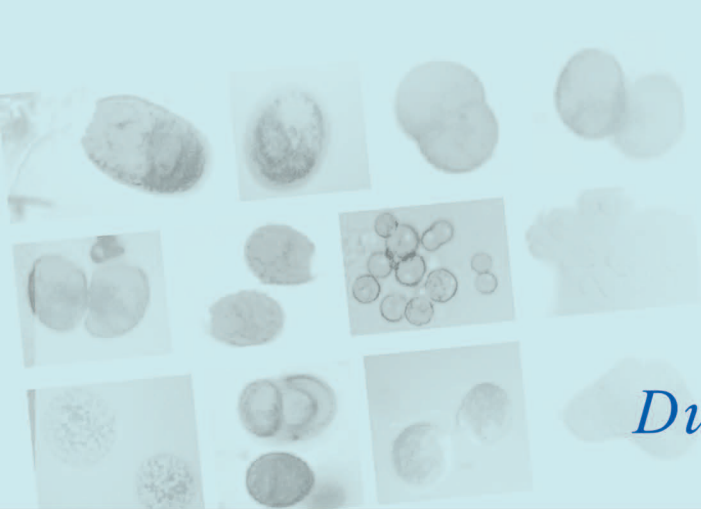
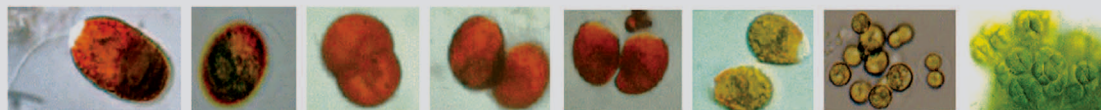




*The Researches and
developments of
Dunaliella salina*

盐生杜氏藻 的研究与开发



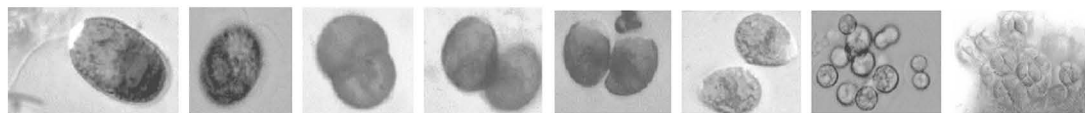
程建峰 © 著



江西高校出版社

*The Researches and
developments of
Dunaliella salina*

盐生杜氏藻 的研究与开发



程建峰 © 著



江西高校出版社

图书在版编目(C I P)数据

盐生杜氏藻的研究与开发/程建峰著. —南昌: 江西高校出版社, 2013. 12

ISBN 978 - 7 - 5493 - 2278 - 7

I. ①盐... II. ①程... III. ①盐 - 藻类 - 研究
IV. ①Q949.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013) 第 310098 号

出版发行	江西高校出版社
社 址	江西省南昌市洪都北大道 96 号
邮 政 编 码	330046
总编室电话	(0791) 88504319
销 售 电 话	(0791) 88513417
网 址	www. juacp. com
印 刷	天津市天办行通数码印刷有限公司
照 排	江西太元科技有限公司照排部
经 销	各地新华书店
开 本	787mm × 1092mm 1/16
印 张	11. 75
字 数	290 千字
版 次	2013 年 12 月第 1 版第 1 次印刷
书 号	ISBN 978 - 7 - 5493 - 2278 - 7
定 价	37. 80 元

赣版权登字 - 07 - 2013 - 644

版权所有 侵权必究

序

1831年,法国生物学家 Dunal 无意中发现地中海沿岸的某些盐池中有一种尾部具有双鞭毛的红色单细胞藻类。后人为纪念他的发现,将其命名为“盐生杜氏藻”,简称“杜氏盐藻或盐藻(*Dunaliella Salina*)”。盐藻是一种嗜盐的单细胞真核藻类,是迄今为止发现的最耐盐的真核生物之一,也是生命体最早的雏形,常见于海盐田,由于其独特的颜色,会把湖水染成红色或粉红色。盐藻具有奇特的动植物双重特性,逐光、耐强酸和强碱、耐高寒(-27°C)和酷热($+53^{\circ}\text{C}$),被誉为“死海中绽放的生命奇迹”,常被用作植物生命活动的研究对象和新型生物反应器。杜氏盐藻含有丰富的油脂、 β -胡萝卜素、蛋白质、多糖等,较高的Ca、P、Zn等矿物质,还含有包括人类必需氨基酸在内的18种氨基酸,累积的甘油为干重的40%~50%。在适当的条件下,体内合成的 β -胡萝卜素可达细胞干重的10%上,在食品、医药保健及化工和养殖业中具有独特经济价值。

我们实验室以盐藻为研究对象开始于2000年,主要围绕其吸收光谱、细胞内ATP/ADP比值、光合放氧、叶绿素a荧光、光状态转换和类囊体膜蛋白等方向进行,取得了一些成果。2003年,徐州师范大学的刘贤德老师来我实验室攻读博士学位,对“杜氏盐藻中捕光天线色素蛋白磷酸化水平的调节”研究发现,盐藻中的光系统II复合体(LHCII)磷酸化既受到光的调节,还受到盐浓度影响,但两者的作用机制有所不同;LHCII的可逆磷酸化可能是杜氏盐藻对高盐环境中盐浓度瞬时变化的适应性机制;相关研究发表在*FEBS Letters*、*Biochimica et Biophysica Acta*、*Environmental and Experimental Botany*和*Chinese Science Bulletin*等刊物上。2007年,本书著者到我实验室从事博士后研究,为研究地延续和深入,我们商讨后决定开展“ NaHSO_3 对盐藻生长发育的影响及其机理研究”。但著者以前没有接触过盐藻,为更好地培养好研究材料和掌握相关的国内外研究现状,著者便以“盐藻”为关键词,检索、查阅和下载了大量的国内外文献资料。在阅读资料时,著者发现在国内还没有一书籍对盐藻进行全面地介绍,便对所拥有的资料进行整理和归纳,以期撰写一本比较翔实的书籍,这样就可为今后的相关科技人员和普通大众提供一个比较完整与系统认识盐藻的窗口。

