

武汉东湖星形柄裸藻种群的特征与变动*

施之新

(中国科学院水生生物研究所, 武汉)

提要 作者于1981—1983年,对武汉东湖进行藻类调查时,发现主要附生于小型甲壳动物体表的星形柄裸藻 (*Colacium sideropus*), 是冬春季节主要的藻类种群之一,其增长高峰出现在冬末春初(3月)。它的正增长时期(每年10月至次年3月)为J形增长曲线,符合指数方程: $N_t = N_0 e^{kt}$; 它的负增长时期(每年3月至7月),符合另一种指数方程: $N_t = ae^{-\frac{t}{b}}$ 。它种群内个体分布状况,用方差 (v) 和样方个体平均数 (m) 之比值 (v/m) 进行分析,其结果: 绝大多数的 $v/m > 1$, 为集群分布; 只有当平均附着量很小时,偶见 $v/m \approx 1$, 为随机分布。

星形柄裸藻的种群密度 (N , 个/L) 与它对宿主的附着率 (R , %) 之间的相关性为: $N = 0.0141e^{0.0948R}$ ($r = 0.937$, $p < 0.01$); 种群密度与它在宿主体表的平均附着量 (m , 个) 之间的相关性为: $N = 1.353e^{0.0326m}$ ($r = 0.831$, $p < 0.01$)。

柄裸藻属 (*Colacium* Ehr.) 是一类主要附生于枝角类和桡足类等小型甲壳动物体表的鞭毛藻类(隶属于裸藻门 Euglenophyta)。作者于1981—1983年,对武汉东湖进行藻类调查时,发现每到冬春季节,出现较多的柄裸藻,经鉴定,确认为星形柄裸藻 (*C. sideropus* Skuja)^[10,11]。它主要的附生宿主有透明蚤 (*Daphnia hyalina*)、近邻剑水蚤 (*Cyclops vicinus*) 和特异荡镖水蚤 (*Neurodiaptomus incongruens*)。这些宿主也是湖中小型甲壳动物的优势种群^[9]。星形柄裸藻是东湖冬春季节藻类植物中一个较为主要的种群,本文仅对它的种群特征及变动状况进行论述。

一、工作方法

1. 取样

定期在每月的中旬采样一次,在星形柄裸藻生长旺盛的月份,则半月或10天采集一次,采得的新鲜标本立即用10%福尔马林液固定,不使藻体从甲壳动物体表脱落,以便计数。在两个固定的站位进行采样(图1): I站,位于西部的水果湖区,是个湖湾,水深在1.7—2.6m,较窄小,有大量的生活污水流入,水质较肥; II站,位于郭郑湖区的中心,水深在3.8—4.6m,湖面宽敞,是东湖的主体。在采集标本的同时,还测得pH、水温、透明度及营养成分等生态因子的数据。

2. 计数

* 本文为中国科学院科学基金资助的课题。工作中承本所王骥、黄祥飞、陈雪梅、王建、胡春英以及第四研究室化学组同志的热情帮助;插图由戴尚真同志墨绘,在此一并志谢。

收稿日期: 1988年7月28日。

随机地取每一种枝角类或桡足类虫体 50 个(如密度很小的甲壳动物则少于 50 个,但不得低于 20 个),计数出每个虫体体表附着的星形柄裸藻个体数,并测算下列参数。

(1) 附着率 即某一种甲壳动物体表附着有星形柄裸藻的个体数占虫体总数的百分比:

$$R = \frac{N_c}{N_m} 100\% \quad (1)$$

式中, R 为附着率(%); N_c 为星形柄裸藻附着的某种甲壳动物数量(个); N_m 为某种甲壳动物的总数(个)。如果不区分甲壳动物的种类,则算出的 R 值为星形柄裸藻对全体宿主的附着率。

(2) 平均附着量 即每一种甲壳动物的每一个虫体上平均附着的星形柄裸藻数量:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n} \quad (2)$$

式中, m 为平均附着量(个); M_i 为某种甲壳动物中某个虫体上附着的星形柄裸藻数量(个); n 为某一种甲壳动物的总数(个)。如果不区分甲壳动物的种类,则算出的 m 值为星形柄裸藻对全体宿主的平均附着量。

