

海甘蓝与芸薹属属间杂交的受精和胚胎发育

王幼平 罗 鹏 贾勇炯 蓝乐夫

(四川联合大学生物系, 四川成都, 610064)

提 要 本文首先对海甘蓝和芸薹属属间杂交的花粉粒萌发、花粉管生长以及珠孔受精情况进行了观察, 结果表明, 甘蓝型油菜和白菜型油菜与海甘蓝杂交存在受精前不亲和, 而芥菜型油菜与海甘蓝属间杂交时, 花粉管生长正常, 授粉后 3~4 天可通过珠孔受精。通过对芥菜型油菜×海甘蓝属间杂种胚与芥菜型油菜自交胚的发育过程的比较研究, 发现杂种胚败育的原因是: ① 对于较早败育的胚囊, 胚在 2 细胞原胚时, 珠心组织开始解体, 珠被绒毡层开始退化, 胚在发育过程中呈饥饿状态。② 对于较晚败育的胚囊, 杂种后代的胚要比自交胚发育延迟, 在 32~64 细胞原胚或多细胞球形胚阶段, 胚体停止发育, 胚乳细胞开始形成, 要比自交提前 4 天形成胚乳细胞; 到授粉 25 天后, 球形胚体开始解体, 胚乳细胞开始退化。这和前人观察到的杂种胚的败育的结论有所不同。

关键词 海甘蓝; 芸薹属; 属间杂交; 受精亲和性; 胚胎发育

海甘蓝(*Crambe abyssinica*)是从上千种植物中筛选出来的含高芥酸的植物, 其种子的芥酸含量为 55%~62.5%, 因此它被作为一种新型的工业油料作物引起世界各国的高度重视。目前, 该种质资源在加拿大、美国以及几个欧洲国家已开始大面积种植, 我国已引种成功^[1]。海甘蓝与芸薹属同属芸薹族(*Brassicaceae*), 但前者为短角果, 开白花, 花小; 而后者皆属长角果, 多数开黄花。为此, 本试验以海甘蓝为父本, 分别与芸薹属的 3 大类型(甘蓝型、白菜型、芥菜型)油菜进行广泛的杂交, 通过 ABF(aniline blue fluorescence)法来了解远缘杂交受精前生殖隔离发生的时期和作用部位, 对杂种进行胚胎发育各个阶段的观察, 找出属间杂交胚胎败育发生的时期和原因, 对下一步胚胎挽救和获得杂种的工作具有重要的理论和指导意义。

1 材料和方法

1.1 材料 父本海甘蓝(*C. abyssinica*)种子由美国农业部提供, 经二年分别在成都、昆明试种, 单株选育出的品系。母本包括芸薹属的 3 大类型, 其中甘蓝型(*B. napus*)云油 31 号由云南省农业科学院提供, 文油 6 号由四川省农业科学院提供。白菜型(*B. campestris*)凤仪油菜由四川省农业科学院, 玉溪周永达由云南省农业科学院提供。芥菜型(*B. juncea*)为泸州四棱油菜和棱角油菜由宜宾农业科学研究所提供, 南充油菜由本室所保存。

1.2 方法 取开花前 2~5 天幼蕾进行杂交和自交, 去雄、授粉和套袋等操作方法与常规杂交育种相同。分别取授粉后 3、8、24 小时、第 2 和第 3 天的雌蕊、每次每处理各取 2 个花序, 约 10 枚, 用 FAA 固定, 固定 24 小时后, 保存于 70%酒精中。雌蕊用 6N NaOH 处理 12

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1996-05-17, 收到修改稿日期: 1996-12-27

小时, 水洗后用含 $0.1 \text{ MK}_3\text{PO}_4$ 的 0.1% 水溶性苯胺蓝溶液浸泡 1 昼夜, 然后在荧光显微镜下观察花粉的萌发, 柱头乳突细胞的胼胝质(callose)反应和花粉管生长情况。

授粉后第 4、7 和 10 天, 各取 5~10 个子房, 14~25 天分别取 5 个子房中的胚珠。并以各自母本自交为对照。用 FAA 固定, 然后转入 70% 酒精中保存。采用常规石蜡切片方法^[9], 切片厚度为 $8\sim 10 \mu\text{m}$, 采用 PAS+爱氏苏木精方法染色, 观察胚性细胞发生及发育过程中多糖物质的分布与积累, 观察胚和胚乳的发育及杂种胚的败育过程并照相。

