

大型海藻研究及其产业进展

陈伟洲

汕头大学海洋生物研究所

E-mail:wzchen@stu.edu.cn

一、大型海藻及其资源利用价值

- (一) 藻类的概念
- (二) 海藻与人类生活的关系

(一) 藻类 (Algae) 的概念

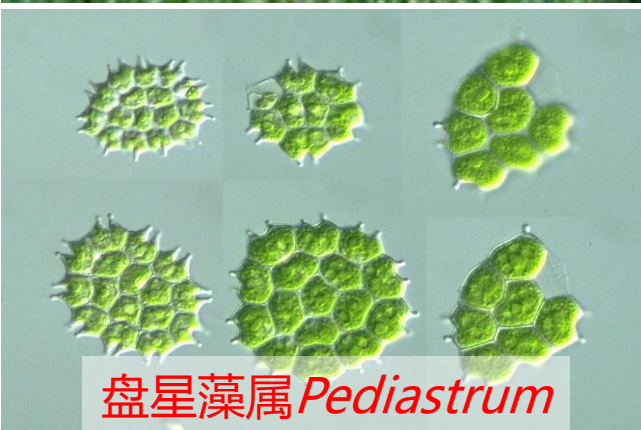
1. 营养体：藻类没有真正的根、茎、叶的区别，固着器以外的其他部位的表层细胞都有吸收养份、进行光合作用和制造有机物的功能，统称为“叶状体”。

2. 生殖方式：生殖单位为单细胞的配子、孢子或合子，一般没有生殖细胞和营养细胞的分化。

3. 发生：藻类的生活史中大多没有胚这一过程，配子、孢子或合子以单细胞形态离开母体进行发生和发育。

藻类就是具有叶绿素、能进行光合作用、营光能自养型生活的无根茎叶分化、无维管束、无胚的叶状体植物。

淡水藻



盘星藻属 *Pediastrum*



纤维藻属 *Ankistrodesmus*



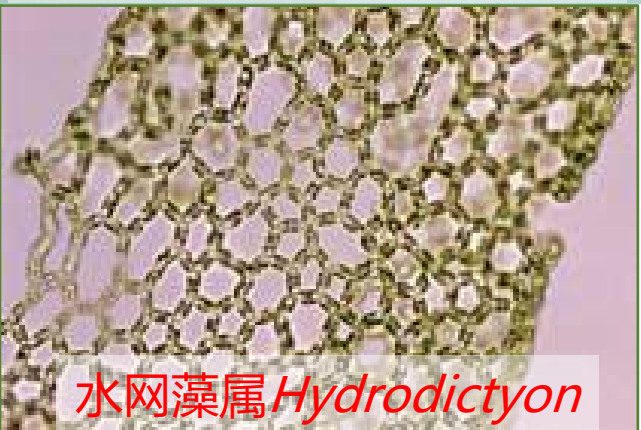
双形藻属 *Dimorphococcus*



栅藻属 *Scenedesmus*



新月藻属 *Closterium*



水网藻属 *Hydrodictyon*



孔石莼
Ulva pertusa



浒苔属
Ulva compressa



长茎蕨藻
Caulerpa lentillifera



海带
Saccharina japonica



裙带菜
Undaria pinnatifida



铜藻
Sargassum horneri



条斑紫菜
Pyropia yezoensis



龙须菜
Gracilaria lemaneiformis



带形蜈蚣藻
Grateloupia turuturu

海藻的特性

海藻是生活于海洋中的一群最简单、最古老的低等植物，

海藻没有真正的根、茎、叶的区分，具有叶绿素、类胡萝卜素等色素进行光合作用，藻体常称为叶状体。

海藻出现的历史：35亿年前的前寒武纪

海藻藻体的大小相差很大。

（二）海藻和人类生活的关系

- 1. 食用价值

- 全世界可供食用的海藻有100多种，中国沿海可食用的海藻有50多种。

- 常见的、经济价值较高的海藻，

绿藻——石莼、浒苔、刺松藻；

褐藻——海带、裙带菜、羊栖菜；

红藻——紫菜、龙须菜、石花菜等。



海 带



• 裙带菜



紫 菜



龙须菜

海藻的食用价值——海洋蔬菜



- 2. 药用价值

- 驱虫药：海人草、鹧鸪菜 ~ 海人草酸
- 甲状腺异常：海带 ~ 碘
- 心脑血管疾病：海带 ~ 藻酸双酯钠（PSS）
- 抗细菌、抗霉菌、抗病毒、抗肿瘤：小分子活性物质（如萜类、多元酚类等）

