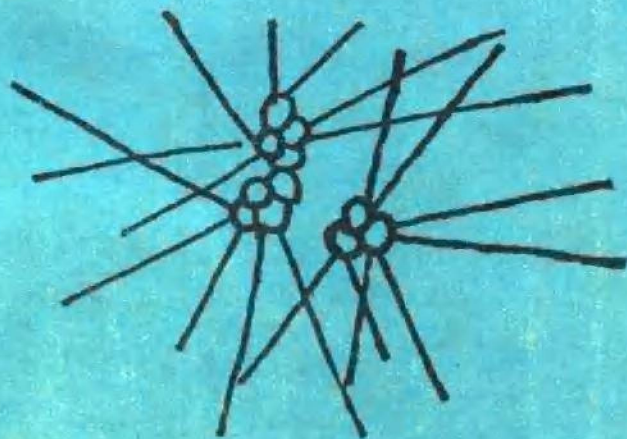


单细胞藻类的培养与利用

华汝成 编著



农业出版社



单细胞藻类的培养与利用

华汝成 编著



农业出版社

14886

收到期	1987.4.22
来源	新华书店
价	3.55元
书号	034349+
月号	14885

单细胞藻类的培养与利用

华汝成 编著

* * *

责任编辑 陈力行

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 14.5印张 362千字

1986年11月第1版 1986年11月北京第1次印刷

印数 1—1,700册

统一书号 16144·3084 定价 3.55元

前 言

本书总结了近三、四十年来国内外单细胞藻类生物学方面研究及培养利用等的实践经验。内容包括理论与实践两方面，并使理论与实践相结合。

本书在时间方面，包括过去、现在与将来，但以现在为主。叙述未来的瞻望时，以现在情况为依据而加以推测。故所述有所凭借而非空想。

本书内容的深度，适合高等学校和中专水平的读者。由于内容的广度，涉及生物学理论与实践，故可供教学及生产、科研等部门参考。本书深入浅出，故读者对象虽以高校水平为主，但中等学校及中级生产单位工作人员也可阅读。

单细胞藻类的研究、进展甚速。近年来，我国虽也努力从事研究，但尚未超过国际水平。本书陈述近年国内外的研究与实践情况，对国内有志研究者提供资料。但作者限于学术水平，所述不免有所挂漏及错误处，至希读者指正。

本书写作中，承中国科学院水生生物研究所黎尚豪及中国科学院植物研究所倪晋山分担审校工作，提高了本书质量。本书初稿承上海水产学院李秉道、张道南及程泰圻校阅，并提出宝贵意见，张道南对编辑工作予以协助，在此深表感谢。本书插图是刘正雁描绘；卢怡帮忙抄写。在此表示感谢。

华汝成

1980年2月

目 录

前言

绪论	1
第一章 经济单细胞藻类的种类	3
第一节 蓝藻类	3
第二节 单细胞绿藻类	13
第三节 甲藻类	32
第四节 硅藻类	38
第五节 金藻类	52
第六节 单细胞红藻类	62
第一章文献	65
第二章 培养种类的生活条件	70
第一节 光照条件与生长发育	70
第二节 温度条件与生长发育	100
第三节 气体条件与生长发育	107
第四节 单细胞藻类的矿质营养	120
第五节 盐度与藻类的生活	159
第六节 有机营养物质与单细胞藻类的生长发育	161
第二章文献	182
第三章 培养种类的生长繁殖因素	199
第一节 生长繁殖速度与外界因素关系	199
第二节 小球藻的生活史与外界因素	210
第三节 单细胞绿藻类的细胞分裂与代谢的关系	214
第四节 小球藻在生活史过程中藻体内核酸的变化	215
第五节 硫源及氮源的供给与核和细胞的分裂	216
第六节 硅藻类繁殖速度与外界因素	218
第七节 蓝藻类繁殖速度与环境条件的关系	220

