温导致淀粉种子和其他代谢物的降解延迟, 从而低温抑制种子萌发^[20-21]。在 4 °C 和 25 °C 贮藏后凤丹牡丹种子的萌发率随着种子成熟度升高而升高, 与前人研究花生^[12]、玉米^[14]等的结果大致相同, 证明种子成熟度是凤丹种子萌发的重要因素之一。萌发率与含水率呈显著负相关, 与百喜草、樟牡的种子研究结果一致, 由于含水量过高不利于种子萌发^[22-23]。其原因可能是播种含水量高的种子, 在种子最初吸涨作用时, 未发生渗漏, 未能使种子内抑制物浓度降低, 从而抑制种子萌发^[24]。萌发率与棕榈酸、硬脂酸、油酸呈显著或极显著正相关, 萌发率与含油率、亚麻酸呈显著或极显著负相关, 与冬油菜研究结果相似, 由于亚麻酸和亚油酸含量高可能影响油质, 导致种子活力下降^[16]。

研究表明, 在种子油脂合成累积中, 脂肪酸的增长模式

与油脂合成有极大联系,该研究表明,含油率与亚麻酸呈极显著正相关,与棕榈酸、硬脂酸和油酸均呈显著或极显著负相关,与其描述情况相符^[25]。在 4℃ 贮藏后的凤丹种子萌发率显著低于 25℃,而含油率显著高于 25℃。可能由于适

宜的低温使部分蛋白质和糖类被转化为油脂,利于油脂的积累^[26-28]。种子在低温贮藏情况下,可以降低其呼吸作用和减少水分蒸发,保持含水率,该试验中 4℃ 贮藏的凤丹牡丹种子的含水率无明显变化,与前人研究甜玉米的结果一致^[29]。

表 2 种子发育过程中脂肪酸相对含量、萌发率、含水率、出仁率、含油率之间的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between relative content of fatty acids, germination rate, water content, yield and oil content during seed development

指标 Index	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	萌发率 Germination rate	含水率 Moisture content	出仁率 Kernel percent	含油率 Oil content
C16:0		0.962**	0.867**	-0.023	-0.964**	0.704*	-0.308	0.333	-0.949**
C18:0	0.995**		0.937**	0.017	-0.993**	0.706*	-0.307	0.551	-0.924**
C18:1	0.971**	0.987**		-0.214	-0.960**	0.788**	-0.468	0.703*	-0.775**
C18:2	-0.359	-0.413	-0.422		0.039	-0.155	0.256	-0.010	-0.217
C18:3	-0.929**	-0.913**	-0.904**	0.009		-0.761**	0.379	-0.561	0.911**
萌芽率 Germination rate	0.594*	0.625*	0.635*	-0.219	-0.586*		-0.625*	0.529	-0.613*
含水率 Moisture content	-0.844**	-0.868**	-0.902**	0.186	0.882**	-0.680*		-0.452	0.222
出仁率 Kernel percent	0.573	0.574	0.630*	0.337	-0.803**	0.574	-0.778**		-0.289
含油率 Oil content	-0.650*	-0.679*	-0.736**	-0.043	0.782**	-0.712**	0.874**	-0.909**	

注: **表示相关性达 0.01 极显著水平; *表示相关性达 0.05 显著水平。右上三角为 4℃ 贮藏各脂肪酸、含油率、含水率、出仁率之间的相关系数; 左下三角为 25℃ 贮藏后各脂肪酸、含油率、含水率、出仁率之间的相关系数

Note: ** indicates a correlation of 0.01 extremely significant level; * indicates that the correlation reached a significant level of 0.05. Right triangle is 4℃ storage each fatty acid, oil content, moisture content and the correlation coefficient between the kernel; lower left triangle is 25℃ storage after each fatty acid, oil content, moisture content and the correlation coefficient between the kernel