藻酸双酯钠（PSS）

藻酸双酯钠是从天然海藻中提取出的多糖硫酸酯类药物，具有抗血栓、降低血黏度、缓解微动静脉痉挛等作用。藻酸双酯钠还有明显的降血脂、降血糖和降血压等多种作用。



3. 农业用途

可作为家禽、家畜的饲料。海藻中含有蛋白质、维生素和微量元素等，均为动物所需要。

海藻含有大量的氮、磷、钾，也是良好的肥料。

4. 工业用途

碘～制碘的原料；

氯化钾～钾盐提取和制作的原料；

藻胶～褐藻胶Algin（巨藻、海带、马尾藻等）；

卡拉胶 Carrageenan（角叉菜、麒麟菜等）；

琼胶Agar（石花菜、江蓠等）。

各种海藻化工产品



5. 医疗防护用品

医疗敷料和绷带（抗菌除臭型、远红外型、调温型）；

防电磁辐射、防静电材料；

阻燃材料~海藻酸盐。

6. 化妆保健用品

化妆品如海藻肤发洗护用品、海藻面膜、海藻基础护肤品等~海藻酸盐、活性物质，具有保湿、锁水、防辐射、抗氧化等功效；

保健品如螺旋藻片、小球藻粉、海藻口服液等~丰富的蛋白质、维生素、矿质元素和部分活性物质，具有调节机体代谢和增强机体免疫力的功效。

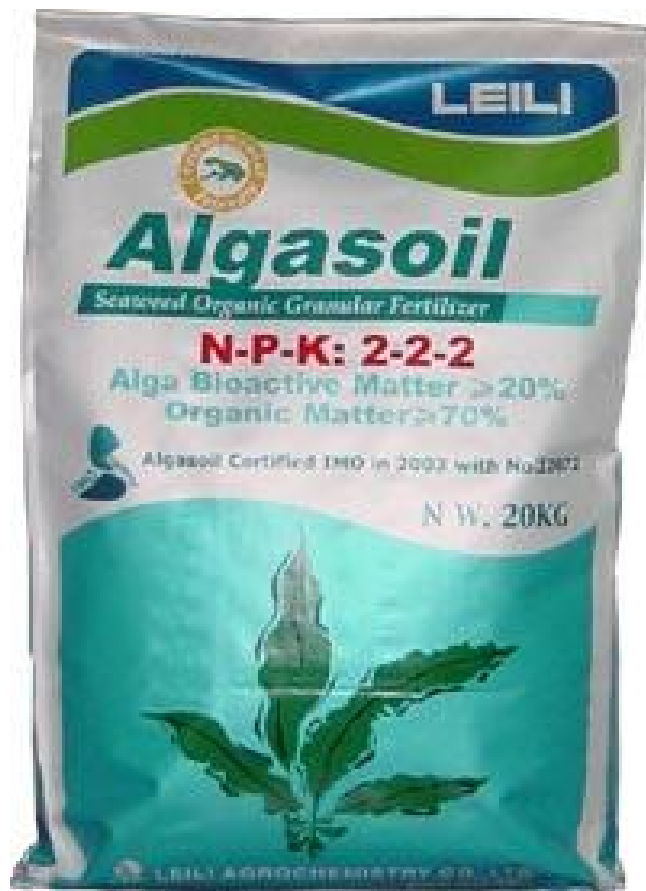
7. 生物质能源材料

利用微藻（小球藻、硅藻等）生产生物柴油；利用大型海藻（海带、马尾藻和石莼）生产生物乙醇。

以海藻为原料生产的化妆品



以海藻加工废弃物生产的农业肥料

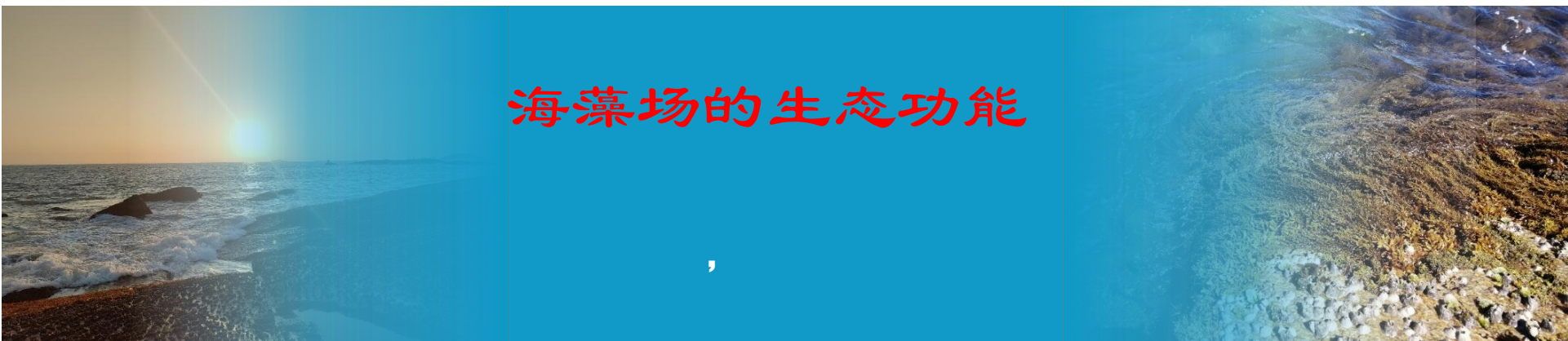


藻类植物在自然界中的重要性

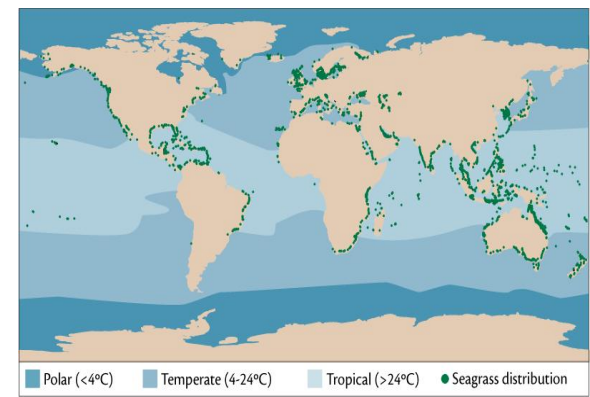
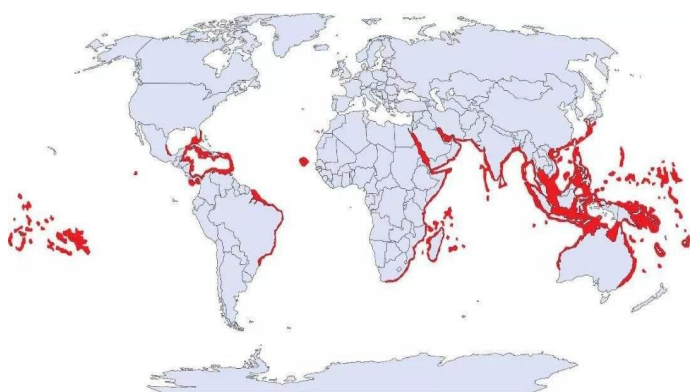
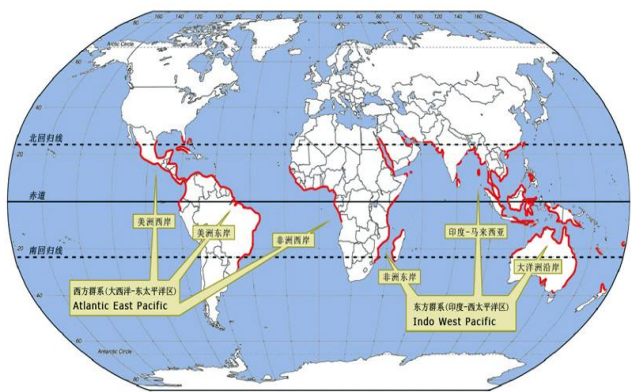
- 1) 是日光能的主要吸收者，可将光能转化为化学能；
- 2) 可吸收固定CO₂，在全球碳循环中起调节和生物泵的作用；
- 3) 通过光合作用产生O₂，对水生动物和好氧性细菌的生存至关重要；
- 4) 可吸收同化氮、磷等无机盐类，加速水体的自净能力，起到修复水环境的作用；
- 5) 是水域生态系统的初级生产者，为其他各营养级生物提供物质和能量。

陆地生态系统的生物生产力：117.5×10⁹t/年

海洋生态系统的生物生产力：55.0×10⁹t/年



大型海藻密集生长，形成蔚为壮观的海藻场（Seaweed Beds）
海藻场与红树林、珊瑚礁、海草床等共同构成了结构复杂、物种多样的沿岸-近海生态系统，是近海生态系统的重要组成。



海藻场的生态功能

- ❑ 大型海藻对海水氮磷营养盐及重金属等均具有很强的吸收作用，能有效地起到防治海域富营养化、**净化和改善海水**质量。
- ❑ 大型海藻叶片为底栖微藻和钩虾等提供生活空间、为墨鱼等提供产卵基盘；藻场内丛林和迷路等相对静稳的水体环境，成为褐菖鲉等种经济鱼类幼体阶段的**优良栖息地**。
- ❑ 海藻场初级生产者大型海藻通过植食性种类、以及通过碎屑和溶解有机质进入食物链，维系着较高的物种**多样性**，成为沿岸水生动植物的**种质库**。
- ❑ 海藻场参与生物圈尤其是近海碳循环过程，吸收大气与海水中的二氧化碳，增加**海洋碳汇**强度，同时光合放氧，改善大气环境。



二、大型海藻的物种多样性

常见的大型海藻物种

1) 绿藻类

外部形态：形态多种多样，有单细胞、群体、多细胞的不分枝丝状体（硬毛藻属）、分枝丝状体（刚毛藻属）、膜状体（石莼目）、异丝体（胶毛藻目）、管状体（羽藻属、松藻属）。

内部构造：细胞壁由两层纤维素和果胶质组成。具有细胞核和叶绿体。色素以叶绿素 a 、 b 最多，还有一些叶黄素、类胡萝卜素。贮藏的光合产物主要为淀粉。

繁殖方式：游动生殖细胞为卵形，前段生2或4条长短相等的鞭毛；无性繁殖一般产生游孢子；有性繁殖多为同配生殖和异配生殖。

刺松藻 *Codium fragile*

羽藻 *Bryopsis plumosa*

孔石莼

Ulva pertusa

外部形态

有卵形、椭圆形、披针形和圆形，多不规则。表面常有大小不等的圆形或不规则的孔。体高10-40cm。

内部构造

膜状体制。2层细胞。



孔石莼

孔石莼 *Ulva pertusa*

浒苔

Ulva prolifera

外部形态

藻体亮绿至暗绿色，分枝较多，有明显的主干，基部常纤细成丝状。

内部构造

管状体制。1层细胞。



浒苔



浒苔绿潮

2) 褐藻类

外部形态：没有单细胞，全为多细胞植物；形状和大小各异，包括异丝体（水云目）、假膜体（酸藻属、粘膜藻属）、膜状体（黑顶藻属、海带属、马尾藻属）。

内部构造：细胞壁分两层，内层由纤维素组成，外层由褐藻胶组成。色素体1个至多个，粒状或小盘状。含叶绿素 a 和 c 、类胡萝卜素及数种叶黄素（主要是墨角藻黄素）。由于叶黄素的含量超过别的色素，故藻体呈黄褐色或深褐色。贮藏物质为褐藻淀粉和甘露醇。

繁殖方式：游动生殖细胞为梨形，侧生2条长短不等的鞭毛；无性繁殖一般产生游孢子；有性繁殖以异配生殖和卵式生殖为主，少数为同配生殖。



真海帶 *Saccharina japonica*

巨藻 *Macrocystis pyrifera*



algaeBASE

裙帶菜 *Undaria pinnatifida*

An underwater photograph showing a dense, vertical growth of brown seaweed, identified as Sargassum horneri. The seaweed has long, thin, feathery fronds. The background is a hazy, blue-green underwater environment. In the lower-left corner, there is a dark, rectangular object, possibly a piece of equipment or a structure. The overall lighting is dim, typical of an underwater scene.

铜藻 *Sargassum horneri*



羊栖菜 *Sargassum fusiforme*



马尾藻属 *Sargassum* sp.