在本书中,著者从盐藻的生物学特性、培养体系、遗传育种、生理基础、生态调控、营养成分及提取与分离、药理研究和产品开发等方面进行了归纳与总结。可以看出,著者为本书的撰写是花了不少时间、精力和心血的;同时也发现,人们对盐藻的研究不是面面俱到的,有的

地方多(如生态调控),有的地方少(如藻种选育),这或许也就为我们今后的研究提供了一定的目标和方向。我希望此书作为第一本比较全面概述盐藻研究与开发的书籍,不仅仅是对科技成果的汇聚,更能为普及盐藻科学知识贡献一份绵薄之力,从而推动盐藻的深入研究与应用开发。

沈元钢

(植物生理生化学家,中国科学院资深院士)

2013年6月

前言

盐生杜氏藻 (*Dunaliella Salina*, 简称盐藻) 是一种广泛分布于海洋、盐湖等盐度较高地区的单细胞真核藻类, 既有淡水种类, 也有广盐性种类, 还有超盐环境(盐湖、盐田) 种类。1837年首次由法国人 Dunal 发现于地中海沿岸的盐池中, 属绿藻门、绿藻纲、团藻目、杜氏藻科、杜氏藻属, 是迄今为止发现的最耐盐的真核生物之一, 在 0.1M ~ 5M 氯化钠、pH 1 - 11 或 0℃ ~ 38℃ 的极端环境中均能生存。其细胞形态与衣藻(*Chlamy domonas*) 十分相似, 但无细胞壁, 原生质外仅有一层糖蛋白和神经氨酸组成的外膜, 个体通常呈卵圆形, 直径 5.5μm ~ 12.5μm, 长约 11.3μm ~ 20μm, 有 2 条等长的鞭毛, 鞭毛结构为“9 + 2”, 可自由游动; 具有一个杯状、大型的叶绿体, 体积约占细胞的一半, 内含一个淀粉核, 前端有一个红色眼点。

盐藻营养物质的含量非常丰富, 灰分仅占细胞干重的 4.83% ~ 7.60%, 糖类占 31.6%, 蛋白质占 30% ~ 40%, 脂肪占 10.9%, 营养全面均衡, 具有极高的营养保健及药用价值, 在医药、食品、水产养殖和农业等领域都具有重要的开发价值。盐藻不仅蛋白质含量高, 而且含有 18 种人体所需的氨基酸, 其中人体必需的 8 种氨基酸含量占全氨基酸含量的 43.7%, 符合联合国粮农组织 FAO 营养全面食品的标准, 是营养食品的蛋白新资源, 是高蛋白营养制品的理想原料, 还可作为营养价值极高的优质饲料。盐藻可合成较多的叶绿素, 在某些情况下高达干重的 40% 左右, 比螺旋藻高出成百上千倍, 长期食用具有使人们抵抗辐射、强健肌肉、造血、提供维生素、维持酶的活性、解毒、消炎、脱臭、抗病强身和补充纤维素等功能。盐藻能合成较多的 β - 胡萝卜素, 是迄今人类发现的天然 β - 胡萝卜素含量最高的生物, 在某些情况下可达其干重的 10%, 最高可达干重的 14%, 比胡萝卜高千倍, 比螺旋藻高百倍, 是目前所发现的最好的天然 β - 胡萝卜素源, 可作为防治癌症、心血管病、化疗病人和维生素 A 缺乏症的理想药物, 国内已将利用盐藻提取的 β - 胡萝卜素用于生产功能保健品胡萝卜素胶囊和功能饮料。盐藻在高盐浓度下甘油积累量可达干重的 40% ~ 50%, 饱和盐水中可达干重的 80% 以上, 大规模培养盐藻以增加甘油的生产量将缓解我国甘油紧缺现象, 为我国提供优质的化妆品原料与化工和医药工业中的有机化合物。盐藻中还含约干重 10% 的多糖, 起着抗肿瘤、抗病毒、抗辐射损伤、抗突变、抗衰老、抗凝血、降血脂及调节机体免疫应答反应等非常复杂而广泛的生物学作用, 抑瘤率高达 57%, 且硫酸化多糖在体内还能抑制败血症病毒(VHSV) 和非洲猪瘟病毒(ASFV) 的复制。盐藻富含各种多不饱和脂肪酸, 为干重的 1.5% ~ 2.7%, 具有较高的药用价值和营养价值, 在防治心血管系统疾病、抗癌和促进免疫调节等方面均有疗效, 还能防止皮肤老化、延缓衰老、抗过敏反应及促进毛发生长等。

