

乌蕨卵细胞发育的超微结构观察

孙锐¹, 包家茜¹, 曹建国¹, 戴锡玲^{1,①}, 卫勤^{2,①}

(1. 上海师范大学生命科学学院, 上海 200234; 2. 上海市奉贤区农业技术推广中心, 上海 201400)

摘要: 为了探究鳞始蕨科(Lindsaeaceae)代表种乌蕨[*Odontosoria chinensis* (Linn.) J. Sm.]的演化地位,采用透射电镜对乌蕨的卵细胞发育过程进行超微结构观察。结果表明:乌蕨的卵细胞发育过程主要包括幼卵、发育卵和成熟卵3个时期。幼卵时期,卵细胞与腹沟细胞以及腹沟细胞与颈沟细胞均通过胞间连丝紧密相连。发育卵时期,在卵细胞和腹沟细胞间形成分离腔,分离腔内含有不定形物质,分离腔自两侧向中央扩大延伸,卵细胞和腹沟细胞中间相连位置为孔区,最后孔区与腹沟细胞分离形成受精孔,受精孔位于卵细胞中央,其分离腔的形成方式较为进化,但受精孔位置较为原始;分离腔中的不定形物质沉积在卵细胞膜表面形成较为进化的网状结构卵膜;并且出现腹沟细胞具2个细胞核和颈沟细胞具4个细胞核的原始现象。成熟卵时期无核外突,表明乌蕨在有性生殖上表现出原始特征。因此,从有性生殖角度看,乌蕨的演化地位较为进化,但有一定的原始性。

关键词: 乌蕨; 鳞始蕨科; 卵细胞发育; 超微结构

中图分类号: Q248; Q944.57 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2023)06-0080-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2023.06.09

Ultrastructural observation on egg development of *Odontosoria chinensis* SUN Rui¹, BAO Jiaqian¹, CAO Jianguo¹, DAI Xiling^{1,①}, WEI Qin^{2,①} (1. College of Life Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China; 2. Shanghai Fengxian District Agricultural Technology Popularization Center, Shanghai 201400, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2023, 32(6): 80-86

Abstract: In order to explore the evolutionary status of the representative species *Odontosoria chinensis* (Linn.) J. Sm. in Lindsaeaceae, the ultrastructural observation of egg development process of *O. chinensis* was conducted by using transmission electron microscope. The results show that the process of egg development of *O. chinensis* mainly includes three stages namely young egg, developing egg, and mature egg. At young egg stage, egg and ventral canal cell as well as ventral canal cell and neck canal cell are both closely connected via plasmodesmata. At developing egg stage, separation cavity forms between egg and ventral canal cell, the separation cavity contains amorphous substances and extends from periphery to the center, the connection site of cell and ventral canal cell is pore region and pore region is finally separated from ventral canal cell to form fertilization pore, the fertilization pore is located in the middle of egg, and the formation of separation cavity is more evolutionary, but the location of fertilization pore is more primitive; the evolutionary net structure egg envelope is formed via deposition of amorphous substances in the separation cavity on the surface of egg membrane; the primitive phenomenon of two nuclei in ventral canal cell and four nuclei in neck canal cell appear. There is no nuclear evagination at the mature egg stage, indicating that *O. chinensis* shows primitive features in sexual reproduction. Therefore, in terms of sexual reproduction, the evolutionary status of *O. chinensis* is more evolutionary, but with a certain primariness.

Key words: *Odontosoria chinensis* (Linn.) J. Sm.; Lindsaeaceae; egg development; ultrastructure

收稿日期: 2023-08-07

基金项目: 上海市绿化市容管理局科学技术项目(G152430)

作者简介: 孙锐(2000—),女,山东青岛人,硕士研究生,主要从事蕨类植物生殖发育研究。

①通信作者 E-mail: daixiling2010@shnu.edu.cn; weiqin192627@126.com

引用格式: 孙锐, 包家茜, 曹建国, 等. 乌蕨卵细胞发育的超微结构观察[J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(6): 80-86.

