

蓝藻型富营养湖泊藻量的昼夜变化节律

项斯端 陆公让

(杭州大学生物系, 310012)

提 要

杭州西湖为蓝藻型富营养湖泊, 根据1980年9月及11月二次昼夜分层采样调查, 该湖浮游藻在一昼夜中有二次上下垂直移位, 使近表层藻量形成规则或不规则的双峰型昼夜变化曲线, 双峰分别出现在日照开始与日落后2h左右, 认为昼夜光暗交替与其昼夜变化有一定相关关系, 同时, 双峰的形成与蓝藻门优势藻种对光照强度的适应性能相关。文中对其优势藻种的浮沉与日照关系作了讨论。

关键词 昼夜变化节律, 垂直移位, 富营养湖, 蓝藻门

浮游藻在湖泊内的昼夜变化节律及其垂直移位状况决定了水体初级生产力的日变化, 在湖泊藻类调查研究中有极其重要的作用, 因此, 浮游藻在不同水层的昼夜分布节律与光合作用的日变化, 碳的昼夜变化等同样被水生态工作者所关注^[2,3,8,9]。但由于藻量的昼夜变化及分布节律受所在地域的纬度、日照状况以及种群分布等条件所影响, 因此, 在我国各种湖泊类型进行这方面的研究也是十分必要的。鉴于我国在这方面的工作尚属空白, 作者等在1980年9月及11月初在杭州西湖的湖心各进行了一次浮游藻藻量昼夜变化的调查, 9月初每间隔1h, 11月初每间隔2h进行分层取样, 为便于比较, 均以间隔2h的数据分析。在水深不足2m的湖心点分别采取上层(0.5m)、中层(1m水层)、下层(1.5m深处)的水样, 由于西湖底泥为由蓝藻残骸组成, 极易上翻, 故底层不能取样。每层水样各取1000ml, 浓缩10倍后高倍镜下鉴定藻种及计数。在采藻量的同时, 进行了相应水层的水温、溶解氧、pH值的测定。

湖水生境基本情况

杭州西湖自60年代之后水体严重富营养化, 成为我国亚热带地区罕见的蓝藻型富营养湖泊。作者(1983)报道西湖内蓝藻门藻种周年性占绝对优势, 1980年藻量年平均 690×10^5 个/L, 蓝藻门在80%以上。春季以水花束丝藻(*Aphanizomenon flos-aquae*)占优势, 秋季以拉氏拟鱼腥藻(*Anabaenopsis raciborskii*), 平裂藻多种(*Merismopedia spp.*)等占优势。9月3—4日昼夜藻量变化为 $1026—1916 \times 10^5$ 个/L, 蓝藻门占该日各

时间总藻量的 75—88%。11 月 6—7 日 0.5m 水层昼夜藻量为 $903-1784 \times 10^3$ 个/L, 蓝藻门占 77—86%, 而绿藻门及硅藻门藻量很低(图 1)。

