

红丁香引种栽培条件下种子败育的解剖学研究

陈燕^{1,2} 陈进勇² 刘燕¹ 赵世伟²

(1 北京林业大学园林学院, 国家花卉工程技术研究中心 2 北京市植物园)

摘要: 为确定红丁香在北京城区引种栽培条件下种子败育发生的时期, 对其有性生殖过程进行了形态和胚胎发育解剖观察。授粉试验显示, 北京市植物园引种栽培的红丁香人工自花授粉及去雄套袋授粉均未坐果, 人工异花授粉坐果率为 31.86%, 天然授粉坐果率为 8.32%, 表明栽培条件下红丁香自交不育, 传粉媒介不足导致坐果率低, 但是各种授粉方式均未获得种子。胚胎发育过程解剖观察显示: 红丁香花药壁发育为基本型, 腺质绒毡层, 胞质分裂为同时型 2-细胞成熟花粉; 倒生胚珠, 单珠被, 薄珠心, 胚囊发育为蓼型, 核型胚乳, 胚发育类型为紫萼型, 先后形成球形胚、心形胚、鱼雷胚和子叶胚; 但后期子叶胚发育停滞, 其细胞逐渐降解, 随后胚乳细胞也出现降解。可见, 栽培条件下红丁香大小孢子及雌雄配子体发育、传粉受精过程、胚胎发育初期均正常, 但后期胚、胚乳均发育停止, 是红丁香引种栽培条件下种子败育的关键环节, 其原因有待进一步研究。

关键词: 红丁香; 种子败育; 解剖学; 传粉受精

中图分类号: S685.26 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)06-0107-08

CHEN Yan^{1,2}; CHEN Jin-yong²; LIU Yan¹; ZHAO Shi-wei². **Anatomical study on seed abortion of *Syringa villosa* under cultivated conditions.** *Journal of Beijing Forestry University* (2012) **34**(6) 107-114 [Ch, 17 ref.]

1 National Engineering Research Center for Floriculture, College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

2 Beijing Botanical Garden, 100093, P. R. China.

To better understand the aborted seed of cultivated *Syringa villosa* in Beijing, morphological and anatomical characteristics on both anther and embryo development during the sexual reproductive stage had been observed. The fruit set from artificial self-pollination and controlled emasculation was 0 while artificial cross pollination and open pollination were 31.86% and 8.32% respectively. *S. villosa* was a self-sterile plant under cultivated conditions and no viable seed was harvested. Anatomical observations indicated that the anther wall conformed to the basic type and glandular tapetum. The cytokinesis of the microspore mother cells in meiosis was the simultaneous type. The mature pollen grains were of 2-celled type. The ovule was anatropous, unitegmic and tenuinucellate. The development of embryo sac was the polygonum type. The endosperm developed to be the nuclear type and the embryo the asterad type. The globular embryo, heart-shaped embryo, torpedo embryo and cotyledonal embryo were formed sequentially. But the development of cotyledonal embryo stopped and all cells degraded gradually at later stages, then the endosperm cells were deteriorated. The results indicated that microspore and megaspore, male and female gametophytes, pollination fertilization and early embryo development were normal, but the later embryo and endosperm growth stopped. Further studies should address these issues.

Key words *Syringa villosa*; seed abortion; anatomy; pollination and fertilization

红丁香 (*Syringa villosa* Vahl.) 为丁香属开花灌木, 主要分布在我国北京、河北、山西、陕西, 多生长

于海拔 1 200 ~ 2 700 m 的山区, 花期 5—6 月, 9 月果熟^[1-3] 种子发育良好。因其具有花开繁茂、花香宜

收稿日期: 2012-02-10

基金项目: 北京市科学技术委员会项目 (D09050603770804)。

第一作者: 陈燕, 工程师。主要研究方向: 园林绿化及栽培养护。电话: 010-62591561-3622 Email: chenyan1999_0@sina.com 地址: 100083 北京市清华东路 35 号北京林业大学园林学院。

责任作者: 刘燕, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 园林植物种质资源保存及花卉栽培。电话: 010-62336062 Email: chbly@sohu.com 地址: 同上。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

人、生长势强、花期晚于其他丁香品种、耐半阴等特点成为优良的观赏园艺资源,也是丁香杂交育种的优良亲本^[2,4];但在北京城区引种栽培条件下,红丁香自然坐果率低,种子完全败育,成为杂交育种的障碍。

针对栽培地红丁香自然结实率低而种子败育的现象,本研究以原产地之一的北京东灵山红丁香为参照,对北京市植物园内引种栽培的红丁香进行花、果形态和胚胎发育解剖学方面的观察,了解栽培条件下有性生殖过程,探究种子败育发生的时期和阶段,为胚挽救等提供依据,同时也丰富丁香属植物胚胎学研究内容。

