

华北地台东部中寒武世张夏期附枝藻 (Epiphyton)灰岩及古地理

张俊明 周仰康 王宗哲

(中国科学院南京地质古生物研究所)

近年来,笔者在研究华北地台东部地区寒武纪沉积环境的野外考察中,发现本区中寒武统张夏组碳酸盐岩地层中发育有厚层块状附枝藻灰岩。它主要分布于山东省中部地区,辽宁省复县,吉林省浑江市和安徽省宿县等地的张夏组下部和上部。在长清县崮山镇,泗水县和辽宁省复县长兴岛、磨盘山一带张夏组中部也有分布。

附枝藻灰岩在苏联、美国、加拿大、南极洲的寒武纪地层中均有分布。在我国,除华北地台东部张夏期碳酸盐岩地层中有分布外,扬子地台边缘的黔东、湘西一带下寒武统清虚洞组和中寒武统也有发育。由于该类藻灰岩分布广泛,引人注目,具有一定的古地理环境意义。本文主要叙述山东省长清县以东地区以及辽宁省复县一带的附枝藻灰岩特征和古地理环境意义。

一、附枝藻特征及其造岩作用

附枝藻为 *Epiphyton* 的释名,属蓝绿藻生物(Маслов 1973,〔1〕 Лучинина, 1975,〔2〕), Wray 1977〔3〕,但有的学者认为它属于红藻类生物(Johnson 1966,〔4〕 Riding and Toomey 1972,〔5〕 Коря 1975〔6〕)。它主要发育于寒武纪到泥盆纪,尤以寒武纪最盛,是组成藻丘和藻礁相灰岩的重要造岩生物。

附枝藻具特殊的形态,具分叉的叶状体(长0.4—0.6毫米,宽0.05—0.06毫米)。枝端呈对生分叉,其横截面为圆形,直径约0.05毫米。在偏光显微镜下观察,附枝藻的叶状体色暗,内部不显示微细结构。按附枝藻叶状体生长方式可分为树枝状和簇球状两类。树枝状附枝藻的叶状体呈树枝状向上、向外多次分叉丛生,形似小灌木丛(图版 I, 1、3)。簇球状附枝藻叶状体呈放射状紧密排列,构成簇球状形态。簇球的直径约0.6—1毫米,内具不规则形状的偏心空隙,空隙中为亮晶方解石充填(图版 I, 2)。簇球状附枝藻常成团群集分布,是组成穹窿状附枝藻岩礁中的重要分子。

附枝藻为钙质藻类生物,它的叶状体由隐晶方解石组成,叶状体之间被微晶方解石胶结。在扫描电镜下观察,附枝藻叶状体显示海绵状结构,具2—3微米大小的孔隙,含1—2微米的方解石晶粒。叶状体边缘垂直生长有不规则状方解石柱晶(图版 I, 6)。

在附枝藻丛之间为灰泥沉积物,特别是隐藻呈包壳状包附在藻丛的周围。隐藻(Cryptalgal)这个术语是由Aitken(1967)提出的,它是非骨骼蓝绿藻活动的结果。非骨骼蓝绿藻具捕集、粘结灰泥沉积物的作用,它们在造成附枝藻粘结岩中起了重要的“胶结”作用。附枝藻在造岩作用中除了它们分泌钙质、沉淀方解石外,还起了支撑和固定沉积物的作用。这个结论与 Riding and Toomey(1972)^[5]所认为的附枝藻能捕集、粘结沉积物有所不同。因为附枝藻生长密集,发育迅速,具向上生长状态,它们呈骨架支撑,叶状体之间迅速被微晶方解石胶结。藻丛起了障蔽、固定灰泥沉积物作用。因此,在造岩作用中,起捕集粘结灰泥沉积物主要是非骨骼蓝绿藻的作用。附枝藻与非骨骼蓝绿藻共生,大量繁茂,能造成厚层块状附枝藻岩礁。

二、附枝藻灰岩特征和沉积环境

本区附枝藻灰岩为浅灰色、灰白色致密块状灰岩,它们主要由大量的附枝藻和非骨骼蓝绿藻组成。附枝藻灰岩不具层纹状构造故有别于藻叠层石灰岩,并且它也不同于由非骨骼蓝绿藻捕集、粘结灰泥沉积物而成的、具明显隐藻结构的凝块石粘结岩。