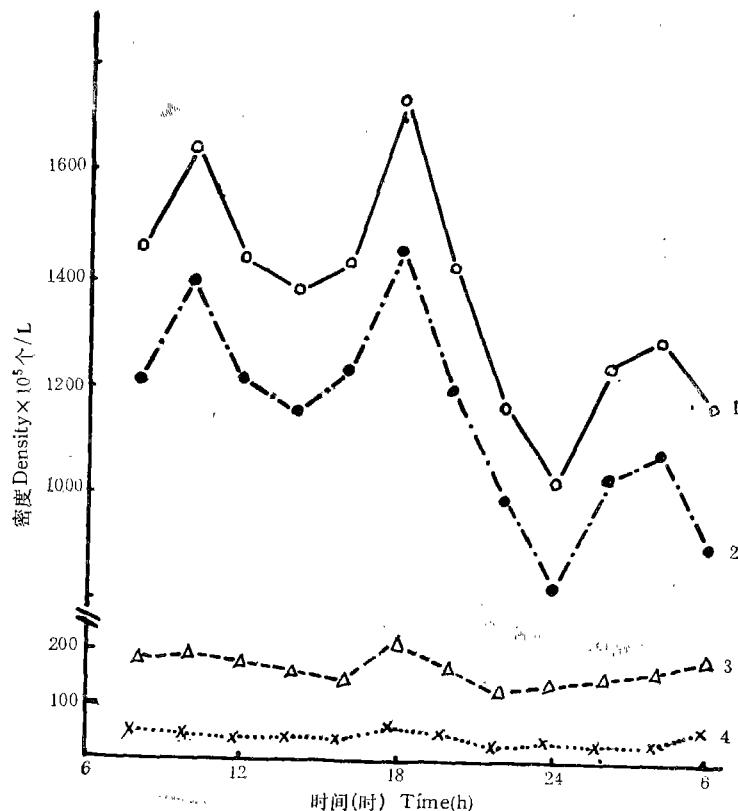


图1 总藻量(1)及蓝藻门(2)绿藻门(3)硅藻门(4)藻量的昼夜变化

Fig. 1 The diurnal variation in the densities of Cyanophyta (2), Chlorophyta (3), Bacillariophyta (4) and the total algal density (1)

温度 1980年9月3—4日气温昼夜变化(图2)在25.5—36℃,变幅10.5℃。水温在0.5m层日变化在27.2℃—29.9℃,变幅仅2.7℃。水温的垂直层差,白天最高温14:00时,0.5m层较1.5m层高0.9℃;18:00时之后,上层降温,较下层仅低0.1—0.2℃。11月6—7日水温昼夜变幅更小,仅1.5℃。中、下水层则更稳定,变幅为0.4℃。水温的层差与9月份基本相似。

根据 1980 年杭州气象台日照时间记录 (表 1), 9 月 3 日及 11 月 6 日日

表1 1980年9月3日和11月6日日照时数
Tab. 1 Hours of sunshine in Sept. 3 and Nov. 6, 1980

日期 Date	时 间 Time										总计 Total
	7—8—9—10—11—12—13—14—15—16—17—18										
Sept. 3		0.4	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	7.8h
Nov. 6	0.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.2	8.5h

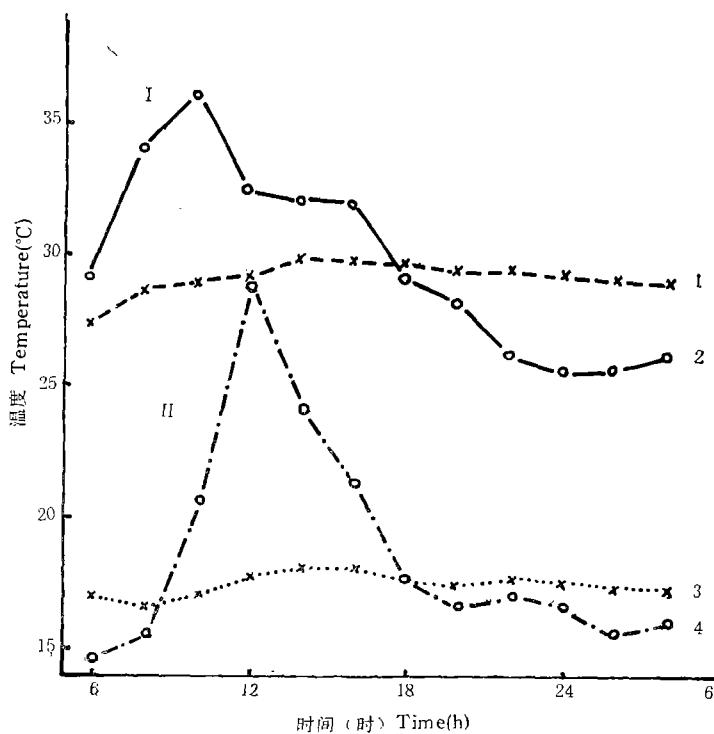


图 2 气温与水温的昼夜变化

Fig. 2 Diurnal variation in air and water temperatures

I. 1980 年 9 月 3—4 日气温(2)及 0.5m 水层水温(1)

II. 1980 年 11 月 6—7 日气温(4)及 0.5m 水层水温(3)

落时间的不同,对当日傍晚藻量高峰出现的时间有所影响。

西湖上层藻量的昼夜变化节律

根据 1980 年 9 月及 11 月二次调查结果,0.5m 层藻量的昼夜变化情况如下:

11 月 6—7 日藻量水平的昼夜变化呈双峰型(图 3 B),双峰分别出现于上午 10:00 及下午 18:00 时。日出后上层湖水中藻量逐渐增高,到 10:00 时出现第一次高峰,藻量为 1639.83×10^5 个/L。到中午 12:00—14:00 日照强度最大时,藻量大量下降,从而导致藻量曲线的午时低谷。下午,随光强的减弱,藻量水平再度增高,到 18:00 时,形成藻量的第二次高峰(1733.38×10^5 个/L)。随后,上层湖水中藻量又明显下降。

9 月 3—4 日藻量昼夜变化呈现较不规则的双峰型(图 3 A),第一次峰值出现在上午 10:00 时,到中午 12:00—14:00 时也与 11 月一样出现藻量低谷,随后以波纹形上升,到 20:00 时达到高峰,此时,藻量高达 1916×10^5 个/L,0:00 时后逐步下降。

从 9 月初及 11 月初上层藻量的昼夜变化来看,上层湖水中的藻量在昼夜间呈现规则性的数量变化,其变化幅度在 1000×10^5 个/L 到 $1700—1900 \times 10^5$ 个/L 之间。二个月的情况虽有上下,但其昼夜变化的曲线基本上均为双峰型,第二次峰值均高于第一次峰

值,第二低谷值低于第一低谷值。两次峰值的出现与水温相关不明显,而与光照的变化有关,第一次藻量高峰是在晨曦出现后2h之后,第二次高峰出现于日落后2h左右。(9月6日日落时间较11月3日约迟1.5h)。