1 材料与方法

1.1 材料

试材为在2001年从北京东灵山引种到北京市植物园(海拔62 m)的红丁香实生苗,目前已正常生长开花,并以自然生长在北京东灵山(海拔1 200 m)的健壮成熟红丁香为参照对象。

1.2 方法

1.2.1 不同授粉方式及坐果率、结种率的测定

2010年5月19—21日,于每次授粉前一天对父本花粉活力分别进行测定^[5],在观测到授粉花粉平均活力达到60%~75%后,于2010年5月20—22日,花瓣开裂、柱头接近成熟到初盛花期期间,选择栽培地正常开花母本植株的健壮花枝,同时进行4种不同授粉方式处理,每天授粉1次,连续3 d重复授粉。4种授粉方式:1)人工异花授粉,去雄后用硫酸纸袋套袋隔离,当柱头出现黏液时,用50 m外同种异株树的花粉授粉,后用硫酸纸袋套袋;2)人工自花授粉,花蕾时期用硫酸纸袋套袋隔离,柱头成熟时,用同一朵花的花粉授粉,后用硫酸纸袋套袋;3)天然授粉,自然条件下由昆虫传粉;4)去雄套袋,去雄后用硫酸纸袋套袋隔离,不授粉。处理完毕挂牌标记,柱头枯萎后去袋。

选取5株树,每株树上5个花枝,每个花枝上选择1个健壮花序,保留其30朵花,其余花朵摘除。每种授粉方式共授粉花朵750个,4种不同授粉处理选择在同一植株相同部位的不同花枝上进行。每种授粉方式每株树各保留2个花枝(保留授粉花朵数共计300朵)不取材,并挂牌标记,用于统计不同授粉方式的平均坐果率及结种率,其余授粉花朵用于胚胎发育观察。平均坐果率=同一授粉方式保留所授花枝果实总数/保留授粉花朵数×100%;平均结种率=同一授粉方式保留所授花枝饱满种子总数/保留授粉花朵数×100%。

2011年物候期有所变化,引种栽培地红丁香花期有所提前,于5月8—11日重复上述试验。

1.2.2 花粉在柱头上萌发和花粉管生长的观察

对栽培地天然授粉及异花授粉植株,在传粉后8、16、24 h、第2~10天随机各采5朵花的雌蕊,FAA固定24 h后,复水,用8 mol/L NaOH软化30 min,蒸馏水冲洗后,用0.1%苯胺蓝溶液染色,压片,Zeiss显微镜下荧光状态观察并照相^[6]。

1.2.3 胚胎发育过程解剖学的观察

自2010年3—9月及2011年3—10月选取健壮枝条的花器官,花芽萌动时每5 d取样1次至开花。不同授粉方式植株分别在开花授粉后15 d内每天取样1次,授粉后第16~30天每3 d取样1次,之后每5 d取样1次至种子形成。

每次随机重复取材10个。材料用FAA液固定,常规石蜡切片,厚度8 μm,番红-固绿对染,加拿大树脂胶封固,Zeiss显微镜下观察并照相。

因气候环境不同,栽培地红丁香物候期比东灵山红丁香早40 d左右,胚胎观察取材时间也相应提前约1个月。

1.2.4 生殖过程外部形态的观察

花芽萌动后开始记录形态发育特征,每次取材固定前,先测量花芽、花序、花蕾及果实大小。

1.2.5 气象数据的观测

根据红丁香不同生境下,其物候及生长发育出现的差异,利用北京市植物园气象站记录2010—2011年7—9月的旬最高温度、旬平均温度、旬最低温度、旬累积降雨量等主要气象数据,东灵山气象数据采用中国科学院北京森林生态系统定位站气象站提供的资料,并对数据进行对比分析。

2 结果与分析

2.1 栽培地红丁香花粉和柱头的亲和性

花粉和柱头具有亲和性是保证授粉受精成功的前提,授粉后对栽培地红丁香花粉能否在柱头上萌发及生长进行了荧光显微镜观测。观察结果显示,天然授粉和异花授粉植株,在授粉后3~6 d,花粉均在柱头上萌发,产生花粉管,花粉管伸长并经过花柱向子房生长(图1f)。结果表明,栽培条件下,红丁香花粉和柱头繁育正常,二者具有亲和性,具备传粉受精的正常功能。

2.2 引种栽培的红丁香不同授粉方式下结种情况

自交不亲和、缺乏传粉媒介、孤雌生殖等因素都会导致传粉受精不良,常常造成不结种或种子发育停滞;因此对红丁香进行人工异花授粉、人工自花授粉、天然授粉、去雄套袋等4种授粉方式的检验,并

对坐果及结种情况进行统计,以判断传粉受精环节对结实、结种的影响。2010年授粉试验结果显示,人工异花授粉花朵平均坐果率为31.86%,天然授粉花朵平均坐果率为8.32%,自花授粉花朵和去雄套袋花朵子房均未膨大,4种授粉方式均未得到种子(表1)。2011年试验结果与2010年类似。

