

## 沙漠结皮中藻类生态的研究

周志刚<sup>①</sup> 程子俊<sup>②</sup>刘志礼<sup>①</sup>

①南京大学生物科学与技术系, 南京, 210093)

②西北师范大学生物系, 兰州, 730070)

Q949.208

A

**摘要** 笔者对宁夏中卫沙坡头干旱区沙漠表面结皮中藻类进行了为时10个月(1991年5月—1992年2月)的定量和定性研究。结果表明,共出现13个属的藻类,其中蓝藻5属,绿藻6属(包括1个未鉴定出的属),硅藻2属。运用稀释平板法得到藻类生物量平均为 $8.117 \times 10^4$  cells/g D.S.。根据结皮土壤的理化性质(包括pH、含水量、电导率、水溶性 $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 的量、交换性盐基总量、全磷量、有机质和凯氏氮)及气候条件(气温、降雨量和土壤温度)分别与藻类生物量的简单相关系数可知影响生物量比较显著的因子有交换性盐基总量( $r=0.683$ )、降雨量( $r=0.712$ )、有机质含量( $r=0.584$ )和水溶性 $Na^+$ ( $r=0.586$ )。进一步运用逐步回归分析的方法,结果表明影响藻类生物量最显著的相关因子是水溶性 $Mg^{2+}$ 和降雨量( $R^2=78.74\%$ )。

**关键词:** 生态, 土壤藻类, 藻类生物量, 沙漠结皮。

藻类, 生态学;

## 前言

藻类一旦在土壤和沙漠中大量生长,它们就能向体外分泌以多糖为主的物质,从而粘结土壤颗粒和沙粒,形成结皮。在提供有机质和增加含氮量(主要由固氮蓝藻),防止土壤侵蚀,沙漠土壤化及沙丘固定等方面起着重要作用<sup>[1,2]</sup>。

早在18世纪中叶,国外的藻类学家就开始研究土壤区系的藻类<sup>[3]</sup>。迄今为止,已有40多个国家和地区见过报道<sup>[4-7]</sup>。其中以俄罗斯和美国的学者研究最多。在国内,藻类学的起步很晚,对于土壤区系中藻类的研究甚少。最早的报告见于陈华癸先生<sup>[8]</sup>,后来,黎尚豪先生也做了一些工作<sup>[9]</sup>。最近,洪英等对柴达木盆地荒漠土壤蓝藻类生态系统做了比较详细的报道<sup>[10]</sup>。

土壤藻类生态的研究,早期是建立在分类体系上的,依据少量而分散的样品,不能给人们一个完整的定性和定量结论。近来有些藻类学家在这方面做了初步尝试<sup>[11-14]</sup>。本文试图从定性和定量两方面作初步研究,通过对沙漠表面结皮中藻类在一个生长期内的数量变化,使之同物理和化学的微环境因子结合起来,得到一个微环境的最佳模拟系统,预示未来的变化,为沙漠治理提供理论依据和新的措施。

## 1 材料与方法

## 1.1 研究区域概况

沙坡头位于腾格里沙漠东南边缘,行政位置在宁夏中卫县境内。由于30多年沿铁路固沙和治沙,现已是固定风沙土。表面结皮较稳定,如果不再遭破坏,流沙难以再起。植被稀疏,主要是柠条(*Caragana korshinskii*)、油蒿(*Artemisia ordosica*)和珍珠柴(*Salsola passerica*)等。

## 1.2 样品的采集

在沙坡头固定风沙土上选取一块10m×10m的正方形样地,然后再等分成100个样方。自

1991年5月份至1992年2月份,每个月定时随机选取4个样方,拣去结皮上植物的碎片、动物的粪粒及其他杂物,用洗净消毒的采样器采集0.5cm厚的表面结皮。把采集的样品放在洗净灭菌的培养皿和磨口试剂瓶中,封口,带回研究。第一次采集过的样方至少隔上4个月再进行第二次采样。

