

光强和光质对底栖藻类群落影响 II. 群落和种群的动态和适应模式

庄树宏¹, Hendrik Sven²

(1. 烟台大学 化学与生物理工学院, 烟台 264005; 2. 德国 Rostock 大学海洋实验生态研究所, Rostock D-18051)

摘要:将原始河口底栖藻类群落移植至实验室进行培养。底栖藻类群落分别由占细胞总量 93.33% 的硅藻类群、5.42% 的绿藻类群和仅占 1.25% 的单一蓝藻种群组成。通过对底栖藻类群落总体、不同藻类类群和单一种群在不同光照强度的白光和单色光下的适应模式和增长动态的研究发现, 底栖藻类群落总体增长动态为弱光适应型、红光敏感型和蓝光抑制型, 其细胞生长的敏感光照依次为: 红光 > 低光强 > 中光强 > 高光强 > 绿光 > 蓝光。底栖藻类群落总体对不同光照的适应模式由底栖硅藻类群增长动态所决定。底栖绿藻类群总体增长的敏感光照依次为: 低光强 > 红光 > 中光强 > 绿光 > 高光强 > 蓝光, 绿藻类群在不同的光照处理下呈现 3 种适应模式。硅藻类群总体对不同光照的敏感状况与底栖藻类群落总体趋同, 在不同光照处理下仅呈现一种适应模式。蓝藻 *Oscillatoria tenuis* 种群的增长的敏感光照为: 红光 > 白光 > 绿光 > 蓝光, 其对光的适应模式有 3 种。7 种绿藻种群在不同光强的白光、红光和绿光表现出 2 种适应模式, 在蓝光下基本皆呈衰退型。21 种硅藻种群对不同光照的适应模式可分为 4 种类型, 强竞争型、弱竞争型、增长型和衰退型。

关键词:底栖藻类; 群落; 种群动态; 光强; 光质

The effects of light intensity and quality on benthic algae communities II the dynamics and adaptive modes of community and populations

ZHUANG Shu-Hong¹, Hendrick Sven² (1. Inst. of Biol. Sci. and Chem. Eng., Yantai University, Yantai 264005; 2. Institute of Marine Exp. Ecol. Rostock University, Rostock D-18051, Germany). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2057~2066.

Abstract: The effect of light intensity and quality on the population and community dynamics was researched in series. In this study the original benthic algae community was transferred into experiment room by using special technique detailed in the text. The algae community which was colonized on the bottom of estuary was composed of 3 algal phyla, benthic *Bacillariophyta* with 93.33% of cell totals in the community (of 21 species), benthic *Chlorophyta* with 5.24% of cell totals (of 7 species) and *Cyanophyta* with 1.25% of total cell counts (of only 1 species). It was demonstrated that the growth of total benthic algal community was adapted to low light intensity, sensitive to red light and inhibited by blue light, the light regime under which the cell density of total benthic community got greatest increase ranked as following: red light > low white light > mid white light > high white light > green light > blue light, and its adaptive models to light regimes were determined by the dominant guild *Bacillariophyta*. The sensitivity order of light to which the growth of total benthos *Chlorophyta* of 7 species became sensitive were: low white light > red light > mid white light > green light > high white light > blue light, and the all populations of *Chlorophyta* fluctuated with 3 types of adaptive modes to all light regimes. The first type of adaptive model occurred under the light regime of mid white light, low white light, red light and green

基金项目:德国 DAAD 研究基金资助项目

收稿日期:2000-01-28; **修订日期:**2000-10-01

作者简介:庄树宏(1957~)男, 山东招远人, 副教授, 主要从事潮间带与河生物多样性研究

light, and total *Chlorophyta* phyla in cell density showed quickly increased in the first 2 weeks and then sharply decreased in the third week. The second type was found under high white light in which the total *Chlorophyta* phyla grown slowly, the cell density was lower than under other light regimes, but higher than under blue light, with that the population growth of *Chlorophyta* was strongly inhibited, named the third type. Since *Bacillariophyta* was the absolute dominant benthic algal group, it trended identical to the total of benthic community in the adaptation to all light regimes, showed only one adaptive mode. The cell density of total *Bacillariophyta* increased in the first 2 weeks and reached its peak, then became decreased sharply in the third week. The growth of *Oscillatoria tenuis* of *Cyanophyta* was most sensitive to red light, successively white lights, green light and blue light, it showed 3 types of adaptive modes in population dynamics to light regimes. The first type took place under all white light in which the cell density increased slowly but continuously over the treatment period. The second type was found under red light with which the cell density got sharp increase in the first 2 weeks and some decrease in the third week. The third type occurred under green and blue light with that the cell density grown slowly in the first 2 weeks and decreased greatly in the third week. It was suggested that the population dynamics of 7 *Chlorophyta* species under white lights and green light merged two adaptive modes, and declined under blue light. In the first adaptive mode the 7 *Chlorophyta* species showed continuous increase over the 3-week-treatment, while in the second adaptive mode the population growth was heavily inhibited in the first week, but began to increase and reached its peak in the second week, in the third week began to decline sharply. The population dynamics of 21 *Bacillariophyta* species under all light regimes showed 4 adaptive modes, i. e. I-strong competitive, II-weak competitive, III-increasing and IV-declining. Under the white light regimes most *Bacillariophyta* populations demonstrated adaptive mode I, and further more with the decrease of light intensity more *Bacillariophyta* species became the adaptive mode I. Under all white light regimes the population of *Achnanthes lanceolata*, *Cymbella sinuate*, *Fragilaria vaucheriae*, *Gomphonema* and *Nitzschia* showed adaptive mode I. With high and mid white light the 3 population of *Cyclotella meneghiniana*, *Achnanthes minutissima* and *Navicula laceolata* behaved as mode III. Populations *Cymbella ventricosa* and *Navicula avenacea* demonstrated decline in growth (mode IV) under high white light, while under mid and low white light they became weak competitive growth (mode II) and strong competitive growth (mode I) respectively. Under red and green light the population of *Melosira varians*, *Achnanthes linearis*, *Cymbella ventricosa*, *Gomphonema olivaceum*, *G. intricatum*, *Navicula avenacea*, *N. lanceolata* and *Cocconeis* showed strong competitive growth (mode I). There existed much difference in the adaptive mode I of *Bacillariophyta* populations to red and green light. Since the blue light greatly inhibit the growth of benthic alga, all benthic populations of *Bacillariophyta* stagnated in growth and began decline in third week except the 3 species of *Achnanthes linearis*, *Gomphonema intricatum*, *G. parvulum* and 2 species of *Cocconeis*, which persist in adaptive mode I. Most of benthic species of *Bacillariophyta* showed weak competitive growth (mode II) under blue light.