山东长清县以东地区以及辽宁复县长兴岛、磨盘山一带张夏组的附枝藻灰岩以三种形式产出,即穹窿状岩礁、板状层礁和中、厚层状藻灰岩。这三种不同形式的附枝藻灰岩的特征,藻灰岩上、下的岩类组合和所含生物组分均不同,反映了它们形成环境不同。

1. 穹窿状附枝藻岩礁 主要分布于山东沂源县西王庄、莒县浮莱山张夏组上部和辽宁复县长兴岛、磨盘山张夏组中部和上部。各地不同层位的穹窿状附枝藻岩礁特征和形成环境简述如下:

山东沂源县西王庄与沂水县毗邻,这里张夏组上部的穹窿状岩礁为浅灰色、灰白色质纯的(酸不溶物含量小于2%, MgO含量小于0.5%)厚块状附枝藻岩礁。岩礁以穹窿状向上凸起生长,呈圆丘柱状沿层排列成层堆积,形成岩礁组合,其间夹鲕粒亮晶灰岩,厚达六十余米。地貌上突出于周围岩层,形成陡崖。岩礁由树枝状和簇球状附枝藻组成(图版I, 4),其中簇球状附枝藻尤为发育,与树枝状附枝藻共生,被非骨骼蓝绿藻包附胶结,形成坚硬的穹窿状岩礁体。岩礁中,附枝藻呈密集的丛状分布,叶状体之间为微晶方解石胶结,藻丛之间为灰泥沉积物,基质中含被风浪扰动破碎的附枝藻碎屑。岩礁中空隙较发育,被亮晶方解石充填,局部晶间空隙充填有沥青。该地穹窿状岩礁组合发育之前主要为黄绿色含球接子三叶虫页岩与灰色中、薄层状含钙质海绵骨针三叶虫微晶灰岩互层。灰岩层面具虫迹和富含三叶虫,其中包括漂浮型的球接子三叶虫,代表开阔外陆棚相。向上岩石序列灰色厚层鲕粒亮晶灰岩,沉积环境由开阔外陆棚相向上变浅为鲕滩相。穹窿状附枝藻岩礁以鲕滩为基底向上堆积。在岩礁组合发育的末期被代表滩后泻湖相的灰色中、薄层状 *Girvanella* 藻屑-棘屑微晶灰岩所覆盖。穹窿状附枝藻岩礁组合之间夹有多层的鲕粒亮晶灰岩,反映了陆棚升降运动和水动力能量的变化。鲕灰岩中的鲕粒呈圆球形和椭球形,鲕粒被世代亮晶方解石胶结,代表高能水动力条件的浅滩环境。由鲕粒亮晶灰岩变为厚层穹窿状岩礁组合表明,当陆棚沉降,海水变深,水动力能量降低,附枝藻在鲕滩上迅速生长、发育。此陆棚的沉降与附枝藻造岩速

度相同。然而，当陆棚上升，海水变浅时，水动力增强，造成有利于鲕粒形成的环境，而不利于附枝藻的生长发育。穹窿状附枝藻岩礁与鲕粒亮晶灰岩的沉积组合表明，其形成环境是陆棚边缘的滩-礁相。

从西王庄向东南到莒县一带，张夏组上部的穹窿状附枝藻岩礁呈圆包状分布，成层堆积成岩礁组合。它们与砾屑鲕粒泥晶灰岩、薄板状含硅质海绵骨针泥晶灰岩自下而上组成三个沉积组合。每个组合的下部为厚层状砾屑鲕粒泥晶灰岩、灰色薄板状含硅质海绵骨针泥晶灰岩交替沉积，上部为穹窿状附枝藻岩礁组合。岩礁由树枝状、簇球状附枝藻和非骨骼蓝绿藻组成(图版 I, 5)。附枝藻叶状体之间为亮晶方解石胶结，藻丛之间为灰泥。基质中孔隙较发育，被亮晶方解石充填。附枝藻岩礁质纯，酸不溶物含量甚微。上述特征与陆棚边缘浅滩上形成的穹窿状附枝藻岩礁的特征基本相似，属浅水岩礁组合。该地穹窿状岩礁组合发育之前为灰色厚层状砾屑鲕粒泥晶灰岩与灰色薄层状含硅质海绵骨针球接子三叶虫泥晶灰岩交替沉积。在砾屑鲕粒泥晶灰岩中含大量的鲕粒灰岩砾屑，砾屑中的鲕粒与灰泥基质中的鲕粒大小相似，均为同心层纹状，这表明鲕粒和鲕粒灰岩砾屑同源浅滩，经潮汐流搬运再沉积于滩前较深水低能环境。因此，该地的鲕粒灰岩本身不能作为浅滩环境的沉积证据。砾屑鲕粒泥晶灰岩与含海绵骨针泥晶灰岩交替沉积的序列代表滩前外陆棚环境，穹窿状岩礁组合发育于滩前外陆棚相对隆起变浅的环境中。该地张夏组顶部附枝藻岩礁组合之间夹鲕粒亮晶灰岩，岩礁顶部被白云石化鲕粒亮晶灰岩覆盖，表明张夏末期莒县、沂水一带海水变浅，沉积环境演变为陆棚边缘浅滩。

