

武汉东湖星形柄裸藻种群与宿主的关系 以及生态因子对它的影响*

施之新

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要

星形柄裸藻与附生宿主之间的相互作用为: 它是偏利者, 而对宿主无很大影响; 当其在宿主体表大量附着时, 才对宿主有偏害作用。它的种群密度 (N , 个/L) 与宿主密度 (N_0 , 个/L) 有密切的正相关关系: $N = 0.0858e^{0.022N_0}$ ($r = 0.921, p < 0.01$)。宿主的蜕皮间隔时间 (T , 天) 对星形柄裸藻的平均附着量 (m , 个/每个甲壳动物) 和附着量 (B , 个/L) 的影响是: 在一定的蜕皮间隔时间范围内呈正相关性: $m = ae^{bT}$ 和 $B = ae^{bT}$ (a 和 b 为方程常数, 下同); 超过这个范围呈负相关性: $m = aT^{-b}$ 和 $B = aT^{-b}$ 。而宿主蜕皮间隔时间 (T , 天) 对星形柄裸藻附着率 (R , %) 的影响则仅为正相关性: $R = a + b \ln T$ 。星形柄裸藻对宿主的附生有一定的选择性。

水温 (t , °C) 与星形柄裸藻种群密度 (N , 个/L) 的关系为: 在 5—12°C 时呈正相关性, $N = 0.309e^{0.42t}$ ($r = 0.914, p < 0.01$); 在 12—30°C 时呈负相关性, $N = 0.0000617e^{\frac{190-t}{2}}$ ($r = 0.941, p < 0.01$), 12°C 左右可能是星形柄裸藻最适生长温度。水温对星形柄裸藻的平均附着量和附着量也有类似的相关性; 而对其附着率 (R , %) 的影响则仅呈负相关关系: $R = b \ln(30 - t) - a$ 。

水的透明度 (d , cm) 与星形柄裸藻种群密度 (N , 个/L) 的相关方程为: $N = 0.020e^{0.037d}$ ($r = 0.838, p < 0.01$)。

湖水中氮磷含量及其比值不是星形柄裸藻增长的限制因素, 而钙的含量 (S , mg/L) 与种群密度 (N , 个/L) 有一定的正相关性: $N = 0.00254e^{0.178S}$ ($r = 0.816, p < 0.05$)。

星形柄裸藻种群变动 (N , 个/L) 与 4 个主要因子: 宿主密度 (N_0 , 个/L), 透明度 (d , cm), 水温 (t , °C), 含钙量 (S , mg/L) 的多元回归方程为: $N = 1.208N_0 + 0.698d + 5.584t + 2.942S - 357.957$ ($R = 0.853, df = 11, k = 4, p < 0.01$)。

关键词 星形柄裸藻, 武汉东湖, 宿主, 生态因子, 相互关系

武汉东湖中的星形柄裸藻 (*Colacium sideropus* Skuja^[21,22]) 是冬春季节主要的藻类种群之一, 其主要的附生宿主有透明蚤 (*Daphnia hyalina*)、近邻剑水蚤 (*Cyclops vicinus*)

* 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, 在此一并致谢。

1988年7月28日收到。

和特异荡镖水蚤 (*Neurodiaptomus incongruens*)——它们也是同时存在的小型甲壳动物的优势种群^[10]。星形柄裸藻种群的增长特点属典型的“J”形增长型^[13,18,20]。有关它的季节变化、种群特征以及变动规律已有论述^[8]。本文着重讨论它与宿主的相互关系以及生态因子对它的影响。

工 作 方 法

取样、计数、参数¹⁾的计算及说明详见参考文献[8]。

结 果 与 讨 论

(一) 星形柄裸藻种群与宿主的关系

1. 相互作用

星形柄裸藻与宿主之间的相互作用,可用二者密度的相关性来说明(图1)。回归方程为:

$$N = 0.0858e^{0.0528N_s} (r = 0.921, p < 0.01)$$

式中 N 为星形柄裸藻种群密度(个/L), N_s 为宿主(本文主要是枝角类和桡足类,下同)的密度(个/L)。由相关曲线可说明它们二者在生态环境中的增长呈正相关关系,彼此不起抑制作用。由于星形柄裸藻依赖于甲壳动物体表营附生,因此它们相互作用的类型主要是偏利作用(按 Odum^[14]的分类标准):即星形柄裸藻为偏利者,而对宿主没有很大的影响。但是,当柄裸藻附着数量很多时,会使宿主负载增加,行动变缓,甚至下沉。这时对宿主会产生偏害作用。这在枝角类和桡足类的培养试验中得到证实。至于对宿主是否有寄生关系,尚不明了。

对不同种小型甲壳动物体表的星形柄裸藻附着量(B , 个/L)与该种小型甲壳动物的密度(N , 个/L)进行相关分析^[1,7],也得到一样的指数性正相关关系: $B = ae^{bN}$ (a 和 b 为方程常数)。这说明了星形柄裸藻与不同种类小型甲壳动物的相互作用是相似的。

2. 宿主的蜕皮对星形柄裸藻附生的影响

在枝角类和桡足类的生长过程中要进行多次蜕皮。培养枝角类和桡足类的实验中观察到,当它们进行蜕皮时,附着的柄裸藻全部同时脱去。因此,枝角类和桡足类的蜕皮对柄裸藻的着生必然产生影响,其影响的状况和程度从三个方面来阐明。

1) 主要参数有:

1. 附着率 (R) = $\frac{\text{附有柄裸藻的甲壳动物个体数}}{\text{甲壳动物总个体数}} \times 100\%$
2. 平均附着量 (m) = $\frac{\text{柄裸藻个体平均数}}{\text{每个甲壳动物}}$
3. 附着量 (B), 为一升水中某一种甲壳动物所附着的柄裸藻数量(个/L)
4. 柄裸藻密度 (N), 为一升水中所含柄裸藻的总数量(个/L)

