

放 射 虫*

譚 智 源

(中国科学院海洋研究所)

放射虫是海产而且是大洋性的原生动物,属根足动物亚門,与太阳虫綱同属于輻足总綱,因为它的骨骼和伪足在身体上半是呈輻射状的排列,所以被称为放射虫(*Radiolaria*)。

早在1834年, Meyer 就进行了研究,其后便是 Ehrenberg (1838)、Hyxley (1851)等。到了1858年, Müller 在放射虫的研究中,发现等輻骨針虫类(*Acantharia*)的骨針有一定的排列,他就这个排列方法作了简单扼要的敘述,学者們称之为 Müller 法則。1862年 Haeckel 发表了他研究放射虫的专著。继后“Challenger”号船进行世界海洋考察,采了大量的放射虫标本,由 Haeckel 加以整理研究鑑定,费时十年,共发表了四千多种的描述記載,从而奠定了研究放射虫形态和分类的基础。Haeckel 以后,有不少的人对放射虫进行研究,其中比較著名的有: Hertwig (1876); Karl Brandt (1885); Rüst (1885); Borgert (1897); Haecker (1898) 等等。直到最近,苏联的原生动物学家 B. A. Догель 和 A. A. Стрелков, 都曾陸續发表了他們的研究报告。目前关于放射虫的研究,已經不局限在形态与分类,而进展到生态、分布、生活史、細胞学和理化性質等方面的研究了。

解放前的旧中国,政治腐敗,民不聊生,根本談不上調查研究放射虫的工作,学者們确实是望洋兴叹,无从着手。新中国成立后,大力发展海洋科学;自从中国科学院海洋研究所成立以后,这项工作已在党的领导下,順利开展,深信会做出一定的成績。

形 态 机 能

放射虫生活于海洋中,种类繁多,据已有的記載,全世界共达六千多种,(例如最近我們在南海短時間初步观察,仅距海南島东边海面的一处便有50种以上)。因此,在形态上是十分复杂。成体有单体或羣体,大小相差悬殊,可以由几个微米到达数个毫米,甚至在某些羣体里,它的直径可达几个厘米。但是,絕大部分还是单細胞的个体,并且这些个体有一共同的特点,就是都有中央囊并将身体分为囊內和囊外两部分。此外,大多数都有自己的骨骼。

1. 中央囊 中央囊是細胞的生命中心,与生殖和感觉两官能有密切关系。当生殖时,中央囊以分裂或出芽的方法产生同配孢子(isospores)或异配孢子(anisospore);中央囊又能支配細胞体的运动。通常它有三个主要部分:

(1) 核 常为囊状,但它的大小結構常因种类而异,甚至在单一的个体中,由于发育时期不同而不一样。一个中央囊里有时可以有很多的核。如果放射虫的骨骼是同心球形,那么核的位置便是在最內面的一个骨骼球里面。据最近知道,等輻骨針虫类的核的数目是随年龄而改变的,年輕的是单核,随着成长,核的数目也漸次增加。

(2) 內質 为同質无色,或者是夹有細小顆粒的粘液状凝块,一般是沒有一定形状的结构。

(3) 囊膜 (这里所指的是等輻骨針虫类以外的一些种类)它具有弹性,并有抵抗理化物质刺激的特性,囊膜有穿孔,内外質由該处互相流通。

除上述三个主要部分外,中央囊还包含有许多非細胞结构的物质,如:

黃細胞 普通在等棘虫属(*Acanthometra*)的放射虫中便可找到,象我們在南海找到的 *Acanthometra* sp. 一种,便有許多黃細胞(图1, z; 图4, z)。黃細胞体呈球形或椭圆形,它是放射虫体内的共生藻类。

脂肪球 常为无色,并有高度的折光性。羣体的放射虫中央囊常有一脂肪球(图4, F)。脂肪球的作用是能使身体的比重減輕,又能貯藏营养物质。此外,迄今它被認為含有发光的物质,有“生物发光”的功能。

