

荒漠藻类及其结皮的研究^{*}

陈兰周 刘永定 李敦海 沈银武 谢作明

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

[摘要] 文章介绍了荒漠藻类生长在荒漠化土地上的土壤藻类的种类组成和分布, 影响荒漠藻类分布的环境因子, 荒漠藻类在物质循环及土壤结皮形成和发育中的重要作用, 以及荒漠藻类能够在极端环境条件下生长的适应机制等。生物结皮在荒漠土壤表层的水分分布状况、土壤稳定性和荒漠生态系统的演替中起着重要作用, 对荒漠其他生物也有着重要的影响。最后阐述了荒漠藻类在工业和环境工程上的应用和发展前景。

[关键词] 荒漠化, 荒漠藻类, 土壤结皮

荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化。我国是世界上受荒漠化危害最严重的国家之一, 荒漠化土地面积已达 262.2 万 Km^2 , 占国土面积的 27.3%, 并且以每年 2 460 Km^2 的速度在扩展。

荒漠藻类主要是指生长在荒漠化土地上的藻类, 因此同土壤藻类的研究有着密切的联系, 其研究的方法和土壤藻类是基本一致的。但由于其自身所处生境的特点, 荒漠藻类在研究上也有其自身的特点。作为先锋拓殖生物, 荒漠藻类能够在条件恶劣的环境下生长、繁殖, 如干旱、营养贫瘠、较大的温度变化和紫外辐射等极端环境, 并通过其自身的活动, 影响并改变着环境。

荒漠表面形成的土壤结皮是荒漠地区最具特色的景观之一, 在我国西部和北部地区有着广泛的分布。结皮的主要生物组成部分即是荒漠藻类, 因此也叫藻类结皮(或藻壳, Algal Crust)。结皮在防风固沙、防止土壤侵蚀和改变水分分布状况等方面, 扮演着重要的角色^[1]。在荒漠化日益严重的今天, 利用荒漠藻类改良土壤, 防风固沙, 具有积极的意义。

1 荒漠藻类的研究

1.1 荒漠藻类的种类组成和分布

荒漠藻类的组成, 主要是丝状蓝藻和球状绿藻

占优势, 也有黄藻和硅藻, 但没有红藻。各荒漠地区的藻类组成的不同, 但广泛分布的蓝藻有 *Anabaena*, *Anacystis*, *Calothrix*, *Lyngbya*, *Microcoleus*, *Nodularia*, *Nostoc*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Schizothrix*, *Scytonema*, *Synechococcus* 和 *Tolypothrix*; 广泛分布的绿藻有 *Bracteococcus*, *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Chlorella*, *Chlorosarcina*, *Chlorosarcinopsis*, *Cystococcus*, *Neochloris*, *Palmella*, *Palmogloea*, *Protococcus*, *Protosiphon*, *Radiosphaera*, *Scenedesmus*, *Spongioclostris* 和 *Tetraspora*^[2]。丝状蓝藻 *Microcoleus Vaginatus* 是其中分布最广泛的种类。在美国 Colorado 草原和大盆地中, *M. vaginatus* 的生物量占总土壤生物量的 95% 以上; 在我国沙坡头地区多年生土壤结皮中, 微鞘藻也是主要的优势种之一^[3]。在我国, 研究最多的就是经济蓝藻, 如发菜和地木耳等, 对其形态和分布有着较多的报道。

荒漠生境中藻类种类的分布, 是由多种环境因子共同决定的。非有机营养, pH 值, 氧化还原势, 温度, 土壤通气状况和生物间的相互作用等, 都是影响荒漠藻类分布的主要因子。季节和气候的变化对藻类的种类组成和分布也具有决定性的作用。