盐湖是湖泊中的一种极端的类型, 是一种特殊的水生和陆生生物生态环境。盐湖系统的

生物资源包括盐沼带和盐水域两个亚系统,其中盐水域作为一种生物资源生产基地,是一个新的开发领域。我国是多盐湖国家,海岸线有 1.8 万千米,有 13 个省区有盐湖分布,大约有 1000 多个盐湖,其广义盐湖面积约 4.1 万平方千米,约占湖泊总面积的 75%,其中约有 542 个为高盐度盐湖,约占湖泊总面积 50%,如此广阔的盐湖资源为大量养殖盐湖生物提供了良好的物质条件;尤其是在西部和西北部干旱半干旱地区,受近期气候干暖、湖面下降、湖泊盐化、淡水生物锐减等不利因素的影响,因地制宜地养殖盐湖生物,对于扩大蛋白质和食物色素来源,开拓具有干旱、半干旱区特色的生物养殖具有现实和长远的战略意义。盐藻体内存在着丰富的、结构独特并具有生理活性的初级和次级代谢产物,这些生理活性物质在保健食品、医药、化工等方面都表现出了良好的开发潜力和应用前景。且盐藻是嗜盐性生物,共存动植物极少,天敌少,繁殖速度快,高于一般农作物生产率;它还属于光合自养作物,能源来自阳光、养料和二氧化碳及少量氮和磷,比一般农作物需要肥料少得多,生长快,且能常年生长,整个植物体均可利用,营养全面而丰富无毒,可直接作为纯天然的保健食品,对人、禽、畜和鱼等有百利而无一害,不污染环境。此外,盐藻在高渗透生长条件下生物污染低,生长周期较短,培养条件简单,成本低,作为天然 β -胡萝卜素来源已在其他一些国家实现了规模养殖,目前已逐步产业化和市场化。迄今,盐藻的开发已成为某些多盐湖国家的新兴产业,除了美、澳、以色列以外,智利、俄罗斯等国也达到商业化生产阶段。我国也早在 20 世纪 50 年代就开始进行滨海盐藻研究和少量养殖。当前,盐藻生物制品的开发已成为国际海洋生物界关注的重点。

为了更好地进行“盐藻的研究与开发”工作,迫切需要将以以往国内外人们陆续发表的与盐藻相关的研究成果或学术论文等进行较全面地总结和归纳,形成一个比较完整和系统的认识,为进一步深入研究与开发提供较翔实的参考资料。著者根据自己的知识水平,分八个章节进行撰写,第一章概述了盐藻的生物学特性(形态与组成、生长发育特性、适应性与耐逆性),第二章归纳了盐藻的培养体系(分离与纯化、培养体系和收集),第三章总结了盐藻的遗传育种(种质资源、选育方法和分子生物学)、第四章揭示了盐藻的生理基础(吸收系统、合成系统和渗透系统)、第五章详述了盐藻的生态调控(物理因子、化学因子和生物因子)、第六章汇集了盐藻的营养成分及提取与分离(碳素营养、蛋白质营养、色素营养和脂类营养),第七章解析了盐藻的药理研究(补充人体的必需营养、治疗维生素 A 缺乏症、防治心脑血管类疾病、防辐射、抗病毒和衰老、防癌、抗癌和治癌),第八章展望了盐藻的产品开发(色素品开发、保健品开发、化学品开发和医药品开发)。

由于撰写时间仓促,著者所掌握的资料及水平有限,书中难免存在疏漏或不妥之处,敬请读者谅解并批评指正。



2013 年 6 月

目 录

第一章 盐藻的生物学特性 /1

第一节 盐藻的形态与组成 /1

第二节 盐藻的生长发育特性 /6

第三节 盐藻的适应性与耐逆性 /7

参考文献 /10

第二章 盐藻的培养体系 /11

第一节 盐藻的分离与纯化 /11

第二节 盐藻的培养体系 /12

第三节 盐藻培养的收集 /24

参考文献 /30

第三章 盐藻的遗传育种 /32

第一节 盐藻的种质资源 /32

第二节 盐藻的选育方法 /37

第三节 盐藻的分子生物学 /41

参考文献 /45

第四章 盐藻的生理基础 /48

第一节 盐藻的吸收系统 /48

第二节 盐藻的合成系统 /51

第三节 盐藻培养的渗透系统 /53

参考文献 /62

第五章 盐藻的生态调控 /63

第一节 物理因子对盐藻的调控 /63

第二节 化学因子对盐藻的调控 /71

第三节 生物因子对盐藻的调控 /106

参考文献 /117

第六章 盐藻的营养成分及提取与分离 /123

第一节 盐藻的碳素营养 /123

第二节 盐藻的蛋白质营养 /126

第三节 盐藻的色素营养 /127

第四节 盐藻的脂类营养 /139

参考文献 /145

第七章 盐藻的药理研究 /148

第一节 补充人体的必需营养 /148

第二节 治疗维生素 A 缺乏症 /151

第三节 防治心脑血管类疾病 /152

第四节 防辐射、抗病毒和衰老 /154

第五节 防癌、抗癌和治癌 /163

参考文献 /166

第八章 盐藻的产品开发 /168

第一节 盐藻的色素品开发 /168

第二节 盐藻的保健品开发 /170

第三节 盐藻的化学品开发 /175

第四节 盐藻的医药品开发 /176

参考文献 /180

第一章 盐藻的生物学特性

第一节 盐藻的形态与组成

一、盐藻的分类地位

盐藻分类上属绿藻门、绿藻纲、团藻目、杜氏藻科、杜氏藻属。绿藻门(*Chlorophyta*) 的主要特征是: 光合作用色素包括叶绿素 a 和叶绿素 b。与高等植物相同, 辅助色素有叶黄素、胡萝卜素、玉米黄素、紫黄质等。绝大多数呈草绿色, 通常具有蛋白核, 储藏物质为淀粉, 聚集在蛋白核周边形成板或分散在色素体的基质中, 细胞壁主要成分是纤维素。绿藻门依据形态学、鞭毛的超微结构和胞质分裂特征分为 4 “纲”。