卵细胞发育是蕨类植物有性生殖的重要阶段。曹建国等^[1-2]在水蕨[*Ceratopteris thalictroides* (Linn.) Brongn.]卵细胞发育过程中发现了受精孔,精子通过受精孔进入卵细胞,完成受精过程。随后,学者们对部分薄囊蕨类的卵细胞发育过程进行了研究,结果表明:蕨类植物的卵细胞发育过程基本都经过幼卵、发育卵和成熟卵3个时期,但发育过程中的一些细节有所不同,如分离腔的形成方式、卵膜的有无和结构、受精孔的有无和位置以及是否形成核外突等。核心薄囊蕨类的卵细胞成熟后均能够形成受精孔,且卵细胞表面出现较厚的卵膜^[3-4];而在薄囊蕨类紫萁(*Osmunda japonica* Thunb.)的卵细胞发育过程中并未观察到受精孔和典型的卵膜结构^[5],在海金沙[*Lygodium japonicum* (Thunb.) Sw.]的卵细胞发育过程中仅观察到孔区,但未观察到受精孔和卵膜^[6]。从卵膜和受精孔的有无来看,海金沙可能是介于紫萁和核心薄囊蕨类之间的过渡种类。研究认为,蕨类植物的受精孔和卵膜的演化过程可能从无到有、从简单到复杂^[7],并且,成熟卵细胞产生核外突是蕨类植物有性生殖过程中较为进化的特征^[3]。因此,研究不同蕨类植物卵细胞发育过程中上述结构的有无和特征差异对于完善蕨类植物分类系统及探究蕨类植物进化方向具有重要意义。

鳞始蕨科(Lindsaeaceae)是蕨类植物的一个特殊类群,在蕨类植物的分类历史上长期归属于骨碎补科(Davalliaceae),在形态分类上曾作为碗蕨科(Dennstaedtiaceae)的一个亚科,而在分子系统(PPG I)中则被置于水龙骨科(Polyposiaceae)^[8]。迄今为止,鳞始蕨科的演化地位仍未确定,亟待研究。

乌蕨(*Odontosoria chinensis* (Linn.) J. Sm.)是鳞始蕨科的代表种^[9-10]。包家茜等^[11]发现乌蕨颈卵器的发育需经过原始细胞、初生细胞、中央细胞、卵细胞形成及卵细胞逐渐发育成熟等过程,其分离腔形成采取由两侧向中央逐渐扩大的方式,并发现了受精孔和卵膜,但关于卵膜具体结构、受精孔位置、卵细胞有无核外突以及卵细胞内细胞器和物质变化等详细特征均未知,因此,无法确定乌蕨的演化地位。鉴于此,笔者对乌蕨卵细胞发育过程进行了透射电镜观察,以期阐明乌蕨卵细胞发育的详细过程及细胞学机制,并对乌蕨与其他蕨类植物的卵细胞发育特征进行比较,为鳞始蕨科植物的生殖生物学研究提供基础资料,为鳞始蕨科植物演化地位确定提供有性生殖证据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试乌蕨孢子为黄褐色的成熟孢子,于2012年8月采自湖北省恩施市凤凰山国家森林公园,并保存在4℃冰箱中。凭证标本保存于上海师范大学植物标本馆,标本号为2012081501。

1.2 方法

1.2.1 孢子消毒及培养 采用陈倩等^[12]的方法处理并培养孢子。具体操作如下:将成熟孢子用体积分数5%NaClO溶液消毒3min;用无菌超纯水清洗3次,每次3min;随后将孢子接种到改良的Knop's固体培养基(琼脂质量浓度10g·L⁻¹,pH7.0)上,并置于ZRX-300E型智能人工气候培养箱(杭州钱江仪器设备有限公司)中培养,培养条件为光照度2000lx、光照时间18h·d⁻¹、昼温25℃、夜温20℃。

1.2.2 卵细胞超微结构观察 待颈卵器开始发育(即接种40~50d),使用SMZ1500解剖镜(日本Nikon公司)观察配子体发育情况。选取不同发育阶段的颈卵器,先用体积分数3%戊二醛溶液固定6h,再用浓度0.1mol·L⁻¹磷酸缓冲液(pH7.4)冲洗3次,每次30min;然后,用体积分数2%锇酸溶液固定2h,再用上述磷酸缓冲液冲洗3次,每次20min;接着,依次用体积分数50%、70%、90%、100%丙酮溶液脱水10min;用Spurr's树脂进行渗透包埋,于73℃聚合9h以上,得到包埋块;经半薄切片(厚度500nm)定位,选择不同发育阶段的卵细胞进行超微结构观察;超薄切片(厚度70nm)经饱和乙酸铀溶液染色30min及饱和柠檬酸铅染色20min后,使用Hitachi-600透射电镜(日本Hitachi公司)观察和拍照。