土壤 pH 值也是影响藻类分布的重要因子。受降水和蒸发的影响, 干旱和半干旱荒漠地区的土壤大部分是碱性的, 而蓝藻比较适应中性和碱性的土

^{*} 国家自然科学基金资助项目。
本文于 2002 年 12 月 19 日收到。

壤,绿藻适应酸性的土壤。如在 Texas,随土壤 pH 值的升高,绿藻的优势地位逐渐被蓝藻所取代。

土壤的质地和结构对藻类的分布有一定的影响。藻类和其他微生物的生长,需 4%—5% 的粘土和泥沙,而松密度对其生长没有显著的影响;土壤的通气状况和对水分的保墒作用,也有着重要的影响。外界环境条件对荒漠藻类的分布也有一定的影响。荒漠地区的光照强度和组成,对其有一定的影响。在结皮的表面,由于光强的不同,藻类的组成,从上至下,也有不同的分布。

1.2 荒漠藻类对荒漠生态系统的影响

(1) 荒漠藻类在物质循环上的作用——一种潜在的微藻生物肥料

荒漠藻类是荒漠生境的先行者,在原始成土过程中,对荒漠土壤的形成起着重要的作用。荒漠藻类的殖生,促进了矿物质的矿化过程,有利于物质的循环和流动,加速了土壤的演替过程。藻类改变荒漠土壤中的物质循环,增加其中的碳、氮、磷的含量,促进了土壤异养微生物的生长。沙漠土壤含有很少的结合态氮,藻类本身的生长为土壤提供氮源和碳源,固氮蓝藻固定的氮是其中的一种重要方式。

在有藻类生长且表面固定的地方,其土壤组成上往往比风经常吹的地方含有较多的粘土和泥沙。相应地,结皮存在的地方,土壤含有大量的粘土和泥沙,相伴有高浓度的有机质、N、交换性的 Mn、Ca、K、Mg 和 P 等。我们在宁夏沙坡头和内蒙古达拉特旗也进行了荒漠藻类在干旱和荒漠地区固土培肥的试验研究,发现藻类的出现,使沙漠土壤中的游离离子数目增多。藻类的生长加强了土壤表层土壤酶的活性,如外源胞外聚合物和生物量的加入,对土壤酶活性有着显著的提高,加速了土壤的熟化和发育。

(2) 荒漠藻类在土壤结皮形成和发育上的影响

生物结皮遍布于荒漠和半荒漠地区,它们主要位于开阔的灌木、草本植物之间的空隙上,甚至在盐碱化土地和乔木林之中,仍有分布。结皮主要由藻类(包括蓝藻)、地衣、苔藓、真菌、细菌等同土壤颗粒相作用形成。由藻类(包括蓝藻)为主要组成部分的叫藻类结皮。生物结皮的形成,主要是流沙经过沙障固定和种植植物后,沙土表层形成风积物结皮,再演变成以藻类为优势种的微生物结皮,而这一过程是因流沙得到固定后,大气降尘和粉粒在沙表层堆积、下沉,再经过雨滴的冲积等物理作用和土壤微生物的活动共同作用的结果^[3]。

荒漠结皮通过影响土壤表层水分的渗透作用和

光能的吸收,影响水分的蒸发、吸收和光热效应,从而改变荒漠地区土壤结构和表层水分分布状况。荒漠藻类的生长,改变了荒漠表面土壤的松散结构,增加了土壤的团聚性和粘性颗粒,有利于土壤的保墒作用。蓝藻丝体和表面的鞘,也能够吸收 8 倍于体重的水分,从而在夏季雨季来临时吸收大量水分。结皮对土壤渗透作用的影响是积极的,消极的,还是没有影响的,目前还有很大的争议。但总体上说,结皮可以稳定土壤表面结构,改变其表面的物理结构,对渗透有着积极的影响。藻类结皮可以阻碍地表径流的流动速度,在其流出该地区前水分能够得到充分的吸收,增加土壤水分的含量。同时,壳厚度和硬度的增加,增加了水分透过结皮的时间,延缓了水分的下渗,不利于雨水的吸收^[3]。