3) 红藻类

外部形态：绝大多数为多细胞体，极少数为单细胞或群体。形态有丝状体（星丝藻属、红毛菜属）、分枝状（异管藻属、石花菜属、多管藻属）或叶片状（蜈蚣藻属）。

内部构造：细胞壁分两层，内层由纤维素组成，外层由琼胶、卡拉胶、或海萝胶组成。色素体1枚，呈星芒状、带状、扭带状或双凸状等。除了含叶绿素a和b、类胡萝卜素和叶黄素外，还含有藻红素和藻蓝素。一般以藻红素占优势，故藻体呈红色或紫红色。贮藏物质为红藻淀粉(florigean starch)或红藻糖(florigose)。

繁殖方式：无游动生殖细胞；无性繁殖主要产生四分孢子（tetraspore），也有产生单孢子（monospore）和多孢子（polyspore）；有性繁殖为卵式生殖。



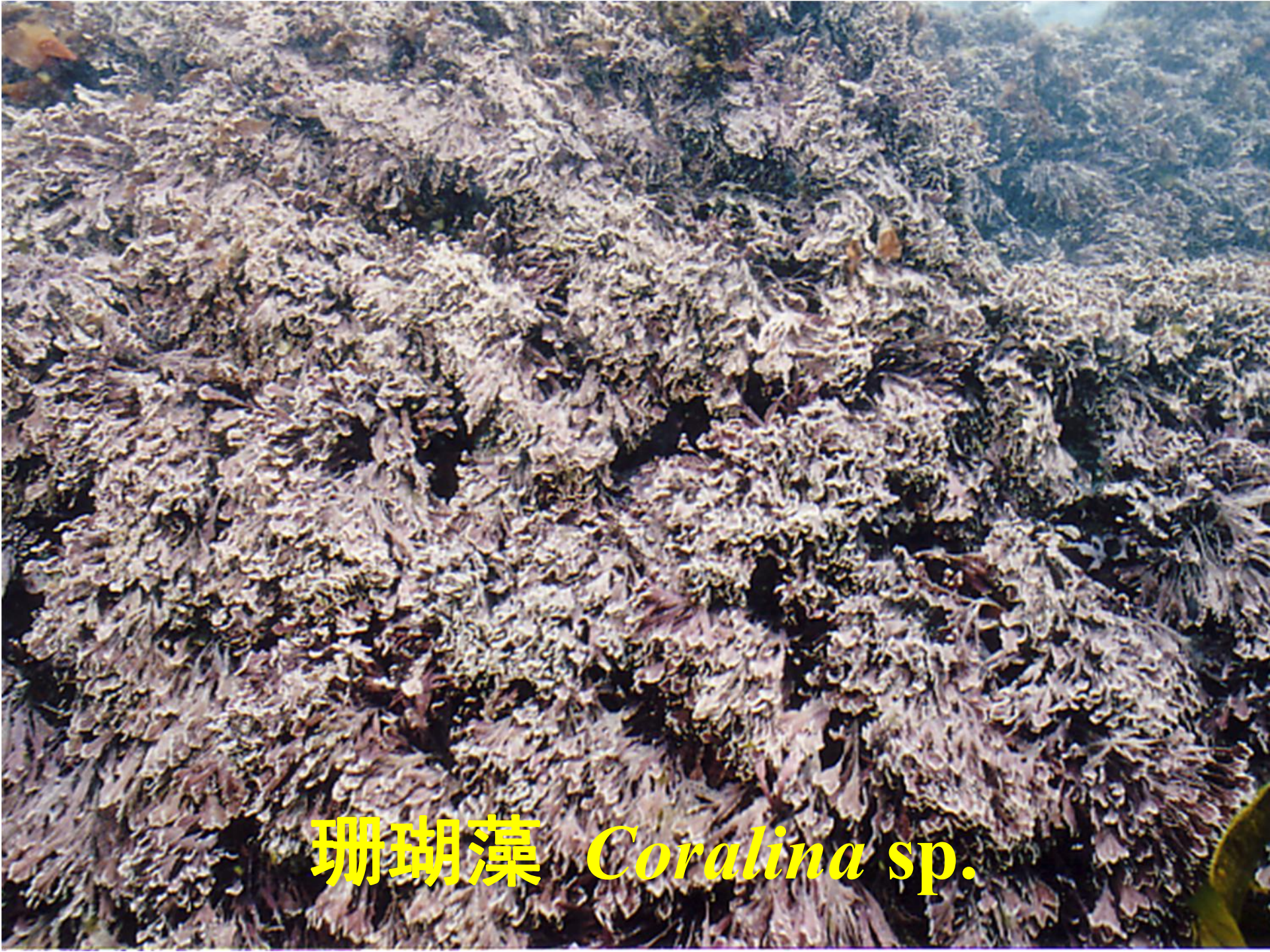
条斑紫菜 *Porphyra yezoensis*

石花菜 *Gelidium amansii*



龙须菜 *Gracilaria lemaneiformis*

帶形蜈蚣藻 *Grateloupia turuturu*



珊瑚藻 *Coralina* sp.