It should be stressed that almost all benthic species of *Bacillariophyta* changed their adaptive mode to deferent white light intensity and monochromatic lights.

Key words: Benthic algae; community; population dynamics; white lights; monochromatic lights

文章编号:1000-0933(2001)12-2057-10 中图分类号:Q945 文献标识码:A

作者在对光强和光质对河口底栖藻类群落和种群增长动态的系列研究中发现,底栖藻类群落和种群的增长速度(Chlorophyll-a 含量 mg/m^2)与白光的光强呈负相关^[1],其最大和最小增长速度分别在红光下和蓝光下获得,绿光下略优于蓝光。且发现了红光对底栖藻类光合作用速率的促进作用和蓝光对藻类细

胞生长的抑制和伤害作用^[1-4]。本实验拟主要研究在实验室受控条件下底栖藻类群落和种群对不同光强白光和不同波长单色光的生长动态和适应类型。由于对藻类的生态学实验研究多集中在单一或少数种群^[1-4],故对自然底栖藻类群落和诸多种群的整体生态学研究将对了解河流生态系统底栖藻类群落的结构和动态以及区域水环境的检测具有重要的生态学和应用价值。

2 材料与方法

2.1 附着基质的制备和底栖藻类的附着

将 5 条 3cm×1.5cm×40cm 的木条用 10cm×30cm 的白色透明的人造丝条缠绕。丝条的边缘用防水胶带固定,以保证只有暴露面供底栖藻类附着(图 1)。将准备好的基质用铁钉固定于河底(Zinster Estuary, Germany)供底栖藻类种群附着。4 周后取出放入装满河水的容器内,用黑色塑料盖住,运回实验室。

1.2 培养基的配置

配置 18 升 CHU 氏 10 号培养液^[1,6]与过滤的河水混合,调整至河水的 pH 值(pH8.2),以此作为培养液。将 180 只各装有 150ml 培养液的锥形瓶在 121℃ 及 15 大气压下灭菌 20min,以备接种。

1.3 藻类的接种与培养

在实验室无菌条件下将附着有底栖藻类的人造丝条剪成 1cm×3cm 条块,用无菌河水冲洗后,装入上述盛有培养液的锥形瓶中,每瓶一条。而后将其放入生长室中,生长室温度为 17±2℃,光照变化为:昼 16h,夜 8h。

2.4 光照强度和光质

采用白色荧光灯作为光源,光照强度用 ISCO-SR 型辐射计测定。生长室内的最大光强为 29.1 W/m²,30 个培养瓶作为一组进行高光强 29.1 W/m²、中光强 11.0 W/m² 和低光强 5.5 W/m² 的处理,光照强度由中性的滤光片调节。另外 3 组中每组 30 个培养瓶分别在红光(3.2 W/m²)、绿光(0.87 W/m²)和蓝光(0.61 W/m²)下处理,光质由滤光片控制。所有培养瓶被放置在能保证底栖藻类生长所需的水流速度的摇床上进行培养。

1.5 生长速度的测定

底栖藻类的生长速度采用直接细胞计数法来测定。当样本从河流现场运至实验室后,先对 2 条(1cm×3cm)人造丝条上的附着底栖藻类进行细胞计数,作为初始值。而后每周从不同光照处理下取 3 个培养瓶中的藻类进行细胞计数^[1,2,7]。

2 结果与分析

2.1 生态因子的野外调查

在底栖藻类附着的过程中对取样处河流的温度和光照强度进行了测定。水温的变化范围 14.5~16.3℃,河底部的光照强度为 5.5~25.5 W/m²。河底砾石上附着的藻类在同时期的 7 和 8 月份在 7000~8000 cells/mm² 之间。培养室的温度模拟接近野外河底的水温,最小光照强度同野外的基本一致,而最高光强大于野外的最高光强。在自然状态下底栖藻类种群的生长是由诸多生态因子共同作用之结果,而光照是其中重要的限制性生态因子。因此本实验室的结果也不会完全与在野外的调查结果相符合^[2,4,5]。

2.2 底栖藻类群落总体的光适应模式

图 2 示实验底栖藻类群落总体、不同藻类类群的初始和连续 3 周(21d)光处理下细胞密度(Cell density)的变化动态。所研究的底栖藻类群落由硅藻、绿藻 2 大类群和单一的蓝藻种群组成,它们分别占群落细胞总量的 93.33%、5.42% 和 1.25%。在所有的光处理下底栖藻类群落总体的细胞密度在前 2 周皆呈迅速增长趋势,第 2 周末达到最大值,第 3 周始明显下降。群落的最大细胞密度在红光下获得,依次为低

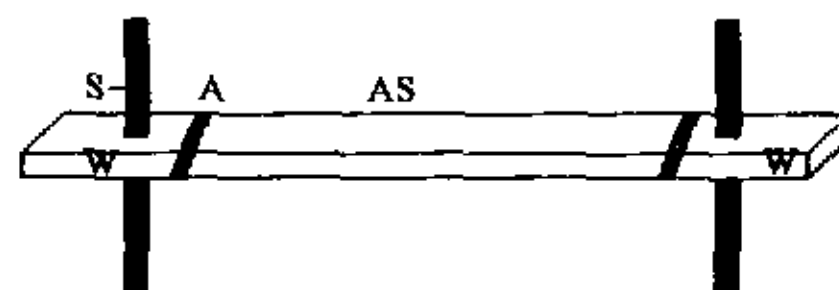


图 1 固定于河床底部的藻类附着装置示意图(A:防水胶带,AS:人造丝条带,S:铁钉,W:木版)

Fig. 1 Diagram to illustrate the colonizing substratum and fixing method (A:waterproof adhesive, AS:acetate sheet, S:iron stakes, W:wood bar)