辽宁复县长兴岛，磨盘山一带张夏组中部的穹窿状附枝藻岩礁呈孤立的圆丘体，或呈向上分叉凸起生长。岩礁主要由树枝状附枝藻组成，并含少量的 *Renalcis* 团块。附枝藻呈树枝状向上生长，未被扰动破碎。附枝藻叶状体之间和藻丛间为灰泥基质，基质中富含钙质海绵骨针、三叶虫和棘皮动物碎片。穹窿状岩礁夹于中、薄层状三叶虫微晶灰岩和含球接子三叶虫钙质页岩之间。中、薄层状灰岩中，除富含三叶虫、无铍腕足类化石外，还含较多的钙质海绵骨针。黄绿色页岩中含 *Hypagnostus* 等球接子三叶虫。它们代表较深水的外陆棚相岩类。岩礁中富含钙质海绵骨针及其骨针骨架，岩礁的酸不溶物含量为 4.85—5.4%，铍的含量为 590%—600PPm，与在浅滩上形成的附枝藻岩礁不同。后者质纯，酸不溶物低微，铍的含量为 370—490ppm。因此，沉积特征表明该地张夏组中段的穹窿状附枝藻岩礁形成于开阔外陆棚相环境。

2. 板状附枝藻层礁 由沂源县西王庄向西到莱芜县九龙山一带张夏组上部的厚层穹窿状岩礁组合逐渐变为板状附枝藻层礁。九龙山南坡的层礁为浅灰、灰白色厚层块状藻灰岩，单层厚约 1—2.5 米。灰岩显示拱形向上生长的形状，层面起伏不大，横向延伸距离较远，成低起伏的圆包。层礁由树枝状附枝藻组成。附枝藻呈树枝状连续向上密集生长，未被扰动破碎(图版 I, 1)。附枝藻叶状体之间为微晶方解石胶结，藻丛之间为灰泥。孔隙中具示底构造，部分孔隙边缘长有栉壳状方解石，其内被具环带状后生白云石充填。局部层礁的灰泥基质中含自生锥状石英小晶体。附枝藻层礁自身的特征反映它形成于较为闭塞的低能环境。剖面上，附枝藻层礁与鲕粒泥晶灰岩、黄绿色页岩、虫迹微晶灰岩和不规则瘤状微晶灰岩组成五个韵律层。每层附枝藻层礁的底部为鲕粒泥晶

灰岩,顶部被黄绿色页岩覆盖。鲕灰岩中,鲕粒散布于灰泥质基质中。鲕粒内部为重结晶成放射状方解石柱晶。灰泥基质中含三叶虫、软舌螺和偏平状微晶灰岩砾屑,具虫孔。上述鲕粒灰岩的特征表明鲕粒来自鲕滩,经潮汐流搬运再沉积于滩后低能环境。层礁上覆岩层中,生物单调,并具垂直虫孔和斜交虫孔。从层礁上、下序列中的岩石类型特征亦反映了附枝藻层礁形成于滩后低能环境。