三、我国大型海藻栽培研究及发展现状

1. 海带的栽培
2. 紫菜的栽培
3. 龙须菜的栽培

2018年我国海藻总产量：235万吨（干重），1500万吨（鲜重）



海带：152万吨



裙带菜：17万吨



紫菜：20万吨



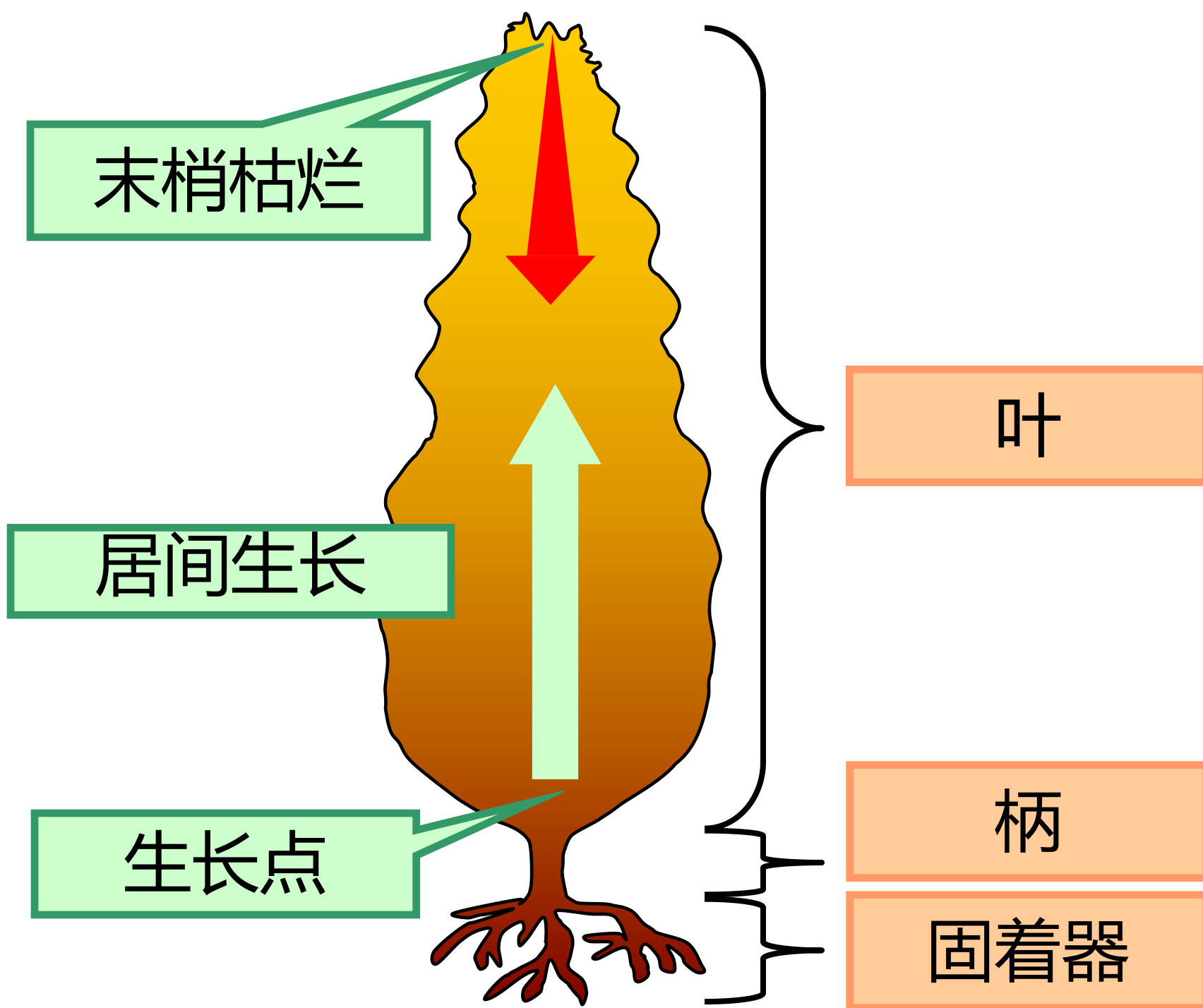
江蓠：33万吨

1、海带的栽培

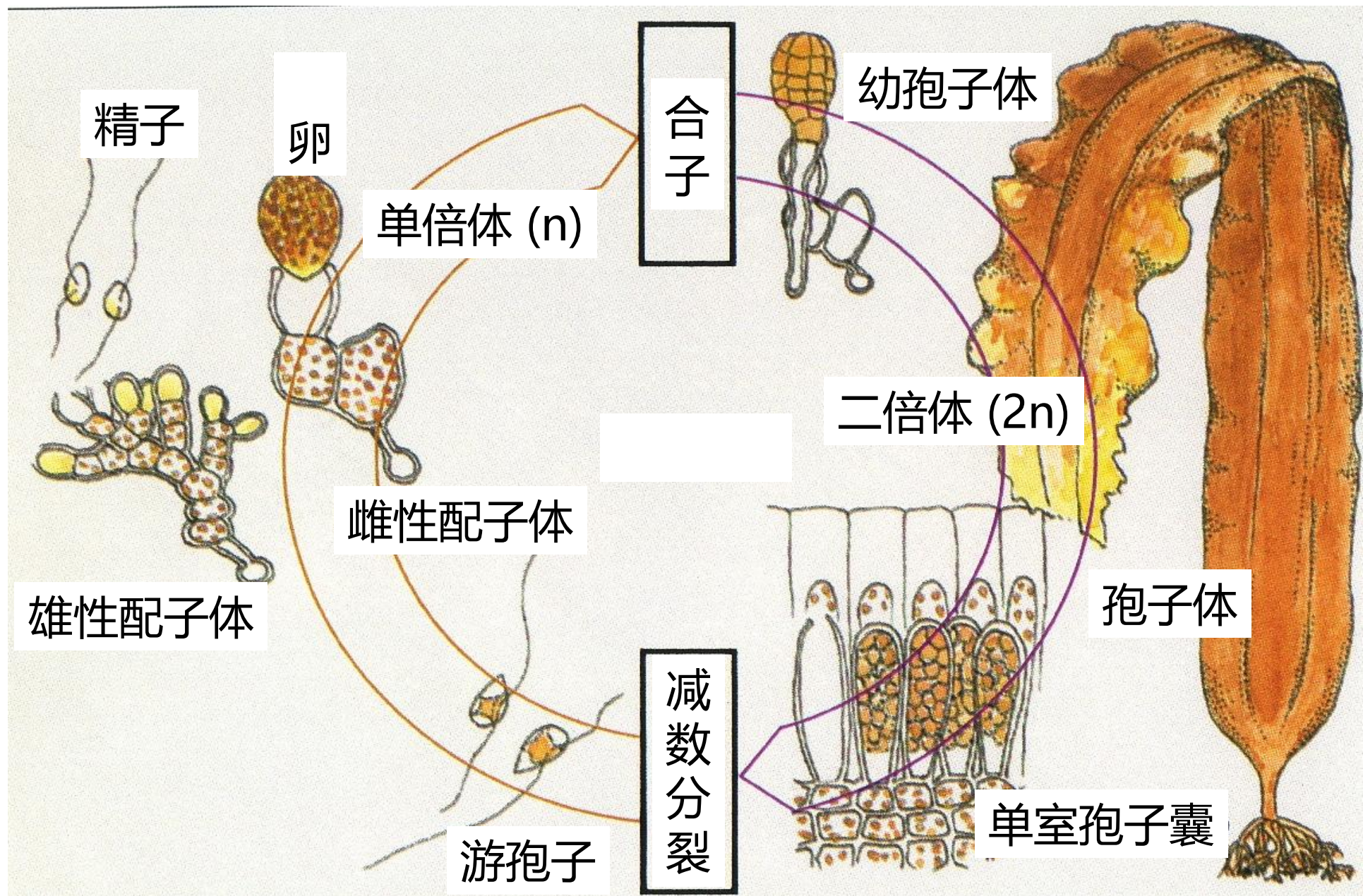


中国海带养殖的成就

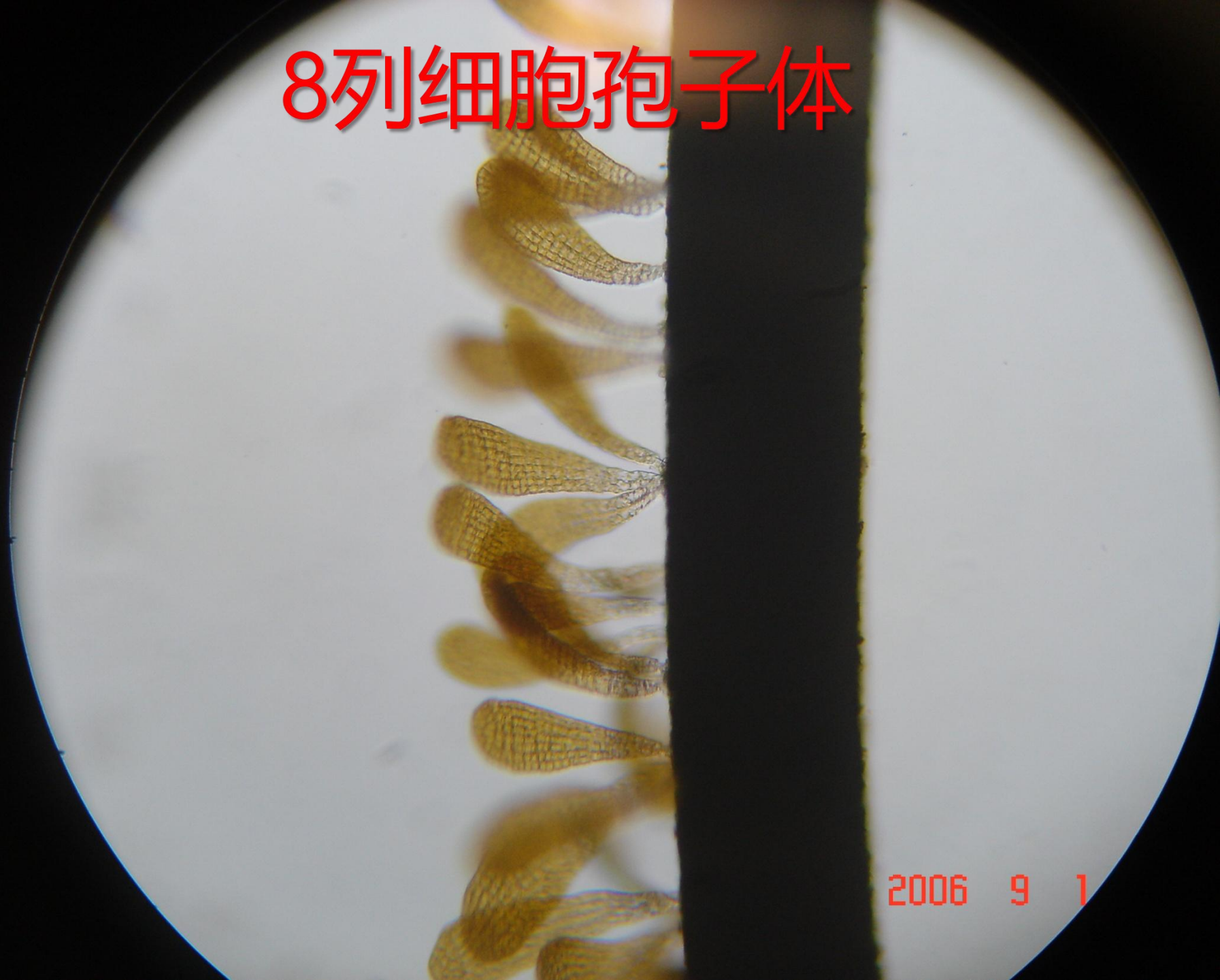
- 全人工筏式养殖技术——适于各种海况的海域，增加了养殖面积，提高了产量。
- 秋苗培育技术——秋季采苗，在自然海区进行育苗。
- 夏苗培育技术——夏季采苗，室内低温渡夏，秋后苗种下海养殖。
- 自然光育苗技术——育苗效果好、出苗率高，同时设备简单、操作便利、节省人力、生产安全。
- 施肥增产技术——陶罐渗漏施肥，对海带生长起到了重要作用。
- 南移养殖技术——海带南移成功，扩大了生产海域。
- 贝藻间套养殖技术——新型的间养、轮养模式可提高养殖效益，同时提高海域的生态修复能力。



海带的生活史



8列细胞孢子体



2006 9 1

苗种出库



2006 10 10

海上养成



收获 (北方)