2 结果和分析

2.1 性器官形成

观察发现,乌蕨孢子在接种后约12d开始萌发,经丝状体、片状体阶段(共约25d)长出原叶体(图版I-1),再经15d左右长出精子器和颈卵器,二者长在同一原叶体上且距离较近(图版I-2)。其中,颈卵器通常长在生长点下方,在配子体上呈放射状分布,幼嫩颈卵器的颈部较长且直立,成熟颈卵器的颈

部向基部弯曲;精子器呈圆球形,通常沿着中肋分布。

2.2 卵细胞发育过程

2.2.1 幼卵时期 乌蕨颈卵器原始细胞经多次分裂最终形成1个幼卵细胞、1个腹沟细胞和1个双核颈沟细胞,且3个细胞紧贴着颈卵器周围的壁细胞(图版I-3)。随后,双核颈沟细胞明显伸长,胞内2个细胞核大、基本为圆形,且距离较近;细胞核周围质体和囊泡丰富,质体内淀粉粒丰富,并存在片层结构;颈沟细胞通过胞间连丝与腹沟细胞相连(图版I-4)。腹沟细胞内高尔基体较多,与卵细胞通过发达的胞间连丝相连,且在胞间连丝附近的线粒体较为发达(图版I-5)。卵细胞位于颈卵器底部,近椭圆形,细胞核大,核仁明显;细胞核周围质体和囊泡丰富,囊泡内存在嗜钨性物质,质体内含有淀粉粒和片层结构,线粒体发达,卵细胞与周围壁细胞之间无胞间连丝,仅通过加厚的细胞壁相连(图版I-6)。

2.2.2 发育卵时期

2.2.2.1 分离腔和孔区的形成 在发育卵时期,卵细胞开始略向下凹陷,呈月牙形,且卵细胞与腹沟细胞连接处两侧的边缘细胞壁加厚,胞间连丝逐渐消失,开始向下凹陷形成分离腔(图版I-7)。分离腔内存在絮状物,腔下方的卵细胞内细胞器丰富,可见大量的线粒体、高尔基体及嗜钨性囊泡(图版I-8)。随后,分离腔由两侧向中间逐渐扩大,内部充满不定形物质,中央具直径2~3 μm的孔区,孔区连接腹沟细胞和卵细胞,分离腔下方聚有囊泡,且孔区囊泡较多。此时,腹沟细胞出现2个细胞核(图版II-1),颈沟细胞出现4个细胞核且纵向排列(图版II-2)。

随着分离腔的形成,卵细胞继续下陷,细胞核略有凸起和凹陷,细胞器开始发生改变,但初期变化不明显,在细胞核上方聚有大量线粒体,且线粒体较大,在分离腔形成位置产生许多小泡。卵细胞下部和两侧的细胞器(如高尔基体、线粒体等)数量较多且分布较密集,质体内仍有淀粉粒存在,但主要分布在细胞核的周围(图版II-3)。

2.2.2.2 卵膜和受精孔的形成 随着分离腔从两侧向中间的凹陷扩大,腔内不定形物质不断积累,导致卵细胞上方质膜的染色逐渐加深,特别是孔区的嗜钨性明显增强(图版II-4),并在卵细胞表面、分离腔下方产生网状卵膜,孔区及分离腔内胞间连丝消失,孔区下方聚有囊泡,还存在部分高尔基体等膜性细胞器。卵膜形成后,分离腔内的不定形物质开始减少;

卵细胞和细胞核变为碗形,分离腔上方、腹沟细胞下部加厚的细胞壁开始分解,卵细胞上方的质膜释放出小泡(图版II-5)。卵膜形成时,孔区无卵膜覆盖,仅有质膜,随后卵细胞与腹沟细胞在孔区分离,形成受精孔。受精孔位于卵细胞中间,受精孔正下方有大量囊泡,受精孔附近的卵膜有2~3层囊泡堆叠。卵细胞内细胞核上部的内质网、高尔基体等膜性细胞器增加;有质体,但淀粉粒含量减少。腹沟细胞中囊泡数量增多,仍有部分质体存在,腹沟细胞开始退化(图版II-6)。