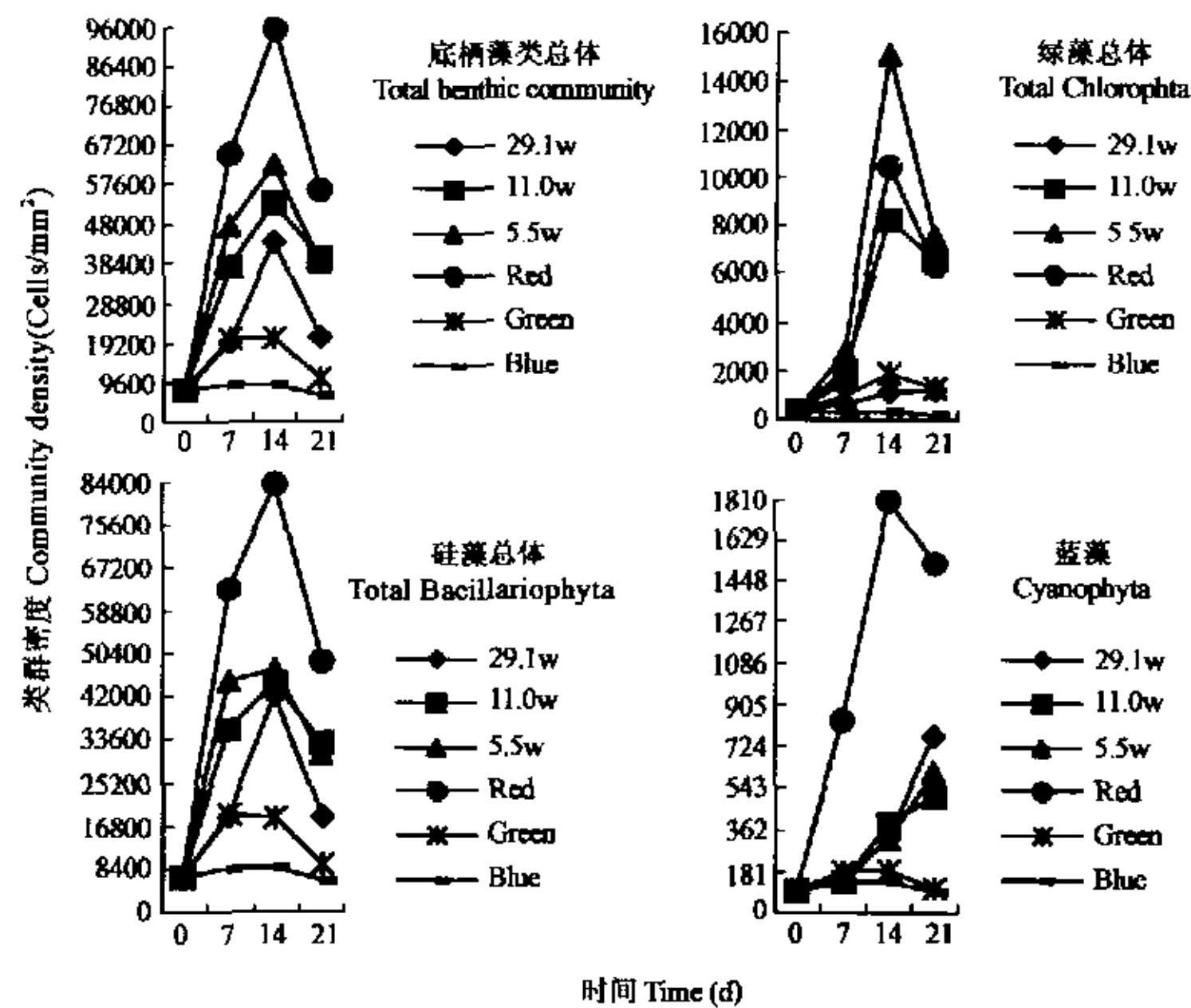


图2 不同白光和光质下底栖藻类群落总体和不同藻类类群总体密度变化动态

Fig. 2 Density dynamics of total benthic community and each phylum under white lights and monochromatic lights

光强(5.5 W/m²)、中光强(11.0 W/m²)和高光强(29.1 W/m²)的白光下,说明底栖藻类的生长为低光强适应型或高光强抑制型,且红光下生长最快,属红光敏感型(图2:底栖藻类总体)。这一实验结果与作者对底栖藻类群落叶绿素a(Chlorophyll-a)的变化动态相吻合^[1]。在实验末期(第3周)培养液中营养元素的缺乏是引起藻类细胞生长缓慢,乃至死亡和解体的主要原因。作者在前一研究中已经证实,实验末期藻类群落细胞中叶绿素a含量降低,而缺镁叶绿素a(Phaeophytin a)的含量大幅增高^[1]。

在不同的光照处理下,底栖藻类群落在蓝光下生长最为缓慢,细胞密度最低。诸多研究证明,蓝光和近紫外光能抑制许多植物、动物和微生物的生长^[9,10],蓝光具有破坏细胞色素,尤其是细胞色素a₃(Cytochrome a₃)的作用^[8,11]。由于红光能以高效激活叶绿素分子,因而可加速光合作用速率,并导致藻类细胞内叶绿素等细胞内含物的提高和细胞分裂的加快^[1]。在本实验中3周的红光处理下,底栖藻类群落的细胞密度始终大大高于其他光照处理下的细胞密度。绿光处理下其细胞密度明显低于红光和其他白光处理下,但明显高于蓝光处理下。

综合底栖藻类群落总体对不同光处理的反应可发现,其生长敏感光照依次为:红光>低光强>中光强>高光强>绿光>蓝光。

2.3 不同底栖藻类类群的光适应模式

2.3.1 底栖绿藻类群总体的光适应模式 底栖绿藻类群总体对光照的反应呈3种适应类型(图2:绿藻总体)。类型Ⅰ发生在中、低光强的白光及红光和绿光的处理下,绿藻类群总体在处理的前2周呈快速增长,第2周末细胞密度达到最大值,第3周始迅速下降,但仍高于第1周末的细胞密度,其变化动态与藻类群落总体的趋同。类型Ⅱ表现在高光强的白光下,绿藻种群的生长相对缓慢,但细胞密度在3周内仍呈增长趋势,其细胞密度与其他光处理相比处于相当低的水平,但仍高于蓝光下。Wetzel早在1975年曾研究发现,强光照对许多藻类细胞生长具有伤害和抑制作用,所研究底栖绿藻的诸多种类应属于强光照抑制型^[1]。作者在研究中亦发现,强光照处理下底栖藻类细胞内叶绿素a的含量大量减少,细胞失绿