第八节 固氮蓝藻的繁殖速度与外界因素的关系·····	221
第三章文献·····	222
第四章 单细胞藻类与其他生物间的关系·····	224
第一节 自然水域内生物间关系·····	224
第二节 单细胞藻类在非密闭培养下与其他生物间关系·····	225
第三节 单细胞藻类与其他生物的共生和寄生·····	229
第四节 硅藻类及金藻类与其他生物间的关系·····	234
第五节 黄藻类、甲藻类与其他生物间的关系·····	236
第四章文献·····	239
第五章 培养的设备及方式·····	241
第一节 培养的设备·····	241
第二节 培养的方式·····	254
第三节 养鱼池的利用·····	269
第六章 培养液的制备和效果·····	272
第一节 淡水单胞藻无机培养液的配制和效果·····	272
第二节 海产单细胞藻类的培养液配制和效果·····	295
第三节 微量元素和维生素溶液·····	328
第四节 有机培养液的配制和效果·····	348
第七章 藻种的分离、培养及接种、保存·····	357
第一节 藻种的分离、培养·····	357
第二节 接种、移养和藻种保存·····	366
第八章 培养过程中的管理方法·····	375
第一节 培养基养料的补给和促长方法·····	375
第二节 光照的调节·····	379
第三节 温度的调节·····	382
第四节 二氧化碳的补给·····	384
第五节 搅拌·····	385
第六节 酸碱度的测定和调节·····	387
第七节 污染的防治·····	387
第九章 同步培养和定向培养·····	393
第一节 同步培养意义·····	393
第二节 同步培养方法·····	393

第三节 定向培养的意义和方法	395
第十章 培养物的采收方法	399
第一节 采收的时间和个体数的测定	399
第二节 采收方法	408
第三节 采收固氮蓝藻类的方法	411
第四节 保持采收品纯净的方法	411
第五节 浓缩物的量	412
第六节 采收后的废液利用	413
第七节 采收后的加工	414
第五章至第十章文献	416
第十一章 单细胞藻类的利用	423
第一节 食用和饲料用	423
第二节 医疗用	446
第三节 肥田用	447
第四节 工业原料用	450
总结	451
第十一章文献	453
后记	457

绪 论

单细胞藻类是低等植物，一般十分微小，非用显微镜是不能看到它们，所以尽管种类多，分布广，直到近代才为人们所注意。由于科学的进步，人们可以依靠显微镜认识它们的形态，还依靠生物学、化学、物理学等学科的协助了解了它们的生命活动特性和对人类的经济价值。但培养和利用单细胞藻类，至今为止，还只有几十年的历史。科学家对单细胞藻类的培养和利用极为重视，这种植物生命周期至多只有几十小时，从接种到收获时间极短，非一般农作物所能比拟；在人工控制下，任何地区都可培养〔1〕，又不需占用广大的土地面积，这也不是普通农作物所能及的。单细胞藻类的用途从已报道的资料来看，它们在食用、医药用及工业等方面均有特殊的效用〔2〕，也非一般高等经济植物所能具备的。最近国外科学家特别指出小球藻在宇宙旅行、海底探险时，在密闭条件下可供人类氧气和吸收碳酸气，即进行气体交换，净化空气，这是单细胞藻类的另一用途。光合作用试验，也是利用小球藻为材料；水质化验，也可利用硅藻进行。

单细胞藻类的培养历史，是从十九世纪末，欧洲科学家开始的，他们以培养小球藻为试验材料。近几十年来，各国为寻求人类新的生活资源，努力研究单细胞藻类，特别是单细胞绿藻类的培养方法和利用途径。近年来，日本、印度等国家进行固氮蓝藻的培养试验，并在稻田试用，增加土壤氮肥；苏联大面积培养栅藻、扁藻、盐藻等单细胞绿藻，作为鱼类饵料；大洋洲科学家还培养硅藻、金藻、盐藻等来喂海产无脊椎动物幼体〔3〕。美国从

栅藻提出类固醇，可作为医药原料。又据 1962 年美国的报道，试图大量培养单细胞红藻的紫球藻〔4〕，以供人类食用。由此可见，国外对单细胞藻类的培养品种逐渐增加，利用途径也逐渐展开。