(3) 附着量 1L 水样中某一种甲壳动物所附着的星形柄裸藻数量:

$$B = m \cdot N \quad (3)$$

式中, B 为附着量(个); m 为平均附着量(个); N 为 1L 水样中某种甲壳动物的密度(个/L)。如果不区分甲壳动物的种类,则算出的 B 值为星形柄裸藻对全体宿主的附着量,也等于星形柄裸藻的密度。

(4) 星形柄裸藻密度 即 1L 水样中,所含星形柄裸藻的数量:

$$N = \sum_{i=1}^{n_p} B_i = \sum_{i=1}^{n_p} m_i \cdot N_{a_i} \quad (4)$$

式中, N 为星形柄裸藻的密度(个/L); B_i 为星形柄裸藻对某一种甲壳动物的附着量; m_i 为星形柄裸藻对某一种甲壳动物的平均附着量; N_{a_i} 为某一种甲壳动物的密度(个/L); n_p 为甲壳动物的种数。水体中有几种小型甲壳动物(本文有 3 种),星形柄裸藻在其上的附着量 B 之和,就是星形柄裸藻的密度。按理论推算,星形柄裸藻对全体宿主的附着量即等于星形柄裸藻的密度。但是,由于各种因素,星形柄裸藻对全体宿主的附着量与式(4)计算出的数值有一定的误差。根据星形柄裸藻对不同种类甲壳动物的附着能力存在着很大的差异,因此式(4)的数值比较接近实际的星形柄裸藻密度。

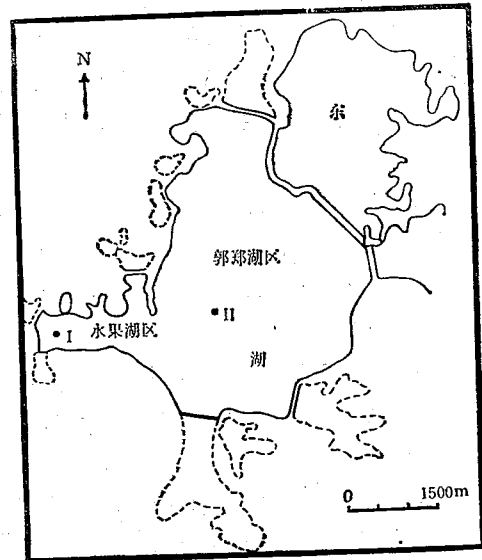


图 1 东湖采样站示意图

Fig. 1 The sampling stations in Donghu Lake

二、结果与讨论

1. 种群数量的年变动

武汉东湖中星形柄裸藻的数量,在一年中有着明显的季节变化:每年10月以后开始出现并缓慢地增长,冬末春初迅速地达到高峰;以后又骤然下降,至7月完全消失(图2)。在整个星形柄裸藻生长季节,I站的密度明显地大于II站,这可能与I站的水质较肥有关。

武汉东湖中星形柄裸藻的年变动情况与无锡五里湖裸藻属(*Euglena*)的季节变化规律^[4]比较相近;而与出现在西德 Plubsee 湖中的另一类淡水鞭毛藻:角甲藻(*Ceratium hirundinella*)和叉状角甲藻(*C. furcoides*)的季节变化(出现于夏秋)^[7]正好相反。

2. 种群的特征

(1) 种群的增长型 星形柄裸藻种群增长密度与时间的相关性,在第一个月至第六个月的增长上升阶段(相当于每年的10月至次年的3月),符合下列指数方程^[1,2]:

$$N_t = N_0 e^{kt} \quad (5)$$

式中, N_t 为 t 时的种群密度(个/L); N_0 为起始种群密度(个/L); e 为自然数(下同); k 为种群瞬时增长率; t 为种群增长时间(月)。这是典型的 J 形增长型曲线^[6,8,9](图5中正增长长期曲线)。其相应的回归方程在1981—1982年度为:

$$\text{I 站 } N_t = 0.00218e^{2.014t} (r = 0.913, p < 0.01);$$

$$\text{II 站 } N_t = 0.0014e^{2.005t} (r = 0.928, p < 0.01)。$$

在1982—1983年度为:

$$\text{I 站 } N_t = 0.000908e^{2.434t} (r = 0.940, p < 0.01),$$

$$\text{II 站 } N_t = 0.00177e^{2.296t} (r = 0.890, p < 0.05)。$$

当星形柄裸藻种群增长6个月以后,达到高峰(每年的3月份),随即陡然下降呈负增长,其趋势符合另一种指数方程^[1,2]:

$$N_t = ae^{-bt} \quad (6)$$

式中, a 和 b 为方程常数。相关曲线的形状呈反 J 形(图3中负增长长期曲线),其相应的回归方程在1981—1982年度为:

$$\text{I 站 } N_t = 2.32e^{-\frac{170.9}{t}} \cdot 10^{-10} (r = 0.963, p < 0.01),$$

$$\text{II 站 } N_t = 6.69e^{-\frac{178.3}{t}} \cdot 10^{-11} (r = 0.964, p < 0.01)。$$

在1982—1983年度为:

$$\text{I 站 } N_t = 8.71e^{-\frac{194.5}{t}} \cdot 10^{-12} (r = 0.985, p < 0.01),$$

$$\text{II 站 } N_t = 6.23e^{-\frac{179.9}{t}} \cdot 10^{-11} (r = 0.978, p < 0.01)。$$

星形柄裸藻种群的整个增长过程(正增长和负增长)构成了 J 形增长型种群特有的“张弛波动”(或“密度板机”式波动)^[6]。

(2) 内禀增长能力、有限增长率和种群加倍时间 由于武汉东湖中星形柄裸藻正增长长期具有典型的 J 形增长型种群的特征,因此式(5)中的种群瞬时增长率 k 即为内禀

增长能力^[3,6]。它反映了星形柄裸藻在某一生态条件中理想状态生长时最高瞬时增长速

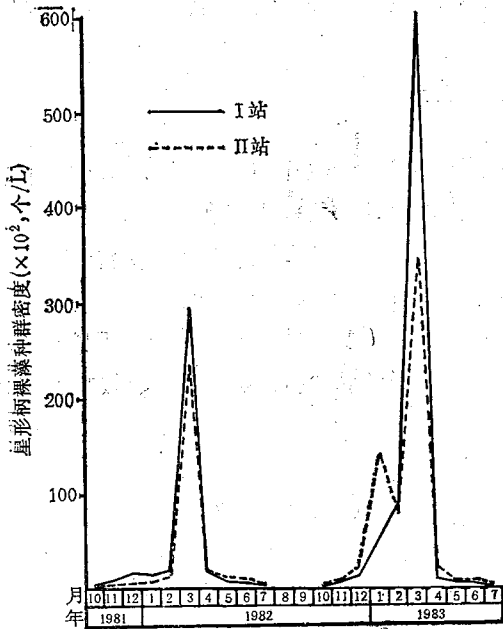


图 2 东湖中星形柄裸藻种群的季节变动
Fig. 2 Seasonal variation of population for *C. sideropus* in Donghu Lake

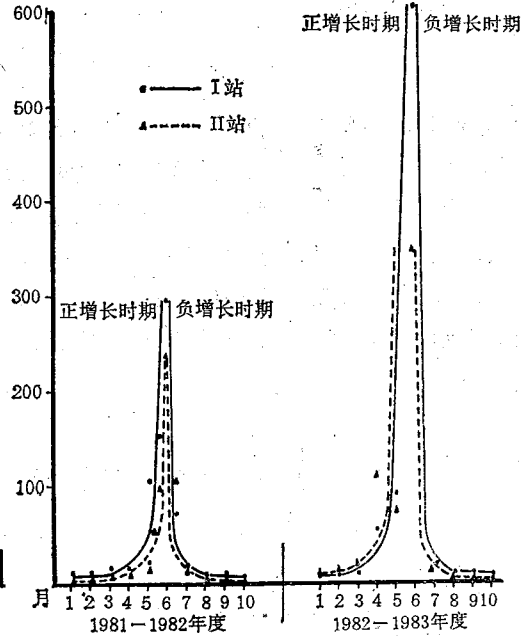


图 3 星形柄裸藻种群的增长曲线
Fig. 3 Population growth curves of *C. sideropus*

率。根据星形柄裸藻正增长时期列出的各相应方程,其内禀增长能力应分别如下:

1981—1982 年度: I 站为 2.014, II 站为 2.005。

1982—1983 年度: I 站为 2.434, II 站为 2.296。

用相应的公式^[5,9]:

$$\lambda = e^k \quad (7)$$

可求出有限增长率 (λ), 即种群在单位时间(月)内增长的倍数:

1981—1982 年度: I 站为 7.493, II 站为 7.426。

1982—1983 年度: I 站为 11.404, II 站为 9.934。

用另一个相应的公式^[5,9]:

$$T = \ln 2/k \quad (8)$$

可求出种群增长的加倍时间:

1981—1982 年度: I 站为 0.34 月 (10.2d), II 站为 0.35 月 (10.5d)。

1982—1983 年度: I 站为 0.29 月 (8.5d), II 站为 0.30 月 (9.1d)。

东湖中星形柄裸藻种群的内禀增长能力和有限增长率, I 站的大于 II 站, 1982—1983 年度的大于 1981—1982 年度; 相反, 种群增长的加倍时间, I 站的小于 II 站, 1982—1983 年度的小于 1981—1982 年度。这反映了星形柄裸藻的生长: I 站优于

II 站, 1982—1983 年度优于 1981—1982 年度。

种群在理想状态下增长时, 其内禀增长能力是稳定不变的。但是, 实际上在自然环境中因受种种生态因素的影响, 种群的增长不可能是稳定一致的^[3,5]。因此, 种群的内禀增长能力也是变动的。相应的公式为^[5,9]:

$$k = \frac{\ln N_2 - \ln N_1}{t_2 - t_1} \quad (9)$$

式中, k 为瞬时增长率; N_1 和 N_2 分别为 t_1 和 t_2 时的种群密度(个/L); t_1 和 t_2 分别为种群增长的不同时间(月)。以式(9)对星形柄裸藻种群的瞬时增长率进行实际测算, 所得的 k 值在各个时段是不相同的, 且波动很大, 在正增长期间有时会出现负值; 在负增长期间, 有时会出现正值(图 4)。这说明了星形柄裸藻种群在东湖中生长也是不稳定的。 k 值的变动曲线, I 站和 II 站非常相似, 表明两个站的环境变动基本上是一致的; 在不同的年度, k 值变动曲线虽有不同, 但趋势基本相似, 反映了两个年度的环境变动也比较相似(图 4)。

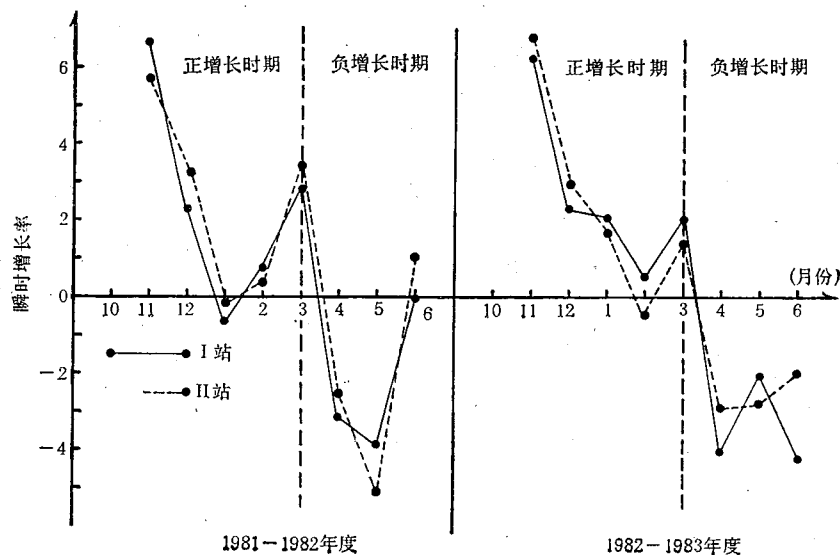


图 4 星形柄裸藻种群瞬时增长率 (k) 的变动

Fig. 4 Variation in the instantaneous rate (k) for *C. sideropus*

(3) 种群的内分布型 在自然界中, 种群内的个体分布有三种类型: 随机分布、均匀分布、集群分布。这种内分布型可用方差 v 和样方个体平均数 (m) 的比值 (v/m)^[6] 来决定^[6]。当 $v/m > 1$ 时为集群分布; 当 $v/m = 1$ (实际计算时只要 $v/m \approx 1$) 为随机分布, 当 $v/m < 1$ 时为均匀分布。