(Chlorosis), 叶绿素 a 受到强光照的破坏,而这主要由叶绿素酶的活性在强光下被激活所致^[1,8,9,11]。类型 II 为在蓝光下呈现的下降型,在 3 周的蓝光处理期间细胞密度始终最低且持续下降,这表明蓝光对底栖绿藻类群细胞生长的特别抑制和伤害作用,许多学者认为此伤害作用是由于蓝光对藻类细胞的代谢过程的抑制所致^[5,9,11]。因此底栖绿藻类群的生长应属于蓝光抑制型。由图 2 可看出,在蓝光处理下第 1 周内底栖绿藻类群总体的细胞密度已明显低于初始值,表明第 1 周已有大量细胞死亡解体。与其相反,在蓝光处理下的第 1 和第 2 周内,底栖绿藻类群细胞内叶绿素 a 的含量却高于其初始值^[1],这被认为是实验蓝光的光强较低,使叶绿素 a 在低光强下得以形成。由此看来,实验中所采用的蓝光(0.61 W/m^2)在光强度上类似于低光强的白光,而低光强的白光可促进细胞内叶绿素 a 的含量^[1,1]。

综合底栖绿藻类群总体对不同光照的适应类型,其细胞生长敏感的光照与底栖藻类总体不同,依次为:低光强>红光>中光强>绿光>高光强>蓝光。

2.3.2 底栖硅藻类群总体的光适应模式 底栖硅藻类群总体对所有光处理的适应表现较为一致,其总体细胞密度在前 2 周内呈上升趋势,第 2 周末达到最大值,第 3 周始大幅下降至低于第 1 周末的水平(图 2;硅藻总体)。与藻类群落总体的光适应类型比较可发现,二者细胞生长敏感的光照完全相同。由于底栖硅藻的细胞密度远远高于其他藻类类群,在底栖藻类群落中硅藻类群为优势群组(dominant guild),其对不同光照的适应模式必然决定着底栖藻类群落总体的适应模式。Rau 及 Krinsky 等研究指出,类胡萝卜素对植物的细胞具有重要意义,其功能之一是可作为细胞对高辐射的防护物质,硅藻细胞色素体中高含量的类胡萝卜素对其在高光强有害辐射下的生长代谢具有重要作用^[10,12]。虽然在本实验中蓝光的光强较低,但从硅藻的增长趋势可看出,其对藻类细胞的生长已产生一定的伤害作用。

2.3.3 底栖蓝藻种群的光适应模式 在本研究的底栖藻类群落中仅发现一种蓝藻 *Oscillatoria tenuis*。在所有光处理下蓝藻种群表现出 3 种适应模式。类型 I 发生在白光处理下,*Oscillatoria tenuis* 种群的细胞密度在 3 周内呈持续增长,对光照强度反应迟钝(图 2;蓝藻),且细胞密度始终高于在蓝光和绿光下,但总低于红光下。类型 II 出现在红光处理下,种群密度在前 2 周大幅攀升,第 3 周有所下降,但仍高于第 1 周的种群密度。类型 III 发生在绿光和蓝光处理下,种群仅在前 2 周有微小增长,第 3 周大幅下降,很显然绿光和蓝光皆非蓝藻光和色素的敏感辐射。可以看出,*Oscillatoria tenuis* 种群生长对不同光处理的敏感度依次为:红光>白光>绿光>蓝光,且红光下的种群密度明显大于其他光处理,说明蓝藻的辅助光和色素藻蓝蛋白(Phycocyanin)对红光具有很强的捕获作用,属于红光敏感型。而在不同光强的白光下,种群的密度变化不大,又为光强迟钝型。显然亦为绿光和蓝光抑制型。

2.4 不同底栖藻类种群的光适应模式

2.4.1 底栖绿藻种群的光适应模式 所研究的 7 种底栖绿藻种群在白光下呈现 2 种适应类型(图 3)。第一种类型为持续增长型,表现为在 3 周的白光处理下种群的密度持续上升。*Ankistrodesmus falcatus*, *Chlamydomonas* sp. 和 *Cosmarium botrytis* 属于该类型。*Scenedesmus bijugatus* 在高光强下也演变为该适应类型。这些绿藻种群对光照强度的耐受范围宽,在高光强下可持续增长,低光强下生长迅速,且在资源匮乏的情况下为竞争力强的优势种群。第二种类型是适应增长型,其表现在第 1 周种群的增长严重受抑制,为适应阶段,第 2 周迅速攀升并达到高峰,第 3 周开始大幅下降。*Chlorella vulgaris* 和 *Scenedesmus* 各种群属于该类型。尤其值得注意的是 *Scenedesmus* 各种群表现为典型的低光强适应型,在高光强下种群密度很低,而在中低光强下迅速增长,成为低光强下的优势绿藻种群。

在红光下除了 *Chlorella vulgaris* 表现为持续增长的适应模式外(图 4;红光),其他 6 种群皆表现为前 2 周持续快速增长,第 3 周下降的生长模式,且第 1 周种群密度增长较缓慢。由于绿藻类群的生长为红光和低光强敏感型,从图 4 可清楚看出,3 周红光处理下各种群的密度远高于高光强、蓝光和绿光下,而同低光强下的种群密度接近。*Chlorella vulgaris* 和 *S. bijugatus* 二种群在绿光下表现为持续增长适应模式,表明二种群为绿光适应型,其他 5 种群表现为前 2 周快速增长,第 3 周下降的增长模式。由于蓝光对藻类细胞生长的伤害和抑制作用,所有绿藻种群在 3 周的蓝光处理下皆呈下降趋势,*Chlorella vulgaris* 在第 1 周便从群落中消失,为蓝光绝灭型。*Cosmarium botrytis* 和 *Scenedesmus* 各种群在 3 周内生长缓慢,种群密