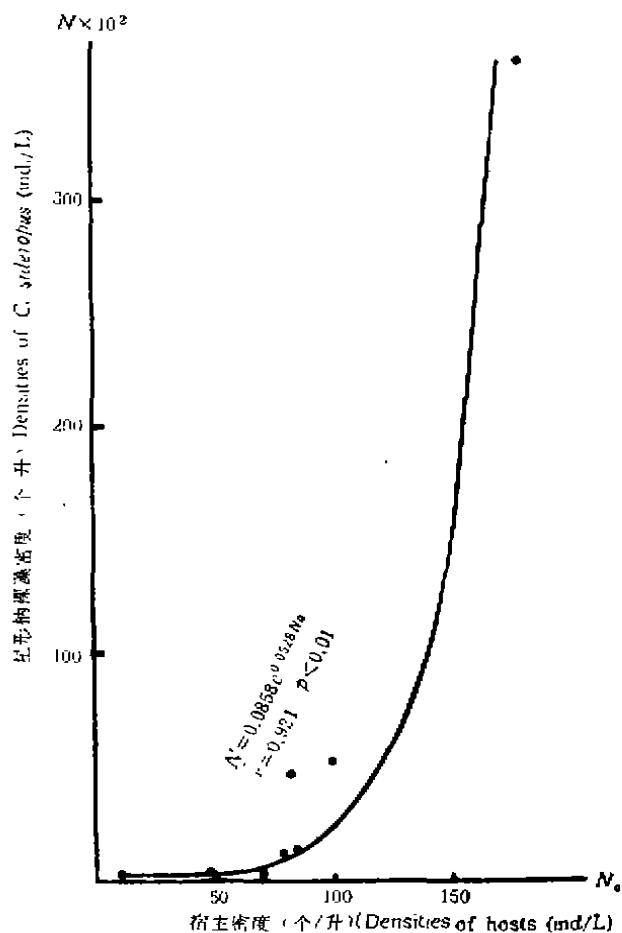


图 1 星形柄裸藻密度 (N) 与宿主密度 (N_h) 的关系

Fig. 1 Relationship between the densities (N) of *C. sideropus* and the densities (N_h) of hosts

(1) 蜕皮间隔时间^[5,9]对平均附着量的影响

甲壳动物的蜕皮间隔时间 (T , d) 与星形柄裸藻的平均附着量 (m , 个/每个甲壳动物) 有着明显而复杂的相关关系 (图 2), 在一定的蜕皮间隔时间内 (透明蚤为 1.33—6.5d, 近邻剑水蚤为 1.8—3 d, 特异荡镖水蚤无蜕皮数据不能分析, 下同) 呈正相关关系: $m = ae^{bT}$ (a 和 b 为方程常数); 当超过此间隔时间范围, 则呈负相关关系: $m = aT^{-b}$ (a 和 b 为方程常数)。

值得指出的是正负相关性的转折点, 在星形柄裸藻的平均附着量峰值处, 而此处正值星形柄裸藻生长的最盛月份 (3 月), 但此时宿主们的蜕皮间隔时间均不是最长的 (最长时间在 1 月)。按理论而言, 蜕皮间隔时间长对柄裸藻增长有利, 应成正相关性, 但事实上并不如此, 详细讨论见“结果与讨论”之三。

(2) 蜕皮间隔时间对附着量的影响

蜕皮间隔时间 (T , 天) 与附着量 (B , 个/L) 之间的关系与 (1) 中情况一样, 反映的问题

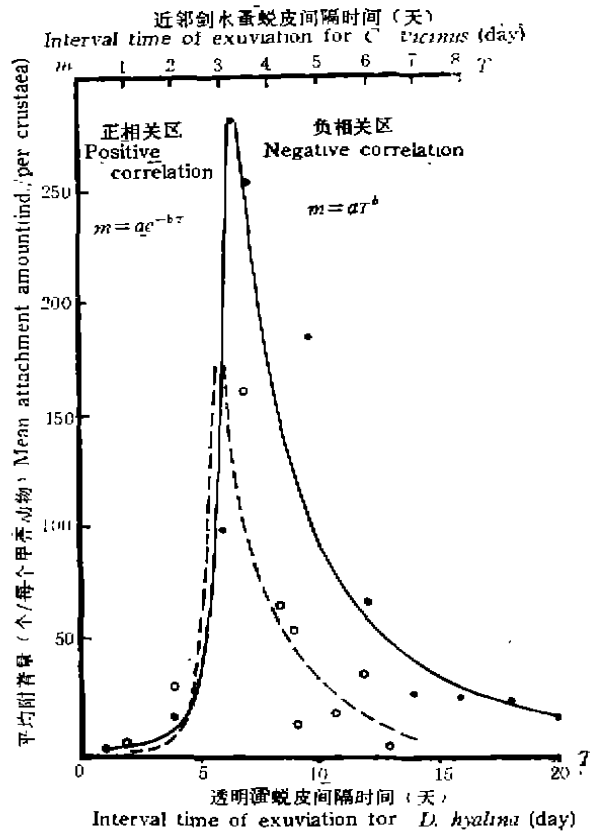


图 2 不同宿主蜕皮间隔时间 (T) 与其体表星形柄裸藻平均附着量 (m) 的关系
 Fig. 2 Correlation between the interval time (T) of exuviation for different hosts and the mean attachment amounts (m) of *C. sideropus* attaching on different hosts

●——示宿主为透明溞 (*D. hyalina*), 在正相关时 (Positive correlation): $m = 0.037e^{1.334T}$ ($r = 0.985, p < 0.01$); 在负相关时 (Negative correlation): $m = 28618T^{-1.49}$ ($r = 0.837, p < 0.01$)。○——示宿主为近邻剑水蚤 (*C. vicinus*), 在正相关时 (Positive correlation): $m = 0.000392e^{4.11T}$ ($r = 0.946, p < 0.01$); 在负相关时 (Negative correlation): $m = 6439T^{-3.33}$ ($r = 0.781, p < 0.05$)。

亦相同(图 3),即在一定的蜕皮间隔时间范围内呈正相关关系: $B = ae^{bT}$ (a 和 b 为方程常数);当超过这个间隔时间范围,则呈负相关关系: $B = aT^{-b}$ (a 和 b 为方程常数)。

(3) 蜕皮间隔时间对附着率的影响

蜕皮间隔时间对星形柄裸藻附着率的影响比较单纯,仅为对数形式的正相关关系(图 4),在不同甲壳动物中其回归方程分别为:

透明溞中 $R = 22.95 + 30.40 \ln T$ ($r = 0.834, p < 0.01$)

近邻剑水蚤中 $R = 32.50 + 37.00 \ln T$ ($r = 0.729, p < 0.05$)各式中 R 为附着率(%), T 为蜕皮间隔天数。