藻量昼夜变化中的垂直移位

从各水层的藻量数值分布来看,可见在不同深度的水层出现的藻量高峰时间有所不同,而且,同一时间各层次之间藻量相互参差,一层多则另外一二层次藻量较低,因此,从

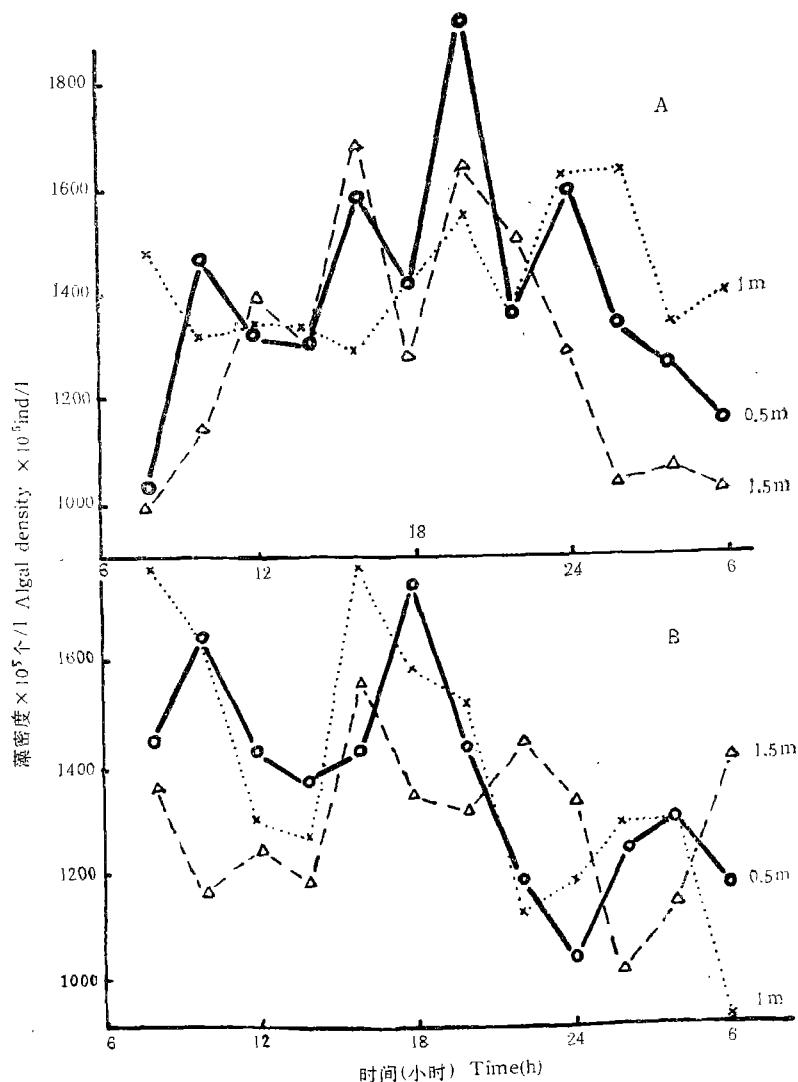


图3 不同水层中藻量昼夜变化

Fig. 3 Diurnal variation in algal density in different layers of water

A: Sept. 3—4, 1980 B: Nov. 6—7, 1980

各层次之间的藻量变化可反映出昼夜之间浮游藻的垂直移位关系。

11月6—7日(图3B),夜间浮游藻沉于水底。晨6:00时下层藻量最高。8:00时,中层藻量最高。到10:00时,则上层形成上午的藻量峰值,而此时下层藻量相应减少。上述的现象显示西湖浮游藻在日出到10:00时有一次自湖水底层向上浮升的垂直移位过程。到12:00—14:00时日照强度增大,三层藻量均见减少。此时可能部分藻体下沉至湖底。下午,随着光强的减弱,浮游藻再度由湖底向上移动,从其藻量递增的先后顺序,可见下层及中层先增高,16:00时由下层向中层移动,然后,移到上层,到18:00形成上层的第二次高峰(1733.38×10^5 个/L),显示了西湖浮游藻在下午亦有一次由下而上的移位过程。到夜间0:00时则上层及中层藻量均降低,而下层藻量增高。

9月3—4日(图3A),浮游藻的移位情况与11月初基本相似。

由上可见,各层湖水中藻量的昼夜变化主要是由于藻体的上下垂直移位所致。在二次调查中可见每天有二次向上和向下移位过程,在此移位过程中分别出现各层藻量的高峰期,同时,由于藻群的移位,在一定时间内各水层的藻量往往此涨彼落,相互参差。

优势藻种藻量的昼夜变化状况

西湖湖水中浮游藻中蓝藻门占总藻量的80%以上,以拉氏拟鱼腥藻(*Anabaenopsis raciborskii*),螺纽鞘丝藻(*Lyngbya contorta*)及平裂藻属多种(*Merismopedia spp.*)等占优势。各种优势蓝藻的昼夜变化均显示与总藻量相似的双峰型(图4),而绿藻门的四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda*),也在总藻量中占较高的比例,但从图4A中显示它基本上无昼夜变化节律,可见西湖各层水体中藻量的昼夜变化节律是由蓝藻的垂直移位所决定的。

讨 论

1. 藻量昼夜变化的曲线类型

对西湖浮游藻二次昼夜调查,在近表层藻量的昼夜变化呈规则或不规则的双峰型曲线,均在中午及深夜出现藻量的低谷,在日出及日落后2h左右分别出现藻量的峰值。参照前人的工作,藻量昼夜变化的曲线型有的为单峰型,中午不形成低谷,有的为双峰型,如Efford(1967)在Marion湖1m深处调查的初级生产力日变化为单峰型曲线,Anderson(1974)对加拿大Alberta7个湖泊初级生产力的调查,夏季在0.3—2m水层深处有的湖为单峰型,有的湖略呈双峰型,而在水深4m以下的层次,中午受日照影响小,均呈单峰型;Ganf(1974)报道赤道地区George湖是以蓝藻为优势的浅水湖,其叶绿素a值在近午时因表层藻量下沉而形成日变化的双峰型。由以上各工作结果看来,昼夜变化曲线型在一定程度上决定于不同纬度地区的日照强弱程度以及水层的深浅。此外,优势种的成分也是决定曲线类型的重要因素,如Tilzer(1973)强调了绿藻门原球藻目(现改为绿球藻目)及硅藻门层性分布不明显,它们不如蓝藻门藻种易受光强控制而调节沉浮。西湖秋季的优势藻种拉氏拟鱼腥藻根据我们实验室培养以3000—6000lx光照强度生长最佳,到

