

蔡军火, 萨日娜, 游欣, 等. 石蒜种子发育过程中形态及内含物的变化规律[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(5): 523-529.

CAI Junhuo, SA Rina, YOU Xin, et al. Morphology and inclusion changes in the development process of *Lycoris radiata* seed[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(5): 523-529.

## 石蒜种子发育过程中形态及内含物的变化规律

蔡军火<sup>1</sup>, 萨日娜<sup>1</sup>, 游欣<sup>1</sup>, 魏绪英<sup>2</sup>, 温婷<sup>1</sup>, 方子安<sup>1</sup>, 王浙<sup>1</sup>

(1. 江西农业大学 园林与艺术学院, 南昌 330045; 2. 江西财经大学 艺术学院, 南昌 330032)

**摘要:** 为探究石蒜种子发育过程中的形态及内含物变化规律, 更好地确定适宜的采种期, 以花后 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 d 的新鲜石蒜种子为研究材料, 在形态观测的基础上, 结合烘干法、考马斯亮蓝 G-250 法和蒽酮比色法测定种子的含水量和内含物(可溶性糖、可溶性蛋白质和淀粉)含量。结果表明: 石蒜的种子成熟脱落时含水量仍较高(72.47%), 且生活力(83.33%)和可溶性糖(61.40 mg·g<sup>-1</sup>)、淀粉(35.65 mg·g<sup>-1</sup>)的含量均较高, 而可溶性蛋白质含量极少(0.70 mg·g<sup>-1</sup>), 符合顽拗性种子特性。依据种子形态变化特征, 可将其发育过程划分为空泡化时期(花后 7~14 d)、液化化时期(花后 21~28 d)、胶质化时期(花后 35 d)、胚发育时期(花后 42~56 d)和成熟期(花后 63~70 d)共 5 个时期, 持续时长约为 70 d。在整个发育期间, 种皮的颜色由初始的透白色变为褐色, 最终转为黑色; 胚乳内的淀粉、可溶性糖和蛋白质含量均随发育时间的延长显著上升, 而含水量显著下降。其中, 花后 42 d 是石蒜种子发育的重要节点, 开始出现种胚结构, 花后 56~70 d 时种胚发育成熟, 发芽率分别为 8.67%、14.33% 和 23.33%。结合石蒜种子在发育过程中的内、外部的形态特征变化及内含物的变化规律, 确定适宜的采收期为花后 63~70 d, 即宜在种皮由褐色转为黑色, 含水量为 72.47%~74.13% 时采收, 此时种子已完成干物质积累且具备萌发力。

**关键词:** 石蒜; 顽拗性种子; 种子发育; 可溶性糖; 淀粉; 可溶性蛋白质

中图分类号: Q945.4

文章编号: 1000-1700(2024)05-0523-07

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Morphology and Inclusion Changes in the Development Process of *Lycoris radiata* Seed

CAI Junhuo<sup>1</sup>, SA Rina<sup>1</sup>, YOU Xin<sup>1</sup>, WEI Xuying<sup>2</sup>, WEN Ting<sup>1</sup>, FANG Zian<sup>1</sup>, WANG Xi<sup>1</sup>

(1. College of Landscape Architecture and Art, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;

2. College of Art, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330032, China)

**Abstract:** To explore the morphological and inclusion changes during the development process of *Lycoris radiata* and determine the appropriate harvesting period, fresh *L. radiata* seeds on the 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 and 70 days after flowering (DAF) were used as research materials. Based on morphological observation, the moisture content and contents (soluble sugar, soluble protein, and starch) of the seeds were determined using drying method, coomassie brilliant blue G-250 method, and anthrone colorimetric method. The results showed that: the moisture content was still high when the seeds were mature and fell off (72.47%), seed viability (83.33%), soluble sugar (61.40 mg·g<sup>-1</sup>) and starch (35.65 mg·g<sup>-1</sup>) was high, while the content of soluble protein (0.70 mg·g<sup>-1</sup>) was very low, which was consistent with the characteristics of recalcitrant seeds. Based on the characteristics of seed morphological changes, its development process can be divided into five stages: vacuolization period (7-14 DAF), liquidization period (21-28 DAF), gelatinization period (35 DAF), embryonic development period (42-56 DAF), and maturity period (63-70 DAF), with a duration of approximately 70 days. During the