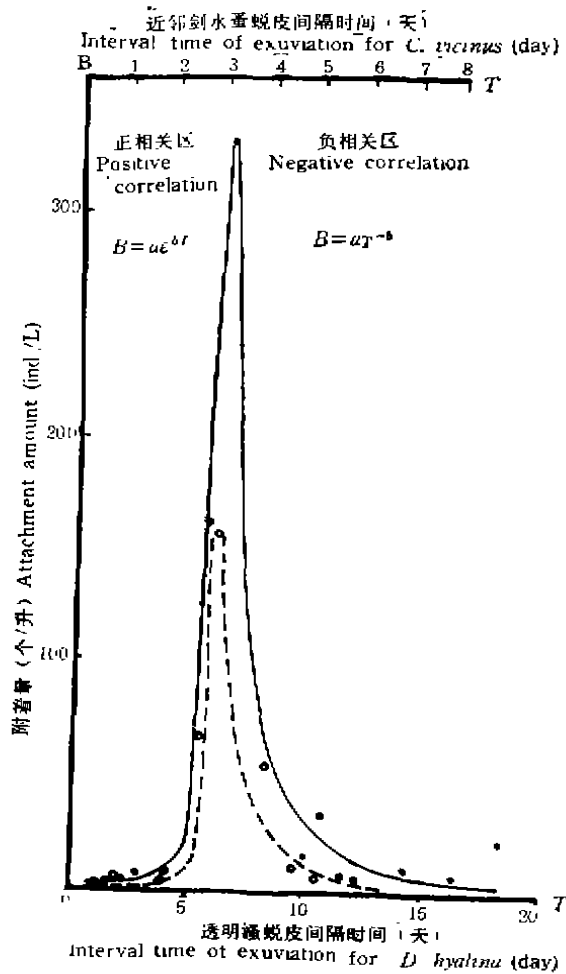


图3 不同宿主蜕皮间隔时间 (T) 与其体表星形柄裸藻附着量 (B) 的关系
 Fig. 3 Correlation between the interval time (T) of exuviation for different hosts and the attachment amount (B) of *C. sideropus* attaching on different hosts

●——示宿主为透明蚤 (*D. hyalina*), 在正相关时 (Positive correlation): $B = 0.00657e^{1.7927T}$ ($r = 0.949, p < 0.01$); 在负相关时 (Negative correlation): $B = 715965T^{-1.13}$ ($r = 0.890, p < 0.05$)。○——示宿主为近邻剑水蚤 (*C. vicinus*), 在正相关时 (Positive correlation): $B = 9.18e^{0.207T}$ ($r = 0.926, p < 0.05$); 在负相关时 (Negative correlation): $B = 47877T^{-2.22}$ ($r = 0.908, p < 0.05$)。

3. 星形柄裸藻对宿主的选择性

从图 6、7 以及表 1 中, 可以看出星形柄裸藻的附着率和平均附着量在不同种类的小型甲壳动物中存在着明显的差别。其数值以透明蚤最高, 其次为近邻剑水蚤, 而特异荡镖水蚤远低于前二者。这表明星形柄裸藻对宿主存在着一定的选择性。产生这种选择性的原因尚不明了, 有待探究(微量元素的吸收可能是原因之一^[12])。

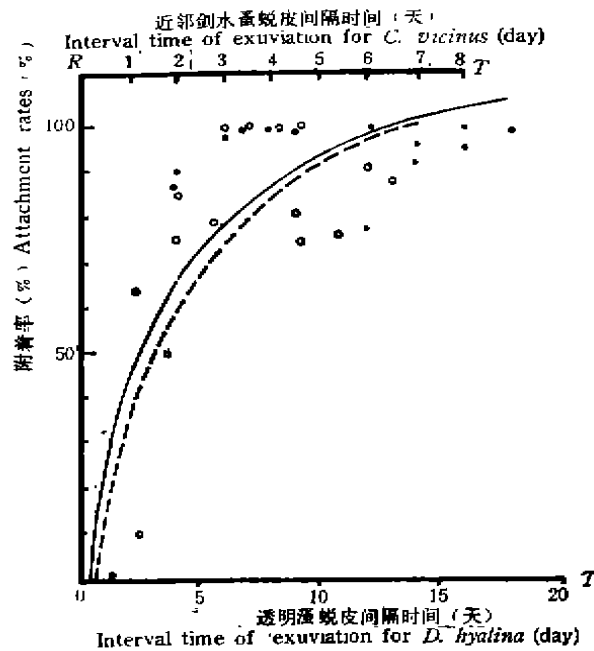


图 4 不同宿主蜕皮间隔时间 (T) 与其体表星形柄裸藻附着率 (R) 的关系
 Fig. 4 Correlation between the interval time (T) of exuviation for different hosts and the attachment rates (R) of *C. sideropus* attaching on different hosts

●——示宿主为透明溞 (*D. hyalina*): $R = 22.95 + 30.40 \ln T$ ($r = 0.834$, $p < 0.01$).
 ○——示宿主为近邻剑水蚤 (*C. vicinus*): $R = 32.50 + 37.00 \ln T$ ($r = 0.729$, $p < 0.05$).

表 1 不同甲壳动物中星形柄裸藻的平均附着量 (m) 与附着率 (R)

Tab. 1 The mean attachment amounts (m) and the attachment rates (R) of *C. sideropus* in various Crustacea

甲壳动物 Crustaea	平均附着量 (m)和附着率(R)	平均附着量(个/每个甲壳动物) m (ind./per Crustacea)						附着率(%) R					
		1981—1982 年度 (Year)			1982—1983 年度 (Year)			1981—1982 年度 (Year)			1982—1983 年度 (Year)		
		平均 Mean	最高 Hig- hest	最低 Low- est	平均 Mean	最高 Hig- hest	最低 Low- est	平均 Mean	最高 Hig- hest	最低 Low- est	平均 Mean	最高 Hig- hest	最低 Low- est
透明溞 <i>Daphnia hyalina</i>		30.6	197.6	0.8	108.3	481.9	0.2	66.4	100	16.0	74.0	100	14.0
近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus</i>		37.2	214.1	0	55.4	176.4	0	62.5	100	0	66.6	100	0
特异荡镖水蚤 <i>Neutrodiaptomus incongruens</i>		4.3	25.9	0	2.5	6.9	0	21.6	90.0	0	30.6	65.0	0