刘绍等^[30]和马雪情等^[31]研究凤丹种子(授粉后 90~120 d)发育过程,结果硬脂酸、棕榈酸含量相对稳定,亚麻酸含量逐渐下降,油酸含量持续增长。与该研究结果基本一致,油中主要脂肪酸均是棕榈酸、硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸,亚麻酸是不饱和脂肪酸的主要成分,油酸均呈上升趋势,亚麻酸呈下降趋势,但脂肪酸含量不一致,是由于环境、种子贮藏等因素,研究表明,不同地区的凤丹种子脂肪酸含量不同^[32]。25℃ 贮藏后的不饱和脂肪酸高于 4℃ 贮藏,且亚麻酸与亚油酸的比例最高是在 25℃ 贮藏授粉后 90 d 的种子,最低在 4℃ 贮藏后授粉 120 d。研究表明,增加亚麻酸与亚油酸的比例,可以有效提高 EPA 和 DHA 的含量,并在一定条件下抑制炎症因子^[33-34]。

3.2 结论 凤丹种子低温短期贮藏不利于萌发,但有利于油脂的积累。未干燥的凤丹种子经不同温度贮藏后种子成熟度均是影响萌发的主要因素。相关性分析表明,萌发率与棕榈酸、硬脂酸、油酸呈显著或极显著正相关,萌发率与含油率、亚麻酸呈显著或极显著负相关,萌发率与含水率呈显著负相关,得出限制种子萌发的因素有含油率、脂肪酸含量、含水率。贮藏温度和种子成熟度是影响种子脂肪酸的因素。该试验为研究种子萌发提供新的途径,更进一步推进种子发芽萌发的原理机制。

参考文献

[1] 韩雪源,张延龙,牛立新,等.不同产地‘凤丹’牡丹籽油主要脂肪酸成分分析[J].食品科学,2014,35(22):181-184.
 [2] 黄兴琳,陆俊杏,廖冰楠,等.油用牡丹脂肪酸脱氢酶基因 *FAD3* 的克隆与表达分析[J].中国农业科学,2017,50(10):1914-1921.
 [3] 郭丽萍,张延龙,牛立新,等.凤丹种子休眠特性研究[J].西北林学院学报,2016,31(4):165-169.
 [4] 姜秀梅.外源物质处理对低温胁迫下辣椒种子萌发及幼苗抗冷性的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2014.
 [5] 陈新军,戚存扣,浦惠明,等.贮藏时间和温度对甘蓝型油菜种子活力及脂肪酸含量的影响[J].中国油料作物学报,2010,32(4):491-494.
 [6] 汪晓峰,景新明,郑光华.含水量对种子贮藏寿命的影响[J].植物学报,

2001,43(6):551-557.
 [7] HABA N H, ANTONIADES K, HABBAL Z. Effects of dietary canola, olive and linolenic acid enriched olive oils on plasma lipids, lipid peroxidation and lipoprotein lipase activity in rats[J]. Nutrition research, 1999, 19(4): 601-612.
 [8] EZAKI O, TAKAHASHI M, SHIGEMATSU T, et al. Long-term effects of dietary alpha-linolenic acid from perilla oil on serum fatty acids composition and on the risk factors of coronary heart disease in Japanese elderly subjects[J]. J Nutr Sci Vitaminol, 1999, 45(6): 759-772.
 [9] 宋红,李万义,丁榕根,等.不同贮藏方法对桃叶卫矛种子萌发和营养物质的影响[J].东北林业大学学报,2015,43(6):30-33,63.
 [10] 张远兵,刘爱荣,张雪平.不同贮藏方法及激素、稀土等对牡丹种子发芽及幼苗生长的影响[J].种子,2005,24(8):16-20.
 [11] 崔虎亮,黄弄璋,刘欣,等.不同贮藏条件对油用牡丹种子出油率的影响[J].中国种业,2016(10):28-30.
 [12] 张建成,王辉.不同成熟度花生种子发芽率及活力差异性研究[J].种子,2005,24(1):3-4.
 [13] 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.
 [14] 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.
 [15] 曾丽,赵梁军,苏立峰.一串红种子发育及内含物对种子萌发的影响[J].中国农业大学学报,2000,5(1):35-38.
 [16] SEYYEDI S M, TAVAKKOL AFSHARI R, DANESHMANDI M S. Daneshmandi. The relationships between fatty acids and heterotrophic seedling growth in winter canola cultivars during accelerated seed aging process[J]. South African journal of botany, 2018, 119: 353-361.
 [17] 林萍,姚小华,曹永庆,等.油用牡丹‘凤丹’果实性状及其脂肪酸组成的变异分析[J].经济林研究,2015,33(1):67-72.
 [18] 付松,徐先顺,向奋飞.保健油脂中多不饱和脂肪酸的 GC/MS 分析[J].中国卫生检疫杂志,2005,15(9):1042-1044.
 [19] 覃逸明,黄雨清,王千,等.不同处理对凤丹种子萌发的影响[J].中国种业,2009(1):38-40.
 [20] REN X X, XUE J Q, WANG S L, et al. Proteomic analysis of tree peony (*Paeonia ostii* ‘Fend Dan’) seed germination affected by low temperature[J]. Journal of plant physiology, 2018, 224/225: 56-67.
 [21] 任秀霞,王顺利,薛祺祺,等. GA 和 ABA 信号转导关键基因在不同温度处理‘凤丹’牡丹种子中的表达分析[J].园艺学报,2017,44(1):80-88.
 [22] 杨义成,龙忠富,刘正书,等.不同贮藏年限百喜草种子发芽特性初探[J].贵州农业科学,2007,35(6):54-56.
 [23] 程勇,吴际友,唐春.擦木种子贮藏实验[J].湖南林业科技,2014,41(2):28-30,34.