2.2.3 成熟卵时期 卵细胞成熟时,腹沟细胞与卵细胞在受精孔处完全分离,分离腔内的不定形物质逐渐消失,且未见到核外突(图版II-7);卵膜为网状结构,卵膜下方的内质网和高尔基体明显,存在大量高尔基小泡,线粒体发达,卵膜染色浅且具有大小不一的腔(图版II-8)。卵成熟后,腹沟细胞和颈沟细胞完全退化,内部物质排出,为精子进入卵细胞完成受精过程提供了通道;卵细胞与周围壁细胞分离,卵细胞中间凹陷、两端隆起,上部和边缘仍有部分囊泡,内部细胞器已退化,淀粉粒消失(图版II-9)。

3 讨论和结论

超微结构观察结果表明:乌蕨卵细胞发育过程主要包括幼卵、发育卵和成熟卵3个时期,其中发育卵过程中分离腔和孔区的形成、卵膜和受精孔的形成,以及整个卵细胞发育过程中颈卵器的变化最为重要。

3.1 分离腔和孔区的形成

在发育卵时期,卵细胞与腹沟细胞之间形成分离腔,而分离腔的形成是蕨类植物发育卵阶段的一个明显特征。蕨类植物的分离腔有2种形成模式:一种是较为进化的方式,即随着卵细胞的发育,分离腔由卵细胞与腹沟细胞连接的外侧逐渐向中央扩大延伸,腹沟细胞和卵细胞之间起初有一处相连,使两边细胞形成漏斗状,相连的位置即孔区,如水蕨^[1-2]、阔鳞瘤蕨〔*Phymatosorus hainanensis* (Noot.) S. G. Lu^[3]等;另一种是较为原始的方式,即随着腹沟细胞与卵细胞之间细胞壁的不断加厚,胞间连丝被阻断,在卵细胞上方,腹沟细胞与卵细胞的连接处几乎同时分离,形成分离腔,如紫萁^[5]。本研究发现,乌蕨的分离腔是从腹沟细胞和卵细胞连接的边缘开始向内扩展,并在中央连接处形成孔区,胞间连丝在卵细胞发育近成熟后

断裂,据此认为乌蕨的分离腔形成方式较为进化。

3.2 卵膜和受精孔的形成

Bell等^[13]首次发现了蕨类植物卵膜的存在,之后的研究发现,蕨类植物的卵膜是由分离腔内絮状不定形物质沉积在卵细胞上表面,与嗜钺性囊泡共同作用形成^[3],并且,卵膜位于质膜外,主要由脂类物质组成^[14]。本研究发现,乌蕨在卵细胞发育过程中形成网状结构的卵膜,与系统演化上较为进化的种类阔鳞瘤蕨^[3]、栗蕨 [*Histiopteris incisa* (Thunb.) J. Sm.]^[15]和华东安蕨 [*Anisocampium sheareri* (Bak.) Ching]^[16]等的卵膜结构相同。研究发现,水蕨^[17]和扇叶铁线蕨 (*Adiantum flabellulatum* Linn.)^[18]等的卵膜是在卵细胞质膜内附着内质网而形成的多层结构,紫萁^[5]没有卵膜形成,而海金沙^[6]在卵细胞发育过程中仅出现孔区,并未形成卵膜。Cao等^[19]认为,卵膜从无到有、从简单多层结构到复杂网状结构,对于阻止蕨类植物多精受精、保护卵细胞可能均起到重要作用。因此,从卵膜结构来看,乌蕨表现出进化特性。

受精孔是精子进入卵细胞形成受精卵的重要通道。从受精孔的形成位置看,阔鳞瘤蕨^[3]、华东安蕨^[16]和扇叶铁线蕨^[18]等受精孔的形成均有腹沟细胞参与,与腹沟细胞相连的孔区位置并不在分离腔的中心,因而,形成的受精孔位于卵细胞上方偏离中心的位置,致使受精过程中精子对受精孔的直接撞击可能会减少,从而阻止多精受精^[3,15-19]。而金毛狗 [*Cibotium barometz* (Linn.) J. Sm.]^[4]和乌蕨的受精孔则位于卵细胞的中央,在受精孔位置上表现出原始特性。

3.3 颈卵器的发育

淀粉粒是颈卵器发育过程中变化最明显的结构。比较发现,乌蕨颈卵器发育过程中淀粉粒的变化与紫萁^[5]等蕨类植物相同,随着颈卵器的发育进程,质体逐渐变大,淀粉粒含量也随之增加^[11]。卵细胞发育成熟后,中间凹陷、两端隆起,呈现不规则的杯状,质体内的淀粉粒逐渐变小,直至消失。然而,水蕨^[1-2]等蕨类植物成熟卵细胞的质体内仍有淀粉粒存在。由此判断,乌蕨在颈卵器发育上表现出原始特征。