收稿日期: 2024-05-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(32360420, 31960327); 江西省花卉产业技术体系专项项目(JXARS-17)

第一作者: 蔡军火(1976-), 男, 博士, 教授, 从事球根花卉的开花调控与应用研究, E-mail: Cjhuo7692@163.com

entire developmental period, the color of the seed coat changes from initially translucent white to brown, and finally to black; The content of starch, soluble sugar, and protein in the endosperm significantly increases with the extension of development time, while the content of moisture content decreases significantly. Among them, the 42 DAF is an important node for the development of *L. radiata* seeds, and the embryo structure begins to appear. The embryo matured at 56–70 DAF, the germination rate were 8.67 %, 14.33% and 23.33%, respectively. Combined with the changes of internal and external morphological characteristics and inclusions of *L. radiata* seeds during the development process, it was determined that the appropriate harvest period was 63–70 DAF, that is, it should be harvested when the seed coat turned from brown to black and the moisture content was 72.47%–74.13%, when the seeds had completed dry matter accumulation and have germination power.

**Key words:** *Lycoris radiata*; recalcitrant seed; seed development; soluble sugar; starch; soluble protein

石蒜 [*Lycoris radiata* (L'Her.) Herb] 为石蒜科 (Amaryllidaceae) 石蒜属 (*Lycoris* Herb.) 特色珍贵球根花卉<sup>[1]</sup>, 主要分布在长江流域及西南各省<sup>[2]</sup>, 以其鳞茎中丰富的生物碱入药, 具有催吐、治水肿的功效<sup>[3]</sup>; 石蒜花期较短、花色艳丽、形态雅致, 被称为“魔术花”, 极具观赏价值<sup>[4]</sup>, 是优良的园林绿化及切花植物材料, 市场需求量日益增加<sup>[5]</sup>。但因自然条件下结实系数低、萌发成苗困难等问题<sup>[6]</sup>, 目前仍以无性繁殖为主, 严重制约其优质种苗的生产及稳定供应<sup>[7]</sup>。

种皮颜色及形态特征指标可有效反映种子的成熟程度, 从而确定适宜的采收时间<sup>[8]</sup>。研究表明, 北五味子<sup>[9]</sup> (*Schisandra chinensis*) 和毛竹<sup>[10]</sup> (*Phyllostachys edulis*) 种子在发育期间其形态指标均表现为显著增加的变化趋势。朱世杨等<sup>[11]</sup>也在研究中观察到, 花椰菜 (*Brassica oleracea*) 种子发育至第 60 d 时其种皮颜色由浅绿色转变为褐色, 同时种子的发芽率攀升至 98%, 种子已达到理想的采收成熟度。但不同植物种子的采收时间亦存在差异, 如羌活 (*Notopterygium incisum*) 种子在花后 42 d 便基本完成了其形态发育过程<sup>[12]</sup>, 而芒果 (*Mangifera indica*) 种子的成熟周期则显著延长, 通常需花后 110~120 d 才能达到完全成熟状态<sup>[13]</sup>, 种子含水量均随发育时间的延长而持续下降<sup>[14]</sup>。此外, 整个发育过程同样伴随着营养物质的波动性变化, 可溶性糖作为早期的能量来源, 随着米槁 (*Cinnamomum migao*) 种子的发育其含量逐渐下降<sup>[15]</sup>; 相反, 红松 (*Pinus koraiensis*) 和银杏 (*Ginkgo biloba*) 种子淀粉和可溶性蛋白质的含量则随着发育时间的延长而持续上升<sup>[16-17]</sup>, 这三者之间的协同作用为种胚的正常发育提供了必要的物质基础。由此可知, 科学合理地确定采收时间, 对于提高种子品质和保障农业生产具有重要意义。近年来, 针对石蒜属植物种子的研究主要集中于种子生物学<sup>[18-19]</sup>、萌发<sup>[20]</sup>和贮藏特性<sup>[21-22]</sup>、原生鳞茎<sup>[23]</sup>形成机制等方面, 而有关石蒜种子发育过程中形态及内含物的变化规律研究尚未见报道。因此, 本研究通过检测石蒜种子发育过程中内外部形态变化、含水量和营养物质含量指标, 深入分析石蒜种子发育的规律和机制, 确定其适宜的采收期, 以期对石蒜的繁殖和种质资源保存提供理论依据。