2 结果与分析

2.1 芸薹属×海甘蓝属间杂交时花粉—雌蕊相互作用 甘蓝型油菜人工自花授粉 3 小时即有大量的花粉附着在柱头表面并开始萌发, 8 小时花粉的萌发达到高潮, 花粉萌发后, 大多顺利进入柱头, 未发现柱头乳突细胞内有胼胝质反应, 授粉 2 天后花粉管通过珠孔受精(表 1)。甘蓝型油菜×海甘蓝属间杂交, 授粉 3 小时后有少量的海甘蓝花粉附着在甘蓝型油菜柱头上, 8 小时后乳突细胞有胼胝质的生成, 1 天后有少量的花粉萌发, 同时乳突细胞有强烈的胼胝质反应, 胼胝质在荧光显微镜下发出黄绿色荧光。其中海甘蓝的花粉能够在文油 6 号的柱头上萌发, 2 天后花粉管到达珠孔, 但不能穿过珠孔。

白菜型油菜人工自花授粉 3 小时后有少量的花粉附着在柱头上, 少数花粉开始萌发, 1 天后有少量花粉管进入花柱基部, 同时有弱的胼胝质反应, 授粉后第 2、3 天花柱中有大量花粉管通过珠孔受精(表 1), 同时也有强烈的胼胝质反应。白菜型油菜×海甘蓝直到授粉 1 天后, 才有少量花粉附着在柱头的表面, 其中有少量花粉能萌发, 多数花粉管顶端受阻于柱头乳突细胞或缠绕于乳突细胞表面, 授粉后第 3 天柱头的乳突细胞有大量的胼胝质生成。

芥菜型油菜人工授粉 8 小时有大量的花粉附着, 并开始萌发, 1 天后花粉管到达花柱基部。棱角油菜×海甘蓝授粉 1 天后有少量花粉萌发, 有的花粉管粗细不均匀, 少数花粉管能穿越柱头进入花柱, 但在数量上很少。南充油菜×海甘蓝授粉 2 天后有少量花粉管萌发, 并有弱的胼胝质反应。泸州四棱×海甘蓝授粉 1 天后有大量花粉开始萌发(表 1), 没有胼胝质的出现, 花粉管生长正常, 花柱中有大量花粉管, 并通过珠孔完成受精作用。

2.1 芥菜型油菜自交和芥菜型油菜×海甘蓝属间杂种的胚胎发育 芥菜型油菜人工自花授粉 2 天后已基本完成双受精作用, 授粉后第 4 天受精卵开始分裂, 少数已形成 2 细胞的原胚, 基细胞未分裂, 在胚囊中有游离的胚乳核形成, 呈彩带状分布于胚囊的边缘(图版 I-1)。授粉 7 天后, 顶细胞有的开始分裂, 形成 2~4 分体的原胚, 有的顶细胞还未分裂, 基细胞已分裂至 2~4 细胞, 大量游离的胚乳核位于胚囊的边缘或中央(图版 I-2)。授粉 10 天后, 胚体为 4~8 分体的原胚, 大小约 $14\sim 16.8 \mu\text{m}$, 胚柄已具 2~4 细胞, 整个胚呈线状(图版 I-3), 珠孔端和合点端集结大量游离的胚乳核, 呈块状分布。授粉 14 天后, 胚体为 16~64 细胞的球形胚, 胚体显著增大, 直径约 $33.6\sim 48 \mu\text{m}$, 胚柄已具 4~7 细胞(图版 I-4)。授粉 18 天后, 胚体为球形胚或早期心形胚, 长宽度为 $147\times 115 \mu\text{m}$, 胚体的顶部渐渐变平, 两侧的细胞开始分裂, 此时的胚体由辐射对称逐渐变为两侧对称, 胚柄为 4~7 个细胞或逐渐消失, 由胚囊的边缘开始形成胚乳细胞(图版 I-5)。授粉 25 天后, 整个胚体生长很快, 胚体为鱼雷形一手杖形, 长宽度为 $0.15\times 0.33 \text{ mm}$ (图版 I-6), 胚乳细胞已充满胚囊。

如前所述, 芥菜型油菜×海甘蓝的双受精要比芥菜型油菜自交发生的晚, 即受精延缓。

表 1 海甘蓝花粉在芸薹属植物柱头上生长情况
Table 1 Growing status of *C. abyssinica* pollen in stigmas of the *Brassica* spp.