Nishida等^[20]在比较原始的同型孢子蕨类植物中观察到含有2个颈沟细胞或2个腹沟细胞的异常颈卵器,而在系统分类上较为进化的真蕨类植物的颈卵器发育往往只形成1个双核颈沟细胞和1个腹沟细胞。本研究发现,在乌蕨颈卵器发育过程中,虽然

颈沟细胞和腹沟细胞各只有1个,但会出现腹沟细胞具有2个细胞核、颈沟细胞具有4个细胞核的现象。Cao等在桂皮紫萁 (*Osmunda cinnamomea* var. *asiatica* Fernald) 颈卵器发育过程中观察到2个颈沟细胞同时存在^[21];在问荆 (*Equisetum arvense* Linn.) 颈卵器发育过程中也观察到2个腹沟细胞同时存在的情况,但出现这种情况的几率较小^[22];在地钱 (*Marchantia polymorpha* Linn.)^[23] 颈卵器发育过程中会出现颈沟细胞分裂形成4个颈沟细胞的现象。进一步说明乌蕨在系统演化上表现出原始性。

核外突的产生被认为是性细胞发生过程中一种核质之间的交流^[24]。卵细胞发育成熟时产生核外突是蕨类植物有性生殖中较为进化的特征,如阔鳞瘤蕨^[3]和扇叶铁线蕨^[18]等在卵细胞近成熟时会产生囊状核外突,且蕨类植物的核外突内部常具有嗜钺性物质^[3,18],华东安蕨的囊状核外突具有大量褶皱^[16]。然而,部分蕨类植物在卵细胞发育过程中不会产生核外突,如紫萁^[5]和乌蕨。由此可见,从核外突上看,乌蕨属于无核外突类型,在系统演化上较为原始。

3.4 结论

卵细胞发育观察结果表明:乌蕨的分离腔形成方式为从两边向中间扩展,属于较为进化的分离腔形成方式;乌蕨的卵膜具有网状结构,属于进化特征;乌蕨有受精孔,且受精孔位于卵细胞的中央,受精孔位置较为原始;卵细胞发育成熟时乌蕨的淀粉粒消失,卵细胞发育过程中腹沟细胞出现2个细胞核,颈沟细胞出现4个细胞核,且未出现核外突,均表现出原始性。综上所述,从有性生殖角度看,乌蕨的演化地位较为进化,但有一定的原始性。因此,关于乌蕨的确切演化地位仍需结合多方面的研究证据进行全面的研究和探讨。

参考文献:

- [1] CAO J G, YANG N Y, WANG Q X. Ultrastructure of the mature egg and fertilization in the fern *Ceratopteris thalictroides* [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2009, 51(3): 243-250.
- [2] CAO J G, WANG Q X, BAO W M. Formation of the fertilization pore during oogenesis of the fern *Ceratopteris thalictroides* [J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2010, 52(6): 518-527.
- [3] 邹红梅,代小菲,王全喜,等.阔鳞瘤蕨(水龙骨科)卵细胞发育超微结构观察[J]. *西北植物学报*, 2014, 34(5): 925-931.
- [4] 王戈,杨浩,王全喜,等.金毛狗卵发育的观察[J]. *热带生物学报*, 2012, 3(4): 361-364, 368.
- [5] CAO J G, DAI X F, Wang Q X. Cytological features of oogenesis