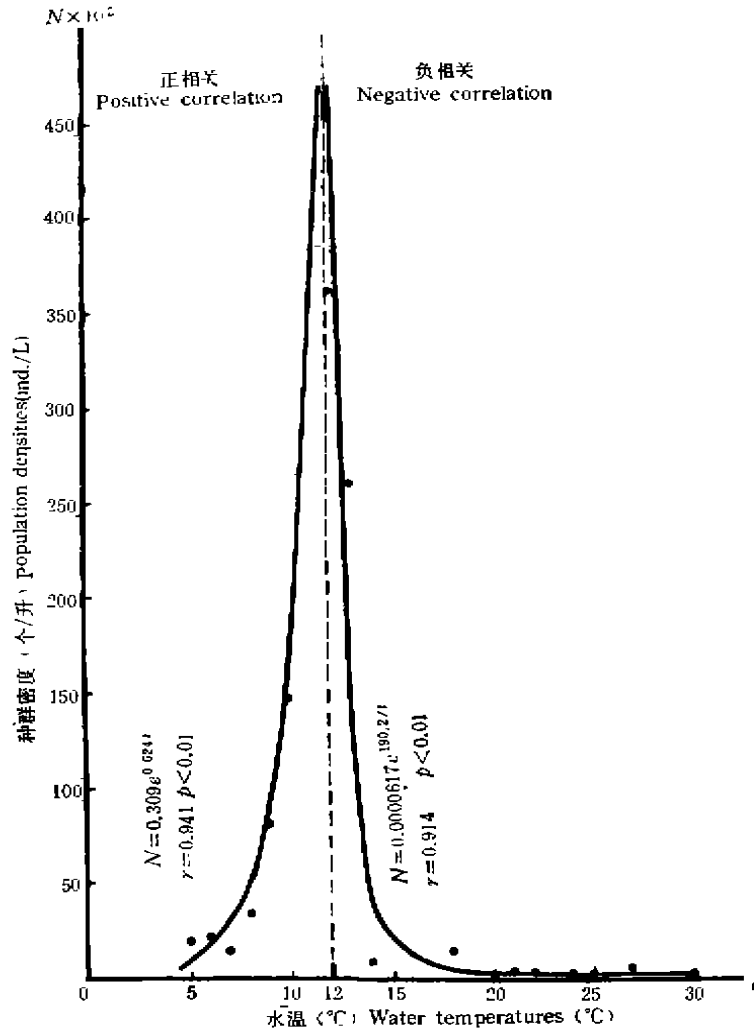


图5 星形柄裸藻的种群密度(N)与水温(t)的关系

Fig. 5 Correlation between the population densities (N) of *C. sideropus* and the water temperatures (t)

(二) 星形柄裸藻种群变动与理化环境因子的关系

1. 水温

水温对星形柄裸藻种群的增长和季节变化起着很重要的影响:

(1) 对种群密度和附着量的影响

水温在 5—12°C 范围内, 星形柄裸藻的种群密度随温度升高而增加; 当超过这个范围, 种群密度随温度升高而下降(图 5), 其回归方程分别为:

水温 5—12°C 时正相关 $N = 0.309e^{0.624t}$ ($r = 0.914, p < 0.01$)

水温 12—30°C 时负相关 $N = 0.0000617e^{\frac{190.2}{t}}$ ($r = 0.941, p < 0.01$)

各式中 N 为种群密度(个/L), t 为水温($^{\circ}\text{C}$)。12 $^{\circ}\text{C}$ 是正负相关性的转折点,也恰好是 3 月中旬星形柄裸藻增长高峰时期的水温,由此反映出 12 $^{\circ}\text{C}$ 左右可能是星形柄裸藻的最适生长温度。

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^[6]。因此,水温(t , $^{\circ}\text{C}$)对不同类型甲壳动物的星形柄裸藻附着量(B , 个/L)也有非常类似的影响。即在一定的温度范围内(透明溞和近邻剑水蚤为 5—12 $^{\circ}\text{C}$, 特异荡镖水蚤为 5—13 $^{\circ}\text{C}$)呈正相关关系: $B = ae^{bt}$ (a 和 b 为方程常数); 超过这个温度范围呈负相关关系: 在透明溞和近邻剑水蚤中其相关方程为 $B = ae^{\frac{b}{t}}$, 在特异荡镖水蚤中其相关方程为 $B = ae^{-bt}$ (二式中的 a 和 b 为方程常数)。

(2) 对平均附着量的影响

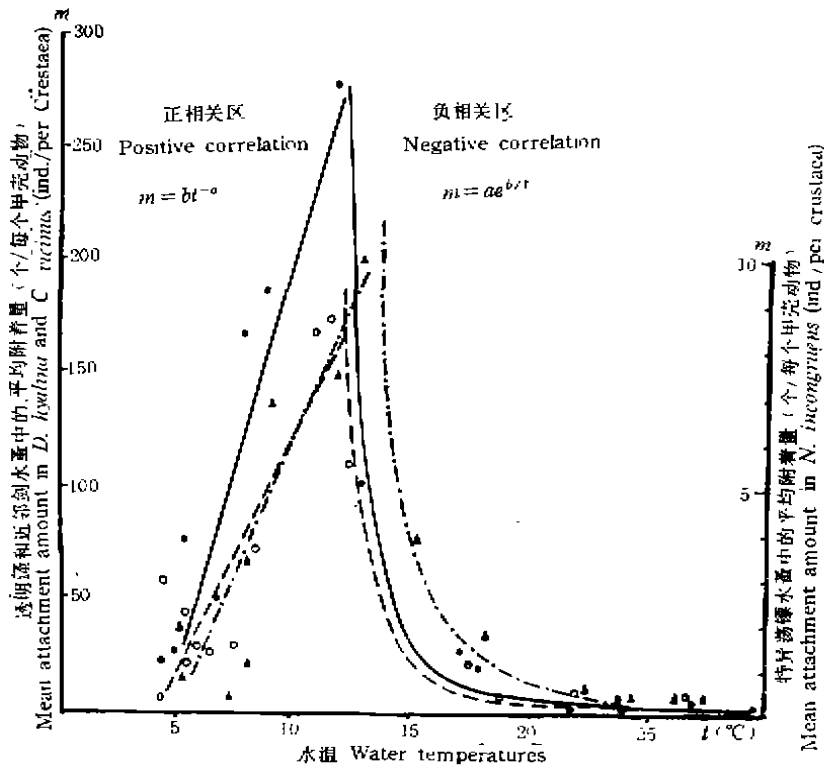


图 6 不同宿主体表星形柄裸藻平均附着量 (m) 与水温 (t) 的关系

Fig. 6 Correlation between the mean attachment amounts (m) of *C. sideropus* attaching on different hosts and the water temperatures (t)

●——示宿主为透明溞 (*D. hyalina*), 在正相关时 (Positive correlation): $m = 33.03t - 144$ ($r = 0.777, p < 0.05$); 在负相关时 (Negative correlation): $m = 0.00465e^{\frac{122.6}{t}}$ ($r = 0.978, p < 0.01$)。○——示宿主为近邻剑水蚤 (*C. vicinus*), 在正相关时 (Positive correlation): $m = 22.90t - 116$ ($r = 0.848, p < 0.05$); 在负相关时 (Negative correlation): $m = 0.004 \times e^{\frac{162.1}{t}}$ ($r = 0.938, p < 0.01$)。▲——示宿主为特异荡镖水蚤 (*N. incognita*), 在正相关时: $m = 1.138t - 5.00$ ($r = 0.805, P < 0.05$); 在负相关时 (Negative correlation): $m = 0.00202 e^{\frac{112.4}{t}}$ ($r = 0.980, p < 0.01$)。

水温 ($t, ^\circ\text{C}$) 对星形柄裸藻平均附着量 (m , 个/每个甲壳动物) 的影响与其对种群密度和附着量的影响很相似, 但相关曲线和回归方程有较大的不同(图 6)。在一定的温度范围内(透明溞和近邻剑水蚤为 5—12 $^\circ\text{C}$, 特异荡镖水蚤为 5—13 $^\circ\text{C}$)呈正相关关系: $m = bt - a$; 超过这个范围呈负相关关系: $m = ae^{\frac{b}{t}}$ (二式中的 a 和 b 为方程常数)。