观察项目 Items observed	粘合在柱头表面的花粉 ① Pollen binded to stigma surface			在柱头表面上已萌发的花粉 ② Germinated pollen grains on stigma surface			进入柱头的花粉管 ③ Pollen tubes entered stigma			进入花柱的花粉管 ④ Pollen tubes entered style			胼胝质反应 ⑤ Response of callose			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
授粉后天数 Days after pollination																
甘蓝型油菜 <i>B. napus</i> 云油 31 自交 Self-pollination of Yun-you 31	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	
云油 31×海甘蓝 Yunyou 31×Sea kale	+	+	+	±	0	0	0	0	0	0	0	0	+	+	+	
文油 6 号自交 Self-pollination of Wenyou 6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	
文油 6 号×海甘蓝 Wenyou 6×Sea kale	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	±	±	±	±	+	
白菜型油菜 <i>B. campestris</i> 凤仪油菜自交 Self-pollination of Fongyi	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	+	
凤仪油菜×海甘蓝 Fongyi×Sea kale	+	+	+	±	±	+	0	0	0	0	0	0	±	+	+	
玉溪周永达自交 Self-pollination of Yuxi Zhouyongda	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	+	+	
玉溪周永达×海甘蓝 Yuxi Zhouyongda×Sea kale	+	+	+	±	±	±	0	0	0	0	0	0	±	+	+	
芥菜型油菜 <i>B. juncea</i> 泸州四棱自交 Self-pollination of Luzhousileng	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	
泸州四棱×海甘蓝 Luzhousileng×Sea kale	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	±	0	0	0	
棱角油菜自交 Self-pollination of Lenjiao	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	
棱角油菜×海甘蓝 Lenjiao×Sea kale	+	+	+	+	+	+	0	±	±	0	±	±	0	0	±	
南充油菜自交 Self-pollination of Lanchong	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0	0	0	
南充油菜×海甘蓝 Lanchong×Sea kale	+	+	+	±	±	±	0	±	±	0	±	±	±	±	±	

续表 1

注: ① 粘合在柱头表面的花粉经授粉和固定后测出, 等级: 0, 无花粉粒附着; ±, 小于 5 个花粉粒附着; +, 大于 5 个花粉粒附着。

Note: ① Pollen adhesion on the stigma surface detected after pollination and fixation, score: 0, no pollen adhesion; ±, < five grain adhesion; +, > five grain adhesion.

- ② 柱头上萌发的花粉等级: 0, 无; ±, 小于 5 个花粉萌发; +, 大于 5 个花粉萌发。
 ② Score of pollen germination in stigma: 0, no germination; ±, < five grain germination; +, > five grain germination.
 ③ 进入柱头花粉管数等级: 0, 无; ±, 小于 5 个花粉管; +, 大于 5 个花粉管。
 ③ Score of number of pollen tube penetrated stigma: 0, no pollen tube; ±, < five pollen tubes; +, > five pollen tubes.
 ④ 进入花柱花粉管数等级: 0, 无; ±, 小于 5 个花粉管; +, 大于 5 个花粉管。
 ④ Score of number of pollen tubes entered style: 0, no pollen tube; ±, < five pollen tubes; +, > five pollen tubes.
 ⑤ 胼胝质反应用脱色的 ABF 染色, 等级: 0, 无荧光反应; ±, 弱的荧光反应; +, 强的荧光反应。
 ⑤ Callose response detected by staining in decolorized aniline blue, score: 0, no fluorescence; ±, weak fluorescence; +, strong fluorescence.