我国培养单细胞藻类，解放后才开始。从 1958—1961 年，几乎全国都在进行小球藻和栅藻的培养，并且主要是群众动手培养。至于扁藻、盐藻及固氮蓝藻，虽也有些地区进行培养试验，但未能得到推广。我国群众培养单细胞藻类，主要用土法，虽也取得相当成绩，但还处在初步试验阶段，不够深入细致；至于利用方面，淡水藻类主要作为猪饲料，效果如何？还缺少明确的分析。海水藻类的培养和利用，近十年来，为适应海产经济动物人工育苗的给饵需要，也有了快速的发展，但我国对单细胞藻类的培养与利用，尚在萌芽阶段，需要进一步试验研究。

本书为供给国内研究单细胞藻类的培养与利用的参考。先略述这些藻类的生理学方面的理论，然后详述国内外对这些藻类的培养与利用。本书所述的种类，以国内外已进行培养而有利用价值的为限。

文 献 索 引

- 〔1〕 Н. С. Гаевская:《单细胞藻类的工业利用问题》，1959。
- 〔2〕 В. А. Чесноков:《单细胞藻类的大面积培养》，1959。
- 〔3〕 Algal Mass-Culture Unit for Feeding Marine Larvae. 1961.
- 〔4〕 Appl. Microbiol, 1962, 10. No. 2, 102—107.

第一章 经济单细胞藻类的种类

现在各国比较大量培养和初步利用的单细胞藻类，主要是单细胞绿藻类，特别是小球藻，有较长的历史。其次，有硅藻类、蓝藻类、金藻类和单细胞红藻类。下面，分别记述以上各类的分类、分布、生态和形态构造以及繁殖等。

第一节 蓝藻类

一、蓝藻的特征和固氮种类

1. 蓝藻的特征 蓝藻类属于蓝藻门 (Cyanophyta)，在植物分类系统上，比绿藻类、硅藻类更低级。有些学者称它为原始藻类。在藻类中，只有蓝藻没有载色体，色素散布在原生质体的周围。蓝藻没有完备的核，它只有原始型的核，这种核又称为中央体 (central body)，它没有核仁及核膜。其次，蓝藻没有具鞭毛的生殖细胞，并且缺少配子，不能进行有性的接合生殖〔30〕。蓝藻的这些特点，都足以表明它的系统发生比较低级。

2. 固氮蓝藻 蓝藻类中有经济价值的种类主要是固氮蓝藻及少数可供食用的种类。现在进行培养的种类，只有几种固氮蓝藻。

(1) 固氮藻类的固氮作用和它的鉴定：在植物界中，细菌的固氮作用，学术界早已了解。可是蓝藻的固氮作用，直至1889年，才由 Frank 发现。固氮蓝藻不同于一般蓝藻，就是在它能固定空气中游离氮为简单氮化合物。根据这一点来区别固氮蓝藻

似乎很简单，可是实际并非如此。这因蓝藻体表，一般都包着胶质，在此胶质的内、外部，往往附生着细菌，而这些细菌，可能有固氮种类，所以不先去尽细菌，就不能肯定固氮作用是哪方面发生的。从蓝藻体上清除这些细菌是一种极细致的工作，因此鉴定固氮蓝藻比较困难。

(2) 固氮蓝藻类的种类：其它国家已调查到的固氮蓝藻共有五十九种，其中十五种尚未定名。这些固氮蓝藻分别属于蓝球藻目 (Chroococcales)、念珠藻目 (Nostocales)、多列藻目 (Stigonematales)，计有 8 科 15 属，而大部分属于念珠藻目，念珠藻科 (Nostocaceae) 的念珠藻属 (*Nostoc*) 和鱼腥藻属 (*Anabaena*)。过去认为蓝球藻目及念珠藻目的颤藻科 (Oscillatoriaceae) 都没有固氮种类，1962 年 [30] 在蓝球藻目、石囊藻科 [30] (Entophysalidaceae) 中，发现绿粘球藻属 (*Chlorogloea*)，在颤藻科 [30] 中发现蓝裂须藻属 (*Schizothrix*) 及颤藻属 (*Oscillatoria*) 有固氮种类。另外，又有些学者在念珠藻目的胶须藻科 (Rivulariaceae)，双歧藻科 (Scytonemataceae) 及多列藻目的海雹菜科 (Mastigocladaceae) 中发现少数固氮种类 [31]。现在国外新发现的固氮种类虽不少，但尚未全部予以肯定。