在不同的小型甲壳动物中, 正负相关关系转折的临界温度略有不同: 透明溞和近邻剑水蚤均为 12 $^\circ\text{C}$, 而特异荡镖水蚤则为 13 $^\circ\text{C}$ 。但是这二个温度均出现在星形柄裸藻生长高峰的 3 月中旬。这也同样反映出 12 $^\circ\text{C}$ 左右的水温可能是星形柄裸藻生长的最适温度。

(3) 对附着率的影响

星形柄裸藻的附着率是随着水温的升高而呈下降趋势, 其相关性呈对数曲线形式(图 7), 相应的回归方程在不同的甲壳动物中分别为:

$$\text{透明溞 } R = 39.37\ln(30 - t) - 20.89 (r = 0.933, p < 0.01)$$

$$\text{近邻剑水蚤 } R = 40.95\ln(30 - t) - 30.61 (r = 0.939, p < 0.01)$$

$$\text{特异荡镖水蚤 } R = 31.54\ln(30 - t) - 44.74 (r = 0.843, p < 0.01)$$

各式中 R 为附着率(%), t 为水温($^\circ\text{C}$)。

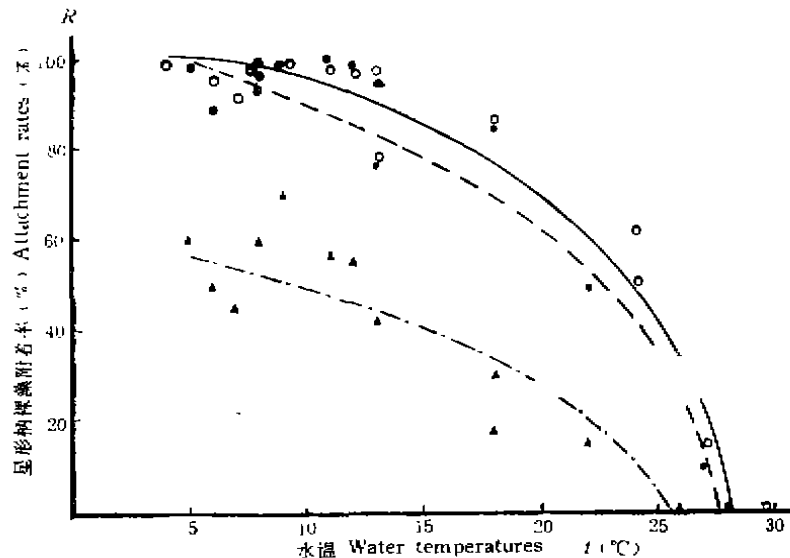


图 7 不同宿主体表星形柄裸藻附着率 (R) 与水温 (t) 的关系

Fig. 7 Correlation between the attachment rates (R) of *C. sideropus* attaching on different hosts and the water temperatures (t)

- 示宿主为透明溞(*D. hyalina*): $R = 39.37\ln(30 - t) - 20.89$ ($r = 0.933, p < 0.01$)。
- 示宿主为近邻剑水蚤(*C. vicinus*): $R = 40.95\ln(30 - t) - 30.61$ ($r = 0.939, p < 0.01$)。
- ▲——示宿主为特异荡镖水蚤(*N. incongruens*): $R = 31.54\ln(30 - t) - 44.47$ ($r = 0.843, p < 0.01$)。

2. 透明度

湖水的透明度反映了水中光线的强弱和光线穿透水层的程度。因此, 湖水的透明度对星形柄裸藻的光合作用有很大的影响, 这也必然会影响到种群的增长。它们之间的关系

存在着明显的正相关性(图 8), 其回归方程为:

$$N = 0.020e^{0.037d} (r = 0.838, p < 0.01)$$

式中 N 为种群密度(个/L), d 为 Secchi 盘透明度(cm)。当透明度在 50—150cm 时, 种群密度很低, 当超过 150 cm 时迅速增加。

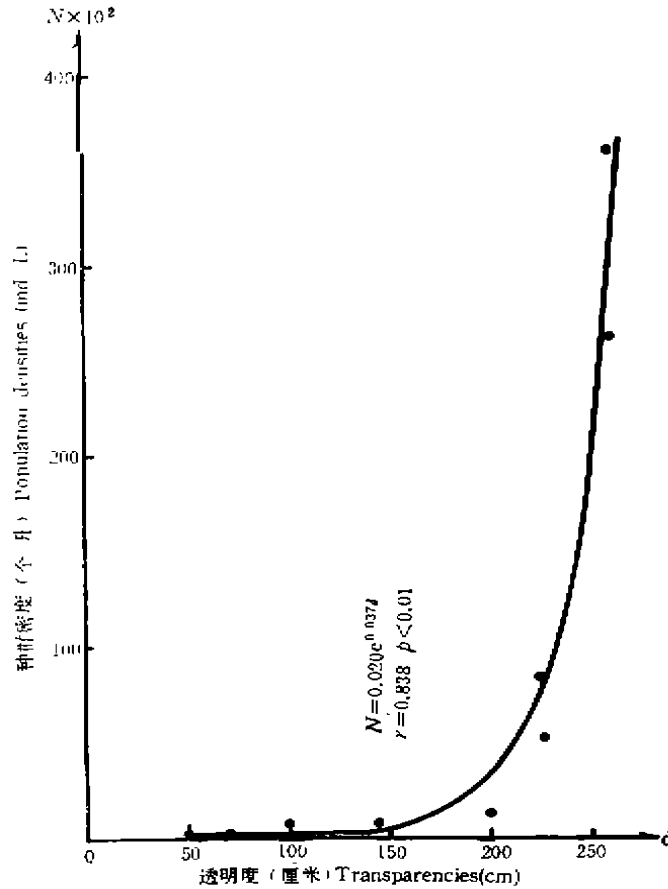


图 8 星形柄裸藻种群密度 (N) 与透明度 (d) 的关系

Fig. 8 Correlation between the population densities (N) of *C. sideropus* and the transparencies (d)

3. 营养盐类

根据水化学分析的资料(由本所第四研究室化学组提供), 这里着重讨论氮、磷、钙三种营养元素与星形柄裸藻种群增长的关系^[18-20]。

(1) 氮、磷及其比值 (N/P)

东湖中的总氮含量为 1—4mg/L(其中无机氮 0.1—1mg/L); 总磷为 0.03—0.8mg/L(其中无机磷 0.01—0.3mg/L)。很显然这些均属于富营养湖泊的含量范围^[3,4,6,12](甚至是极富营养含量的范围^[3])。因此, 丰富的氮、磷含量不可能成为星形柄裸藻增长的限制因子^[2,13]。从图 9 中, 所显示出氮、磷变动和星形柄裸藻的增长无任何相关性, 也清楚地证明