## 1 材料与方方法

### 1.1 材料

供试石蒜 (*Lycoris radiata*) 种子收集于江西农业大学第五教学楼前 (28°45' E; 115°49' N), 于 2023 年 8 月 13 日随机选择 100 株石蒜进行标记挂牌。基于课题组前期对石蒜开花物候的观测, 以石蒜末花期后 0 d 和自花后 7 d 开始采样, 每隔 7 d 取 1 次, 直至种子成熟脱落。一部分种子用于测定含水量及形态观察, 另一部分置于 -80 °C 超低温冰箱中保存, 用于生理指标测定。

### 1.2 方法

1.2.1 不同发育时期的石蒜种子内部形态观察 分别取花后 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 d 的石蒜种子各 10 粒, 去除种皮后沿纵向切开, 置于蔡司体式显微镜 (Stemi-2000-C) 下观察并拍照记录。

1.2.2 不同发育时期的石蒜种子外部形态测量 分别取花后 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 d 的石蒜种子各 10 粒, 用游标卡尺分别测量种子的纵长、横长, 精确到 0.01 mm。每处理设置 3 个重复, 测量结果取平均值。在室内自然光照条件下观察石蒜种皮的颜色, 并拍照记录。

1.2.3 不同发育时期的石蒜种子含水量测定 分别取花后 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 d 的石蒜种子各 10 粒, 在室温 (25 °C) 下置于精细电子天平称质量 ( $W_1$ ), 精确到 0.001 g。随后置于 (103±2) °C 恒

温干燥箱中烘至恒重,称量其质量即为种子的干重( $W_2$ )。每处理设置3个重复,测量结果取平均值。种子含水量(moisture content, MC)计算方法如式(1)。

$$\text{种子含水量}(\%) = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100 \quad (1)$$

1.2.4 不同发育时期的石蒜种子生理指标测定 可溶性糖(soluble sugar, SS)含量采用蒽酮比色法测定<sup>[24]</sup>,可溶性蛋白(soluble protein, SP)含量采用考马斯亮蓝G-250法测定<sup>[25]</sup>,淀粉(starch, ST)含量采用试剂盒(苏州科铭生物技术有限公司生产)进行测定,具体操作详见说明书。

1.2.5 石蒜种子生活力测定 采用氮蓝四唑法(TTC),在发育成熟脱落(花后70 d)的石蒜种子中随机挑选出均匀一致的30粒种子,去除外部薄种皮后沿纵向切开置于培养皿中,转入25 °C无光照人工气候箱并加入0.5% TTC溶液和沸水(对照)浸泡8 h,随后观察并统计石蒜种胚着色情况,每处理设置3次重复。种子生活力(seed viability)计算方法如式(2)。

$$\text{生活力}(\%) = (\text{染色胚总数} / \text{供检种子总数}) \times 100 \quad (2)$$

1.2.6 石蒜种子萌发试验 采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验<sup>[26]</sup>。分别取花后7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 d的石蒜种子各30粒,用1%  $\text{KMnO}_4$ 溶液消毒5 min后再用蒸馏水清洗,置于培养皿内,移入人工气候箱进行发芽试验,每处理设置3个重复。人工气候箱温度为25 °C,湿度为55%,光周期为光12 h/暗12 h。当胚根突破种皮时,视为萌发,统计时间持续30 d。在萌发试验进行期间不断清理污染发霉的种子,并及时更换滤纸和补水。种子发芽率(germination rate, GR)计算方法如式(3),种子发芽势(germination energy, GE)的计算方法如式(4),其中,发芽高峰期发芽种子数为发芽试验第14天发芽种子数。

$$\text{发芽率}(\%) = (\text{发芽种子粒数} / \text{供试种子粒数}) \times 100 \quad (3)$$

$$\text{发芽势}(\%) = (\text{发芽高峰期发芽种子数} / \text{供试种子数}) \times 100 \quad (4)$$

### 1.3 数据处理方法

利用Excel 2019进行数据整理,采用SPSS 22.0软件对测试数据进行统计分析,对结果进行方差分析和多重比较分析,用Origin 2021软件进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同发育时期石蒜种子内部形态特征变化