色素体 常为黃或紅色的顆粒,关于它的化学构成尚未弄清楚。

結晶体 分大小两种,小的又称为孢子晶体,因为游动孢子常含有此种晶体,呈桿状或紡錘状,它大概是孢子发育时所需要的有机营养儲藏物质。大結晶体常在硅藻虫目(*Spumellaria*)的一些羣体种类中見到。

凝块 常为圓盘状,有高度的折光性,它的化学构造尚未明了。

* 本文承业师张作人教授审阅修正,仅致謝忱。

2. 中央囊外部 包复在中央囊的外部, 它有下列两个组成部分:

(1) 浮泡 是一种透明的胶状物质, 一般具蜂窝状的结构(图 5, C)。浮泡又可分为原始浮泡及次生浮泡, 原始浮泡是供给放射虫形成初生骨骼沉积用的必需基础物质, 次生浮泡仅在放射虫的钙化期(lorication period)以后生成, 是进一步生长的生成物。浮泡能作伸缩运动, 使细胞体的水分外渗或内渗, 因而使放射虫身体的比重增加或减少, 所以, 它是一个重要的, 调节放射虫在海洋中上浮或下沉的细胞器官。

(2) 外质 依照它对中央囊或浮泡的关系, 可以分为下列几部分:

(i) 外质胚层(sarcomatrix) 是一个薄而相连的粘液质层, 复盖在中央囊的外表, 并与中央囊里的内质相连。它是放射虫的重要营养器官, 一切用伪足攫得的食物, 如硅藻与其他的动物腐烂尸体的碎屑等, 大部分送到这里进行消化。

(ii) 浮泡内网(sarcoplegma) 内与外质胚层相连, 外与浮泡表网、伪足等相连。呈分枝形状, 内网在营养运动上均起着一定的作用。

(iii) 浮泡表网(sarcodictyum) 是复盖在浮泡最外面的一层网子, 内与浮泡内网相通, 伪足从这里伸进水中。

(iv) 伪足(pseudopodia) 常常是薄而柔软的原生质丝。它是作为摄食、运动、感觉、与构成骨骼的器官。根据形状, 伪足又可分为粘足(myxopodia)与轴足(axopodia)。轴足是分化的伪足, 为一种固定放射状的线, 这些轴足仅在等辐骨针虫某些种类才有(图 1, A)。此外, 在等棘虫类(acanthometra)中有肌纤维(myoneme)能作收缩运动, 使浮泡体积增加或减少, 是一种调节器官(图 1, M)。

中央囊外部的非细胞结构物:

中央囊外部也有黄细胞和脂肪球。此外, 也有色素体, 但色素体的数量较少, 颜色常为黑色或蓝色, 至于它们组成的意义, 还未完全清楚。又在稀孔目(Phaeodaria)中, 有一种特别的称为“Phaeodium”的色素体(图 5, P), 常复盖在中央囊上面, 呈凹圆形, 象中央囊的一顶帽子。这个“Phaeodium”实际上是由许多称为“Phaeocels”的小颗粒集合而成, 至于它们对稀孔虫类所负的责任和性质, 学者们尚在争论中。

3. 骨骼 放射虫的骨骼大部分由二氧化硅组成, 此外便是由硫酸钙或一种称为 acanthin 的物质(一种近似几丁质的有机化合物)组成。硅质虫类(Spumellaria)与狄颈龙类(Nassellaria)的骨骼大部分是硅质, 而等辐骨针类的骨骼则为 acanthin 质。硅质骨骼不被溶