### 1.3 样品的粗处理

取瓶中的样品,仔细拣去残留的植物碎片等杂物,放在研钵中轻轻敲碎,直至全部过0.5mm的分样筛。

### 1.4 物理和化学分析

1.4.1 月平均气温,土壤表面温度(0cm)及月降雨量的数据来自中卫气象局观测站。

1.4.2 土壤含水量 称取适量的过筛样品于已知重量的称量皿中,于105℃干燥18h,然后放于干燥器中冷却至室温,称重。把含水量表示成克水/100克干土(以下表示成g/100gD. S.)。

1.4.3 pH测定 称取过筛样品10.00g放于50ml的小烧杯中,加10ml的去CO<sub>2</sub>蒸馏水,20min后用酸度计测pH;然后再加同样的水,测pH,反复5次,最后外推到未加水时的pH,即是土壤的pH<sup>[15]</sup>。

1.4.4 电导率的测定 基本方法同1.4.3。将用电导率仪测得的值用对数表示出来,然后再外推到没有加水时的对数值,再对此值求反对数即是土壤的电导率<sup>[15,16]</sup>。

1.4.5 交换性盐基总量的测定 1mol NH<sub>4</sub>OAc交换——中和滴定法<sup>[16]</sup>。

1.4.6 土壤水溶性Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>的测定 EDTA络滴定法<sup>[16]</sup>。

1.4.7 土壤水溶性K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>的测定 火焰光度法<sup>[16]</sup>。

1.4.8 土壤含磷量的测定 酸溶——钼锑抗比色法<sup>[16]</sup>。

1.4.9 土壤凯氏氮的测定 凯氏法<sup>[16]</sup>。

1.4.10 土壤有机质的测定 油浴加热——K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>容量法<sup>[16]</sup>。

### 1.5 土壤藻类的培养和鉴定

1.5.1 培养基的选用 选用3种不同的培养基:BG-11培养基、Bristol培养基(Bold 1949年改良培养基)和Knop改良培养基<sup>[17]</sup>。

1.5.2 固体培养基的制备 在液体培养基中加入1%的琼脂,加热溶化后分装到直径为90mm的培养皿中,15磅压力下灭菌30min。

1.5.3 接种 称取培养皿中的样品20g于高效紫外灯下照射2min左右,然后放在250ml三角瓶中加入无菌蒸馏水180ml;振荡20min,制得均一悬浮液。用口径比较大的吸管吸取10ml悬浮液于第二个三角瓶中,加水90ml振荡5min;同样从第二个三角瓶中吸取10ml悬浮液于第三个三角瓶中,再同样于第4个三角瓶中。然后,分别取上述4个等级的悬浮液各1ml接种于制备的培养基上,轻轻摇动使该液遍及琼脂表面。

1.5.4 培养 在4只40瓦的日光灯管(3000—4000lx)的光照培养箱中,光周期光/暗=16h/8h,温度25±5℃下培养1个月。

1.5.5 群落的计数 待培养1个月,按稀释平板法进行藻类群落的计数,以细胞数/克干土表示(即cells/g D. S.)<sup>[17]</sup>。

1.5.6 藻类的鉴定 待培养1个月,显微观察,记录,进行分类鉴定。

## 2 结果

2.1 气候与土壤理化性质

2.1.1 月降雨量与土壤含水量(图 1) 5、6、8 三个月的降雨量较大, 雨水较充沛, 而 11 月和 1992 年 1 月份的降雨量均为零, 体现了西北干旱区的典型特点。土壤含水量在 10 月份之前, 基本上与降雨量成正相关, 但在 10 月份以后, 由于天气寒冷使结皮上冻, 而且水分蒸发量大大下降, 结果使土壤水分含量呈增加趋势, 形成了 1 月份的高峰。

2.1.2 月平均气温和土壤温度(图 2) 两者变化基本一致; 7 月份得到最低值(分别为 23.5 和 32.1℃), 在 1 月份为最低(分别为 -8.0℃ 和 -9.3℃)。从图中可见表面结皮的最高温度要高于同时的气温, 而最低温度要低于同时的气温, 体现了沙漠上沙子传热和散热快的特点, 所以沙漠生物的耐温幅度要宽。这可能是沙漠生物种类和数量稀少的主要原因之一。