3. 中、厚层状附枝藻灰岩 分布于山东莱芜县颜庄以东地区张夏组下部和长清县崮山镇张夏组上部。张夏组下部的附枝藻粘结岩发育于鲕粒亮晶灰岩之间,灰色、厚层状,由树枝状附枝藻组成。附枝藻呈放射状向上生长,未被水流扰动破碎(图版 I, 3)。附枝藻叶状体和藻丛之间为灰泥基质。这表明附枝藻在滩间低能的环境中,以鲕滩为基底形成厚层状附枝藻粒结岩。随着水动力能量的增强,鲕粒亮晶灰岩代替了附枝藻的发育。

长清县崮山镇一带张夏组上部的中、厚层状附枝藻灰岩为灰色,具白云石化形成的云斑状构造,单层厚25—50厘米。灰岩由树枝状附枝藻组成,藻丛之间的灰泥基质中生物钻孔较为发育,内含 *Girvanella* 藻屑。中、厚层状附枝藻灰岩与灰色中层状骨屑泥晶灰岩、含藻屑斑状微晶灰岩互层沉积。骨屑泥晶灰岩中,除含较丰富的三叶虫、软舌螺 *Chancelloria* 和棘皮动物碎片外,还含分散的 *Renalcis* 团块, *Epiphyton* 藻屑和 *Girvanella* 藻屑。部分三叶虫碎片具 *Girvanella* 泥晶化包壳。在斑状微晶灰岩中也含 *Girvanella* 和 *Epiphyton* 藻屑。上述岩石特征表明该地张夏组上部的中、厚层状附枝藻粘结岩形成于内陆棚泻湖环境。

三、附枝藻的生活环境特征

附枝藻与其它钙藻一样,受各种环境因素控制。其中,温度、盐度、深度、海水透光性、水动能以及生物因素等是附枝藻生长、发育的重要环境条件。本区张夏期附枝藻以鲕滩为底质,呈放射状向上生长,显示了附枝藻具原地生长状态。因此,从附枝藻礁岩特征和附枝藻生长形式可指示附枝藻的生活环境。

附枝藻灰岩的发育与分布受气候控制。华北地台东部张夏期附枝藻灰岩的分布区与鲕粒灰岩的发育区基本一致,说明附枝藻的生长环境与鲕粒的形成环境相似。现代鲕主要发育于赤道南北 25° — 30° 之间的干燥气候带(Lees 1975)[7]。奥陶纪和志留纪鲕粒灰岩大都分布于干燥气候带(Seslavinskiy 1979)[8]。从中寒武世张夏期鲕粒灰岩的发育可推测,气候干燥、阳光充足的暖水浅滩环境是附枝藻繁茂的地带,形成厚层穹窿状附枝藻岩礁组合。

附枝藻的生长、繁衍与海水的浊度和水动能密度有关。陆棚边缘浅滩上发育的厚层穹窿状附枝藻岩礁的酸不溶物含量小于2%,基本上不含陆源砂、泥质,反映清水环境。而当陆源砂、泥质的含量不断增加,海水的混浊度相应增高时,就抑制了附枝藻的生长、繁衍。附枝藻的生长方式可以指示不同的水动力环境。具脆弱的树枝状构造的附枝藻经不起强的水流和波浪的作用,容易被扰动破碎。因此,它可能在能量较低的弱扰动环境中发育、生长。

四、沉积相模式与古地理

长期以来, 山东莒县、沂水和辽宁复县以东地区在张夏期被认为是古陆剥蚀区。如果古陆存在的话, 那么靠近古陆剥蚀区的莒县、沂水和复县一带, 张夏期的地层应该具古陆边缘近岸相的沉积特征, 其实并非如此。从张夏晚期不同形式的附枝藻灰岩的形成环境及其在地理上的分布, 反映了上述地区不是靠近古陆的近岸相, 而是向海的陆棚边缘浅滩和开阔外陆棚沉积区。因为代表陆棚边缘浅滩-礁相的鲕粒亮晶灰岩和厚层穹窿状附枝藻岩礁的沉积组合主要发育于山东沂源县西王庄、昌乐县孤子和辽宁复县长兴岛、磨盘山一带。从山东沂源县西王庄向东到莒县、沂水县一带变为滩前外陆棚沉积区; 向西到莱芜县九龙山一带, 沉积了一套代表滩后相的沉积组合, 往西到长清县一带, 则为内陆棚泻湖相。因此, 从山东长清县向东南到沂水县、莒县张夏晚期沉积相模式, 自西北向东南可分为四个相带: 内陆棚泻湖相、滩后相、陆棚边缘浅滩-礁相和滩前外陆棚相。显示了西浅东深的古地理格局 (图 1)。由此推论, 莒县—复县以东地区张夏晚期为向海的较深水外陆棚沉积区。为进一步说明中寒武世张夏期海陆性质, 笔者分析了张夏早、中期沉积环境的变迁 (图 1)。张夏早期、地处“胶辽古陆”边缘的山东沂水、莒县一带, 沉积了一套代表浅滩相的厚层鲕粒亮晶灰岩; 在复县则自下而上沉积了鲕粒微晶灰岩、骨屑微晶灰岩和页岩组合, 向上为灰黑色页岩、黄绿色页岩与中薄层状含泥微

