

# 大葱雄性不育系的雄蕊特征及花药细胞学研究

冯大领<sup>1</sup>, 王丽乔<sup>2</sup>, 张巍巍<sup>1</sup>, 赵玉靖<sup>3</sup>, 付雅丽<sup>2</sup>, 袁瑞江<sup>2</sup>

(1. 河北农业大学 生命科学学院, 河北 保定 071000; 2. 石家庄市农林科学研究院 蔬菜研究所, 河北 石家庄 050021;

3. 河北农业大学 园艺学院, 河北 保定 071000)

**摘要:**以大葱不育系和保持系为试材, 对其进行了形态学和细胞学观察, 以揭示大葱雄性不育系和保持系的雄蕊鉴别特征及雄性不育发生的细胞学机制。结果表明: 大葱不育系的花药外形表现为干瘪, 无花粉粒散出, 花粉囊内的花粉粒无活性; 保持系的花药外形饱满, 成熟后开裂, 有黄色花粉粒散出, 花粉囊内的花粉粒活力为 91.65%; 通过对大葱不育系和保持系花药发育的细胞学比较发现, 大葱不育系的花粉败育原因体现在 3 个方面: 一是绒毡层细胞的提早液泡化并解体, 解体时间始于花粉母细胞时期, 到单核花粉粒时期几乎完全消失, 不能为小孢子发育提供必需的营养物质; 二是绒毡层细胞内的原生质浓度低, 无明显的多核现象, 该绒毡层细胞的异常也造成营养物质供应不足, 引起花粉粒败育; 三是在单核花粉粒到成熟花粉粒发育过程中, 有些花药的药隔细胞纤维化, 阻碍了水分和营养物质由维管束向花粉囊的输送, 从而引起花粉粒败育。而保持系的花药绒毡层细胞在花粉母细胞和减数分裂时期, 细胞质浓、染色较深、无早期液泡化现象, 在单核花粉粒时期出现解体, 一直到花粉粒成熟才逐渐解体消失。该研究为田间鉴定大葱不育系及揭示不育发生的细胞学机制奠定了基础。

**关键词:**大葱; 不育系; 保持系; 花药; 细胞学

**中图分类号:**S 633.103.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)23-0001-06

大葱(*Allium fistulosum* L. var. *giganteum* Makino) 属百合科(Liliaceae)葱属(*Allium*)重要的蔬菜和调味料作物。长期以来, 大葱育种一直是蔬菜育种的一个薄弱环节, 尤其是培育抗病、抗倒伏、耐涝、优质、高产的优良大葱品种是育种工作的主要目标。由于大葱花器官小, 单花结籽率低, 人工去雄成本高, 因而利用雄性不育系配制杂交种是最为有效的途径。20 世纪 70 年代, 中日学者在大葱自然群体中发现了雄性不育植株<sup>[1]</sup>, 为大葱的杂交育种提供了基础。

前人通过对农作物、蔬菜、观赏植物、果树等多种植物雄性不育进行细胞学研究发现, 雄性不育多与花药绒毡层的异常有关<sup>[2-12]</sup>。KU 等<sup>[2]</sup>研究热敏感型核雄性不育水稻发现, 绒毡层细胞质收缩并提早液泡化造成雄性

不育。胡丽芳等<sup>[3]</sup>研究了辐射诱变的水稻雄性不育发生与绒毡层的提早解体有关。不同植物雄性不育发生的时期不同, 有的发生在花粉母细胞时期, 有的发生在减数分裂时期, 还有的发生在小孢子时期。ZHANG 等<sup>[13]</sup>研究发现, 西瓜的雄性不育发生在减数分裂时期, 与花粉母细胞减数分裂中染色体的不完全联会、染色体落后、形成单价体等有关。SONG 等<sup>[14]</sup>研究小麦细胞质雄性不育系时发现, 雄性不育发生在减数分裂阶段, 大部分不育株不能进行减数第二次分裂, 不能形成正常小孢子, 造成不育。LIU 等<sup>[15]</sup>研究芝麻的雄性不育起始于花粉母细胞阶段, 其不育也与绒毡层的发育有关。有关大葱雄性不育发生的细胞学机制研究中, 中国学者做了很多工作。席湘媛<sup>[16]</sup>对章丘大葱不育系和可育系的花粉发育进行了报道, 认为不育系的花粉母细胞减数分裂正常, 花粉败育发生在具液泡的小孢子期, 但未揭示绒毡层与花粉败育的因果关系。栾兆水等<sup>[17]</sup>研究了大葱小孢子发生和雄配子体发育, 证明其雄性不育小孢子的败育始于单核中期, 但没有揭示花药壁的变化与花粉败育的关系。王晓静等<sup>[18]</sup>以大葱雄性不育系及保持系为试材, 观察了不育系和保持系小孢子的发育过程, 研究结果表明大葱雄性不育系的花粉败育发生于单核小孢子时期, 花粉败育不仅与绒毡层有关, 还与中层细胞的