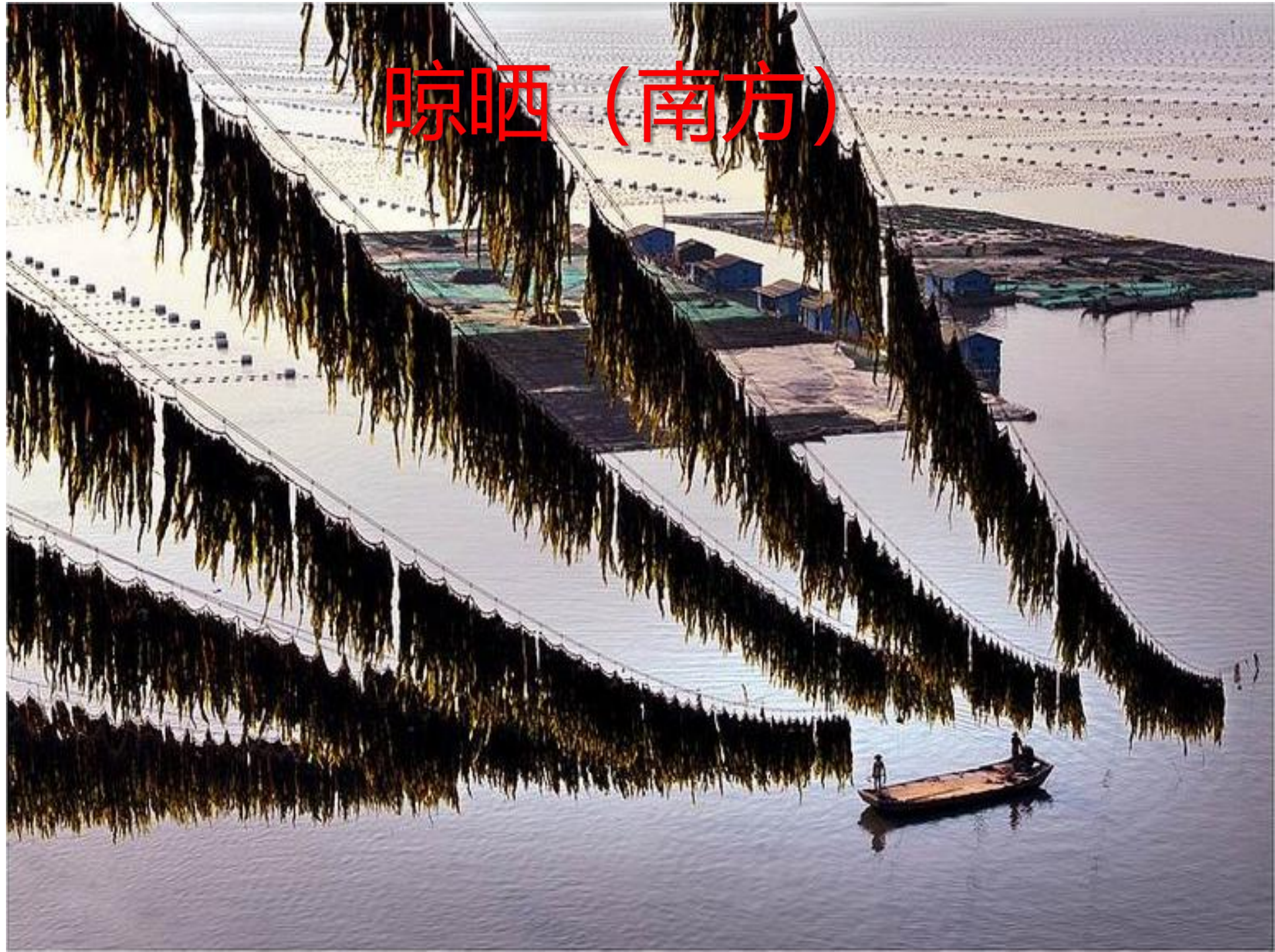
收获 (南方)



晾晒 (北方)



晾晒 (南方)

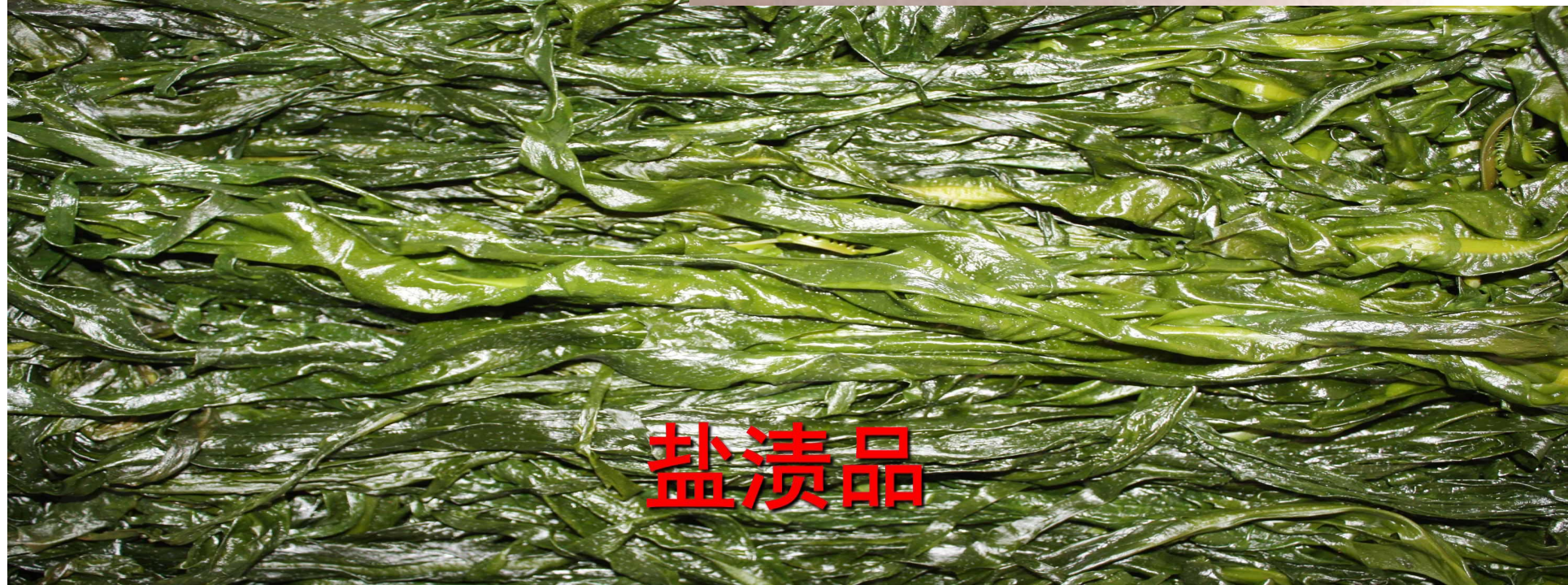




淡干品



冷冻品



盐渍品

2、紫菜的栽培



我国紫菜栽培产业现状

坛紫菜（福建、浙江、广东）

养殖面积：40万亩

条斑紫菜（江苏、山东）

养殖面积：30万亩

2022中国渔业统计年鉴

紫菜的种类



条斑紫菜
Pyropia yezoensis



坛紫菜
Pyropia haitanensis



圆紫菜
Pyropia suborbiculata



长紫菜
Pyropia dentata



条斑紫菜 (*Pyropia yezoensis*)

特点：藻体薄，产量低，产品定型，
适宜北方养殖

干制品，四方形的纸张式菜饼：
烤紫菜，寿司与包饭团用
调味紫菜，即食



坛紫菜 (*Pyropia haitanensis*)

特点：藻体厚，产量高，品质较佳
适宜南方养殖

干制品：圆饼或大菜饼，汤料

叶状体的结构

藻体

种内固定，分类的
依据之一

由一层或两层细胞组成的膜状体，可分为固着器，柄（不明显）及叶片三部分，叶片形状因种类而不同

指产生了繁殖器官
时的形状



叶片

柄（不明显）

固着器

丝状体的结构

丝状体的生长发育可人为划分为5个时期：

果孢子及其萌发期

丝状藻丝期

膨大藻丝期

双分孢子（壳孢子囊）期

壳孢子期

果孢子及其萌发期

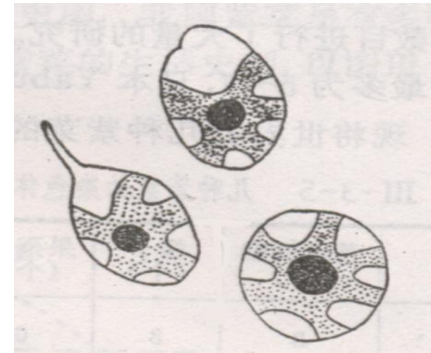
(1) 形状大小：比单孢子小，圆球形，无细胞壁，只有原生质膜， $10-13\text{ }\mu\text{m}$ ，比重比海水大，无鞭毛，无游动能力，但可微作变形运动