2.1.3 图 3 示出土壤电导率和交换性盐基总量的变化曲线; 图 4、图 5 分别表明水溶性 K<sup>+</sup> 和 Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 的变化曲线; 图 6 示出 pH 和全磷量的变化; 图 7 示土壤有机质和凯氏氮含量的变化。

2.2 土壤中的藻类

2.2.1 藻类的鉴定 结果见表 1, 共计有 12 属和一个未鉴定出的绿藻。它们隶属于 3 门: 蓝

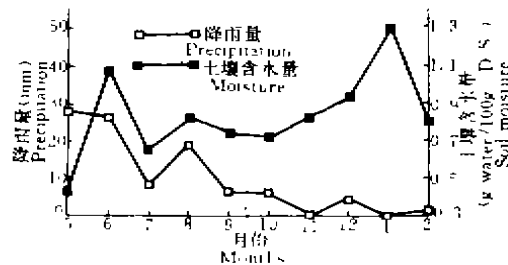


图 1 月降雨量和采样时的土壤含水量  
Fig. 1 Monthly precipitation and soil moisture at time of collection

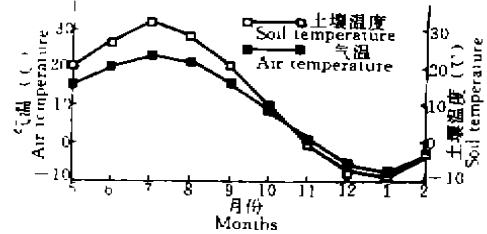


图 2 月平均气温和的土壤温度  
Fig. 2 Monthly means of air temperature and soil temperature(0 cm)

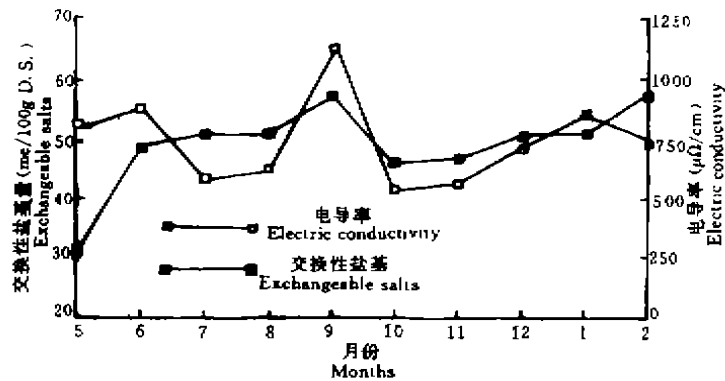


图 3 样品的电导率和交换性盐基总量  
Fig. 3 Electric conductivity and exchangeable salts contents at time of collection

藻、绿藻和硅藻。微鞘藻、席藻、小球藻、绿球藻这 4 属在 10 个月中均有出现; 其次是单歧藻和集球藻; 出现频率最低的是鱼腥藻。硅藻只出现两个属, 其中菱板藻的出现频率要高于舟形藻。

表 1 10 个月中,每月 1 次样品中的土壤藻类  
Table 1 Summary of most frequently occurring soil algae over a 10-month period, from May 1991 to Feb. 1992, sampled once monthly

Phylum 门	Genera 属	Months observed (N) 出现的次数
Gyanophyta 蓝藻门	<i>Microcoleus</i> 微鞘藻属	10
	<i>Phormidium</i> 席藻属	10
	<i>Anabaena</i> 鱼腥藻属	1
	<i>Tolypothrix</i> 单歧藻属	9
	<i>Nostoc</i> 念珠藻属	7
Chlorophyta 绿藻门	<i>Protococcus</i> 原球藻属	7
	<i>Palmellocooccus</i> 集球藻属	9
	<i>Chlorella</i> 小球藻属	10
	<i>Gloeoecystis</i> 胶球藻属	5
	<i>Chlorococcum</i> 绿球藻属	10
	Unidentified 未鉴定的属	9
Bacillariophyta 硅藻门	<i>Hantzschia</i> 菱板藻属	8
	<i>Nannicula</i> 舟形藻属	5