授粉后 4 天, 在随机检查的 20 张制片中发现只有 10% 的卵已完成受精(表 2), 多数卵未受精; 已受精的卵体积开始膨大(图版 I-8), 细胞核极性加强, 有的 2 个极核开始融合(图版 I-9), 少数已形成游离的胚乳核(图版 I-7)。授粉 7 天后, 卵细胞开始分裂, 偶见 2 细胞原胚的形成, 基细胞还未分裂, 游离的胚乳核开始形成(图版 II-1)。在授粉后第 10 天, 胚体为 2~4 分体的原胚, 胚柄为 2~3 细胞, 游离的胚乳核分布在胚囊的中央(图版 II-2)。有的胚体开始退化。游离的胚乳核已解体, 珠心组织已消失, 珠被绒毡层开始退化(图版 II-3, 4), 而此时自交胚珠心组织发达, 约 5~7 层细胞, 细胞中有丰富的淀粉粒, 珠被绒毡层发育正常(图版 II-5)。在授粉后的第 14 天, 正常发育的杂种胚为 32~64 分体的原胚, 大小为 21~42 μm , 胚柄具 3~6 细胞, 胚乳细胞从珠孔端开始形成, 合点端仍为游离核状态(图版 II-6)。授粉 18 天后, 胚体为多细胞球形胚, 大小为 63 μm , 胚乳细胞由胚囊的边缘向内形成(图版 II-7); 在个别胚囊中, 还观察到精子在卵中没有完成受精的现象(图版 II-8)。授粉 25 天后, 胚乳细胞开始解体, 球形胚体开始退化(图版 II-9)。表 2 对芥菜型油菜自交及其与海甘蓝杂交胚的发育状况进行比较, 从中可发现杂种胚出现下列异常情况: 对于较早败育的胚囊中, 胚在 2 细胞原胚时, 珠心组织开始解体, 珠被绒毡层开始退化, 胚在发育过程中呈饥饿状态; 对于较晚败育的胚囊中, 杂种后代的胚要比自交胚的发育延迟, 在 32~64 分体原胚或球形胚阶段, 胚体停止发育, 胚乳细胞要比自交提前 4 天开始形成, 到授粉 25 天后, 球形胚体开始解体, 胚乳细胞开始退化; 个别胚囊中, 授粉 18 天后还发现精子在卵中没有完成受精。

3 讨论

3.1 母本基因型对花粉—雌蕊相互作用的影响 在芸薹属植物中亲本基因型对种间杂交亲和性和性影响的研究有些报道^[3~5], 但亲本基因型对属间杂交亲和性研究甚少。本文用海甘蓝作父本和芥菜型油菜杂交, 其中南充油菜×海甘蓝和棱角油菜×海甘蓝远缘杂交表现出弱的亲和性, 而泸州四棱油菜×海甘蓝杂交时花粉管生长正常, 能够完成受精作用。因此在进行远缘杂交时最好选用不同基因型作为母本。此外, 在用 ABF 法鉴定远缘杂交亲和性时应观察授粉后第 1 天和第 2 天, 甚至第 3 天的雌蕊, 因为在远缘杂交时可能出现受精延迟现象(lag-gard fertilization), 也就是在授粉后 3~4 天才可能完成受精, 因此不要轻意对种间或属间杂

交的可交配性进行定论。

表2 芥菜型油菜×海甘蓝及其自交胚的发育状况比较
Table 2 Comparison of the state of embryo development in the cross of *B. juncea*×*C. abyssinica* and self cross of *B. juncea*

授粉后天数(天) Days after pollination	芥菜型油菜自交 Self-cross of <i>B. juncea</i>	芥菜型油菜×海甘蓝 <i>B. juncea</i> × <i>C. abyssinica</i>
4	受精卵开始分裂, 游离胚乳核形成, 分布在胚囊中, 呈彩带状。 Fertilized eggs divide, free nuclear endosperms are formed and distribute in the embryo sac as a colored belt.	10%的卵受精, 卵细胞受精后体积膨大, 核端化, 中央有2个或1个已融合的极核 10% of eggs are fertilized, with egg swelling, nucleus terminalized and 2 or 1 fused polar nuclei in the centre of embryo sac.
7	2~4分体原胚, 胚柄具2细胞 2 to 4-celled proembryo, 2-celled suspensor.	卵细胞膨大, 偶见2细胞原胚形成, 游离胚乳核开始形成。 Eggs swell, few 2-celled proembryos are formed and free nuclear endosperms begin to degenerate
10	4~8分体原胚, 胚体14 μm, 胚柄具2细胞。 4 to 8-celled proembryo, its size is 14 μm, 2-celled suspensor.	2~4分体的原胚, 胚柄具2~3细胞, 有的胚体开始退化。 2~4 celled proembryo, 2~3 celled suspensor, some embryo proper begin to degenerate.
14	16~32分体原胚, 胚柄具4~7细胞。 16 to 32-celled proembryo, 4~7 celled suspensor.	多数胚停止发育, 约10%~20%的胚发育成32~64分体的原胚, 胚乳细胞开始形成。 Most of the embryos cease to develop, and about 10%~20% embryos develop to 32~64 celled proembryo. Cellular endosperms begin to form.
18	球形胚~心形胚, 大小115×147 μm, 胚乳细胞开始形成。 Globular-heart stage, its size is 115×147 μm. Cellular endosperms begin to form.	多细胞球形胚, 胚乳细胞由胚囊边缘向中央形成。 Multi-cellular globular embryo, cellular endosperms are formed from fringe to centre in embryo sac.
25	马蹄形胚, 大小0.15~0.33 mm。 Horse-shoe embryo, its size is 0.15~0.33 mm.	球形胚开始退化, 胚乳细胞开始解体。 Globular embryo degenerates, cellular endosperm disintegrates.