(2) 色素体：

一个星状色素体集中于中央

(3) 特性：

具有溶解 CaCO_3 的特殊能力



丝状藻丝期：营养时期，也称营养藻丝

(1) 形状大小：细胞为细长圆柱状，不规则分枝，大小不一，长宽比约为5~10：1

(2) 色素体：
侧生带状

(3) 颜色：
鲜红色



膨大藻丝期：营养时期过渡到繁殖时期的阶段，也叫孢子囊枝

(1) 形状大小：细胞壁比丝状藻丝厚而且有隆起，越接近成熟，细胞壁隆起越明显，尚未成熟的细胞长：宽为2~3:1，成熟的比值相等或宽稍大于长

(2) 色素体：每个细胞一个星状色素体，色素体中央有一蛋白核



双分孢子期：膨大细胞逐渐饱满充实，细胞更短、更粗，长度和宽度逐渐接近，内容物双分为两个孢子，称为**双分孢子**

(1) 形状：扁椭圆形

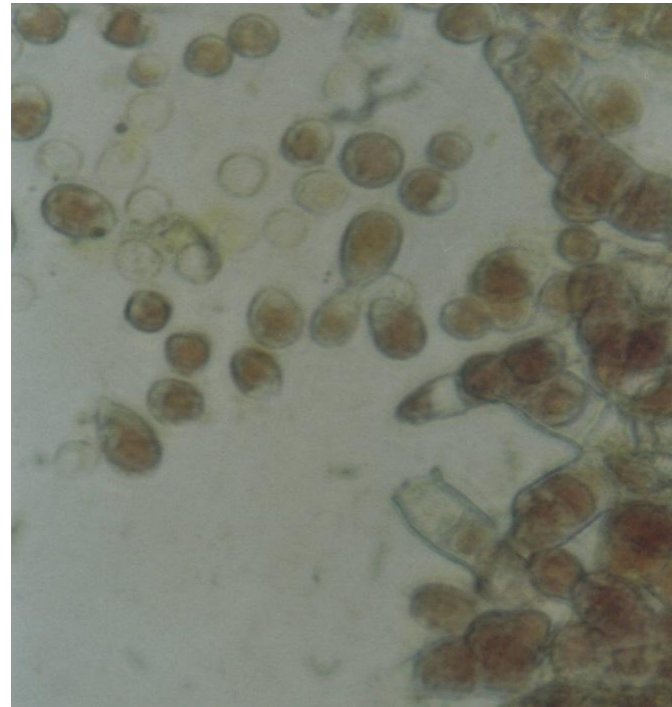
(2) 色素体：弥散状，色素体由星状逐渐集中于中央而成不规则状

(3) 颜色：土黄色

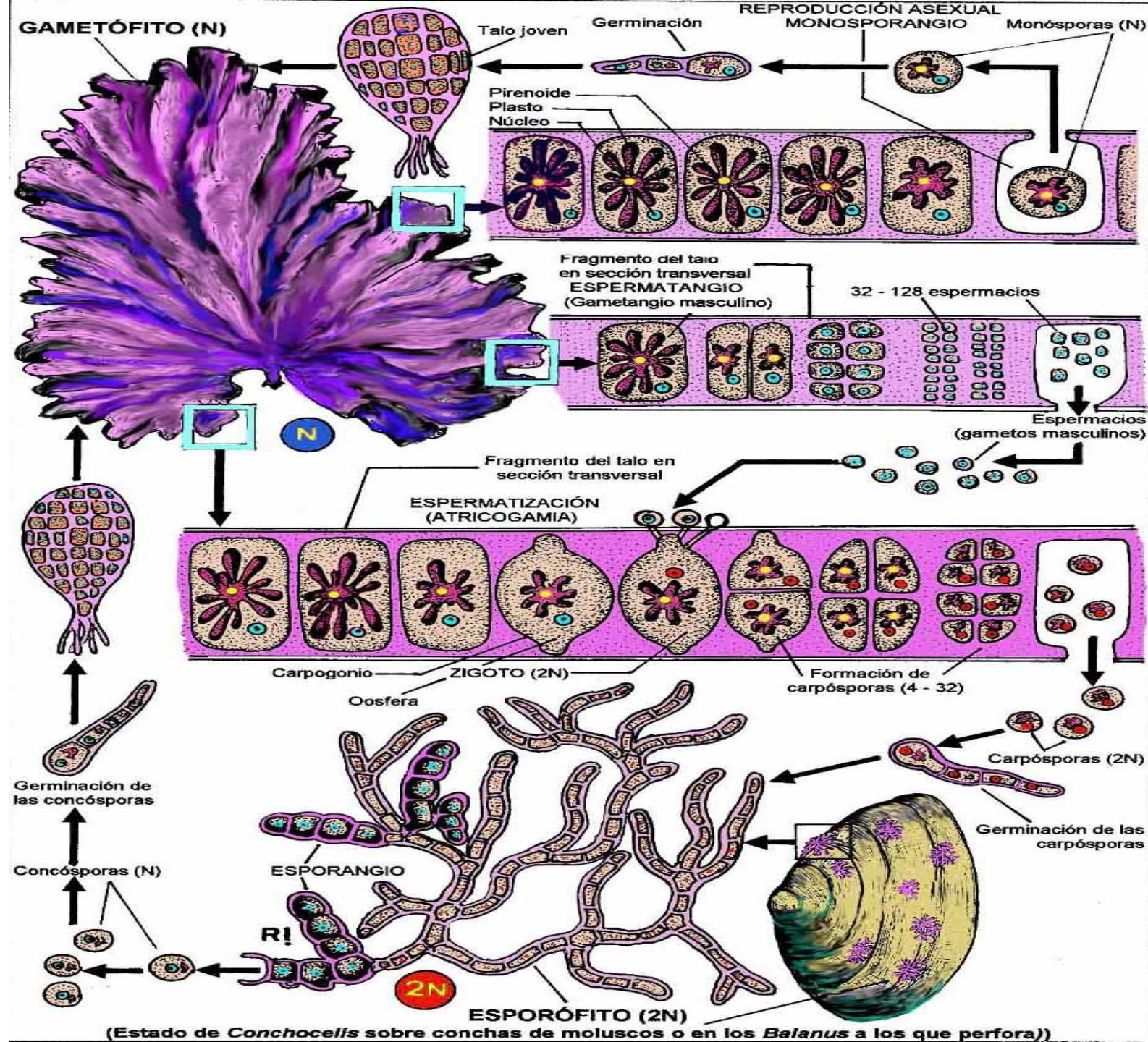


壳孢子放散：双分孢子形成后，膨大藻丝的细胞横壁融化消失，壳孢子枝顶端形成不定形的放散孔，壳孢子由放散口逸出，随海水漂流，一旦触到适合附着的基质，便立即附着，并作短时间的变形运动而后固着。