(1991 05—1992 02)

2.2.2 藻类生物量 通过稀释平板法计算藻类的群落数,可知每克土壤所含的藻类数,结果,表明在 7 月份和 12 月份出现两高峰,分别为  $1.3 \times 10^6$  和  $1.672 \times 10^6$  cells/g D. S. (图 8)。

2.2.3 数据分析和处理 在数据分析中采用了方差和逐步回归分析<sup>[18,19]</sup>。对于藻类生物量是采用转换后的对数作为依变量。在回归分析中,涉及到 14 个变量:气温和降雨量;土壤温度和土壤含水量;pH,电导率,水溶性阳离子( $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ ),交换性盐基总量,有机质,含磷量和凯氏氮的量。回归方程是在  $F$ ,  $R^2$  及所有相关系数都在 0.05 显著水平上。

通过回归分析,得到  $Y = 4.586 + 6.238X_1 + 0.0429X_2$  ( $R^2 = 78.74\%$ ), ( $X_1$  是  $Mg^{2+}$  的量,  $X_2$  是降雨量,  $Y$  是藻类生物量的对数值)。由于在回归方程中是把藻类生物量

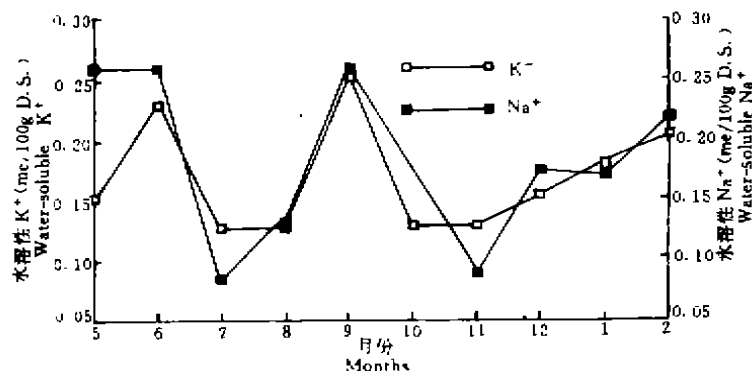


图 4 土样中水溶性  $K^+$  和  $Na^+$  离子的含量

Fig. 4 Contents of water-soluble  $K^+$  and  $Na^+$  at time of collection

的对数值作为依变量  $Y$ , 可根据回归方程的显著自变量对未来时间内藻类生物量做预期的估计。

### 3 讨论

#### 3.1 结皮中藻类的定性分析

在土壤表面结皮中,大量丝状的席藻、微鞘藻和单歧藻形成密集的网状,从而固定沙粒,而其他藻类,如绿藻,则不能如此。可能是由于土壤的碱性很大,限制了喜欢酸性条件下生长的绿藻。干旱是此地区的典型特征,所以不可能出现大量不同种类的藻。在有雨水和适宜的温度下,这些藻类就又迅速恢复生长。值得一提的是微鞘藻,胶鞘很厚,一旦降雨就迅速吸水,以致吸水后的体积达到原来体积的 4 至 5 倍<sup>[20]</sup>。由于鞘的成分是以多糖为主,具有亲水性,以致吸收的水分一时难以丢失,维持藻体短期内迅速生长的需要。绿藻中胶球藻的胶被也有这个作用。

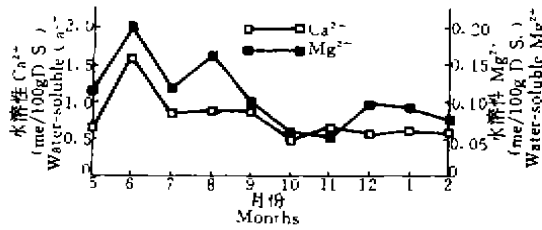


图5 土样中水溶性Ca<sup>2+</sup>和Mg<sup>2+</sup>离子的含量

Fig. 5 Contents of water-soluble Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> at time of collection