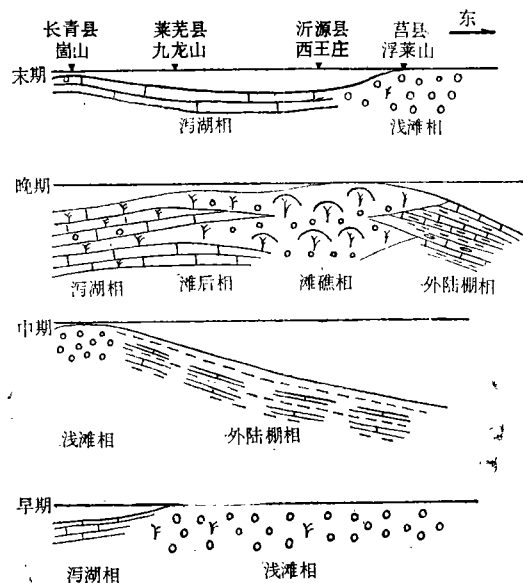


图 1 山东中寒武世张夏期沉积环境演变略图

Fig. 1 Diagram schematically illustrating the evolution of the depositional environments in the Zhangxia Age of the Middle Cambrian in Shandong Province

晶灰岩互层的沉积序列, 富含底栖三叶虫、漂浮型的球接子三叶虫、海豆芽和其他无铍腕足类, 这套沉积序列代表为从滩前相到较深水外陆棚相的环境。

张夏中期, 山东莒县、沂水县、安丘县和辽宁复县、金县地区沉积了一套黄绿色页岩与中、薄层状含硅质骨针骨屑微晶灰岩互层序列。富含底栖三叶虫、漂浮型球接子三叶虫和硅质海绵骨针。岩相和生物特征表明上述地区在中寒武世张夏中期为较深水外陆棚沉积区。

以上所述, 位于“古陆剥蚀区”边缘的莒县、沂水县、安丘县和复县、金县一带, 在张夏早期为陆棚边缘浅滩和滩前相、外陆棚相环境; 张夏中期为较深水的外陆棚沉积区; 张夏晚期则为陆棚边缘滩礁相和滩前外陆棚相。由此可见, 上述地区在中寒武世张夏期的沉积相并不是靠近古陆的滨岸相而是较深水的外陆棚相。因而, 在山东莒县、沂水县、安丘县和辽宁复县、金县以东地区, 所谓的“胶辽古陆”在中寒武世张夏期是不存在的。

(收稿日期1983年4月26日)

参 考 文 献

- [1] Маслов, В. П., 1973, Атлас породовразующих организмов (Известковых и Кремневых) Издательство «Наука» Москва. P9—14.
- [2] Лучинина, В. А., 1975, Лалеоальгологическая характеристика раннего Кембрия Сибирской платформы. Издательство «Наука» Сибирское отделение p14-16.
- [3] Wray, J. L., 1977, Calcareous algae. In Developments in Palaeontology and Stratigraphy 4. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, P 40-42.
- [4] Johnson, J. H., 1966, A review of the Cambrian algae. Quarterly of the Colorado school of Mines, V.61, No. 1.
- [5] Riding, R. and Toomey, D. F., 1972, The sedimentological role of *Epiphyton* and *Rtenaiei* in Lower Ordovician mounds, Southern Oklahoma. J. Paleont., V. 46, No.4, P509-519.
- [6] Кордз.К.Б., 1975, Водоросли Кембрия. Издательство «Наука» Москва.
- [7] Lees, A., 1975, Possible influence of salinity and temperature on modern shelf carbonate sedimentation. Marine Geology, V. 19, No. 3, P 159-198.
- [8] Seslavinskiy, K. B., 1979, Ordovician and Silurian climates and global climatic belts. International geology review, V.21, No. 2, P 140-152.