**第一作者简介:**冯大领(1969-), 女, 博士, 副教授, 现主要从事植物育种及细胞工程等研究工作。E-mail:bjdalingfeng@163.com.

**责任作者:**袁瑞江(1974-), 男, 本科, 高级农艺师, 现主要从事蔬菜育种等研究工作。E-mail:yryj208@126.com.

**基金项目:**河北省科技支撑计划资助项目(14226306D-6); 河北农业大学大学生创新创业训练计划资助项目(cxzr2014009); 河北农业大学中青年骨干教师境外研修资助项目。

**收稿日期:**2016-07-21

延迟解体密切相关。这些研究均为揭示大葱雄性不育系发生的细胞学机制提供了一定的理论依据。

课题组自 1990 年开始大葱育种,累计收集了国内外大葱种植资源 200 多份,并选育出几个较为稳定的不育系和相应的保持系。通过对不育系和保持系显微结构的比较,发现该不育系的花药在发育过程中除了与绒毡层提早解体有关,还与绒毡层少核及药隔细胞异常有关。该试验以大葱不育系和保持系为试材,通过观察大葱的雄蕊形态、花粉粒活性及花药发育过程,旨在揭示该不育系雄蕊的鉴别特征及不育发生的细胞学机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

大葱雄性不育系及保持系由石家庄市农林科学研究院蔬菜研究所提供。

### 1.2 试验方法

大葱雄蕊花药的外部形态在体视镜下拍照。花粉活力测定参照汪妮等<sup>[19]</sup>的氯化三苯基四氮唑(TTC)法染色,不育系和保持系分别选取 3 株,花刚刚开放即取花粉,每株分别选取 5 朵花的花药,取出花粉粒混合,以 100 倍下

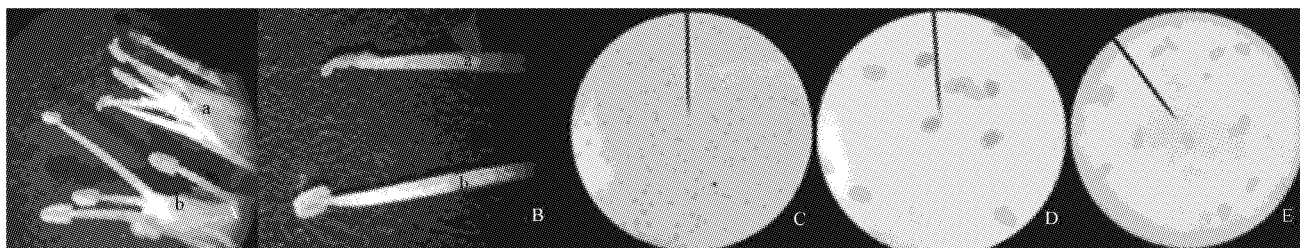
5 个视野内的花粉粒活力平均值作为花粉粒的活力值。

在大葱初花期,采集大葱花苞内不同大小的花蕾,采用 FAA 固定液固定,经过脱水-透明-浸蜡-包埋-切片和粘片-脱蜡-番红-固绿染色-封片等常规石蜡切片法制备大葱不育系和保持系的花药横切片。采用 ZEISS 显微镜摄像。

## 2 结果与分析

### 2.1 大葱雄性不育系和保持系花药形态及花粉粒活性分析

大葱的一朵花中有雄蕊 6 个,3 长 3 短。长雄蕊花药与短雄蕊花药相比,花药较短,花粉囊开裂较早。不育系和保持系均有 6 个雄蕊,但其花药形态差异较大。从外观上看,不育系雄蕊的各个花药均表现为干瘪,较少有花粉粒散出,说明花药没有开裂,或花药内的花粉粒少。而保持系花药均饱满,并在成熟时有黄色花粉粒散出(图 1A、B)。经过四唑法染色测定保持系和不育系的花粉粒活力,得知保持系的花粉粒活力达到 91.65%(图 1C、D),而不育系花药内无饱满的花粉粒,花粉粒干瘪,且花粉粒数量较少(图 1E),经过测定,其花粉粒活力为 0。