分类检索表(Preisig H R, 1992)

植物体形态结构多样, 其鞭毛和细胞表面无鳞片覆盖	绿藻纲 <i>Chlorophyceae</i>
植物体营养时期为运动型, 营养细胞具鞭毛	团藻目 <i>Volvocales</i>
藻体为单细胞, 细胞裸露无壁, 仅具质膜	杜氏藻科 <i>Dunaliellaceae</i>
细胞具 2 条鞭毛	杜氏藻属 <i>Dunaliella</i>

Dunaliella 亚属

- I. 营养细胞一直为绿色。最适生长盐浓度为 2% ~ 4% 。
 - 1. 无折光颗粒, 叶绿体在细胞前端 *D. martima*
 - 2. 有很多暗的、不规则的颗粒, 在细胞的前部形成致密的线型或 U 型区 *D. polymorpha*
 - 3. 有 4 ~ 6 个圆形颗粒, 它们形成一个中环 *D. primolecta*
 - 4. 在细胞的前部有 3 ~ 10 个折光性颗粒 *D. quartolecta*
 - 5. 细胞中均匀分布着微小无色的折光颗粒, 在老的个体的前面有大的淀粉颗粒 *D. tertiolecta*
- II. 营养细胞在培养时能变成橙红色。最适生长盐浓度为 6% ~ 12% 。
 - 1. 眼点小但清楚 *D. parva*
 - 2. 眼点呈棒状, 大而清楚 *D. pseudosalina*
 - 3. 眼点呈发散状, 难看清 *D. salina*
- III. 营养细胞一直为绿色。最适生长盐浓度为 6% ~ 12% 。
 - 1. 细胞辐射对称
 - A. 细胞长大于 24 μ m
 - a. 细胞长介于 24 μ m ~ 28 μ m *D. ruineniana*
 - b. 细胞长介于 32 μ m ~ 40 μ m *D. gracilis*
 - B. 细胞长小于 20 μ m
 - a. 营养细胞长 6.5 μ m ~ 12.0 μ m, 有 2 个眼点 *D. bioculata*
 - b. 营养细胞长 2.8 μ m ~ 20.0 μ m, 有 1 个眼点
 - i 叶绿体细小, 有孔; 细胞长 10 μ m ~ 19 μ m *D. carpatica*

- ii 叶绿体大,在前端有颗粒;细胞长 $5\mu\text{m} \sim 18\mu\text{m}$ *D. granulata*
- iii 叶绿体无孔,在前端无颗粒
 - α 细胞为圆柱形或纺锤形
 - α' . 细胞长 $16\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ *D. baas - beckingii*
 - α'' . 细胞长小于 $13\mu\text{m}$ *D. minuta*
 - β 细胞前端圆而后端尖,细胞长 $10\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ *D. media*
 - γ 细胞球形,细胞长 $2.8\mu\text{m} \sim 6.0\mu\text{m}$ *D. minutissima*
 - δ 细胞近球形,细胞长 $3.5\mu\text{m} \sim 13.0\mu\text{m}$ *D. terricola*
 - ϵ 细胞椭圆形,后端宽,细胞长 $3\mu\text{m} \sim 18\mu\text{m}$ *D. viridis*
- 2. 细胞双向对称,扁平,有背腹曲线
 - A. 鞭毛异动,细胞一面扁平,细胞长 $6\mu\text{m} \sim 12\mu\text{m}$ *D. jacobae*
 - B. 鞭毛同动
 - a. 细胞长 $7\mu\text{m} \sim 25\mu\text{m}$,完全扁平 *D. peircei*
 - b. 细胞长 $4\mu\text{m} \sim 13\mu\text{m}$,前端平 *D. turcomanica*
 - c. 细胞长 $6\mu\text{m} \sim 13\mu\text{m}$,略不对称 *D. asymmetrica*

二、盐藻的形态特征

盐藻(*Dunaliella salina*)是一种单细胞绿藻,是迄今为止发现的最耐盐的真核生物之一,可在高达 5mol/L NaCl 的极端环境中生存,广泛分布于海洋、盐湖等地区。既有淡水种类,也有广盐性种类,还有超盐环境(盐湖、盐田)种类,美国的大盐湖、以色列的死海、澳大利亚的宾克湖、日本在中东地区建造的养殖场,我国内蒙古吉兰泰盐场等地,都盛产盐藻,是当前商业杜氏藻的主要品种。1837 年它由法国人 Dunal 首次在地中海沿岸盐池中发现。其细胞形态与衣藻(*Chlamy domonas*)十分相似,但无细胞壁,原生质外仅有一层糖蛋白和神经氨酸组成的外膜。盐藻属于光合自养生物,藻个体通常呈卵圆形,直径 $5.5\mu\text{m} \sim 12.5\mu\text{m}$,长约 $11.3\mu\text{m} \sim 20\mu\text{m}$ (图 1-1),具 2 条等长的鞭毛,鞭毛结构为“9+2”,可自由游动(图 1-2);具一杯状、大型的叶绿体,体积约占细胞的一半,内含一淀粉核,前端有一红色眼点(图 1-3)。另外,不同的生长环境对盐藻的形态也会有影响(图 1-4、1-5),如外界渗透压发生改变时,其形状还可变为球形至纺锤形。