3.2 蕾期授粉是克服杂交不亲和性的有效方法之一 迄今为止, 通过蕾期授粉(bud pollination)来克服自交不亲和性的成功例子很多, 如芸薹属、萝卜属、烟草属和矮牵牛中均有报道。在远缘杂交方面通过蕾期授粉方法克服受精不亲和的报道较少。本实验均取开花前2~5

天的花蕾授粉,发现海甘蓝的花粉在三大类型油菜的柱头上均有不同程度的萌发,这可能是蕾期授粉的原因。目前普遍认为不亲和反应的因素仅仅是在刚开花之前出现,所以如果在蕾期对未成熟的柱头授粉,这时抑制因素尚未出现,花粉管将顺利生长和有效的受精^[8]。

3.3 杂种胚的发育速度较自交胚有所减慢 芥菜型油菜自交授粉第7天,胚体为2~4分体的原胚,胚柄具2~4细胞,有大量的胚乳核形成;而芥菜型油菜×海甘蓝杂交授粉第7天多数卵才开始分裂,游离胚乳核开始形成。自交授粉第10天,胚体为4~8分体原胚,而芥菜型油菜×海甘蓝杂交授粉第10天胚体为2~4分体原胚,有的顶细胞才开始分裂,和自交授粉的7天相当,这表明杂种胚的发育在初期能正常发育,但要延迟3天左右,与自交情况下所表现的胚胎发育出现进程上的差异,这在其它的属间或种间杂交中也曾报道过^[7]。

3.4 杂种胚和胚乳细胞之间的不协调是导致杂种胚败育的重要原因之一 如前所述,芥菜型油菜自交胚乳细胞的形成是在心形胚时期,而海甘蓝与芥菜型油菜属间杂种的胚乳细胞是在32~64分体原胚或多细胞球形胚阶段形成,要比自交提前4天进入胚乳细胞时期,而且在短时期内就解体,这可能是杂种胚和胚乳细胞之间的不协调所造成的。有人^[2,6]认为在不亲和的杂交中,胚乳发育不正常是杂种胚败育的主要原因,胚乳发育的不正常具体表现在:游离胚乳核时期就开始退化或胚乳细胞不能形成;而本文观察到杂种胚的胚乳细胞能够形成,且较自交提前形成,这和前人所观察的结果有所不同。

参 考 文 献

- 1 王幼平、罗 鹏、李旭峰,1995,云南植物研究,17(2),169~174
- 2 陈朱希昭,1984,遗传学报,11(5),368~373
- 3 孟金陵,1988,华中农业大学学报,7(2),111~117
- 4 孟金陵,1988,中国农业科学,21(2),46~50
- 5 孟金陵,1990,作物学报,16(1),19~25
- 6 孟金陵、刘定富、罗鹏等,1995,植物生殖遗传学,科学出版社,北京
- 7 国风利、孔令让、王洪刚,1992,中国农业科学,25(5),20~23
- 8 胡适宜,1983,被子植物胚胎学,人民教育出版社,北京
- 9 黄承芬、杜桂森,1991,生物显微制片技术,北京科学技术出版社,北京

Fertilization and Embryo Development in Generic Crosses between *Brassica* Species and *C. abyssinica*

Wang Youping Luo Peng Jia Yongjiong Lan Lefu

(Department of Biology, Sichuan Union University, Chengdu, 610064)

Abstract Pollen grain germination, pollen tube growth and micropylar penetration were first investigated in generic crosses between *Brassica* species and *C. abyssinica*. The results are as follows. In crosses of *B. napus*×*C. abyssinica* and *B. campestris*×*C. abyssinica*, preferilization incompatibility was observed. In crosses of *B. juncea* and *C. abyssinica*, pollen grains of *C. abyssinica* were compatible to the stigmas of all the *B. juncea* pistils, the pollen tube growth was normal and the pollen tube reached the micropyle in 3~4 days after pollination(DAP).