注:A.a 为不育系雄蕊,b 为保持系雄蕊;B.a 为不育系干瘪的花药,b 为保持系花药;C、D. 保持系花粉粒形态及活力;E. 不育系花粉粒形态及活力。

Note: A, a is the stamen of male sterile line, b is the stamen of maintain line; B, a is a wizened anther of male sterile line, b is the anther of maintain line; C, D, Pollen shape and vitality of maintain line; E. Pollen shape and vitality of male sterile line.

图 1 不育系和保持系的雄蕊形态及花粉粒活力

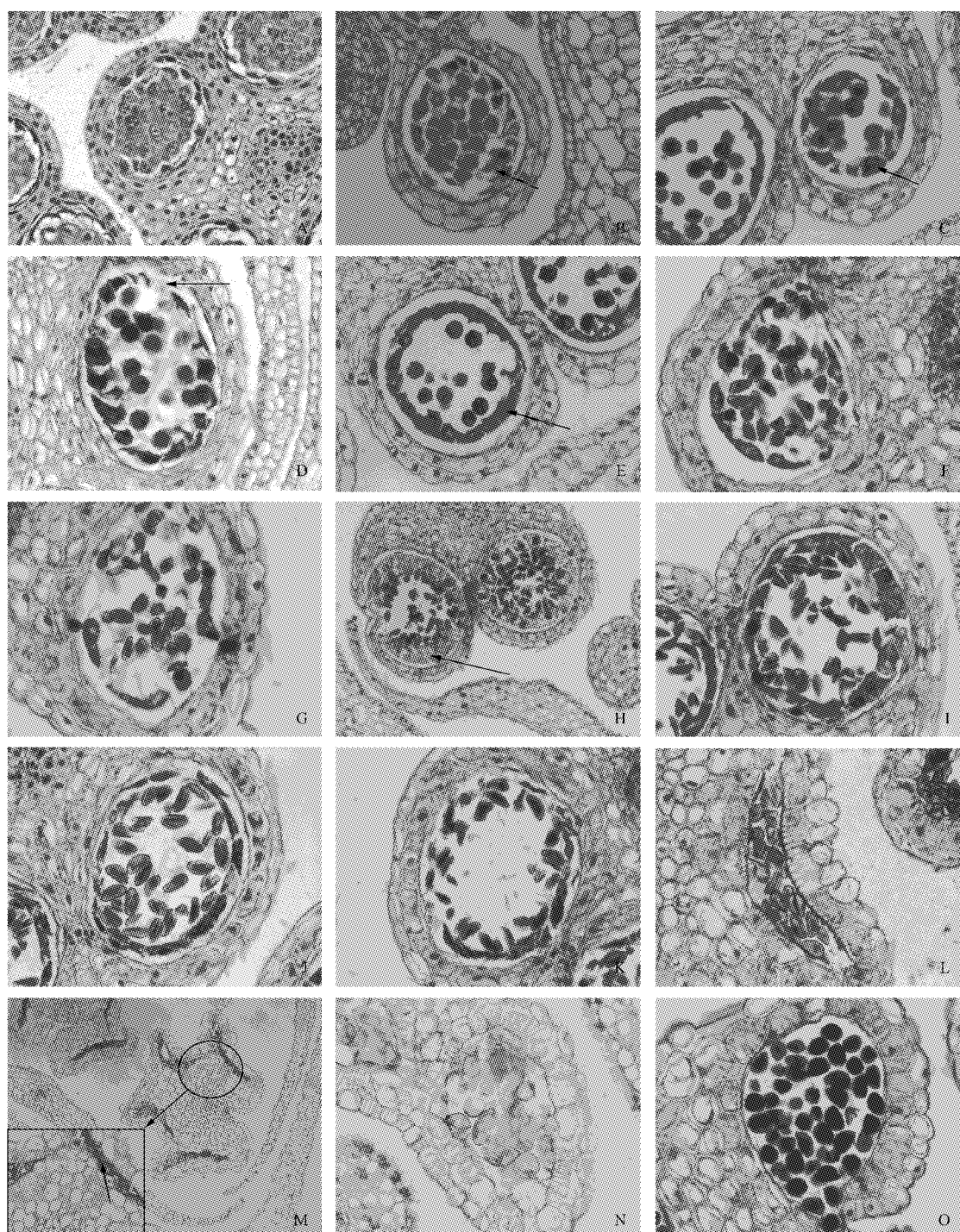
Fig. 1 Morphologic traits of stamen and pollen vitality of male sterile line and maintain line