根据石蒜种子花后不同天数内部形态变化,可以将其具体划分为5个时期。(I)空泡化时期(花后7~14 d):初具种子雏形,种子呈不规则椭圆状,外表多孔,内部空泡化状态。(II)液化化时期(花后21~28 d):种子内外表面趋于光滑,内部为液态,流动性较强。(III)胶质化时期(花后35 d):种子内部由液态转为白色胶质,形成紧密的胚乳结构。(IV)胚发育时期(花后42~56 d):种子内部开始出现胚,子叶端迅速伸长生长。(V)成熟期(花后63~70 d):种子进一步发育成熟,胚轴、胚根和子叶形态发育完全,具备完整的胚结构。



1~10分别为花后7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 d的石蒜种子。a. 胚乳;b. 胚;c. 子叶;d. 胚根;e. 胚轴

1-10 represent the *L. radiata* seeds at 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63, 70 days after flowering, respectively. a. Endosperm; b. Embryo; c. Cotyledon; d. Radicle; e. Hypocotyl

图1 不同发育时期石蒜种子内部形态变化

Figure 1 Interior morphological changes of *L. radiata* seeds at different developmental periods

### 2.2 不同发育时期石蒜种子外部形态特征变化

石蒜果实为蒴果,成熟种子种皮为黑色,质地为革质。不同发育时期的石蒜种子外部形态特征变化如表1。花后7~56 d石蒜种子的横长、纵长值均呈显著上升的变化趋势,该阶段为石蒜种子生长的旺盛期;花后56~70 d时石蒜种子的横长、纵长趋于稳定,无显著变化;花后70 d时种子横长、纵长达到最大值,分别为6.86 mm和7.91 mm。

表1 不同发育时期石蒜种子外部形态变化

**Table 1 External morphological changes of *L. radiata* seeds at different developmental periods**

指标 Index	花后天数 The days after flowering/d									
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
横长/mm Horizontal length	3.06±0.02 <sup>b</sup>	4.25±0.01 <sup>g</sup>	5.23±0.04 <sup>f</sup>	5.69±0.01 <sup>e</sup>	5.87±0.03 <sup>d</sup>	6.57±0.02 <sup>c</sup>	6.76±0.01 <sup>b</sup>	6.85±0.01 <sup>a</sup>	6.85±0.01 <sup>a</sup>	6.86±0.01 <sup>a</sup>
纵长/mm Vertical length	4.32±0.02 <sup>b</sup>	4.92±0.05 <sup>g</sup>	6.37±0.03 <sup>f</sup>	6.67±0.02 <sup>e</sup>	6.89±0.01 <sup>d</sup>	7.15±0.01 <sup>c</sup>	7.41±0.02 <sup>b</sup>	7.85±0.01 <sup>a</sup>	7.90±0.01 <sup>a</sup>	7.91±0.01 <sup>a</sup>

注:同一行不同小写字母表示不同处理间差异显著( $p < 0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences between different treatments ( $p < 0.05$ ). The same below.

此外,石蒜种皮的颜色也因发育时间的不同而存在差异(图2)。在发育初期(花后7~28 d),种皮颜色为透白色或乳白色,此阶段种子尚未成熟;发育中期(花后35~49 d)种皮颜色转为黄色、黄褐色;至发育后期(花后56~70 d)种皮颜色由褐色转变为黑色。