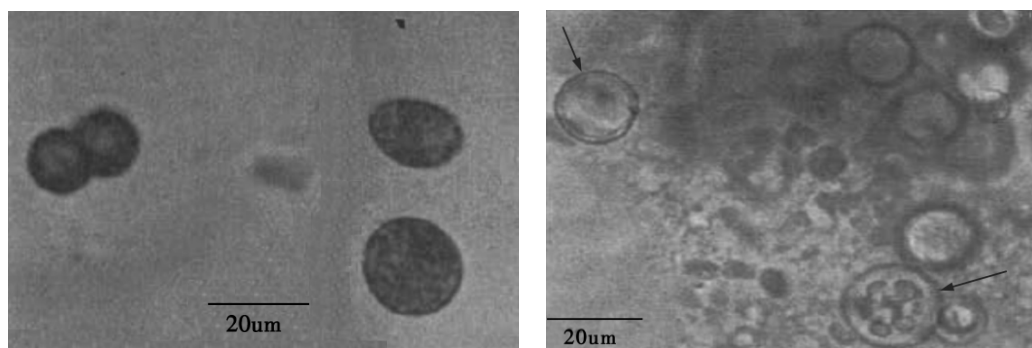


图 1-1 盐藻营养生殖(二分裂)细胞和不动孢子

(左箭头: 细胞壁; 右箭头: 细胞内含物分散) (Haydee M T 等, 1993)



图 1-2 盐藻电镜图片(Rosa V 等,2004)



图 1-3 盐藻剖面图(Michael A B 等,2007)

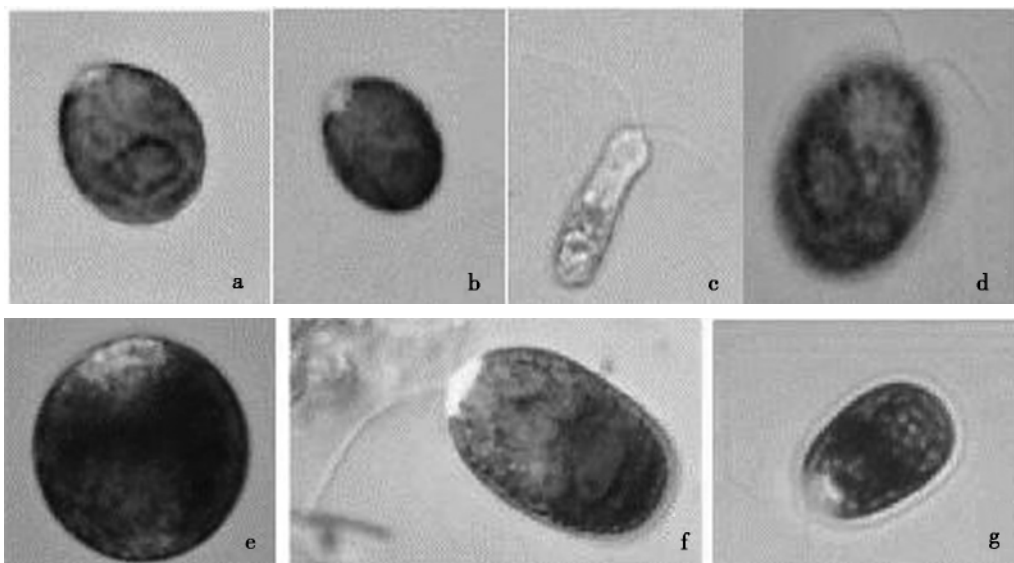


图 1-4 盐藻不同形态的光镜照片(Michael A B 等,2007)

a. 0.86M NaCl 中生长的盐藻(MUR 9,13 μ m) ; b. 5.17M NaCl 中生长的盐藻(MUR 9,暗红色,13 μ m) ; c. 细长的杜氏藻(MUR 202,12 μ m) ; d. 0.86M NaCl 中生长的盐藻(MUR 10,20 μ m) ; e. 5.17M NaCl 中生长的盐藻(MUR 23,24 μ m) ; f. 赫特泻湖的盐藻(23 μ m) ; g. 5.17M NaCl 中生长的盐藻(MUR 200 = CCAP 19/30, 16 μ m) 。