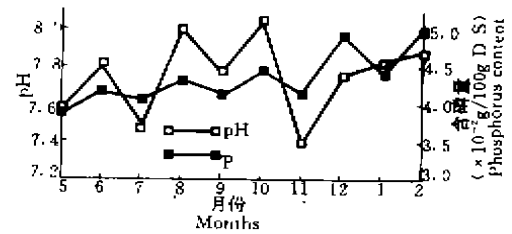


图6 10个月中土样pH和含磷量的变化

Fig. 6 Changes of pH and phosphorus content over a 10-month period

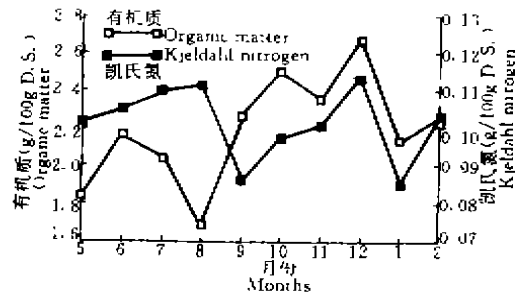


图7 土样有机质和凯氏氮的含量

Fig. 7 Organic matter content and Kjeldahl nitrogen content at time of collection

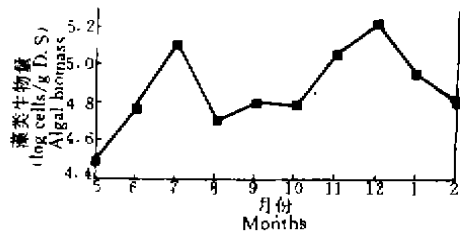


图8 10个月中藻类生物量对数值的变化

Fig. 8 Change of logarithm algal biomass over a 10-month period

念珠藻和单歧藻这两个高频率出现的土壤藻类,根据朱浩然先生的报道<sup>[21]</sup>,能进行固氮作用,他们是供给土壤氮素的主要藻类。由于在凯氏氮的测定时,未除去固氮细菌的作用效果,所以测出的含氮量是蓝藻和固氮细菌的共同结果。

绿藻的大量出现,对土壤的有机质供给起着很大的作用。一方面,它们可向体外分泌以多糖为主的分泌物;另一方面,死亡的藻体又供给土壤有机物,为固氮细菌和其他异养微生物生长提供碳源。

硅藻出现的种类很少,频率不高,可能与它们对于干旱的忍耐力较小有关<sup>[4]</sup>。

### 3.2 结皮中藻类的定量分析

3.2.1 微环境的因子的分析 沙坡头属于干旱地带,土壤表面结皮的含水量极小,平均值为0.828g/100g D.S. 主要原因:一方面年降雨量小(采样的这10个月中年降雨量为101.5mm);另一方面,空气湿度小,蒸发量大。由于降雨量对藻类生物量的影响比较显著。因此,藻类需要的水分一方面来自降雨量,另一方面可能要用空气中的水汽和露珠来维持生命<sup>[4]</sup>。

pH与藻类生物量无相关性,但对藻类的分布却有影响。例如中性和碱性有助于蓝藻的发育和生长,在酸性环境中,绿藻则占优势<sup>[1,4]</sup>。

土壤水溶性盐基及其成分的结果表明,Ca<sup>2+</sup>的含量明显地要高于其他3种离子,Mg<sup>2+</sup>的

含量最小,这可能与  $K^+$ 、 $Na^+$  的量比较大有关,因为 Hunt 等认为,水溶性  $K^+$  量的增加会导致  $Mg^{2+}$  量的降低<sup>[12]</sup>。土壤中交换性盐基( $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ )的总量,总的来说,变化很小。由于土壤胶体溶液中供交换性的阳离子不同,导致对藻类生长的影响不一样,实验结果表明在一定范围内呈正相关。