EPIPHYTON BOUNDSTONE AND PALAEOGEOGRAPHY OF THE MIDDLE CAMBRIAN ZHANGXIA FORMATION IN THE EAST OF NORTH CHINA PLATFORM

Zhang Junming Zhou Yangkang and Wang Zongzhe

(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica)

Abstract

Epiphyton boundstones are widely distributed in Zhangxia Formation of the Middle Cambrian in the middle of Shandong Province, Fuxian of Liaoning Province, Hunjiang City of Jilin Province and Suxian of Anhui Province. The *Epiphyton* boundstones exposed in the field are light grey massive limestone. The *Epiphyton* boundstones are mainly composed of *Epiphyton*, and the boundstone has not laminated structure. Therefore, the *Epiphyton* boundstones not only differ from stromatolithic boundstone, but also differ from thrombolitic algal boundstone. The *Epiphyton* boundstones are pure limestones, containing less than 2% of insoluble residue and less than 0.5% of MgO. The characters of chemical composition in the *Epiphyton* boundstones have demonstrated that *Epiphyton* had grown and flourished in clear water at that geological time.

In this area, *Epiphyton* boundstones occur as three forms: domed bioherm, tabular biostrome and medium to thick-bedded boundstone. The different forms of *Epiphyton* boundstone and their lithologic type assemblages suggest that *Epiphyton* boundstone develop in different depositional environments.

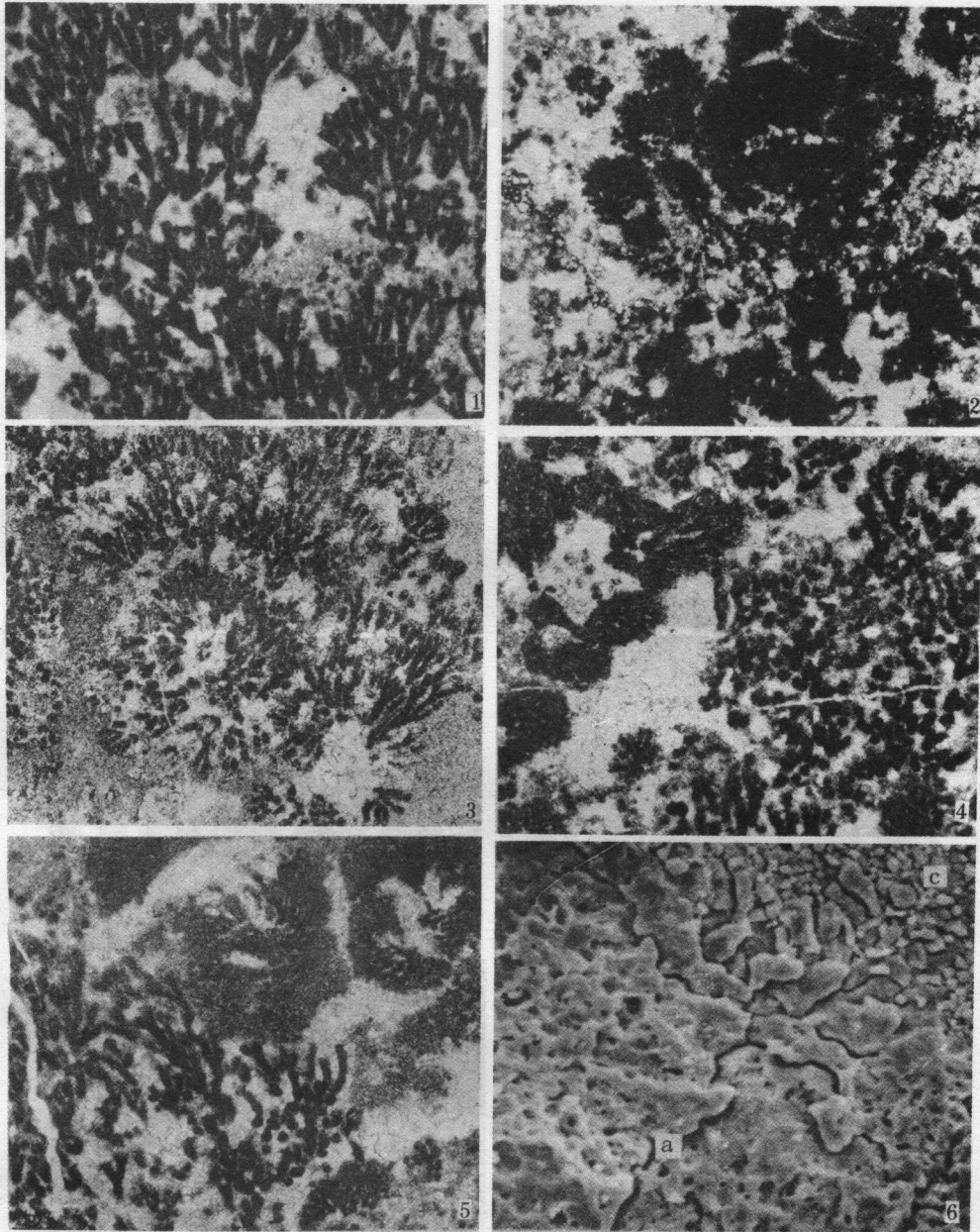
Domed *Epiphyton* bioherms are mainly distributed in the upper part of Zhangxia Formation at Xiwangzhuang of Yiyuan County, Shandong Province, Mopan Hill of Fuxian, Liaoning Province and in the middle part of Zhangxia Formation of Changxing Island. The domed *Epiphyton* bioherm complex interbedded with oosparites in the upper part of Zhangxia Formation indicates that domed bioherm complex was formed in shelf edge shoal. Therefore, the sedimentary assemblages of domed *Epiphyton* bioherm complex and oosparites probably represented as shelf margin shoal-reef facies passing eastwards into outer shelf.