度在初始值周围波动,为蓝光抑制型(图4:蓝光)。

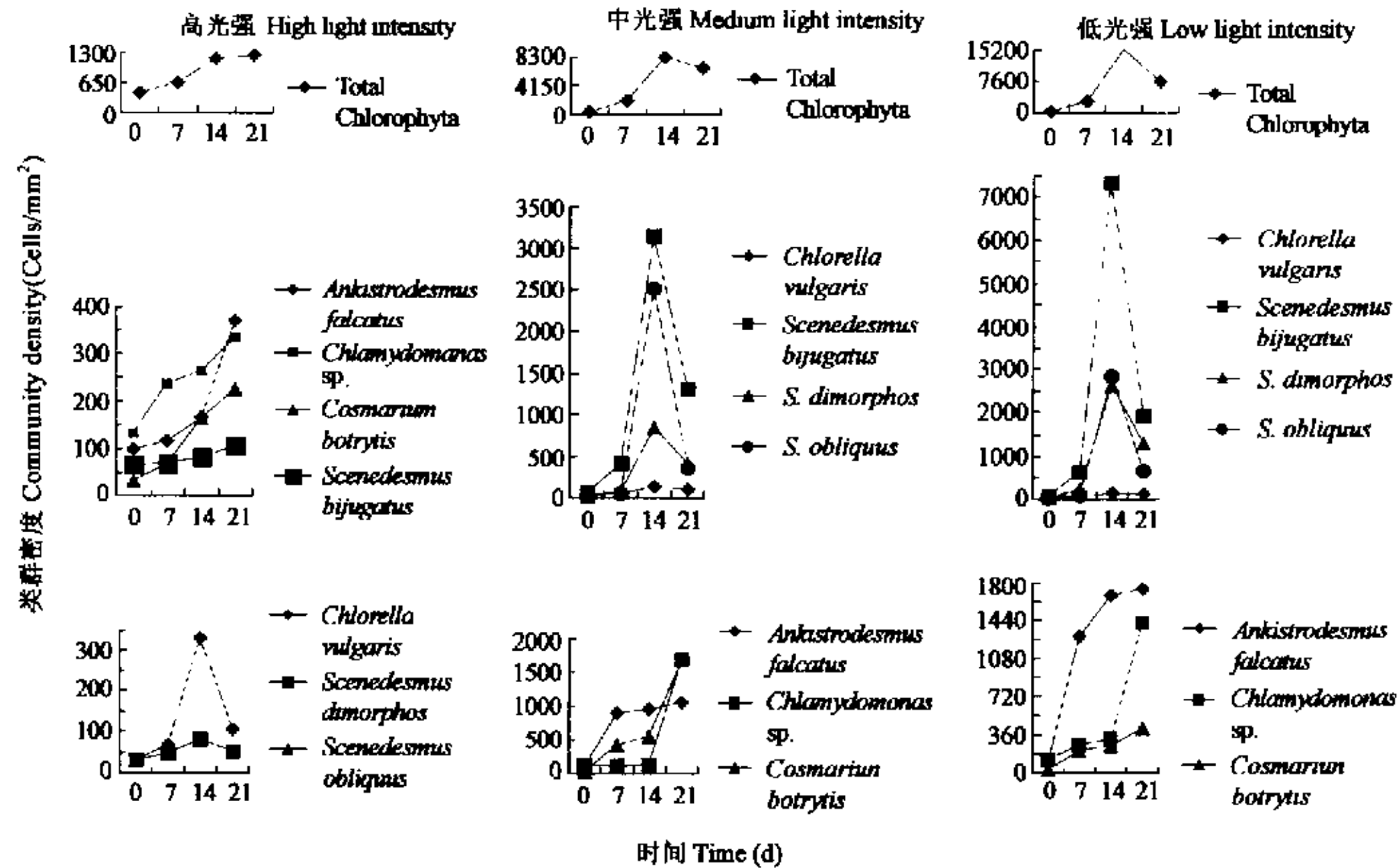


图3 不同光强白光下绿藻种群的增长动态

Fig. 3 Population dynamics of Chlorophyta under white lights with different intensities