气温对土壤温度的变化呈高度的正相关性,变化规律是夏季高,冬季低。由于藻类的耐高温(尤其在干旱情况下)和忍受低温的能力比较强,导致温度对藻类生物量的影响较小( $r=0.362$ )。就其生理来讲,可能由于藻细胞的酶对温度的敏感性差,再加上胶鞘的保护,尽管在较高或较低的温度下,仍然具有活性,保证了藻体正常的生命活动。

**3.2.2 结皮中藻类生物量的变化** 通过简单相关系数计算可知,影响藻类生物量比较显著的原因在于有交换性盐基总量( $r=0.683$ )、降雨量( $r=0.712$ )、有机质含量( $r=0.584$ )和水溶性  $Na^+$  ( $r=0.586$ )。

交换性阳离子( $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ )的供给有助于藻类生长,为藻类的大量繁殖提供了必需的矿质营养。水溶性  $Na^+$  的影响较显著,可能与藻体中的能量代谢有关,因为它参与 ATP 的合成与能量释放利用。

降雨量表现得特别显著。一旦降雨,藻体及其外面的胶鞘吸水膨胀,可供给藻体迅速分裂繁殖(包括藻丝体的断裂,细胞分裂及繁殖胞的萌发等)必需的生理水分,使藻类的群体数量明显增加。

藻类属于自养型植物,可通过光能将  $CO_2$  合成为自己需要的有机物,但有机质含量对藻类生物量的影响比较显著的原因在于沙漠结皮中不仅有藻类,而且还有其他的生物,例如菌类、苔藓、地衣及少量的高等植物和一些原生动植物及昆虫等,特别是菌这类异养型微生物,需要有机碳源,在生长过程中能向体外分泌代谢产物,这些物质可促进或抑制其他生物体的生长。根据有机质对藻类生物量显著相关性的实验结果来推测,一定土壤区系中生长的微生物在一定程度上对藻类生物量有促进效应。这也是我们在实验室中运用少量的土壤悬浮液接种进行藻类培养的主要原因。

**3.2.3 通过逐步回归分析可知,结皮中水溶性  $Mg^{2+}$  对藻类生物量的影响比较显著。** Gerloff 和 Fishbeck(1969)报道说在研究的 3 种蓝藻和 2 种绿藻中它们对  $Mg^{2+}$  临界的细胞浓度的需要高于对  $Ca^{2+}$  和  $K^+$  的要求,而对  $Ca^{2+}$  的要求是比较低的,对  $K^+$  的要求视种类而异<sup>[22]</sup>。同时  $Mg^{2+}$  也是代谢和叶绿素合成的必需元素。因此,在一定的范围内, $Mg^{2+}$  的增加促进了藻类生物量的增加。

作为藻类生态的研究,如果能把真核和原核生物以及生物之间的相互作用,分别加以分析,结果会更令人满意。本文没有把流沙作为研究对象,是因为它们的生态环境(主要指风和温度)变化极大,这样研究起来将是一个极其复杂的工程。不过,我们的实验结果(数据未在这里给出)表明藻类对流沙的固定作用是很大的,因此,能够把沙漠中的藻类生态与藻类对沙漠的作用联系起来,不仅在理论上得到系统的阐述,而且给藻类在固沙治沙工作方面指明前景,这将是一个很有意义的工作。所有这些都还有待于进一步完善。

### 参 考 文 献

- 1 Shields L M and Durrell L W. Algae in relation to soil fertility. *Bot. Rev.*, 1964, 30(1):92—128
- 2 Booth W B. Algae as pioneers in plant succession and their importance in erosion control. *Ecology*, 1941, 22(1):38—46
- 3 Tiffany L H. Ecology of freshwater algae, in: G. M. Smith, ed, *Manual of Phycology*, Chronica Botanica Co., Waltham, Massachusetts 1951, 303—305
- 4 Metting B. The systematics and ecology of soil algae. *Bot. Rev.*, 1981, 47:195—312
- 5 Kabbia I A and Shabana E F. Studies on the soil algal flora of Egyptian Bahariya oasis. *Egypt. J. Bot.*, 1988, 31(1):23—44