- and their evolutionary significance in the fern *Osmunda japonica* [J]. Sexual Plant Reproduction, 2012, 25: 61-69.
- [6] 郭严冬, 曹建国, 李新国, 等. 海金沙配子体发育及卵发生的显微观察[J]. 植物研究, 2014, 34(2): 164-169.
- [7] 黄贤燕. 披针新月蕨配子体发育和卵发生的细胞学研究[D]. 上海: 上海师范大学, 2021: 18-24.
- [8] SMITH A R, PRYER K M, SCHUETTPELZ E, et al. A classification for extant ferns[J]. Taxon, 2006, 55(3): 705-731.
- [9] 吴兆洪, 秦仁昌. 中国蕨类植物科属志[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 206-212.
- [10] SCHUETTPELZ E, SCHNEIDER H, SMITH A R, et al. A community-derived classification for extant lycophytes and ferns [J]. Journal of Systematics and Evolution, 2016, 54 (6): 563-603.
- [11] 包家茜, 曹建国, 王全喜, 等. 乌蕨配子体发育及卵发生的显微观察[J]. 西北植物学报, 2014, 34(7): 1352-1357.
- [12] 陈倩, 段映霞, 戴锡玲. 中华鳞毛蕨配子体发育过程的观察[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(3): 115-117.
- [13] BELL P R, MÜHLETHALER K. A membrane peculiar to the egg in the gametophyte of *Pteridium aquilinum* [J]. Nature, 1962, 195: 198.
- [14] CAVE C F, BELL P R. The cytochemistry of the walls of the spermatocytes of *Ceratopteris thalictroides* [J]. Planta, 1973, 109: 99-104.
- [15] BELL P R. Nucleocytoplasmic interaction during maturation of the egg of the fern *Histiopteris incisa* (Thunb.) J. Smith [J]. Annals of Botany, 1980, 45: 475-481.
- [16] 杨耐英, 戴锡玲, 王全喜, 等. 华东安蕨卵发生的超微结构观察[J]. 西北植物学报, 2013, 33(9): 1792-1799.
- [17] 曹建国, 杨耐英, 王全喜. 水蕨卵膜的形成及其超微结构的观察[J]. 云南植物研究, 2008, 30(5): 543-548.
- [18] CAO J G, WANG Q X, DAI X L, et al. Ultrastructural observations of oogenesis in the fern *Adiantum flabellulatum* L. (Adiantaceae) [J]. American Fern Journal, 2010, 100 (2): 93-102.
- [19] CAO J G, DAI X F, DAI X L, et al. Observations on fertilization and a novel cytological mechanism for preventing polyspermy in the fern *Osmunda japonica* [J]. International Journal of Plant Sciences, 2016, 177(3): 287-293.
- [20] NISHIDA M, SAKUMA T. Abnormalities in archegonia of the fern prothallia and its bearing to systematic [J]. The Journal of Japanese Botany, 1961, 36(5): 142-152.
- [21] CAO J G, BAO W M, DAI S J. Ultrastructure of the blepharoplast and the multilayered structure in spermatogenesis in *Osmunda cinnamomea* var. *asiatica* [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45 (7): 832-842.
- [22] CAO J G, DAI X L, WANG G, et al. Ultrastructural and cytochemical studies on oogenesis of the horsetail *Equisetum arvense* [J]. Indian Fern Journal, 2015, 32: 205-218.
- [23] 曹建国, 王戈, 王全喜. 地钱颈卵器发育和卵发生的显微观察及细胞化学研究 [J]. 植物科学学报, 2011, 29 (5): 607-612.
- [24] BELL P R. Nucleocytoplasmic interaction in the eggs of *Pteridium aquilinum* maturing in the presence of thiouracil [J]. Journal of Cell Science, 1972, 11(3): 793-755.

(责任编辑: 佟金凤)

图版说明 Explanation of Plates

图版 I 1: 原叶体; 2: 颈卵器和精子器; 3: 颈卵器纵切面; 4: 双核颈沟细胞; 5: 卵细胞和腹沟细胞间的胞间连丝; 6: 发育早期的卵细胞; 7: 分离腔形成; 8: 分离腔扩展。

Plate I 1: Prothallus; 2: Archegonium and antheridium; 3: Longitudinal section of archegonium; 4: Neck canal cell with two nuclei; 5: Plasmodesmata between egg and ventral canal cell; 6: Egg at early development stage; 7: Formation of separation cavity; 8: Expansion of separation cavity.

图版 II 1: 具2个细胞核的腹沟细胞; 2: 具4个细胞核的颈沟细胞; 3: 卵细胞内的细胞核和细胞器; 4: 孔区; 5: 质膜释放的小泡状物(如箭头所示); 6: 卵膜和受精孔形成; 7: 腹沟细胞和卵细胞分离; 8: 成熟卵的卵膜; 9: 成熟卵。

Plate II 1: Ventral canal cell with two nuclei; 2: Neck canal cell with four nuclei; 3: Nucleus and organelles in egg; 4: Pore region; 5: Small vesicles released by plasma membrane (as shown by the arrows); 6: Formation of egg envelope and fertilization pore; 7: Separation of ventral canal cell and egg; 8: Egg envelope of mature egg; 9: Mature egg.