表 2 星形柄裸藻增长与湖水氮磷比的关系

Tab. 2 Correlation between the growth of *C. sideropus* and N/P ratios in the lake

年度(Year)	月份(Month)	10	11	12	1	2	3	4	5	6
		氮磷比 (N/P ratios)	1981—1982	13.2	16.8	/	10.7	7.4	20.9	15.1
	1982—1983	10.2	18.4	8.0	6.9	54.2	3.3	8.8	16.9	31.7
星形柄裸藻增长(个/L × 10 ²) Growth of <i>C. sideropus</i> (ind./L × 10 ²)	1981—1982	0	0.53	9.1	7.3	46.1	157.1	12.3	0.2	0.3
	1982—1983	0	0.83	12.1	83.1	82.4	461.5	12.1	1.1	0.05

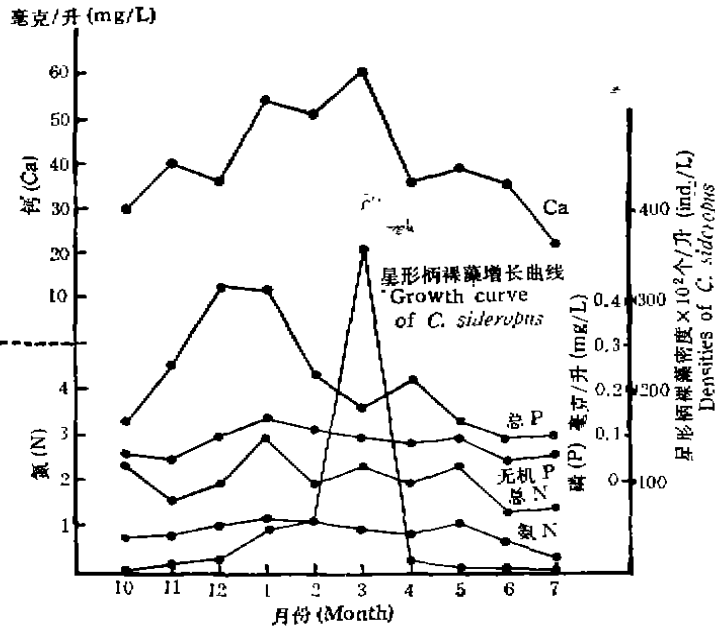


图 9 星形柄裸藻的增长与营养成分(氮、磷、钙)的关系

Fig. 9 Correlation between the growth of *C. sideropus* and nutrients (N, P, Ca)

了这一点。

湖水中氮磷比的变动幅度很大,且与星形柄裸藻数量的变动也无任何相关性(表 2)。这也表明湖水中的氮磷比也不是星形柄裸藻增长的限制因子。从氮磷比值大多数很高而反映出湖水中的含氮量相对地更富足,而磷相对地要“贫乏”。因此,假如湖水中含氮量的增加对星形柄裸藻的增长不会产生多大的影响;相反含磷量的增加可能会引起明显的促进作用。

(2) 钙

饶钦止教授^[11]在研究无锡五里湖浮游植物季节变化后指出,裸藻类的增长最高值出现在水质含钙量最高的月份。星形柄裸藻的增长也符合这个规律,它在东湖中的增长与水质含钙量有着较为密切的正相关关系,其相关曲线呈指数形式(图 10),相应的回归方程为:

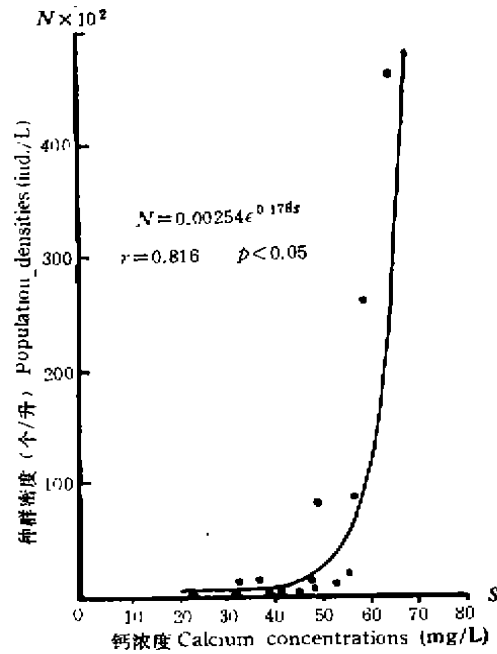


图 10 星形柄裸藻种群密度 (N) 与钙浓度 (S) 的关系

Fig. 10 Correlation between the population densities (N) of *C. sideropus* and calcium concentrations (S)

$$N = 0.00254e^{0.178S} (r = 0.816, p < 0.05)$$

式中 N 为种群密度 (个/L), S 为钙浓度 (mg/L)。当含钙量在 40mg/L 以下时, 种群密度很低; 当超过 40mg/L, 种群密度迅速增加。

(三) 环境因子对星形柄裸藻种群变动影响的综合分析

1. 形成种群 J 形增长的环境原因

环境因子对星形柄裸藻种群增长的影响是一个相当错综复杂的综合过程^[14,15,18,20]。从图 11 中可以看出, 在星形柄裸藻的整个增长季节期间其种群的增长与宿主的密度, 透明度和含钙量基本上是同步变化的; 与水温 and 宿主的蜕皮间隔时间在有些区段内是同步的, 而在另一些区段内不同步。从 10 月至次年 2 月, 宿主密度、透明度和含钙量均由低逐步上升, 宿主蜕皮间隔时间基本是由短变长, 水温基本是由高变低, 因此这期间星形柄裸藻种群由发生并逐步地向上增长。到 3 月份, 宿主密度、湖水的透明度及含钙量均处于高峰时期 (特别是宿主密度增加幅度最大); 水温也由低向高上升可能处于星形柄裸藻增长的适宜温区; 加上湖水中的其它营养成分和 pH 值 (变化不大故文中未加叙述) 并不限制星形柄裸藻的增长; 唯一略为不利的因素是宿主的蜕皮间隔时间正由长向短变化, 但仍处于适中的时间, 不足以形成限制因素。因此, 在 3 月份星形柄裸藻种群的增长能剧急上升并很快达到高峰。此后不久环境中的宿主密度、透明度和含钙量很快下降, 水温又继续较快地上升, 宿主的蜕皮间隔时间也继续地缩短。这样很快地形成了环境阻力并限制星形柄