人工自花授粉和去雄套袋花朵子房均未膨大,未坐果,说明红丁香自交不育,也不存在孤雌生殖现象;东灵山上红丁香花朵平均自然结种率为25.55%,坐果率为21.35%,远高于引种栽培地天然授粉花朵坐果率(8.32%),而人工异花授粉提高了花朵的坐果率,为31.86%,表明栽培地缺乏有效的昆虫传粉媒介是导致坐果结实低的原因之一。

表1 不同地点红丁香不同授粉方式平均坐果率及结种率(2010年)

项 目	北京市植物园授粉组合				东灵山天然授粉
	人工异花授粉	天然授粉	人工自花授粉	去雄套袋	
平均坐果率	31.86	8.32	0	0	21.35
平均结种率	0	0	0	0	25.55

2.3 红丁香胚胎发育过程的解剖学观察

2.3.1 小孢子及雄配子体的发育过程

花芽中出现雄蕊原基,随后在凸起的原基四角部位的表皮下,形成孢原细胞,之后分裂为初生壁细胞和造孢细胞,它们分别发育为花药壁和小孢子母细胞。

花药壁由4层细胞组成(图1a),由外向内依次是表皮、药室内壁(纤维层)、中层和绒毡层,表皮随着花药的扩大而扩展,药室内壁在花药趋于成熟时带状加厚,中层细胞在小孢子母细胞减数分裂时期逐渐趋于解体和被吸收,绒毡层为腺质绒毡层,小孢子四分体时期绒毡层细胞明显地径向伸长分裂为2或4核,小孢子单核靠边期,绒毡层开始自我原位解体消失(图1d)。

小孢子母细胞减数分裂I完成时,2个子核出现在同一细胞中,未见胞壁形成,胞质分裂为同时型(图1b)。减数分裂II完成后,4个小孢子被共同的胼胝质壁所包围,4个小孢子排列方式主要为四面体型(图1c)。随着胼胝质壁的溶解,4个小孢子分开形成游离单核小孢子,接着出现小孢子单核靠边期,核仁明显(图1d),在同一花粉囊中观察到由一贴近边缘的较小生殖细胞和一靠近液泡的稍大营养细胞形成的花粉粒,红丁香受精之前为2-细胞花粉(图1e)。

东灵山上的红丁香雄配子体发育过程相似,只

是发育进程比引种栽培地晚25~30d。

2.3.2 胚珠及雌配子体的发育过程

雄蕊原基出现15~20d后,雌蕊原基才形成,1个月后珠心表皮下第一层细胞分化出孢原细胞,其体积大,细胞质浓厚,细胞核显著(图1g)。孢原细胞不形成周缘细胞,直接发育为大孢子母细胞,仅被一层珠心表皮所包围,为薄珠心胚珠(图1h)。大孢子母细胞减数分裂阶段珠心表皮细胞开始退化,由珠被内层细胞特化为珠被绒毡层,至原胚形成才开始退化,主要是从珠被向胚囊输送养料的媒介^[7]。大孢子母细胞减数分裂很快完成,先后形成大孢子二分体(图1i)和大孢子四分体,2次分裂都有横隔壁形成,因此四分体一般均呈直线排列,珠孔端的3个大孢子有退化趋势,合点端的一个大孢子为功能大孢子(图1j)。此时可观察到胚珠类型为倒生胚珠,单珠被,薄珠心,通过珠柄进入胚珠的维管束止于合点处,成为营养物质进入胚珠的通道(图1k)。

功能大孢子体积不断增大,发育为单核胚囊(图1l)。单核胚囊进行第1次有丝分裂,形成2个核(图1m),移向胚囊两极,中央为一大液泡,成为二核胚囊(图1n)。接着胚囊两端的核各自进行一次分裂,产生四核胚囊(图1o,图2a),4个核再进行一次分裂产生8个核,为八核胚囊,随后两极各有一核移入胚囊中央,成为上下极核,珠孔端为2个助细胞和1个卵细胞形成的卵器,卵器倒品字形排列,合点端为3个反足细胞,形成了成熟蓼型胚囊(图2b~d),反足细胞受精后不久退化消失。