### 2.2 大葱雄性不育系和保持系花药发育的细胞学观察

2.2.1 花粉母细胞阶段 由图 2 A 可以看出,不育系和保持系的花药结构中,花粉母细胞均表现为细胞核大、细胞质浓、细胞质染色较深。在不育系的花粉母细胞早期阶段,花药壁的中层细胞未解体(图 2 A);在花粉母细胞后期阶段,不育系和保持系的中层细胞均出现部分解体现象(图 2 B、C)。因此,不育系和保持系的中层细胞无差异;但花粉母细胞周围的绒毡层细胞存在着差异,不育系的绒毡层细胞颜色较浅,细胞内有较大的液泡,细胞质被液泡挤到一边,看不到明显的细胞核,有的细胞已经出现解体现象(图 2 B);而保持系的绒毡层细胞液泡占细胞比例相对较小,细胞质表现为染色较深,能明显看到细胞核(图 2 C),说明不育系的绒毡层细胞解体较早。药室内壁和表皮细胞在不育系

和保持系中无明显差异。因此,在花粉母细胞阶段,绒毡层细胞开始出现液泡化和解体现象,造成花粉母细胞发育所需的营养供应不足,是导致雄性不育的原因之一。

2.2.2 减数分裂阶段 不育系和保持系的花粉母细胞能够顺利完成减数分裂,形成二分体和四分体。从外形看,花粉母细胞减数分裂形成的二分体和四分体均具有正常形态(图 2 D、E)。但在此时期,不育系和保持系的绒毡层细胞存在差异。不育系的绒毡层细胞形状不规则,有的正在解体或已经解体(图 2 D);而保持系花药绒毡层细胞的细胞质浓、形状规则,未出现解体现象(图 2 E)。在此时期,中层细胞已经完全解体,在绒毡层细胞和药室内壁之间形成空隙,不育系和保持系的中层细胞无明显差异。



注: A. 不育系花粉母细胞早期(400 $\times$ ); B. 不育系花粉母细胞后期, 箭头示绒毡层细胞液泡化(400 $\times$ ); C. 保持系花粉母细胞至减数第一次分裂期, 箭头示发育正常的绒毡层细胞(400 $\times$ ); D. 不育系减数分裂期, 箭头示正在解体的绒毡层细胞(400 $\times$ ); E. 保持系减数分裂期, 箭头示正常的绒毡层细胞(400 $\times$ ); F~H. 不育系幼嫩花粉粒期, F, G(400 $\times$ ), H(200 $\times$ ); I~K. 保持系幼嫩花粉粒期(400 $\times$ ); L. 不育系成熟花粉粒期(400 $\times$ ); M. 不育系药隔细胞纤维化(100 $\times$ ), 左下方为放大的纤维化药隔细胞(400 $\times$ ); N. 不育系空瘪花粉粒(400 $\times$ ); O. 保持系成熟花粉粒(400 $\times$ )。

Note: A. Early stage of pollen mother cell of male sterile line; B. Late stage of pollen mother cell of male sterile line; C. Pollen mother cell to meiosis I stage of maintain line; D. Meiosis stage of male sterile line; E. Meiosis stage of maintain line; F~H. Young pollen stage of male sterile line; I~K. Young pollen stage of maintain line; L. Mature pollen stage of male sterile line; M. Fiberized connective tissue of male sterile line; N. Empty and inactive pollen of male sterile line; O. Mature pollen stage of maintain line.

图2 不育系和保持系花药的显微结构

Fig. 2 Anther microstructures of male sterile line and maintain line

2.2.3 幼嫩花粉粒发育阶段 减数分裂后的小孢子逐步发育为成熟花粉粒之前的发育时期称为幼嫩花粉粒阶段。在此时期,不育系的花药壁表现为2个方面:一是花药绒毡层细胞继续解体甚至完全消失(图2 F、G);二是花药绒毡层细胞保存较多,但染色较浅,多数细胞看不到明显的细胞核(图2 H)。而保持系细胞的绒毡层细胞在单核花粉粒时期染色较深,多数细胞完好,部分细胞出现解体,随着花粉粒的逐步成熟,绒毡层细胞逐渐解体(图2 I、J、K)。减数分裂后的小孢子在不育系和保持系的花粉囊内开始出现差异。保持系的小孢子到成熟期前一直染色较深,形状规则(图2 K);而不育系的小孢子在发育后期表现为染色较浅,壁厚,形状不规则,有的饱满,有的干瘪(图2 G)。不育的原因与绒毡层细胞提早解体和绒毡层细胞发育不健全有关。