(1) 形状大小：球形，无细胞壁，色素体集中于中央，呈不规则形，大小为10—12微米



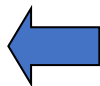
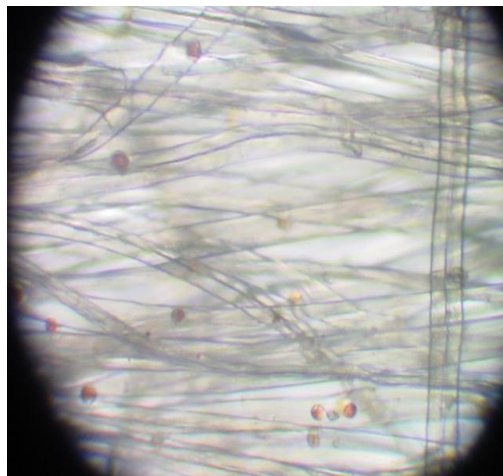
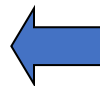
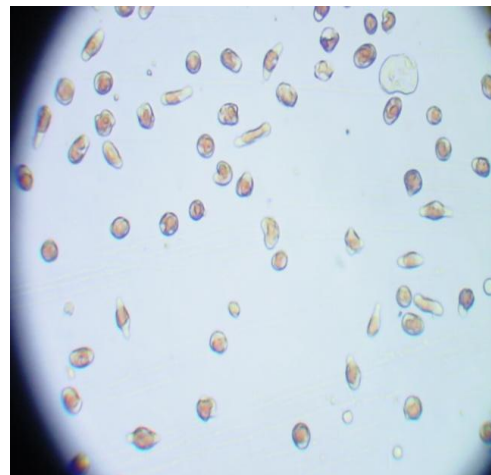
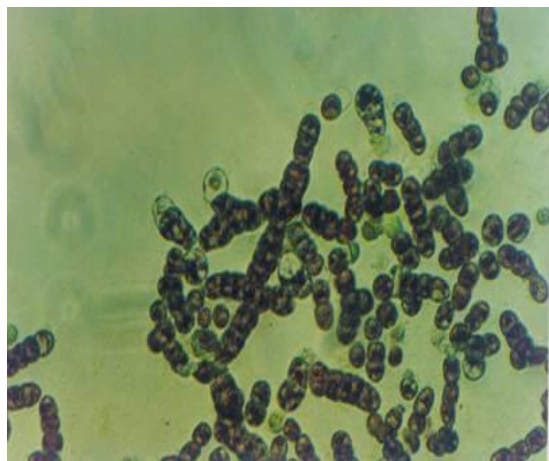
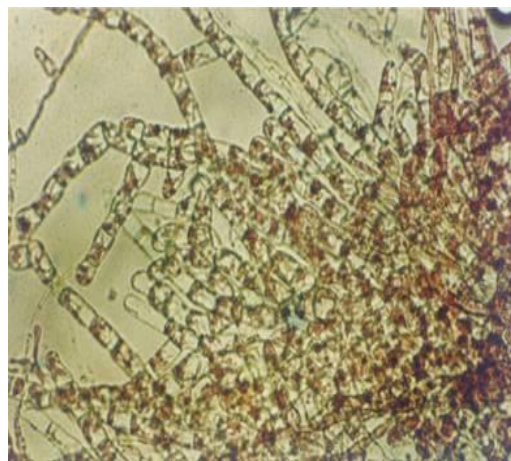
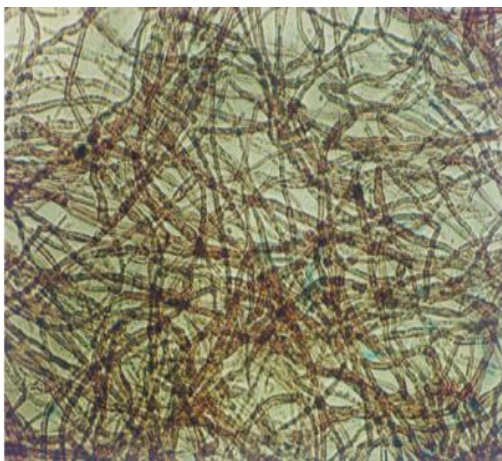
紫菜生活史











采苗 (江苏)

流水刺激壳孢子放散



1、菜坛栽培：属于自然增殖的范畴

菜坛：利用自然海区的岩礁增殖一些自然生长的紫菜，这些岩礁就称作菜坛。



2、支柱式栽培：

适用于波浪小，水浅而潮差小的海区。把一定粗细的竹杆插入底质作为支柱，在支柱之间挂网帘。这种支柱不会随着潮水涨落而升降，需要人工控制，其栽培产量比较低



坛紫菜插杆式栽培



主要的方式。退潮时干出，涨潮时网帘浮在水面，适于出苗与养成，生长期长，不易老化。产量高品质好。



3、半浮动筏式栽培：我国的主要栽培方式

筏架兼有支柱式和全浮动筏式的特点，即在涨潮时可以整个筏子漂浮在水面，而在退潮后筏架又可用短支架支撑于海滩上，使网干露在空气中。

优点：由于低潮时能够干露，因而硅藻等杂藻生长少，对紫菜早期出苗特别有利，而且能促使紫菜生长快，质量好，生长期延长。

坛紫菜半浮动筏式栽培





4、全浮动筏式栽培：

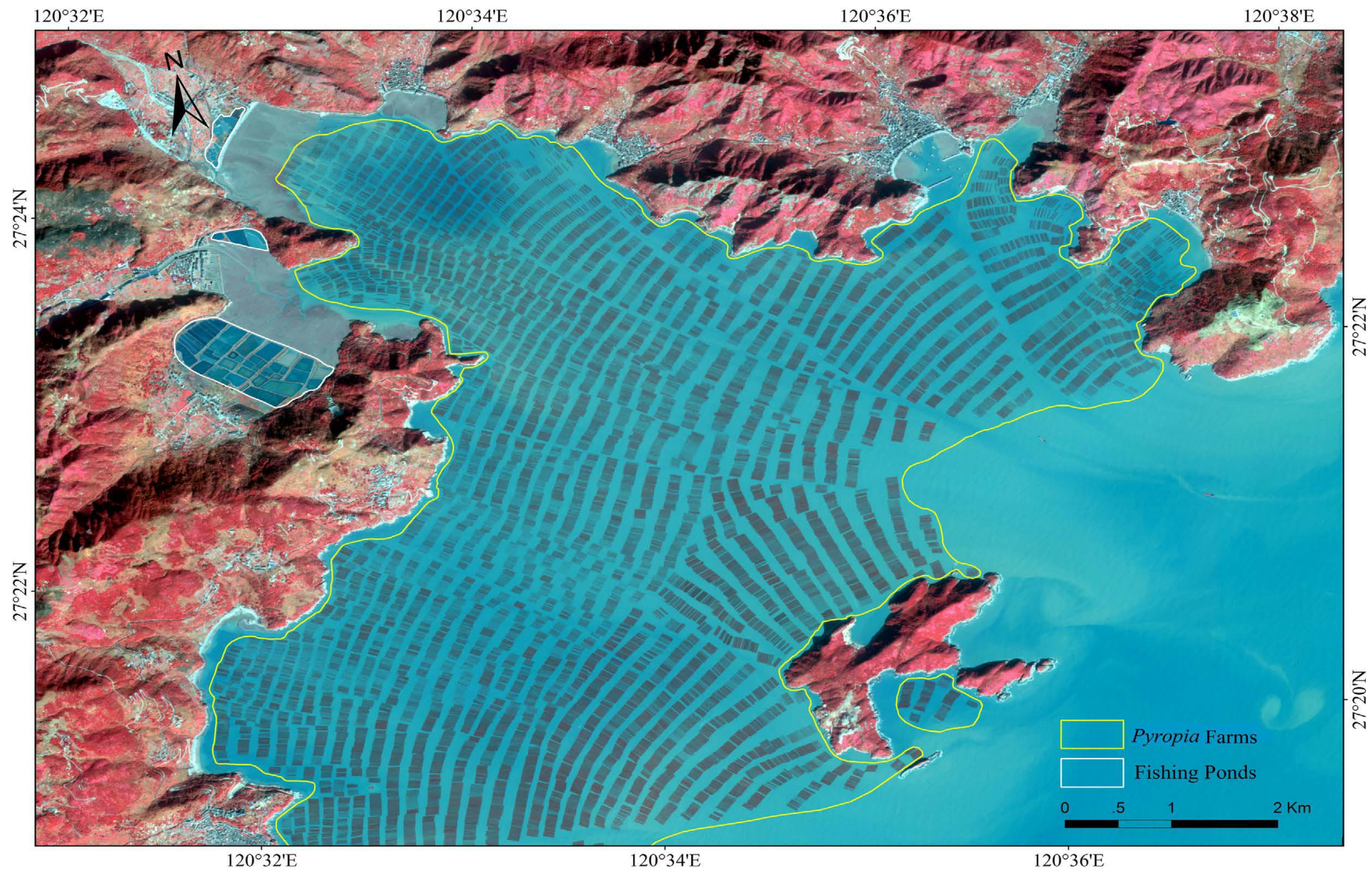
适用于离岸较远，退潮后不干露的海区。在我国与栽培海带方式一样，网帘始终不露出水面，但所使用的网帘的形状与浮架形式不同于海带。