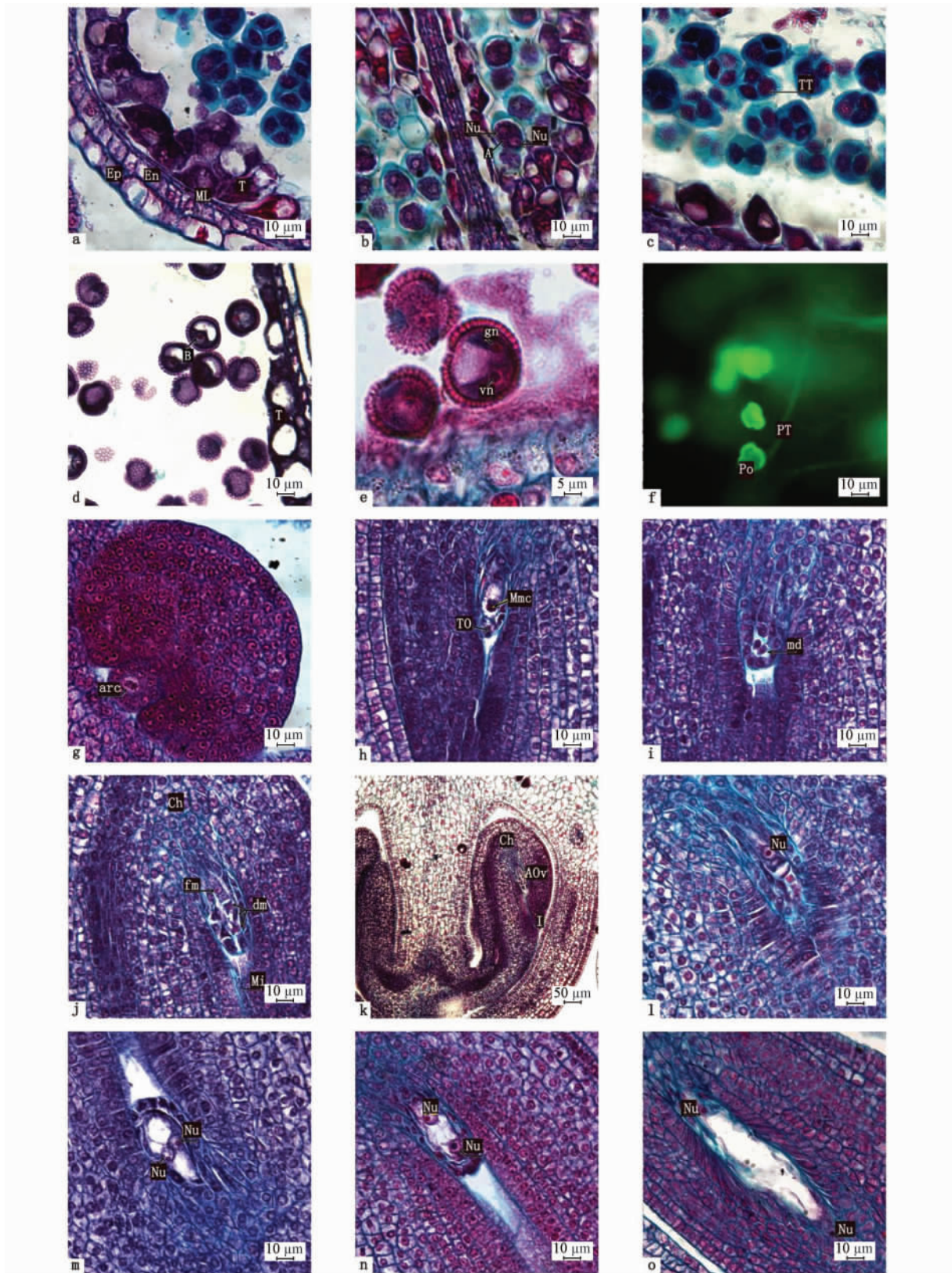
东灵山的红丁香雌配子体发育过程类似,发育进程比上述栽培地晚约30d。

2.3.3 胚乳及胚的发育过程

红丁香胚乳的发育早于胚的发育,为核型胚乳。受精后的初生胚乳核分裂为具多核仁的游离核(图2e),之后靠近原胚的游离核胚乳开始向胚乳细胞转变,游离核细胞化从珠孔端向合点端、从胚囊周围向中心逐渐推进,2010年8月3—8日的切片显示子叶胚细胞开始降解,但周围的胚乳细胞发育良好(图2k);同年8月15日败育子叶胚周围的胚乳细胞组织结构开始降解,出现胚乳败育;之后的切片显示胚及胚乳细胞均发育停滞。

胚乳为胚的发育提供营养和结构支持^[7],胚乳发育停滞会使胚发育受阻,导致胚胎败育^[8]。栽培地红丁香在胚败育之初时胚乳细胞发育正常,可见胚败育不是由胚乳引起的,而胚败育是否和体内激素变化、代谢异常有关,从而引起胚乳败育是以后需要研究的内容。