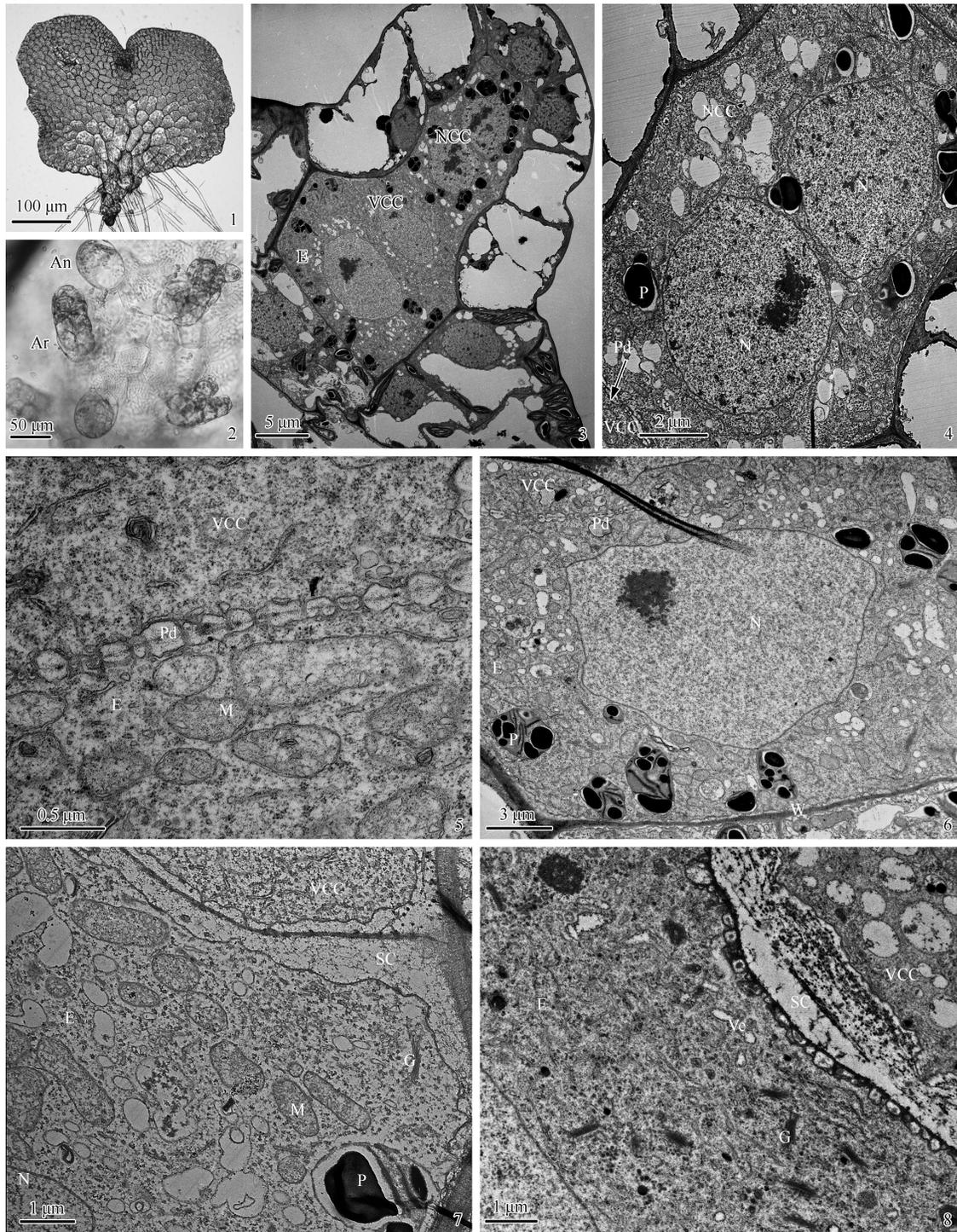
An: 精子器 Antheridium; Ar: 颈卵器 Archegonium; E: 卵细胞 Egg; VCC: 腹沟细胞 Ventral canal cell; NCC: 颈沟细胞 Neck canal cell; N: 细胞核 Nucleus; P: 质体 Plastid; Pd: 胞间连丝 Plasmodesmata; M: 线粒体 Mitochondrion; W: 细胞壁 Cell Wall; SC: 分离腔 Separation cavity; G: 高尔基体 Golgi body; Ve: 囊泡 Vesicle; PR: 孔区 Pore region; EE: 卵膜 Egg envelope; FP: 受精孔 Fertilization pore.