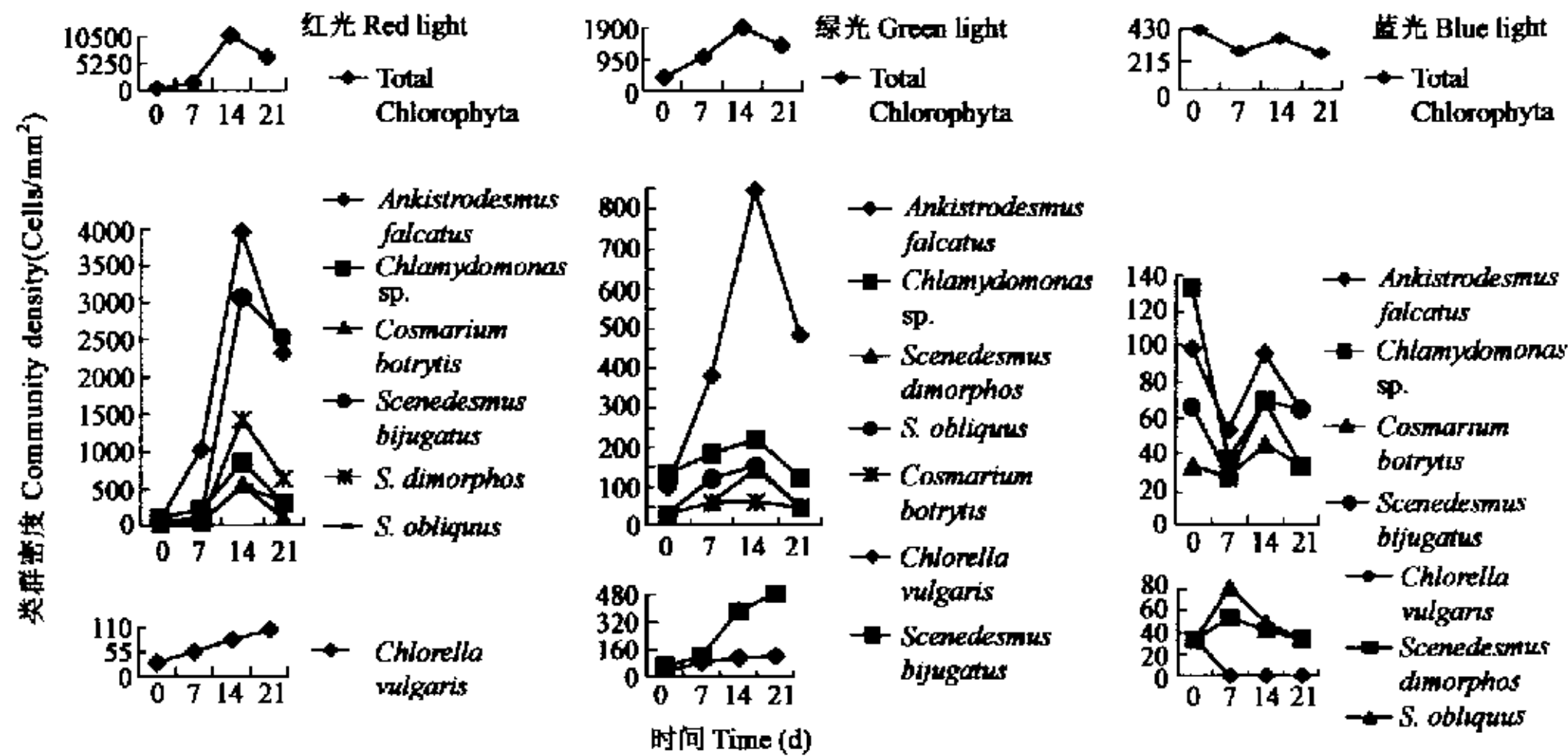


图4 不同光质下绿藻种群的增长动态

Fig. 4 Population dynamics of Chlorophyta under different monochromatic lights

2.4.2 硅藻种群的光适应模式 (1)白光下底栖硅藻种群的光适应模式 根据图5和图6的实验结果可将底栖硅藻种群的光适应模式分为4种类型。Ⅰ强竞争型:种群增长动态与藻类总体和硅藻类群总体趋同,前2周种群密度迅速增长,第3周由于营养元素匮乏而开始下降,只要不受资源限制可出现高竞争力的持续增长模式。Ⅱ弱竞争型:增长期仅限于第1周,后2周持续下降,竞争力相对较弱。Ⅲ增长型:3周

内种群持续增长,表现出很强的竞争力。Ⅳ衰退型:3周内种群密度持续下降,始终低于初始值,竞争力最弱。

在白光下底栖硅藻种群表现为Ⅰ型的最多(图5), *Achnanthes linearis*、*Cocconeis placentula*、*Gomphonema* 和 *Nitzschia* 属的3种群在不同光强的白光下都表现为Ⅰ型,且随白光光强的降低,属Ⅰ型的种群越多。说明光强的降低可使硅藻种群的其他光适应类型转化为Ⅰ型。在中光强下, *Melosira varians* 和 *Navicula avenacea* 分别由高光强下的Ⅱ型和Ⅳ型转化为Ⅰ型。在 5.5W/m^2 的低光强下,除上述2种群外 *Navicula lanceolata* 也由Ⅱ型转化为Ⅰ型。由图5可以看出, *G. olivaceum*、*Cocconeis* 和 *Nitzschia* 各种群在高光强下的前2周仍可保持很高的增长速度,应为Ⅰ型(强竞争型)中的高光强适应型(图5:高光强)。 *A. linearis*、*C. placentula*、*Gomphonema* 和 *Nitzschia* 属的各种群在中、低光强下第3周内种群密度下降缓慢,仍保持较高的种群密度(图5:中、低光强),说明其在营养元素匮乏的环境下具较强竞争力,而 *M. varians* 和 *A. minutissima* 则与其相反。从以上结果可看出, *A. linearis* 种群在高光强下生长缓慢,中低光强下生长迅速,为Ⅰ型中典型的低光强适应类型。

在所有的白光处理下表现为Ⅰ型硅藻种群较为相似,它们是 *A. lanceolata*、*Cymbella sinuata*、*F. vaucheriae*、*G. parvulum*、*Navicula cryptocephala*、*N. veneta* 和 *Synedra ulna*。在高光强下 *M. varians* 演变成此类型, *Cymbella ventricosa* 则由高光强下的Ⅳ型(衰退型)转化为中、低光强下的Ⅰ型,且种群密度高,成为低光强下的优势种。虽然上述硅藻种群对白光的适应类型皆为弱竞争型(Ⅰ),但各种群的动态波动有一定差异,如 *Cymbella sinuata* 和 *Synedra ulna* 为该型中的低光强适应型。

在高、中光强的白光下属于Ⅱ型的硅藻种群基本相同,它们分别是 *Cyclotella meneghiniana*、*A. minutissima* 和 *Navicula lanceolata*。在低光强下后二者转化为Ⅰ型,这表明二种群属高光强适应型。在低光强下属于Ⅱ型的只有 *C. meneghiniana* 种群。由图5和图6可看出,在不同光强的白光以及红光和绿光下, *C. meneghiniana* 都呈现直线增长趋势,证明该种群为底栖藻类群落中竞争力强的广光性(Euryphotie type)优势种。

可以发现,只有 *Cymbella ventricosa* 和 *Navicula avenacea* 二种群在高光强下的增长呈现Ⅳ型(衰退型),而在中低光强下二者分别演化为弱竞争型(Ⅰ型)和强竞争型(Ⅰ型)。在中低光强下底栖硅藻种群的增长未出现衰退型,表明底栖硅藻种群增长多为弱光适应型。

(2)单色光下底栖硅藻种群的光适应模式 在红光和绿光下底栖硅藻种群的光适应模式较为相似(图6),属于Ⅰ型的有 *M. varians*、*A. linearis*、*Cymbella ventricosa*、*G. olivaceum*、*G. intricatum*、*Navicula avenacea*、*N. lanceolata* 和 *Cocconeis* 属的2种群。由于红光对底栖藻类光合过程的高效和促进作用, *Navicula cryptocephala*、*N. veneta* 和 *Nitzschia* 三种群在红光下也表为Ⅰ型,而此5种群在绿光下转化为弱竞争型(Ⅰ型)。多数底栖硅藻种群的增长对红光极为敏感,属于Ⅰ型的种群密度远高于绿光下。而 *G. olivaceum* 种群增长表现为绿光敏感型,其在绿光下种群密度高于红光下,可以推断其细胞内的捕光辅助色素与其他硅藻种群有所不同。分析图6可知,在红光下 *Cymbella ventricosa*、*A. linearis*、*Cocconeis* 属和 *Navicula* 属的种群以增长速度快,下降缓慢,而主宰着底栖藻类群落数量动态,属于优势种群(dominant populations)。在绿光下则以 *A. linearis*、*Cocconeis* 属和 *Navicula* 属的种群为优势种群。*Cymbella ventricosa* 种群在绿光下增长缓慢,且下降幅度低于初始值,为典型绿光抑制型。

在红光和绿光下属于弱竞争型(Ⅰ型)的硅藻种群有一定的差异,仅有4个种群产生相同的光适应类型, *A. lanceolata*、*Cymbella sinuata*、*G. parvulum* 和 *Synedra ulna*。在红光下为Ⅰ型的 *Nitzschia* 属的3种群在绿光下全部转化为Ⅱ型,这表明捕光色素的不同应当是造成此适应模式转化的主要原因。在红光下底栖硅藻种群无衰退型出现。*Cyclotella meneghiniana* 在红光和绿光下皆呈现增长型(Ⅱ型),但红光下的种群密度远大于绿光下。在绿光下底栖硅藻种群只有 *F. vaucheriae* 表现为衰退型(Ⅳ型)。