Through comparative studies on embryo development in generic crosses of *B. juncea* × *C. abyssinica* and self-cross of *B. juncea*, the causes of the hybrid embryo abortion were found. For the earlier aborted embryo sac, the hybrid embryos were in starvation state from 2-cell stage, with disintegration of nucellus parenchyma and degeneration of endothelium. For late aborted embryo sac, the development of hybrid embryo was lagged in contrast with that of self-cross. During 32~64 cell or multi-cellular globular embryo stage, the development of embryo proper was slowed down and cellular endosperm was formed 4 days earlier than that of self cross. As a result, globular embryo proper disintegrated, cellular endosperm degenerated. What we found is different from the previously reported result that hybrid embryo abortion was caused by abnormalities or abortion of the endosperm, i. e., the free endosperm nucleus degenerated or cellular endosperm failed to form.

Key words *Crambe abyssinica*; *Brassica* spp.; Generic cross; Fertilization compatibility; Embryo development

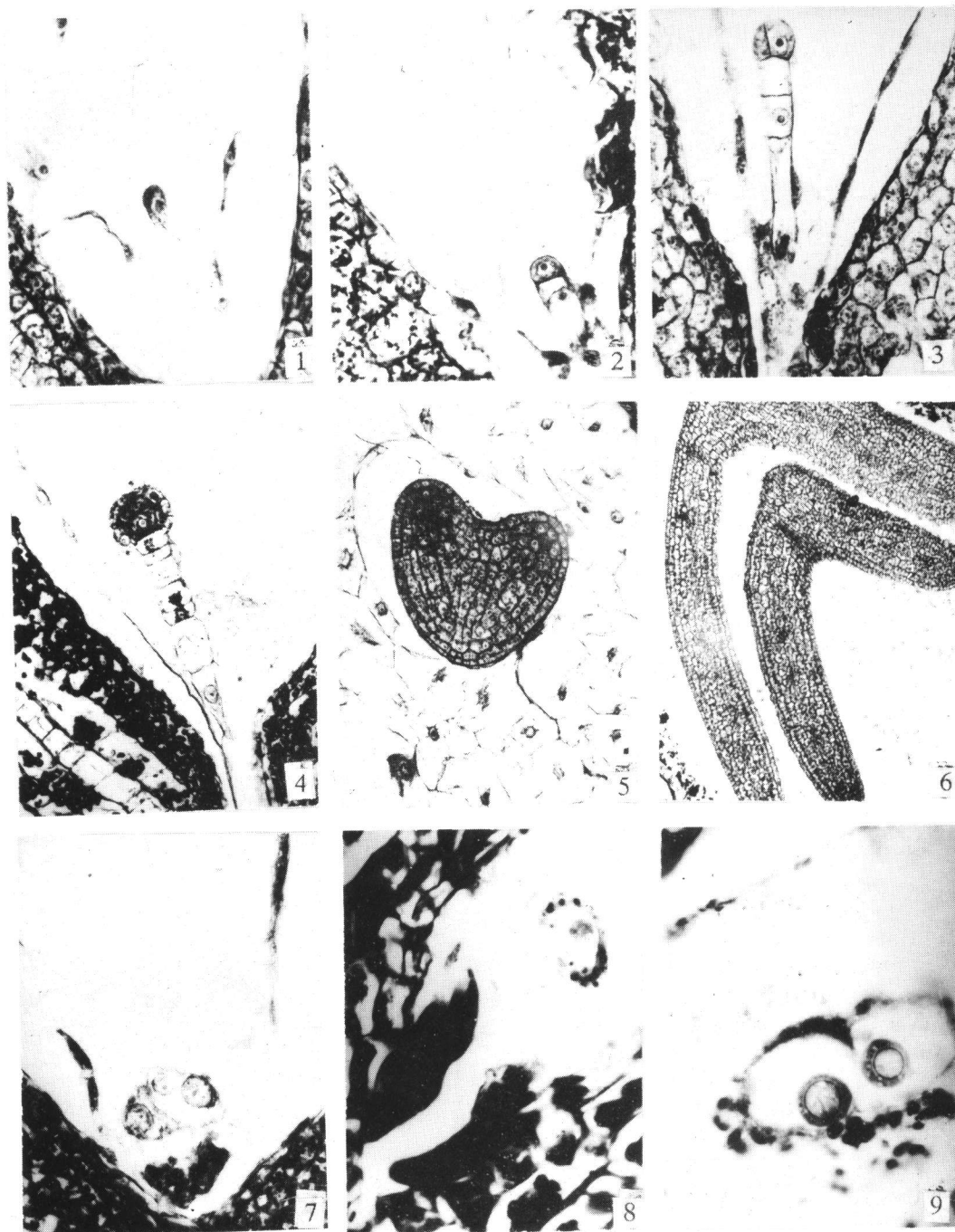
Explanation of plates

Plate I

1~6. Embryo development of self cross in *B. juncea*. 1. 4 days after pollination, fertilized eggs begin to divide and free endosperm nuclei are formed. ×400 2. 7 days after pollination, basal cell has divided and apical cell hasn't. ×400 3. 10 days after pollination, embryo proper is 4-celled proembryo and suspensor is 3-celled. 400 4. 14 days after pollination, embryo proper is 16-celled proembryo and suspensor is 7-celled. ×200 5. 18 days after pollination, embryo proper is cordate embryo and cellular endosperms begin to form. ×200 6. 25 days after pollination, embryo proper is horse-shoe embryo. ×100
Figs. 7~9. Fertilized state of *B. juncea* × *C. abyssinica* at 4 days after pollination. 7. Eggs are fertilized. ×400 8. 2 synergids can be seen and egg begins to swell. ×1000 9. 2 polar nuclei are fused to form secondary nucleus. ×1000