方差计算的公式为:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - m)^2}{n} \quad (10)$$

式中, v 为方差; m 为样方个体平均数; M_i 为每个样方的个体数; n 为样方数。根据式

表 1 星形柄裸藻种群的内分布型

Tab. 1 Internal distribution pattern of population *C. sideropus* ($v/m > 1$, clumped; $v/m \approx 1$, random; $v/m < 1$, uniform)

月 份	甲壳动物	方差 (v)		平均附着量 (m)		v/m 比值	
		1981—1982	1982—1983	1981—1982	1982—1983	1981—1982	1982—1983
11	D	5.98	2.50	1.26	1.22	4.75	2.08
	C	10.50	5.40	2.28	0.77	4.60	7.07
	N	—	—	—	—	—	—
12	D	20.78	2 279.10	1.96	23.72	10.60	117.20
	C	114.60	5 105.60	12.18	18.87	9.40	270.60
	N	—	0.63	—	0.55	—	1.15
1	D	11.30	93 235.90	4.18	481.90	2.3	193.40
	C	25.70	15 709.50	7.00	166.70	3.70	94.20
	N	—	69.40	—	6.90	—	10.00
2	D	270.00	5 970.60	23.38	67.08	11.70	89.00
	C	2 009.80	1 146.10	36.95	55.25	54.30	20.70
	N	3.10	121.30	1.00	8.50	3.10	14.30
3	D	23 772.10	30 038.80	197.60	267.32	120.30	112.40
	C	15 487.30	26 986.20	214.08	176.35	72.30	153.00
	N	473.20	28.80	25.90	3.30	23.70	8.70
4	D	65.60	740.60	13.82	24.28	4.70	30.50
	C	1 078.40	652.60	24.60	23.80	43.10	27.40
	N	444.60	0.05	7.55	0.05	58.90	1.00
5	D	4.76	1.06	0.78	1.02	6.10	1.04
	C	0.09	4.75	0.10	1.50	0.91	3.16
	N	0.80	2.45	0.16	0.50	5.00	4.90
6	D	3.44	0.20	1.62	0.18	2.10	1.11
	C	—	—	—	—	—	—
	N	—	—	—	—	—	—

D = 透明藻; C = 近邻剑水蚤; N = 特异荡镖水蚤。

(10)的原则,设每一个甲壳动物为一个样方,则星形柄裸藻对每一种甲壳动物的平均附着量即为样方个体平均数,每一个甲壳动物体表附着的星形柄裸藻数目即为样方个体数,这样可计算出 v 值。然后用 v/m 的比值对东湖中星形柄裸藻种群在各个时期的内分布状况进行分析(表 1),可以看出绝大多数的 v/m 比值大于 1。因此可以认为,星形柄裸藻主要是集群分布的类型;只有当平均附着量很小时,偶见 $v/m \approx 1$,此时为随机分布。集群程度的大小与星形柄裸藻对甲壳动物的平均附着量、附着率有密切的关系。用相关分析法^[2]求出它们的相关关系,分别为:

A. 平均附着量与 v/m 比值两者的相关系数 $r = 0.577$, 自由度 $n - 2 = 38$, 概率 $p < 0.01$ 。因此,两者之间具非常明显的正相关性。

B. 附着率与 v/m 比值两者的相关系数 $r = 0.493$, 自由度 $n - 2 = 38$, 概率 $p < 0.01$ 。因此, 这两者之间也具非常明显的正相关性。

这两个相关性说明, 平均附着量或附着率高时, v/m 比值也高, 相应地星形柄裸藻的集群程度也高; 反之就弱; 甚至当平均附着量很小时, 有可能出现 $v/m \approx 1$, 此时的星形柄裸藻种群就变成随机分布了。