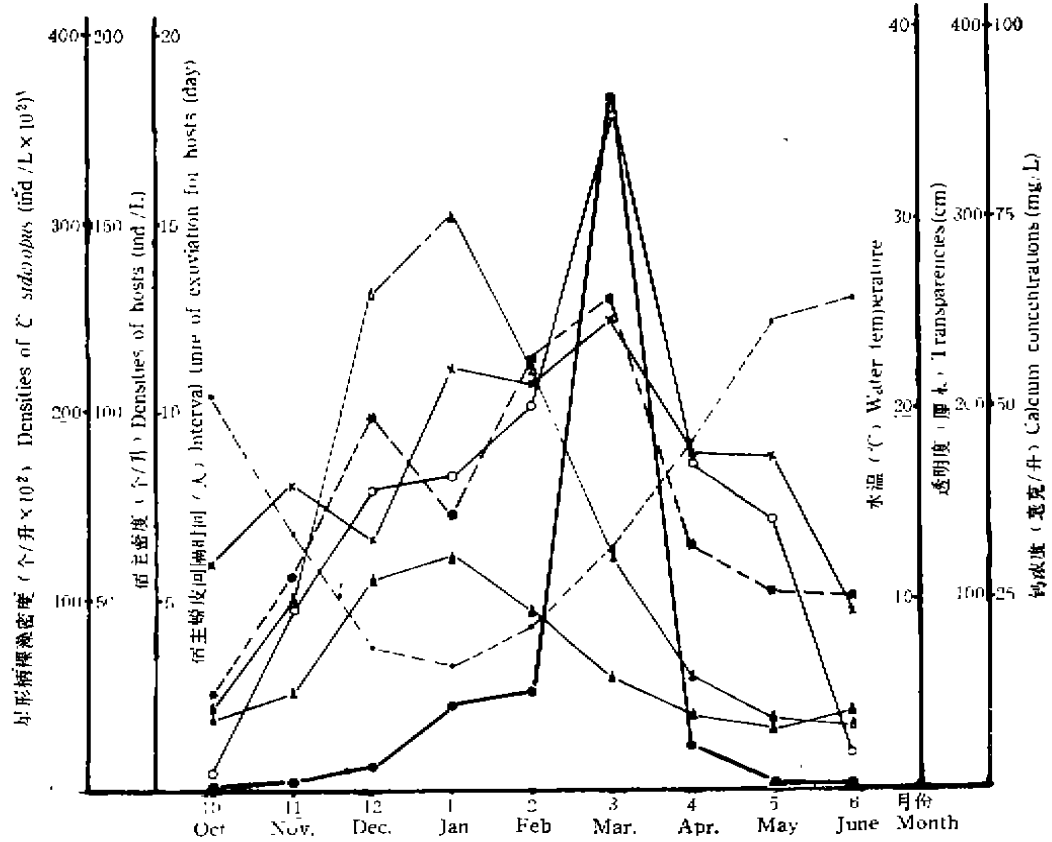


图 11 星形柄裸藻种群以及环境因子的变动(以二年的平均值表示)

Fig. 11 Variations of population for *C. sideropus* and environmental factors (showing by the mean value of two years)

●——星形柄裸藻密度 (The densities of *C. sideropus*); ○——宿主密度 (The densities of hosts); △——透明藻蜕皮间隔时间 (The interval time of exuviation for *D. hyalina*); ▲——近邻剑水蚤蜕皮间隔时间 (The interval time of exuviation for *C. vicinus*); *---透明度 (The transparencies); ×——钙浓度 (The calcium concentrations); ●——水温 (The water temperatures).

裸藻的增长,使其很快地下降。很明显,星形柄裸藻种群“J”形增长型的特征^[6]是在各种环境因子复合影响下形成的。其中起主要作用的因子是宿主的密度、透明度、含钙量和水温,其次是宿主蜕皮的间隔时间,而 pH、氮磷的含量及其比值是次要因子。

2. 多元回归分析

用多元回归的数学分析方法,可进一步较为精确地评价多种因子的复合影响,以及每种因子在影响过程中的重要程度(即贡献大小)。本文只对 4 个影响最重要的因子: 宿主密度(N_s)、透明度(d)、含钙量(S)和水温(t),与星形柄裸藻种群的变动(N)进行多元回归分析,其结果为:

$$N = 1.208N_s + 0.698d + 5.584t + 2.942S - 357.957$$

$$(R = 0.853, df = 11, k = 4, p < 0.01)$$

上式的相关系数 R 和 $p < 0.01$, 说明多元回归方程的显著性相当高, 且 N 与 N_0 、 t 、 d 、 S 之间存在着非常明显的相关性。用回归系数 t 检验的结果表明: 与星形柄裸藻关系最密切的(即贡献最大的)因子是宿主密度 ($t = 2.98, p < 0.02$), 余者依次为透明度 ($t = 1.88, p < 0.1$), 水温 ($t = 1.64, p < 0.2$) 和含钙量 ($t = 1.63, p < 0.2$)。

由于宿主中包含着几种小型甲壳动物, 而每种甲壳动物的蜕皮状况差异很大, 其影响更复杂, 因此宿主的蜕皮间隔时间没有参加多元回归分析。另外, 一些非限制因子也不参加多元回归分析, 因为它们的影响不大。

3. 对一些现象的分析讨论

在多种环境因子综合影响的过程中, 出现了一些较为错综的现象: (1) 在 11 月份, 其水温为 13°C 左右, 这和 3 月份星形柄裸藻种群增长高峰时的水温 (12°C 左右) 非常接近, 但星形柄裸藻的增长水平却很低。(2) 宿主蜕皮间隔时间最长的时期在 12—1 月, 这是对星形柄裸藻在宿主上营附生是最有利的时期, 但此时的星形柄裸藻增长也很低。造成这些现象的原因可能是在这二个时期中, 其它环境因子尚处于不适宜状态或比较低的水平, 限制了星形柄裸藻的增长速度, 因此使适宜水温或宿主蜕皮间隔时间较长的有利因素不能显示出来(图 11)

4. 结语

事实上环境因子对星形柄裸藻种群变动的综合影响比文中讨论的更为错综复杂。笔者在讨论分析的过程中不仅避开那些关系不密切的非限制因子 (pH, 氮磷含量及其比值等) 的影响, 而对那些关系密切的因子(宿主的密度及其蜕皮, 透明度, 水温, 含钙量)也只是用最直观和简捷的方法进行分析, 同时还有不少环境因子没有进行观测。因此, 文中讨论分析的问题是相当初步的, 所叙述的一些问题, 可能对研究藻类种群与生态环境因子的关系有一定的参考价值。