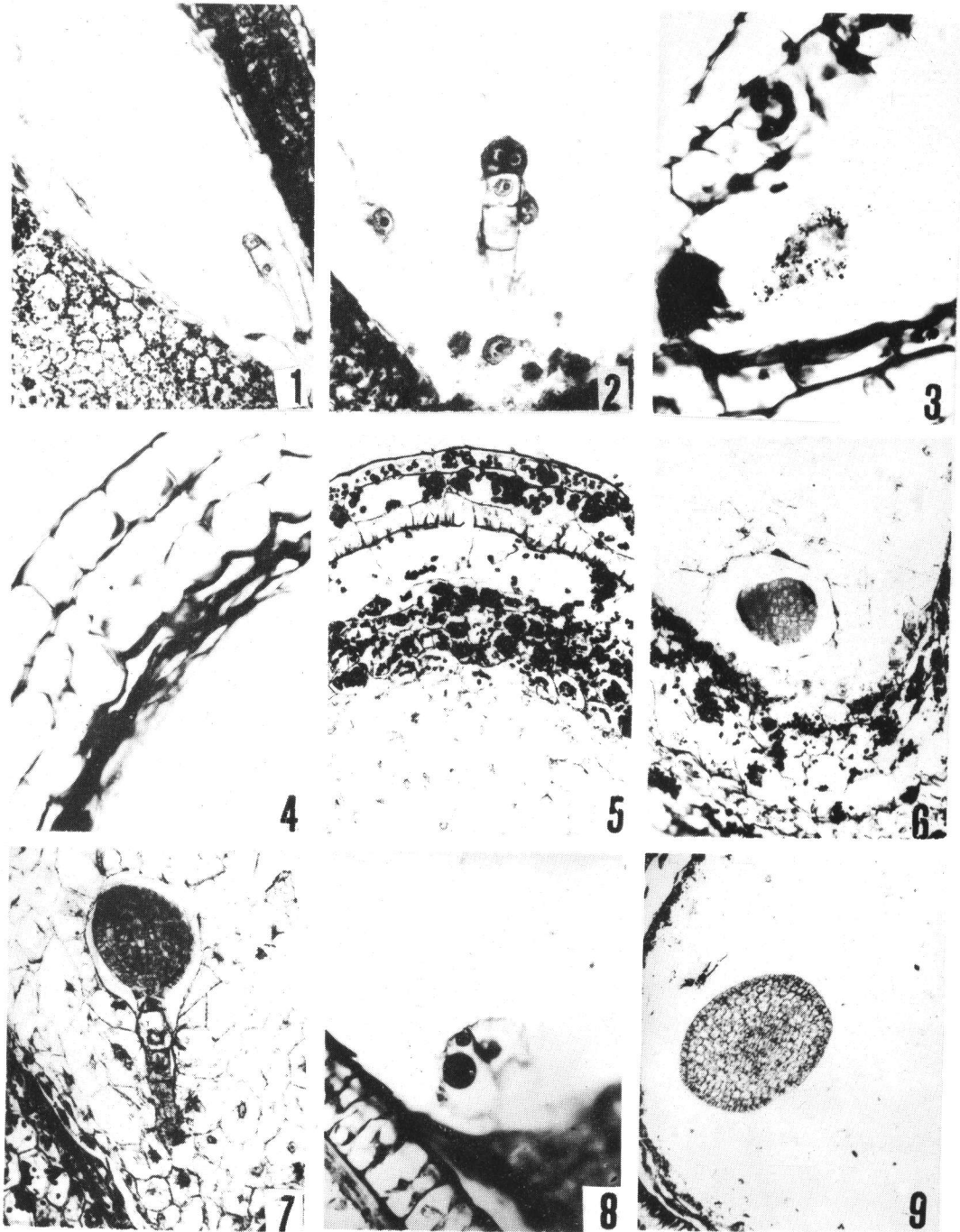
Plate II

1. 7 days after pollination, embryo proper is 2-celled. ×200 2. 10 days after pollination, embryo proper is 4-celled and suspensor is 3-celled. ×400 3. 10 days after pollination, 2-celled proembryo begins to degenerate. ×1000 4. 10 days after pollination, nucellus parenchyma begins to disintegrate and endothelium to degenerate. ×400 5. 10 days after self-cross in *B. juncea*, nucellus parenchyma develops well with 5~7 layer's cell and a lot of starch grains, endothelium develops normal. ×400 6. 14 days after pollination, embryo proper is multi-cellular globular embryo and cellular endosperms are formed at the micropylar area. ×400 7. 18 days after pollination, embryo proper is multi-cellular globular embryo and cellular endosperms are filled with the whole embryo sac. ×400 8. 