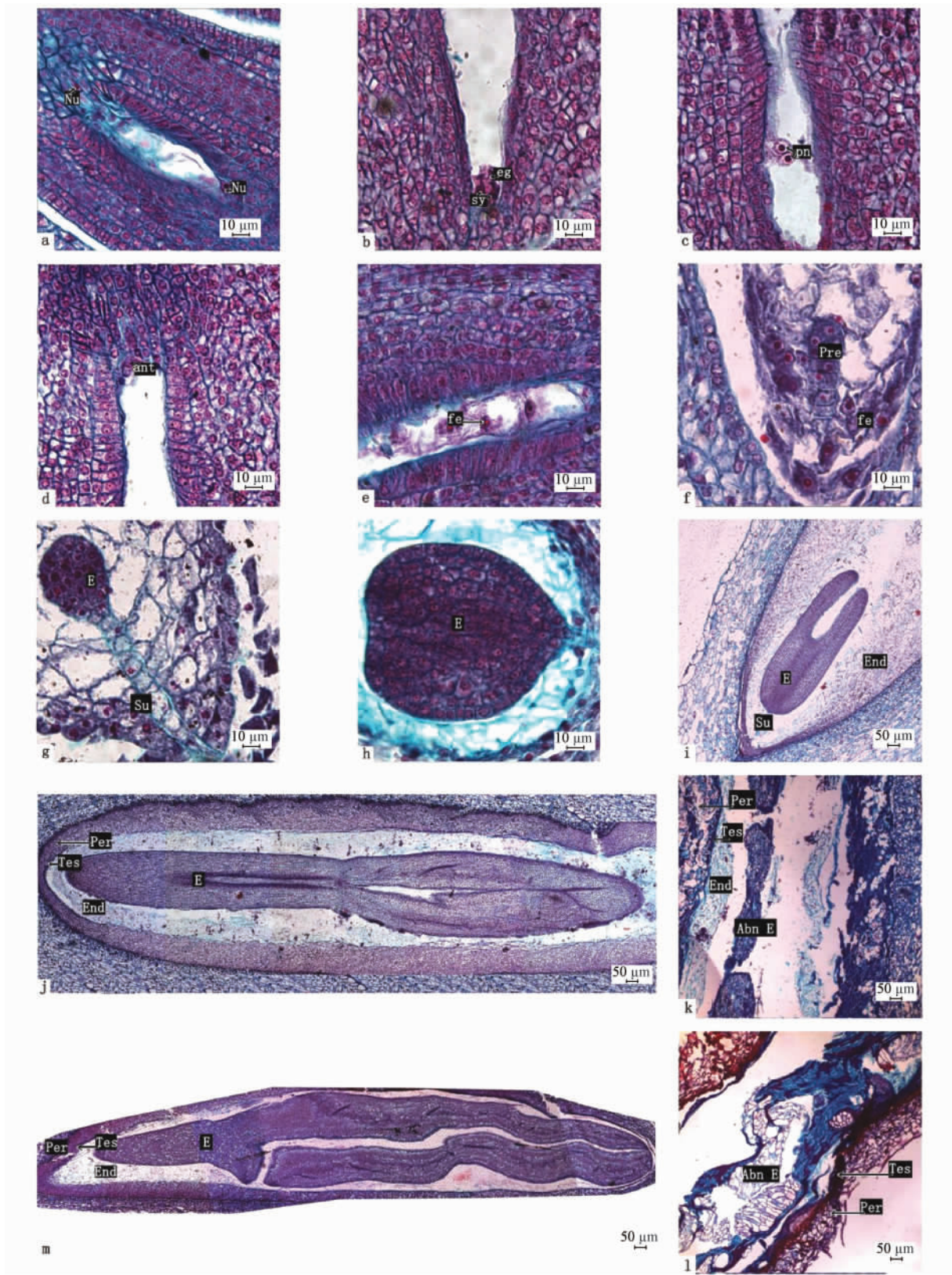
红丁香胚的发育为紫菀型。受精后合子横向分



a. 花药壁结构,由外向内依次是表皮(Ep)、药室内壁(纤维层)(En)、中层(ML)和绒毡层(T);b.小孢子母细胞减数分裂形成二分体,胞质分裂为同时型;c.四面体型小孢子四分体(TT);d.单核花粉粒 绒毡层开始解体消失;e.2-细胞花粉;f.花粉管(PT)萌发;g.大孢子孢原细胞(arc);h.大孢子母细胞(Mmc)与薄珠心胚珠(TO);i.大孢子二分体(md);j.大孢子四分体,合点(Ch)端大孢子发育为功能大孢子(fm),珠孔(Mi)端3个大孢子(dm)退化;k.倒生胚珠(AOv)、单珠被(l)、薄珠心、维管束止于合点处;l.单核胚囊;m~n.二核胚囊;o.连续切片之一,示四核胚囊。A.小孢子二分体;B.小孢子单核靠边期;gn.生殖核;Nu.细胞核;Po.花粉粒;vn.营养核

图1 小孢子及雄配子体(a~f)和胚珠及雌配子体发育前期(g~o)