由于蓝光对底栖藻类生长的抑制和伤害作用,整个底栖硅藻种群的增长在蓝光下基本处于停滞状态,且在第3周开始下降。仅有5种群属于Ⅰ型,且增长缓慢,种群密度很低(图6:蓝光),它们为 *A. linearis*、*G. intricatum*、*G. parvulum* 和 *Cocconeis* 属的2种群。多数底栖硅藻种群在蓝光下呈现Ⅱ型,虽然其种群的

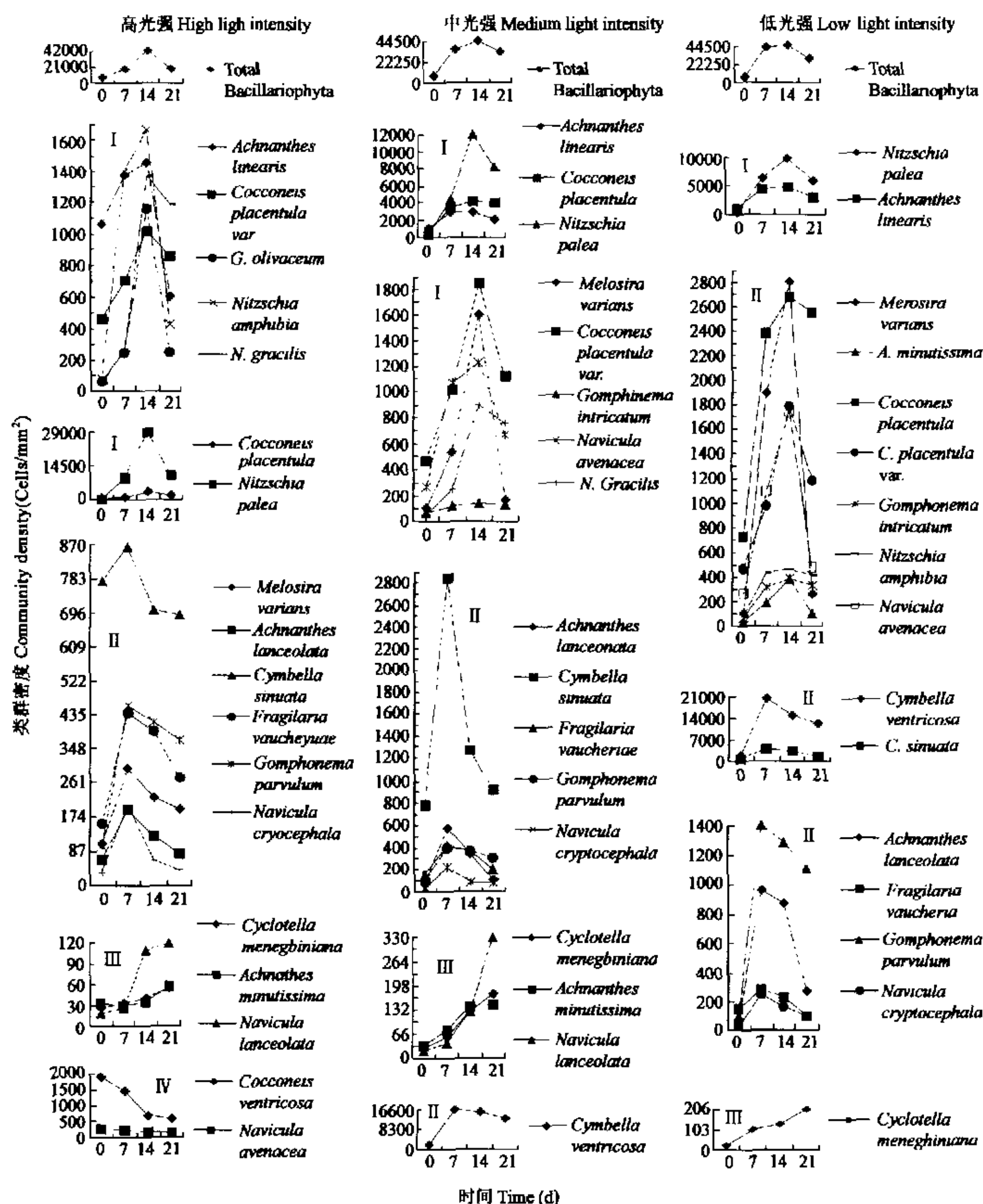


图5 不同白光下硅藻种群的增长动态

Fig. 5 Population dynamics of Bacillariophyta under white lights with different intensities

数量动态存在一定的差异。在红光和绿光下表现为 I 型的种群 *M. varians* *G. olivaceum* 和 *Navicula avenacea*, 在蓝光下都转化为 II 型适应模式。蓝光下产生衰退型适应模式的有 4 个硅藻种群, *Cymbella* 属 2 种群、*Fragilaria vaucheryae* 和 *Nitzschia palea*, 且衰退幅度大, 而它们分别在其他光处理下为强竞争型和弱竞争型, 说明此 4 种群的增长属于蓝光强抑制型。在绿光下只有 *F. vaucheryae* 表现为衰退型, 表明其种群增长属绿光强抑制型。*Cyclotella meneghiniana* 表现出对短波辐射很强的适应性, 其种群密度在蓝光下