2.2.4 成熟花粉粒阶段 当花粉粒成熟时,不育系和保持系的花粉囊壁均被表皮和纤维层包围。但在不育系中,有的花粉囊干瘪,不能正常开裂,其内的花粉粒也干瘪瘦小且壁厚(图2 L);在干瘪花药中,还能看到药隔细胞的细胞壁也出现条纹状加厚(图2 M);也有的花粉囊虽然不干瘪,但其内的花粉粒呈圆形或扁圆形,染色较浅、空瘪(图2 N)。而保持系的花粉囊饱满,其内的花粉粒呈圆形或椭圆形,被染成蓝黑色(图2 O)。不育系花药的药隔薄壁细胞出现细胞壁条纹状加厚,在单核花粉粒发育成成熟花粉粒的关键时期,阻碍了维管束内营养物质和水分的运输,从而影响了幼嫩花粉粒的正常发育,这也许是败育发生的又一原因。

### 3 讨论

#### 3.1 雄蕊特征

植物雄性不育类型主要有雄蕊退化、花粉败育和功能不全等类型。通过观察花的结构特征,能够鉴别雄性不育。叶要妹等<sup>[20]</sup>对百日草的雄性不育结构类型进行了研究,发现百日草雄性不育的花没有花瓣,雄蕊绒毛状,无花粉粒形成,该百日草雄性不育属于雄蕊退化类型;梅德勇等<sup>[21]</sup>在甘蓝型油菜中也发现了无花粉囊的败育;万正杰等<sup>[22]</sup>研究芥菜型油菜时发现了雄蕊花瓣状的不育系。番茄的雄性不育花有柱头外露现象<sup>[23]</sup>。也有的雄性不育表现为微粉现象,如胡永敏等<sup>[24]</sup>对5种甘蓝型油菜细胞质雄性不育的研究发现,少数花药会继续发育产生有活力的花粉,表现为微粉现象;郭伟等<sup>[25]</sup>也观察到了芝麻雄性不育系的微粉现象。根据对该试验材料的观察,雄蕊有正常的花丝和花药,但其成熟的花药外形干瘪不开裂,无花粉粒散出,花药内含有不育的花粉,无活力,大葱雄性不育属于花粉败育类型。

#### 3.2 花药发育的细胞学特征

花药绒毡层细胞在花粉粒发育过程中具有重要的作用,可为花粉粒的发育提供营养物质,提供胼胝质酶

分解四分体,提供花粉粒外壁的孢粉素和识别蛋白。因此,绒毡层细胞发育不正常,会影响花粉粒的正常发育,从而引起花粉败育。在该试验中,不育系花药在花粉母细胞阶段出现了明显的绒毡层细胞液泡化,细胞质基质体积较小,部分绒毡层细胞开始出现解体现象;到单核花粉粒时期,绒毡层细胞不规则,多数绒毡层细胞解体甚至消失。而保持系的绒毡层细胞的解体时间出现在减数分裂后的小孢子时期,到花粉粒发育成熟时,被完全吸收。与保持系的花药发育相比,不育系花药的绒毡层细胞液泡化早、解体早,这与KU等<sup>[2]</sup>的研究结果一致。席湘媛<sup>[16]</sup>认为,不育系的小孢子母细胞减数分裂正常,花粉败育发生在具液泡的小孢子期。该研究认为,尽管能够看到花粉母细胞减数分裂形成4个小孢子,但绒毡层细胞在花粉母细胞阶段即出现液泡化,因此,从结构上看花粉败育始于小孢子时期,但从生理和分子水平看,花粉败育可能起始于花粉母细胞阶段。

此外,不育系中有的绒毡层细胞在幼嫩花粉粒时期无明显多核现象,细胞质染色较浅,说明绒毡层细胞的细胞核小,或没有进行核分裂,一些营养物质缺乏,这些均为发育异常的绒毡层细胞,不能为花粉粒发育提供营养物质,这也许是大葱花粉粒败育的又一原因。大葱不育系绒毡层细胞的这一特征在前人的研究中未见报道。