机化合物,水解后更易被吸收,更易合成细胞中的蛋白质和核酸,这与其他食用菌液体发酵培养的生长规律一致^[13-14]。试验中酵母浸膏作为氮源的利用率效果最好,其次为豆饼粉、蛋白胨、麸皮。在工业生产中,考虑到成本等问题,可以选取麸皮、豆饼粉等氮源代替酵母浸膏或按照一定比例添加作为复合氮源使用;无机盐在黑木耳液体发酵的过程中起到调节渗透压、氧化还原电位等作用,添加少量的无机盐能够促进菌丝体和多糖的形成。

表3 正交试验结果与分析

Table 3 Results and analysis of orthogonal experiments

处理编号 Number of treatment	因素 Factor				菌丝体生物量 Mycelial biomass g/L
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	11.94 cB
2	1	2	2	2	12.63 bA
3	1	3	3	3	12.61 bA
4	2	1	2	3	13.07 aA
5	2	2	3	1	12.74 bA
6	2	3	1	2	12.88 abA
7	3	1	3	2	12.73 bA
8	3	2	1	3	12.64 bA
9	3	3	2	1	12.71 bA
K_1	37.18	37.74	37.46	37.39	
K_2	38.69	38.01	38.41	38.24	
K_3	38.08	38.20	38.08	38.32	
k_1	12.39	12.58	12.49	12.46	
k_2	12.90	12.67	12.80	12.75	
k_3	12.69	12.73	12.69	12.77	
R	0.503	0.150	0.317	0.310	

注:多重比较采用 Duncan 新复极差法;同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),相同字母表示差异不显著

Note: Duncan's new multiple range method was adopted for multiple comparisons; different small letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$); different capital letters in the same column indicated highly significant differences ($P<0.01$); the same letters in the same column indicated no differences

食用菌液体发酵技术随着理论基础和应用技术研究的深入已经取得了一定的进展,在液体培养过程中能够产生与

子实体相同的生理活性物质,与此同时却能够缩短生长周期。利用液体发酵技术获得的菌丝体无论是作为菌种进行工业化生产还是直接用来制备药物、保健品等都具有一定的发展前景。目前,像松茸等一些没有被驯化的野生菌可以通过液体发酵的方式获得菌丝体和代谢产物,以此来弥补因为子实体缺乏而停滞对这些野生菌的开发利用,黑龙江省农业科学院牡丹江分院食用菌研究所与牡丹江友邦科技股份有限公司正在合作开展相关研究。因此,液体发酵技术今后在医疗、保健、科研等方面都具有广阔的应用前景和发展潜力^[15]。