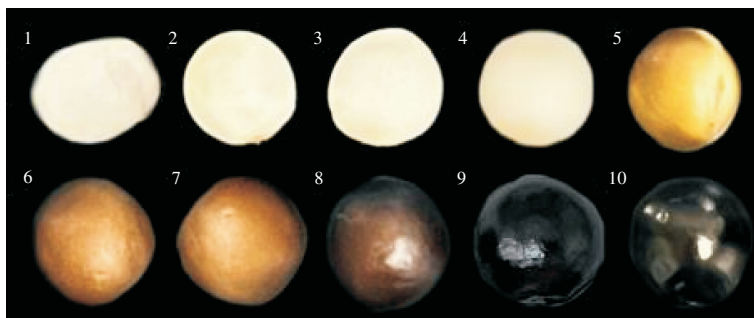


图2 不同发育时期石蒜种子的外部形态

Figure 2 External morphology of *L. radiata* seeds at different developmental periods

### 2.3 不同发育时期石蒜种子含水量变化

由图3可知,随发育时间的延长石蒜种子含水量总体呈下降趋势。在花后7~35 d,石蒜种子含水量呈缓慢下降趋势;花后35~42 d时种子含水量下降明显;花后42~49 d时含水量略有上升,但随后又迅速下降,至花后70 d种子含水量为72.47%,是整个发育周期内的最低值。

### 2.4 不同发育时期石蒜种子营养物质含量变化

石蒜种子胚乳中可溶性蛋白质含量较低(图4a),而可溶性糖和淀粉含量较高(图4b和图4c)。不同发育时期石蒜种子可溶性糖、可溶性蛋白质和淀粉含量变化趋势相同,均呈显著上升趋势。其中,可溶性糖含量在花后7 d时低至 $33.62 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ,与花后14,21,28 d相比并无显著差异,其含量基本维持在 $33.62 \sim 36.41 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ;至花后70 d可溶性糖含

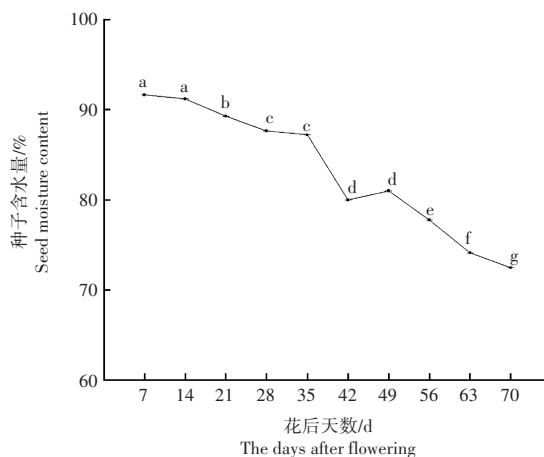


图3 不同发育时期石蒜种子含水量

Figure 3 Moisture content of *L. radiata* seeds at different developmental periods

量达到最高,为 $61.40 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。淀粉含量在石蒜种子发育过程中呈“升-降-升-降”的变化趋势,整体变化幅度较大。发育初期淀粉含量虽显著上升,但至花后35 d时淀粉含量却迅速降至最低值 $8.26 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,随后显著上升至最高值 $42.21 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (花后63 d)。可溶性蛋白质含量在石蒜种子发育过程中整体变化幅度不大,在花后7 d时可溶性蛋白质含量最低( $0.15 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ),花后70 d时可溶性蛋白质含量达到峰值( $0.70 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ),并与其他各时间处理均存在显著差异,较初期相比可溶性蛋白质含量增加78.35%。