优点：不受潮间带的限制，发展潜力大

缺点：网帘始终不干露，影响出苗晚，紫菜藻体不干出，健康程度受影响，易老化，易使杂藻繁生。因此必须增设干露装置

浅海全浮动筏式栽培—翻版式



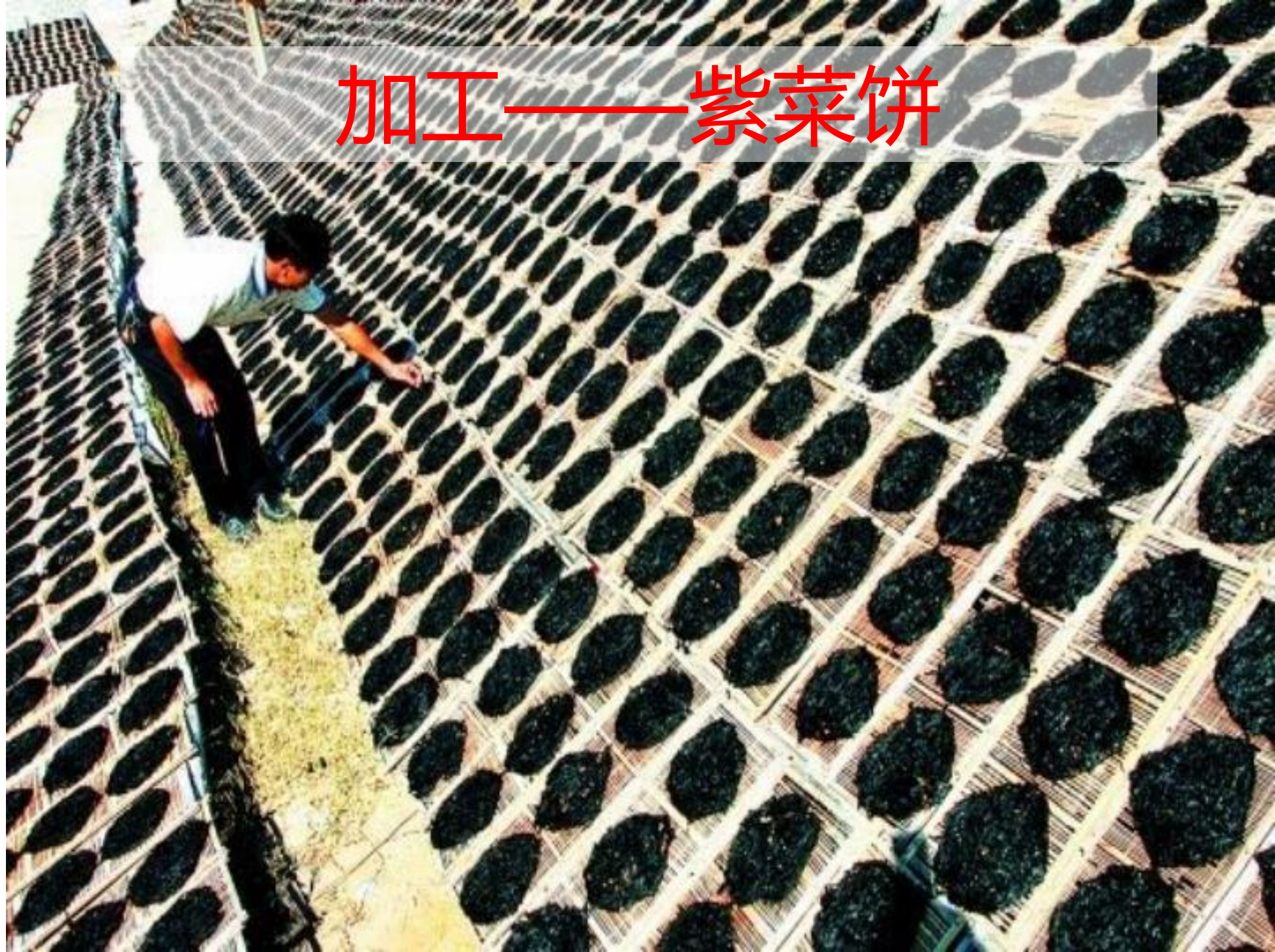


浙江苍南 坛紫菜养殖场

加工——散紫菜



加工——紫菜饼



加工——紫菜片



3. 龙须菜的栽培

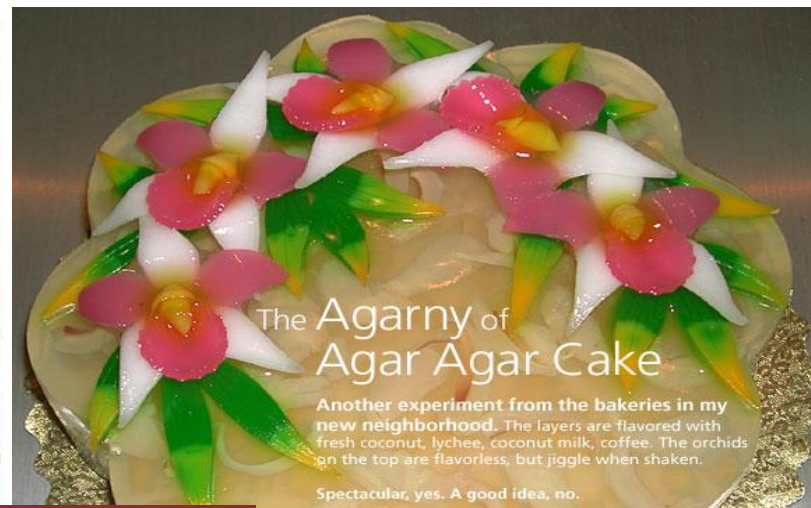


龙须菜概况

龙须菜是江蓠属（*Gracilaria*）的一种，是一种温带性红藻，含胶量**18—25%**，琼胶强度达**1500g/cm²**，是目前已知可养殖江属海藻中最高的一种。我国主要养殖于福建、广东沿海一带。

龙须菜的主要用途：提取琼胶的工业原料；鲍鱼等动物的优质饲料；人类的海洋蔬菜和保健食品。

琼胶和产琼胶海藻

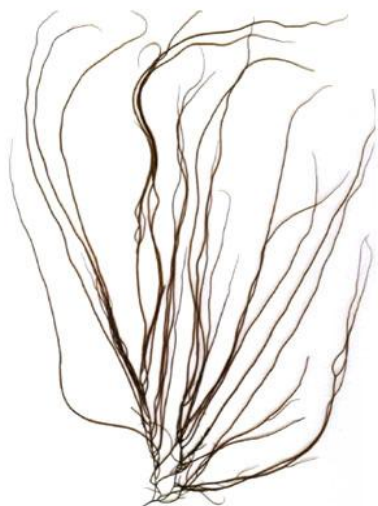


龙须菜



- 龙须菜，江蓠属的一种海洋红藻，原产于山东青岛；
- 生长速度快，琼胶含量高，是琼胶产业的理想原料；
- 适温范围为 12°C - 23°C ，形成两个分隔的生长季节；
- 难以有效地积累生物量，在原产地形不成栽培产业。

选育了981龙须菜新品种



南方海区



广东 南澳



福建 莆田



福建 宁德

北方海区

981龙须菜适温性 $12-26^{\circ}\text{C}$ ，可在北方海区5-11月栽培，成为高温季节进行动植物混养的海藻物种。



山东青岛



辽宁大连

社会和生态效益



- 龙须菜栽培可吸纳数万劳动力，有助于海洋捕捞业向海水养殖业平稳转化；
- 通过规模化栽培龙须菜，减缓养殖海区富营养化，有利于海水养殖业的持续健康发展。



10.3.2004

龙须菜栽培的生态效益

- 研究论文报道了龙须菜的生态效应：
- 杨宇峰， 费修绠等（Aquaculture, 2006）
龙须菜与鱼混养， 结果： $\text{NH}_4\text{-N}$ 的去除率85.53%到69.54%； $\text{PO}_4\text{-P}$ 的最大去除率分别为65.97%到26.74%。
- 毛玉泽， 杨洪生等（生态学报， 2006）
龙须菜对扇贝排泄的氮磷的吸收作用： 对 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的最大去除率分别为83.7%和70.4%。证明龙须菜生长温度范围和光照范围适合中国北方养殖海区。

建立贝藻混养的生态养殖模式

在南澳岛建立了贝藻套养的生态养殖模式，利用牡蛎和龙须菜互利互补的特点，达到增加了养殖效益，改善养殖区水质条件的目的，已经为养殖户接受，值得在养殖区进行推广。



牡蛎养殖区套养龙须菜



藻类产业发展趋势——开发栽培新物种

- * 拓展海藻研究对象，加快开发新物种的栽培和应用研究
- * 裙带菜、马尾藻、鼠尾藻、萱藻、海萝 等
- * 麒麟菜：适合海南岛栽培，存在鱼害等问题
- * 海葡萄：高档食用海藻

藻类产业发展趋势——开发新产品

- *新食品、保健品

- *新能源材料

- *以海藻为原料的新药物（海洋本草）、手术缝合线、新型纱布

- *化妆品：防晒霜（紫菜的抗紫外物质）、面膜、浴液

- *饵料：家禽饵料、家畜饵料、水产经济动物饵料

- *工业原料（藻红蛋白、藻蓝蛋白）

- *农药、促生长剂、肥料

- *环保产品（海藻栽培可以固碳，吸收营养盐，净化富营养化水质）

- *耕地改良，土壤保水剂

- *装饰材料：硅藻土、特色涂料

海藻产业——朝阳产业

- *海藻产业具有社会效益、经济效益、生态效益
- *海藻栽培是海洋经济动物养殖的生态基础
- *产业长足发展，有波动，但相对稳定
- *海藻涉及人民食品、医药、能源及环境重要领域
- *海藻是海洋生态系统的重要组成部分，海藻场可维持生物多样性
- *海藻产业深入人心，未来可期