- 6 El-Kheir, Abou W. S and Mekkey L. E. Notes on soil algae in different regions in Egypt, *Phytologia* 1987, 61(7):429—433.
- 7 Angela N S. Soil algae of Castro de Elvina (Oza, Lu Coruna, Spain). *An. Jard. Bot. Madr.*, 1990, 47(2):361—304
- 8 陈华姿, 土壤中的藻类植物, 土壤季刊, 1942, 2(2):77—80
- 9 Lee S H. The subaerial algae from the Paracel Islands in the South China Sea. *Bot. Bull. Acad. Sin.*, 1948, 2(4):235—242
- 10 洪英, 李尧英, 黎尚豪. 柴达木盆地荒漠土壤蓝藻群落的初步研究. 植物学报, 1992, 34(3):161—166
- 11 Reynaud P A. Ecology of nitrogen-fixing cyanobacteria in dry topical habitats of West Africa: A multivariate analysis. *Plant and Soil*, 1987, 98:203—220
- 12 Hunt M E, Floyd G L and Stout B B. Soil algae in field and forest environments. *Ecology*, 1979, 60(2):362—375
- 13 Shummel S M and Darley W M. Productivity and density of soil microenvironments in an agriculture system. *Ecology*, 1985, 66(5):1439—1447
- 14 Metting B and Rayburn W. Algal communities and soil microenvironments in an eastern Washington silt loam. *Soil Sci.*, 1979, 127:74—78
- 15 Smith DW and Brock T D. The water relations of the alga *Cyanidium caldarium* in Soil. *J. Gen. Microbiol.*, 1973, 127:74—78
- 16 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983
- 17 (日)土壤微生物研究会. 叶维青等译. 土壤微生物实验法. 北京: 科学出版社, 1983
- 18 王宏年. 生物统计学. 兰州: 兰州大学出版社, 1988
- 19 姜藏珍, 张述义. 微型机与农业试验统计. 北京: 高等教育出版社, 北京: 1989
- 20 Durrell L W and Shields L W. Characteristics of soil algae relation to crust formation. *Trans. Am. Microbiol. Soc.*, 1961, 80(1):73—79
- 21 朱浩然. 藻类的特征、分类系统和经济意义. 南京大学学报(自然版), 1982, 18(6):25—56
- 22 Gerloff G C and Fishbeck K A. Quantitative cation requirements of several green and blue-green algae. *J. Phycol.*, 1969, 5:109—114

## STUDY ON THE ECOLOGY OF ALGAE IN SURFACE CRUST OF DESERT

Zhou Zhigang, Cheng Zijun\*, Liu Zhili

(Department of Biological Science and Technology  
Nanjing University, Nanjing, 210093)

(\* Department of Biology, Northwest Normal University Lanzhou, China, 730070)

Soil algae in surface crust of desert in Shapotou were identified and studied over a 10-month period (from May 1991 to February 1992). The results showed that 5 genera of Cyanophyta, 6 genera of Chlorophyta and 2 genera of Bacillariophyta occurred at this site. The average algal biomass in soil was  $8.117 \times 10^4$  cells/g dry soil. Meanwhile, the physical and chemical properties of soil in crust were analysed, which included pH, water-soluble cations ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ), moisture, electric conductivity, exchangeable salts, phosphorus, organic matter and Kjeldahl nitrogen. Regarding these properties and other three climatic factors (i. e. air temperature, soil temperature and precipitation) as independent variables, we worked out the coefficient of correlation between each of them and the biomass. According to the results, the more significant factors affecting the algal biomass were exchangeable salts ( $r=0.683$ ), precipitation ( $r=0.712$ ), water-soluble  $Na^+$  ( $r=0.586$ ) and organic matter ( $r=0.584$ ). In terms of the further study of the multiple regression equation obtained, the more significant factors showing a relationship with algal biomass were water-soluble  $Mg^{2+}$  and precipitation,  $R^2=78.74\%$ .

**Key words:** ecology, soil algae, desert crust, algal biomass.