解于酸中, 不易为海水所溶解, 所以能在沉积物中保存下来, 而 acanthin 质的骨骼则易为海水所溶解, 故在沉积物中并未见到。

骨骼一般象玻璃状, 透明无色, 同时可以有种种形状, 如骨针状、小刺状、或菜花状等等。构成一个放射虫整体的骨骼, 型式极多, 如球型、星型等等。有趣的是, 在硅质虫类中, 有同心球式的骨骼, 活象广东手艺人雕刻的象牙球, 层层相包, 有的可以多至四层或五层, 每层都是具有规则或不规则的格孔的壳(图 2)。这种骨骼同心球的发育, 据从前的说法是从里至外, 也就是说, 最外的一层是年纪最轻的, 但现在学者们研究化石的结果, 知道也不尽然, 有在两层之间因褶皱而生新壳的, 这样就不是按着次序自内向外生长的了。放射虫骨骼的结构是分类上的重要依据。骨骼的功用是作为维持体形支撑身躯的工具, 同时也是保卫防御的器官。

分 类

关于放射虫的研究, 可以讲是 Haeckel 给奠定基础的, 直到今日, 分类工作大致还是依照他的系统。但是由于研究方法的进步和研究资料的增加, Haeckel 的论据和见解, 事实上已有必需修改的地方。就比较重大的来说, Haeckel 认为全部等辐骨针类都具有和其他放射虫相类似的中央囊, 其他学者也很多与 Haeckel 抱同样的见解, 认为等辐骨针类的中央囊是围着一层表面穿了許多小孔的特殊薄膜而成的, 并且以为囊内所含有的内质而囊外的便是所谓外质。因此, Haeckel 和这些学者, 都认为等辐骨针类是属于 Radiolaria 的一部分。但是后来由于 Schewiakoff 的研究, 知道事实上并不是全部等辐骨针类都有中央囊。即使有, 它的性质和位置也和别的放射虫不同, 不是由分泌而成, 也不是两层薄膜, 而系“表皮”性质, 更重要的是它并没有把外质和内质清楚地分离开, 并且囊内仍含有一部分外质, 这在生活时是很容易看出来的。此外, 等辐骨针类的中央囊除去让 20 枚骨针穿出来的小孔以外, 没有其他的穿孔, 囊膜抵抗力很强, 但无弹性。这些都是和其他的放射虫的中央囊不同的地方。因此, 现今学者们将等辐骨针类完全划出来, 以表明它们和真正的放射虫有所不同。兹略列举如下:

放射虫纲(Class Radiolaria)

第一亚纲 等辐骨针亚纲(Sub-class Acantharia)

目 1. 全射棘目(Holacantha Schewiakoff)

目 2. 粘合棘目(Symphacantha Schewiakoff)

目 3. 松棘目(Chauncantha Schewiakoff)

目 4. 节棘目(Arthracantha Schewiakoff)(图 1)

目：輻射目(Actinelia Popofsky)

第二亚綱 眞放射虫亚綱(Sub-class Euradiolaria)

目1：硅酪虫目(Spumellaria Haeckel)(图2)

目2：狹頸龙目(Nassellaria Ehrenberg, emend. Haeckel)(图3)

目3：稀孔目(Phaeodaria Haeckel emend. Haecker)(图5)

生态分布

放射虫广泛生存于世界各个不同温度、不同深度的海洋中。在南极和北极的海底沉积物及冰封中，探险家都曾找到过放射虫。一般來說，热带地区数目及种类都是极为丰富，而寒带的则个体体积较大，但种属较少。从热带向两极方向分布量的观察，可以发现它们的种类及数目，似是漸次遞減，而在北半球的減少則更快。就我国沿海海区來說，也有这种情况，南海的放射虫較多，东海黄海的数目便比較少。

放射虫在淡水水域是不存在的，它們是属于大洋性的动物，这点从我們随同张作人教授在南海海区采集过程中便知道。离上下川島、閩坡以南和海南島以东 15 海浬的海面（深度 50—70 米）差不多沒有放射虫，到了 30 海浬至 70 海浬左右，便开始发现有較多的放射虫，到距离海岸 100 海浬以上的海区（海深 200 米以上）放射虫的种类及数量便大大地增加，祇需用 25 号篩網的小型拖网，在海面数公尺深的地方即可捞到。