土壤侵蚀导致大量土壤颗粒的流失,是荒漠化最为突出的问题之一。荒漠藻类主要以丝状体的方式同土壤颗粒结合,并分泌大量多糖在藻丝体周围,加强其粘性。藻类的生长为荒漠微生物提供营养,同时产生代谢产物,间接提高土壤的团聚性和稳定性。主要由藻类组成的生物结皮,不仅可以抗 11 级大风,而且对水流的侵蚀,可以减少到 1/6 以上。

(3) 生物结皮对群落生态演替的影响

在原始土壤形成过程中,藻类是最先的拓殖者。在演替的初始阶段,群落组成往往由不同的藻类占优势,然后再进一步向更高的苔藓、地衣、及高等植物演替。荒漠土壤的生态演替过程,往往是物种组成由低等到高等,物种多样性和丰度从少到多的过程。根据生物结皮优势种类的不同,又可以分为蓝藻类、藻类、苔藓、地衣、及隐花植物和高等植物的结皮等,即代表演替的不同阶段。同时藻类的生长,改变了土壤的结构和物质循环,并为其他生物提供营养,导致细菌、真菌、原生动物及其他生物的生长,改变了群落的结构和物种丰度,加速了演替过程。

(4) 荒漠藻类同其他生物的关系

藻类的生长,为其他的异养生物提供有机物,固氮蓝藻为高等植物提供氮源。如一年生植物 *Festuca octoflora*,其根系主要分布在 0—10cm 的表层,可以充分吸收由生物结皮提供的营养。但另一方面,藻类生长形成的结皮,导致雨水下渗的困难,高等植物地下水不能得到及时的补充,可能导致地下水位的枯竭。藻类在生长过程中分泌的有机物及表面强度的增加,可以抑制一年生植物种子的萌发,对高等植物的生长不利。但另有报道认为,有结皮存在地区的植物种子含有较多的 K、P、Ca、Mg、Fe 等离

子,从而使种子萌发成功的几率大大增加。荒漠结皮的形成,提高了表层土壤的硬度,为土壤微生物、原生动植物、小型动物等提供了栖息的场所,因此对于动物的生长和繁殖也有着重要的意义。

(5) 结皮对干扰的适应能力

外界的活动,如动物的活动、牲畜的放牧和人为的开垦等,往往对结皮造成一定程度的损害。人为破坏对结皮的生物量和固氮酶的活性有显著的影响,如移去表面的结皮或用耙子破坏,导致固氮酶活性降低 50% 以上,而且在一年后才能恢复,主要是干扰导致藻体的死亡和埋葬等。此外,人工接种对物种的组成和丰度也有影响。当用耙子移去表面的结皮一年后,主要是蓝藻和绿藻形成的结皮,在人工接种后,其丰度和物种的组成又增加,而且苔藓和地衣的种类比对照的含量显著增加,叶绿素的含量也增加 22%—400%;而拓扑学研究证明,没有接种的结皮在 5 年后才恢复 41%。

(6) 结皮的胶结机理和结构

藻类结皮的胶结机理,在国内外有过报道。藻类分泌的胞外蛋白聚糖主要由多糖和蛋白质组成,其疏水性外核同基质的多交换性离子的、小颗粒的粘土矿物质间通过静电吸引而相互作用^[4]。另外,扫描电镜观察发现,藻丝同沙粒相互作用和缠结,有的藻丝直接深入硅质岩内,也可产生胶结作用。

结皮厚度一般在 7 毫米左右。在结皮中,结皮存在着非常精致的结构。在表面一般是丝状蓝藻占优势,中间是绿藻,最下层是绿藻和裸藻等^[3]。

1.3 荒漠藻类对特殊生境的适应

荒漠藻类的生长条件往往是极端恶劣的。荒漠藻在其生长、进化的过程中,成功地发展、完善了一套适应机制,能够在土壤贫瘠,严重缺水,温度变化幅度较大,紫外辐射严重,不适合生物生存的地方(主要是荒漠生境中)生存繁殖。其主要适应性为:

(1) 细胞形态结构的适应

同水生藻类相比,荒漠藻类有着适应荒漠生境的特殊结构。荒漠藻类的藻细胞和藻丝常形成团聚体,如发菜在野外生长形成头发状的藻丝;细胞外被有较厚的粘胶层或胶鞘,在干旱后能够大量吸收水分,为藻体创造一个湿润的微环境。藻类鞘表面往往有许多细菌着生,即使是一些恶劣的环境如温泉中也是如此,可能就是细菌的生长为藻细胞的生长造成一个高浓度的 CO₂ 环境。许多石下生的藻类有着较密的类囊体结构,可以在太阳刚升起、露水比较充足时,吸收更多的阳光进行光合作用。

(2) 藻类的生理生化适应干旱是荒漠地区最主要的环境胁迫因子,干旱往往造成器质性的损伤,如细胞质成分的拥挤现象,膜相变 T_m 的增高,细胞壁胁迫的增加等^[4]。干藻代谢的恢复功能开始于呼吸作用,接着是光合作用,最后是固氮酶活性。干藻粉重新吸水湿润时,藻体的代谢活性能够迅速恢复,其各种代谢酶活性在吸水后几十分钟就可以达到较高的水平。

藻类能够忍受较大的温度变化范围。它可以承受低温,在冰冻的土壤中进行代谢活动,如 *Protococcus*, *Microcoleus* 能够在 -192 ~ -195℃ 长期生存。研究发现,微鞘藻的光合作用的光饱和点和光补偿点升高,适温偏低,暗呼吸速率较低等,从而有利于充分利用光能;同时,在水中 45℃ 时光合活性也保持较高的活性^[6]。在 *N. commune* 的细胞内含有的海藻糖和蔗糖,对质膜具有稳定作用,并能形成透明的玻璃化状态,在 90℃ 时仍能保持稳定,对于干旱和重吸水过程中细胞膜 T_m 的显著降低有很大作用。

同温层臭氧的不断消耗,导致到达地球表面的紫外 B 辐射(UV-B, 280—315 nm)迅速增加。紫外辐射可以抑制许多生物的光化学和光生物学过程。藻类成功发展了一套适应机制以抵消 UV 辐射所造成的伤害。荒漠藻类适应环境的机制有:修复 UV 辐射所造成的 DNA 伤害,积累类胡萝卜素,解毒酶和抗氧化物质,有的机体还发展了一些重要的防止 UV 诱导伤害的 UV 吸收或屏蔽物质,如 *Scytonemin* 和 *MAAs*^[7]。

(3) 生态适应

荒漠藻类主要营光合自养,能够在营养极端贫瘠的环境里,在雨季来临或其间隙,利用露水迅速生长,能够在短时间里完成其生活史。有的藻类则以休眠孢子、合子、异形孢子、厚壁孢子等形式度过极端环境,从而可以繁衍后代。有的藻类可以游动,以处于有利的或避开不利的环境,如 *M. Vaginatus* 的藻丝可以游动,在光线条件合适时处于结皮的上层,在光线不合适时就处于下层。在荒漠隐石生环境中,即使露水仍然存在,藻细胞活性在每天最初的几个小时光合活性仍处于抑制状态。

2 荒漠藻类在环境工程及工农业上的应用前景

2.1 荒漠藻类在环境和拓殖生物上的应用

由于解剖学上的特殊结构(如没有根、茎和叶的

分化等),藻类具有快速吸收水分和营养的能力。藻类对环境污染物是非常敏感的,它们可以快速吸收污物,其造成的伤害或物质变化,在藻细胞的形态和生理生化上可以很快表现出来,从而可以作为生物指示物,应用于环境监测上。

火星在某些方面和地球是非常相象的,如干旱和缺少氧气等。荒漠藻类能够在极端环境条件下生长,这样能够培育一些在火星上生长的藻类,这对于我们了解地球的进化过程和进行宇宙探索,有着深远的意义,如 *Chroococcidiopsis* 是已知最耐旱的光合自养蓝藻,是移植到火星的最佳候选之一。