花药的中层细胞内含有淀粉等多种贮藏物质,可以为花粉粒发育提供营养而逐渐解体被吸收。在该试验中,不育系和保持系中层细胞的解体时间出现在花粉母细胞后期,到减数第二次分裂期时,大多数中层细胞已经被吸收完,不育系和保持系无明显差异。因此,中层细胞的解体消失,不是造成大葱雄性不育的原因。

除了绒毡层等细胞对花粉粒败育的影响外,药隔维管束和药隔薄壁细胞也对花粉粒发育有一定影响。如果维管束发育不健全或药隔薄壁细胞异常,也会影响水分和营养物质的运输,从而造成花粉粒败育。在该研究中发现,不育系的花药在幼嫩花粉粒向成熟花粉粒发育过程中,药隔薄壁细胞的细胞壁出现了条纹状加厚,也阻碍水分和营养物质从药隔维管束向花粉囊内的花粉粒运输,从而造成花粉粒败育。药隔细胞纤维化这一特征在前人的大葱不育系细胞学研究中鲜见报道。

目前,对植物雄性不育发生的研究除了细胞学机制外,多深入到分子水平的研究。王俊生等<sup>[26]</sup>研究了3-磷酸甘油醛脱氢酶(GAPDH)和NFUDP4基因在小麦不同发育时期的不育和可育花药中的表达差异。QU等<sup>[27]</sup>对甘蓝型油菜雄性不育系开花、花粉壁发育等阶段转录水平的比较分析。对大葱雄性不育分子水平的研究多集中在分子标记的研究上<sup>[28-29]</sup>,有关雄性不育在转录水平和翻译水平上的分子机制研究是今后的研究方向。

## 4 结论

根据大葱雄蕊形态特征以及花粉粒活力,该大葱雄性不育系属于花粉败育类型,没有微粉现象。通过花药显微结构观察得知,该不育系发生主要是由于绒毡层细胞提早液泡化并解体、绒毡层细胞无多核现象以及药隔细胞在单核花粉粒发育后期的纤维化有关;该大葱雄性不育与中层细胞的解体消失没有关系。该大葱雄性不育系的花粉母细胞能够正常进行减数分裂,产生小孢子。从结构上看其花粉败育时期始于小孢子时期,但其绒毡层细胞在花粉母细胞时期即出现液泡化并开始解体,所以从生理和分子水平看,花粉败育可能起始于花粉母细胞阶段,因此从分子水平揭示其不育发生机制是下一步的主要任务。

(该文作者还有王其鹏,单位同第一作者。)