又据一些学者研究了解，在太平洋里，放射虫的种类及数量都是比較多的，一些純粹放射虫軟泥和紅粘土，在海底中可以大量地找到，例如在菲律宾附近与巽他海(Sunda Sea)中，有大量的放射虫。印度洋与太平洋的区系較为接近。在阿刺伯海(Arabian Sea)的海底有放射虫軟泥或紅粘土。印度洋表面的放射虫种羣相当丰富，并且与海底沉积的一致。大西洋的放射虫种类及数量比較少，并且它的地底是沒有純粹放射虫軟泥的。此外，在紅粘土中的放射虫，亦不象太平洋的那么丰富。

上面已經說过，不同深度的海里都有放射虫的存在，关于这种分布的生态观察，“Challenger”号做了很多的工作，发现了不同深度的水中，有不同的种类，某些种类，祇限于某一深度的地方生长。Haeckel 把放射虫的垂直分布划分为三个区域：

1. 表层区域 在这个区域的放射虫，一般是浮游在海面的，当天气不好而下沉时，下降的深度亦不超过 200 米，属于这区域的种类，多半是等輻骨針类和硅酪虫类。我們在南海采到的放射虫，是在深度 50 米至 200 米之間的，其中以等輻骨針类和硅酪虫类較多，至于狹頸龙类則比較少，而稀孔类絕少，这种情况和 Haeckel

所說的大致符合。

2. 中間区域 是漂浮在表层与深海区域之間的各种不同深度的一些种类。这些种类的形态，上层的接近表层区域的种类；下层的則接近深海区域的种类。例如，比較上层的等輻骨針类与硅酪虫类，随着深度漸增而逐渐为狹頸龙类和稀孔类所代替。这种情形，和高山上的植物种类，跟着高度不同而产生变化同样的有趣。

3. 深海区域 深海的种类有一共同的特点，就是它們很少在浅的水层中被发现（除非偶然由于被上升的海流带至水面），它們的体积都比較小，骨骼块比較重，骨壳結構比較粗糙。此外，它們并非在海底栖息或攀附在海底某些物体上面，大約它們是浮游生活在与海底还有小小距离的地方。大量的稀孔类都是属于深海区的，另外有小部分的等輻骨針类和硅酪虫类也可以在这里找到。

在深海的各类沉积物中，以放射虫軟泥所含放射虫最多。这种軟泥是由于放射虫死亡后硅质骨骼下沉于海底浮泥中堆积而成，它的面积占现代海底 2—3%。由于等輻骨針类的 acanthin 质的骨骼容易被海水溶解，故軟泥中所留下的多半是硅酪虫类与狹頸龙类的骨骼。这种軟泥复盖在水深約 4,000 米至 8,000 米的海底上，顏色为黃褐色或紅褐色，其中除包括絕大部分放射虫硅质骨骼外，也包括其他生物的硅质骨骼和大量的矿物顆粒。在太平洋里，有很多处的海底含有这种軟泥，靠近我国的一处，是在菲律宾的东北面与馬利安尼羣島(Marianne Islands)之間的海底中。Ehrenberg 对此曾作过描述記載。

海洋中还有一种沉积物是抱球虫軟泥(Globigerina ooze)，其中絕大部分是有孔虫的鈣质壳。这种軟泥經過酸的处理后留下的残渣，有放射虫的骨骼。

紅粘土(clay)，是海底最多的沉积物，它复盖的面积也最大，但紅粘土所含的放射虫較少，有时仅仅是一些骨骼碎片。

这儿我們再談談放射虫的化石。关于各个地质时期的放射虫考察工作，一些学者如 Ehrenberg, Rüst 等人在前世紀已做了不少的工作。放射虫化石可以在地壳中各个地质时期的沉积岩石中找到。远在前寒武紀地层中已有发现，化石种类最大部分是硅酪虫类与狹頸龙类，稀孔类的骨骼只有少数，至于等輻骨針类則尚未发现。現代生存的放射虫，有些被称为“活化石”，因为它们虽然到现在还是生活着的种类，但远在第 3 紀的岩石中便已找到相同的化石；中新世有許多放射虫，如球壳虫科(sphaeroidae)与盘形科(Discoidea)的放射虫，它們与現存相同的种类几乎很难識別。这种事实，