The tabular *Epiphyton* biostroms are distributed in Jiulong Mountain of Laiwu County, where it spreads laterally over long distances. The tabular *Epiphyton* biostroms constitute cyclic repetition of beds within the section, each cyclic bed comprising oomicrites at the base, followed by massive *Epiphyton* boundstone (1-2.5m in thickness) grading upwards into calcareous shales, worm trace micrites,

irregular nodular micrites. This sedimentary sequence seems to represent a back shoal environment.

The medium to thick-bedded *Epiphyton* boundstones are distributed in Gushang of Changqing County, where they are interbedded with skeletal micrites, dolomitic micrites containing *Epiphyton* and *Girvanella* fragments. This sequence shows that the medium to thick-bedded *Epiphyton* boundstones was formed in inner shelf lagoon environment.

As mentioned-above, the geographical distribution of the *Epiphyton* boundstones from Changqing County eastward to Juxian County of Shandong Province suggests that a model of depositional facies be divided into four facies belts from west to east: inner shelf lagoon, back shoal, shelf margin shoal-reef and outer shelf during Late Zhangxia time. Whilst depositional environments of the Early to Middle Zhangxia Age are shelf margin shoal and outer shelf at Juxian, Yishui County and Fuxian. From it one might infer that in the eastern region to Juxian, Shandong Province and Fuxian, Liaoning Province was not an erosional old land (Jiao-Liao old land) in reality as suggested before, but an open outer continental shelf during the Middle Cambrian Zhangxia Age.



1. *Epiphyton*, 呈树枝状向上分叉生长。自然光, $\times 20$, 山东莱芜九龙山南坡, 张夏组上部 2. *Epiphyton*, 呈簇球状。自然光, $\times 20$, 辽宁复县磨盘山, 张夏组上部 3. *Epiphyton*, 呈放射状, 树枝状向上分叉生长。自然光, $\times 20$ 产地同 1。张夏组下部 4. 穹窿状岩礁中的簇球状、树枝状 *Epiphyton*, 自然光, $\times 20$ 、山东沂源西王庄, 张夏组上部 5. 穹窿状岩礁中的簇球状、树枝状 *Epiphyton*。自然光, $\times 20$ 、山东莒县浮莱山, 张夏组上部 6. *Epiphyton*叶状体的扫描电镜照片。a) 叶状体呈海绵状结构, b) 不规则状方解石柱晶呈犬牙交错生长, c) 方解石晶粒产地同 1, 张夏组上部。