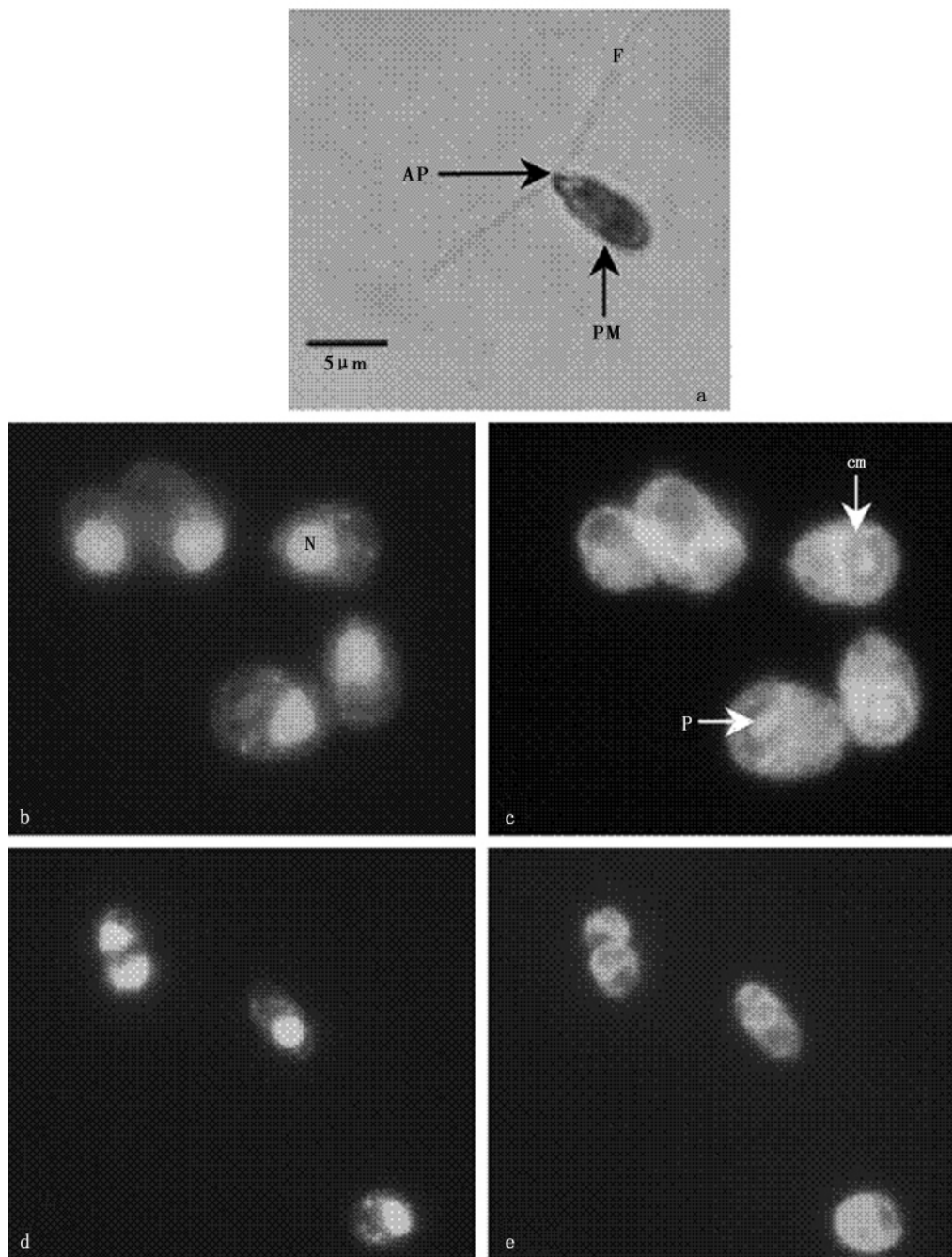


图 1-5 盐藻不同形态的照片 (Rathinam R 等,2007)

a. 盐藻的营养结构; b、c. 生长在 1.5% 岩生马尾藻类海草汁的盐藻; d、e. 生长在 2.0% 石莼提取液的盐藻。

注: AP. 眼点; CHL. 叶绿体; F. 鞭毛; N. 核; PM. 质膜; P. 淀粉核。b 和 d 利用 DAPI 染色; c 和 e 是荧光照片。比例尺: 5 μm。

三、盐藻的化学组成

杜氏藻无细胞壁,灰分含量低于其他绿藻,蛋白质和脂类含量则较高。盐藻灰分仅占细胞干重的 4.83% ~7.60%,糖类占 31.6%,蛋白质占 30% ~40%。盐藻蛋白质含有全部氨基酸并以赖氨酸、精氨酸、丙氨酸、甘氨酸、蛋氨酸、氨羟丁氨酸为主,但未发现游离氨基酸。杜氏藻的脂肪含量与硅藻相近,如盐藻脂肪占干重的 10.9%,其中甘油含量特高;绿色杜氏藻细胞中还发现少量磷脂。盐藻脂肪酸组成中 C16 和 C18 含量较高、但缺 C20 和 C22。

表 1-1 盐藻营养成分 (姜建国等,1997)

营养成分	含量(干重) / %	营养成分	含量(干重) / %
蛋白质	32.8	甘油	20.6
脂类	10.9	β -胡萝卜素	3.34
碳水化合物	29.0	叶绿素	1.22

表 1-2 盐藻矿质元素含量 (索全伶等, 2000)

矿质元素	含量($\mu\text{g/g}$)	矿质元素	含量($\mu\text{g/g}$)
B(硼)	2.25338	Mo(钼)	2.40478
Ba(钡)	2.61533	Na(钠)	243.578
Ca(钙)	4.52150	Ni(镍)	2.86218
Cd(镉)	0.39976	P(磷)	548.784
Co(钴)	1.31470	Se(硒)	2.25944
Cr(铬)	153.385	Si(硅)	1517.05
Cu(铜)	1.9490	Sn(锡)	122.998
Fe(铁)	3986.28	Sr(锶)	4.71596
Mg(镁)	155.896	Zn(锌)	10.9787
Mn(锰)	7.91027		

表 1-3 盐藻维生素含量 (索全伶等, 2000)

维生素	VB ₂	VB ₆	VE	尼克酸
含量(mg/100g)	0.39	0.06	40.87	2.10

与所有绿藻一样,杜氏藻色素有 2 种叶绿素(a、b)、2 种类胡萝卜素(α 、 β) 和 6 种叶黄素。在通常情况下,杜氏盐藻色素总量占细胞干重的 3% ~6%,其中叶绿素 a 占色素总量的 24.5% ~63.7%,叶绿素 b 占 5.1 % ~28.3%,胡萝卜素占 4.5% ~45.0%,叶黄素占 7.3% ~18.8%,三色黄素占 1.4% ~5.9%,新叶黄素占 2.9% ~5.0%。杜氏藻属不同种类不同品系类胡萝卜素总量占色素总量的 18.3% ~78.2%,叶绿素 a/叶绿素 b=1.9 ~9.1,叶绿素/类胡萝卜素= 0.4 ~6.0,叶黄素/类胡萝卜素= 0.5 ~9.0。