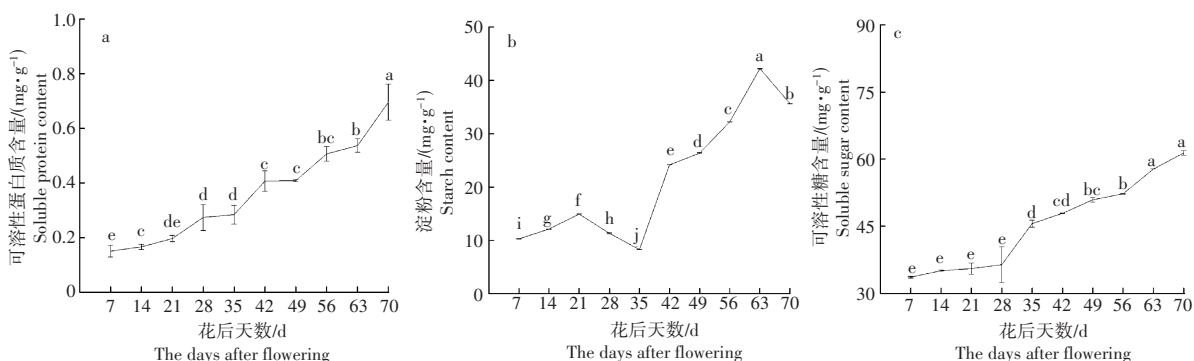


图4 不同发育时期石蒜种子营养物质含量变化

Figure 4 Nutrient content changes of *L. radiata* seeds at different developmental periods

### 2.5 不同发育时期石蒜种子干重及发芽率的变化

由表2可知,石蒜种子在整个发育期间干物质积累呈持续上升的变化趋势。在花后14~42 d干重显著增加,该阶段种胚生长最为旺盛;花后42 d及之后种子的干重增长速度逐渐放缓,并最终在花后70 d时达到相对稳定的状态,此时种子生活力达到83.33%。

表2 不同发育时期石蒜种子干重及发芽率变化

指标 Index	花后天数 The days after flowering/d									
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
干重/g Dry weight	0.02±0.00 <sup>e</sup>	0.03±0.00 <sup>e</sup>	0.12±0.00 <sup>d</sup>	0.22±0.00 <sup>c</sup>	0.24±0.00 <sup>d</sup>	0.35±0.00 <sup>c</sup>	0.34±0.00 <sup>c</sup>	0.43±0.00 <sup>b</sup>	0.56±0.00 <sup>a</sup>	0.56±0.00 <sup>a</sup>
发芽率/% Germination rate	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	8.67±2.96 <sup>c</sup>	14.33±2.96 <sup>b</sup>	23.33±2.03 <sup>a</sup>
发芽势/% Germination energy	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	4.00±1.00 <sup>b</sup>	6.33±2.03 <sup>b</sup>	9.76±2.03 <sup>a</sup>

此外,通过对发育7,14,21,28,35,42,49,56,63,70 d的石蒜种子进行发芽试验,发现种子在发育56 d时开始成熟并具备萌发潜力,发芽率及发芽势分别达到8.76%和4.00%;而至花后63~70 d种子的发芽率显著高于其他发育时期,分别达到14.33%和23.33%,此时发芽势分别达到6.33%和9.76%,这可能与其拥有完整的胚结构密切相关。

## 3 讨论与结论

种子发育包括种子含水量和内含物质含量变化等方面<sup>[27]</sup>,具体表现为种胚及含水量的变化过程<sup>[28]</sup>。本研究发现,石蒜种子一般在10月中下旬成熟脱落。在发育初期(花后0~56 d)种皮颜色逐渐由透白色转黄褐色,至花后56 d时颜色由黄褐色开始转为褐色,至成熟脱落时(花后70 d)种皮颜色呈黑色,整个发育期间种子横长、纵长及种子干重均呈显著上升的变化趋势。这与紫花地丁(*Viola philippica*)种子发育研究结果基本相似<sup>[29]</sup>,说明种皮颜色及形态特征在一定程度上能够直观反映种子是否适合采收。花后7 d时石蒜种子含水量高达91.66%,至花后70 d种子含水量降为72.47%,与田宏等<sup>[30]</sup>的研究结果一致,含水量的下降构成推动内部贮藏物质积累的关键因素。这一过程不仅是种子

发育成熟的显著标志,而且是评估种子是否达到最佳采收时机的重要生物学指标,如扁穗雀麦(*Bromus cartharticus*)种子适宜收获的种子含水量为26.49%<sup>[31]</sup>,东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)为22%<sup>[32]</sup>。此外,成熟脱落的石蒜种子具有较高生活力(83.33%),且胚乳内可溶性糖(61.40 mg·g<sup>-1</sup>)和淀粉(35.65 mg·g<sup>-1</sup>)含量较为丰富,但可溶性蛋白质(0.70 mg·g<sup>-1</sup>)含量极少,符合顽拗性种子的主要特征<sup>[33]</sup>。