至于最近我国已报道的固氮蓝藻种类，也有 7 属 12 种 [31]，如下所记：

固氮鱼腥藻 (*Anabaena azotica*)、固氮鱼腥藻甲型 (*A. azotica* f. a)、多形鱼腥藻变型 (*A. varibilis* forma)、螺旋鱼腥藻 (*A. spiroides*)、环拟鱼腥藻 (*Anabaenopsis Circudis*)、拟鱼腥藻一种 (*Anabaenopsis* sp.)、林克氏念珠藻 (*Nostoc Linekia*)、念珠藻一种 (*Nostoc* sp.)、柱孢藻 (*Cylindrospermum* sp.)、单歧藻 (*Tolypothrix rivularis*)、裂须藻一种 (*Schizothrix* sp.)、织线藻 (*Plectonema* sp.)。在这些种类中，有些只是初

步证明具有固氮能力。现在已可肯定的固氮种类，主要是念珠藻目的种类，所以下面只记述这个目。

二、念珠藻目的特征和固氮的各属种类

1. 念珠藻目的一般特征 [32] 藻丝 (trichomes) 单列或多列，藻丝全部同样粗细，或自基部至顶端部逐渐尖细，或自中央部至两端渐细。藻丝直形或螺旋形，又或不规则扭曲。藻丝不分枝，或有一真的或假的分枝。一般有鞘，包围一或多数藻丝。随着种或属不同，鞘透明或有颜色，均一质或分层，坚实或胶质状。

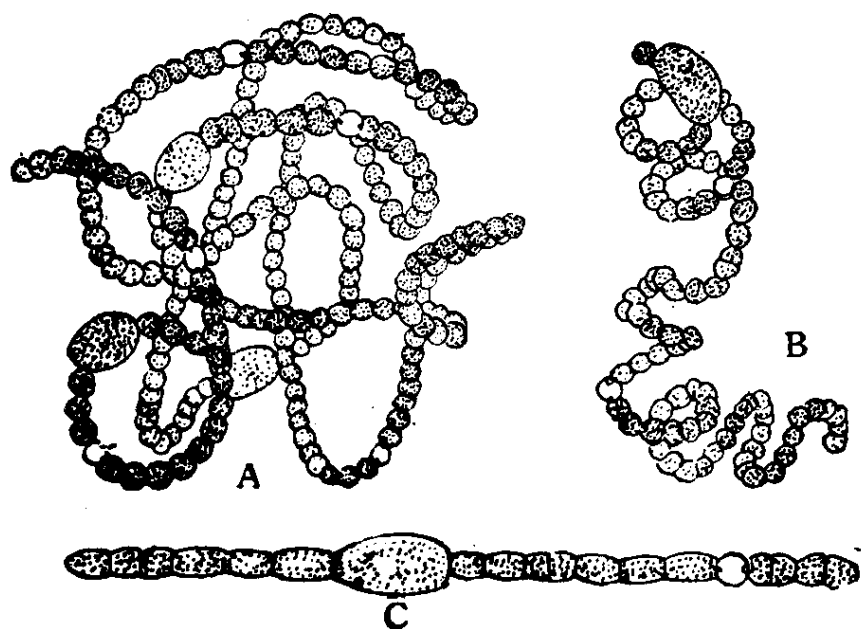


图 1—1 念珠藻目种类

A. 环拟项圈藻 *Anabaena circunoeis* (Kütz Rab) B. 螺鱼腥藻 *A. spirodes* Kelohn C. 雷万鱼腥藻 *A. levanderi* Lemm ($\times 600$)
(从 G.M. Smith, 1950.)