18 days after pollination, a unfertilized. egg at the micropylar area. ×400 9. 25 days after pollination, globular embryo begins to degenerate. ×400



图版说明

图版 I 说明：1~6. 芥菜型油菜自交的胚胎发育。1. 授粉 4 天后，卵细胞开始分裂，游离胚乳核已形成。×400 2. 授粉 7 天后，顶细胞未分裂，基细胞已经分裂。×400 3. 授粉 10 天后，4 分体原胚，胚柄具 3 细胞。×400 4. 授粉 14 天后，16 分体原胚，胚柄具 7 细胞。×200 5. 授粉 18 天后，心形胚，胚乳细胞开始形成。×200 6. 授粉 25 天后，马蹄形胚。×100 7~9. 芥菜型油菜×海甘蓝授粉 4 天后受精情况。7. 卵细胞已受精。×400 8. 2 个助细胞，卵细胞开始膨大。×1000 9. 2 个极核开始融合形成次生核。×1000



图版 II 说明：1. 授粉 7 天后，2 细胞原胚。×200 2. 授粉 10 天后，4 分体原胚，胚柄具 3 细胞。×400 3. 授粉 10 天后，2 细胞原胚开始退化。×1000 4. 授粉 10 天后，珠心组织已解体，珠被绒毡层已退化。×400 5. 自交授粉 10 天后，珠心组织发达，约 5~7 层细胞，含大量淀粉粒，珠被绒毡层发育正常。×400 6. 授粉 14 天后，多细胞球形胚，珠孔端有胚乳细胞的形成。×400 7. 授粉 18 天后，多细胞球形胚，胚乳细胞充满整个胚囊。×400 8. 授粉 18 天后，珠孔端未受精的卵。×400 9. 授粉 25 天后，球形胚开始退化。×400。