深入了解种子发育进程中内含物质变化的规律,有助于更好地把握种子的生理成熟阶段,进一步提升种子的品质与利用效率。研究表明,正常性种子耐脱水性的分子机制之一是营养物质的积累,而这类情况多发生在种子发育的后期<sup>[34]</sup>。其中,可溶性糖作为细胞内的主要能源物质,对种子整个发育周期至关重要<sup>[35]</sup>。石蒜种子发育初期(花后7~28 d)可溶性糖含量相对稳定,至花后35 d时可溶性糖含量显著升高,淀粉含量却显著降低。此时淀粉作为临时能量储备物质被迅速水解为可溶性糖,以供种子的各种生命活动所需。然而,在石蒜种子发育后期(花后42~70 d),种子(胚乳)内的淀粉、可溶性糖和可溶性蛋白质等营养物质却显著增加,这与刘耀婷等<sup>[36]</sup>在荔枝(*Litchi chinensis*)和冯景等<sup>[37]</sup>在银杏(*Ginkgo biloba*)种子上的研究结果基本一致,说明胚乳内的营养物质积累程度,不仅直观反映了植物在生长发育过程中所需供给物质的丰富度,还直接决定了种子成熟度<sup>[38]</sup>。

本研究表明,石蒜种子呈黑色圆球形,主要由胚、胚乳和种皮组成,其发育过程需70 d。依据形态特征的变化,可将其划分空泡化时期、液化化时期、胶质化时期、胚发育时期和成熟期。虽在整个发育期间脱水现象较为严重,但成熟脱落时含水量仍高达72.47%,有顽拗性种子特性;淀粉、可溶性糖和蛋白质含量呈显著上升,含水量呈显著下降的变化趋势。综上,石蒜花后63~70 d时种皮转为黑色,此时种子已完成干物质积累并具有完整的种胚结构,适合采收。

#### 参考文献:

- [1] 张 瑶,蔡军火,魏绪英,等.红花石蒜开花过程中不同部位糖类和蛋白质含量变化[J].江西农业大学学报,2022,44(6):1419-1427.
- [2] CAI J H,FAN J J,ZHANG Y,et al.Relationship among changes in nonstructural carbohydrate content,metabolic enzyme activity,and growth rhythm in *Lycoris radiata*[J].Russian Journal of Plant Physiology,2022,69(5):1-8.
- [3] 马美霞,魏绪英,张 瑶,等.红花石蒜不同发育时期淀粉粒的分布动态[J].北方园艺,2023(1):63-68.
- [4] 温 婷,吴 靖,蔡军火,等.丛枝菌根真菌对红花石蒜植株及根际土壤养分影响[J].江西农业大学学报,2023,45(5):1196-1207.
- [5] JIANG X R,CHEN H T,WEI X Y,et al.Proteomic analysis provides an insight into the molecular mechanism of development and flowering in *Lycoris radiata*[J].Acta Physiologiae Plantarum,2021,43(1):1-13.
- [6] 秦卫华,周守标,汪恒英,等.石蒜属植物的研究进展[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2003(4):385-390.
- [7] 许俊旭,李青竹,杨柳燕,等.石蒜属植物鳞茎发育机理及调控研究进展[J].中国农学通报,2021,37(17):39-44.
- [8] 张新静,于 营,雷慧霞,等.桔梗种子发育过程中外观形态及生理生化的变化[J].种子,2018,37(8):36-40.
- [9] 文湘穗,王雨濛,张誉莽,等.北五味子种子发育过程生理生化分析[J].分子植物育种,2022,20(1):303-309.
- [10] 贾冬冬,李在留,郑云丽,等.毛竹种子发育过程中形态和生理特性变化[J].中南林业科技大学学报,2024,44(1):79-88.
- [11] 朱世杨,刘 庆,钟伟杰,等.不同成熟期对花椰菜种子活力及相关生理生化指标的影响[J].核农学报,2024,38(3):464-471.
- [12] 甘倩倩,杨 萍,王红兰,等.羌活种子发育过程中形态及生理生化特征研究[J].中国中药杂志,2024,49(2):354-360.
- [13] 王晓峰,傅家瑞.芒果种子的发育和贮藏特性[J].华南农业大学学报,1994(2):26-31.
- [14] 刘 咪,曾子欣,徐 尧,等.牡丹种子发育过程中生理生化指标变化的研究[J].种子,2021,40(5):27-32.
- [15] 刘 欢,黄小龙,刘济明,等.米槁种子发育过程的形态和生理特性[J].东北林业大学学报,2022,50(1):21-26.
- [16] 梁 艳,高美玲,刘 敏,等.红松种胚发育过程中营养物质的动态变化[J].种子,2018,37(10):16-20.
- [17] HONG F X,FENG L I,XIAO W,et al.Study on the dynamics of nutrition components in seeds of *Ginkgo biloba* during maturation[J].GUIHAIA,2000(20):239-246.
- [18] 孙长生,朱 虹,龙祥友.中国石蒜种子生物学特性研究[J].现代中药研究与实践,2013,27(2):9-12.
- [19] 张鹏翀,鲍淳松,江 燕.石蒜属植物生物学特性及栽培技术研究进展(综述)[J].亚热带植物科学,2015,44(2):168-174.
- [20] 刘志高.三种石蒜属植物种子萌发特性研究[J].北方园艺,2011(17):90-93.