异形胞 (heterocystis) 存在，并且很明显，不过有些属不发生异形胞。第一个异形胞出现时，藻丝还很幼小，藻丝继续生长，异形胞随着增加。异形胞在藻丝一定的位置形成，或不在一定的位置；异形胞单一，或成很短的行列。多数的属，发生异形

胞也产生厚垣孢子；另外一些属，有异形胞而不形成厚垣孢子。

2. 本目有固氮作用的属 如下所述：

(1) 鱼腥藻属 (*Anabaena* Bory)：

①固氮种类：本属种类很多，有固氮作用的种类，有1928年Drewes分离出多形鱼腥藻 (*A. variabilis* Kütz), 1932年Allison及Morris证实这种蓝藻确能固定游离氮^[33]。1939年De从印度稻田中分离出胶质鱼腥藻 (*A. gelatinosa*)、舟形鱼腥藻 (*A. navicuboides*) 及三种多形鱼腥藻^[33]。1940年Bostel¹发现土生鱼腥藻 (*A. humicala*)、柱孢鱼腥藻 (*A. cylindrica*) 及三种多形鱼腥藻^[33]。1942年Snigh在印度稻田中发现美鱼腥藻 (*A. ambiguus*)、多孢鱼腥藻 (*A. fertilissima*) 和其它若干固氮蓝藻种类。1958年中国科学院水生生物研究所，在湖北省武汉市稻田中采到固氮鱼腥藻 (*A. azotica* Ley)，称为水生686固氮蓝藻。1958年又从湖北孝感稻田中，采到前一种变型，即固氮鱼腥藻甲型 (*A. azotica* f. a)，称为水生678固氮蓝藻。同一年，在湖北汉阳稻田中，采到一种多形鱼腥藻变型 (*A. variabilis* Kütz. forma)，称为水生670固氮蓝藻^[33]。中国科学院水生生物研究所采到四种固氮蓝藻，并都分离成功，在四种内，三种属于鱼腥藻属^[33]。又如与满江红 (*Azolla imbricata* Nak.)共生的满江红鱼腥藻 (*A. azollae* Strasburg) 有固氮作用。

②形态特点^[30]：细胞一般腰鼓形，或长椭圆形、筒形、稀有为柱形，绝无圆盘形。由多数细胞连接成链状群体，即藻丝 (trichomes)。藻丝全体厚度相同，或先端略窄。藻丝直形，旋卷形或不规则扭曲形。一条藻丝外面围着一鞘。鞘常透明而湿润，鞘要用特殊方法处理才能见到。本属的藻丝随着种类或宽或窄，多数浮游种类的鞘，比细胞宽数倍。

异形细胞形状与营养细胞相同，只是比较大些，常在群体中

间，一般单独。

③内部构造〔30〕：营养细胞原生质体，或均质，有颗粒，或充满无数假液泡。原生质体蓝绿色，灰色或呈其它颜色。

④繁殖：本属最主要的繁殖法，是形成连锁体（hormogones，即同节体）〔34〕，即在丝状群体中，有一段群体与其它丝状体部分脱离，再分裂增殖形成新丝状群体。此外，又能在细胞内产生孢子（即藻胞Gonidia）〔34〕，此种孢子能不休眠而萌发，再形成新个体。本属种类能产生厚垣孢子，也就是休眠孢子。这种孢子单独或连接为短链状，比营养细胞大，一般圆柱形，两端圆形。这孢子贮有较多养分，并有坚厚的壁膜，在环境不良时有抵抗力，暂不萌发，一般要经过几个月，在环境好转时才萌发。