在系統发生上与在遗传学、地理学上都是很有意义的。

經 济 意 义

以前研究放射虫的学者，大多数祇限于分类形态的描述，从经济意义着眼去做工作的很少。我們可根据已有的資料和有关的知識，不妨从下列几点来探討：

第一，在地质勘探中，有时在失去大动物化石层系时，便利用微动物化石来进行工作，这种方法，对确定岩样的年代具有重要意义。目前苏联石油工业綜合解决地层問題便利用这种方法。在测定层系相对年代的标准，一般是有孔虫，因为現知的放射虫化石，可以作为标准化石的为数不多，且現在所知的分布范围，也不象有孔虫广闊；但是，沒有理由认为放射虫的化石就和地层学沒有关系了，祇不过是放射虫的化石研究工作才开始不久，尙未能完整地与地层学相配合，如果今后研究工作和研究資料一天天地增进，深信一定会有助于地质学方面的开展。

第二，在海洋学方面，我們知道对于海流和水团的分析，一般都是利用物理化学的方法，但也有利用浮游生物来进行的，例如利用水母和海樽类作为暖流指标等等。至于利用放射虫这种小型的浮游生物，目前还没有人做过。但是我們知道，放射虫对不同深度和不同理化条件的感应是非常灵敏的。前面已經說过，表层的区系与深层的区系是絕然不同的，例如深洋虫科 (Tuscaroridae) 的放射虫，限制在少光的地带，是少光浮游生物；在海面上层就很难找到。而放射虫的身体又不象有孔虫的身体有严密的房、室，所以放射虫对于环境条件的要求更严格一些。可以設想，在一定的水团或海流中，有一定的适应于环境条件的放射虫区系。所以在广泛的調查研究之后，放射虫很可能协助解决海洋学上的某一些問題。

第三，浮游生物在水体食物鏈中占着最重要的一环，而放射虫这种小型的浮游生物在食物鏈中又占什么地位呢？直到現在还没有人把它好好的研究。但是，有許多事实說明它是占着一定位置的。很早以前，一些学者便知道放射虫是海洋动物的食料，特别是

作为深海动物及大洋动物的食料。例如在一些翼足类、甲壳类、薩尔帕 (Salpa)、与水母类等的消化管里都可以找到很多的放射虫。Haeckel 在波罗的海中的一种海月水母 (*Aurelia*) 消化腔中便找到了一些等棘虫类和网形类 (Dictyocha)。此外，在海鞘与甲壳类的十足类的体内也找到了放射虫。最近，金德祥教授 (1956) 在福建連江研究軟体动物的食料，也发现了縷螳 (*Sinonovacula constricta*) 与杂色蛤仔 (*Venerupis variegata*) 的消化管中有放射虫的骨骼。我們五月份在南海海面进行采集工作的过程中也发现了在一种莹虾 (*Lucifer* sp.) 的消化管里有等辐骨針类的放射虫。由这許多事实，可以說明放射虫在作为餌料上是占有一定地位的。

最后，放射虫是海洋发光生物之一，早在 1834 年 Meyer 曾研究过有关发光的种类。K. Brandt 于 1885 年在 Naples 地方曾作了較詳細的研究。发光种类的放射虫如以物理机械的刺激或化学的刺激都会使它发光，而且光度增强。至于发光的机制及其生物学的意义，也是有待于深入研究的。