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。
- [2] 王 骥、沈国华, 1981。武汉东湖浮游植物的初级生产力及其与若干生态因素的关系。水生生物学集刊, 7(3): 295—311。
- [3] 刘鸿亮、金相灿、屠清瑛等, 1987。湖泊富营养化调查规范。中国环境科学出版社。
- [4] 何志辉, 1987。中国湖泊和水库的营养分类。大连水产学院学报, 第 1 期(总第 7 期): 1—10。
- [5] 陈雪梅, 1984。温度对武汉东湖近邻剑水蚤发育及繁殖的影响。水生生物学集刊, 8(4): 419—426。
- [6] 陈多序, 1986。湖泊营养型的指标。水产科学, 5(2): 29—32。
- [7] 郭祖超等, 1964。医用数理统计方法。人民卫生出版社。
- [8] 施之新, 1990。武汉东湖星形柄裸藻种群的特征与变动规律。海洋与湖沼, 21(2): 170—178。
- [9] 黄祥飞, 1984。温度对透明溞和隆线溞—亚种发育及生长的影响。水生生物学集刊, 8(2): 207—224。
- [10] 黄祥飞、陈雪梅、伍焯田、胡春英, 1984。武汉东湖浮游动物数量和生物量变动的研究。水生生物学集刊, 8(3): 345—358。
- [11] 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, 1962(1): 74—92。
- [12] 饶钦止、章宗涉, 1980。武汉东湖浮游植物的演化(1956—1975)和富营养化问题。水生生物学集刊, 7(1): 1—17。
- [13] Chu, S. P. 1949. Experimental studies on the environmental factors influencing the growth of phytoplankton

- Sci. Techn. China*, 2(3): 37—52.
- [14] Hickel, B., 1985. The population structure of *Ceratium* in a small eutrophic lake. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22: 2845—2849.
- [15] Lehman, J. T., Botkin, D. B. & Linkens, G. E., 1975. The assumptions and rationales of a computer model of phytoplankton population dynamics. *Limnol. and Ocean.*, 20(3): 343—364.
- [16] Lund, J. W., 1965. the ecology of the freshwater phytoplankton, *Biol. Rev. of the Cambridge philosophical Society*, 40: 231—293.
- [17] Martin, J. H., 1970. The possible transport of trace metals via moulred copepod exoskeletons. *Limnol. and Ocean.*, 5(5): 756—761.
- [18] Odum, E. P., 1971. *Fundamental of ecology*. W. B. Saunders Company.
- [19] Redfield, A. C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*, 46: 205—221.
- [20] Reynold, C. S., 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press.
- [21] 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.
- [22] Skuja, H., 1939. Beitrag zur Algenflora Lettlands II. *Act. Hort. Bot. Latv.*, 11/12: 41—169.

INTERRELATIONSHIP BETWEEN THE POPULATION OF *COLACIUM SIDEROPUS* IN DONGHU LAKE, WUHAN AND ITS HOSTS AS WELL AS THE INFLUENCE OF ECOLOGICAL FACTORS ON IT

Shi Zhixin

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan 430072)

Abstract

Colacium sideropus Skuja is one of main algal populations in Donghu lake, Wuhan during winter and spring. It mainly attaches on cladocerca and Copepoda (belonging to Crustaea). Its growth peak appears in March (late winter and early spring). The population growth corresponds to the J-shaped growth form.

The interaction between *C. sideropus* and its hosts: The interaction between them is mostly commensalism, i. e., to the benefit of *C. sideropus*; but doesn't exert any influence upon its hosts. So both population densities (N) of *C. sideropus* and host's densities (N_h) have close positive correlation which may be described as $N = 0.0858e^{0.0529N_h}$ ($r = 0.921, p < 0.01, \text{fig. 1}$). But when the amount of *C. sideropus* attaching on its hosts is huge, the interaction between them is amensalism, i. e., host's movement will become slow and go so far as to sink (even die).

The influence of host's exuviation on *C. sideropus*: The mean attachment amount (m)* and the attachment amount (B)** in relation to interval time (T) of host's exuviation may be positive within fixed time range: $m = ae^{bT}$ and $B = ae^{bT}$; or negative beyond the time: $m = aT^{-b}$ and $B = aT^{-b}$ (a and b are constants, see figs. 2 and 3). But the attachment rate (R)* in relation to interval time (T)

* Mean attachment amount (m): mean amount of *Colacium* per crustaea

** Attachment amount (B): individuals of *Colacium* in a species of Crustacea in a litre of water (ind./L)

of host's exuviation is only positive: $R = 22.95 + 30.40 \ln T$ ($r = 0.834, p < 0.01$, fig. 6) in *D. hyalina*; $R = 32.50 + 37.00 \ln T$ ($r = 0.729, 0.05 > p > 0.01$, fig. 4) in *C. vicinus*

Selectivity of *C. sideropus* to its hosts: The attachment ability of *C. sideropus* is the strongest to *Daphnia hyalina* (Cladocerca); second to *Cyclops vicinus* (Copepoda) and the weakest to *Neutrodiaptomus incongruens* (Copepoda) (see table 1).

The water temperature exerts an influence on the population of *C. sideropus*: The correlation between the population densities (N) and the water temperatures (t) may be positive within 5—12°C: $N = 0.309e^{0.624t}$ ($r = 0.914, p < 0.01$, fig. 8); or negative within 12—30°C: $N = 0.0000617e^{\frac{102.2}{t}}$ ($r = 0.941, p < 0.01$, fig. 5). The growth of *C. sideropus* is the fastest when the water temperature is 12°C. So 12°C may be the most suitable temperature for the growth of *C. sideropus*.

Samely, the correlation between the mean attachment amounts (m) and the water temperatures (t) may also be positive within fixed range of the water temperature: $m = bt - a$; or negative beyond the range: $m = ae^{\frac{b}{t}}$ (a and b are constants, see fig. 6).

But the attachment rates (R) of *C. sideropus* in relation to the water temperatures (t) is only negative (see fig. 7): $R = 39.37 \ln(30 - t) - 20.89$ ($r = 0.933, p < 0.01$) in *D. hyalina*; $R = 40.95 \ln(30 - t) - 30.61$ ($r = 0.939, p < 0.01$), in *C. vicinus*; $R = 31.54 \ln(30 - t) - 44.74$ ($r = 0.843, p < 0.01$) in *N. incongruens*.

The influence of transparency: The population densities (N) of *C. sideropus* in relation to the transparencies (d) is positive. It may be described as: $N = 0.020e^{0.037d}$ ($r = 0.838, p < 0.01$, fig. 8).

The influence of nutrients: Nitrogen and phosphorus in Donghu lake, Wuhan aren't limiting factors for population growth of *C. sideropus* because the lake is eutrophic (fig. 9). The population densities (N) of *C. sideropus* in relation to calcium concentrations (S) may be described as $N = 0.00254e^{0.178S}$ ($r = 0.816, 0.05 > p > 0.01$, fig. 10).

Multiple regression analysis of synthetic influence on ecological factors: It is very remarkable that the population growth (N) of *C. sideropus* in relation to the densities (N_s) of hosts, transparencies (d), water temperatures (t) and calcium concentrations (S) is analysed by multiple regression. The multiple regression equation may be described as $N = 1.208N_s + 0.698d + 5.584t + 2.942S - 357.957$ ($R = 0.853, df = 11, k = 4, p < 0.01$)

Key words *Colacium sideropus*, Donghu, Wuhan, Host, Ecological factor, Interrelationship

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