⑤生态和分布：本属种类除少数为浮游性外，多数为陆生种，生长在潮湿土壤上。例如，本属的固氮种类，就生长在沼泽地及水田的土壤上。本属种类主要分布在温暖地区。浮游性种类，藻丝单独或集群浮游在淡水池沼、湖泊或河流沟渠中。在温暖季节，繁殖极盛时，在水中能形成水华。本属的满江红鱼腥藻，生存在满江红的组织内，营共生生活。又如苏铁鱼腥藻（*A. cycadearum*），生存在苏铁的根瘤中，并在苏铁的皮肤细胞内，与两种硝化细菌共栖〔35〕。

⑥本属主要固氮种类及培养种类的形态特点：

满江红鱼腥藻：将满江红切片镜检，可见到叶片粘液腔间生存着这种蓝藻群体。细胞球形至圆筒形，长5—8微米，宽5微米。群体略成不规则螺旋形或弯曲形。群体中间有异形细胞，长10微米，宽8微米。

固氮鱼腥藻（水生686固氮蓝藻）〔33〕：细胞扁腰鼓形，长2.5—4.8微米，宽3.6—4.8微米。细胞内有蓝藻粒。如遇较低温度，会出现假液胞。群体略弯曲，近两端细胞较小，末端细胞稍长而先端钝圆，或成截头锥形。群体中央部有异形细胞，长

4.8—7.3微米，宽4.8—7微米。

固氮鱼腥藻变型（水生678固氮蓝藻甲型a）〔33〕；这是前一种变形。细胞长筒形或方柱形。群体的异形细胞长椭圆形或柱形，比前一种大些。

多形鱼腥藻（水生670固氮蓝藻）〔33〕 细胞球形至筒形，长2.5—6微米，宽4—5微米。群体屈曲，形成胶质块，附着土壤表面或浮在水面。异形细胞在群体中间，球形或卵形，长8微米，宽6微米。

（2）念珠藻属（*Nostoc* Vaucher, 1803）〔33、34〕；

①固氮种类：本属种类很多，Drews〔36〕1928年首先分离出有固氮作用的点状念珠藻（*Nostoc punctiforme* Has.）。Bortels〔37〕1940年发现六种固氮蓝藻中，有两种是本属种类，即沼地念珠藻（*Nostoc paludosa*）和点状念珠藻。1958年中国科学院水生生物研究所〔33〕在武汉市稻田中采到本属的林克氏念珠藻（*N. linckia* Roth f. *piscinale* Elenk.）具有固氮作用，被称为水生508固氮蓝藻。

②形态特点〔38〕：本属的细胞为球形、椭圆形、筒形、圆柱形，细胞外表或有胶质鞘。异形细胞本属最显著，且常能见到。异形细胞一般球形，比营养细胞大。由多数个体连接而成链状群体的藻丝。这种藻丝常呈扭曲状，埋在胶质鞘内，这种鞘很坚实。年幼的群体极微小，近似球形，并且是实心（不空虚）。当群体增加体积时，可保留原来形状，表面光滑或有疣状突起，或保留实心，或发生空腔；又或变成小裂片状。如果有空腔，就破裂为不规则展开的片状，而有破裂的边缘。成熟的群体，肉眼可见，直径可达数厘米。个别种类，例如：大念珠藻（*Nostoc amplissimum* Set.）的直径可达50厘米。群体营养细胞间或先端，有单独的异形细胞。有些种类，如发菜（*Nosto commune* var. *flagelliforme* Born, et Flash.）群体集结成毛发状。球块状或

毛发状的群体，呈蓝绿色或蓝黑色，有时呈黄褐色。

③繁殖〔38〕：本属主要依靠连锁体来繁殖，连锁体在异形细胞与营养细胞连接处断裂而脱离母藻丝。连锁体脱离母藻丝后，发生多数藻丝，这些藻丝不分散到群体鞘的外面来（见图1—2）。本属也有能形成厚垣孢子的，并且有多数营养细胞会变形而形成厚垣孢子。厚垣孢子要在群体成熟后才发生。厚垣孢子要经过几个月的休眠，在环境好转时才萌发。据 Harder R. (1917) 的研究，多数念珠藻科的种类，休眠孢子在受到适宜光照、高温时，就能萌发；又如给与砂糖，并使温度升高，在黑暗处也能萌发。这说明温度与养料（糖类）是休眠孢子萌发的主要条件。