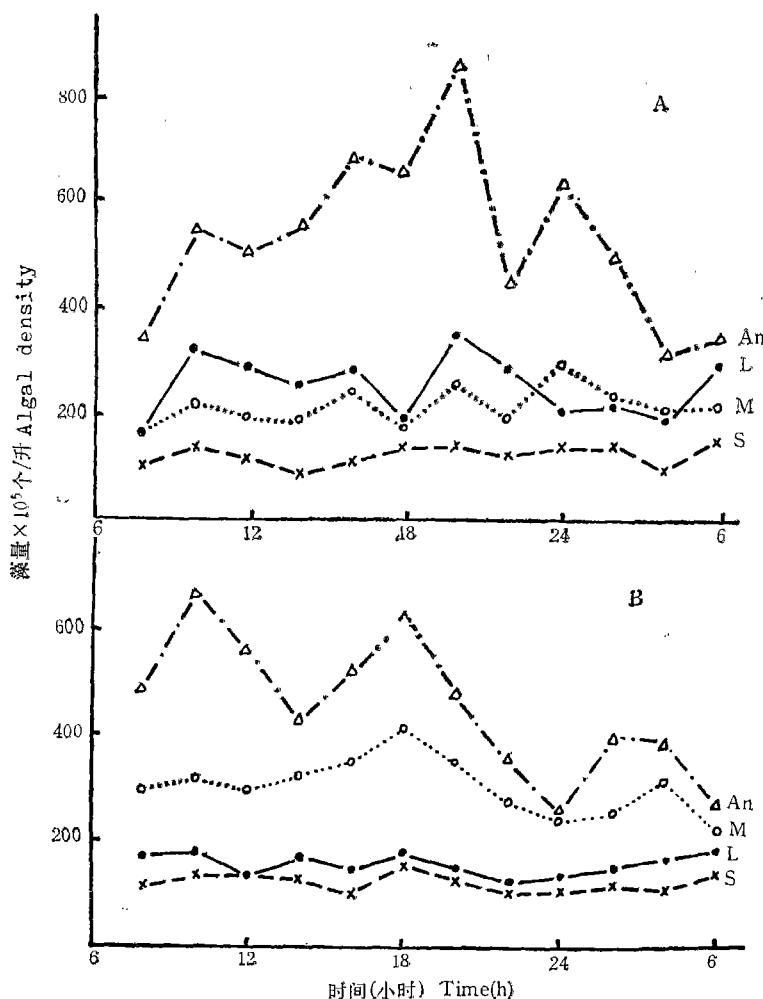


图 4 0.5m 水层中几种优势藻种数量的昼夜变化

Fig. 4 The diurnal variation in some dominant algae in 0.5m water layer
 A: Sept. 3-4, 1980 B: Nov. 6-7, 1980
 An. *Anabaenopsis raciborskii* 拉氏拟鱼腥藻
 L. *Lyngbya contorta* 螺形拟鱼腥藻 M. *Merismopedia* spp. 平裂藻属多种
 S. *Scenedesmus quadricauda* 四尾栅藻

9000 lx 时生长不良。而在西湖秋季中午 13:00 时湖面实测照度可高达 10⁵ lx 以上。因此,中午的强光照射会引起表层藻量下降,从而形成西湖日变化中的双峰型曲线是可以理解的。

至于中下层次藻量变化的峰型,Anderson (1974) 对湖泊水深 4m 以下的层次调查均为单峰型,而西湖中下层次藻量的昼夜变化仍为双峰型,与其深度仅 2m 上下的浅水湖有关系。同时,调查中真正底层藻量无法测定,理论上它的曲线与其他层次应有所不同。

2. 蓝藻优势藻种的沉浮

在西湖水域中蓝藻占藻量的 80% 以上,所以西湖内藻量的昼夜变化实际上决定于蓝

藻在水层间的垂直移位, 它在水体中的沉浮与其比重以及水体的动态有关。根据 Reynolds (1980) 提出藻类在水中的浮沉与水的比重关系有下列 3 种情况:

- ① $P' < P$, 有机体(P')比重小于溶液(P), 为正浮力藻种。
- ② $P' > P$, 不动的负浮力藻, 如硅藻大多属此。
- ③ $P' \sim P$, 中性浮力藻种。

形成水花的蓝藻, 在无风稳定的水柱内成为正浮力藻种($P' < P$), 如西湖中的拉氏拟鱼腥藻, 它在 6—11 月时期藻体大多具气泡及异形胞, 由于体内的大量气泡, 使它成为真正浮力的藻种。因此, 在 9 月及 11 月调查中, 水体上层的藻量与它的浮力有一定关系, 而平裂藻属, 螺纽鞘丝藻以及拉氏拟鱼腥藻的幼体则为悬浮于水体的藻种, 成为中性浮力($P' \sim P$)的藻种。它们的垂直移位往往由气泡所调控, 按照 Reynolds and Walsby (1975) 所提出的气泡调节浮力的机制来看, 日出后藻体受到光照, 进行光合作用, 细胞由小气泡增加浮力, 到 10:00 时形成上层藻量的高峰, 到中午强日照下, 光合产物促使细胞内部膨压增高而致气泡崩溃大于新的集聚, 则使细胞失去浮力而下降。14:00 时之后日照渐减弱, 到日落后 2h 左右再次形成上层藻量的峰值, 这一情况与 Reynolds (1973) 在 Cross mere (1971 年 7 月 28—29 日) 调查铜绿微囊藻种群时发现在日落后 2 小时左右细胞膨压降得最低, 而此时气泡相对容积(%)却为一天中的最高值, 从而形成藻体最大浮力的结果是相一致的。

参 考 文 献

- [1] 项斯端, 1983。杭州西湖的浮游蓝藻群落及其类型。杭州大学学报, 10 卷(增刊): 75—87。
- [2] Anderson, R. S., 1974. Diurnal primary production patterns in seven lakes and ponds in Alberta. *Oecologia*, 14: 1—17.
- [3] Ganf, G. G. and Vines, A. B., 1973. Ecological stability in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda) *Proc. Roy. Soc. London. B.*, 184: 321—346.
- [4] Ganf, G. G., 1974. Diurnal mixing and the vertical distribution of phytoplankton in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *J. Ecol.*, 62(2): 611—629.
- [5] Reynolds, C. S. and Walsby, A. E., 1975. Water Blooms. *Biol. Rev.* 50: 437—481.
- [6] Reynolds, C. S., 1973. Growth and buoyancy of *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenkin in a shallow eutrophic lake. *Proc. Roy. Soc. Lond. B.*, 184: 29—50.
- [7] Round, F. E., 1981. The ecology of algae. Cambridge University Press.
- [8] Talling, J. F., 1957. Diurnal changes of stratification and photosynthesis in some tropical African water. *Proc. Roy. Soc. London Ser. B.*, 147: 57—83.
- [9] Tilzer, M. M., 1973. Diurnal Periodicity in the Phytoplankton Assemblage of High Mountain Lake. *Limnol. Oceanogr.* 18(1): 15—30.

THE DIURNAL RHYTHM OF PHYTOPLANKTON IN AN EUTROPHIC LAKE —WEST LAKE, HANGZHOU

Xiang Siduan and Lu Gongrang

(Deparement of Biology, hangzhou University, 310012)

Abstract

The West Lake is an eutrophic lake abundant with populations of blue-green algae. A survey in September and November 1980 indicated that the phytoplankton in the lake displayed vertical migrations between water layers twice a day. A bi-peak pattern of diurnal variation in algal density appeared regularly or irregularly in the 0.5 meter water layer. Similar but less apparent rhythms occurred in the deeper layers. The peaks usually occurred about 2 hours after sunrise and sunset. It was suggested that the diurnal rhythm of the algal populations was closely related to the alternation of light and dark periods and the buoyancy regulation of the dominant species.

Key words Diurnal rhythm, Vertical migration, Eutrophic lake, Blue green algae