- [21] 戴智慧,俞雷民,陈越,等.换锦花种子的生物学特性和贮藏特性研究[J].中国野生植物资源,2015,34(5):19-22,27.
- [22] 穆红梅,夏冰,汪仁,等.顽拗性种子——中国石蒜种子的贮藏特性研究[J].种子,2011,30(12):43-45.
- [23] 王华宇.中国石蒜种子特性和原生鳞茎形成的初步研究[D].南京:南京林业大学,2007.
- [24] 张宪政.植物生理学实验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1989.
- [25] 张治安,陈展宇.植物生理学实验技术[M].长春:吉林大学出版社,2008.
- [26] 沈起栋,李欣音,庞程,等.糖芥种子萌发特性的研究[J].2021,40(10):110-113,120.
- [27] 韩彪.板栗种子顽拗性特征解析及贮藏研究[D].北京:北京林业大学,2020.
- [28] 朱永莉,沈永宝.紫梗籽银桂种胚发育与胚乳营养物质的变化研究[J].种子,2023,42(4):49-55.
- [29] 陆倩,魏岩,安忻蕾,等.紫花地丁果实不同发育时期种子形态与萌发行为初探[J].草业科学,2022,39(3):520-528.
- [30] 田宏,张鹤山,熊军波,等.扁穗雀麦种子成熟过程生理响应及适宜收获期研究[J].种子,2021,40(1):34-39.
- [31] 田宏,张鹤山,熊军波,等.扁穗雀麦种子发育过程中生理生化研究[J].中国草地学报,2019,41(4):45-51.
- [32] 秦祎婷,李雪,翟志席,等.东北红豆杉种子发育过程生理特性研究[J].东北农业大学学报,2014,45(11):8-13.
- [33] 宋松泉,刘军,唐翠芳,等.种子耐脱水性的生理及分子机制研究进展[J].中国农业科学,2022,55(6):1047-1063.
- [34] MA CH H, CHENG J, HAN J G, et al. Study on the dynamic changes of physiology and biochemistry during the seed development of tall fescue in Xinjiang[J]. Acta Pratacultural Science, 2002(7):76-80.
- [35] VANDEPUTTE G, DELCOUR J. From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: A focus on rice starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 58(3):245-266.
- [36] 刘耀婷,李芳,高兆银,等.荔枝种子发育过程中有机营养变化与萌发的关系[J].中国南方果树,2024,53(3):102-110, 117.
- [37] 冯景,沈永宝,史锋厚,等.银杏种子发育过程中胚乳内含物的变化[J].中南林业科技大学学报,2019,39(10):30-39.
- [38] CUI H W, CHENG Z S, LI P, et al. Prediction of sweet corn seed germination based on hyperspectral image technology and multivariate data regression[J]. Sensors, 2020, 20(17):4744.

[责任编辑 马迎杰]