孙协军等通过测定盐藻的油脂及其组分发现,盐藻油含量为 17.69%,主要脂肪酸组分为棕榈酸、油酸、亚油酸和亚麻酸;盐藻具有较高的 C/H 值,为 7.35,流动性较差;盐藻油油酸值为 12.64mg KOH/g、热值为 36.07MJ/kg。

第二节 盐藻的生长发育特性

自然界所有(微)生物在适宜的环境条件下,都会不断吸收营养物质,按照自己的代谢方式进行新陈代谢活动。正常情况下,同化作用会大于异化作用,微生物的细胞不断迅速增长,这称为生长。当细胞长到一定程度时,就会由一个细胞分裂成两个细胞。这种个体数目增加的现象,就称为繁殖。在环境条件适宜的情况下,生长和繁殖总是交替进行的。生长是繁殖的基础,繁殖是生长的结果。

按生长和繁殖特点,盐藻的生活史(图1-6)可分为以下四个阶段:

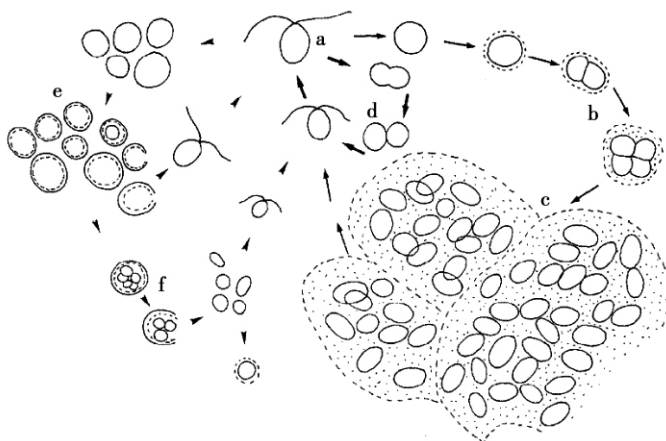


图1-6 盐藻的生命周期(Haydee M T等, 1993)

- a. 双鞭毛游离细胞; b. 不能游动的圆形细胞连续分裂,周边逐渐增加粘液; c. 多个四集藻型细胞聚合;
d. 释放的二分裂细胞; e. 厚壁的不动孢子; f. 孢子直接产生或再分裂成小游离细胞释放
(1) 营养细胞和营养繁殖期: 以营养细胞的形式存在,进行分裂生殖(图1-7)。

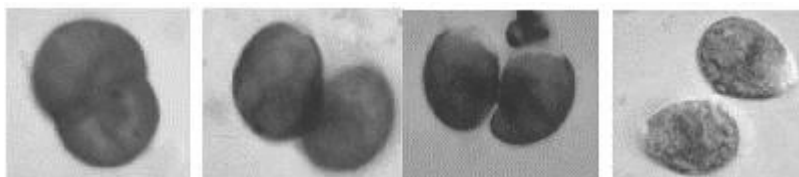


图1-7 盐藻的分裂生殖(Michael A B等, 2007)

(2) 胶群体期: 营养细胞下沉,失掉鞭毛变成圆形,在静止状态下进行细胞分裂,分泌胶质膜,形成群体(图1-8)。

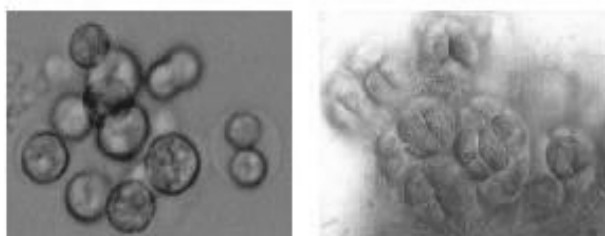


图1-8 盐藻的胶群体期(Michael A B等, 2007)

(3) 孢囊期: 细胞呈圆形, 无鞭毛, 外被双层厚膜, 外膜呈褐色或暗红色, 具小瘤或粒状物 (图 1-9)。

(4) 有性生殖配子期: 由两个同形配子结合成合子, 合子具红色厚壁, 细胞增大并增重, 下沉水底 (如图 1-10)。

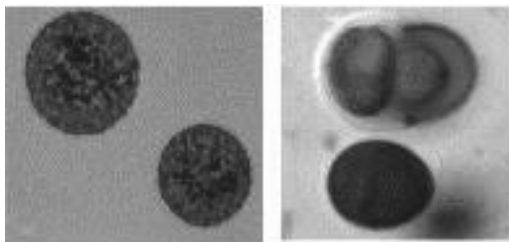


图 1-9 盐藻的孢囊期
(Michael A B 等, 2007)

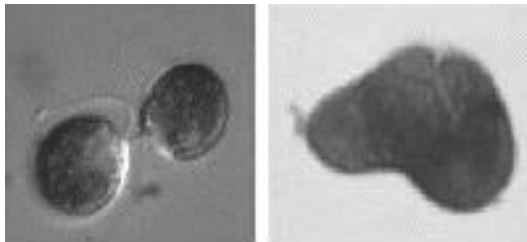


图 1-10 盐藻的有性生殖配子期
(Michael A B 等, 2007)

胶群体期、孢囊期和配子期都是盐藻在不良环境下形成的, 细胞呈休眠状态, 条件好转后可恢复为营养细胞期。

第三节 盐藻的适应性与耐逆性

一、盐藻的适应性

(一) 光

地球上的生命都是依靠着太阳的能量生存着, 而光合作用是唯一能捕捉此能量的重要生物途径, 它是植物、藻类和某些细菌利用叶绿素, 在可见光的照射下, 将二氧化碳和水等转化为储存能量的有机物, 并释放出氧气的生化过程。盐藻是光能自养型生物, 所以也必须依靠光合作用来合成有机物质。因此, 光照对于盐藻的生长发育至关重要。盐藻能耐强光照, 对自然光的利用率可达 3% ~ 11%, 高于一般高等植物。盐藻具有正常的光系统结构, 其中叶绿体光系统 II 的结构和功能 and 高等植物相近, 并且藻细胞可诱导可逆的光状态转换。