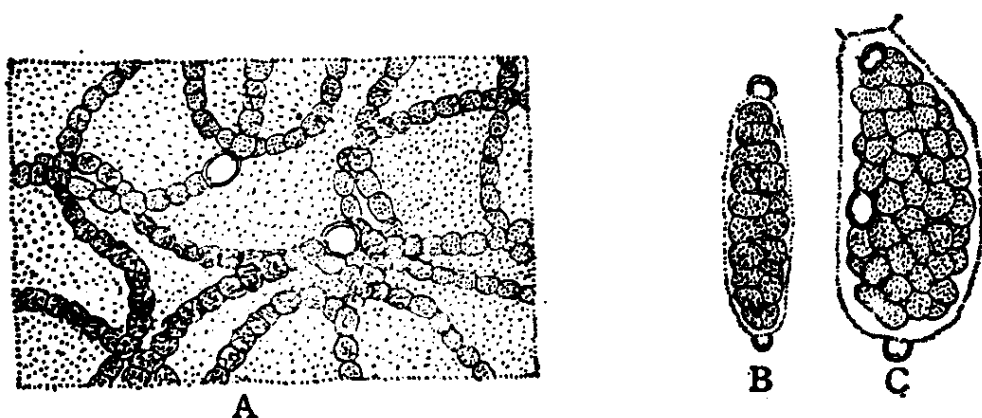


图 1—2 连锁体的萌发

A. 林氏念珠藻 *Nostoc linchiae* (Roth) Bown 的一部藻体 B、C. 念珠藻的一未定种的连锁体的萌发 × 86
(从 G. M. Smith, 1950, p. 584, Fig 501.)

④生态和分布〔38〕：本属种类包括陆生和水生两类。陆生种类或生长在露出的土壤表面，或与藓类及有叶的草混生在一起，又或附生在其它基质上面，如湿的岩石上。当泥土等表面出现蓝绿色胶状物时，有些是本属种类的群体所形成。这种胶状物比较坚实，有致密的层，内部包含着无数单条的藻丝。

陆生种类或生存在土壤下面，即地下藻类，深度可达一米深 (Moore及Carter, 1926)〔39〕。

绝对水生种类比较少数，这些种类，或自由浮游在池面，或附着在池底，又或附在沉生的植物上。还有少数种类生存在瀑布中。此外，在山岭溪流中的岩石上，也常见到为本属的水生种类所被复。

本属种类又与真菌类共生而形成地衣，至于与其它植物的关系，主要生存在苔藓植物叶状体的内部。

⑤主要固氮种类的形态特点和分布：

林克氏念珠藻 (*Nostoc linckia* Roth f. *piscinale* Elenk) (水生 508 固氮蓝藻)：细胞球形至腰鼓形，直径 2.5—3 微米。异形细胞扁球形，长 2—2.5 微米，宽 3 微米。群体最初球形，直径一厘米，鲜绿色至茶褐色。在不同培养基中，群体形状能起变化，例如：在固体培养基上成球状；液体培养时，成胶块状或片状而浮在水面，有时也会沉在水底。

点状念珠藻 (*Nostoc punctiforme* Har.)：细胞球形至扁圆形，或圆筒形。群体链状。往往浮在水面，形成一种污垢状物。

(3) 柱孢藻属 (*Cylindrospermum* Kützinger, 1843) [40]：

①固氮种类：本属固氮种类，Bortles 1940 年发现地衣型柱孢藻 (*C. licheniforme*)。Snigh 1942 年，发现哥拉柱孢藻 (*C. gorakporensis*) [42]。

②形态特点 [40]：本属与其它属最显著的差别，在异形细胞常规则地生在藻丝的一端，并在此异形细胞后面产生一个或多个厚垣孢子。藻丝常短，或直、或曲。藻丝全部直径相同。每一藻



图 1—3 柱孢藻属形态

(G. M. Smith, 1950)