参 考 文 献

- [1] 金德祥、王錦珊、賴孟璣：1956。福建省連江的縷螳和杂色蛤仔的食料。学艺 25(6)。
- [2] Brandt, K.: 1885. Koloniebildende Radiolarien (Sphaerozoen) Fauna und Flora des Golfes von Neapel, Monographie 13: 219—229.
- [3] Haeckel, E.: 1886. Report on the Radiolaria collected by H. M. S. Challenger during the years 1873—76. Challenger Rep. Zool., Vol. XVIII. P. i-clxxvi. Pl. 102 Fig. I.
- [4] Grassé, Pierre. P.: 1953. Traité de Zoologie Anatomie, Systématique, Biologie. Tome I Fasc. II p. 269—384.
- [5] Riedel, W. R.: 1957. Radiolaria; A preliminary stratigraphy. Reports of the Swedish Deep-Sea Expedition, Vol. VI. Fasc. III. p. 61—76.
- [6] Schewiakoff, W.: 1902. Beiträge zur Kenntnis der Radiolaria-Acanthometrea. Mém. Ac. Imp. Sci. St.-Petersbourg, VIII. Sér., T. XII, 1902. P. 14—24. Pl. I. Fig. 7—9. Pl. II. Fig. 2.

图 版 說 明

图 1. *Acanthometra* sp. (原图)

Z-黄細胞；M-肌纖維；A-軸足；S-骨針；E-外質。

图 2. *Thecosphaera* sp. (原图)

图示有三重格孔骨壳的硅壳。

图 3. *Pterocanium* sp. (原图)

图 4. *Collozoum* sp. (原图)

羣体中的两个个体

Z-黄細胞；F-脂肪球。

图 5. *Auloceros elegans* (仿 Haeckel)