参考文献

- [1] 吴芳,戴玉成.黑木耳复合群中种类学名说明[J].菌物学报,2015,34(4):604-611.
- [2] SHANG D J, LI Y, WANG C, et al. A novel polysaccharide from Se-enriched *Ganoderma lucidum* induces apoptosis of human breast cancer cells[J]. Oncology reports, 2011, 25(1): 267-272.
- [3] WU Q, TAN Z P, LIU H D, et al. Chemical characterization of *Auricularia auricula* polysaccharides and its pharmacological effect on heart antioxidant enzyme activities and left ventricular function in aged mice[J]. International journal of biological macromolecules, 2010, 46(3): 284-288.
- [4] 李玉.中国黑木耳[M].长春:长春出版社,2001.
- [5] 李超,李红,张敏.黑木耳液体培养基配方优化[J].北方园艺,2017(16): 170-173.
- [6] 柴新义,倪贇鹏,于士军,等.黑木耳菌丝体液体发酵富硒条件优化及其多糖抗氧化活性[J].浙江农业学报,2017,29(11): 1903-1911.
- [7] 乔双连,彭林,丁重阳,等.液体发酵条件对灵芝菌体形态及胞外多糖活性的影响[J].食品与生物技术学报,2014,23(10): 1070-1076.
- [8] 刘建荣,顾雅君,张瑞英.黑木耳的富硒发酵[J].河北省科学院学报,2014,31(3): 63-67.
- [9] 张晓娜,李云波,鲁云凤,等.产紫杉醇内生真菌和食用菌液体发酵多糖含量比较研究[J].食品科技,2017,42(5): 185-187.
- [10] 王谦,冀宏,汪虹,等.香菇的发酵研究及相关检测[J].食用菌学报,1999,6(1): 1-4.
- [11] 孔祥辉,张介池,马庆芳,等.黑木耳液体菌种发酵条件的研究[J].中国食用菌,2003,22(6): 36-39.
- [12] YOON S J, YU M A, PYUN Y R, et al. The nontoxic mushroom *Auricularia auricula* contains a polysaccharide with anticoagulant activity mediated by antithrombin[J]. Thrombosis research, 2003, 112(3): 151-158.
- [13] 柴新义,王四宝,樊美珍.杨树菇深层液体发酵培养基及培养条件的优化[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(11): 117-120.
- [14] 谢意珍,周静文,李崇.黑木耳液体发酵条件的优化及发酵物的降血脂功能[J].食用菌学报,2008,15(2): 47-50.
- [15] 王谦,刘敏,李天月.食用菌液体菌种培养技术的研究与应用[J].医学研究与教育,2011,28(6): 62-65.
- [16] 刘昭,韩继刚,李晓青,等.‘凤丹’种子成熟过程中脂肪酸的累积规律[J].经济林研究,2015,33(4): 75-80.
- [17] 马雪情,刘春洋,黄少峻,等.牡丹籽粒发育特性与营养成分动态变化的研究[J].中国粮油学报,2016,31(5): 71-75,80.
- [18] 李晓青,刘庆华,刘昭,等.不同地区凤丹种子含油率和脂肪酸组成分析[C]//张启翔.中国观赏园艺研究进展(2013).北京:中国林业出版社,2013: 15-18.
- [19] LIU Y A, KING D J, ZIBRIK D, et al. Decreasing linoleic acid with constant α -linolenic acid in dietary fats increases (n-3) eicosapentaenoic acid in plasma phospholipids in healthy men[J]. The journal of nutrition, 2007, 137(4): 945-952.
- [20] 苏杭.亚油酸和 α -亚麻酸的摄入比例对体内炎症因子及高度不饱和脂肪酸合成通路的影响[D].无锡:江南大学,2018.
- [21] 徐恒恒,黎妮,刘树君,等.种子萌发及其调控的研究进展[J].作物学报,2014,40(7): 1141-1156.
- [22] OHLROGGE J B. Design of new plant products: Engineering of fatty acid metabolism[J]. Plant Physiol, 1994, 104(3): 821-826.
- [23] 王晓晨.小球藻油脂积累的影响条件及油脂提取方法的研究[D].广州:华南理工大学,2013.
- [24] 陈俊杰,汤佳,陈辉,等.油茶优良无性系‘闽43’和‘闽60’果实发育过程中油脂积累规律的研究[J].热带作物学报,2016,37(11): 2133-2137.
- [25] 张凌云,王小艺,曹一博.油茶果实糖含量及代谢相关酶活性与油脂积累关系分析[J].北京林业大学学报,2013,35(4): 55-60.
- [26] 单秀峰,徐方旭.低温贮藏对甜玉米采收后生理品质的影响[J].沈阳师范大学学报(自然科学版),2015,33(4): 507-510.

(上接第45页)