Fig. 1 Microspore and male gametophyte (a~f) as well as ovule and female gametophyte at early stage (g~o)



a. 连续切片之二, 示四核胚囊; b~d. 连续切片, 示成熟胚囊, 1 个卵细胞(eg)、2 个助细胞(sy)、2 个中央极核(pn)、退化的 3 个反足细胞(ant); e. 游离胚乳核(fe); f. 八细胞原胚(Pre); g. 球形胚; h. 心形胚; i. 鱼雷胚; j. 早期正常发育子叶胚; k~l. 发育后期子叶胚败育; m. 原生境下正常成熟的子叶胚。Abn E. 败育胚; E. 胚本体; End. 胚乳; Nu. 细胞核; Per. 果皮; Su. 胚柄; Tes. 种皮

图 2 胚囊、胚及胚乳的发育

Fig. 2 Embryo sac, embryo and endosperm development

裂形成一个靠近合点端的顶细胞和一个近珠孔端的基细胞, 顶细胞纵向分裂, 基细胞横向分裂, 形成四细胞 \perp 形原胚。随后顶细胞分裂成的细胞经过多次分裂, 形成八细胞原胚(图 2f)。而后合点端原胚

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

细胞数目增多,开始出现器官分化,形成球形胚(图2g),同时胚柄开始退化,胚在发育过程中能从周围组织获得营养物质,胚柄起了重要的作用^[7]。当发育为心形胚、鱼雷胚时(图2h~i),胚柄退化直至消失。随着子叶原始体的发育,鱼雷胚逐渐变为子叶胚(图2j)。2010年8月3日(图2k)部分子叶胚不再生长发育,细胞结构开始溶解变质,授粉后90d左右栽培地红丁香所有子叶胚呈现散乱解体状态,果实内部完全发黑变质,种子败育(图2l)。

生长于东灵山的红丁香,胚乳类型为核型胚乳,为胚的发育提供营养,其发育早于胚的发育,随后逐渐细胞化,最终形成了围绕胚的胚乳细胞,成为有胚乳种子。原胚于2010年7月16日形成,经过一系列生长发育形成子叶胚,并继续发育,直至同年9月23日果实开裂,种子成熟饱满,为发育良好的成熟子叶胚,子叶部分的细胞由于不同程度的扩展而变

为弯曲,与胚珠空间相适应(图2m)。胚柄在鱼雷胚时期也已消失,表明胚柄在胚发育早期是向胚囊输送营养的重要媒介,而后退化正常的发育过程,胚胎后期生长不依赖于胚柄。

2011年解剖观察结果和2010年类似,只是由于气候变化而使得物候期略有提前。

2.4 栽培地红丁香生殖发育过程中花器官的形态变化

栽培条件下红丁香不结种主要是后期胚败育造成的,可尝试在胚败育之前通过胚培养技术进行挽救,取材时间就尤为重要;因此需要详细记录有性生殖过程中花器官的外部形态特征,通过花蕾大小、形态、颜色及花序发育状态、果实大小、颜色等形态特征来判断大孢子、小孢子、雌雄配子体及胚胎发育进程^[9],适时采取措施。花器形态观察结果见表2。

表2 栽培地红丁香生殖发育过程中花器形态的变化(2010年)

Tab. 2 Morphological changes of flower organs during the reproductive development stage in *S. villosa* in cultivated site (2010)

日期	花器形态变化	雄蕊发育过程	雌蕊发育过程
03-18	芽长5~7 mm	雄蕊原基	
04-08	花叶芽膨大,叶展开,花芽长14~29 mm		雌蕊原基
04-28	单花序长5~9 mm,花蕾长1.5 mm	小孢子母细胞	子房2室,每室具两胚珠
05-08	花轴开始分枝,单花序长约30 mm,花蕾长2~4 mm	小孢子母细胞减数分裂—四分体	孢原细胞—大孢子母细胞
05-13	单花序长约33~36 mm,花蕾4~6 mm,绿色变至粉色	单胞花粉—二胞花粉	大孢子母细胞减数分裂—单核胚囊
05-13—05-22	初花期	散粉	二核胚囊
05-18—05-24	初盛花期	散粉结束	四核胚囊及成熟八核胚囊
05-22—05-29	盛花期	花粉管萌发	双受精
05-24—05-29	末花期		游离胚乳核
06-08	子房膨大,长约3~10 mm		八细胞原胚
06-08—06-12	果实长2~13 mm		多细胞胚
06-12—06-23	果实长9~17 mm		球形胚
06-23	果实长16~19 mm		心形胚(胚柄退化消失)
06-23—07-02	果实长13~19 mm		鱼雷胚
07-02—08-03	果实长13~22 mm		子叶胚
08-15	果实由内到外变黑		子叶胚开始溶解变质,细胞结构混乱

栽培地红丁香授粉后70d左右,子叶胚开始败育,因此在授粉后40~50d,即鱼雷胚—子叶胚发育期间,相应果实长度在13~20mm之间,此时子叶原基已开始形成,器官也已分化,容易直接诱导成苗、进行胚培养接种,此时取材可能较为适宜。