孙 锐, 等: 乌蕨卵细胞发育的超微结构观察

图版 I

SUN Rui, et al.: Ultrastructural observation on egg development of *Odontosoria chinensis*

Plate I



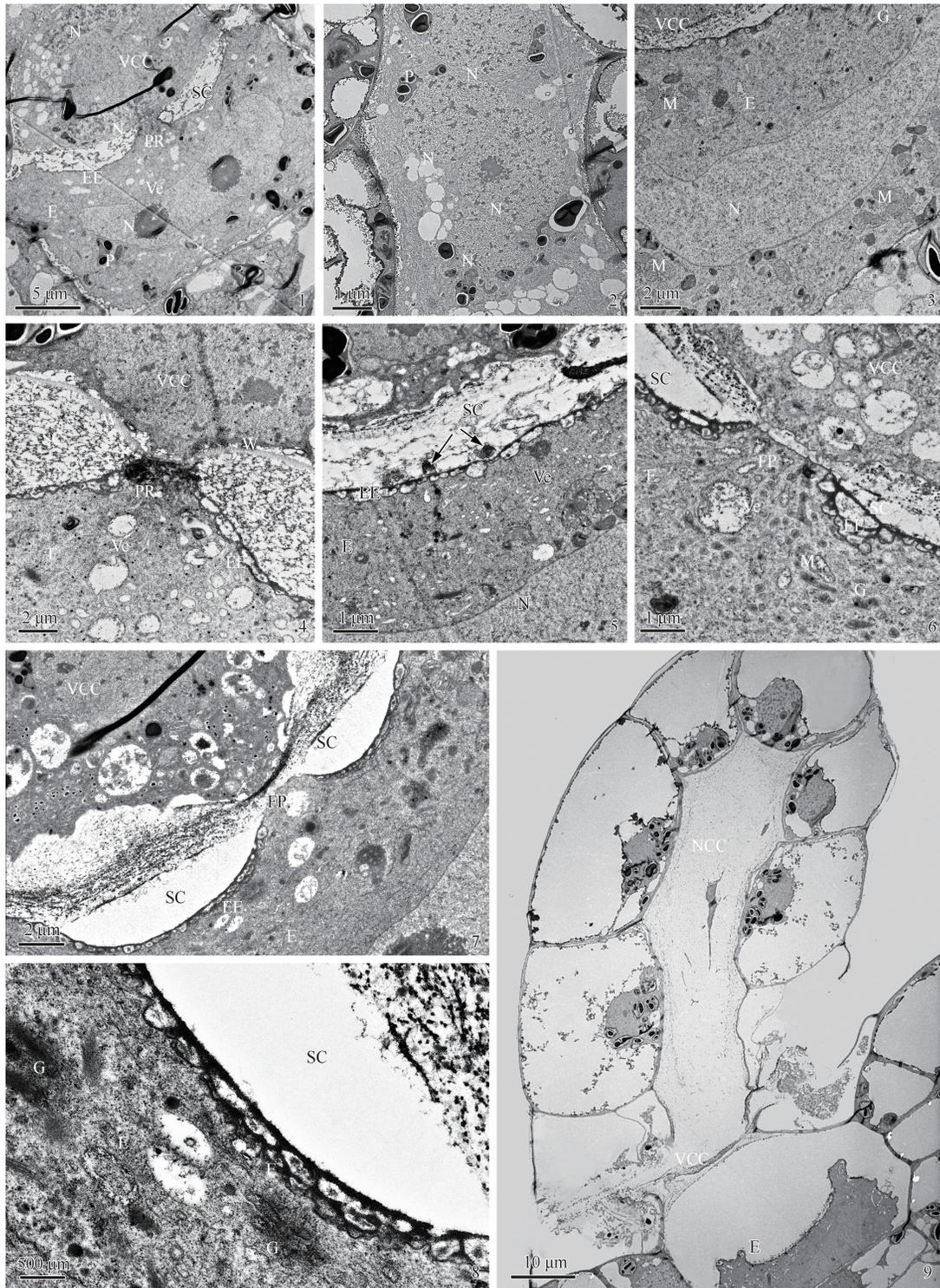
图版说明见文末 See the plate explanation at the end of the text

孙 锐, 等: 乌蕨卵细胞发育的超微结构观察

图版 II

SUN Rui, et al.: Ultrastructural observation on egg development of *Odontosoria chinensis*

Plate II



图版说明见文末 See the plate explanation at the end of the text