## 参考文献

- [1] 张启沛,魏佑营,张琦. 葱自然群体的雄性不育性[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),1987,18(4):1-10.
- [2] KU S, YOON H, SUH H S, et al. Male-sterility of thermosensitive genic male-sterile rice is associated with premature programmed cell death of the tapetum[J]. *Planta*, 2003, 217: 559-565.
- [3] 胡丽芳,苏连水,朱昌兰,等. 辐射诱变水稻雄性不育突变体 tda 的遗传与细胞学分析[J]. 核农学报, 2015, 29(12): 2253-2258.
- [4] WEI L. Cytological study on zidao type cytoplasmic male sterile line-Yingxiang A[J]. *Agricultural Science and Technology*, 2015, 16(3): 459-461.
- [5] YANG X L, ZHANG H Y, GUO W Z, et al. Ultrastructure in microspore abortion of genic male sterile line in sesame (*Sesamum indicum* L.) [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(11): 1894-1900.
- [6] 王瑞丽,马蓉丽,成妍,等. 洋葱细胞质雄性不育系及保持系小孢子发生的细胞学观察[J]. 中国农学通报, 2016, 32(1): 43-46.
- [7] 王兰兰,王晓林,魏兵强,等. 辣椒雄性不育系及保持系小孢子发育的细胞学比较[J]. 西北农业学报, 2015, 24(1): 115-118.
- [8] 单奇伟,陈龙正,徐海,等. 不结球白菜 *Ogura* 雄性不育花器官形态及败育细胞学的研究[J]. 华北农学报, 2009, 24(增刊): 25-29.
- [9] 龙欢,姚家玲,涂金星. 3 种甘蓝型油菜雄性不育系花药发育的细胞学研究[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(6): 570-575.
- [10] 田如霞,武玲萱,崔贵梅. 春萝卜雄性不育系 4-05A 小孢子败育的细胞学观察[J]. 华北农学报, 2010, 25(6): 109-112.
- [11] 吕清璐,沈向群,汪玉,等. 美女樱雄性不育系小孢子发生的细胞学观察[J]. 种子, 2010, 29(5): 12-14, 18.
- [12] 胡静静,赵静,沈向. 黄金梨雄性不育的细胞学研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(2): 185-188.
- [13] ZHANG Y, CHENG Z H, MA J X, et al. Characteristics of a novel male-female sterile watermelon (*Citrullus lanatus*) mutant[J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 140: 107-114.
- [14] SONG X Y, QIAN H H, ZHANG L L. Cytogenetic analysis of cytoplasmic male sterility in wheat line KTP116A and molecular mapping of two thermo-sensitive restoration genes[J]. *Euphytica*, 2014, 196: 129-136.
- [15] LIU H Y, ZHOU X N, WU K, et al. Inheritance and molecular mapping of a novel dominant genic male-sterile gene in *Sesamum indicum* L[J]. *Molecular Breeding*, 2015, 35: 9.
- [16] 席湘媛. 大葱雄性不育系及雄性不育系的花药花粉发育的比较研究[J]. 植物学报, 1991, 33(10): 770-775.
- [17] 栾兆水,孔令让. 雄性不育可育大葱花粉细胞形态学比较研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 1992, 23(1): 59-66.
- [18] 王晓静,沈火林,杨学妍,等. 大葱雄性不育系及保持系花药和花粉发育的细胞学比较研究[J]. 中国瓜菜, 2007(2): 7-10.
- [19] 汪妮,张志轩,董自梅. 韭菜花粉生活力测定方法的筛选研究[J]. 长江蔬菜, 2009(2): 53-55.
- [20] 叶要妹,陈天花,胡秋实,等. 百日草雄性不育系的获得及其细胞学观察[J]. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1436-1443.
- [21] 梅德勇,董振生. 三种甘蓝型油菜 CMS 花药发育研究[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(2): 243-248.
- [22] 万正杰,王显军,傅延栋,等. 芥菜型油菜细胞质雄性不育系 6-102A 的细胞学观察[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(3): 268-271.
- [23] YU Q Z, LIANG C Y, WANG X Y, et al. Study on the pollen thermo-sensitive and stigma exertion male sterile line tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Da107[J]. *American Journal of Plant Sciences*, 2015(6): 2535-2539.
- [24] 胡永敏,董军刚,孟倩,等. 5 种甘蓝型油菜细胞质雄性不育系的细胞学观察[J]. 西北农业学报, 2012, 21(7): 95-99, 106.
- [25] 郭伟,苗红梅,张体德,等. 芝麻核雄性不育系 ms86-1 微粉发生的细胞学观察[J]. 植物学报, 2014, 49(1): 87-97.
- [26] 王俊生,袁蕾,位明明,等. 小麦生理型雄性不育花药中能量相关基因的表达[J]. 核农学报, 2009, 23(6): 928-934.
- [27] QU C M, FU F Y, LIU M L, et al. Comparative transcriptome analysis of recessive male sterility (RGMS) in sterile and fertile *Brassica napus* Lines [J]. *PLoS ONE*, 2015, 10(12): e0144118.
- [28] 盖树鹏,孟祥栋. 大葱胞质雄性不育位点 RAPD 标记转化为 SCAR 标记的研究[J]. 莱阳农学院学报, 2004, 21(3): 189-192.
- [29] 高莉敏,董飞,霍雨猛,等. 大葱细胞质雄性不育基因的 SCAR 标记开发[J]. 园艺学报, 2013, 40(7): 1382-1388.

## Stamen Characteristics and Anther Cytology Traits of Male Sterile Line in *Allium fistulosum* var. *giganteum*

FENG Daling<sup>1</sup>, WANG Liqiao<sup>2</sup>, ZHANG Weiwei<sup>1</sup>, ZHAO Yujing<sup>3</sup>, FU Yali<sup>2</sup>, YUAN Ruijiang<sup>2</sup>, WANG Qipeng<sup>1</sup>

(1. College of Life Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000; 2. Vegetable Institute, Shijiazhuang Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050021; 3. College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000)

**Abstract:** Morphological and cytological traits of anther were studied by comparative analysis between the male sterile line and its corresponding maintainer line of *Allium fistulosum* var. *giganteum*. The research objective is to reveal