2.5 气候环境对比分析

环境条件对植物正常发育十分重要,高温、高湿、干旱等异常环境都会引发种子败育。玉米(*Zea mays* L.)在授粉后的持续高温会干扰细胞分裂,使得胚乳细胞数量减少,导致结实率下降、种子败育^[10];高温也会使小麦(*Triticum aestivum*)胚中ABA含量明显增加,导致种子败育^[11]。有研究表明

从合子胚发育至种子成熟时的温度对其后代胚胎发育等方面影响巨大^[12],原产地红丁香在平均温度14~22℃左右形成合子胚并发育成种子,实生苗引种开花后,胚胎发育会受到栽培地气温的影响。合适的水分供应对种子形成也是必需的,不同水分条件控制着细胞的延伸,从而维持细胞膜的完整性,极干或极湿都会抑制子房发育,引起胚胎败育^[13]。

对种子败育型红丁香和种子发育良好型红丁香的生长环境进行比较,特别要对败育发生前后(7—9月)的气候条件进行对比。结果显示,栽培地7月进入高温期(≥28℃),直至8月中旬,最高温持续到9月上旬,此时正值子叶胚发育时期,而胚胎发育

停滞也出现在 8 月初,之后陆续发生败育,至 8 月 15 日全部败育。原产地气温显著低于引种栽培地,自 7 月 16 日原胚形成至 9 月 23 日种子成熟,其平均温度不超过 23 ℃(图 3)。栽培地累积降雨量大小不及原产地降雨量,但分布不均,波动范围大,特

别是从 8 月 3—15 日胚胎发生败育期间,旬累积降雨量从 0.5 mm 急剧增加到 41.7 mm(图 4),在温度影响下常出现极干或极湿状态,从而影响胚胎发育。由此推测栽培地夏季高温、降雨量波动剧烈的气候环境可能会导致胚胎发育停止、种子败育。

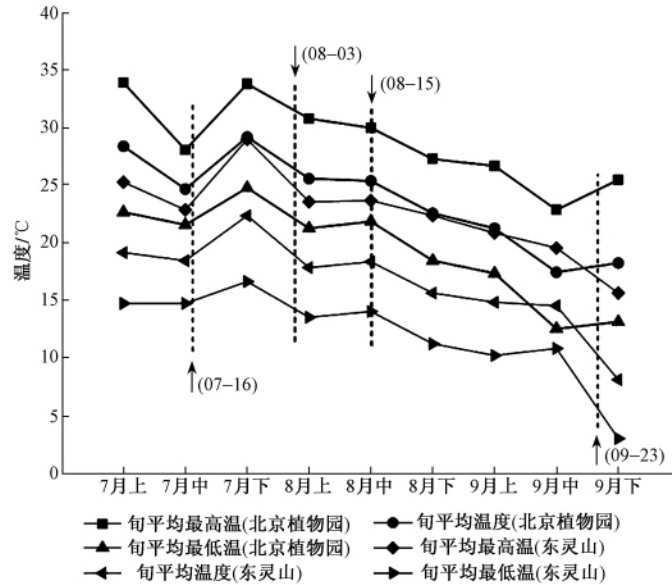


图 3 7—9 月原产地和引种栽培地气温的变化(2010—2011 年)

Fig. 3 Temperature changes from July to September in natural habitat and cultivated sites(2010—2011)

注: 虚线表示胚胎发育产生变化的关键时期,下同。

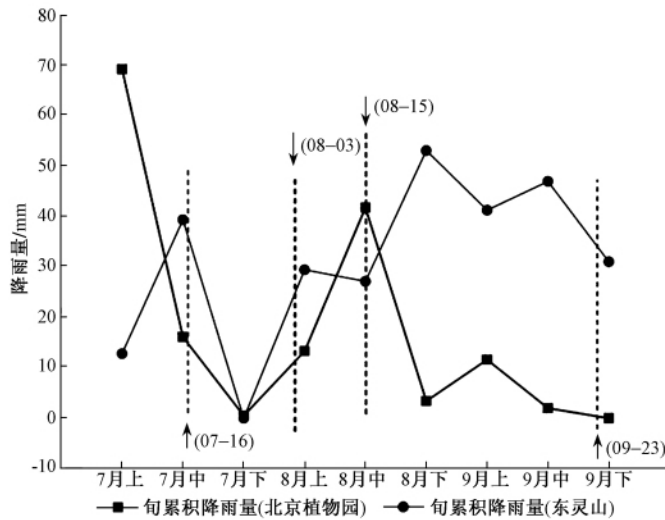


图 4 7—9 月原产地和引种栽培地降雨量的变化(2010—2011 年)

Fig. 4 Rainfall changes from July to September in natural habitat and cultivated sites (2010—2011)

3 结论与讨论

红丁香在栽培地长期不结种会导致遗传多样性降低,也影响杂交育种,因此需要查明发生种子败育的阶段和原因,从而采取有效措施解决种子败育问题。本研究观察到受精前胚珠发育正常、花朵有足量活力的花粉、柱头在可受期被充分授粉、父母本具有亲和性,胚胎发育初期正常,栽培地红丁香种子败