(二) 温度

植物和藻类都只有在一定的温度范围内才能够生长。温度对生长的影响是综合的, 它既可以通过影响光合、呼吸和蒸腾等代谢过程, 也可以通过影响有机物的合成和运输等代谢过程来影响植物、藻类的生长, 还可以直接影响土温、水温及气温, 通过影响营养物质的吸收和输导来影响它们的生长。另外, 由于参与代谢活动的酶活性在不同温度下有不同的表现, 所以温度对植物、藻类生长的影响也具有最低、最适和最高温度三基点。只有在最低温度与最高温度范围内植物和藻类才会生长。盐藻对温度有广泛的适应性, 但温度过低或过高时生长缓慢, 最适生长温度为 25℃ ~ 30℃。只有在此适宜的温度条件下, 盐藻才会分裂旺盛, 生长快速。

(三) 气体

盐藻是一种光合自养生物, 光合速率约为 $10\text{ml O}_2 / (\text{mg chl}a \cdot \text{h})$, 其生长繁殖快, 生产率高。它需要无机碳作为其碳源。无机碳的溶解量与培养液中的盐度和温度有关。对于高盐环境下生长的盐藻而言, 无机碳的供给可能是其生长的最大限制因素。在温度为 25℃, 盐浓度为 25%, pH 9.0 的条件下, 99.9% 的无机碳是以 CO_3^{2-} 的形式存在, 其次是 HCO_3^- , 几乎无

CO₂的存在。

盐藻细胞表面存在碳酸酐酶,并具耐盐性,可使盐藻在高盐条件下能很好地吸收 CO₂。CO₂是植物光合作用的底物,又是光合作用的主要限制因子之一。所以补充 CO₂可以提高藻细胞对光能的利用和转化,提高光合作用效率,为光合碳同化提供充足的能量,进而导致藻体营养成分的积累。由此可见,影响和制约盐藻生长发育的气体主要是 CO₂,培养液中如果缺乏 CO₂,则会限制藻细胞的生长。

(四) pH

各种藻类生长都有它适合的酸碱度范围,水体酸碱度会影响藻类的生长繁殖速度。水的酸碱度用 pH 值来表示。pH 值为 7 表示中性,小于 7 为酸性(5~7 微酸性,3~5 酸性,0~3 强酸性),大于 7 为碱性(7~9 为微碱性,9~11 为碱性,11~14 强碱性)。大多数水生生物一般都喜欢生活在微碱性的水中,盐藻的最适生长 pH 为 7.0~8.0。盐藻能抵御碱性环境,是由于其细胞内的酸性液泡是一个大容量的胺缓冲系统,可以防止细胞质碱化。

(五) 矿质元素

矿质元素是植物和藻类正常生长发育,完成生活史所必需的化学元素。按其在植物体和藻体内的含量,矿质元素可分为大量元素和微量元素。盐藻生长发育所必需的矿质元素有 C(碳)、H(氢)、O(氧)、N(氮)、P(磷)、K(钾)、Ca(钙)、Mg(镁)、S(硫)等大量元素,除此之外,还有一些如 Fe(铁)、B(硼)、I(碘)、Zn(锌)和 W(钨)等微量元素。

在盐藻的培养中,硝酸盐是最常用的氮源,其中 NaNO₃是盐藻最好的氮源。但盐藻对硝酸盐和亚硝酸盐的吸收利用是需要光照的。铵态氮一般不能被盐藻吸收利用。有机氮源如尿素、谷氨酰胺一般不如无机氮有效。若在盐藻培养中投入 0.2mmol/L~1.0mmol/L 的尿素,也可以得到适宜的细胞生长速率和较高的类胡萝卜素含量。KNO₃、KH₂PO₄作为盐藻氮源、磷源的最适浓度分别为 1.0mmol/L 和 0.3mmol/L。[N]/[P]比值在 25~30 时盐藻细胞生长速率最高。

在海水环境中有足够的离子可供盐藻生长所需(表 1-4)。Cl⁻/SO₄²⁻有利于生长的最佳比值是 3.2,有利于胡萝卜素积累的比值则是 8.6。

表 1-4 盐藻所需离子的适宜浓度

离子	适宜浓度(mmol/L)	离子	适宜浓度(μmol/L)
N ⁺	1.0	Cu ²⁺	0.24~1.0
P ⁵⁺	0.3	Zn ²⁺	0.3~1.0
Ca ²⁺	0.2~1.36	Fe ³⁺	0.9~1.5
Mg ²⁺	5.0~9.41	Co ²⁺	0.02~1.0
		Mn ²⁺	0.21~7.0

二、盐藻的耐逆性

盐藻生长的逆境是指对其生存生长不利的各种环境因素(如高盐、强光照等)的总称。而盐藻对这些逆境具有一定的抵抗和忍耐能力即耐逆性,虽经受逆境的影响,但它可以通过代谢反应阻止、降低或者修复由逆境造成的伤害,使其仍保持正常的生理活动。

(一) 盐藻的耐盐性

盐藻的耐盐性是指盐藻在盐胁迫下能维持生长和完成生活史的能力,它在盐渍环境中生长