P-*Phaedium*；i. C-中央囊；C-蜂窝状浮泡。

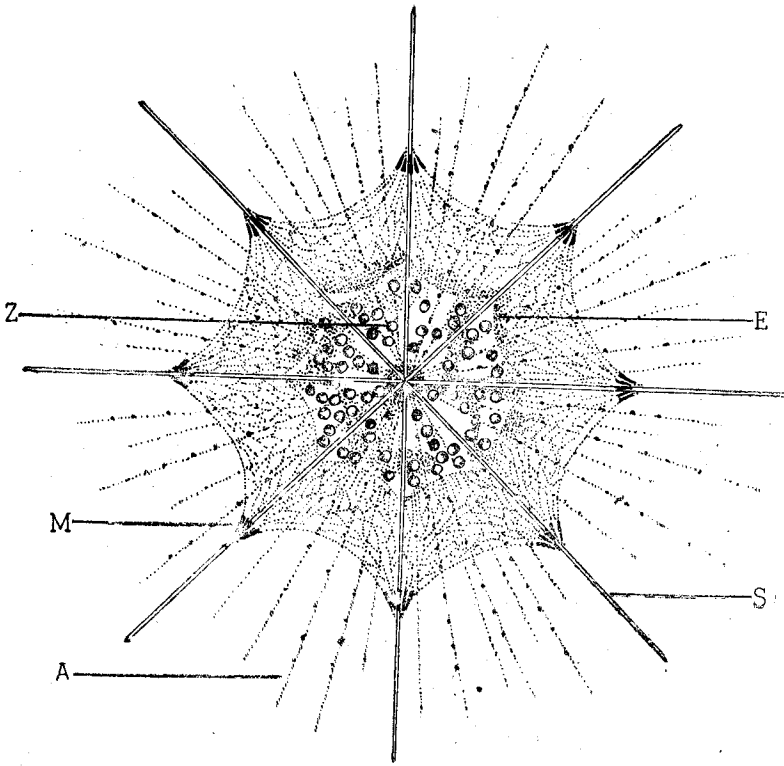


图 1

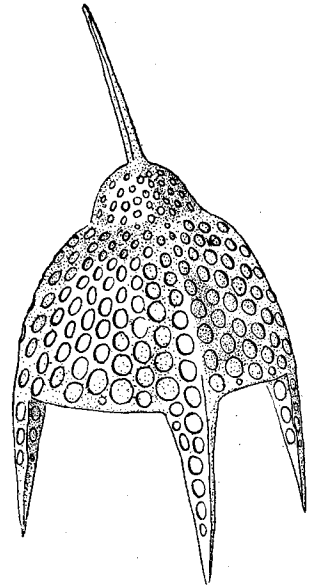


图 3

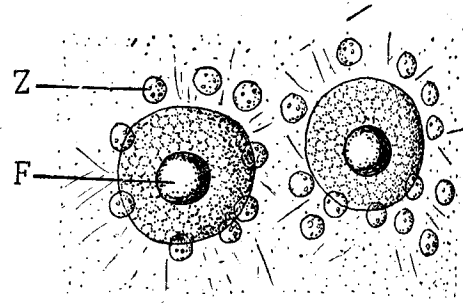


图 4

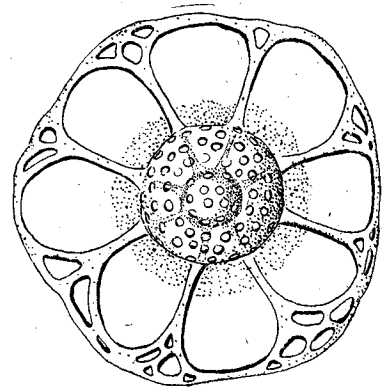


图 2

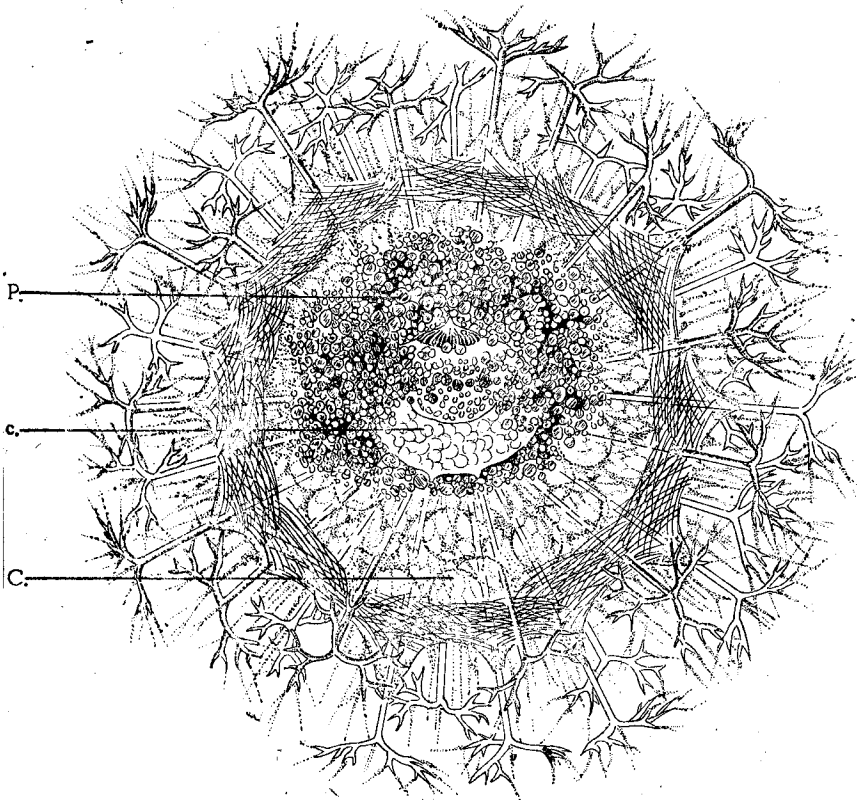


图 5