3. 星形柄裸藻的种群密度、附着量、附着率、平均附着量之间的关系

(1) 密度、附着量与附着率的关系 附着率是反映星形柄裸藻对宿主附着能力广泛程度的一个量度, 附着率越高, 被星形柄裸藻附着的宿主数量也就越多, 也从一个方面反映了星形柄裸藻增长能力的大小。因此, 星形柄裸藻的种群密度与它对全体宿主的附着率有着密切的关系, 其相关曲线见图 5, 相应的回归方程为:

$$N = 0.0141e^{0.0948R} (r = 0.937, p < 0.01)$$

当附着率 (R) 在 10—70% 时, 种群密度 (N) 变化不大; 当附着率在 70—100% 时, 密度陡然增加。这种指数相关性可能与种群的 J 形增长型(指数增长)有关。

由于星形柄裸藻的种群密度即等于它对全体宿主的附着量, 因此星形柄裸藻对每一小型甲壳动物的附着量 (B) 与其相应的附着率 (R) 也有相同的指数相关性:

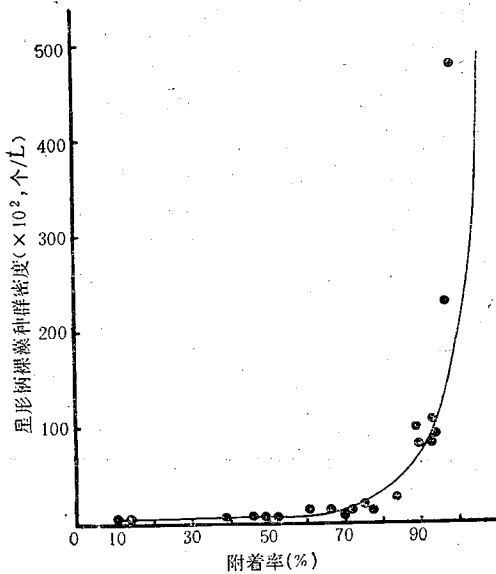


图 5 星形柄裸藻的种群密度 (N) 与附着率 (R) 的关系

Fig. 5 Correlation between the population densities (N) and the attachment rates (R) of *C. sideropus*

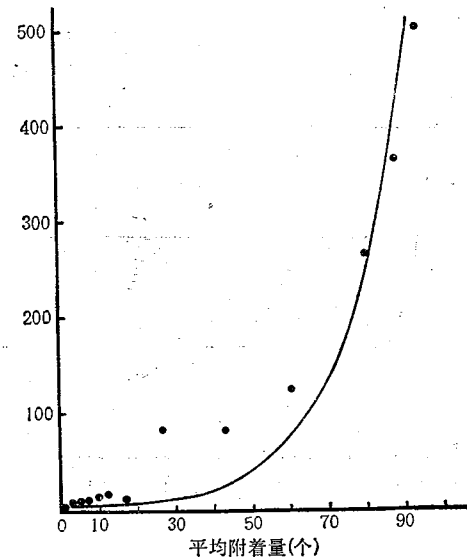


图 6 星形柄裸藻的种群密度 (N) 与平均附着量 (m) 的关系

Fig. 6 Correlation between the population densities (N) and the mean attachment amounts (m) of *C. sideropus*

$$B = ae^{bR} [a \text{ 和 } b \text{ 为方程常数, 式(12)同}] \quad (11)$$

(2) 密度、附着量与平均附着量的关系 平均附着量的大小, 从另一个方面反映星形柄裸藻种群的增长程度, 因此它与种群密度也有相当密切的关系, 其相关曲线亦呈指数型的(图 6), 相应的回归方程为:

$$N = 1.353e^{0.0326m} (r = 0.831, p < 0.01)$$

当平均附着量 (m) 在 1—60 个时, 种群密度 (N) 变化不大; 当达到和超过 60 个时, 密度陡然增加。这说明也和种群的指数型增长有关。

同样的道理, 星形柄裸藻对不同种的小型甲壳动物的附着量 (B) 与之相应的平均附着量 (m) 也有相同的指数相关性:

$$B = ae^{bm} \quad (12)$$

参 考 文 献

- [1] 中国科学院数学研究所统计组, 1979. 常用数理统计方法. 科学出版社, 1—262 页。
 [2] 郭祖超等, 1964. 医用数理统计方法. 人民卫生出版社, 1—516 页。
 [3] 梁彦龄、张国馨, 1964. 隆腺溞 (*Daphnia carinata* King) 的内禀增长能力. 水生生物学集刊 5(1): 31—36。
 [4] 饶钦止, 1962. 五里湖 1951 年湖泊学调查 三、浮游植物. 水生生物学集刊 1: 74—92。
 [5] 黄祥飞、陈雪梅、伍焯田、胡春英, 1984. 武汉东湖浮游动物的数量和生物量变动的研究. 水生生物学集刊 8(3): 345—358。
 [6] 奥德姆, E. P., 1971. 孙儒冰等译, 1981. 生态学基础. 人民教育出版社, 1—606 页。
 [7] Hikel, B., 1985. The population structure of *Ceratium* in a small eutrophic lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 2845—2849。
 [8] Lund, J. W., 1965. The ecology of the freshwater phytoplankton. *Biol. Rev. Camb. Phil. Soc.* 40: 231—293。
 [9] Reynolds, C. S., 1984. The Ecology of Freshwater Phytoplankton. Cambridge University Press, 1—384。
 [10] Rosowski, J. R., 1973. Observations on the euglenoid *Colacium* with special reference to the formation and morphology of attachment material. *J. Phycol.* 9(4): 370—383。
 [11] Skuja, H., 1939. Beitrag zur Algeuflora Lettlands II. *Act. Hort. Bot. Latv.* 11/12: 41—169。

POPULATION CHARACTERISTICS AND DYNAMICS OF COLACIUM SIDEROPUS IN DONGHU LAKE, WUHAN

Shi Zhixin

(Institute of hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan)

ABSTRACT

Colacium sideropus Skuja is a species of the epiphytic alga attaching mainly on *Ladocerca* and *Copepoda* (belonging to *Crustacea*). It is one of main algal populations in Donghu Lake, Wuhan, during winter and spring. Its growth peak appears in March (late winter and early spring, Fig.1).

Population growth form During positive growth of *C. sideropus*, its population growth curve (Fig. 2) shows to be J-shaped and conforms to the exponential function: $N_t = N_0 e^{kt}$ (N_t is the population density at time t , N_0 is the population density at beginning, k is the population instantaneous growth rate, t is the popula-

tion growth time); but during its negative growth, the curve (Fig. 2) is of another exponential function: $N_t = ae^{\frac{b}{t}}$ (a and b are constants).

Innate capacity for increase, finite rate for increase and doubling time

According to the exponential function of J-form growth curve: $N_t = N_0 e^{kt}$, k in the formula is called the innate capacity for increase, too. It shows the highest growth rate when the population grows under optimal conditions. The innate capacities for increase of the population were respectively:

2.014 in 1981—1982 at station I, 2.005 at station II.

2.434 in 1982—1983 at station I, 2.296 at station II.

According to the relevant formula $\lambda = e^k$, the finite rates for increase (λ) were respectively:

7.493 in 1981—1982 at station I, 7.426 at station II.

11.40 in 1982—1983 at station I, 9.934 at station II.

According to another relevant formula $T = \ln 2/k$, the doubling time (T) of population were respectively:

0.34 month (10.2 days) in 1981—1982 at station I, 0.35 month (10.5 days) at station II.

0.29 month (8.5 days) in 1982—1983 at station I, 0.30 month (9.1 days) at station II.

Internal distribution pattern The internal distribution pattern of *C. sideropus* was analyzed by v/m ratio, in which v is variance, m the mean value of individuals in sample square (i. e. the mean attachment amount* in this paper). Most $v/m \gg 1$, so the internal distribution pattern was mainly clumped; rarely $v/m \approx 1$ when the mean attachment amount was very small and in random distribution (Tab. 1).

Other interrelations The population densities (N) of *C. sideropus* in relation to the attachment rates** (R) may be described as $N = 0.0141e^{0.0948R}$ ($r = 0.937$, $p < 0.01$, Fig. 5).

The correlation between the population densities (N) and the mean attachment amounts (m) is $N = 1.353e^{0.0326m}$ ($r = 0.831$, $p < 0.01$, Fig. 6).

* Mean attachment amount (m): mean amount of *C. sideropus* per individual of Crustacea.

** Attachment rate (R) = $\frac{\text{Individuals of Crustacea with Colacium}}{\text{Total individuals of Crustacea}} \times 100\%$.