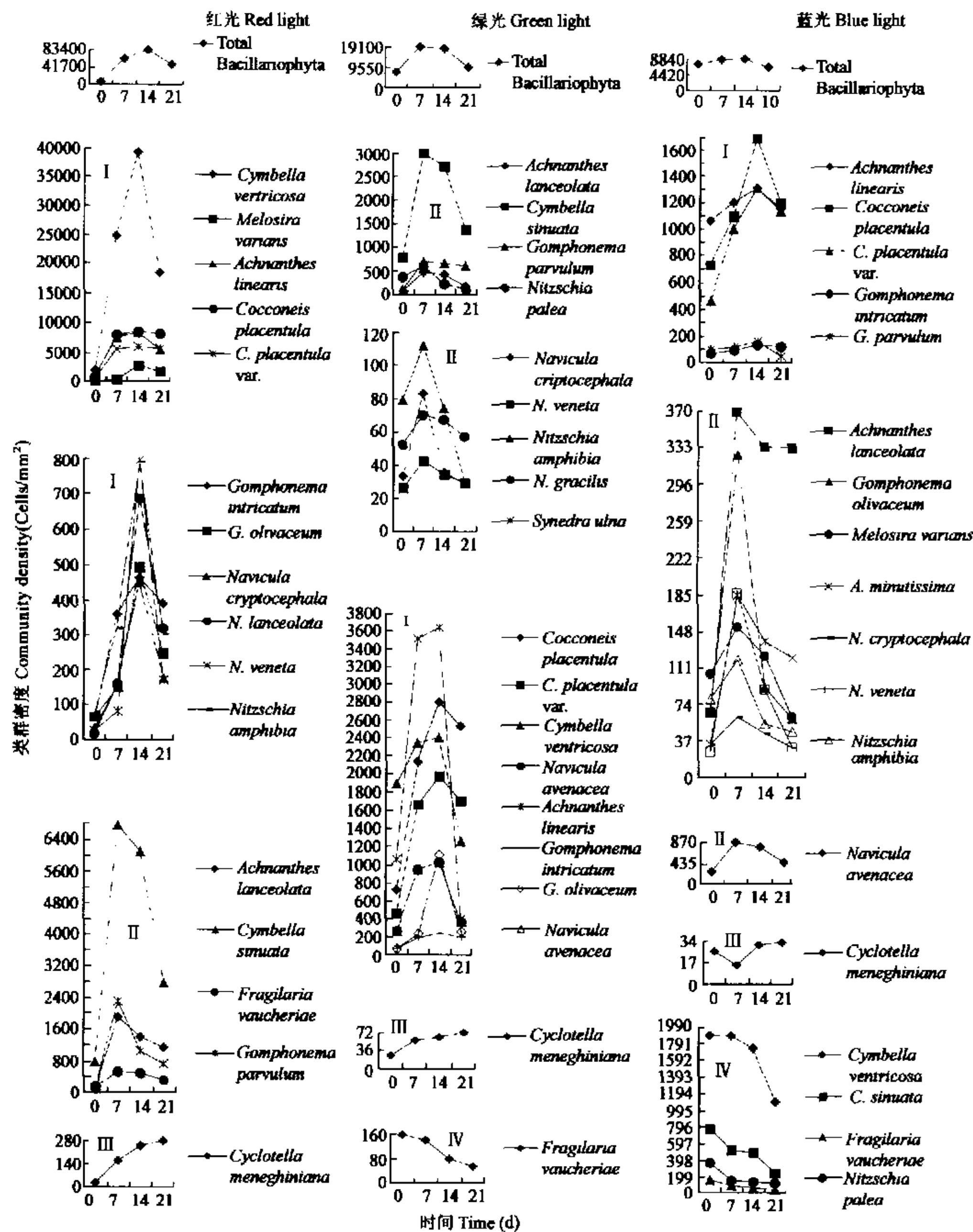


图6 不同光质下硅藻种群增长动态

Fig. 6 Population dynamics of Bacillariophyta under different monochromatic lights

基本保持稳定,且有所上升,在其他光照下皆为增长型,表明该种群为典型的广光生态适应型(Euryphotonic type)。

4. 结论

底栖藻类群落是由硅藻类群为绝对优势集团(占群落总细胞量 93.33%)和绿藻类群及极少数量的蓝

藻组成。底栖藻类群落总体及藻类类群对光的适应模式一致,即为红光敏感型、弱光适应型和蓝光抑制型。

底栖绿藻类群为低光强和红光适应型,高光强和蓝光抑制型。

底栖蓝藻 *Oscillatoria tenuis* 表现为红光敏感型、绿光和弱光抑制型,而对不同光强的白光反应迟钝。在不同的光处理下其种群的增长呈现 3 种适应模式。

7 种绿藻种群的增长在不同光处理下呈现出 2 种适应模式,持续增长型和适应增长型。

在不同光处理下 21 种硅藻种群的增长表现出 4 种适应模式,强竞争型、弱竞争型、增长型和衰退型。

参考文献

- [1] 庄树宏, Hendrick Sven. 光照强度和波长对底栖藻类群落的影响 I. 光和色素的变化. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 1999, 12 (2): 108~113.
- [2] Evans K. The effect of current of velocity on the rate of growth of benthic algal communities. *Int Rev ges Hydrobiol.*, 1989, 67: 575~583.
- [3] Schiewer U. Werner Schnese and the development of coastal water ecology in Rostock of Germany. *Int Rev ges Hydrobiol.*, 1990, 75: 1~13.
- [4] Schiewer U. Bottom up regulation of food webs in shallow estuaries. *Verh Internat Verein Limnol.*, 1991, 24: 2609~2611.
- [5] Zhuang S H, Schubert H Schiewer U. Influence of irradiance and temperature on the Cyanobacterium *Aphanotheca stagnina* Sprengel isolated from the Darss-Zingst Estuary (Southern Baltic) under continuous turbidostat culture. *Algological Studies*, 1993, 70: 51~63.
- [6] Chu S P. The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planktonic algae. I. Methods and media. *J. Ecol.*, 30: 284~325.
- [7] Soeder C, Stengel E. Physio-chemical factors affecting metabolism and growth rate. In: Steward P. ed. *Algal physiology and biochemistry*. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1974. 714~740.
- [8] Wetzel R G. Limnology. Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1975. 1~743.
- [9] Spike J D. Photodynamics action, In: Giese A. G. ed. *Photophysiology* 3. New York: Academic Press, 1986. 33~64.
- [10] Epel B, Butler W L. Destruction by light. *Science*, 1969, 166: 621~622.
- [11] Steel J A. Factors affecting algal bloom. In: Sykes G. & Skinner F. A. ed. *On microbial aspects of pollution. Soc Applied Bacteriol Symp Ser No. 1*. Newyork: Academic Press, 1971. 201~213.
- [12] Ziegler R, Schanderl S H. Chlorophyll degradation and the kinetics of dephytylated derivatives in a mutant of *Chlorella*. *Photosynthetics*, 1989, 3: 45~54.
- [13] Kowalick W. Action spectrum for an enhancement of endogenous respiration by light in *Chlorella*. *Plant Physiol.*, 1987, 42: 672~676.
- [14] Harris G P. The measurement of Photosynthesis in natural population of phytoplankton. In: Morris I. ed. *The physiological ecology of phytoplankton*. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1980. 129~187.
- [15] Rau W. Blue light-induced carotenoid biosynthesis in microorganisms. In: the blue light syndrome. Ed. Senger H. Berlin: Springer-verlag, 1980. 283~298.
- [16] Krinsky N I. The protective function of carotenoid pigments, In: Giese A. C. ed. *Photophysiology* 3. New York: Academic Press, 1986. 123~195.