育的关键时期是胚发育后期的败育。

在杂交育种工作中,可以采用胚培养技术来克服不结种问题。在子叶胚发育后期出现的败育问题,可以通过已分化和成熟胚的培养方式来解决,在授粉后 50 d 左右时,离体培养的幼胚容易成活并诱导萌发成苗^[1],其生长不依赖于胚乳的贮藏产物^[14],需要较为简单的培养基即可^[15]。红丁香在杂交育种工作中可以尝试利用胚离体培养方法,解

决胚胎后期发育不良的问题。

引起种子败育的原因很多,目前研究主要集中在胚胎学、生理生化、生长调节物及生长环境等方面^[8]。本研究发现种子发生败育时的气候环境,与原产地正常发育红丁香的生长环境相比,差异显著,推测可能是该时期北京城区高温多雨、降雨量分布不均的环境,使得原产于高海拔、性喜冷凉的红丁香难以适应,导致种子败育。而环境变化是否会导致植物体内生理生化机制发生改变、种子败育的内部机理是以后需要继续探究的方向。

栽培地红丁香自然坐果率低、人工授粉可明显提高其坐果率,表明引种栽培地缺少传粉的昆虫媒介,丁香属植物是主要靠昆虫传粉的异花授粉植物^[11],木犀科(Oleaceae)中雌雄同株植物所对应的传粉方式是虫媒传粉^[16];因此栽培条件下,通过人工辅助授粉也是提高坐果率的重要手段。

红丁香的胚胎学基本特征与张秋艳^[17]所报道的同属植物暴马丁香(*S. reticulata* subsp. *amurensis*)胚胎发育类型相似,只是红丁香胚发育类型为紫菀型,与张秋艳描述的暴马丁香茄型胚有所不同。

参 考 文 献

- [1] 臧淑英,刘更喜. 丁香[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.
- [2] 李爱平. 红丁香生物学特性及快繁技术研究[J]. 内蒙古林业科技, 2007, 33(4): 26-28.
- [3] CHEN J Y, ZHANG Z S, HONG D Y. A new status and typification of six names in *Syringa* (Oleaceae) [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica* 2007, 45(6): 857-861.
- [4] 胡小丽, 郑晓军, 郭二辉, 等. 河南丁香属植物资源的观赏特性及开发利用研究[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(5): 560-563.
- [5] ZHOU L, LUO F X, DAI L M, et al. Vitality and storage condition of *Syringa* pollen [J]. *Journal of Forestry Research*, 2003, 14(1): 67-70.
- [6] 律春燕, 王雁, 朱向涛, 等. 黄牡丹与芍药组间杂交花粉与柱头识别的解剖学研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(10): 1988-1994.
- [7] 胡适宜. 被子植物胚胎学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1982: 73-74.
- [8] 梁春莉, 刘孟军, 赵锦. 植物种子败育研究进展[J]. 分子植物育种, 2005, 3(1): 117-122.
- [9] 郝晨, 李云, 姜金仲, 等. 四倍体刺槐大小孢子发育时期与花器形态的相关性[J]. 核农学报, 2006, 20(4): 292-295.
- [10] COMMURI P D, JONES R J. Ultrastructural characterization of maize (*Zea mays* L.) kernels exposed to high temperature during endosperm cell division[J]. *Plant, Cell and Environment*, 1999, 22: 375-385.
- [11] WALKER S M. Enhancement of ABA responsiveness in wheat embryos by high temperature [J]. *Plant, Cell and Environment*, 1988, 11(8): 769-775.
- [12] JOHNSENS Ø, GUNNAR F C, NAGY N, et al. Climatic adaptation in *Picea abies* progenies is affected by the temperature during zygotic embryogenesis and seed maturation[J]. *Plant, Cell and Environment*, 2005, 28: 1090-1102.
- [13] HEGARTY T W. The physiology of seed hydration and dehydration, and the relation between water stress and the control of germination, a review [J]. *Plant, Cell and Environment*, 1978, 1: 101-119.
- [14] 拉咖梵 V. 维管植物实验胚胎发生[M]. 陈祖铿, 母锡金, 孙安慈, 译. 北京: 科学出版社, 1983: 100.
- [15] 孟昕, 陈进勇, 赵世伟. 佛手丁香胚培养的研究[G] // 中国植物学会植物园分会编辑委员会. 中国植物园: 第14期. 北京: 中国林业出版社, 2011: 177-182.
- [16] WALLINDER E. *Evolution of wind-pollination in Fraxinus (Oleaceae): An ecophylogenetic approach* [D]. Sweden: Goteborg University, 2001.
- [17] 张秋艳. 暴马丁香胚胎学研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.

(责任编辑 董晓燕)