2.2 荒漠藻类在固沙上的应用研究

荒漠化是当今中国最严重的生态问题之一,近来对发菜(一种荒漠蓝藻)的开采,加速了沙漠化的进程。在中国,最早是应用固氮蓝藻作为稻田有机肥料的作用,并进行了土壤藻类作为土壤肥力物质的应用研究;*M. vaginatus* 在生长过程中分泌的大量胞外多糖,在沙漠土壤改良上有着潜在的应用价值^[6]。因此,利用荒漠藻类和其它灌木、草本植物和高等植物进行综合固沙的实验研究,有着广泛的应用前景,对于解决我国荒漠化问题有着重要的意义。

2.3 荒漠藻类的工农业用途

蓝藻多糖显示出增厚悬浊剂、乳化剂或阳离子螯合物性质。这些结果表明,通过产生胞外多糖蓝藻的开发,可以获得许多类型的生物膜、制药、纺织等多种工业上的新型材料^[8,9]。蓝藻鞘中含有大量抗紫外辐射的 Scytonemin 和 MAAs 物质,如果能够应用于化妆品工业上,也有着巨大的潜在市场。同时,荒漠蓝藻中含有的藻胆蛋白,是一种重要的食品功

能成分,作为天然蓝色素可广泛地应用于食品、饮料(包括酒精饮料)、化妆品和医疗保健品等方面。

3 结 语

荒漠藻类及其生物结皮的研究,有待于生物学、环境科学等的进一步交叉研究,这对于加强我们对荒漠藻类的理论认识,充分利用现有的资源进行荒漠化的治理,丰富我国荒漠化的防治理论,有着重大的意义。

参 考 文 献

- [1] Mazor G et al. The role of cyanobacterial exopolysaccharides in structuring desert microbial crusts. *FEMS Microbiology Ecology*, 1996, 21: 121—130.
- [2] Campbell S E. Soil stabilization by a prokaryotic desert crust: implications for precambrian land biota. *Origins of Life*, 1979, 9: 335—348.
- [3] 胡春香等. 半荒漠结皮中藻类的种类组成和分布. *应用生态学报*, 2000, 11(1): 61—65.
- [4] 李新荣等. 干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植被影响的研究. *植物学报*, 2000, 42(9): 965—970.
- [5] Potts M. Minireview: Mechanisms of desiccation tolerance in cyanobacteria. *Euro. J. Phycol.*, 1999, 34: 319—328.
- [6] 陈兰周,刘永定,宋立荣. 微鞘藻胞外多糖在沙漠土壤成土中的作用. *水生生物学报*, 2002, 26(2): 157—159.
- [7] Sinha R et al. Ultraviolet - absorbing/screening in cyanobacteria, phytoplankton and macroalgae. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 1998, 47: 82—94.
- [8] De Philippis R et al. Assessment of the potential of Nostoc strains from Pasteur Culture Collection for the production of polysaccharide of applied interest. *J. Appl. Phycol.*, 2000, 12: 401—407.
- [9] De Philippis R et al. Exocellular polysaccharides from cyanobacteria and their possible applications. *FEMS Microbiology Reviews*, 1998, 22: 151—175.

THE RESEARCH PROCESS/PROGRESS OF DESERT ALGAE AND CRUST

Chen Lanzhou Liu Yongding Li Dunhai Shen Yinwu Xie Zuoming

(*Institute of Hydrobiology, CAS, Wuhan 430072*)

Abstract Desert algae mainly refer to soil algae growing in desertification regions. The article introduces algal species composition and distribution, affecting factors of algal distribution, the functions in substances cycle, the formation and development of desert crust, and the mechanisms of adaptation in surviving extreme environment of desert algae in arid regions. Desert crust plays an important role in soil hydrological property, soil stabilization and succession of desert ecological system. It also has a significant influence on other organisms. In the end, it introduces the application of desert algae in industry and environmental engineering and the prospect in future research.

Key words desertification, desert algae, desert crust