DOI:10.11937/bfyy.201623002

# 不同品种芹菜品质指标测定及其聚类分析

隋 璐<sup>1</sup>, 刘维信<sup>1,2</sup>, 杨建明<sup>3</sup>, 唐 超<sup>3</sup>, 易晓华<sup>2,3</sup>

(1. 青岛农业大学 园艺学院, 山东 青岛 266109; 2. 即墨市锦云村芹菜种植研究所, 山东 青岛 266200;

3. 青岛农业大学 生命科学学院, 山东 青岛 266109)

**摘 要:**以 12 个不同品种的芹菜为试材, 对其可溶性糖、可溶性固形物、叶绿素、维生素 C、硝酸盐、纤维素、蛋白质、氨基酸、微量元素、芹菜素含量等 10 个营养品质性状进行了测定, 采用聚类分析对其进行比较。结果表明: 不同品种的芹菜在营养品质方面不尽相同, 其中“鲍芹”营养成分丰富, 维生素 C、芹菜素含量极高, 适合食用。试验初步明确了各品种芹菜营养成分, 为进一步开发芹菜的应用价值提供理论依据。

**关键词:**芹菜; 营养品质; 聚类分析

**中图分类号:**S 636.301 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)23-0006-05

芹菜原产地中海沿岸的沼泽地带, 属伞形科植物, 是一种耐寒性柱状叶类蔬菜, 在栽培上常按叶柄形态将芹菜分为中国芹菜(*Apium graveolens* L.)和西芹(*Apium graveolens* L. var. *dulce* DC.) 2 类<sup>[1]</sup>。芹菜主要食用茎和叶柄, 营养丰富, 食用部分含蛋白质、碳水化合物、粗

纤维、钙磷铁等, 还含有药效组分芹菜素、挥发油等, 具有很高的营养价值和医疗价值, 因此芹菜成为人们日常生活中主要食用的蔬菜之一。但是, 目前关于芹菜的研究多集中在栽培管理上, 而对营养价值的研究较少。该试验以 12 个芹菜品种为材料, 对其可溶性糖、可溶性固形物、叶绿素、维生素 C、硝酸盐、纤维素、蛋白质、氨基酸、微量元素、芹菜素含量等 10 个营养品质性状进行测定和比较, 以期为进一步开发芹菜的应用价值提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试芹菜品种“日本鲍芹”“王后芹菜”“金棚西芹二

**第一作者简介:**隋璐(1990-), 女, 山东烟台人, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜育种学。E-mail: 1612523292@qq.com.

**责任作者:**易晓华(1972-), 四川垫江人, 博士, 副教授, 现主要从事生化和微生物的教学与科研工作。E-mail: yxh0624@sina.com.

**基金项目:**青岛科技局民生计划资助项目(14-2-3-43-nsh, 6622313132)。

**收稿日期:**2016-07-25

characteristic of stamens and cytology mechanism of male sterility. The results showed that the anthers of male sterile line were wizened and had no pollen grain distributed. The pollen grains were not active. Conversely, the anthers of maintainer line were full and had yellow pollen grains distributed while matured. The pollen vitality in the pollen sacs of maintainer line was 91.65%. There were three reasons about pollen abortion according to the compare and analysis to the cytological traits of anther development between the male sterile line and its maintainer line. Firstly, the tapetum cells contained more vacuoles than those of maintainer line anthers and began degenerating at the microsporocyte stage. Then the tapetum cells disintegrated completely at the mononuclear pollen grain stage. So the tapetum cells could not provide nutrient substance for the development of microspore. Secondly, the tapetum cells appeared some characteristics of cytoplasm stain lightening because of lower concentration protoplasm and were not multi-nucleate, which also might be one of the main reasons causing pollen abortion. Thirdly, connective tissue was fiberized at the stage of mononuclear pollen so water and nutrient substance could not be transported from vascular bundle to young pollen grains. This might be pollen abortion. But the tapetum cells of maintainer line contained dense cytoplasm and had no phenomenon of vacuolization at the stages of microsporocyte and meiosis. The tapetum cells abortion occurred at the stage of mononuclear pollen and gradually disappeared till the stage of mature pollen grains. The study laid the foundation for the identification in the field and the cellular mechanism of male sterile line in *A. fistulosum* var. *giganteum*.

**Keywords:** *Allium fistulosum* var. *giganteum*; male sterile line; maintainer; anther; cytology